

# SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NAS ALBUFEIRAS DO RIO DOURO COM UM MODELO DE ALBUFEIRAS EM SÉRIE

Paulo A. DIOGO

*Assistente, DCEA/FCT/UNL, Almada, +351212948300, pad@fct.unl.pt*

Pedro S. COELHO

*Assistente, DCEA/FCT/UNL, Almada, +351212948300, pmhc@fct.unl.pt*

Manuel C. ALMEIDA

*Bolseiro, DCEA/FCT/UNL, Almada, +351212948300*

Nelson S. MATEUS

*Bolseiro, DCEA/FCT/UNL, Almada, +351212948300*

António C. RODRIGUES

*Professor auxiliar, DCEA/FCT/UNL, Almada, +351212948300, acr@fct.unl.pt*

## RESUMO

De acordo com os dados disponíveis as albufeiras do rio Douro apresentam elevadas concentrações em fósforo total, sintoma de eutrofização das massas de água. Com o objectivo de identificar as principais fontes deste nutriente, foram quantificadas cargas de origem urbana e difusa, afluentes a cada albufeira sob gestão portuguesa. A quantificação das cargas de fósforo total ( $P_{total}$ ) de origem urbana foi realizada com base nas cargas estimadas para este nutriente no Plano Nacional da Água, por concelho, sendo que para a estimativa de cargas de origem difusa foi utilizado o método de taxas de exportação, tendo para esse efeito sido consideradas duas cartas de uso do solo, as cartas da Direcção Geral de Florestas e Corine Land Cover. As cargas totais afluentes a cada albufeira foram avaliadas através da implementação de um modelo de mistura completa. Essa implementação teve necessariamente em conta o facto das albufeiras do rio Douro serem operadas em regime de fio de água. No estudo realizado foram considerados os dados de qualidade da água disponíveis para cada albufeira do rio Douro. Nos resultados obtidos verificou-se uma boa concordância entre as concentrações simuladas com base nas estimativas de carga de  $P_{total}$  e as concentrações observadas, sendo de salientar o facto de se ter observado uma influência determinante da qualidade da água da albufeira de Miranda na qualidade da água das albufeiras a jusante, em particular até à albufeira do Pocinho.

Palavras-Chave: rio Douro, albufeiras, fósforo, fontes de poluição.

## 1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Douro é a maior da Península Ibérica, englobando uma área total de cerca de 97 680 km<sup>2</sup>, dos quais 78 970 km<sup>2</sup> em Espanha (81% do total) e 18 710 km<sup>2</sup> em Portugal (19% do total). Com nascente na serra de Urbion, o rio Douro apresenta um comprimento total de cerca de 930 km, localizando-se 600 km em território espanhol e 195 km em território português, servindo os restantes 135 km como fronteira, entre Miranda do Douro e Barca d'Alva (MPAT, 1986). Em Portugal os principais afluentes do rio Douro são, na margem direita, os rios Sabor (3 980 km<sup>2</sup>), Tua (3 800 km<sup>2</sup>), Corgo (470 km<sup>2</sup>) e Tâmega (3 230 km<sup>2</sup>) e, na margem esquerda, os rios Côa (2 640 km<sup>2</sup>) e Paiva (760 km<sup>2</sup>) (MPAT, 1986).



Figura 1 - A bacia hidrográfica do rio Douro em território nacional.

No troço do rio Douro que estabelece fronteira com Espanha e que se prolonga em território português, localizam-se várias barragens, todas sob gestão da EDP: Miranda, Picote, Bemposta, Pocinho, Valeira, Régua, Carrapatelo e Crestuma (Figura 1). Entre as albufeiras da Bemposta e do Pocinho localizam-se mais duas barragens, as de Aldeia de Ávila e de Saucelhe, ambas sob gestão espanhola. Todas estas barragens são operadas em regime de fio de água, o que significa, genericamente, que os caudais efluentes são idênticos aos caudais afluentes em função da reduzida capacidade de regularização.

Quadro 1. Algumas características das albufeiras do rio Douro. (Fonte: SNIRH, 2004)

Nome	Ano de entrada em funcionamento	Volume total (x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Volume útil (x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	NPA (m)	Escoamento anual (hm <sup>3</sup> )	Área da bacia própria (km <sup>2</sup> )	Índice de regularização (dias)
Miranda	1961	28 100	6 660	528,1	8 976	75	1,14
Picote	1958	62 780	13 430	471,0	10 155	250	2,26
Bemposta	1964	128 800	20 000	402,0	10 155	100	4,63
Pocinho	1982	83 070	12 240	125,5	13 939	14 527	2,18
Valeira	1975	97 000	11 500	105,0	15 137	4 388	2,34
Régua	1973	95 000	12 000	73,5	17 313	5 037	2,00
Carrapatelo	1972	148 400	13 840	46,5	17 660	1 240	3,07
Crestuma-Lever	1985	110 000	22 500	13,2	22 517	5 119	1,78

