



G

TRUNFOS DE UMA  
**EOGRAFIA ACTIVA**

DESENVOLVIMENTO LOCAL,  
AMBIENTE,  
ORDENAMENTO  
E TECNOLOGIA

**Norberto Santos**  
**Lúcio Cunha**

COORDENAÇÃO

Adélia N. Nunes

*Departamento de Geografia, Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra, CEGOT*

## EVOLUÇÃO DOS CAUDAIS NO RIO BEÇA: RESPOSTA À VARIABILIDADE CLIMÁTICA OU ÀS MUDANÇAS NO USO DO SOLO?

### 1. INTRODUÇÃO

O balanço hídrico ao nível da bacia hidrográfica é controlado pela inter-relação entre clima, solo e vegetação. A modificação de um destes elementos deverá desencadear alterações na resposta hidrológica da bacia, tanto ao nível da qualidade como da quantidade. Observações meteorológicas realizadas em Portugal continental indicam que, após a década de 70, a temperatura média subiu em todas as regiões, a uma taxa de cerca de 0,5°C/década, mais do dobro da taxa de aquecimento mundial (Miranda *et al.*, 2006).

No que se refere à precipitação, a evolução observada apresenta grande irregularidade e não se verificam tendências no seu valor médio anual, embora seja de salientar o facto das últimas duas décadas do século XX terem sido pouco chuvosas comparativamente aos valores médios assinalados no período de 1960-90 (idem, *ibidem*). Uma diminuição da precipitação acompanhada de um incremento da evapotranspiração potencial, relacionada com o aumento da temperatura, tenderá a provocar uma diminuição das disponibilidades anuais de água.

Outro processo que tem interessado a comunidade científica, em particular da Europa Mediterrânea, relaciona-se com as mudanças recentes no uso e coberto vegetal do solo, caracterizadas pelo abandono de vastas áreas agrícolas a par de uma recolonização por densas comunidades arbustivas e arbóreas, e nos respectivos efeitos sobre a disponibilidade de recursos hídricos (Beguiría *et al.*, 2003; Gallart & Llorens, 2004; Ceballos & Morán Tejada, 2006; Ceballos *et al.*, 2008ab).

Na bacia do rio Douro existem alguns trabalhos realizados em tributários (Machín *et al.*, 2005; Ceballos & Morán Tejada, 2006; Nunes, 2007, 2008; Ceballos *et al.* 2008a). Em todos os casos se assinalam reduções nos caudais, as quais se inter-relacionam com alterações na quantidade de precipitação e com mudanças no uso e cobertura vegetal do solo, embora sem determinar a efectiva consequência destas alterações nas contribuições fluviais.

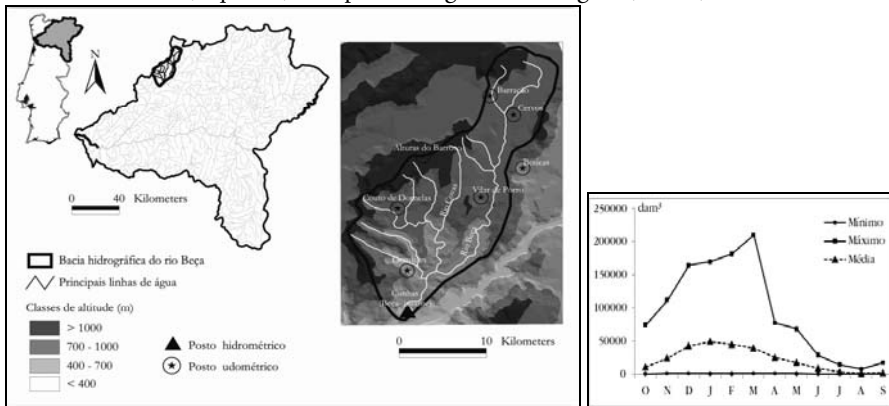
No presente trabalho analisa-se a evolução dos caudais no Rio Beça (afluente do rio Tâmega), desde o início dos anos 50 do séc. XX até aos primórdios do XXI, dando especial ênfase às variações nos escoamentos anuais, mensais e frequência de dias em que se superaram determinados caudais. Outro dos objectivos consiste em relacionar a sua dinâmica hidrológica com a variabilidade climática, em particular com alterações no regime e distribuição das precipitações, bem como com as mudanças ocorridas no uso e cobertura vegetal, da respectiva área de drenagem.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Beça encontra-se representada na Figura 1. Com uma área de drenagem de 337 km<sup>2</sup>, o rio Beça, afluente do Tâmega, é tributário da margem direita do rio Douro e drena os contrafortes da Serra do Barroso. Por conseguinte, apresenta contrastes altimétricos muito significativos, a oscilar entre os 250m e os mais de 1100m, nas cotas mais elevadas. A precipitação média anual oscila em termos espaciais entre os 1000 e 2000 mm/ano.

