

Desenvolvimento e Aplicação de um Índice de Fósforo para a Bacia Hidrográfica das Sete Cidades, na Ilha de São Miguel

Development and application of a P Index for Sete Cidades watershed in São Miguel Island

C. Neves¹, J. Pinheiro, L. Matos & J. Madruga

RESUMO

A Bacia Hidrográfica da Lagoa das Sete Cidades localiza-se no maciço com o mesmo nome, na região Nordeste da Ilha de São Miguel. Possui uma área de 445,5 ha e é constituída por duas sub-unidades, a Lagoa Azul (357,3 ha) e a Lagoa Verde (88,2 ha). A maior parte da bacia hidrográfica é ocupada principalmente por pastagens permanentes. Devido a problemas ligados ao uso agrícola desta bacia (carga animal e uso excessivo de adubo) a sua situação trófica tem vindo gradualmente a deteriorar-se. O índice de P (Lemunyon & Gilbert, 1993) foi criado para identificar especificamente as áreas onde é maior o risco de perda de fósforo do solo para as águas superficiais numa bacia hidrográfica. A sua aplicação permite referenciar no terreno as fontes difusas de poluição, uma vez que se baseia na avaliação por parcela dos factores (de origem e de transporte) considerados relevantes para a mobilização de nutrientes para a massa de água. Neste trabalho foram considerados como factores de *origem* os valores de P Olsen e as quantidades de adubo aplicadas ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e como factores de *transporte* o

potencial de escoamento (estimado a partir do declive), distância da parcela à linha de água e distância da parcela à massa de água (m). Com a adopção desta metodologia pretendeu-se identificar possíveis áreas de risco de perda de P e assim contribuir para o desenvolvimento de programas e/ou de planos de gestão adequados à bacia hidrográfica das Sete Cidades.

ABSTRACT

The Sete Cidades catchment is located in the geological site with the same name, in the Northeast of the São Miguel Island. It has an 444,5 ha area and is formed by two sub units, the Blue Lagoon (357,3 ha) and the Green Lagoon (88,2 ha). The most part of the watershed is occupied by permanent pastures. Due to agriculture land use (animal pressure and excessive fertilization), its trophic condition is increasingly deteriorating. The P index was created by Lemunyon & Gilbert (1993) to identify the areas which most contributes to phosphorus losses from soil to the water bodies. Its application helps locating diffuse polluting sources, since it is based on the evaluation

¹ Departamento de Ciências Agrárias da Universidade dos Açores, Terra-Chã, 9701-158 Angra do Heroísmo, e-mail: candidaneves@gmail.com

on a parcel basis of source and transport factors considered as relevant to the nutrient mobilization to the water mass. In this study are considered as *source* factors the P Olsen and applied fertilizer ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$), and as *transport* factors the leaching potential (as estimated from slope), distance from field to the water line and from field to the water body (m). With this methodology we intended to identify the risk of P loss areas and thus contribute to the development of programs and/or management plans addressed to the Sete Cidades watershed.

INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento da consciência ambiental por parte da nossa sociedade, são necessárias novas perspectivas na resolução dos problemas ambientais existentes. O índice de Fósforo (P) é uma ferramenta que tem como principal objecto de estudo o P presente no solo em parcelas situadas em bacias hidrográficas ou na proximidade de massas de água sensíveis, permitindo avaliar o risco de transporte de P de parcelas agrícolas para a massa de água. Numa bacia hidrográfica a exportação do P provém de áreas muitas vezes pequenas em relação à área total embora hidrologicamente bem definidas, em particular quando a formação do escoamento superficial ocorre em solos com alto teor de P (Gburek & Sharpley, 1998; Pionke *et al.*, 2000). As zonas de maior risco estão associadas a áreas onde coincidem factores de *origem* elevados (teores de P no solo, aplicação de adubos e/ou estrumes) com factores fisiográficos e de localização favoráveis ao *transporte* tais como erosão, declive e distância à massa de água (Gburek *et al.*, 2000).

O conceito do índice de P foi originalmente proposto por Lemunyon & Gilbert (1993), sendo criado para identificar especificamente as áreas que mais contribuem para a perda de P do solo para as águas superficiais numa bacia hidrográfica, pois permite o estudo individual parcela a parcela e além disso pode ser integrado em estruturas de gestão agrícola já existentes para fornecer conselhos específicos sendo dotado de flexibilidade para gerar opções práticas para minimizar a perda de P (Heathwaite *et al.*, 2003).