De acordo com GIL e FERNANDES (1997), os tempos de retenção nas barragens geridas pela EDP foram, nos anos de 1990 a 1996, entre 1,6 dias (Miranda, em 1991) e 14,4 dias (Bemposta, em 1992). Apesar do efeito positivo que estes reduzidos tempos de retenção têm na qualidade da água das albufeiras, todas elas são classificadas como Eutróficas, de acordo com GIL e FERNANDES (1997) e DIOGO *et al* (2004). Segundo VOLLENWEIDER (1968), a eutrofização em albufeiras pode definir-se como sendo o enriquecimento das águas em nutrientes, especialmente em fósforo e azoto, sendo que este enriquecimento resulta fundamentalmente das descargas de efluentes domésticos,

urbanos e industriais, bem como do arrastamento de pesticidas e fertilizantes agrícolas pelo escoamento de superfície (VASCONCELOS e PEREIRA, 2002). WIT e BEHRENDT (1999), referem que o excesso de nutrientes é uma importante causa da eutrofização de massas de água superficiais na Europa, sendo o controle das origens difusas mais complicado do que o das origens pontuais, uma vez que as emissões difusas são determinadas, não só pela quantidade e distribuição das fontes, mas também pelas condições que afectam o transporte de azoto e fósforo do solo para as massas de água.

O fósforo total ( $P_{total}$ ) é um dos nutrientes considerados responsáveis pela eutrofização de massas de água sendo inclusivamente um dos parâmetros de qualidade da água frequentemente utilizados para a classificação do estado trófico de massas de água. De acordo com JORDAN *et al* (1997), o estudo dos factores que influenciam as descargas de nutrientes para as massas de água é essencial para a compreensão do processo de eutrofização em lagos e albufeiras, processo esse que tem vindo a aumentar em muitos países do mundo. Refira-se que o reconhecimento do papel do fósforo como factor controlador da eutrofização em sistemas aquáticos é demonstrado pela extensa literatura publicada nas últimas décadas (REDDY e FLAIG, 1995).

Apesar da importância do  $P_{total}$  na qualidade das águas, a quantificação das cargas afluentes às massas de água em Portugal, quer de origem urbana quer de origem difusa, não está suficientemente estudada. Mesmo no caso das fontes pontuais, geralmente consideradas mais fáceis de quantificar, a dificuldade em obter dados de campo adequados condiciona fortemente as estimativas produzidas. No que diz respeito à poluição de origem difusa as dificuldades são ainda maiores, não se dispondo ainda de estimativas fiáveis que permitam quantificar a influência deste tipo de poluição na qualidade das águas superficiais.

Tendo como objectivo a identificação das principais fontes de fósforo total nas albufeiras do rio Douro, procedeu-se à estimativa de cargas de origem urbana e difusa, afluentes a cada albufeira. Para esse efeito foram implementadas metodologias expeditas que, apesar de corresponderem a uma simplificação do problema, se consideram adequadas para uma primeira abordagem, face às limitações de informação existentes, quer relativamente à poluição de origem difusa, quer em relação às cargas de origem urbana. Com base nas estimativas de cargas médias anuais de  $P_{total}$  afluentes a cada albufeira, foi implementado um modelo de albufeiras em série, procurando reflectir as características do escoamento ao longo das diferentes massas de água, em que cada uma das albufeiras se constitui como a principal fonte de caudal para a albufeira imediatamente a jusante.

O estudo desenvolvido permitiu a simulação de concentrações médias anuais de  $P_{total}$  nas albufeiras do rio Douro, tendo os resultados obtidos sido comparados com os dados de amostragem disponíveis no SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, <http://www.inag.pt>). Apesar de se ter obtido uma boa concordância entre as concentrações simuladas e observadas, verificou-se que a qualidade da água do caudal afluente à albufeira de Miranda, através do rio Douro, representa uma contribuição determinante na qualidade da água de todas as barragens a jusante, podendo este facto condicionar as conclusões obtidas com este estudo.

## 2 METODOLOGIAS

Em termos metodológicos o trabalho desenvolvido caracteriza-se por três fases distintas: a) quantificação de cargas de  $P_{total}$  de origem difusa; b) quantificação de cargas de  $P_{total}$  de origem urbana e c) implementação do modelo de albufeiras em série. Para a escolha das metodologias adoptadas foram determinantes, não só a informação de base disponível, mas também a dimensão e variabilidade espacial da área de estudo. Todo o estudo tem como base a utilização de cartografia digital, tendo sido utilizado um sistema de informação geográfica (SIG), no caso o ArcView 3.2<sup>©</sup>.

## 2.1 Estimativa de cargas difusas de Fósforo Total

O conhecimento e controlo da poluição difusa tem assumido crescente importância na preservação da qualidade dos recursos hídricos superficiais, sendo em alguns países considerada como o principal factor impeditivo do alcance de níveis ambientalmente adequados de qualidade da água (LOURENÇO, 2002).