O escoamento médio anual ronda os 279 500 dam<sup>3</sup> enquanto o escoamento específico atinge cerca de 830 dam<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, sendo o respectivo coeficiente de variação interanual de 50%. Na Figura 1 (direita) representam-se os valores médios, máximos e mínimos na estação de Cunhas, localizada na proximidade da sua foz. O seu regime, nitidamente, pluvial está dependente da distribuição intra-anual das chuvas líquidas de carácter frontal, associadas à passagem de perturbações frontais de Oeste, típicas das nossas latitudes.

Figura 1 – Localização da bacia do rio Beça e dos pontos de monitorização hidroclimática (esquerda) e respectivo regime hidrológico (direita).



## 3. MÉTODOS E TÉCNICAS

Na análise da dinâmica hidrológica do rio Beça optou-se pelos dados do posto hidrométrico de Cunhas, situado na proximidade da foz desta linha de água, por disponibilizar uma longa e contínua série de dados, de 56 anos (1950/51-2006/07). À semelhança dos dados hidrológicos, também os referentes à precipitação foram recolhidos do *Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos* (SNIRH) do *Instituto da Água* (INAG).

Procedeu-se à análise da evolução temporal das suas contribuições anuais e mensais, caudais médios máximos diários e expressou-se, graficamente, a tendência observada para o período estudado. Como indicador da variação dos caudais médios diários analisou-se a frequência de dias em que se superaram determinados limiares (Machín *et al.*, 2005; Ceballos *et al.*, 2008b). Neste estudo, determinaram-se os dias com caudais 10 vezes superiores (Q10) - *cheia de grande intensidade* - e 10 vezes inferiores (Q/10) - *águas baixas* - ao caudal médio anual.

Para analisar as tendências de evolução (positiva, negativa ou nula) das variáveis hidroclimáticas e contrastar o seu grau de significado, com um determinando nível de confiança, aplicou-se o coeficiente de *Spearman* (Rs), teste estatístico não paramétrico<sup>1</sup>. Para examinar o grau de inter-relação entre as precipitações, em diversos pontos da bacia, e o escoamento na secção monitorizada, aplicou-se o coeficiente de correlação de *Pearson*<sup>2</sup>.

Com o objectivo de comparar de forma, estandardizada, a evolução ao longo do tempo das contribuições fluviais e da precipitação, procedeu-se à normalização dos respectivos valores aplicando-se o índice F, adaptado por Begueria *et al.*, (2003) de acordo com a seguinte fórmula:  $z = (x-x)/sd$

onde: z é o valor normalizado da variável; x é o valor absoluto;  $\bar{x}$  é a média; sd é o desvio-padrão (*standard deviation*).

Nesta inter-relação, apenas se utilizou um posto udométrico, o de Cervos (ver fig. 1) por se localizar no interior da bacia, por registar a série de dados mais longa e coincidente com os referentes ao dos caudais. Determinaram-se na sequência os resíduos da aplicação de um Modelo de Regressão Linear Simples entre estas duas variáveis (caudais *vs* precipitação), e analisou-se a respectiva tendência temporal. Na análise dos dados utilizou-se o programa estatístico SPSS e na interpretação dos resultados foram tidos em conta níveis de significado inferiores a 0,05 (*p-value* <0,05).