Até à data, o índice tem sido mais aplicado nos Estados Unidos da América, onde é utilizado como uma ferramenta de planeamento para a gestão agronómica de nutrientes em explorações agrícolas. Alguns países europeus também têm adoptado esta abordagem (Djodjik *et al.*, 2002; Tuhkanen *et al.*, 2001). Existem diversos critérios de aplicação do índice de P (Sharpley *et al.*, 2003), uma vez que os diversos parâmetros têm sido objecto de adaptações decorrentes das técnicas agrícolas as quais diferem de zona para zona e também devido às características intrínsecas do local sendo portanto cada critério específico da zona para a qual foi formulado.

A lagoa da Sete Cidades apresenta graves problemas relacionados com a eutrofização devido principalmente à actividade agrícola que se desenvolve nos terrenos circundantes. Para a formulação do Índice de P foram estudados os factores relativos ao teor de P no solo e às quantidades aplicadas, definidos como factores de *origem* e alguns dos factores da paisagem que condicionam o *transporte* de P, nomeadamente a distância combinada das parcelas às linhas de escoamento e à massa de água e o declive das parcelas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A aplicação do índice de P (Lemunyon e Gilbert, 1993) à bacia das Sete Cidades que aqui se apresenta foi efectuada com base em dados relativos a 51 parcelas de pastagem localizadas na bacia hidrográfica das Sete Cidades (Figura 1). Foram realizados inquéritos aos proprietários para se apurar os tipos e quantidades de fertilizantes aplicados por hectare anualmente.

A aplicação anual de fertilizantes fosfatados é bastante variável nas parcelas em estudo. Na Figura 2, apresenta-se os valores das adubações fosfatadas por hectare e ano, sendo o valor médio de aproximadamente 286 kg P₂O₅.

O P solúvel no solo foi determinado pelo método de Olsen (Olsen *et al.*, 1954) com base numa amostragem levada a cabo em

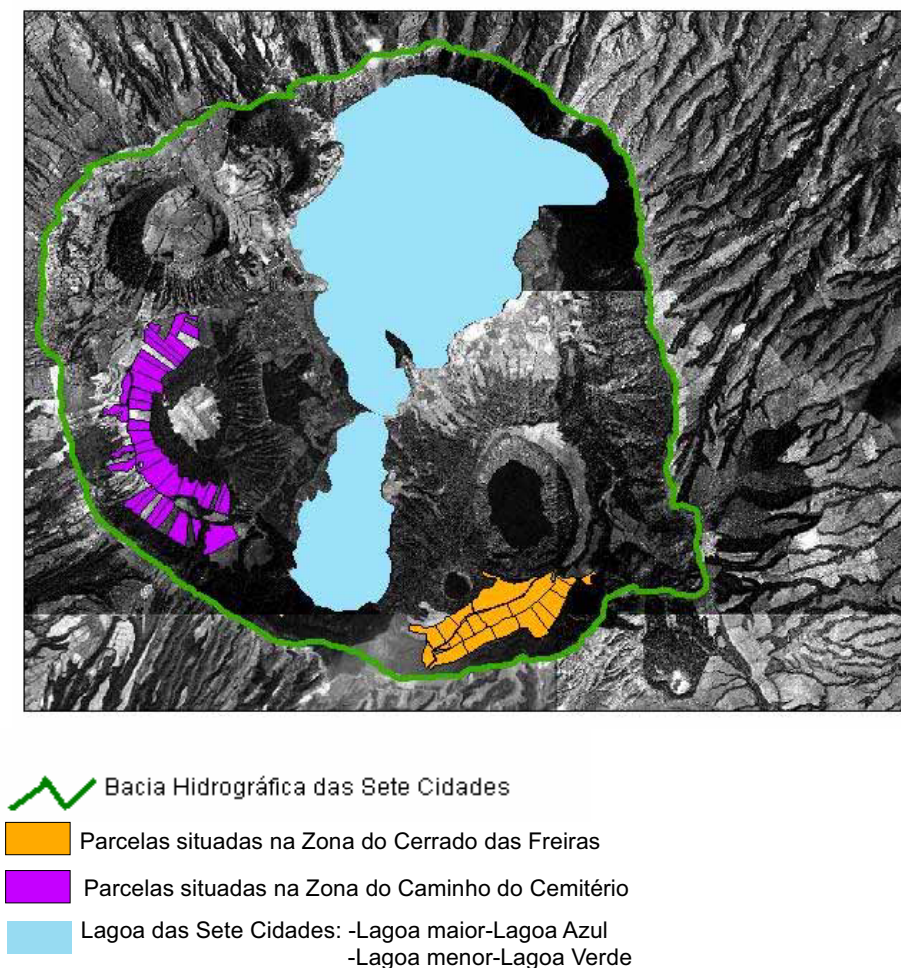


Figura 1 - Localização das parcelas em estudo na bacia hidrográfica das Sete Cidades

todas as parcelas a partir de amostras compostas (20-25 sub-amostras até aos 10-12 cm de profundidade). Os teores de P Olsen nas parcelas são apresentados na Figura 3, sendo o valor médio de aproximadamente 85 mg P kg^{-1} .