Em Portugal, alguns autores têm vindo a desenvolver estudos sobre o problema da poluição difusa em massas de água superficiais (CASTRO, 1986, HEITOR, 2000, SANTOS, 2000, RIBEIRO, 2002, RODRIGUES *et al*, 2002, LOURENÇO, 2002), tendo o problema sido também avaliado nos trabalhos desenvolvidos no âmbito dos Planos de Bacia Hidrográfica e do Plano Nacional da Água (MAOT/INAG, 2001). Apesar da poluição difusa ser reconhecida como um factor determinante na qualidade das massas de água superficiais, o seu estudo apresenta ainda um desenvolvimento de certo modo incipiente (LOURENÇO, 2002), situação essencialmente determinada pela pouca disponibilidade de dados de campo. Devido a esta limitação na informação de base, a utilização de métodos complexos para quantificação de cargas de origem difusa afluentes às massas de água não permitem necessariamente obter resultados mais fiáveis do que a utilização de abordagens mais simples (RODRIGUES *et al*, 2002).

Um largo espectro de técnicas de simulação pode ser utilizado na quantificação das contribuições difusas para as águas superficiais, desde simples funções de carga até modelos de simulação mais complexos (DONIGIAN e HUBER, 1991). De acordo com Sutherland e Novotny (*vide* NOVOTNY, 1994), os modelos de simulação podem-se dividir em cinco níveis: I) procedimentos estatísticos simples e cargas unitárias sem interacção com processos físicos e químicos; II) procedimentos simplificados com alguma interacção com processos físico-químicos; III) modelos determinísticos simplificados, contínuos ou orientados para eventos; IV) modelos sofisticados de eventos e VI) modelos contínuos sofisticados.

A utilização de modelos complexos pressupõe a existência de dados que permitam caracterizar com algum detalhe as variáveis do problema, sendo que na ausência de informação adequada o esforço necessário para a implementação destes modelos pode não ser recompensado, face aos resultados obtidos. Nestas situações, uma abordagem simplificada, do tipo nível I ou II, pode constituir um meio mais eficaz de obter uma avaliação do problema em estudo (NOVOTNY, 1994), com base na qual se pode partir para estudos mais aprofundados, em zonas identificadas como mais críticas do ponto de vista da poluição difusa.

No presente estudo adoptou-se uma abordagem que pode ser considerada de nível I, a qual assenta na utilização de cartografia de uso do solo e de taxas de exportação de P<sub>total</sub> (cargas por unidade de área), taxas essas obtidas com base na literatura disponível sobre o tema, e atribuídas a de acordo com a distribuição de diferentes classes de uso do solo pela área drenante em estudo. Este tipo de abordagem é sugerida por HAITH (1981) e CASTRO (1986) para situações em que os dados não são suficientes para a implementação de modelos mais complexos, ou em estudos de planeamento de áreas relativamente grandes (NOVOTNY, 1994). Como base cartográfica para a implementação das referidas taxas de exportação foi utilizada a carta digital de uso do solo da Direcção Geral de Florestas (DGF).

A carga poluente de origem difusa afluente à secção de referência de cada área drenante é assim obtida pela multiplicação das cargas unitárias pelas áreas parciais de cada categoria de solo (equação 1):

$$CT_i = \sum (C_{ij} \cdot A_j) \quad (1)$$

em que :

CT<sub>i</sub> - carga total do poluente i, afluente à secção de referência, por unidade de tempo;

C<sub>ij</sub> - carga do poluente i, por unidade de área e de tempo na categoria de solo j (taxa de exportação);

A<sub>j</sub> - área de solo da categoria j.

A identificação e distribuição espacial das classes de uso do solo foi realizada com recurso à carta digital de uso do solo da Direcção Geral de Florestas (DGF) disponível em <http://snig.igeo.pt>, em detrimento da carta Corine Land Cover. Apesar da segunda apresentar um maior número de classes de uso do solo, de acordo com DIOGO *et al* (2003 e 2004), na avaliação das estimativas de carga de P<sub>total</sub> em diversas albufeiras de Portugal continental, utilizando a carta da DGF, verificou-se que a utilização desta permitia a obtenção de concentrações de P<sub>total</sub> mais aproximadas das concentrações médias anuais observadas nas albufeiras.

Quadro 2. Taxas de exportação e classes de uso do solo na carta da DGF (kg/ha.ano).

Classe de uso do solo	P total	Fonte bibliográfica
Agricultura	0,30	Dal & Kurtar, 1993 <sup>(1)</sup>
Águas interiores	0,00	-
Florestas	0,05	Dal & Kurtar, 1993 <sup>(1)</sup>
Improdutivos	0,00	-
Incultos	0,30	Dal & Kurtar, 1993 <sup>(1)</sup>
Social	0,20	Waller e Hart, 1986 <sup>(2)</sup>

(1) – *vide* TANIK, 1999; (2) *vide* CASTRO, 1986.

## 2.2 Estimativa de cargas de Fósforo Total de origem urbana

A estimativa da contribuição em P<sub>total</sub> de origem urbana foi realizada com base nos valores apresentados no Plano Nacional da Água (MAOT/INAG, 2001), valores esses calculados por município e que incluem taxas e eficiências de tratamento obtidas nas estações de tratamento de águas residuais. As contribuições de cada município para cada albufeira foram estimadas admitindo uma distribuição uniforme de cargas exportadas em cada concelho. Utilizando o ArcView 3.2<sup>®</sup> foram calculadas as áreas de cada concelho em cada uma das áreas drenantes, sendo por fim obtidas as cargas urbanas totais afluentes a cada secção de controle.