Para análise das alterações experimentadas no uso e cobertura vegetal do solo, nas freguesias que integram a bacia hidrográfica do rio Beça, utilizaram-se os dados constantes nos dois últimos recenseamentos agrícolas, de 1989 e 1999, do Instituto Nacional de Estatística (INE).

#### 4. RESULTADOS

##### Caudais: evolução e tendências

A análise da série relativa aos totais de escoamento (Fig. 2, esq.) mostra uma forte irregularidade inter-anual e uma tendência temporal nitidamente negativa, significativa para um intervalo de confiança de 95%. O ajuste linear, da respectiva recta de regressão, permite estimar uma perda de 37% dos recursos no posto hidrométrico de Cunhas, no período de 1950/51-2005/06, o que corresponde, em termos médios, a uma quebra de caudal de 0,66%/ano.

A observação da tendência temporal das séries mensais (Fig. 2, direita) mostra-se negativa para todos os meses, com excepção de Outubro, com uma tendência positiva sem significado estatístico. Os decréscimos mais marcados e contínuos no escoamento mensal ocorreram entre Fevereiro e Setembro.

Para além das contribuições fluviais, que determinam a disponibilidade de recursos hídricos num determinado território, importa também estudar a evolução de outros fenos

<sup>1</sup> Este coeficiente não é sensível a assimetrias na distribuição, nem à presença de *outliers*, não exigindo, portanto, que os dados provenham de duas populações normais. O coeficiente de *Spearman* varia entre 1,00 e -1,00. Quanto mais próximo estiver destes extremos, maior será a associação, directa ou inversa, entre as variáveis.

<sup>2</sup> Trata-se de uma medida de associação linear que se utiliza quando as variáveis se distribuem normalmente, sendo o respectivo coeficiente de variação compreendido entre +1,00 e -1,00.

menos hidrológicos extremos, de cheias e secas, com consequências graves nas infra-estruturas, populações ribeirinhas e actividades socioeconómicas. Na Figura 3 (esq.) encontram-se representados os caudais médios diários máximos anuais e o número de dias com caudais 10 vezes superiores ( $Q \times 10$ ) ao valor médio anual ( $Q \geq 8,86 \text{ m}^3/\text{s}$ ) (direita).

Figura 2 – Evolução inter-anual e tendência temporal dos caudais no rio Beça, na estação de Cunha (1950/51-2005/06) (esquerda). Tendência mensal do escoamento, segundo o coeficiente de Spearman (1950/01-2005/06) (direita)<sup>3</sup>.

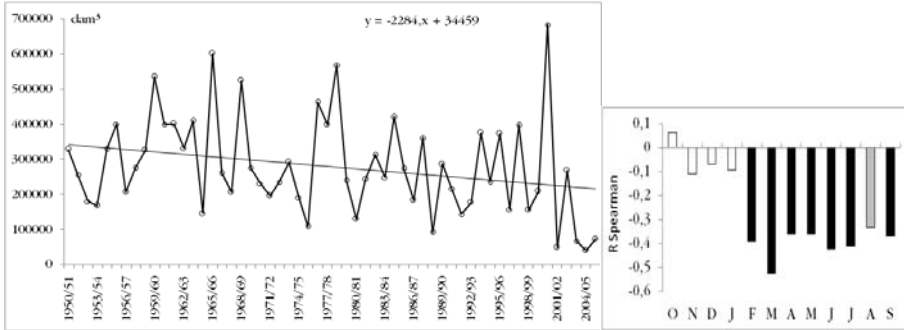
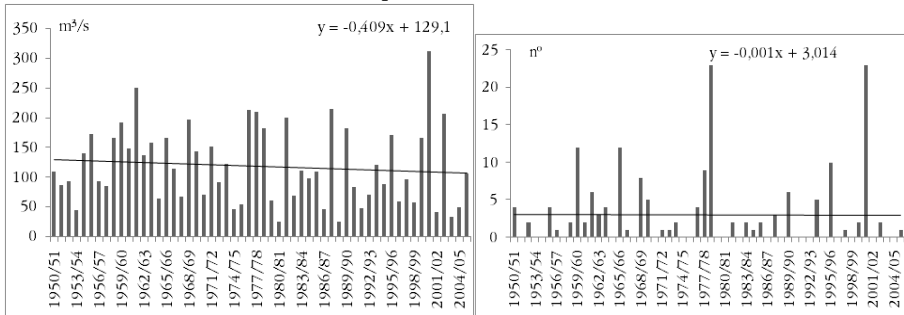


Figura 3 – Evolução dos caudais médios diários máximos (esquerda) e do número de dias com caudais 10 vezes superiores ao valor médio anual (direita).

