

APLICAÇÃO DO SWAT PARA ESTIMAR O CUSTO-EFFECTIVIDADE DAS BOAS PRÁTICAS AGRÍCOLAS: UM CASO DE ESTUDO PARA A POLUIÇÃO DIFUSA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VOUGA

Rocha, J. *, Roebeling, P. *, Nunes, J. P. * y Fidélis, M. T. **

*Centro de estudos de ambiente e do mar (cesam), departamento de ambiente e ordenamento, universidade de aveiro

**Administração da região hidrográfica do centro ip (arh-centro).

RESUMO

O desenvolvimento económico sustentável das regiões costeiras tem de ser ponderado com base nos custos afectos à diminuição da poluição difusa e nos benefícios decorrentes da valorização dos ecossistemas. No entanto, os custos inerentes à redução da poluição são elevados e diferem entre as actividades agrícolas. Este estudo tem como objectivo determinar os custos relacionados com a adopção de boas práticas agrícolas que visem a diminuição da poluição da água, de forma diferenciada para as actividades agrícolas. Utilizando o Soil and Water Assessment Tool (SWAT) estimámos funções de custos de abatimento da poluição, com base numa adopção gradual das boas práticas e nas correspondentes exportações de azoto inorgânico dissolvido. Apresenta-se o caso de estudo de azoto inorgânico dissolvido (AID) para as actividades agrícolas na Bacia Hidrográfica do Rio Vouga.

Palavras-chave: poluição difusa, custo-effectividade, boas práticas agrícolas.

1. INTRODUÇÃO

A poluição da água proveniente das diversas actividades agrícolas que se estabelecem nas bacias hidrográficas tende a ter impactes negativos nos ecossistemas costeiros que, por sua vez, são importantes de ponto de vista social, económico e ambiental (Roebeling et al., 2009b). Por tanto, o desenvolvimento (dito) sustentável destas regiões deve ser constituído numa perspectiva que consagre a diminuição da poluição das águas e os custos associados, bem como as mais-valias decorrentes da valorização e preservação dos ecossistemas costeiros (Gren & Folmer, 2003; Roebeling, 2006). Os custos relacionados à redução da poluição das águas são, no entanto, significativos e diferem entre as diversas actividades agrícolas, já que são condicionadas pelas características bio-físicas e agro-ecológicas locais e pelo leque de opções disponíveis nas boas práticas agrícolas que visem a diminuição da poluição da água.

Este estudo tem como objectivo determinar os custos relacionados com a adopção de boas práticas agrícolas que visem a diminuição da poluição da água, de forma diferenciada para cada uma das actividades agrícolas. Utilizando o Soil and Water Assessment Tool (SWAT; Neitsch et al., 2005) estimámos funções de custos de abatimento da poluição para cada uma das actividades agrícolas, com base numa adopção gradual das boas práticas e estimativas associadas (do SWAT) das receitas agrícolas e das exportações de poluentes. Apresenta-se o caso de estudo para a poluição difusa de azoto inorgânico dissolvido (AID), proveniente das principais actividades agrícolas na Bacia Hidrográfica do Rio Vouga (Portugal Central).

O trabalho que a seguir se apresenta está estruturado da seguinte forma: na secção 2. faz-se uma caracterização biofísica da área de estudo (Bacia Hidrográfica do Rio Vouga), bem como uma abordagem às fontes de poluição difusa e às actividades agrícolas a elas associadas. Na secção 3. apresenta-se a abordagem desenvolvida e aplicada neste estudo. Na secção 4. apresentam-se e analisam-se os resultados. Por fim, na secção 5., apresentam-se as principais conclusões e observações deste estudo.

