

Transporte de Compostos de Carbono, Nitrogênio e Fósforo pelos Escoamentos Superficial e de Drenagem em Lisímetro Volumétrico

Vander Kaufmann*, Adilson Pinheiro*, Marcos Rivail da Silva*

ambitec.amb@gmail.com; pinheiro@furb.br; rivail@furb.br

Recebido:21/09/12 - revisado: 04/12/12 - aceito: 18/12/12

RESUMO

O transporte de espécies químicas pelos escoamentos superficiais e de drenagem é influenciado por fatores naturais e antrópicos. Neste trabalho, é avaliado o efeito do revolvimento e da fertilização sobre o transporte de compostos de carbono, nitrogênio e fósforo. Ele foi desenvolvido num Cambissolo, utilizando um lisímetro volumétrico de drenagem, instalado na bacia do ribeirão Concórdia, Lontras – SC. Duas ações foram analisadas. A primeira foi o revolvimento da camada superficial do solo, o qual divide o experimento em dois períodos. A segunda foi a fertilização com adubo mineral. Foram monitoradas as águas de escoamento superficial e escoamento de drenagem. Durante o experimento, o solo permaneceu em pousio. O revolvimento do solo provocou diminuição do volume de água escoada superficialmente e aumentou o volume drenado, com consequente redução da evaporação de cerca de 45 %. As concentrações médias das espécies químicas nas águas de escoamento superficial são superiores àsquelas do escoamento de drenagem. A evolução das concentrações nas águas dos escoamentos superficiais e de drenagem foi modificada com o revolvimento da camada superficial do solo. No entanto, em relação às cargas transportadas, notam-se que no escoamento de drenagem, elas foram superiores àsquelas do escoamento superficial e, o efeito do revolvimento não foi evidenciado.

Palavras Chave: *Qualidade de água, lixiviação, manejo do solo.*

INTRODUÇÃO

Os escoamentos da água na superfície e no perfil do solo são responsáveis pelo transporte de espécies químicas para os mananciais superficiais e subterrâneos. Com essas entradas, os corpos receptores podem ter suas características físicas, químicas e biológicas alteradas, geralmente, comprometendo a qualidade requerida para alguns usos. Isto é significativo em áreas com atividades agropecuárias (CARVALHO et al., 2000).

A magnitude dos transportes é afetada por vários fatores naturais e antrópicos. Entre os fatores naturais têm-se os atributos físicos e químicos dos solos e as propriedades físico-químicas das espécies químicas. O manejo do solo e agrícola são os principais fatores antrópicos atuantes sobre o transporte de espécies químicas pelo escoamento da água (BERTOL et al., 2007).

Os compostos de carbono, nitrogênio e fósforo são espécies químicas de importância ambiental. Alterações de uso da superfície do solo, manejo

agrícola e as diferentes formas de adição de nutrientes, seja por via orgânica ou por adição química, afetam o equilíbrio químico e promovem sua movimentação (GERMER et al., 2009; DE FRIES; ES- HLEMAN, 2004). A presença de carbono no solo influencia a fertilidade do solo, a capacidade de retenção de água no solo e vários outros mecanismos. Reações envolvendo carbono inorgânico no solo podem contribuir para a quantidade total de carbono assimilado.

Poucos são os estudos que avaliam simultaneamente as concentrações e as cargas transportadas pelos escoamentos superficiais e de drenagem da água no solo. Geralmente, os trabalhos avaliam a lixiviação de espécies químicas no perfil do solo, com o emprego de lisímetros de sucção instalados em campo (KAISER et al., 2010) ou o uso de colunas de solo instaladas em laboratórios (OLIVEIRA et al., 2002, ROSOLEM et al., 2006) ou, o transporte pelo escoamento superficial (BERTOL et al., 2007) com o isolamento de parcelas em áreas agrícolas submetidas a diferentes condições de manejo do solo.

Assim, este trabalho procura contribuir na quantificação das concentrações e das cargas transportadas pelo escoamento superficial e de drena-

*Fundação Universidade Regional de Blumenau

gem no perfil do solo de compostos de carbono, de nitrogênio e de fósforo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O lisímetro volumétrico de drenagem foi instalado na bacia do ribeirão Concórdia, localizada no município de Lontras – Santa Catarina. A bacia está inserida na rede de pesquisa em bacias representativas e experimentais do bioma da Mata Atlântica, na região sul do Brasil. A região climática onde está inserida a bacia, de acordo com a classificação de Thornthwaite, é definida como sendo clima Mesotérmico Úmido do tipo B3 B'3 ra', sem estação seca definida e com precipitações anuais entre 1600 a 1800 mm (EPAGRI/CIRAM, 1999). De acordo com Pinheiro et al. (2008), os principais usos na bacia são mata nativa (47,61%), pastagem (20,35%) e milho (9,29%). O solo é Cambissolo háplico aluminoso típico. As principais características do solo, nas profundidades de 0 a 20, de 40 a 60 e de 80 a 100 cm são apresentados na Tabela 1.