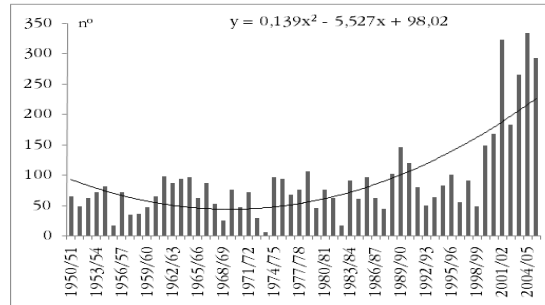


Ambas as variáveis se correlacionam e apesar de mostrarem uma tendência negativa ao longo do tempo, esta não revela qualquer significado estatístico. O número de dias com  $Q_{10}$  foi, nos 56 anos analisados, de 171, o que corresponde a 0,7% dos dados diários. O valor médio máximo diário foi de  $311 \text{ m}^3/\text{s}$ , em Março/2001, o que corresponde uma cheia de ordem 35 ( $Q_{35}$ ).

No tocante à evolução do número de dias com caudais 10 vezes inferiores à média anual ( $Q/10 = Q \leq 0,89 \text{ m}^3/\text{s}$ ) (Fig. 4), isto é, “água baixas”, manifesta uma tendência claramente positiva, com um coeficiente de correlação de Spearman de 0,473 ( $p\text{-value} < 0,000$ ). No período hidrológico analisado, a percentagem de dias com  $Q/10$  representa cerca de 1/4, indicando o claro predomínio para a ocorrência de “águas baixas”.

<sup>3</sup>. Barras brancas: sem significado estatístico; barras a cinza: correlações significativas para um nível  $p\text{-value} \leq 0,05$ ; Barras a preto: correlações significativas para um nível  $p\text{-value} \leq 0,01$ .

Figura 4 – Evolução inter-anual do número de dias com caudais 10 vezes inferiores ao valor médio anual.



Inter-relação entre as variáveis hidroclimáticas

A inter-relação dos quantitativos de precipitação observados, nos postos da área de estudo, com os caudais assinalados no rio Beça mostra-se positiva, altamente significativa ( $p\text{-value} < 0,000$ ), com todas as estações seleccionadas (Quadro I). Estas intensas relações reflectem a forte dependência hidrológica deste curso relativamente à ocorrência de precipitações.

Quadro 1 – Correlações de *Pearson* entre os escoamentos e precipitações no rio Beça e respectiva área de drenagem.

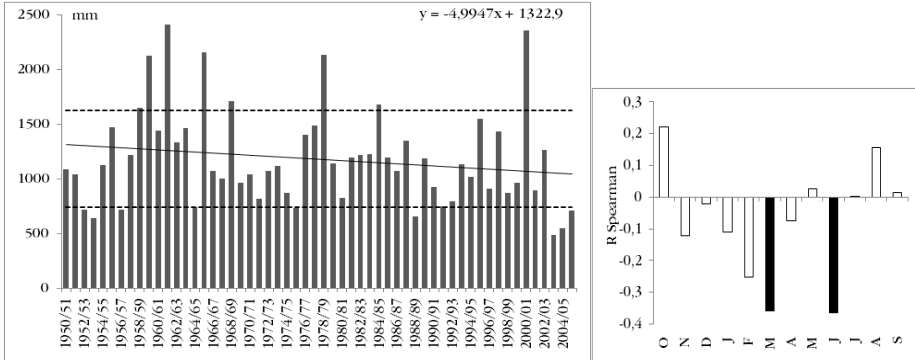
		Alturas do Barroso	Barracão	Boticas	Cervos	Couto de Dornelas	Gondiães	Vilar de Porro
Rio Beça-Cunhas	<i>Pearson</i> Correlation	0,861**	0,864**	0,952**	0,911**	0,772**	0,850**	0,861**
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	<i>n</i>	46	46	46	56	47	36	46

\*\* Correlações significativas para um nível  $p\text{-value} \leq 0,01$ .

