

TRANSFERÊNCIA DE FORMAS REATIVAS DE FÓSFORO AOS RECURSOS HÍDRICOS POR ESCOAMENTO SUPERFICIAL ORIGINADAS DE FERTILIZANTE QUÍMICO SOLÚVEL APLICADO SOBRE SOLO

Luciano Gebler¹; Ildegardis Bertol² & José Antônio Saldanha Louzada³

Resumo – Sendo o Brasil um país agrícola e a maioria dos recursos hídricos nacionais tem suas fontes no meio rural, o impacto causado pelo arraste de fosfato solúvel na forma de fósforo reativo total, dissolvido ou em suspensão, pode estar provocando um problema ambiental de difícil resolução, mas até o momento, parece estar sendo subestimado. Este trabalho testou o comportamento destas formas reativas de fósforo em solo e água de enxurrada em uma parcela experimental, demonstrando que o risco de dano aos corpos d'água de superfície, através da eutrofização é possível. Os resultados demonstram que as formas reativas dissolvidas permanecem na água da enxurrada por tempo maior do que o fósforo em suspensão, uma vez que este está ligado aos sedimentos erodidos. Além disso, a maior parte do fósforo é arrastada nos momentos iniciais da formação da enxurrada, decaindo sua presença na água ao longo da chuva. Esta massa inicial de fósforo pode causar danos a distâncias maiores do que o fósforo ligado ao sedimento, que normalmente se deposita à medida que a energia da chuva decresce.

Abstract – Brazil is an agricultural country and most of the national water resources becomes from rural areas. The impact of the drag of soluble phosphate in the form of total reactive phosphorus, dissolved or suspended, may be causing an environmental problem difficult to solve, but so far, seems to be underestimated. This study tested the behavior of these reactive forms of phosphorus in soil and water runoff in an experimental plot, showing that the risk of damage to surface water bodies through eutrophication is possible. The results show that the reactive forms remain dissolved in the runoff water for longer than the suspended form, since it is attached to eroded sediments. Moreover, most of the phosphorus is drawn in the early stages of the formation of runoff, decreasing their presence in the water along the rain. This initial quantity of phosphorus can cause damage at distances greater than the phosphorus bounded to sediment, which typically is deposited as the energy of rain drops.

Palavras-Chave – Contaminação não pontual de bacias; Risco ambiental em bacias rurais.

INTRODUÇÃO

O fósforo natural presente na quase totalidade dos solos do Brasil é considerado de baixa concentração, porém, em áreas rurais, ele pode ser encontrado em concentrações elevadas, como resultado de ações humanas. Isto ocorre de formas diversas, como, por exemplo, resíduos aplicados em solo como “landfarming” (ABNT, 1997; Paula et al., 2006), ou, de causa significativamente

¹ Embrapa Uva e Vinho/EEFT, Rod. BR 285, KM 115. Vacaria-RS. Caixa postal 1513, CEP 95200-000. Fone: (54) 3231-8308. E-mail: lugebler@cnpuv.embrapa.br

² Departamento de Solos da Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC/CAV. Av. Luiz de Camões, 2090. 88520-000. Lages-SC. E-mail: a2ib@cav.udesc.br

³ Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH, Av. Bento Gonçalves, 9500 - CEP 91501-970 Caixa Postal 15029 - Porto Alegre – RS. E-mail: louzada@iph.ufrgs.br

mais importante resultante de fertilizantes agrícolas orgânicos e minerais de alta concentração e solubilidade aplicado nessas áreas (Pote et al., 1996; Whitters et al., 2001).

Os agricultores em geral promovem a reposição de fósforo em níveis maiores do que o suficiente para satisfazer a produção agrícola, pois, é esperada por parte deles a perda de parte do elemento por meio da erosão (Chaves & Oba, 2004; Cunha et al., 2010). Entretanto, as práticas agrícolas e sistemas de manejo atualmente adotadas em geral resultam em sérios problemas principalmente nos recursos hídricos que recebem a carga de erosão.