Lisímetro

O lisímetro volumétrico de drenagem foi construído com formato cúbico, com lados de 1 m de comprimento, com chapas de acrílicos, de 8 mm de espessura. Na instalação dos lisímetros, o solo foi mantido indeformado com o objetivo de preservar a estrutura original dos solos e afetar o mínimo possível a dinâmica da água do solo. O lisímetro foi confeccionado com o uso de duas caixas de acrílico. A primeira é vazada, instalada com o auxílio de um cortador metálico, se desenvolve ao longo do perfil da amostra de solo. A segunda caixa foi utilizada para a confecção da base do lisímetro. Uma descrição detalhada da execução e implantação do lisímetro é apresentada por Oliveira et al. (2010). Na parte inferior da amostra de solo, é colocada uma camada de 5 cm de brita n. 2, envolta por uma membrana de geotêxtil, evitando a perda de material fino para esta camada drenante. Próximos à superfície e na camada drenante do lisímetro foram instalados tubulações para coleta do escoamento superficial e de drenagem interna, com a função de conduzir a água ao dispositivo de armazenamento e/ou coleta. Na parte externa, os lisímetros estão em contato com o solo, visando manter a mesma condição de

temperatura do ambiente em torno dele, bem como a superfície superior foi mantida no mesmo alinhamento da área do entorno.

O início da operação do lisímetro foi em março de 2008, com registros sistemáticos de precipitação, escoamento superficial, drenagem pela base e potencial mátrico. As precipitações foram medidas com uso de um pluviógrafo Davis® equipado com *datalogger* registrador Novus®, instalado a cerca de 3 m do lisímetro. Os dados de precipitação foram registrados no intervalo de tempo de 5 min.

As águas do escoamento superficial e de drenagem profunda foram armazenadas em galões de polietileno, com capacidade de 5 e 50 L, respectivamente. Após os eventos de chuva, foram determinados os volumes escoados e retiradas amostras de 100 mL para determinação das concentrações de nutrientes e de carbono.

O potencial mátrico foi medido por tensiômetros UMS T4, instalados nas profundidades de 10, 30 e 70 cm, com medida contínua e armazenamento em *datalogger*, com faixa de trabalho entre 1000 hPa a -850 hPa, com precisão de 5 hPa, em intervalos de 10 minutos.

Manejos

O experimento foi desenvolvido no período compreendido entre 20/04/2008 a 22/11/2008. Neste período, o solo foi mantido sem cultivo, sem vegetação, sendo realizado capina química com uso de dessecante.

Foram realizadas fertilizações do solo com adubo mineral, na formulação N:P:K 5-10-20, na dose de 350 kg ha⁻¹, no 1º dia e no 152º dia após o início das coletas de águas escoadas superficial e drenagem profunda. No 85º dia foi realizado um revolvimento da camada superficial do solo, em uma espessura de 15 cm, com auxílio de uma pá de corte, sendo promovido um completo destorroamento.

O revolvimento e a fertilização constituem a separação entre os períodos de análise. Assim, o primeiro período é compreendido entre a 1ª fertilização e o revolvimento do solo, o segundo período é compreendido entre revolvimento e a 2ª fertilização e o terceiro período abrange o intervalo de tempo entre a 2ª fertilização e o fim do experimento. Os resultados obtidos foram comparados utilizando-se análise estatística do teste de Tukey a 5%.

Tabela 1 - Granulometria, densidade, porosidade e condutividade hidráulica de saturação do perfil do solo.

Profundidade (cm)	Granulometria (%)			Densidade (g cm ⁻³)	Porosidade (%)	CHS (cm h ⁻¹)
	Areia	Silte	Argila			
0 - 20	27,99	34,83	37,18	1,244	49,8	63,25
40 - 60	25,29	29,74	44,98	1,170	54,1	106,98
80 - 100	26,86	23,2	49,94	1,092	58,2	104,75

CHS – Condutividade Hidráulica de Saturação

Determinação das concentrações de nutrientes no solo e no soluto

Na parcela de montagem do lisímetro, foram coletadas amostras de solo para determinação das características de fertilidade, tendo sido determinado: pH, fósforo, potássio, matéria orgânica (M.O), alumínio, cálcio, magnésio, sódio, H+Al, soma bases-S, CTC (capacidade de troca catiônica), saturação por bases. Os dados de fertilidade do solo foram determinados pela Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina - CI-DASC, pelo método da EMATER/PR (OLEYNIK et al., 2004).

Nas amostras de água foram determinadas as concentrações de nitrato (NO₃), nitrito (NO₂), fosfato (PO₄³⁻) e carbono orgânico total (TOC) e carbono inorgânico (IC). Para a determinação das concentrações dos nutrientes foi utilizado um cromatógrafo de troca iônica Dionex® ICS-90, equipado com uma coluna de separação aniônica, um supressor e um detector de condutividade. As condições de injeção da amostra, temperatura, vazão de gás foram entre outras: Injeção da amostra: 10 µL; Temperatura: 30 °C; Taxa de fluxo: 1,2 mL min.⁻¹; Eluente: Na₂CO₃ 4,5mM/NaHCO₃ 1,4 mM; Detecção: condutividade; Supressor: aniônico auto regenerante; Solução estoque: NaHCO₃ 100mM; Corrente aplicada: 31 mA. As curvas de calibração foram realizadas com padrões obtidos junto à Dionex®, utilizando-se 5 pontos na faixa de 1 a 10 mg L⁻¹ com leitura em quintuplicata. As leituras das amostras foram realizadas em triplicatas. Para a análise do carbono orgânico total (TOC) e carbono inorgânico (IC), as amostras foram analisadas diretamente no analisador de carbono orgânico total marca SHI-MADZU, modelo TOC – V CPH. A curva de calibração foi realizada com padrões obtidos junto à

QHEMIS utilizando-se cinco pontos na faixa de 1 a 100 mg L⁻¹ com leitura em triplicatas.