Com excepção da estação de Cervos, que apresenta uma série longa e contínua de dados, todas as outras manifestam lacunas, motivo pelo qual não são analisadas em pormenor. Assim, a precipitação média anual correspondente a esta estação foi, no período de 1950/51-2005/06 de 1180mm, com um desvio-padrão de 443mm e um coeficiente de variação de 38% (Fig. 5, esq.). O ajuste linear para a serie analisada reflecte uma diminuição, que rondará os 20%, não registando qualquer significado do ponto de vista estatístico ( $R_s = -0,182$ ;  $p\text{-value} = 0,176$ ).

A análise da tendência temporal da precipitação para as séries mensais mostra o predomínio de meses com tendência negativa (Fig. 5, direita), sendo que os maiores decréscimos ocorreram em Março e Junho ( $p\text{-value} < 0,01$ ). Com tendência positiva, portanto de incremento embora sem significado estatístico, salientam-se os meses de Outubro, Agosto, Maio e Setembro.

Figura 5 – Evolução interanual da precipitação no posto udométrico de Cervos (esquerda) e tendência mensal do escoamento, segundo o coeficiente de Spearman (1950/01-2005/06) (direita)<sup>4</sup>



740

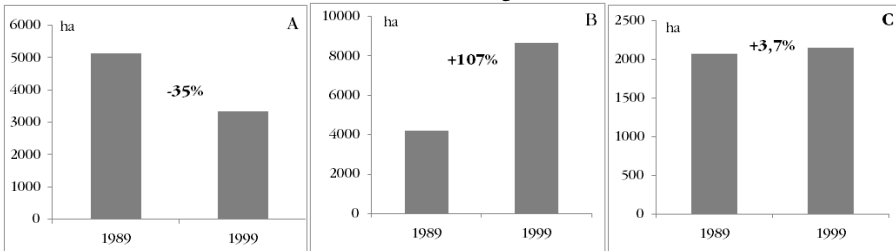
### Mudanças no uso e cobertura vegetal do solo

A análise das mudanças no uso e coberto vegetal ocorridas na bacia do rio Beça, tendo apenas por base os dados recolhidos nos dois últimos recenseamentos é, sem dúvida, redutora e insuficiente para nos dar a real dimensão das alterações ocorridas na paisagem, após os anos 50 da passada centúria. Todavia, a sua análise é susceptível de nos dar algumas indicações acerca da ocupação do solo e da sua dinâmica, nestas últimas décadas.

A sua análise permite, assim, assinalar mudanças quantitativas na configuração do uso do solo, com decréscimos evidentes na percentagem de terras aráveis (-35%), e um incremento bastante expressivo das áreas de pastagem (+ 107% em 1999 face a 1989). A área de floresta assinalou um tímido incremento, de apenas 4%, no conjunto da bacia (Fig. 6).

Figura 6 – Mudanças no uso do solo na bacia do rio Beça, entre 1989 e 1999.

A. Terras aráveis; B. Pastagens; C. Floresta



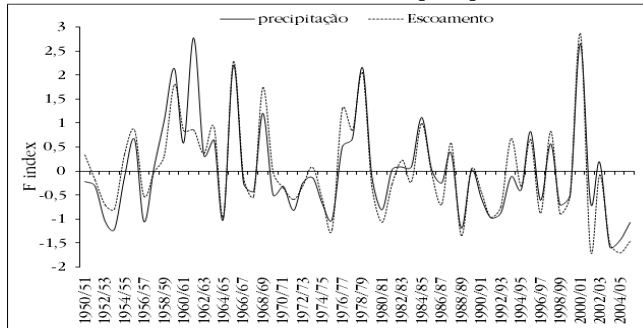
<sup>4</sup>. Linhas a tracejado: precipitação média  $\pm$  Desvio padrão; 1180  $\pm$  443 mm; Rs: -0,182; p-value= 0,176. Barras brancas: sem significado; barras pretas: correlação significativa para uma nível de confiança de 99%.

