

## ESTIMATIVA DA VULNERABILIDADE À PERDA DE FÓSFORO POR DIFERENTES VERSÕES DO MÉTODO DO ÍNDICE DE FÓSFORO

*Jimmy W. Rasche Alvarez<sup>1\*</sup>; Viviane Capoane<sup>2</sup>; André Pellegrini<sup>3</sup>; Gilmar L. Schaefer<sup>4</sup>; Márcia L. Kochem<sup>5</sup>; Mayara Regina Fornari<sup>6</sup>; Danilo Rheinheimer dos Santos<sup>7</sup>*

**Resumo** - A identificação de áreas com potencial de contaminação dos cursos hídricos com fósforo (P) em bacias hidrográficas rurais pode ser realizada através de metodologias simples como o Índice de Fósforo (IP). Três versões desse índice foram testadas numa pequena bacia hidrográfica (PBH) de 79,5 ha localizada no município de Júlio de Castilhos, RS. Os dados reais e estimados evidenciaram perdas de solo e de P muito baixas, o que foi atribuído ao relevo suave à levemente ondulado, ao manejo do solo sob sistema de plantio direto e, ao baixo nível de P disponível nos diferentes usos do solo. As três versões do IP apresentaram variações na estimativa da perda potencial de fósforo. A versão do IP da Alabama apresentou menor distribuição da vulnerabilidade e, a versão de Nebraska a maior distribuição da vulnerabilidade de perda de fósforo.

**Palavras-Chave** – Transferência de P aos sistemas aquáticos, Qualidade da água, degradação do solo.

### TÍTULO EM INGLÊS

#### Abstract -

To identify potential areas which might increase phosphorus (P) addition to water bodies can be assessed by simple methods such as phosphorus index (IP) in rural basins. Three types of this index were tested in a small watershed (SW) 79.5 ha in the district of Júlio de Castillos, RS-Brasil. The actual and estimated data showed soil loss and very low P, which is attributed to the gentle slope to slightly undulating, the soil management under no-tillage system, and the low level of available P in different soil. The three versions of phosphorus index (PI) were estimated which variations in the potential loss of phosphorus. The version of IP Alabama showed lower vulnerability distribution. The version of Nebraska was most vulnerable distribution of the phosphorus loss to total phosphorus.

**Keywords** – Phosphorus transferences in aquatic systems, Water quality, Soil degradation.

### INTRODUÇÃO

As áreas com risco potencial de transferência de P para os cursos hídricos em bacias hidrográficas rurais podem ser mapeadas pela sobreposição de informações através de Sistema de Informação Geográfica (SIG). O uso de um índice designador de áreas de risco denominado de índice de fósforo (IP) foi proposto visando o planejamento e a gestão adequada de bacias

<sup>1\*</sup> Professor, pesquisador e estudante de Doutorado; Universidade Nacional de Asunción; Doutorando do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, Bolsista CNPq, UFSM, RS, CEP 97105-300, jwrasche@yahoo.com.ar

<sup>2</sup> Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná, Bolsista CAPES, Centro Politécnico - Bloco 5, Sala PH17, CEP: 81531-980 Curitiba – Paraná. capoane@gmail.com

<sup>3</sup> Professor, pesquisador e estudante de Doutorado; Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões; Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul; Doutorando do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria CEP 97105-900. andre.pellegrini@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Bolsista de Apoio Técnico a Pesquisa 2A/CNPq, Curso de Agronomia, UFSM, Santa Maria, RS, CEP 97105-900, gilmaraschaefer@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Mestranda do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Bolsista CAPES, UFSM, Sta. Maria, RS, CEP 97105-900, marciakochem@yahoo.com.br

<sup>6</sup> Aluna de graduação em Química, Universidade Federal de Santa Maria; Santa Maria, RS mayaraforanari@gmail.com

<sup>7</sup> Professor Associado, Dpto Solos, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, danilonesaf@gmail.com

hidrográficas rurais. O IP é uma ferramenta que auxilia na identificação de áreas onde as fontes de P coincidem com o elevado risco de sua transferência aos corpos d'água, classificando o risco em escala de muito baixo a excessivo, por meio do cruzamento de fatores de fonte e de transporte. Tem como princípio à conciliação das recomendações técnicas-agronômicas com os aspectos ambientais da bacia hidrográfica e utiliza parâmetros que servem de base para o planejamento de práticas de manejo, uso e conservação do solo e água. Por isso o IP é útil na tomada de decisões, apresentando-se como uma ferramenta a mais para auxiliar os agricultores e técnicos na gestão de áreas agrícolas.