2. POLUIÇÃO DIFUSA NO RIO VOUGA

A área de estudo consagra a Bacia Hidrográfica do Rio Vouga (BHRV), a qual ocupa uma área aproximada de 3685 km² e que se estende com um comprimento (Este-Oeste) de ~150km (ver Figura 1). A bacia apresenta-se dividida, em termos morfo-estruturais, por um acidente tectónico que lhe confere uma distribuição geológica, morfológica e hipsométrica distinta, sendo possível verificar a presença de dois sectores (oeste e este) marcados pela presença de diferentes litologias, comportamentos hidrológicos, declives, etc, (MAOT/INAG, 2000).

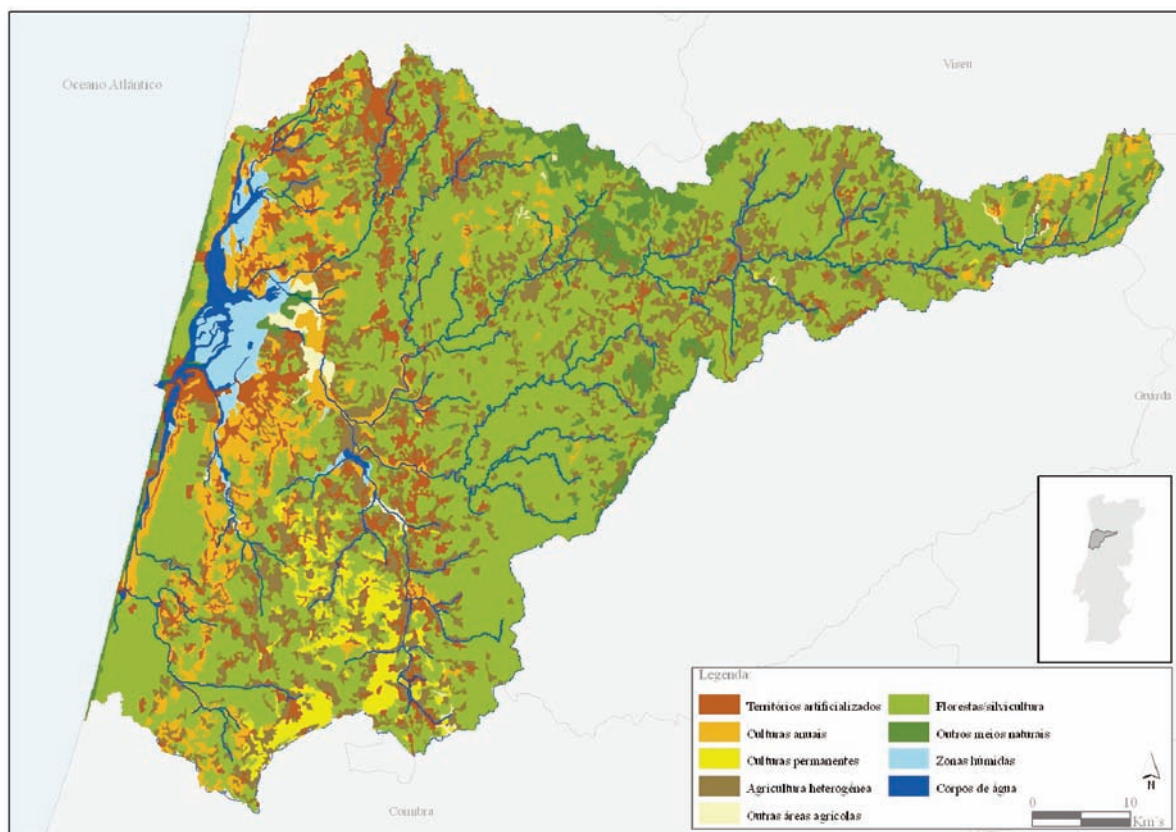


Figura 1. Distribuição das classes de ocupação do solo na Bacia hidrográfica do Rio Vouga (CLC, 2006).