Em trabalho recente promovido pela indústria de fertilizantes brasileira, chegou-se a conclusão que, na média nacional, somente 54% do fosfato aplicado como fertilizante químico é aproveitado pelas plantas, enquanto que os 46% restantes é perdido para o ambiente, de diversas maneiras (Cunha et al., 2010), dentre elas a erosão.

Para culturas agrícolas anuais como milho ou soja, a exigência de nutriente agrícola pode variar entre 25 a 45 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de fósforo, enquanto que para ocorrer a eutrofização acelerada das águas de rios e lagos, basta quantidades disponíveis variando entre 1 e 2 kg ha⁻¹ ano⁻¹ desse elemento (Hansen et al., 2002). Isto demonstra o alto risco de eutrofização das águas existente para as bacias rurais em geral.

Além disso, as diferentes formas de manejo do solo adotado nas lavouras de cultivo anual, em especial as recentes modernizações de manejo, tais como o cultivo mínimo e a semeadura direta, e as áreas de cultivos perenes como a fruticultura (EPAGRI, 2002), também se constituem em problemas. Isso decorre da ausência de revolvimento do solo nesses sistemas que, aliado à aplicação dos fertilizantes a lanço pelos agricultores, os quais são espalhados uniformemente sobre a área, ou em linhas de cultivo, o que potencializa o seu transporte pelo escoamento superficial.

Bertol et al. (2010), aponta o grande potencial de geração de dano a recursos hídricos, proveniente de formas de fósforo originadas em áreas de lavoura sob semeadura direta, mesmo que nelas não tenham sido adicionados adubos previamente.

Como a diluição do fertilizante recomendado pelos métodos atuais no Sul do Brasil considera a amostra como representante de uma coluna de solo de até 20 cm de profundidade (40 cm em fruticultura) (ROLAS, 2004), espera-se que o nutriente seja misturado no equivalente a 2.000 m³ de solo por hectare, totalmente revolvido para haver mistura completa (Raij, 2004; Rolas, 2004).

Nos casos dos manejos conservacionistas citados para as lavouras e na fruticultura, o fertilizante nunca está totalmente misturado ao solo na camada normalmente explorada pelas raízes. Com isso, torna-se prontamente disponível ao escoamento superficial na superfície do solo ou nas linhas das culturas onde encontra-se concentrado (Lopes et al., 2010).

Levando-se em conta que o fósforo espalhado na superfície do solo irá sofrer as ações descritas na teoria do filme d'água (Zhang et al., 1997), perante a existência de água suficiente para tal, a mistura se dará em uma camada de solo de poucos centímetros (0 a 2,5 cm), conforme sugerido por Pote et al. (1999) e Sharpley et al. (1994). Isto resulta em uma recomendação de adubação de fósforo para uma camada de $2.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de solo aplicada efetivamente em apenas $250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de solo. Nessas condições, o elemento fósforo deixa de ser um nutriente para a planta e passa a ser um contaminante presente no solo.

Por isso, o tipo de fonte de fósforo presente no solo, o manejo de solo, o sistema de cultivo e a forma de cobertura vegetal, são, dentre outros, pontos que podem influenciar a disponibilização das formas reativas de fósforo aos corpos d'água de uma bacia, resultando em diferentes aportes desse elemento e respectivas velocidades de impacto segundo estas variações. O momento de maior risco ambiental, entretanto, é durante a fase de preparo de solo e semeadura das culturas, quando a adubação foi recém aplicada e a cobertura vegetal da área foi removida pelo preparo, deixando a superfície do solo descoberta e exposta.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a transferência das diferentes formas de fósforo reativo, originário da adubação fosfatada em parcelas experimentais de solo descoberto, para os recursos hídricos através de enxurrada produzida sob regime de chuvas intensas simuladas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante os meses de dezembro de 2009 e maio de 2010, na área experimental do Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV-UDESC), na região de Lages-SC. A área situa-se a latitude $27^{\circ}49'$ Sul e longitude $50^{\circ}20'$ Oeste, numa altitude de 937 metros, sobre Cambissolo Húmico alumínico léptico argiloso (EMBRAPA, 2002). O clima foi caracterizado segundo Köppen como Cfb (Peel et al., 2007) e as chuvas se situam na faixa de $1.600 \text{ mm ano}^{-1}$ (Bertol et al., 2004).