O IP foi proposto inicialmente nos EUA (Lemunyon e Gilbert, 1993) e, desde então, distintas versões foram desenvolvidas considerando as condições locais, modificando ou agregando novos fatores que apresentam influência no movimento de fósforo de áreas agrícolas para os sistemas aquáticos (Sharpley *et al.*, 2001). Atualmente o IP é amplamente utilizado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e está sendo testado em vários países, inclusive no Brasil (Oliveira *et al.*, 2009). A maior parte dos trabalhos considera fatores como áreas preferenciais de formação de escoamento superficial, grau de erosão, distância de um determinado ponto ao curso d'água, a quantidade de fósforo encontrada no solo e, até mesmo a maneira que este elemento foi aplicado no solo (Lemunyon e Gilbert, 1993; Veith *et al.*, 2005). Uma vez identificadas às áreas críticas na bacia hidrográfica, práticas de conservação do solo e da água podem ser aplicadas de maneira mais eficaz (Veith *et al.*, 2005).

O objetivo do presente trabalho foi gerar um mapa de potencial de risco de transferência de fósforo para os cursos hídricos por escoamento superficial em uma pequena bacia hidrográfica rural, baseado em três versões do índice de fósforo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma pequena bacia hidrográfica (PBH) rural (79,5 ha), localizada no assentamento de reforma agrária Alvorada, município de Júlio de Castilhos, RS. A PBH apresenta 1,4% da área com mata ciliar; 1,0% com silvicultura; 13,4 % com pastagem nativa; 15,3 % com áreas úmidas cobertas com pastagem nativa; 50,3% com lavouras; 1,0 % com estrada; 0,4 % com açudes; 2,3% são ocupadas pelas sedes das propriedades. O sistema de produção predominante nas PBH's é baseado no cultivo de soja e milho sob sistema plantio direto (SPD), com o uso de fertilizantes e agrotóxicos no verão, e pastoreio de aveia e azevém pelo gado no inverno. Nas pastagens nativas de áreas úmidas a atividade pecuária é a predominante.

Para obter dados de precipitação na PBH foi instalado um pluviógrafo conectado a um datalogger (SL PNV 2000) que registra os dados a cada 5 minutos. Também foi instalado um pluviômetro na cabeceira desta bacia. Para o monitoramento da vazão e da concentração de sedimento em suspensão (CSS) foi construída uma calha Parshall localizada no exutório da PBH. A calha na PBH possui largura crítica (Lc) de 1,22 m gerando vazão mínima de  $0,013 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e máxima de  $2,68 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Na calha foi instalado um linígrafo de pressão no interior de um poço estabilizador e um turbidímetro, ambos conectados a um datalogger (SLPNV 2000) que registra valores em milivolt, em intervalos de 5 minutos. A altura da lâmina de água e a CSS foram calibradas durante vários eventos pluviométricos. Para a vazão foi aplicada a equação de vazão para calha Parshall, sendo:

$$Q = 2,2 * Lc * Hm^{3/2} \quad (1)$$

Onde Q = vazão  $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ; Lc = largura crítica da calha (m); Hm = altura da lâmina de água que cruza a secção (m).

Durante alguns eventos pluviométricos foram realizadas amostragens de água + sedimento manualmente a cada variação na altura da lâmina de água, sendo o número e a frequência de

amostragem definidos de acordo com as condições de cada evento. Para a coleta utilizou-se um amostrador manual do tipo US DH-48. As amostras foram transportadas ao laboratório de Química e Fertilidade do Solo (LQFS), do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), para serem analisadas. Para determinar o fósforo total as amostras foram submetidas a digestão nitroperclórica e determinadas por colorimetria.