Balanco hídrico

Foi realizado o balanço hídrico no lisímetro, o qual permitiu a determinação da evaporação. O balanço hídrico foi expresso por:

$$ET = P - E_{sup} - E_{scD} - \Delta\theta \quad (1)$$

onde ET é a altura de evaporação (mm), P é a altura de precipitação (mm), E_{sup} é a lâmina de escoamento superficial (mm), E_{scD} é a lâmina de escoamento de drenagem (mm) e $\Delta\theta$ é a variação do armazenamento de água no solo entre o início e o fim de um determinado intervalo de tempo Δt (mm).

A precipitação foi medida com um pluviógrafo Davis® com *datalogger* registrador Novus®, que registra dados de precipitação a cada 5 min. A variação de armazenamento de água no solo foi calculada pelo conteúdo volumétrico de água no solo obtido a partir de medidas potenciométricas. No lisímetro foram três sensores de pressão UMS T4, nas profundidades de 10, 30 e 70 cm, com medida contínua e armazenamento em *datalogger*. A pressão de água no solo é registrada em hPa, em intervalos de 10 minutos. Com a curva de retenção, é determinado o conteúdo volumétrico de água no solo.

A curva de retenção de água no solo para cada profundidade amostrada (0-5; 5-10; 15-20; 30-35; 45-50 e 65-70 cm) foi determinada utilizando-se câmara de Richard's. Após obtenção dos valores de umidade em relação à pressão aplicada, a curva de retenção foi ajustada utilizando-se o Software RETC (van GENUCHTEN et al., 1991).

Tabela 2 - Parâmetros de fertilidade do solo no lisímetro de campo

Profundidade (cm)	P	K	Al	Ca	Mg	Na
	mg L ⁻¹					
0-25	12,00	64,00	134,90	681,36	291,66	4,00
25-50	3,70	48,00	125,91	741,48	340,27	4,00
50-75	3,20	50,00	422,69	340,68	133,68	2,00
75-100	3,60	52,00	539,60	260,52	97,22	2,00

Tabela 3 - Características químicas no perfil do solo.

Profundidade (cm)	pH	M.O. %(m/v)	S	H+Al cmolc.L ⁻¹	CTC	V %	Saturação por Al m% Al
0-25	4,7	2,40	5,98	17,30	23,28	25,69	6,44
25-50	4,9	2,60	6,64	8,69	15,33	43,31	9,13
50-75	4,5	1,70	2,94	27,38	30,32	9,70	15,50
75-100	4,5	1,20	2,24	34,45	36,69	6,11	16,35

S – soma de bases, CTC – capacidade troca de cátions, V – saturação de bases.

Carga transportada

A carga pelo escoamento da água foi determinada através da expressão:

$$F = \sum_{i=1}^n c_i V_i \quad (2)$$

onde c_i é a concentração da espécie química na amostra i , V_i é o volume de escoamento superficial ou de drenagem, armazenado no recipiente, no intervalo de tempo Δt .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações dos elementos químicos no início do experimento variaram no perfil (Tabela 2). Em geral, as concentrações são decrescentes com a profundidade, exceto o Al com concentração na camada de 75 a 100 cm é cerca de quatro vezes superior àquela da camada superficial. O fósforo possui concentração cerca de três vezes inferior àquela da camada superficial.

Na Tabela 3 são apresentadas as características químicas determinadas no perfil do solo, tais

como soma de bases (S), capacidade de troca de cátions, saturação de bases, e saturação por alumínio. O pH é inferior a 5.

Observa-se que na camada de 25 a 50 cm, a maioria das características químicas apresenta os valores mais extremos, mínimos ou máximos, em relação às demais.

A acidez do solo é oriunda da presença de alumínio e H+Al no perfil solo. Condicionado a saturação de bases menor que 50%, o solo é considerado distrófico, significando que há baixa disponibilidade de nutrientes para as plantas (PRADO, 2005). À medida que aumenta a quantidade de argila na profundidade (Tabela 1) aumenta a CTC (Tabela 3) exceto a 25-50 cm. Isso pode reter, principalmente, os íons fósforo, pela substituição das ligações da superfície das argilas devido à característica das cargas eletrostáticas do solo em reter os íons (KAISER e ZECH, 2000; COSTA et al., 2008; SANTOS et al., 2008). De acordo com Fontes et al. (2001), se a matéria orgânica no solo possui uma CTC elevada, dificulta o transporte vertical no solo de carbono dissolvido, diminuindo a quantidade de carbono no perfil e na água percolada.