Para esta etapa de pesquisa foi escolhida a área mais homogênea possível para a implantação das parcelas, nas quais a declividade média do terreno era de $0,135 \text{ m m}^{-1}$.

Na pesquisa, conduzida em campo, foi utilizado um equipamento simulador de chuva modelo Swanson (Swanson, 1965), com 15 aspersores de chuva VEEJET 80100 em 10 braços rotatórios, distribuídos de forma helicoidal numa espiral concêntrica, abrangendo diâmetro de 15 metros e cobrindo uma área de $176,71 \text{ m}^2$ por chuva simulada.

O aparelho foi ajustado para liberar 64 mm h^{-1} de precipitação planejada de água, proveniente de açude, testada quimicamente para determinar a contribuição de fósforo da fonte. Esta precipitação é condizente com a intensidade máxima de chuvas de uma hora para um período de

retorno de aproximadamente 15 anos nas regiões de Lages e Campos Novos (SC), de acordo com Cardoso et al. (1998).

Cada parcela experimental, denominadas aqui de parcelas 9 e 10, apresentava uma área de 38,5 m², delimitada por placas de zinco galvanizado com as dimensões de 30 cm de altura (cravadas em torno de 10 cm no solo), 11 m lineares no comprimento do declive e 3,5 m lineares na largura da parcela. Na parte inferior parcela foi instalada uma estrutura (calha coletora de enxurrada), também de zinco galvanizado, na forma de funil, que coletava a água de escoamento superficial da parcela em um único ponto, a qual era conduzida por um cano de 75 mm de diâmetro e 6 m de comprimento até o local de coleta, conforme descrito em Bertol et al. (2004). Entre as parcelas foi mantido um espaçamento de 3,5 metros para posicionamento do simulador de chuvas.

A área foi mantida em regime de saturação, a fim de maximizar o efeito da enxurrada no arraste do fósforo, utilizando-se o simulador em uma chuva de 90 minutos, com tempo de escoamento superficial de 50 minutos. Após isto deu-se um intervalo de 10 minutos para o preparo do solo para o experimento.

Assim, antes de reiniciar a chuva (no tempo zero - T0) coletaram-se amostras simples de solo de cada parcela, subdivididas em três partes: uma no terço superior (1 metro abaixo da borda superior da parcela), outra no terço médio (no centro da parcela) e, outra, no terço inferior (1 metro acima da borda inferior da parcela). Após a coleta espalhou-se, a lanço, sem incorporação, uma dosagem de 1,75 kg de superfosfato triplo (42% P₂O₅), equivalente a 210 kg ha⁻¹ de fósforo, segundo a recomendação recorrente em áreas de cultivo de maçã (Rolas, 2004). Após isto, efetuou-se nova coleta de solo com a presença do fertilizante, tendo esta sido considerada como amostra no tempo 1 - T1.

A seguir foi aplicada uma chuva contínua de 50 minutos, coletando-se água de enxurrada a cada 5 minutos. Amostras de solo foram novamente coletadas a cada 10 minutos, nas mesmas regiões de superfície do solo onde coletadas das amostras T0 e T1, sendo essas denominadas de amostras nos seguintes tempos: tempo 2 – T2; tempo 3 – T3; tempo 4 – T4; tempo 5 – T5; e tempo 6 – T6.

O arranjo de posicionamento das duas parcelas experimentais estudadas (retângulos com ponta em triângulo); dos locais de coleta das amostras do solo nas parcelas (pontos vermelhos); dos pluviômetros para conferência do volume de precipitação (pontos verdes); do simulador de chuva (quadrado azul); e dos locais de coleta da enxurrada (seta azul), é apresentado na figura 1.

A água de enxurrada foi coletada em frascos plásticos de boca larga, com volume de 700 mL, e armazenada sob refrigeração a 4,0° Celsius até a execução das análises químicas para o fósforo reativo total (FRT) e dissolvido (FRD). Utilizou-se a medição colorimétrica da reação

química pelo método do ácido ascórbico em amostras com e sem filtração ($\text{Ø} < 0,45 \mu\text{m}$), conforme Phosphorous (1998).