Apesar do método escolhido representar uma significativa simplificação do problema da avaliação das cargas de origem pontual, a sua adopção resultou da dificuldade na obtenção da localização dos pontos de descarga de águas residuais, bem como da distribuição das cargas por esses pontos. Esta abordagem representa uma das limitações do estudo realizado, já que, por não ter sido possível identificar os locais de descarga dos efluentes urbanos, se podem estar a incluir ou excluir cargas que não são efectivamente descarregadas em cada uma das sub-bacias consideradas. A título de exemplo, apresenta-se no Quadro 3 o procedimento de cálculo para a bacia hidrográfica da albufeira de Bemposta.

Quadro 3. Estimativa de cargas urbanas afluentes à albufeira de Bemposta.

Concelho	Área Total do concelho (ha)	Parcela do concelho na área drenante (ha)	Carga de fósforo total produzida no concelho, por unidade de área (kg/ha/ano)	Contribuição do Concelho para a área drenante (kg/ano)
Mogadouro	75 859	3 773	0,162	611
Miranda do Douro	48 797	6 086	0,182	1 108
TOTAL	124 657	9 859	0,344	1 719

## 2.3 Modelo de albufeiras em série

Para a simulação em série das albufeiras do rio Douro foi escolhido um modelo de mistura completa, tal como descrito em THOMANN (1987) e METCALF e EDDY (1995). Ainda de acordo com THOMANN (1987), a utilização de modelos de mistura completa em albufeiras que apresentem estratificação sazonal (tal como no caso das albufeiras do rio Douro), pode ser justificada caso a escala temporal do problema em análise seja suficientemente longa já que, de ano para ano, a mistura sazonal pode resultar em albufeiras completamente misturadas ao longo dos anos. Dado que no

estudo apresentado foram consideradas concentrações e caudais afluentes médios anuais, considerou-se a escala temporal adequada à implementação de um modelo deste tipo. Apesar do modelo utilizado permitir a consideração de uma taxa de decaimento do parâmetro a simular não foi possível obter dados que a permitissem quantificar para cada albufeira. Por este facto a taxa de decaimento foi considerada igual em todas as albufeiras, e igual a  $0,003 \text{ dia}^{-1}$ , valor sugerido em METCALF e EDDY (1995).

Tendo em conta o facto já referido de todas as albufeiras estudadas serem operadas em regime de fio de água, procedeu-se à implementação do modelo para albufeiras em série (THOMANN, 1987) de modo a ser considerada a influência de cada albufeira nas albufeiras a jusante. Neste tipo de simulação o caudal e cargas efluentes de cada albufeira constituem parte do caudal e carga afluente à albufeira a jusante. O pressuposto de volume constante em cada albufeira foi garantido considerando o caudal afluente igual ao caudal efluente, em cada albufeira, valores estes obtidos através do SNIRH. O volume considerado para cada albufeira corresponde ao volume médio, referente ao período compreendido entre os anos hidrológicos de 1996/97 a 2000/01 (SNIRH).

### 3 RESULTADOS

A bacia hidrográfica do rio Douro foi dividida em sub-bacias, correspondentes às bacias próprias de cada uma das albufeiras consideradas: Miranda, Picote, Bemposta, Pocinho, Valeira, Régua, Carrapatelo e Crestuma-Lever. Uma vez que não se dispôs de informação que permitisse caracterizar as albufeiras de Aldeia de Ávila e Saucelhe, ambas sob gestão espanhola, optou-se por não as incluir no estudo, tendo no entanto as respectivas áreas drenantes sido incluídas na área drenante à albufeira do Pocinho, localizada a jusante de Saucelhe.

#### 3.1 Cargas de origem difusa e de origem urbana

Para cada uma das sub-bacias foram estimadas as cargas de  $P_{\text{total}}$  de origem difusa, de acordo com as descrições apresentadas nas secções 2.1 e 2.2 (Quadro 4).

Quadro 4. Cargas estimadas de  $P$  (ton/ano), de origem urbana e difusa.

Albufeira	Difusa	Urbana	Total	acumulado
Miranda	3,5	2,6	6,1	6,1
Picote	2,3	1,6	3,9	10,0
Bemposta	2,4	1,7	4,1	14,1
Pocinho	91,5	101,1	192,6	206,6
Valeira	91,1	91,0	182,1	388,7
Régua	104,8	268,9	373,7	762,4
Carrapatelo	28,9	179,9	208,9	971,3
Crestuma-Lever	70,6	461,4	532,1	1 503,3

#### 3.2 Modelo de albufeiras em série

Uma vez estimadas as cargas afluentes a cada albufeira procedeu-se à implementação do modelo de albufeiras em série, com o qual foram simuladas as concentrações médias de  $P_{\text{total}}$  em cada massa de água. Numa primeira fase, para a simulação das concentrações não foram consideradas quaisquer cargas afluentes com origem em território espanhol (esta situação corresponde a admitir que o caudal afluente à albufeira de Miranda apresenta concentração de  $P_{\text{total}}$  total igual a zero). As concentrações simuladas foram comparadas com a média das concentrações observadas em cada albufeira (Figura 2), obtidas com base nos dados disponíveis no SNIRH, relativos aos anos hidrológicos de 1996/1997 a 2000/2001.