As tendências de evolução da CTC acompanham estritamente as da matéria orgânica. Nos sistemas de cultivo que perdem MO em profundi-

dade, a CTC dos horizontes de superfície decresce. Contudo, o contrário é observado nos sistemas em plantio direto. Na área experimental, a CTC do solo apresenta tendência de aumento em vertical, exceto entre 25 a 50 cm de profundidade (Tabela 3).

Escoamento superficial e de drenagem

Na Tabela 4 e na Figura 1 são apresentados os valores dos elementos do balanço hídrico no lisímetro, nos três períodos. São apresentadas as percentagens da precipitação total transformada no escoamento superficial, drenagem profunda e evaporação. Ao longo dos 232 dias houve precipitação de 947,90 mm. O período após a 2ª fertilização houve maior precipitação. No segundo período, os eventos de chuvas apresentaram menor intensidade.

O revolvimento do solo provocou diminuição do volume escoado superficialmente e aumentou o volume drenado em profundidade. Após a 2ª fertilização apresentou uma taxa elevada (66%) de escoamento de drenagem devido ao período extremamente chuvoso (50% dias com chuva maior que 1 mm). Taconet e Ciarletti (2007) afirmam que os processos hidrológicos são controlados diretamente pela microtopografia do terreno. O revolvimento do solo proporciona aumento da rugosidade e aumenta o tempo de resposta para iniciar efetivamente o escoamento superficial, devido a criação de empoçamentos (DARBOUX e HUANG, 2005). Desta forma, a maior infiltração se deve ao revolvimento do solo, que aumentou a rugosidade e o empoçamento (CARVAJAL et al, 2006; LAL e SHUKLA, 2004; BORSELLI e TORRI, 2010). Com o aumento da infiltração após o revolvimento, a evaporação sofreu uma diminuição chegando a 33% após a 2ª fertilização (Tabela 4). Isto pode ter sido devido à alteração da oferta hídrica no solo.

Concentrações de carbono e de nutrientes

Na Tabela 5 são apresentadas as concentrações médias das formas de carbono, de nitrogênio e de fósforo determinadas nas águas do escoamento superficial e da drenagem, nos três períodos analisados. As concentrações médias das espécies químicas nas águas de escoamento superficial

são superiores aquelas do escoamento de drenagem. No escoamento superficial, as concentrações médias de fosfato foram da mesma ordem de grandeza obtidos por Schaefer et al. (2002) e, o carbono orgânico é cerca de 3 vezes superior ao do carbono inorgânico. Esta relação não é mantida para o escoamento de drenagem, onde as concentrações médias do carbono inorgânico são superiores aquela do carbono orgânico. Isso indica que o carbono é mais transportado no perfil do solo na forma inorgânica. Atuam neste processo as transformações bioquímicas do carbono na superfície e ao longo do perfil do solo.

No período da primeira fertilização, as concentrações médias de fosfato foram superiores àquelas do nitrato e estas foram superiores àquelas do nitrito, tanto no escoamento superficial quando no escoamento de drenagem. Esta evolução de concentração foi modificada com o revolvimento da camada superficial do solo. As concentrações médias de nitrato aumentaram passando de 2,796 mg L⁻¹ para 48,569 mg L⁻¹ no escoamento superficial e de 0,862 mg L⁻¹ para 16,525 mg L⁻¹ no escoamento de drenagem. O fosfato, por sua vez, apresentou redução das concentrações médias nos escoamentos superficiais e de drenagem.

A adição de fertilizantes não afetou a concentração de carbono orgânico e nem inorgânico, uma vez que não houve aplicação de fonte de carbono. A aplicação de fertilizantes na formulação 5-20-10 (NPK), na dosagem de 350 kg ha⁻¹ em superfície, aplicada primeiramente sobre o solo sem revolvimento (1º dia) e, posteriormente, no solo revolvido (155º dia), afetou a concentração de carbono negativamente tendo diferenças no revolvimento e na 1ª fertilização.

O revolvimento promove aumento da atividade microbiana aeróbia devido à maior presença de oxigênio. Isso pode proporcionar aumento da taxa de mineralização da matéria orgânica, favorecendo a formação de nitrito e nitrato disponível no soluto (HRAPOVIC e ROWE, 2002). Segundo Qualls e Haynes (1992) mais de 80% do nitrogênio presente na solução do solo está na forma orgânica. Após a 2ª adição de fertilizante houve uma diminuição das concentrações média de carbono inorgânico e de nitrato e aumento nitrito e fosfato. Este resultado mostra que o carbono inorgânico e o nitrato são influenciados pela