Os factores de *origem* e de *transporte* adoptados e respectiva ponderação para aplicação do índice de P ao caso das Sete

Cidades estão descritos no Quadro 1. A ponderação atribuída a cada classe de valores dos parâmetros considerados tem por base um critério empírico baseado na literatura (Heathwaite *et al.*, 2003; Sharpley *et al.*, 2003), já que não foi ainda possível levar a cabo um processo de calibração dos parâmetros adoptados com base em dados experimentais.

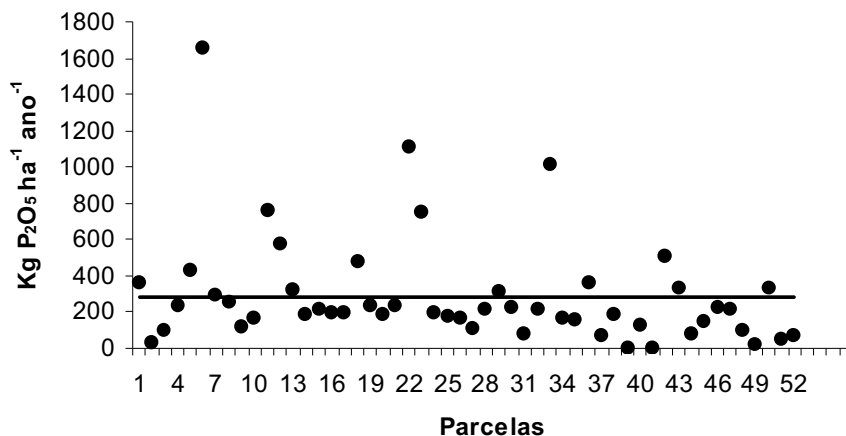


Figura 2 - Quantidades de fósforo (P_2O_5) aplicadas por hectare e ano nas parcelas em estudo. A linha horizontal na figura representa a média das aplicações anuais efectuadas no conjunto das parcelas

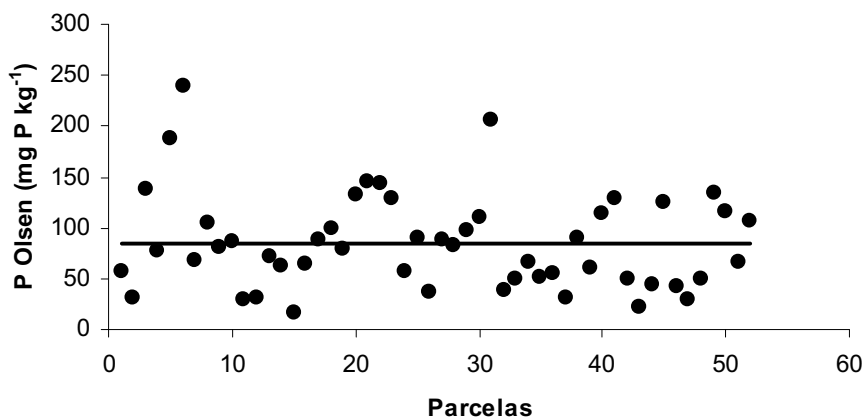


Figura 3 - Teores de P Olsen das parcelas em estudo. A linha horizontal na figura representa a média dos teores de P no conjunto das parcelas

QUADRO 1 - Factores de origem e transporte responsáveis pelas potenciais perdas de P das parcelas para a massa de água

Factores de Origem		
1. Quantidade de adubo (kg P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹)		
Classe de valores	Peso	
<20	1	Baixo
21-40	2	Médio
41-60	4	Alto
> 60	8	Muito Alto
2. P no solo (mg P kg⁻¹)		
Classe de valores	Peso	
<15	1	Muito Baixo
15-30	2	Baixo
31-60	4	Médio
61-100	8	Alto
>100	16	Muito Alto
Factores de Transporte		
3. Distância à linha de escoamento (m)		
Classe de valores	Peso	
> 150	1	Baixo
150-100	2	Médio
50-100	4	Alto
<50	8	Muito Alto
4. Distância à massa de água (m)		
Classe de valores	Peso	
>500	0,5	Baixo
500-250	0,75	Médio
<250	1	Alto
5. Potencial de escoamento (declive %)		
Classe de valores	Peso	
0-3	1	Baixo
3-6	2	Médio
6-9	4	Alto
> 9	8	Muito Alto

A partir da fórmula [1] é possível agregar os valores ponderais atribuídos a cada um dos factores de acordo com o Quadro 1, obtendo-se assim o valor do índice de P o qual representa uma avaliação qualitativa do potencial de transporte referente à parcela que é então classificada de acordo com o Quadro 2.