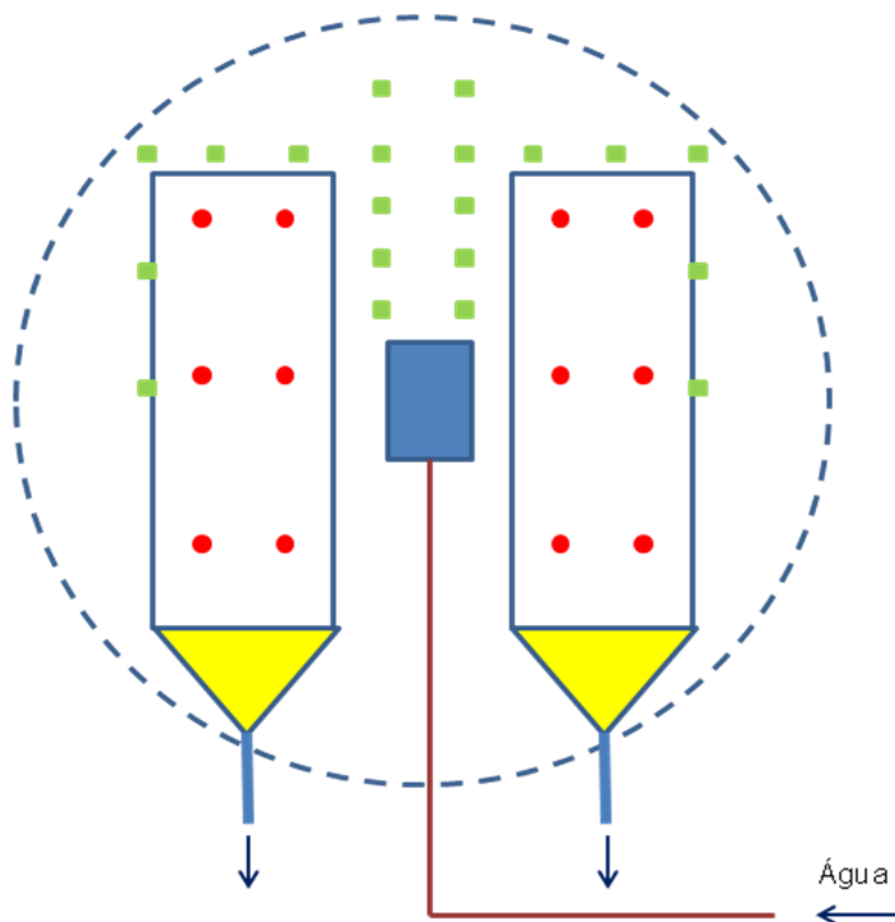


Figura 1. Arranjo espacial das parcelas experimentais, do simulador de chuvas, dos pontos de coleta de amostras do solo e da enxurrada a dos pluviômetros.

O solo das parcelas foi coletado em sacos plásticos de polipropileno, para acondicionar até um quilo de solo, segundo as recomendações da ROLAS (2004). Cada uma das duas parcelas foi considerada como uma repetição. O procedimento da análise do sedimento e do solo foi feito por meio do método do extrator duplo-ácido (Mehlich-1), também conhecido como método do sódio trocável, descrito em Tedesco et al. (1995).

Sobre os resultados das análises de água e de solo obtidos aplicou-se a análise estatística com o “software Assistat[®]” (2010), além da construção de gráficos com o “software Microsoft Office Excel 2007[®]”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este experimento foi importante para estudar a influência antrópica resultante da prática de fertilização realizada no solo sobre áreas de terra não coberta. Com isso, foi possível observar uma

situação de alto risco ambiental decorrente do processo de erosão hídrica pluvial ocorrida no momento posterior à adubação química do solo. Tais dados poderão servir para subsidiar futuros experimentos, uma vez que o fósforo reativo destas áreas havia sido extraído momentos antes através do processo de saturação prévia da área com a chuva anterior ao T0.