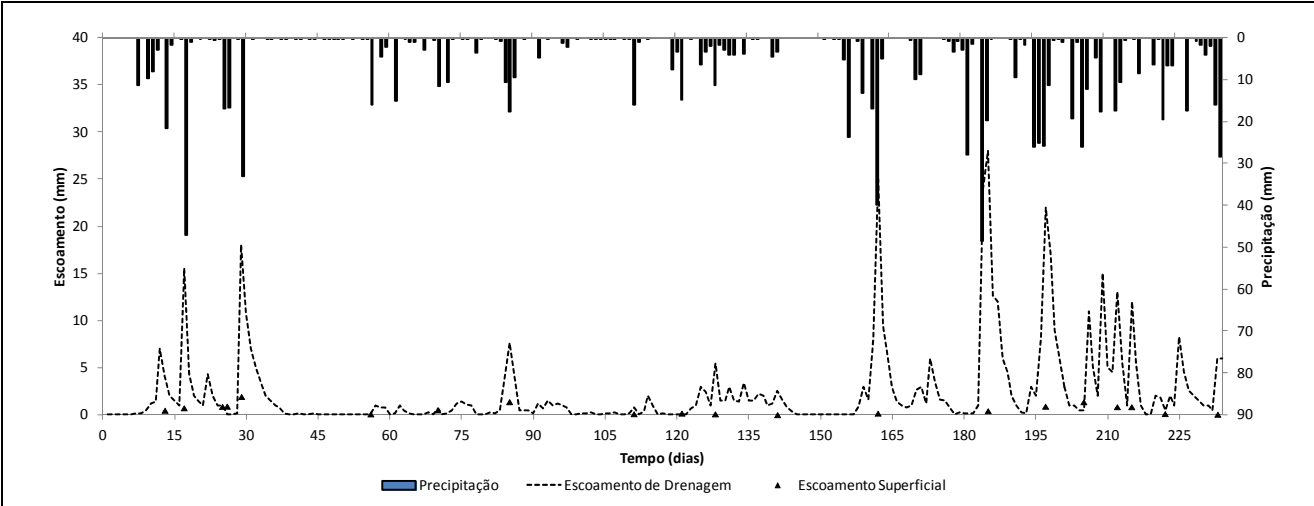


Figura 1 – Escoamento superficial e de drenagem no lisímetro da bacia do Ribeirão concórdia.

Tabela 4 - Balanço hídrico no lisímetro

Período	Intervalo (d)	Precipitação (mm)	ESup (mm)	EscD (mm)	ESup (%)	EscD (%)	ET (%)
1ª fertilização	85	284,2	6,28	129,06	2,21	45,41	52,38
Solo Revolvido	70	98,6	1,03	49,74	1,04	50,45	48,51
2ª fertilização	77	565,1	4,71	373,25	0,83	66,05	33,12

ESup – escoamento superficial; EscD – escoamento de drenagem, ET - evaporação

Tabela 5 - Concentrações médias (mg L⁻¹) de carbono e de nutrientes nas águas de escoamento superficial e de drenagem

Período	TOC	TC	IC	Nitrito	Nitrato	Fosfato
Escoamento superficial						
1ª fertilização	27,696 ^{ab} ± 13,49	38,579 ^{ab} ± 12,73	10,884 ^a ± 2,52	0,233 ^a ± 0,24	2,796 ^a ± 1,27	4,841 ^a ± 5,28
Solo Revolvido	38,984 ^a ± 22,74	48,567 ^a ± 26,58	9,619 ^a ± 5,22	0,458 ^a ± 0,12	48,569 ^b ± 57,12	0,565 ^b ± 0,36
2ª fertilização	14,460 ^b ± 9,73	17,563 ^b ± 10,34	3,102 ^b ± 2,38	2,589 ^b ± 3,82	6,835 ^a ± 4,65	5,338 ^a ± 6,24
Escoamento de drenagem						
1ª fertilização	1,769 ^a ± 0,33	4,879 ^a ± 0,86	3,1092 ^a ± 0,86	0,031 ^a ± 0,02	0,862 ^a ± 0,94	1,391 ^a ± 1,06
Solo Revolvido	2,047 ^a ± 0,54	5,325 ^a ± 0,88	3,277 ^a ± 0,99	0,151 ^a ± 0,26	16,525 ^b ± 17,90	0,039 ^b ± 0,04
2ª fertilização	0,994 ^b ± 0,53	2,393 ^b ± 1,21	1,399 ^b ± 0,89	3,046 ^b ± 3,56	9,141 ^b ± 4,59	1,348 ^a ± 1,10

Médias seguidas de mesmas letras, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

atividade microbiana, a qual deve ter sido reduzida devido à elevação da umidade produzida pelo aumento da precipitação no terceiro período (Figura 1). Além disto, de acordo com Qualls e Haynes

(1992) e Kaiser e Zech (2000), o nitrogênio apresenta grande mobilidade em solo ácido, como é o caso da área experimental (Tabela 3).