De acordo com MAOT/INAG (2000), as características climatológicas do território definido para a BHRV contemplam, para o período compreendido entre 1941-1991, valores de precipitação média anual ponderada superiores a 1300mm. Os valores mais reduzidos foram registados, em termos espaciais, no sector do baixo Vouga Lagunar e, em termos temporais, no período compreendido entre Abril e Setembro. Por sua vez, o sector oeste da Bacia regista os valores mais elevados de precipitação os quais apresentam uma distribuição sazonal, registando-se entre Outubro - Março cerca de 75% da precipitação anual.

No que concerne as principais formas de uso e de ocupação do solo na BHRV (Figura 1 e Tabela 1), verifica-se que os territórios afectos a Florestas/silvicultura representam aproximadamente 60% da área total da bacia. A área agrícola, por sua vez, representa ~25% da área total da bacia, sendo constituído por Agricultura heterogénea (beterraba, cereais, forragens; 15%), Culturas anuais (milho, cereais, batata; 7%) e Culturas permanentes (vinha; 3%). Os Territórios artificializados, as Zonas húmidas e os Corpos de água constituem, juntos, quase 10% da área total da BHRV.

Tendo em consideração o MAOT/INAG (2000), foram identificadas as principais fontes de poluição de acordo com as diferentes classes e sub-classes de uso de solo da Corine Land Cover. Ao nível bacinal, os contributos de poluentes provenientes de fontes difusas e pontuais estão consignados a actividades domésticas, industriais e agrícolas/pecuárias (Tabela 2). Ao analisar as diversas fontes de contaminação de: 13276 t/ano (CB05), 31754 t/ano (CQO) e 19914 t/ano (SST), verifica-se que esta poluição é proveniente, principalmente, de fontes domésticas e industriais. Ao analisar as diversas fontes de contaminação de azoto (N), verifica-se que a poluição proveniente das actividades agrícolas (difusa) e das actividades domésticas (pontual) representam quase 90% dos totais, com valores de respectivamente 1795 e 1770 toneladas de azoto por ano. A contaminação de fósforo (P) é igualmente distribuída entre fontes domésticas e agrícolas/pecuárias.

Classes	Categoria	Área (ha)	área (%)
Territórios artificializados	Territórios artificializados	28,6	6,4
Áreas agrícolas	Culturas anuais - I	30,5	6,8
	Culturas permanentes -II	11,5	2,6
	Agricultura heterogénea - III	69,3	15,4
	Outras áreas agrícolas	3,1	0,7
Florestas, meios naturais e seminaturais	Florestas/silvicultura - IV	271,0	60,4
	Outros meios naturais	21,3	4,8
Zonas húmidas	Zonas húmidas	7,7	1,7
Corpos de água	Corpos de água	5,5	1,2

Tabela 1. Áreas das categorias de ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Vouga (CLC 2006).

Fonte	CB05 (t/ano)	CQO (t/ano)	SST (t/ano)	N (t/ano)	P (t/ano)
Doméstica	13276	29971	19914	1770	332
Industria	8675	31754	7726	-	-
Agropecuária:					
- Suinicultura	560	1400	840	84	28
- Bovinicultura	883	999	10901	360	120
- Poluição difusa	-	-	-	1795	143
Total	23394	64124	39381	4009	623

Tabela 2. Distribuição dos principais poluentes e fontes na Bacia Hidrográfica do Rio Vouga, (MAOT/INAG, 2000). Fonte CB05

Nota: CB05 = carência bioquímica de oxigénio 5 dias; CQO = carência bioquímica de oxigénio; SST = sólidos suspensos totais; N = azoto; P = fósforo.

aplicação de adubos (MAOT/INAG, 2000). Este facto reforça a necessidade de aferir em concreto de que forma a utilização de boas práticas agrícolas poderá diminuir as exportações de AID e, conseqüentemente, minorar os impactes negativos para o ecossistema e população afectada. De acordo com a informação disponível na Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO; FAOSTAT, 2010), foram calculados os quantitativos de azoto, a produção e o rendimento agrícola para cada uma das categorias (Tabela 3). Nota-se que para a Categoria I (culturas anuais), foram considerados os valores médios ponderados para o milho, batata, cevada e vegetais; para a Categoria II (culturas permanentes) foram considerados os valores da vinha; e para a Categoria III (agricultura heterogénea) foram considerados os valores médios ponderados o milho, cevada, forragens e cereais. Para a Categoria IV (florestas/silvicultura), não foi possível fazer os cálculos por falta de informação.