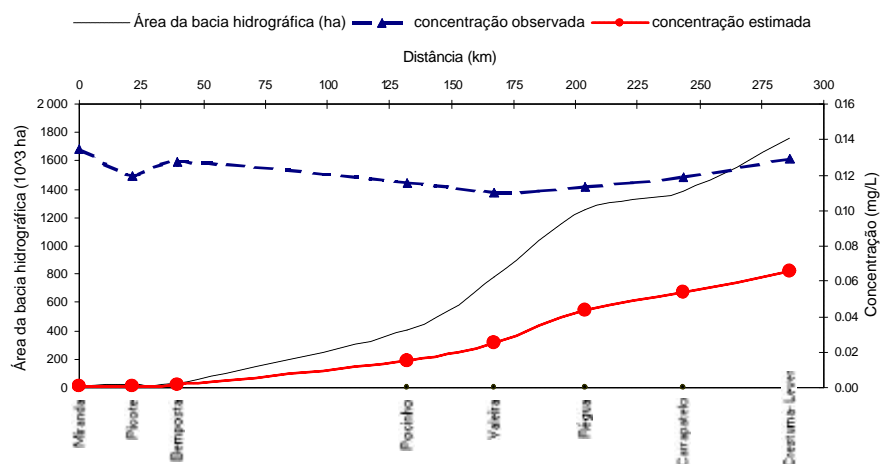


Figura 2 - Concentrações de P<sub>total</sub> nas albufeiras do rio Douro.

Como se pode observar na Figura 2, as concentrações de fósforo total simuladas para as albufeiras do rio Douro são bastante inferiores às observadas nas respectivas estações de monitorização da qualidade da água. No entanto, nota-se que de montante para jusante se verifica uma diminuição da diferença entre as concentrações observadas e simuladas. Esta evolução deve-se essencialmente ao facto da concentração simulada para a albufeira de Miranda ser bastante reduzida, sendo que, por efeito de diluição, a influência da qualidade da água da albufeira de Miranda na qualidade da água das albufeiras a jusante tende a diminuir ao longo do rio Douro.

A reduzida concentração obtida para a albufeira de Miranda resulta essencialmente do facto de não se terem considerado as cargas de P<sub>total</sub> transportadas pelo rio Douro para esta albufeira (correspondente a cargas com origem em território espanhol). Tendo em conta que, por não se dispor de dados adequados, não é possível estimar cargas com origem em território espanhol com as metodologias adoptadas para território nacional, optou-se por admitir a concentração de P<sub>total</sub> na albufeira de Miranda como condição de fronteira na simulação das concentrações nas albufeiras a jusante. Na Figura 3 são apresentados os resultados obtidos nestas condições.

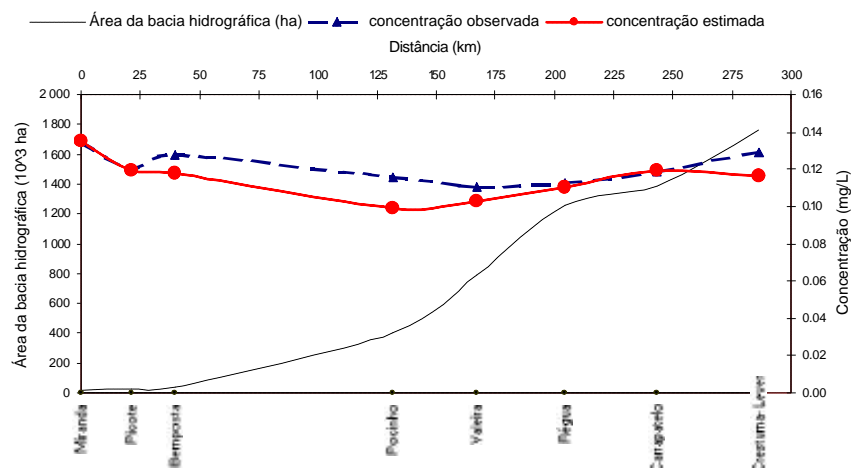


Figura 3 Concentrações de P<sub>total</sub> nas albufeiras do rio Douro (Miranda como condição de fronteira de montante).

De acordo com a Figura 3, verificam-se aproximações satisfatórias, para a generalidade das albufeiras, entre as concentrações simuladas e observadas. Observa-se, também, uma satisfatória reprodução da evolução das concentrações de P<sub>total</sub> de montante para jusante. O afastamento entre as duas curvas nas albufeiras da Bemposta e do Pocinho, é uma situação que pode ainda ser atribuída

ao facto das áreas drenantes destas albufeiras incluírem áreas significativas em território espanhol. Face a esta situação, concluiu-se que a condição de fronteira teria que ser definida com a concentração de  $P_{total}$  na albufeira do Pocinho, dada a impossibilidade já referida de estimar as cargas com origem em território espanhol com as metodologias adoptadas.