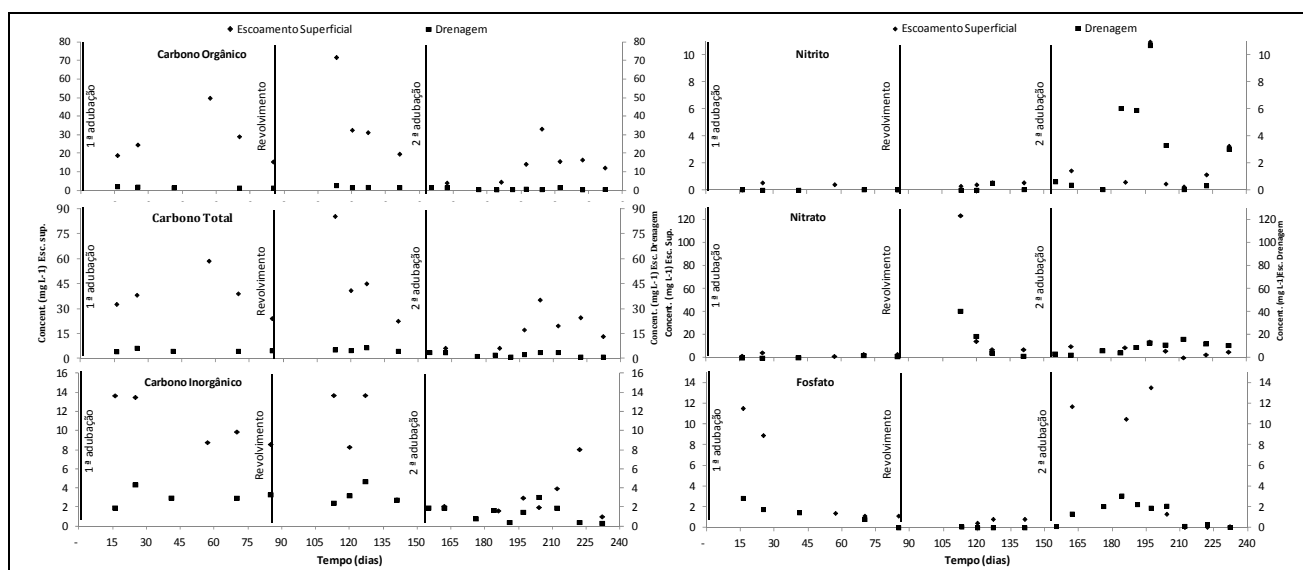


Figura 2 – Concentração dos nutrientes no escoamento superficial e de drenagem ao longo do tempo

Tabela 6 - Cargas (mg) transportadas pelos escoamentos superficiais e de drenagem

Tratamento	Escoamento superficial						Escoamento de drenagem					
	TOC	TC	IC	Nitrito	Nitrato	Fosfato	TOC	TC	IC	Nitrito	Nitrato	Fosfato
1ª fertilização	182,8	262,0	79,2	2,5	24,7	40,1	228,4	647,4	419,0	3,0	65,4	190,8
Solo Revolvido	17,2	21,4	4,2	0,2	16,1	0,2	101,9	263,0	161,1	8,4	622,8	1,8
2ª fertilização	91,2	108,7	17,6	12,5	29,8	20,4	373,6	899,8	526,2	1.191,9	3.645,8	543,2

O fosfato não foi influenciado pelo revolvimento, sendo que sua concentração no segundo período foi cerca de 10 vezes menor que após as aplicações de fertilizantes. É um elemento com grande capacidade de adsorção, ainda mais com a grande quantidade de Al que o solo apresenta, favorecendo sua imobilização e a própria diminuição da concentração no perfil (Tabela 3). O decréscimo de fosfato após a adição de fertilizante é rápido, sendo que 50 dias após a aplicação apresenta concentrações semelhantes ao período de revolvimento. O fósforo pode sofrer adsorção específica nos solos ácidos, como é apresentado na Tabela 3. A adsorção ocorre pela troca da hidroxila (OH⁻) pelo íon fosfato na superfície dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al (ZHANG e ZHAO, 1997; MOTA et al., 2002; SHARPLEY, 2003) e aumenta em profundidade (Tabela 2). Esta substituição ocorre em duas fases, segundo Børling (2003), sendo a primeira rápida e ainda

reversível, lábil, estando presente a ligação Al-O-P. A segunda tem uma dessorção menor, por ser composta de uma ligação entre dois íons Al ou Fe com o fósforo. A concentração de fosfato no escoamento de drenagem foi menor que no escoamento superficial, independente da ação de revolvimento da camada superficial do solo (Figura 2). Sims et al. (1998) apresentam resultados semelhantes para solos de textura fina e com altas concentrações de alumínio.

Cargas transportadas

A carga transportada incorpora os efeitos das concentrações medidas em cada amostra de água coletada nos escoamentos superficiais e de drenagem e das vazões geradas durante a ocorrência de precipitação. Na Tabela 6 são apresentadas as cargas transportadas pelos escoamentos superficiais

e de drenagem. Nota-se que as cargas transportadas pelo escoamento de drenagem, das formas de carbono, nitrogênio e fósforo, foram superiores aquelas do escoamento superficial. O primeiro período apresentou as menores relações entre as duas cargas, sendo a menor para o nitrato, com valor de 1,18 e, o maior foi para o carbono inorgânico, com valor de 5,29. No terceiro período, correspondente a segunda fertilização, as relações entre as cargas transportadas pelos escoamentos superficiais e de drenagem foram as mais elevadas, variando entre 4,10, para o carbono orgânico total e, 122,33, para o nitrato. Neste período a precipitação foi de 565,1 mm, e a carga transportada de nitrato foi equivalente a 36,4 kg ha⁻¹. Este valor pode ser comparado com as cargas anuais de nitrato estimadas por Pinheiro e Deschamps (2008), no escoamento fluvial de uma bacia agrícola, as quais variaram entre 1,13 e 4,97 kg ha⁻¹.