No que concerne à taxa de aplicação de azoto (kg/ha), os valores mais elevados são registados para a Categoria I (110 kg/ha) seguida da categoria III (85,3 kg/ha) – a cultura da vinha (Categoria II) regista as taxas de aplicação de azoto mais reduzidas (50kg/ha). Quando consideramos o total de toneladas de azoto aplicado por ano, as Categoria I e III figuram com os quantitativos mais elevados (3350 e 5900 t/ano) devido à maior área de produção e taxas de aplicação de azoto. A quantidade de azoto aplicado por ano é mais reduzida na Categoria II (570 t/ano) devido à menor área de produção e taxa de aplicação de azoto.

Categoria	Área	N aplicado		Produção agrícola				Rendimento agrícola
		kg/ha	t/ano	Colheita kg/ha	Produção t/ano	Preço €/t	Valor produção m€	€
I	30,5	110,0	3352,7	6020	183475,2	208,8	38,3	23,0
II	11,5	50,0	572,6	3921	44907,2	969,2	43,5	26,1
III	69,3	85,3	5905,8	3431	237667,4	148,5	35,3	21,2
IV	271,0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Total	382,2		9831,1				117,1	70,3

Tabela 3. Dados agro-económicos das fontes de poluição difusa da Bacia Hidrográfica do Rio Vouga, (CLC 2006; FAOSTAT, 2010).

Em termos de produção, os níveis mais elevados são registados para a Categoria III (237667 t/ano), seguido por Categoria I (183475 t/ano) e Categoria II (44907 t/ano) – salientando que os níveis de produção de Categoria I e III se referem às culturas mistas. Dado os preços dos respectivos produtos agrícolas e tomando em consideração que os custos de produção constituem ~40% do valor da produção (Productivity Commission, 2003), verifica-se que o rendimento agrícola (i.e. valor de produção menos custos de produção) apresenta uma distribuição relativamente homogénea entre as categorias (entre 21 e 26 milhões de Euros por ano). O rendimento agrícola regional para a BHRV é de 70 milhões de Euros por ano.

3. ABORDAGEM TEÓRICA

De acordo com Roebeling et al. (2009a, 2009b), existem varias abordagens que relacionam modelos de uso do solo com modelos hidrológicos, ecológicos e/ou agrónomicos, para analisar as externalidades relacionados com a produção agrícola (ver Nelson, 2002; Elofsson et al., 2003; Janssen & Van Ittersum, 2007). Estas abordagens podem ser divididas em três categorias: I – abordagens que consagram a localização do uso do solo e as condições biofísicas associadas com o potencial de produção agrícola, sem considerarem a distribuição espacial dos impactes ambientais (ver Yiridoe & Weersink, 1998; Rounsevell et al., 2003; Hajkowicz et al., 2005); II – abordagens que relacionam a localização do uso do solo e as condições biofísicas associadas com os impactes ambientais, sem considerarem os impactes económicos em termos espaciais (ver, Prosser et al., 2001; Neitsch et al., 2002 e 2005; Lu et al., 2004); III – abordagens que inter-relacionam modelos económicos com modelos hi-

drológicos e/ou agronómicos para explorar opções custo-efectivas para a melhoria na qualidade de água (por exemplo, Khanna et al. 2003; Yang et al 2004, 2005; Roebeling 2009a, 2009b). Neste estudo utilizam-se modelos categoria II para analisar o custo-efectividade decorrente da progressiva diminuição da quantidade de azoto utilizado nas actividades agrícolas e na exportação de azoto inorgânico dissolvido (AID) associada.