No entanto, e face aos resultados até então obtidos, considerou-se a hipótese de utilizar os resultados do modelo para estimar as cargas com origem em território espanhol. Assim, a carga de  $P_{total}$  proveniente de território espanhol poderia ser estimada como a carga necessária para que as concentrações estimadas de  $P_{total}$  nas albufeiras de Miranda, Picote, Bemposta e Pocinho sejam iguais à médias das concentrações observadas, desde que admitidos os seguintes pressupostos: 1) as estimativas de carga de  $P_{total}$  com origem em território português estão correctas e 2) o modelo permite calcular correctamente a concentração de  $P_{total}$  em todas as albufeiras. A admissão destes dois pressupostos pode de certa forma ser suportada com base nos resultados apresentados em DIOGO *et al* (2004), estudo no qual estas metodologias foram adoptadas para diversas albufeiras em Portugal continental, com resultados considerados satisfatórios.

Uma vez aceites os dois pressupostos, as cargas com origem em território espanhol foram estimadas de forma a que, quando incluídas no modelo, este reproduza as concentrações médias de  $P_{total}$ , observadas nas albufeiras de Miranda, Picote, Bemposta e Pocinho. A estimativa de carga com originada em território espanhol foi realizada de montante para jusante, de modo a reflectir a influência das cargas afluentes a montante nas albufeiras a jusante. Refira-se que outras albufeiras a jusante destas quatro incluem na bacia própria pequenas áreas em território espanhol, tendo no entanto sido considerado que a influência destas na concentração final de  $P_{total}$  seria reduzida, não tendo por isso sido consideradas.

Quadro 5. Cargas com origem em território espanhol, estimadas com o modelo.

Albufeira	$P_{total}$ (ton/ano)
Miranda	1 211,0
Picote	9,0
Bemposta	90,0
Pocinho	136,0

Uma vez calculadas as cargas com origem em território espanhol, procedeu-se a nova simulação das concentrações a jusante da albufeira do Pocinho (Figura 4).

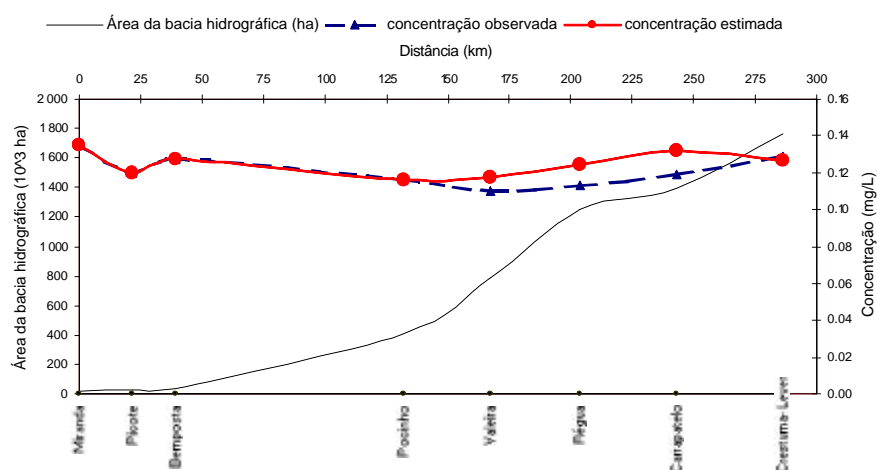


Figura 4 - Concentrações de  $P_{total}$ , nas albufeiras, considerando a contribuição espanhola.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 4, as concentrações finais de  $P_{total}$ , simuladas para as albufeiras da Valeira, Régua, Carrapatelo e Crestuma, são bastante aproximadas das médias das concentrações observadas em cada uma delas. Da análise da Figura 4, pode-se ainda



salientar o facto da evolução das concentrações simuladas entre as albufeiras de Valeira e Carrapatelo corresponder à evolução das médias das observações. Entre as albufeiras do Carrapatelo e de Crestuma a variação simulada de concentração não corresponde à evolução observada, tendo no entanto sido obtida uma boa aproximação entre os resultados do modelo e as médias observadas na albufeira de Crestuma.

#### 4 CONCLUSÕES

Tendo como objectivo geral a identificação das principais fontes de  $P_{total}$  para as albufeiras do rio Douro, no estudo apresentado procedeu-se à quantificação das cargas de  $P_{total}$  de origem urbana e difusa, afluente às albufeiras de Miranda, Picote, Bemposta, Pocinho, Valeira, Régua, Carrapatelo e Crestuma. As albufeiras de Aldeia de Ávila e Saucelhe, por não se dispôr dos dados necessários, não foram incluídas no estudo, sendo as respectivas áreas drenantes incluídas na bacia própria da albufeira do Pocinho.