Fórmula do Cálculo do Índice de Fósforo

$$IP = 1+2+3+ (4x5) \quad [1]$$

QUADRO 2 – Classificação atribuída às parcelas de acordo com o índice de P

Risco de transporte de P	
Valor de IP	Classificação
<6	Muito Baixo
6-12	Baixo
12-20	Médio
>20	Alto

O potencial de transporte de P da parcela é classificado como sendo:

Muito baixo – O efeito do transporte de P desta parcela é praticamente nulo não apresentando riscos para a massa de água.

Baixo – O efeito do transporte de P desta parcela não tem nenhum impacto significativo na massa de água, mas convém que exista uma monitorização regular.

Médio – O efeito do transporte de P tem impacto negativo na massa de água. Indica a necessidade de se utilizem técnicas de adubação e de manejo controladas.

Alto – O efeito do transporte de P apresenta um grau de severidade elevado para a massa de água. Determina a necessidade de suspensão de adubações e da adopção de práticas agrícolas compatíveis com a diminuição das cargas de P transportadas para a massa de água.

O presente estudo foi desenvolvido com base no suporte informático do programa ArcView GIS 3.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A perda de P é influenciada pela taxa e pelo método de aplicação do adubo bem como pela sua formulação química, pela quantidade/intensidade e intervalo de tempo dos eventos pluviométricos após a aplicação e pelo tipo de coberto vegetal (Sharpley & Rekolainen, 1997). Uma vez que na

bacia das Sete Cidades predominam pastagens de tipo permanente, a aplicação de adubos é feita superficialmente. Na Figura 4 estão representados os intervalos dos valores da adubação fosfatada referentes a cada parcela ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) conforme os resultados do inquérito aos agricultores. A partir destes intervalos e com base no Quadro 1 é então possível atribuir um determinado peso a cada parcela em função da quantidade de adubo aplicada anualmente. No caso presente o peso é de 8 para a maioria das parcelas uma vez que quase todas se situam no intervalo de aplicação de adubo superior a $60 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Diversos estudos têm demonstrado que o risco de concentrações elevadas no escoamento

superficial está relacionado com a concentração de P na camada superficial do solo (Pote *et al.*, 1999; Lory *et al.*, 2001). O P no solo foi determinado pelo método de Olsen, utilizado nas análises de terras para diagnóstico agrônomico da fertilidade, correspondendo portanto ao P facilmente solúvel nos 10-12 cm superficiais onde foi efectuada a colheita da amostra composta. Na Figura 5 estão representadas para cada uma das parcelas as classes de valores de P no solo. Como se pode verificar a maioria das parcelas possuem valores de P no solo altos e muito altos, superiores a 60 mg P kg^{-1} .

A probabilidade do escoamento superficial gerado numa parcela atingir a massa de água está dependente de diversas

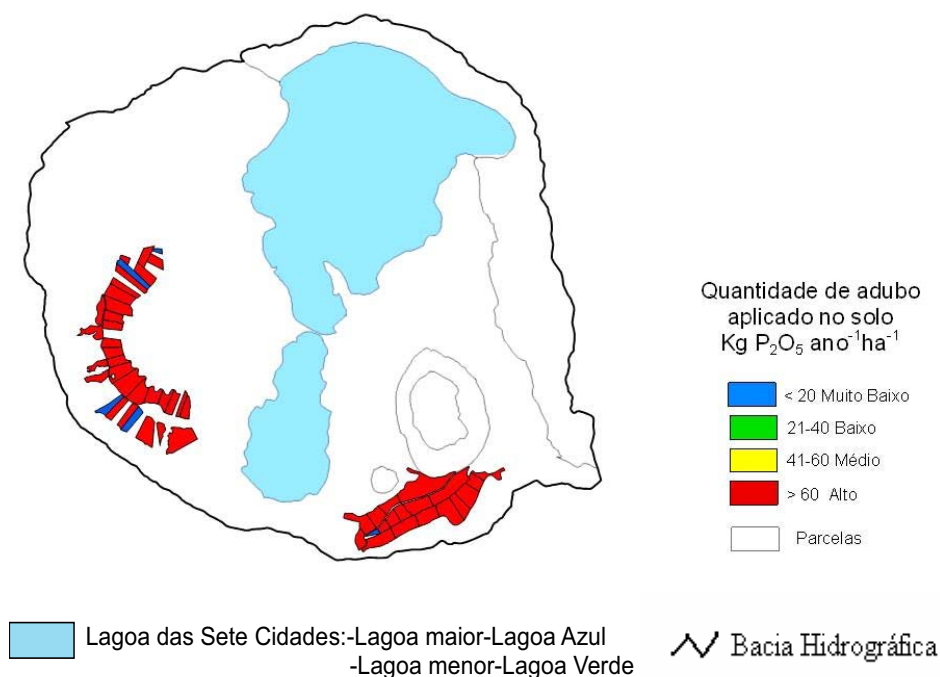


Figura 4 - Quantidade de P_2O_5 aplicada por hectare anualmente nas parcelas estudadas