## Evolução dos recursos hídricos: interação com as variações na precipitação e mudanças recentes no uso do solo

Na Figura 7 sistematiza-se os dados normalizados referentes à evolução anual da precipitação na estação de Cervos e dos caudais para o mesmo período. A sua observação mostra um comportamento bastante similar, corroborando-se a forte correlação entre estas duas variáveis, embora em alguns anos se verifique um maior afastamento entre as mesmas.

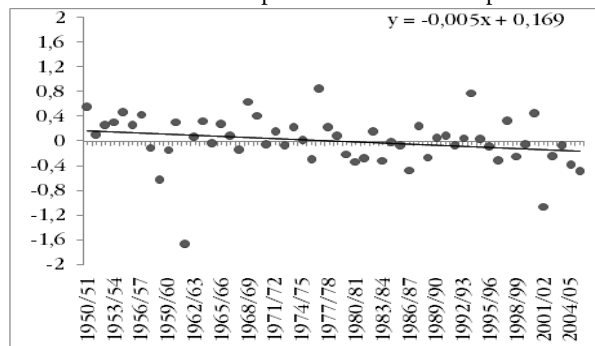
741

Figura 7 – Evolução interanual do escoamento e da precipitação (dados normalizados).



A análise dos valores residuais, o produto resultante da interrelação entre a precipitação e o escoamento (Fig. 8), mostra ao longo do tempo uma tendência negativa, estatisticamente significativa ( $R_s: -0,365$ ;  $p\text{-value}: 0,006$ ). Esta tendência temporal negativa dos resíduos sugere alterações na relação entre as duas variáveis, as quais se poderão associar a mudanças ocorridas no uso e coberto vegetal.

Figura 8 – Evolução interanual dos resíduos resultantes da interrelação entre precipitação e escoamento e respectiva tendência temporal.



Com efeito, apesar de se reconhecer as alterações nos quantitativos de precipitação como o factor mais importante nas modificações que possam ocorrer no regime hídrico, outros agentes poderão interferir no ciclo hidrológico. Entre eles destacam-se a interceptação e a evapotranspiração (Beguería *et al.*, 2003), Portanto, um acentuado incremento do coberto



vegetal, de forma espontânea ou fomentado pelo Homem, pode desencadear alterações relevantes na disponibilidade de recursos hídricos.

## 5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A análise da evolução interanual dos caudais do rio Beça, com uma série de dados bastante longa (> a 5 décadas), revela-se particularmente importante pois permite avaliar a sua resposta, em regime natural, aos factores biofísicos e humanos que interactuam na respectiva área de drenagem.

A sua observação mostra decréscimos acentuados, a rondar os 37%. Esta perda de recursos hídricos surge, igualmente, assinalada em outras bacias do mesmo sistema fluvial, como são disso exemplo o rio Côa (Nunes, 2007), o rio Águeda e Sabor (Nunes, 2008), rio Arlanza, Espanha, (Machín *et al.*, 2005) e a cabeceira do rio Tormes, Espanha, (Ceballos *et al.*, 2008).

Do mesmo modo, as análises estatísticas relativas à evolução temporal das séries mensais apontam para um marcado decréscimo entre Fevereiro e Setembro, o que também está de acordo com os resultados obtidos em outras bacias. Outra das evidências deste trabalho, é a forte dependência da resposta hidrológica das linhas de água relativamente à precipitação. Todavia, há aspectos que merecem reflexão, sugerindo a influência de outros factores, entre os quais as mudanças no uso e coberto vegetal.

Convém, no entanto, destacar que na análise à evolução interanual dos totais de escoamento e de precipitação, os decréscimos são bastante mais evidentes nos caudais anuais comparativamente aos quantitativos de precipitação. Por outro lado, a observação das tendências temporais das séries mensais, de ambas as variáveis, não mostram uma clara correspondência, uma vez que no caso dos caudais a tendência decrescente alarga-se a praticamente todos os meses do ano enquanto a precipitação regista declínios, significativos, apenas em Março e Junho. Entre Agosto e Outubro assinalam-se aumentos, embora sem relevância estatística.