Dada a dificuldade em obter dados de base que permitam avaliar as estimativas de carga de  $P_{total}$  de origem urbana e difusa, a aferição dessas cargas afluentes a cada albufeira foi realizada através da utilização de um modelo de mistura completa, implementado como modelo de albufeiras em série, de modo a melhor reproduzir o sistema a simular. A implementação do modelo permitiu a simulação das concentrações médias em cada uma das albufeiras, tendo os resultados sido comparados com as médias das observações relativas aos anos hidrológicos de 1996/1997 a 2000/2001.

Com base nos primeiros resultados obtidos, verificou-se a necessidade de deslocar a condição de fronteira de montante do modelo implementado, da albufeira de Miranda para a albufeira do Pocinho. Tal situação deve-se ao facto de se ter verificado que as áreas drenantes das albufeiras de Miranda, Picote, Bemposta e Pocinho, localizadas em território espanhol, constituem uma contribuição determinante para a concentração de  $P_{total}$  nessas albufeiras. Com esta alteração, e face aos resultados obtidos nas simulações das concentrações nas várias albufeiras (bem como a outros estudos desenvolvidos pelos autores nos quais foram implementadas as mesmas metodologias), o modelo foi utilizado para estimar as carga de  $P_{total}$  com origem nas áreas drenantes das albufeiras de Miranda, Picote, Bemposta e Pocinho, localizadas em território espanhol.

Quadro 6. Concentrações médias de  $P_{TOTAL}$  estimadas e observadas no rio Douro (mg/L).

Albufeira	concentração observada	Concentração estimada
Miranda	0,135	0,135
Picote	0,120	0,120
Bemposta	0,128	0,128
Pocinho	0,116	0,116
Valeira	0,110	0,118
Régua	0,113	0,124
Carrapatelo	0,119	0,132
Crestuma	0,129	0,127

Na comparação entre as concentrações de  $P_{total}$  simuladas e observadas em cada albufeira constatou-se uma boa aproximação entre os valores observados e estimados em todas as albufeiras simuladas, principalmente se se tiver em conta a simplicidade dos diversos métodos utilizados no estudo realizado. Face aos resultados obtidos com a implementação do modelo de mistura completa, considera-se que as cargas de  $P_{total}$  estimadas ao longo do presente estudo podem corresponder a uma boa aproximação das cargas afluentes às albufeiras do rio Douro.

Quadro 7. Cargas de P<sub>total</sub> estimadas para o rio Douro (ton/ano).

Albufeira	Bacia própria			Acumulado		
	Difusa	Urbana	Total Portugal	Portugal	Espanha	Total
Miranda	3,5	2,6	6,1	6,1	1 211,0	1 217,1
Picote	2,3	1,6	3,9	10,0	1 220,0	1 230,0
Bemposta	2,4	1,7	4,1	14,1	1 310,0	1 324,1
Pocinho	91,5	101,1	192,6	206,6	1 446,0	1 652,6
Valeira	91,1	91,0	182,1	388,7	1 446,0	1 834,7
Régua	104,8	268,9	373,7	762,4	1 446,0	2 208,4
Carrapatelo	28,9	179,9	208,9	971,3	1 446,0	2 417,3
Crestuma	70,6	461,4	532,1	1503,3	1 446,0	2 949,3

Quadro 8. Cargas de P<sub>total</sub> estimadas para o rio Douro (em percentagem da carga total).

Albufeira	Bacia própria			Acumulado		
	Difusa	Urbana	Total	Portugal	Espanha	Total
Miranda	56,91	43,09	100,00	0,50	99,50	100,00
Picote	58,10	41,90	100,00	0,81	99,19	100,00
Bemposta	57,46	42,54	100,00	1,06	98,94	100,00
Pocinho	47,50	52,50	100,00	12,50	87,50	100,00
Valeira	50,04	49,96	100,00	21,19	78,81	100,00
Régua	28,04	71,96	100,00	34,52	65,48	100,00
Carrapatelo	13,84	86,16	100,00	40,18	59,82	100,00
Crestuma	13,28	86,72	100,00	50,97	49,03	100,00

Dos resultados obtidos é de salientar o facto de se ter constatado uma influência determinante das cargas transportadas no rio Douro até à albufeira de Miranda, na concentração de P<sub>total</sub> ao longo das albufeiras do rio Douro (Quadro 7 e Quadro 8).

Em termos globais, conclui-se que no estudo desenvolvido foram atingidos todos os objectivos propostos, sendo de salientar que o seu desenvolvimento permitiu a quantificação da influência da albufeira de Miranda em todo o sistema do rio Douro, tendo igualmente permitido salientar a importância da poluição de origem urbana nas albufeiras da Régua, Carrapatelo e Crestuma. Em face dos resultados globais obtidos, considera-se que as metodologias adoptadas, apesar de representarem uma simplificação do problema em análise, são uma alternativa viável para a definição de estratégias globais de intervenção na gestão da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Douro. NO entanto, não devem deixar de ser referidas as grandes limitações de informação de base encontradas relativamente às origens de P<sub>total</sub>, também ao nível das cargas de origem urbana mas principalmente no que diz respeito às cargas de origem difusa.