Para estimar o IP foram usadas três versões: o IP Original (Lemunyon e Gilbert, 1993) (Tabela 1), o do Estado do Alabama (NRCS, 2001) (Tabela 2) e o de Nebraska (Eghball e Gilley, 2001) (Tabela 3). Todas as versões são aditivas e foram escolhidas por facilitar a aplicação do IP, com fatores e pesos bem definidos, possibilitando a obtenção do IP a partir dos dados experimentais. A transformação do valor numérico em um índice de risco de contaminação com fósforo (IP) foi determinado de acordo com a Tabela 4.

O fator de perda do solo foi obtido utilizando a equação universal de perda de solo revisada (RUSLE) (Renard *et al.*, 1997), sendo definida pela equação 1:

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (2)$$

A erosividade da chuva ( $R$ ) foi obtida a partir de dados de precipitação, pelo índice  $EI_{30}$  (Wischmeier e Smith, 1978). O mapa de erodibilidade do solo ( $K$ ) foi definido seguindo a metodologia proposta por Denardin *et al.* (1990). O fator topográfico ( $LS$ ) foi determinado utilizando o software ArcGis®, baseado no Modelo Numérico do Terreno (MNT). O MNT (com resolução de 5 x 5 m) foi gerado a partir de um levantamento planialtimétrico com um aparelho de posicionamento cinemático em tempo real (RTK) tomando 4029 pontos na bacia hidrográfica. O interpolador utilizado foi o *Topo to Raster*, que interpola uma superfície hidrologicamente correta a partir de linhas e pontos, no presente trabalho somente pontos, disponível no módulo *Spatial Analyst Tools* do software ArcGis® (2009). O fator manejo de culturas ( $C$ ) foi gerado mediante uma imagem do satélite *QuickBird* de 22/02/2008, sendo, a campo, verificados e corrigidos os resultados obtidos em laboratório. Para o fator  $P$  foram usados valores de acordo com Wischmeier e Smith (1978).

A determinação da perda do solo ( $A$ ) foi realizada pelo cruzamento dos diferentes planos de informações representados pelos fatores da equação na forma de matriz numérica. O plano de informação com o nível de fósforo disponível (Mehlich I - Tedesco *et al.*, 1995) foi feito para a solo da camada 0-10, sendo que foram coletadas 41 amostras distribuídas nos diferentes usos da bacia hidrográfica. A fonte, a forma e a dose de aplicação de  $P$  foram obtidas através de entrevista com os produtores. O valor do IP foi obtido de acordo com cada versão, a partir do cruzamento dos planos de informação referentes aos fatores de transporte e fonte de  $P$ , utilizando o software ArcGis®.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na PBH a quantidade de sedimento em suspensão que passou pela seção controle (calha do exutório) foi de 11,3 t no período de 30 de julho até 31 de dezembro de 2010; 5,1 t em 2011 e 22,3 t em 2012. A PBH possui 79,5 ha, por tanto, foram perdidas 0,064 t de sedimento  $ha^{-1} ano^{-1}$  em 2011 e 0,280 t de sedimento  $ha^{-1} ano^{-1}$  em 2012.

Das 41 amostras de solos da camada 0-10, somente oito amostras apresentaram valores classificados como teor “médio”, o restante foi classificada como “baixa” ou “muito baixa” (CQFS-RS/SC, 2004). Em relação a declividade da PBH, 4,5% da área possui declividade inferior a 1%, 57,0% possui declividade entre 1-5 %; 35,3% declividade entre 5-10%; 3% declividade entre 10-20% e somente 0,13% apresenta declividade superior a 20%. Em relação a perda de solo estimada pela RUSLE a maior parte da erosão ocorre nas áreas de lavouras, sendo maior a erosão nas áreas com maior declividade.

Tabela 1 - Versão do Índice de Fósforo Original, usado na Pensilvânia (Lemunyon e Gilbert, 1993).