características da paisagem mormente a distância entre a parcela e a massa de água. A distância enquanto factor de *transporte* constitui pois um critério de ponderação do risco do escoamento superficial atingir a massa de água através de descarga directa ou, pelo contrário, de ser atenuado pela distância a que a parcela se localiza da lagoa. Para esse efeito, considerámos o efeito da distância média da parcela à linha de escoamento superficial mais próxima conjugada com a distância à massa de água (factores 3 e 4 do Quadro 1), sendo que o peso atribuído à distância à linha de escoamento (factor 3) é afectado pela distância à massa de água (factor 4) a qual exerce um efeito de atenuação caso seja superior a 250 m.

Os intervalos de distância das parcelas

às linhas de água que constituem a rede de drenagem da bacia hidrográfica estão ilustrados na Figura 6 com base na qual é possível atribuir a respectiva ponderação de acordo com o Quadro 1. Como se pode verificar, a maior parte das parcelas está situada, pelo menos parcialmente, a uma distância inferior a 50 m de uma das linhas de escoamento pertencente à rede de drenagem da bacia.

Por sua vez, a distância das parcelas à massa de água é definida em três níveis (Figura 7) cujos pesos assumem valores inferiores à unidade quando a distância é superior a 250 m, introduzindo-se assim na fórmula de cálculo do índice do P o efeito atenuador da distância da parcela à massa de água quanto ao risco de transporte de P.