Utilizamos o SWAT (v.2009; Neitsch et al., 2010) e ArcSWAT (v. ArcGis 9.3; Arnold, et al., 1998), já que permite incorporar os parâmetros relativos à qualidade da água, comportamentos hidrológicos, dados climatológicos, coberto vegetal, etc., e, dessa forma, inferir sobre o balanço hidrológico das várias sub-bacias (Nunes et al., 2007). Simultaneamente, o SWAT incorpora um modelo de crescimento de cultivo (CropSys) que permite determinar a produção agrícola em função das práticas agrícolas realizadas (Caldwell & Hansen). Por tanto, O SWAT permite simular um leque de cenários possíveis e, como base neles, estimar as funções de custo de redução na poluição das actividades agrícolas sustentada numa adopção gradual das boas práticas, nas correspondentes exportações de AID e nas estimativas associadas das receitas agrícolas. A utilização do SWAT na Bacia do Vouga é fundamentada pela capacidade que, segundo Nunes (2008), este modelo apresenta na conjugação de vários dados (meteorológicos, pedológicos, hidrológicos, etc.) e na criação de sub-bacias homogêneas para a simulação de cenários possíveis. A possibilidade de incorporar dados com séries temporais com ordens de grandeza da década e, de calcular os balanços hidrológicos para cada uma dessas sub-bacias, permitem uma análise mais objectiva para a Bacia Hidrográfica do Rio Vouga. Esta análise é baseada na quantificação dos impactes das actividades e no uso do solo sobre as linhas de água, em termos da exportação de poluentes.

A informação alfanumérica que sustentou à aplicação do ArcGIS-SWAT consagrou cartografia diversa: a topografia; o uso do solo (CLC, 2006 e COS, 2007); a cobertura vegetal; os solos; os dados meteorológicos (temperatura, precipitação, radiação solar; humidade relativa e velocidade do vento-valores diários) e hidrológicos (caudal, escoamento, níveis, etc.) bem como os valores de qualidade da água (pH, O₂, condutividade, N, P, etc.) (ver Nunes, 2006). Os dados provenientes da nomenclatura da CLC 2006 foram agregados em classes, de acordo com os contributos das fontes de poluição difusa assinaladas no Plano de Bacia (REF). Assim, foram definidas quatro categorias: I – culturas anuais; II – culturas permanentes; III – agricultura heterogênea; IV – silvicultura (Tabela 4).

Categoria	Código	Nomenclatura CLC 2006
I. Culturas anuais	211	Culturas temporárias de sequeiro
	212	Culturas temporárias de regadio
II. Culturas permanentes	221	Vinhas
III. Agricultura heterogênea	241	Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes
	242	Sistemas culturais e parcelares complexos
	243	Terras principalmente agrícolas com espaços naturais
IV. Florestas/silvicultura	311	Florestas de folhosas (eucalipto e carvalho)
	312	Florestas de resinosas (pinheiro bravo e manso)
	313	Florestas mistas
	324	Florestas abertas, cortes e novas plantações

Tabela 4. Categorias de fonte de poluição difusa na Bacia do Vouga (adaptado de CLC 2006).

Para cada uma das categorias e de acordo com os dados disponíveis na Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO; FAOSTAT, 2010), foram usados os valores da produtividade agrícola (kg/ha) com base no período 1991-2008 e as estimativas médias da aplicação de azoto (kg N/ha) com base no período 1999-2000. Os correspondentes valores da produção (€/ha), custos de produção (€/ha) e margens brutas (€/ha) foram calculados com base nos preços médios para o período 2005-2008 (FAOSTAT, 2010).

Os custos relacionados com a diminuição na exportação de AID para cada uma das categorias de fonte de poluição difusa na BHRV foram estimados com base numa progressiva diminuição da quantidade de azoto utilizada nas respectivas actividades agrícolas. Por sua vez, a diminuição na exportação de AID foi confrontada com os custos decorrentes desta diminuição, para estimar os custos de abatimento da poluição para cada uma das categorias.