Características da área e Práticas de Gestão	Peso	Classificação de Perda de Fósforo (valor)				
		Nulo (0)	Baixo (1)	Médio (2)	Alto (4)	Muito Alto (8)
Teor de P no solo	1,0	não aplicado	baixo	médio	alto	excessivo
Erosão do solo (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	1,5	não aplicado	< 12	12 – 25	25 - 37	> 37
Erosão por Irrigação	1,5	não aplicado	Recuperação da água ou QS (produto da vazão e do declive) <6 para solos muito propensos à erosão ou QS <10 por outros tipos de solos	QS > 10 para solos resistentes à erosão.	QS > 10 para solos erodíveis.	QS > 6 para solos muito erodíveis.
Escoamento Superficial	0,5	insignificante	muito baixa ou baixa	médio	alto	muito alto
Taxa de aplicação de P mineral (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	0,75	não aplicado	1- 34	35 – 100	101- 168	> 168
Método de aplicação de P mineral	0,5	não aplicado	Colocado com plantador mais profundo que 5 cm	Incorporado imediatamente antes do plantio	Incorporado > 3 meses antes do plantio ou aplicado em superfície < 3 meses antes do plantio.	Aplicado em superfície > 3 meses antes do plantio.
Taxa de aplicação de P orgânico (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	1,0	não aplicado	1 – 34	35 – 67	68 – 100	> 100
Método de aplicação de P de origem orgânica	1,0	não aplicado	Injetado mais que 5 cm	Incorporado imediatamente antes do plantio.	Incorporado > 3 meses antes do plantio ou aplicado em superfície < 3 meses antes do plantio.	Aplicado em superfície para pastagem ou aplicado > 3 meses antes do plantio.

Tabela 2 - Versão do Índice de Fósforo do Alabama (NRCS, 2001).

Características da área e Práticas de Gestão	Peso	Classificação de Perda de Fósforo (valor)				
		Muito baixo/ baixo (0)	Médio (1)	Alto (2)	Muito alto (4)	Extremamente alto (8)
Características da fonte						
1 – Valor do teor de P no solo	1	muito baixo / baixo	médio	Alto	Muito alto	Extremamente alto
2 – Taxa de aplicação de P (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	3	não aplicado	< 67	67 – 135	135 - 202	> 202
3 – Método de aplicação de nutrientes.	3	não aplicado	Injetado em profundidade > 5 cm (2)	Incorporado imediatamente ou aplicado com sprinkler	Aplicado em superfície e incorporado < 30 dias.	Aplicado em superfície e não incorporado.
4 – Animais em pastejo	1	nulo	Sem acesso à água e / ou não alimentados em área sensível	Restrito acesso à água e/ou não alimentados em área sensível.	Ilimitado acesso à água e/ou alimentados em área sensível < 100 animais.	Ilimitado acesso à água e/ou alimentados em área sensível > 100 animais.
Características de Transporte						
5 – Sistema de saída subterrânea	3	nulo	Canais preferenciais a pelo menos 9 m (3) da faixa de filtro plantada.	Canais preferenciais em áreas plantadas	< 30 % da área com canais preferenciais em drenagem ou massas de água	> 30 % da área com canais preferenciais em drenagem ou massas de água
6- Taxa de erosão (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	3	< 7	7 - 12	12 – 25	25 - 37	> 37
7 – Grupo Hidrológico do Solo	3	-	Baixo (A)	Moderado (B)	Moderado alto (C)	Alto (D)
8 – Declive (%)	1	< 1%	1 – 3 %	3 – 5 %	5 – 8 %	> 8 %
9 – Aplicação de P da distância d'água (m)	3	> 122	61 - 122	30 – 61	15 - 30	< 15
10 - Largura da faixa de vegetação nativa.	2	≥ 15	9 - 14	6 – 8	3 - 5	< 3
Categorias que recebem água						
11 – Presença de ambientes críticos ou água degradada.	3	área não pertence a microbacia	> 122	61 – 122	30 - 61	< 30

Tabela 3 - Versão do Índice de Fósforo de Nebraska (Eghball e Gilley, 2001).