Os resultados de fósforo extraível (Quadro 1) são condizentes com dados obtidos em trabalhos anteriores, como os de Shigake et al. (2006; 2007), no que diz respeito ao comportamento temporal de deslocamento do fósforo sobre a superfície do solo. O valor resultante do teste de correlação, obtido pela média dos tempos, foi de 0,855, a um nível de significância de 5%.

Quadro 1. Quantidade de fósforo arrastado durante os momentos de coleta e nas três posições das parcelas

Posição	Parcela 9			Parcela 10		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
..... kg ha ⁻¹						
T0	2,03	0,44	2,99	1,74	3,14	1,47
T1	32,92	42,30	39,38	40,92	41,83	34,48
T2	39,40	36,79	41,50	17,89	36,42	16,39
T3	16,62	12,50	32,34	10,38	5,67	14,52
T4	24,89	14,75	26,79	7,54	11,68	10,79
T5	12,23	7,44	13,65	8,776	12,09	7,67
T6	14,52	13,53	27,86	9,373	6,43	12,65

Observando o comportamento do fósforo do solo, é possível notar o deslocamento do elemento do fertilizante no solo ao longo do declive, de uma maneira linear (Figura 2).

Isto reforça a idéia de que a maior parte do fósforo solúvel é fortemente transportada pela água de enxurrada no início da chuva, na ordem de até três vezes a concentração do elemento presente no momento próximo ao final do evento de chuva. A maneira de arraste das formas reativas de fósforo solúvel da superfície do solo para a água (fósforo reativo dissolvido – FRD; fósforo reativo total – FRT; e fósforo reativo em suspensão – FRS) e dos sedimentos da erosão, ao longo do experimento, expressas na figura 3, são condizentes com Davis et al. (2005).

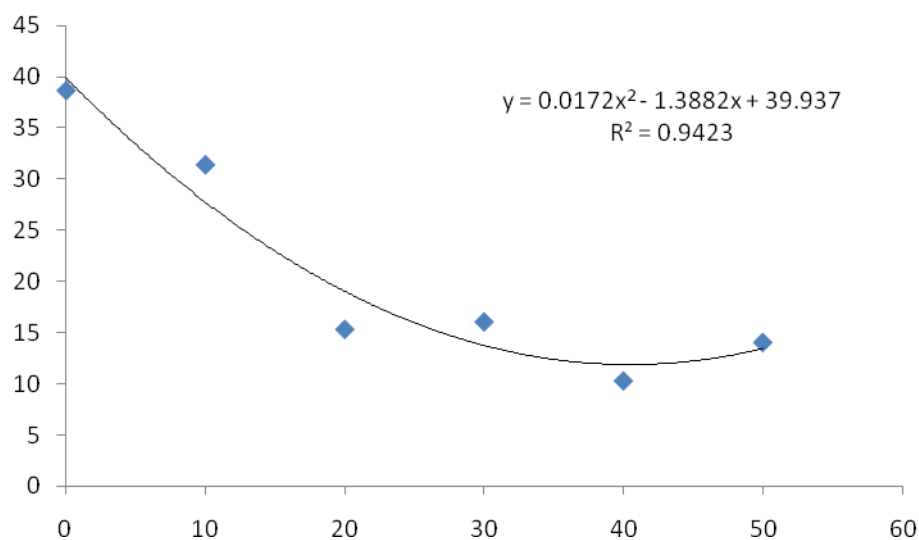


Figura 2. Curvas de arraste de fósforo contido em fertilizante solúvel sobre o solo das parcelas.