Ressalta-se que a carga determinada neste estudo foi produzida em uma área homogênea de 1 m², em condição de pousio enquanto a dos autores referidos foi estimada para uma bacia com diferentes usos e ocupações do solo. Na condição de pousio, as espécies químicas não são removidas ou adicionadas em função do desenvolvimento vegetal. Deste modo, as cargas das formas de carbono, nitrogênio e fósforo transportadas pelos escoamentos superficiais e de drenagem podem ser considerados como limites superiores para o tipo de solo e atividade agrícola desenvolvida.

Anteriormente foi evidenciado o efeito do revolvimento do solo sobre as concentrações médias de nitrato tanto no escoamento superficial quanto no escoamento de drenagem. No entanto, em relação à carga transportada, durante o segundo período, de atuação do revolvimento do solo, este efeito não pode ser evidenciado. No escoamento superficial, as cargas transportadas neste período foram as mais baixas. O nitrato e o nitrato apresentaram cargas superiores ao do período anterior. Isto poderia ser devido à melhoria da condição de mineralização da matéria orgânica e da nitrificação, com aeração do meio. Este processo, igualmente, afeta o transporte de carbono inorgânico, apresenta relação de 38,16 entre as cargas do escoamento de drenagem e o escoamento superficial.

É importante notar as cargas transportadas pelo escoamento de drenagem de carbono orgânico e inorgânico. As cargas de carbono orgânico variaram entre 1,02 e 3,74 kg ha⁻¹ e do carbono inorgânico entre 1,61 e 5,26 kg ha⁻¹. No escoamento superficial, elas foram inferior a 1,83 kg ha⁻¹.

CONCLUSÕES

Os escoamentos superficiais e de drenagem no perfil do solo são responsáveis pelo transporte de espécies químicas em áreas agrícolas. O monitoramento quali-quantitativo de um lisímetro volumétrico mostrou que as concentrações médias das formas de carbono, nitrogênio e fósforo são influenciadas pelo revolvimento da camada superficial do solo. Igualmente, verificou-se que os escoamentos superficiais apresentam concentrações mais elevadas que os escoamentos de drenagem.

A ação simultânea das concentrações e das vazões escoadas incorporadas nas cargas transportadas pelos escoamentos configura resultados diferentes daqueles obtidos apenas com a primeira variável. Neste caso, os escoamentos de drenagem transportam cargas mais elevadas do que os escoamentos superficiais. Isto é resultante do efeito da precipitação ocorrida no período de monitoramento do sistema. A influência das práticas de manejo do solo sobre as cargas transportadas não são adequadamente evidenciadas.

As cargas transportadas pelos escoamentos superficiais e de drenagem no lisímetro, em condição de pousio, poderiam ser consideradas como valores referenciais de limites máximos para o tipo de solo e atividade agrícola analisada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao MCT/FINEP/AÇÃO TRANSVERSAL, convênio 1406/08, projeto 01.08.0568.00 pelo financiamento da pesquisa, ao CNPq processo 301156/2008-5, pela bolsa de produtividade de pesquisa do segundo autor e, pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- BERTOL, I.; ENGEL, F.; MAFRA, A.L.; BERTOL, O.J.; RITTER, S. Phosphorus, potassium and organic carbon concentrations in runoff under different soil tillage systems during soybean growth. *Soil & Tillage Research*, v.94, p.142–150, 2007.
- BÖRLING, K. Phosphorus sorption, accumulation and leaching - Effects of long-term inorganic fertili-

zation of cultivated soils. (2003). 39 f. (Doctoral of Agricultural Sciences), Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2003.

BORSELLI, L.; TORRI, D. Soil roughness, slope and surface storage relationship for impervious areas. *Journal of Hydrology*, v.393, p.389–400. 2010.

CARVAJAL, F.; AGUILAR, M.A.; AGÜERA, F.; AGUILAR, F.J.; GIRAÁLDEZ, J.V. Biosystems. Maximum Depression Storage and Surface Drainage Network in Uneven Agricultural Landforms. *Engineering*, v.95, p.281–293. 2006.

CARVALHO, A.R.; MINGANTE, F.H.; TORNISIELLO, L. Relação da atividade agropecuária com parâmetros físicos e químicos da água. *Revista Química Nova*, v.23, n.5, p.618-622, 2000.

COSTA, L. C. D. B.; PINTO, J. E. B. P.; CASTRO, E. M. D.; BERTOLUCCI, S. K. V.; CORRÊA, R. M.; REIS, É. S.; ALVES, P. B.; NICULAU, E. D. S. Tipos e doses de adubação orgânica no crescimento, no rendimento e na composição química do óleo essencial de elixir paregórico. *Ciência Rural*, v. 38, p. 2173-2180, 2008.

DARBOUX F.; HUANG, C-H. Does Soil Surface Roughness Increase or Decrease Water and Particle Transfers? Published online May 6, 2005.

EPAGRI/CIRAM. Zoneamento Agroecológico e Sócioeconômico do Estado de Santa Catarina. Estado de Santa Catarina. Florianópolis, 1999, p. 1010.

DE FRIES, R., ESHLEMAN, N.K. Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future. *Hydrological Processes* 18 (11), 2183–2186, 2004.