## BIBLIOGRAFIA

CASTRO, P. - *Estudo Ambiental do Estuário do Tejo- Estimção e Controlo da Poluição Difusa no Estuário do Tejo, Relatório Projecto Tejo nº 12*. Projecto de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Tejo, Lisboa (Portugal), 1986.

DIOGO, P.A., COELHO, P.S, ALMEIDA M.C.; MATEUS, N. S., RODRIGUES, A.C. - “Estimativa de cargas difusas de origem agrícola na bacia hidrográfica do rio Degebe”, in *Anais do 6º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (SILUSBA)*, Associação Portuguesa de recursos Hídricos, Praia (Cabo Verde), 10 a 13 de Novembro, 2003.

DIOGO, P.A., COELHO, P.S, ALMEIDA M.C.; MATEUS, N. S., RODRIGUES, A.C. - “Influência do fósforo de origem agrícola na classificação do estado trófico das principais albufeiras de Portugal continental”, in *Anais do 7º Congresso da Água*, Associação Portuguesa de recursos Hídricos, Lisboa (Portugal), 8 a 12 de Março de 2004.

DONIGIAN, Anthony S.Jr.; HUBER, Wayne C. – *Modeling of Non-point Source Water Quality in Urban and Non-urban Areas*. Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia (EUA), 1991.

GIL, M. Lourenço e FERNANDES, J. Nascimento – “Classificação trófica das albufeiras exploradas pela EDP”. Recursos Hídricos – Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, **18**, 2, Maio 1997, pp. 43 – 51.

HAITH, D. A., LAWRENCE, J.T. – “Watershed Loading Functions For Nonpoint Sources”. Journal of Environmental Engineering Division, ASCE. February 1981, pp 121 – 137.

HEITOR, Ana M.F. – “Efeitos da fertilização na qualidade das águas – zona das masseiras”, in *Anais do 5º Congresso da Água*, Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, Lisboa (Portugal), Março de 2000.

JORDAN, Thomas E., CORRELL David L. e WELLER, Donald E. – “Relating nutrient discharges from watersheds to land use and streamflow variability” - *Water Resources Research*, **33**, 11, November 1997, pp 2579 – 2590.

MAOT/INAG - *.Plano Nacional da Água*. Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território, Instituto da Água, Lisboa (Portugal), 2001.

LOURENÇO, Raquel P. T. G. – “Determinação da poluição difusa afluente a uma linha de água - validação das metodologias habitualmente utilizadas no cálculo das cargas de poluição difusa para bacias hidrográficas nacionais”, in *Anais do 6º Congresso da Água*, Associação Portuguesa de recursos Hídricos, Porto (Portugal), 18 a 22 de Março de 2002.

METCALF e EDDY – *Wastewater engineering, Treatment Disposal Reuse*. Third Edition, Mackgraw-Hill, 1995.

Ministério do Planeamento e Administração do Território, Secretaria de Estado do Ambiente e Recursos Naturais, Direcção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Divisão de Hidrometria – *Monografia dos Principais Cursos de Água de Portugal Continental*. Lisboa (Portugal), MPAT, 1986.

NOVOTNY, V.; OLEM, H. - *Water Quality - Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution*. Van Nostrand Reinhold, New York (EUA), 1994.

REDDY, K.R. e FLAIG, E.G. – “Phosphorous Dynamics in the lake Okeechobee Watershed, Florida”. *Ecological Engineering - Elsevier*, **5**, 2+3, Novembro 1995, pp 183 - 207.

RIBEIRO, Luís – “A agricultura e a qualidade da água subterrânea em Portugal continental”, in *Anais do 6º Congresso da Água*, Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, Porto (Portugal), Março de 2002.

RODRIGUES, A.C.; COELHO, P.S.; Silva, S.P.; FONSECA, M. R.; DIOGO, P.A. – “Modelação da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Ave – Avaliação das Cargas Poluentes de Origem Difusa”, in *Anais do 6º Congresso da Água*, Porto (Portugal), Março de 2002.

TANIK, A., BAYAKL, B.B., GONENC, I.E. “The Impacts of Agricultural Pollutants in Six Drinking Water Reservoirs”; *Water Science and Tech.*, **40**, 2, 1999, pp. 11-17.

THOMANN, Robert V. e MUELLER, John - A. *Principles of Surface Water Quality modeling and control*. Harper and Row Publishers, New York (EUA), 1987.

WIT, M. e BEHRENDT, H. - “Nitrogen And Phosphorous Emissions From Soil To Surface Water In The Rhine And Elbe Basins”; *Water Science and Technology*, **39**, 12, 1999, pp 109-116.

VASCONCELOS, V. e PEREIRA, E. - “Qualidade biológica de águas superficiais. Estudo da Comunidade fitoplanctónica na albufeira do torrão (rio Tâmega)”, in *Anais do 6º Congresso da Água*, Associação Portuguesa de recursos Hídricos, Porto (Portugal), 18 a 22 de Março de 2002.

VOLLENWEIDER, R.A. – “Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication”, OECD, Paris, 1968.