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados preliminares do SWAT aplicado à BHRV, mostram que a Categoria I (culturas anuais) contribui ~610 t de AID por ano, a Categoria II (culturas permanentes) contribui com ~105 t AID/ano, e a Categoria III (agricultura heterogênea) com ~1080 t AID/ano. A exportação total de AID é de ~1800 t/ano. Em termos globais, a Categoria I contribui com quase 35% para a exportação de AID, embora represente menos de 10% da área agrícola (i.e. a área das quatro categorias definidas). A Categoria II contribui com mais de 5% para a exportação de AID, embora ocupe menos de 5% da área agrícola. Finalmente, a Categoria III contribui com cerca de 60% e ocupa menos de 20% da área agrícola.

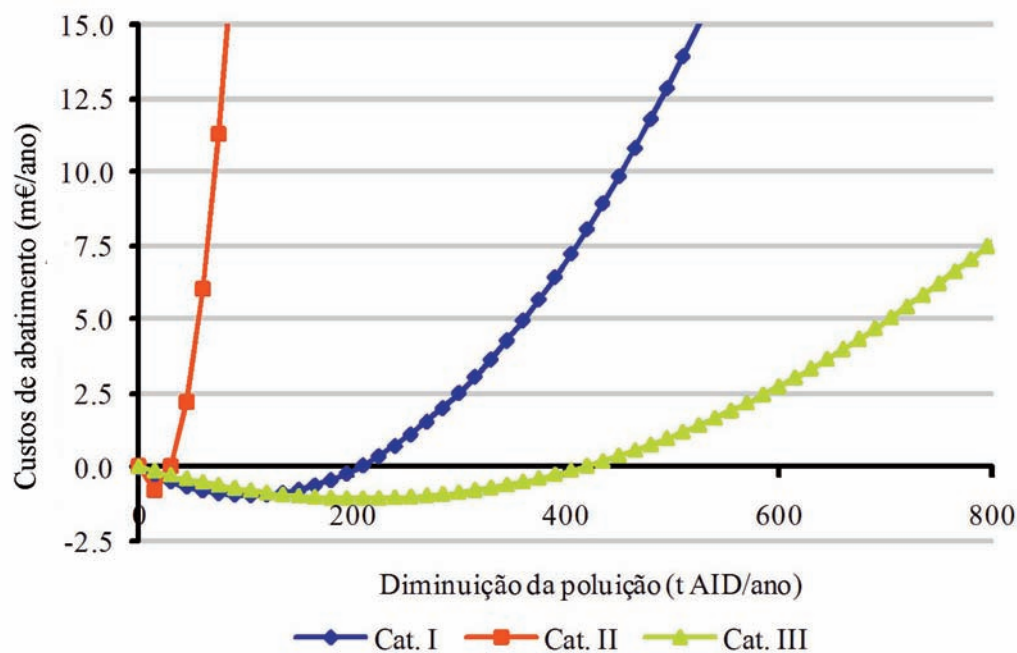


Figura 2. Custos de abatimento de poluição por categoria de fonte de poluição difusa.