FONTES, F. M. P.; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Scientia Agrícola*, v. 58, n. 3, p. 627-646, 2001.

GERMER, S.; NEILL, C.; VETTER, T.; CHAVES, J.; KRUSCHE, A.V.; ELSENBEEER, H. *Journal of Hydrology* 364, 349–363, 2009.

HRAPOVIC, L.; ROWE, R. K. Intrinsic degradation of volatile fatty acids in laboratory-compacted clayey soil. *Journal of Contaminant Hydrology*, v. 58, n. 3-4, p. 221-242, 2002.

KAISER, D.R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; STRECK, C. A.; PELLEGRINI, A. Nitrate and ammonium in soil solution in tobacco management systems. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.34, n.2, p. 379-388, 2010

KAISER, K.; ZECH, W. Sorption of dissolved organic nitrogen by acid subsoil horizons and individual mineral phases. *Eur J Soil Sci*, v. 51, n. 3, p. 403-411, 2000.

LAL, R.; SHUKLA, M.K. *Principles of Soil Physics*. Marcel Dekker, New York, 2004, 716 p.

MOTA, F. O. B.; OLIVEIRA, J. B.; GERBHARDT, H. Mineralogia de um Argissolo vermelho amarelo e de um planossolo háplico e solódico numa toposse-quencia de gnaiss no sertão central Ceará. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 607-618, 2002.

OLEYNIK, J.; BRAGAGNOLO, N.; BUBLITZ, U.; SILVA, J. C. C. Análise de solo: tabelas para transformação de resultados analíticos e interpretação de resultados. Curitiba, 2004, p.25.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; MORTATTI, J. Lixiviação de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio em solo arenoso cultivado com cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.6, p.861-868, 2002.

OLIVEIRA, N. T.; CASTRO, N. M. R.; GOLDENFUM, J. A. Influência da Palha no balanço hídrico em lisímetros. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15, p. 93-103, 2010.

PINHEIRO, A.; DESCHAMPS, F.C. Transporte de ortofosfato e de nitrato na microbacia do Ribeirão Fortuna, SC. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 3, p. 318–325, 2008.

PINHEIRO, A.; BERTOLDI, J.; VIBRANS, A. C.; REFOSCO, J. C. Relação entre uso da terra da faixa ciliar e a qualidade das águas em uma bacia agrícola. In: XXXI Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de AIDIS, 2008, p. 1-7.

PRADO, H. Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação e levantamento. Piracicaba, 2005.182

QUALLS, R.G.; HAYNES, B.L. Biodegradability of dissolved organic-matter in forest throughfall, soil solution, and stream water. *Soil science society of*

America journal, Madison, v.56, n.2, p.578-586. 1992.

ROSOLEM, C.A.; GARCIA, R.A.; FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C. Lixiviação de potássio no solo de acordo com suas doses aplicadas sobre palha de milheto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, n. 30, p. 813-819, 2006.

SANTOS, D. R. D.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. Ciência Rural, v. 38, p. 576-586, 2008.

SCHAEFER, C. E. R.; SILVA D. D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, n.5, p.669-678, 2002.

SHARPLEY, A. N. Soil mixing to decrease of soluble phosphorus transport in agricultural runoff. J Environ Qual, v. 32, p. 1375-1384, 2003.

SIMS, J. T.; SIMARD, R. R.; JOERN, C. B. Phosphorus losses in agricultural drainage: historical perspective and current research. J. Environ. Qual., Madison, v. 27, n. 2, p. 277-293, 1998.

TACONET, O.; CIARLETTI, V. Estimating soil roughness indices on a ridge-and-furrow surface using stereo photogrammetry. Soil e Tillage Research v.93, p.64-76. 2007.

van GENUCHTEN, M. Th.; LEIJ, F. J.; YATES, S. R. (1991). The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils. Relatório EPA/600/2-91/065, 117 p.

ZHANG, X. N.; ZHAO, A. Z. Surface Charge. In Yu, T.R. Chemistry of variable charge soils. New York: Oxford University Press, 1997.17 – 63.

Transport Of Carbon, Nitrogen And Phosphorus Compounds By Surface Runoff And Drainage In A Volumetric Lysimeter.

ABSTRACT

The transport of chemical species by runoff and drainage is influenced by natural and anthropogenic factors. In this work, we evaluated the effect of tilling and fertilizing the soil on the transport of carbon, nitrogen and phosphorus compounds. This was done in Cambisol, using a volumetric drainage lysimeter installed in the Concórdia river basin, Lontras - SC. Two actions were analyzed. First was tilling the soil surface layer, which divides the experiment into two periods. The second was to apply mineral fertilizer. We monitored the water runoff and drainage flow. During the experiment, the soil was kept bare. The soil disturbance caused a decrease in the volume of surface runoff and increased the volume drained, with a consequent reduction of about 45 % in evapotranspiration. The average concentrations of chemical species in water runoff are higher than those in the drainage flow. The evolution of concentrations in the runoff water and drainage was modified by tilling the topsoil. However, as regards the loads transported, it is noted that in drainage flow, they were superior to those of runoff and no effect of tilling was observed.

Key-words: water quality, leaching, tillage systems.