Características de campo e Práticas de Gestão	Peso	Classificação de Perda de Fósforo (valor)				
		Nulo (0)	Baixo (0,5)	Médio (1)	Alto (1,5)	Muito Alto (2)
Erosão ( $t\ ha^{-1}ano^{-1}$ )	4,0	Não aplicado	0 – 2,5	2,6 – 5,0	5,1 – 10,0	> 10,0
Escoamento Superficial	0,5	Nulo	baixo	Médio	Alto	Muito alto
Teor de P no solo ( $mg\ dm^{-3}$ )	0,5	Não aplicado	< 30	30 – 75	76 - 125	> 125
Taxa de aplicação de $P_2O_5$ mineral ( $kg\ ha^{-1}ano^{-1}$ )	0,5	nulo	<15	15 – 40	41 - 65	> 65
Método de aplicação de P mineral	1,0	não aplicado	Colocado com plantadeira mais de 0,05m.	Incorporado imediatamente antes do plantio	Incorporado > 3 meses antes do plantio ou aplicado em superfície < 3 meses antes do plantio.	Aplicado em superfície > 3 meses antes do plantio.
Taxa de aplicação de $P_2O_5$ orgânico ( $kg\ ha^{-1}ano^{-1}$ )	0,5	nulo	< 30	30 – 55	56 - 80	> 80
Método de aplicação de P orgânico	1,0	não aplicado	Injetado mais que 0,05m.	Incorporado imediatamente antes do plantio.	Incorporado > 3 meses antes do plantio ou aplicado em superfície < 3 meses antes do plantio.	Aplicado em superfície de pastagem ou > 3 meses antes do plantio .

Tabela 4 - Interpretação do risco de perda de fósforo para cada versão de Índice de Fósforo.

Vulnerabilidade	IP Pensilvânia	IP Alabama	IP Nebraska
Muito baixo	-----	-----	-----
Baixo	< 8	< 65	<3
Médio	8 – 14	66 – 75	3 – 6,5
Alto	15 – 32	76 – 85	6,6 – 10
Muito alto	> 32	86 – 95	> 10
Extremamente alto	-----	> 96	-----

Considerando 10 eventos pluviométricos monitorados entre 2011 e 2012 observa-se que em seis eventos o valor de P total médio durante o evento ficou abaixo de  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$  enquadrando-se na Classe I da Resolução nº 357 do CONAMA de 2005. E quando considerado o maior valor de P total durante o evento, em apenas seis dos 10 eventos o valor de P total foi superior a  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ , o que demonstra que na PBH não ocorre perdas consideráveis de P, mesmo durante os eventos pluviométricos. Quando não existe entrada de água no curso hídrico via escoamento superficial a presença de P se apresenta abaixo do nível de detecção, conforme a metodologia utilizada neste trabalho. A pouca perda de P ocorre porque existe baixa taxa de aplicação de fertilizante fosfatado nas lavouras, e falta de fertilização das pastagens, e embora existam lavouras com erosão moderada e alta, grande parte do solo erodido fica depositado nas áreas úmidas e não há entrada de grandes quantidades de sedimento e de P ao curso hídrico. Quando há entrada de P para o sistema aquático, este se dá principalmente durante os eventos de maior intensidade.

As três versões do Índice de Fósforo utilizados na PBH apresentaram variações na estimação da vulnerabilidade da perda potencial de P (Tabela 5), sendo que a versão do Alabama (NRCS, 2001) foi a que estimou a maior área com baixa vulnerabilidade de perda potencial de P (98,4%) de acordo ao IP. Esta versão conseguiu discriminar apenas as áreas agrícolas próximas aos cursos hídricos, onde as mesmas não se encontram protegidas por vegetação nativa. Os dados obtidos de perda de P se adequam a o estimado pela versão do Alabama.

Tabela 5 - Porcentagem da superfície classificado de acordo a sua vulnerabilidade á perda de fósforo de acordo ao Índice de fósforo de cada versão.

Vulnerabilidade	Pensilvânia (Lemunyon e Gilbert, 1993)	Alabama (NRCS, 2001)	Nebraska (Eghball e Gilley, 2001)
	----- % -----		
Muito baixa	-----	-----	-----
Baixa	41,4	98,4	23,7
Média	58,6	0,9	16,7
Alta	0	0,3	57,4
Muito alta	0	0,3	2,2
Extremamente alta	-----	0	-----

A versão da Pensilvânia (Lemunyon e Gilbert, 1993) exibiu variação intermediária, entre a versão do Alabama e do Nebraska, estimando que 41,4% da área da PBH apresentam baixa potencialidade de perda de P e 58,6% tem potencialidade media de perda de P (Tabela 5). Esta versão de IP estimou que as áreas ocupadas por pastagem e por banhados, que geralmente se encontram próximo aos cursos hídricos apresentam baixa potencialidade de perda de P, e as áreas agrícolas tem potencialidade media de perda de P. A versão da Pênsilvania dá peso similar a perda de solo e água e aos fatores relacionados ao fósforo, portanto, em áreas com maior erosão, mas com baixo teor e nível de aplicação de fósforo não existe grande potencial de perda de P.