As oportunidades potenciais para a diminuição de exportação de AID são mais elevadas na Categoria III e I, comparativamente com Categoria II (Figura 2). Uma diminuição na exportação do AID de até ~15% resulta numa mais-valia de 5% e 4% do rendimento agrícola para os produtores de Categoria III e I, respectivamente. As mais-valias para a Categoria II são limitadas – menos de 3% do rendimento agrícola. Enquanto que uma diminuição na exportação de AID de até ~30% não resulta em custos adicionais para os produtores, as diminuições na exportação de AID acima destes valores resultam em custos acrescidos para os mesmos. Por exemplo uma diminuição na exportação de AID em 50% resulta: para a Categoria I (-305 t AID/ano) num custo de 2,5 m€/ano; para a Categoria II (-50 t AID/ano) num custo de 2,3 m€/ano; para a Categoria III (-540 t AID/ano) num custo de 1,7 m€/ano.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Com base no modelo ArcGIS-SWAT e seguindo a abordagem desenvolvido por Roebeling et al. (2009b), foram estimadas funções de custos de abatimento da poluição para cada uma das actividades agrícolas na Bacia Hidrográfica do Rio Vouga (Portugal Central). A utilização do modelo ArcGIS-SWAT, apesar das limitações inerentes à disponibilidade de dados no território em estudo, permitiu estabelecer uma análise que contemplou as diversas variáveis biofísicas e agro-ecológicas locais e, posteriormente, implementar a componente económica dos impactes das actividades agrícolas no ecossistema. As estimativas feitas aos custos inerentes à diminuição da poluição, pela adopção das boas práticas agrícolas, permitiram aferir os valores da menor utilização de compostos azotados e, consequentemente, estabelecer as relações entre as produções agrícolas e as exportações de AID.

Os resultados preliminares do SWAT mostram que, na situação actual, a Categoria I (culturas anuais), Categoria II (culturas permanentes) e Categoria III (agricultura heterogénea) contribuem, respectivamente, com ~35%, ~5% e ~60% para a exportação de AID na Bacia Hidrográfica do Rio Vouga, apesar de estas categorias só ocuparem 10%, 5% e 20% da área agrícola. As oportunidades potenciais para a diminuição de exportação de AID são mais elevadas na Categoria III e I, comparativamente com Categoria II. Uma diminuição na exportação de AID de até ~15% resulta numa mais-valia de até 5% do rendimento agrícola, enquanto que uma diminuição na exportação de AID de até ~30% não resulta em custos adicionais para os produtores. Diminuições na exportação de AID acima destes valores resultam em custos acrescidos para os mesmos.

As situações que possam ser consignadas em cenários de diminuições na exportação de AID acima de ~30% têm, de uma forma genérica, custos acrescidos para os produtores. Assim, poder-se-ão utilizar instrumentos baseados no mercado para incentivar a adopção de boas práticas agrícolas não lucrativas do ponto de vista privado mas, sim, lucrativas de ponto de vista social (Roebeling e tal., 2009b). O tipo de instrumento aplicado tem que ser avaliado com base numa ponderação dos custos totais (i.e. os custos de abatimento e os custos de transacção), dado que os custos de transacção variam consideravelmente entre os diversos instrumentos (Horan & Ribaudó 1999; Kampas & White 2002).

Agradecimientos

Os autores deste trabalho agradecem ao Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) da Universidade de Aveiro, pelo apoio no trabalho de investigação. Agradecem os contributos de *referees* anónimos pelos comentários a este manuscrito. Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projecto Iberian Transboundary Water Management (IB-TWM), financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT; PTDC/AAC-AMB/104301/2008) e pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER; FCOMP-01-0124-FEDER-011867).