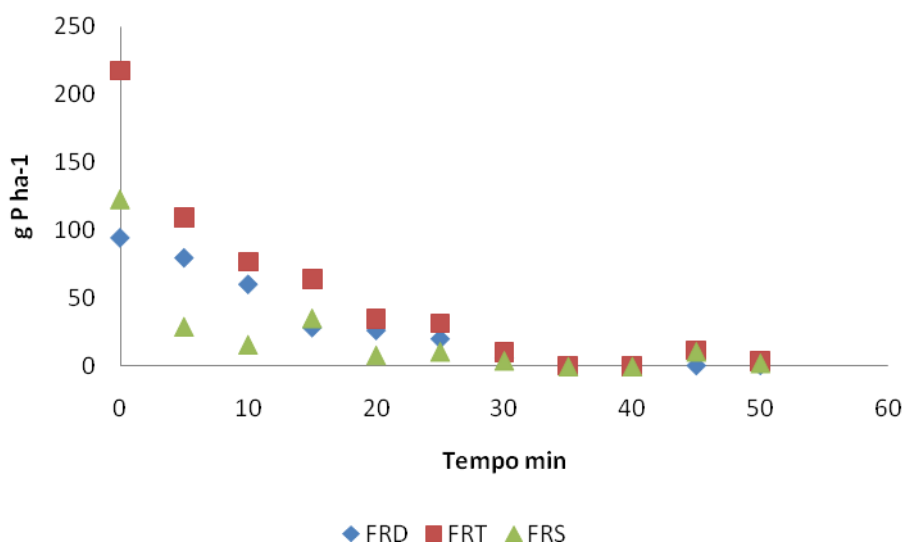


Figura 3. Curvas concentração das formas de P reativo na água da enxurrada

Isto demonstra que, apesar do fósforo estar dissolvido na água da enxurrada, a importância dos sedimentos em transporte na suspensão, como reservatório do elemento, varia ao longo do tempo. Uma vez que os sítios de ligação para o fósforo estejam saturados, o FRD pode ser a forma mais importante oriunda de áreas agrícolas recém adubadas, pois, neste caso, o elemento está na forma prontamente disponível às algas e bactérias aquáticas, causadoras de floração algal (Sharpley et al., 1981; Bundy et al., 2001; Shigake et al., 2007). Já o fósforo reativo suspenso (FRS), uma vez presente no corpo d'água, passa a ser disponibilizado lentamente, podendo causar danos ambientais em médio e longo prazo (Shigake et al., 2006).

A análise das amostras de sedimentos coletados na enxurrada e depositados no fundo dos frascos de coleta demonstrou que a maior parte do fósforo perdido na enxurrada se encontrava nesta fração de solo (Quadro 2).

Quadro 2. Equação das curvas de arraste das principais formas de fósforo reativo na água da enxurrada

Forma de fósforo reativo	Equação da curva	R ²
Fosforo Reativo Total	$y = 0,1331x^2 - 10,007x + 184.74$	0,9341
Fósforo Reativo Dissolvido	$y = 0,0552x^2 - 4,6596x + 97.419$	0,9826
Fósforo Reativo Suspensão	$y = 0,0778x^2 - 5,341x + 87.28$	0,7217

Este fósforo relacionando-se ao fósforo contido naqueles sedimentos depositados a curtas distâncias sobre a superfície do solo nas parcelas experimentais. O comportamento do fósforo nesse material pode ser observado na figura 4.

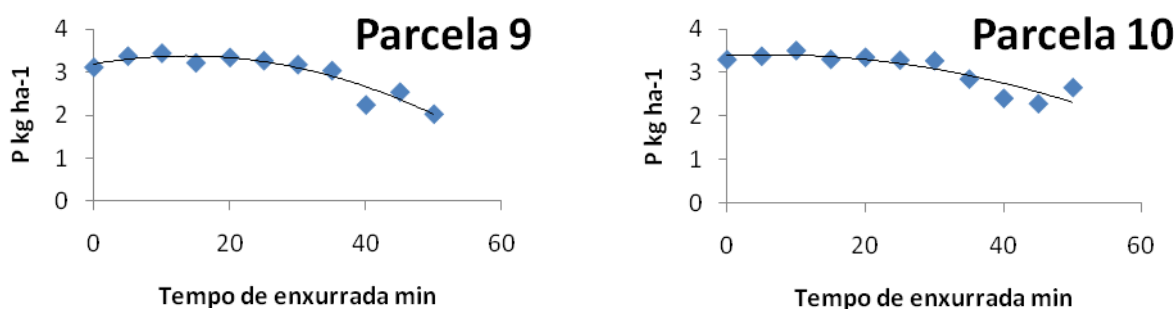


Figura 4. Comportamento do fósforo reativo nos sedimentos de solo depositados pela enxurrada.