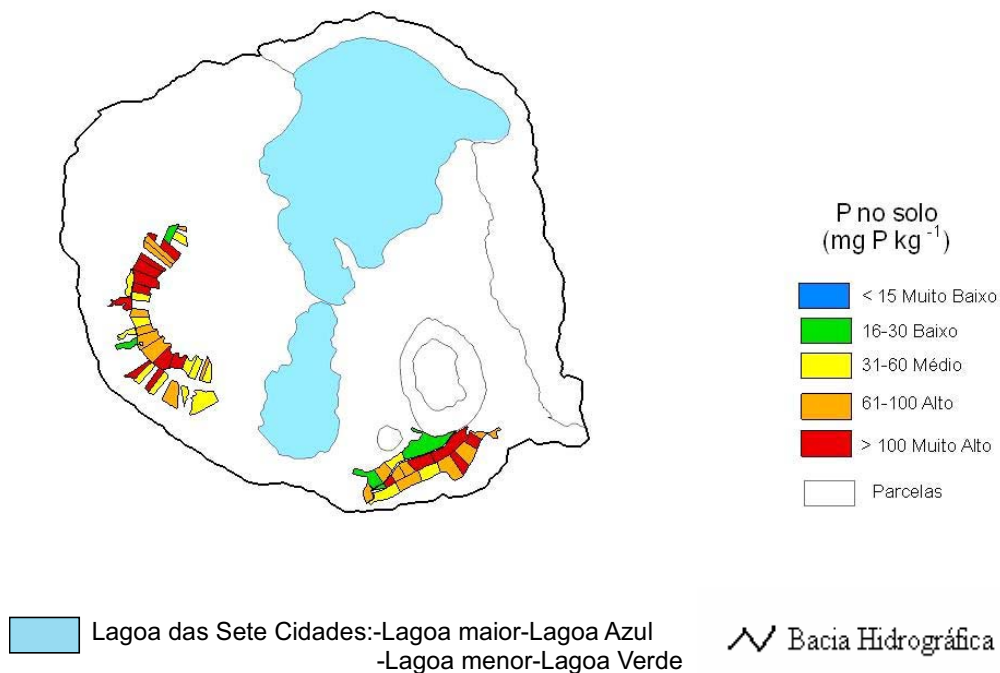


Figura 5 - Teores de P (mg kg⁻¹) no solo das parcelas estudadas

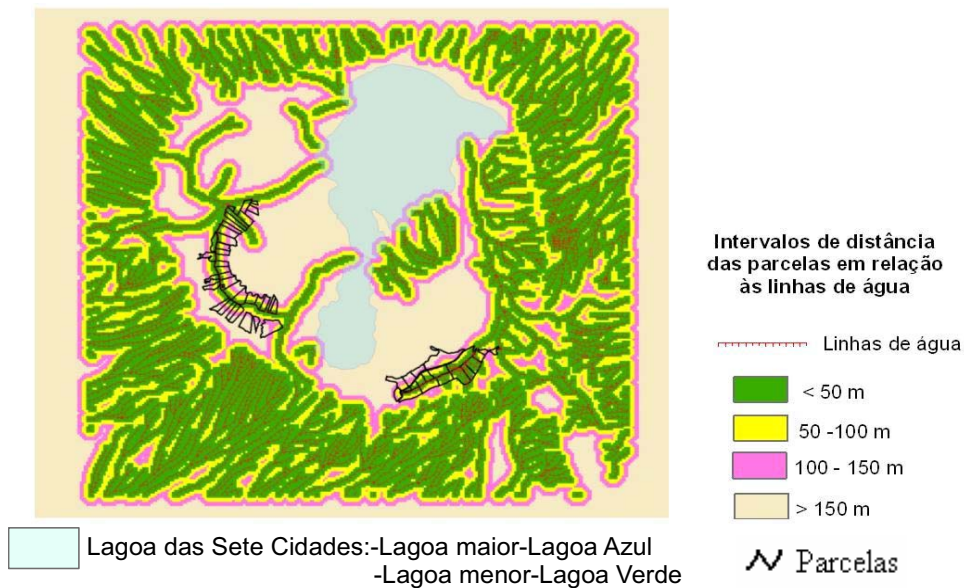


Figura 6 - Intervalos de distância das parcelas em relação às linhas de água

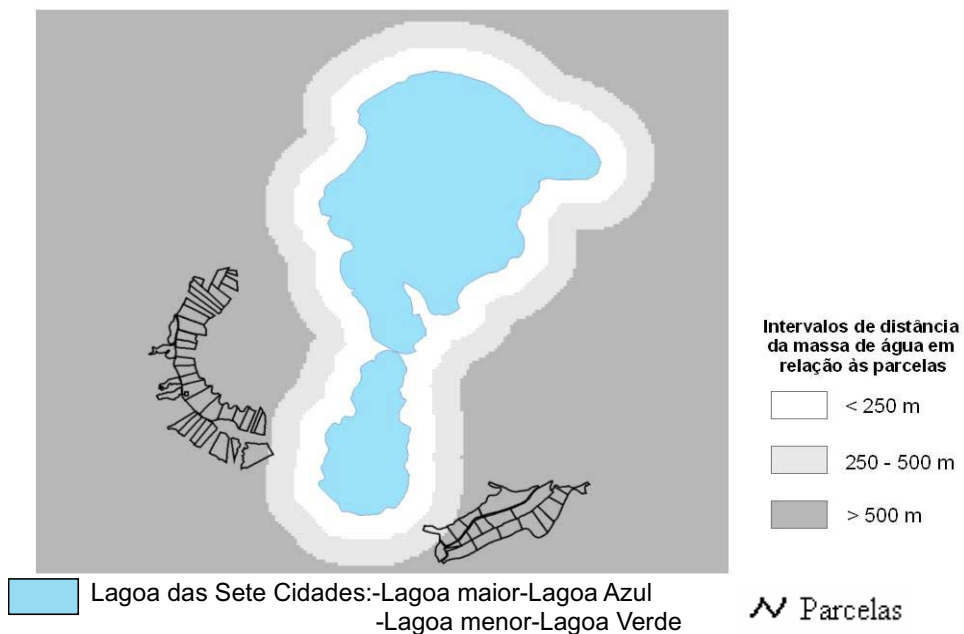


Figura 7 - Intervalos de distância da massa de água em relação às parcelas

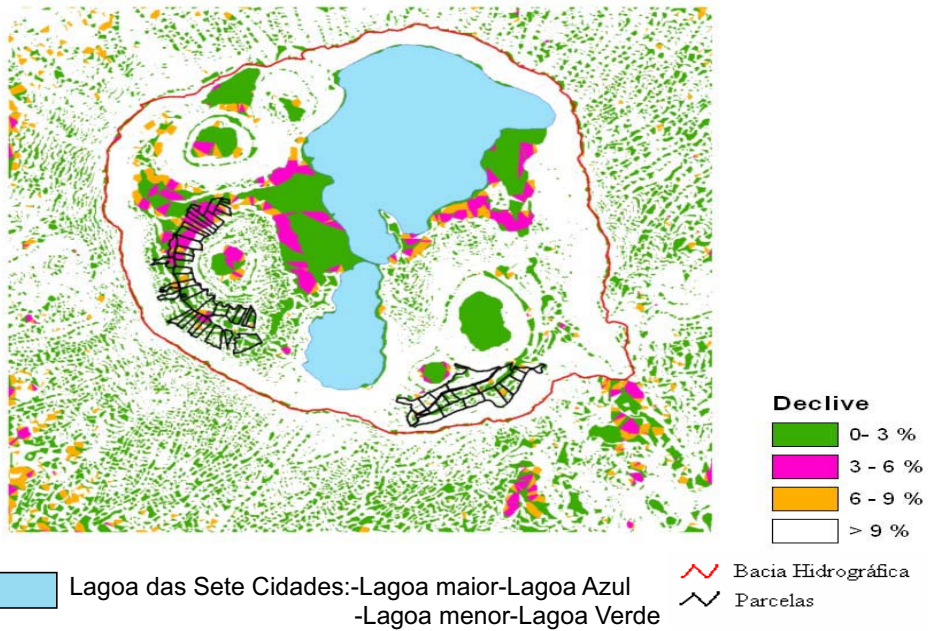


Figura 8 - Intervalos de declive da bacia hidrográfica das Sete Cidades

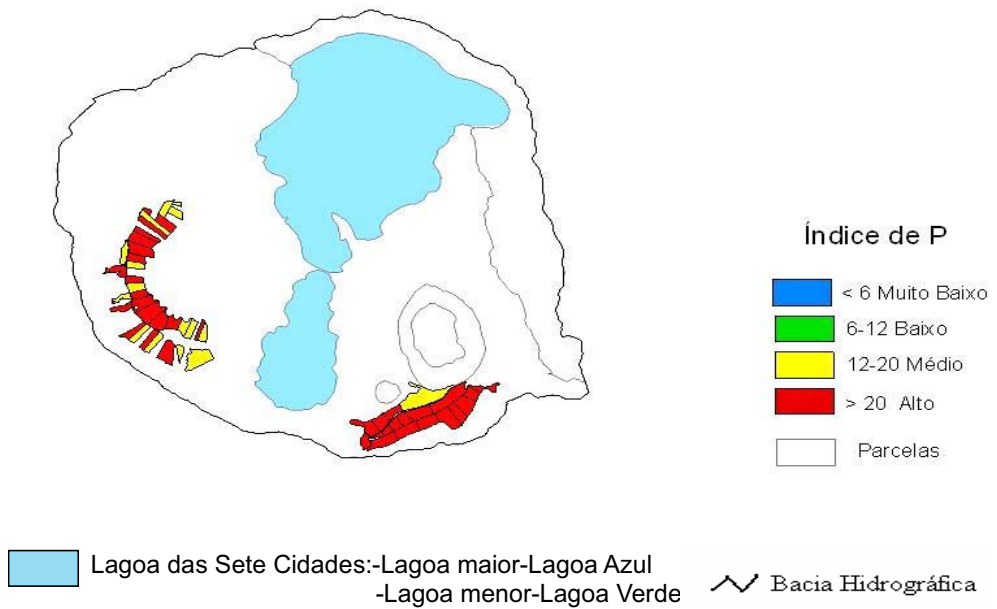


Figura 9 - Índice de P das parcelas em estudo da bacia hidrográfica das Sete Cidades

O declive desempenha um papel importante no transporte de nutrientes na medida em que condiciona parcialmente tanto a velocidade como a orientação do escoamento na paisagem em direcção à massa de água. A partir do modelo tridimensional do terreno determinou-se o declive da bacia representado na Figura 8. Uma vez que através do ArcView não foi possível calcular o declive médio de cada parcela considerou-se para este trabalho a classe de valores de declive dominante para cada parcela.

Como etapa final do processo de aplicação deste critério de análise qualitativa do risco de transporte do P na bacia das Sete Cidades foi calculado o índice de P para cada uma das parcelas (Figura 9) a partir da fórmula proposta e com base nos critérios de ponderação definidos no Quadro 1 para os factores de *origem* e de *transporte* tendo-se verificado que o índice de P atingiu na maioria das parcelas um valor alto, indiciador de risco elevado de eutrofização.

CONCLUSÕES

Embora os teores de P solúvel existentes na camada superficial do solo possam ser avaliados a partir de procedimentos analíticos simples, a gestão do P em termos agro-ambientais depende igualmente da capacidade de avaliação do seu potencial de transporte na paisagem em direcção às massas de água. Com efeito, em cada bacia hidrográfica as perdas estão dependentes de combinações específicas de factores relativos às condições de *origem*, mormente quantidade e solubilidade do P presente no solo e aos factores da paisagem que condicionam o *transporte*, os quais são muito variáveis tanto no espaço como no tempo.

O índice de P integra de forma simples e de fácil aplicação ao nível da parcela, os factores mais relevantes no controlo do potencial de mobilização e perda do P no escoamento superficial. Deste modo, o IP apresenta-se como uma ferramenta de avaliação do risco mais adequada do que aquelas que consideram apenas factores relativos ao P no solo sem terem em conta os aspectos da paisagem que afectam o transporte do P.