Bibliografía

- Arnold, J.G. et al. (1998): "Large area hydrologic modeling and assessment-Part I: model development." *J. Am. Water Resour. Assoc.* vol.34, nº1, 7, 3-89
- Caldwell R. M., & Hansen J.W. (1993): Simulation of multiple cropping systems with CropSys. In *Systems Approaches to Agricultural Development*. Eds. F.W.T. Penning de Vries, P. Teng, K. Metselaar. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 397-412.
- CLC (2006): Carta de uso e ocupação do solo, Corine Land Cover-2006.
- Diogo, P.A., et al (2003): Estimativa de cargas de azoto e fósforo numa bacia hidrográfica costeira. *II Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*, Recife, Brasil, 13-19 de Outubro.
- Hajkowicz, S. et al. (2005): "The strategic investment model: a tool for mapping optimal environmental expenditure". *Environmental Modelling and Software* vol. 20, 1251–1262.
- Gren, I.M. & Folmer, H. (2003): "Cooperation with respect to cleaning of an international water body with stochastic environmental damage: the case of the Baltic Sea", *Ecological Economics* vol 47, 33-42.
- Horan, R. D. & Ribaudó, M. O. (1999): "Policy objectives and economic incentives for controlling agricultural sources of nonpoint pollution". *Journal of the American Water Resources Association* vol. 35, nº. 5: 1023-1035.
- Kampas, A. & White, B. (2002): "Emission versus input taxes for diffuse nitrate pollution control in the presence of transaction costs". *Journal of Environmental Planning and Management* vol. 45, nº 1: 129-139.
- Khanna, M., et al, (2003): "Cost-effective targeting of land retirement to improve water quality with endogenous sediment deposition coefficients". *American Journal of Agricultural Economics* vol. 85, 538–553.
- Lu, H., et al. (2004): "Investment prioritization based on broadscale spatial budgeting to meet downstream targets for suspended sediment loads". *Water Resources Research* vol.40, 1–16.
- MAOT/INAG (2000): Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Vouga. Ministério do Ambiente, Instituto da Água, Direcção Regional do Ambiente do Norte.
- Neitsch S.L., et al (2002): *Soil and water assessment tool – Theoretical documentation: Version 2000*. Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 506p.
- Neitsch S.L., et al (2005): *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation (version 2005)*. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, Temple, Texas, 494p.
- Neitsch S.L., et al (2010): *Soil and water assessment tool – input/output file documentation: Version 2010*. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 620p.
- Nunes J.P. et al. (2006). "MEFIDIS - A Physically-based, Spatially-Distributed Runoff and Erosion Model for Extreme Rainfall Events" in *Watershed Models*, Singh VP, Frevert DK (eds). CRC press: Boca Raton; 291–314.
- Nunes, J. P., et al. (2008): Vulnerability of water resources, vegetation productivity and soil erosion to climate change in Mediterranean watersheds, *Hydrol. Process*, vol. 22, nº 16, 3115-3134 .
- Nunes, J.P. (2010): *SWAT 2005 data requirements and data sources for global and Portuguese applications*. Inédito
- Prosser, I. et al. (2001): "Constructing river basin sediment budgets for the national land and water resources audit". CSIRO Land and Water, Technical Report 15/01, Canberra.
- Productivity Commission (2003): "Industries, land use and water quality in the Great Barrier Reef catchment". Research Report, Canberra, Australia, 415 p.
- Roebeling, P.C. (2006): "Efficiency in Great Barrier Reef water pollution control: a case study for the Douglas Shire". *Natural Resource Modeling*, vol.19. nº.4, 539-556.
- Roebeling, P.C., et al., (2009a): "Explorando el costo-efectividad de instrumentos basados en el mercado para la mejora de la calidad del agua: una modelación espacial económico-ambiental", *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, vol.11, 17-28.
- Roebeling, P.C., et al (2009b): "Cost-effective water quality improvement in linked terrestrial and marine ecosystems: a spatial environmental-economic modelling approach". *Marine and Freshwater Research*, vol.60, 1150–1158.
- Rounsevell, M. D. A. et al. (2003): "Modelling the spatial distribution of agricultural land use at the regional scale". *Agriculture Ecosystems and Environment*. vol. 95, 465–479.
- Yang, W., e Weersink, A. (2004): "Cost-effective targeting of riparian buffers". *Canadian Journal of Agricultural Economics* 52, 17–34.
- Yang, W., Sheng, C., Voroney, P. (2005): "Spatial targeting of conservation tillage to improve water quality and carbon retention benefits". *Canadian Journal of Agricultural Economics*, vol. 53, 477–500.
- Yiridoo, E. & K., Weersink, A. (1998): "Marginal abatement costs of reducing groundwater pollution with intensive and extensive farm management choices". *Agricultural and Resource Economics Review*. vol. 27, 169–185.