Visualizados os principais destinos do fósforo reativo após a ocorrência de uma enxurrada, pode-se considerar que diferentes destinos podem resultar em diferentes níveis de risco no âmbito de uma vertente por onde o escoamento se desenvolve. No caso de haver lavouras situadas muito próximas de curso d'água, o risco principal pode ser decorrente dos sedimentos arrastados pela enxurrada, devido sua alta concentração em fósforo reativo. O contrário ocorre em locais de cultivo mais afastados, onde a espécie de fósforo de maior risco passa a ser o FRD.

Neste caso, os sistemas de manejo conservacionista de solo, tais como a semeadura direta, podem ser uma alternativa viável de controle de poluição, desde que sejam adotadas também práticas mecânicas que retenham fisicamente a enxurrada. Uma alternativa viável para isso é a adoção dos terraços agrícola, construídos em nível, para potencializar a retenção superficial e a infiltração da água no solo (Leite et al., 2004).

O fósforo é adicionado ao solo por motivos econômicos, geralmente sem a prévia preocupação com o reflexo ambiental. Diante disso, é correto afirmar que, ocorrendo uma chuva logo após a aplicação do fertilizante ao solo, pode haver a necessidade do produtor rural ter que repetir a adubação, principalmente se a área ainda não houver sido semeada. Isso pode gerar o risco de que ocorram ondas massivas e subseqüentes de aporte de fósforo em áreas rurais, em determinadas épocas do ano, dependendo do momento de ocorrência da chuva em relação ao momento de realização da operação do manejo e da periodicidade de incidência e da intensidade das chuvas.

CONCLUSÕES

1. O fertilizante químico solúvel é uma grande fonte de fósforo reativo que pode ameaçar os recursos hídricos de mais de uma forma em situações de enxurradas resultantes de chuvas intensas.
2. A maioria do fósforo solúvel é arrastada no período inicial da chuva, resultando em grandes riscos ao ambiente.
3. O fósforo reativo arrastado no período inicial da chuva é inicialmente encontrado adsorvido aos sedimentos que são rapidamente depositados; entretanto, parte do fósforo que fica em suspensão na água da enxurrada por tempo maior pode ser suficiente para causar eutrofização de corpos d'água de baixo fluxo ou de pequeno volume.
4. As formas reativas de fósforo presentes na água de enxurradas podem ser encontradas em suspensão ligadas aos sedimentos menores transportados no início da chuva, e na forma de fósforo dissolvido em água ao longo de todo o tempo de duração da enxurrada; estas diferentes formas de transporte de fósforo resultam em diferentes escalas de risco no tempo e no espaço em uma vertente.

BIBLIOGRAFIA

ASSISTAT. Disponível em: <<http://www.assistat.com>> Acesso em 15 out. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Tratamento do solo: landfarming (NBR 13894): Rio de Janeiro, 1997.

BERTOL, I.; LEITE, D. GUADAGNIN, J. C.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um nitossolo háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada: perdas de nutrientes e carbono orgânico. Revista Bras. Ciên. Solo, n. 28, p. 1045-54, 2004.

BERTOL, J. O. RIZZI, N. E.; FAVARETTO, N.; LANA, M. C. Phosphorus loss by surface runoff in no-till system under mineral and organic fertilization. Sci Agric. vol. 67, n. 1, p. 71 - 77, 2010.

BUNDY, L. G.; ANDRASKI, T. W.; POWELL, J. M. Management practice effects on phosphorus losses in runoff in corn production Systems. Journal of Environ. Qual., n. 30, p. 1822-28, 2001.

CARDOSO, C. O.; ULMANN, M. N.; BERTOL, I. Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e Campos Novos (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n. 22, p. 131-40, 1998.

CHAVES, A. P.; OBA, C. A. I. Críticas ao modelo brasileiro de fertilizantes fosfatados de alta solubilidade. *CETEM*, P.6 - 24, 2004.

CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 130, p. 1-11, 2010.

DAVIS, R. L. ZHANG, H.; SCHROEDER, J. L.; WANG, J. J.; PAYTON, M. E.; ZAZULAK, A. Soil characteristics and phosphorus level effect on phosphorus loss in runoff. *Journal of Environ. Qual.*, v. 34, p. 1640-50, 2005.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação dos solos. Brasília: Embrapa Produção da Informação, p. 150, 2002. 412 p.

EPAGRI. Manual da cultura da macieira. Florianópolis: Epagri, 2002. 743 p.

HANSEN, N. C.; DANIEL, T. C.; SHARPLEY, A. N.; LEMUNYON, J. L. The fate of phosphorus in agricultural systems. *Journal of Soil and Water Conservation*.v. 57, n. 6, p. 408 - 17, 2002.

LEITE, D. BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; SANTOS, E. J.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um nitossolo háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada: perdas de solo e água. *Revista Bras. Ciên. Solo*, n. 28, p. 1033-44, 2004.

LOPES, A. S. WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo. Associação Nacional para Difusão de Adubos, São Paulo, p. 3-37, [2010].

PAULA, A. M. de; SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA, J. O. Biomassa, atividade microbiana e fungos micorrízico sem solo de “landfarming” de resíduos petroquímicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n.2, p. 448-55, 2006.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Update world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hidrology and Earth System Sciences*, n. 11, p. 1633-44, 2007.

PHOSPHOROUS. In: CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. EATON, A. D. *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater*. 20. ed. Washington: American Public Health Association, 1998. p. 123–48.

POTE, D. H.; DANIEL, T. C.; SHARPLEY, A. N.; MOORE JR., P. A.; EDWARDS, D. R.; NICHOLS, D. J. Relating extractable soil phosphorous to phosphorous losses in runoff. *Soil Science Society American Journal*, v. 60, p. 855-59, 1996.

POTE, D. H.; DANIEL, T. C.; NICHOLS, D. J.; SHARPLEY, A. N.; MOORE JR., P. A.; MILLER, D. M.; EDWARDS, D. R. Relationship between phosphorus levels in three ultisols and phosphorous concentrations in runoff. *J. Environ. Qual.*, n. 28, p. 170-5, 1999.

RAIJ, B. V. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. A. Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira, Piracicaba: POTAFÓS, 2004.

REDE OFICIAL DE ANÁLISE DE SOLO E DE TECIDO VEGETAL - ROLAS. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004.

SHARPLEY, A. N.; MENZEL, R. G.; SMITH, S. J.; RHOADS, E. D.; OLNESS, A. E. The sorption of soluble phosphorus by soil material during transport in runoff from cropped and grassed watersheds. *Journal of Environ. Qual.*, v. 10, n. 2, p. 211-15, 1981.

SHARPLEY, A. N.; CHAPRA, S.C.; WEDEPOHL, R.; SIMS, J. T.; DANIEL, T. C.; REDDY, K. R. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: issues and options. *Journal of Environ. Qual.*, n. 23, p. 437-51, 1994.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. I. Source-related transport of phosphorus in surface runoff from soil trays *Journal of Environ. Qual.*, vol. 35, p.2229-35, 2006.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. I. Rainfall intensity and phosphorus source effects on phosphorus transport in surface runoff from soil trays. *Science of Total Environment*. vol. 373, p. 334 - 43, 2007.

SWANSON, N. P. A rotating-boom rainfall simulator. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, v. 8, p. 71-72, 1965.

TEDESCO, M. J.; GIONELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLWESS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos Ufrgs, 1995, p. 20-24.

WHITERS, P. J. A.; CLAY, S. D.; BREEZE, V. G. Phosphorous transfer in runoff following application of fertilizer, manure and sewage sludge. *Journal of Environ. Qual.*, v. 30, p.180-8, 2001.

ZHANG, X. C.; NORTON, D.; NEARING, M. A. Chemical transfer from soil solution to surface runoff. *Water Resources Research*, v. 33, n. 4, p. 809-815, abr. 1997.