A versão de Nebraska (Eghball e Gilley, 2001) foi a que apresentou maior variabilidade entre as três versões estudadas. Esta versão estimou que 59,6% da área da PBH apresenta vulnerabilidade “Alta” ou “Muito Alta” de perda potencial de P; 16,7 % vulnerabilidade média a perda de P e apenas 23% da área é classificada como de “Baixa” vulnerabilidade á perda de fósforo. A maior parte da área ocupada por lavoura foi enquadrada como de alta vulnerabilidade e algumas áreas de lavoura com declividade maior a 10% foi classificada como de vulnerabilidade “Muito alta”.

A enorme quantidade de área classificada como de “alta” ou “muita alta” vulnerabilidade de perda potencial de P da versão de Nebraska ocorre porque a mesma proporciona muito peso à erosão do solo, além de ser bastante exigente com a quantidade máxima de solo que se pode perder por superfície por ano, comparada com as outras versões, onde as áreas com perda de solo superior a  $10 \text{ ton ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  obtém índice 8, o que leva a classificar o mesmo como de vulnerabilidade “alta”, sem mesmo considerar os demais parâmetros como o teor de fósforo no solo ou a forma e taxa de aplicação (Tabela 3). Embora esta versão não se correlacione com os dados reais de perda de P e sedimento na bacia hidrográfica, de certo modo, ela permitiria saber o que ocorreria se existissem solos com altos teores de P, já que se baseia no princípio que se tiver erosão o P aplicado na camada superficial terá grande possibilidade de ser arrastado pelo processo erosivo terminando finalmente nos cursos hídricos.

## CONCLUSÃO

A versão do índice de fósforo do Alabama foi a que melhor estimou a vulnerabilidade da perda potencial de P na pequena bacia hidrográfica, no entanto a versão do IP de Nebraska poderia prever o que aconteceria, caso se aplicasse grandes quantidades de fósforo nas áreas agrícolas da pequena bacia hidrográfica.

## RÊFERÊNCIAS

- DENARDIN, J. E. (1990). Erodibilidade do solo estimada através de parâmetros físicos e químicos. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Piracicaba: ESALQ/USP. 113 p.
- EGHBALL, B.; GILLEY, J. E. (2001). Phosphorus risk assessment index evaluation using runoff measurements. *Journal of Soil & Water Conservation* 56(3), pp. 202-206.
- LEMUNYON, J. L.; GILBERT, R. G. (1993). The concept and need for a phosphorus assessment tool. *Journal of Production Agriculture*, 6, pp.483-486.
- NRCS – Natural Resources Conservation Service. (2001). Phosphorus index for Alabama: A planning tool to assess and manage P movement. Auburn: U.S. Department of Agriculture – Natural Resources Conservation Service. *Agronomy Technical*. 5p. Note AL-72
- OLIVEIRA, M. F. M.; FAVARETTO, N.; ROLOFF, G.; FERNANDES, C. V. S. (2009). Estimativa do potencial de perda de fósforo através da metodologia “P Index”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.14, n.3, pp.267–273.
- SHARPLEY, A. N.; MCDOWELL, R. W.; WELD, J. L.; KLEINMAN, P. J. A. (2001). Assessing Site Vulnerability to Phosphorus Loss in an Agricultural Watershed. *Journal of Environmental Quality*, 30, pp. 2026–2036.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.F. (1995). Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia, 174p (*Boletim Técnico de Solos*, 5).
- TUCCI, E.M.C. (2002). *Hidrologia: ciência e aplicação*. – 3. ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS/ ABRH.
- VEITH, T. L.; SHARPLEY, A. N.; WELD, J. L. (2005). Comparison of measured and simulated phosphorus losses with indexed site vulnerability. *Transactions of the ASAE*, 28(2), pp. 557-565.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*. USDA Agriculture Handbook. U.S. Washington, DC: Government Printing Office, 58p.