A aplicação desta metodologia em duas das mais importantes áreas de pastagem da bacia hidrográfica das Sete Cidades permitiu a análise individual dos factores que ao nível da parcela mais concorrem para o risco de transporte e mobilização do P na paisagem tendo-se verificado que os factores de *origem*: P no solo e quantidades de adubo aplicadas, foram os mais gravosos. O índice de P atingiu em 70% das parcelas um valor alto, ao qual corresponde um elevado risco de contaminação da massa de água pelo P de origem agrícola, impondo portanto a necessidade de redução drástica ou mesmo suspensão de adubações até que os níveis de P no solo baixem para valores compatíveis com um adequado equilíbrio agro-ambiental na bacia hidrográfica.

Em suma, esta metodologia embora necessite ainda ser objecto de calibração a partir de dados experimentais, parece constituir uma ferramenta útil para o apoio à avaliação do risco de eutrofização em zonas agrícolas vulneráveis, sobretudo se for integrada em programas de extensão rural orientados para a implementação de Boas Práticas Agrícolas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Serviços de Desenvolvimento Agrário de São Miguel,

em especial ao Director Eng.º Luís Viveiros e ao Eng.º Álvaro Ribeiro, que ajudou incansavelmente a realização dos questionários aos agricultores das Sete Cidades, todo o apoio prestado para a realização do estudo. Agradecem também à Eng.ª Ana Rita Pereira o apoio informático prestado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Djodjic, F., Montas, H., Shirmohammadi, A., Bergstrom, L. & Ulen, B., 2002. A decision support system for phosphorus management at a watershed scale. *J. Environ. Qual.*, **31**: 937-945.
- Gburek, W.J., & Sharpley, A.N. 1998. Hydrologic controls on phosphorus loss from upland agricultural watersheds. *J. Environ. Qual.*, **27**: 267-277.
- Gburek, W.J., Sharpley, A.N., Heathwaite, A.L. & Folmar, G.J. 2000. Phosphorus management at the watershed scale: A modification of the phosphorus index. *J. Environ. Qual.*, **29**: 130-144.
- Heathwaite, L., Sharpley, A. & Bechmann, M. 2003. The Conceptual Basis for a Decision Framework to assess the Risk of Phosphorus Loss at the Field Scale across Europe. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, **166**: 447-458
- Lemunyon, J.L., & Gilbert, R.G. 1993. The concept and need for a phosphorus assessment tool. *J. Prod. Agric.* **6**: 483-496.
- Lory, J.A., Daniel, T.C., Burch, T. Kleinman, P.J.A. & Scharf, P.C. 2001. Nonlinear effects of soil test phosphorus extraction method and sampling depth on runoff phosphorus predictions. *Agronomy Abstracts*, pp 109. ASA, Madison, WI.
- Olsen, S. R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. & Dean, L.A. 1954. *Estimation of Available Phosphorus in Soil by Extraction with Sodium Bicarbonate*. USDA Circ. 939. USDA, Washington, D.C.
- Pionke, H.B., Gburek, W.J. & Sharpley, A.N., 2000. Critical Source Area Controls on Water Quality in an Agricultural Watershed Located in the Chesapeake Basin. *Ecolog. Eng.*, **14**: 325-335.
- Pote, D.H., Daniel, T.C., Nichols, D.J. Sharpley, A.N., Moore, P.A., Edwards, D.R.Jr., Miller, D.M., & Edwards, D.R. 1999. Relationship between phosphorus levels in three Ultisols and phosphorus concentrations in runoff. *J. Environ. Qual.*, **28**: 170-175.
- Sharpley, A.N. 1993. Assessing Phosphorus Bioavailability in Agricultural Soils and Runoff. *Fertilizer Research*, **36**: 259-272.
- Sharpley, A.N. & Rekolainen, S. 1997. Phosphorus in agriculture and its environmental implications. In H. Tunney, O.T. Carton, P.C. Brookes and A.E. Johnsson (eds) *Phosphorus Loss from Soil to Water*, pp 1-54. CAB International Press, Cambridge, England.
- Sharpley, A.N., T. Daniel, T. Sims, J. Lemunyon, R. Stevens & R. Parry. 2003. *Agricultural Phosphorus and Eutrophication*. 2nd edn. ARS-149. United States Department of Agriculture, Government Printing Office, Washington, DC.
- Tuhkanen, R., Uusitalo, R. & Yli-Halla, J. 2001. Modification of P Index for Finland. *International Phosphorus Transfer Workshop (IPTW). Connecting Phosphorus Transfer from Agriculture to Impacts in Surface Waters*, 28 August to 01 September 2001, Plymouth, Devon, England.