A tendência dos valores residuais mostra-se negativa e sugere alterações na relação entre a precipitação e o escoamento, as quais poderão estar associadas a mudanças ocorridas no uso e coberto vegetal. Com efeito, entre as variáveis de carácter dinâmico que mais podem contribuir para as alterações assinaladas encontram-se as mudanças na cobertura vegetal do solo, embora os câmbios quantitativos ocorridos na área de floresta se mostrem pouco relevantes (+3% entre 1989 e 1999). No entanto, não são de negligenciar as reduções ao nível das terras aráveis (-35%) e sobretudo, a expansão verificada na área de pastagem (+107%).

Apesar das comunidades arbóreas se assumirem, face às herbáceas, como maiores consumidoras de água, devido ao seu maior potencial em termos de intercepção e evapotranspiração, não devemos menosprezar o efeito que o incremento das comunidades herbáceas e, em muitos casos, arbustivas, pode promover nos processos hidrológicos. Com referem Wallace & Olivier (1990), apesar do maior potencial das árvores em termos de evapotranspiração, em condições de secura a transpiração florestal pode ser entre 20-50% menor que a registada pelas herbáceas. Esta diferença deve-se aos respectivos mecanismos de intercâmbio energético: em condições secas as árvores podem permitir-se fechar os estomas, uma vez que o aquecimento por radiação será limitado pela ventilação; contrariamente a erva vê-se obrigada a utilizar a transpiração como sistema para controlar o aquecimento, e quando a água disponível para transpirar se esgota a erva seca.

De qualquer modo, não fica claro o peso que estas mudanças no uso e coberto vegetal têm no balanço hídrico final, nem a partir de que limiar os efeitos da cobertura vegetal começam a ser claros e evidentes.

A ausência de correlações significativas entre o tempo e os caudais médios máximos anuais mostra que o incremento de coberto vegetal não foi suficiente para regular a frequência e intensidade de eventos hidrológicos extremos. Em contrapartida, o incremento assinalado no número de dias com “águas baixas” poderá relacionar-se, principalmente, com o decréscimo da precipitação nos meses de Inverno e, sobretudo, no de Junho. Os primeiros hipotecam a recarga hídrica do solo, o que necessariamente afecta o fluxo de base do rio, enquanto a forte diminuição no mês de Junho irá agravar ainda mais as necessidades hídricas da vegetação, uma vez que nesta altura do ano as reservas do solo já são baixas enquanto as temperaturas e a evapotranspiração são bastante altas.

Assim, perante cenários que indicam que a temperatura média anual continuará a aumentar, de forma mais pronunciada no Verão, em particular na costa atlântica da Europa Meridional, e que a precipitação média anual pode decrescer ligeiramente a uma taxa de 1% por década, a par de importantes alterações sazonais (Cunha *et al.*, 2006), o conhecimento da ocupação do solo e das relativas tendências evolutivas deverão constituir mais um dos elementos a ponderar nas estratégias de resposta e adaptação com vista à gestão eficaz dos recursos hídricos, no futuro. Com efeito, a gestão da água torna-se um factor-chave pelos potenciais efeitos que pode desencadear tanto na sua quantidade como na sua qualidade, colocando sérios problemas de abastecimento a todos os sectores que dela dependem.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beguiría, S., López-Moreno, J., Lorente, A., Seeger, M. & García-Ruiz, J., 2003, 'Assessing the effect of climate oscillations and land-use changes on streamflow in the Central Spanish Pyrenees', *Ambio*, vol. 32, n.4, pp. 283-286.
- Ceballos, A. & Morán-Tejeda, E. 2006, 'Evolución de las aportaciones hídricas en una cuenca de montaña del Sistema Central: cabecera fluvial del río Tormes (1941-2004)', *Cuadernos de Investigación Geográfica*, vol.32, pp. 7-28.
- Ceballos, A., Morán-Tejeda, E., Luengo-Ugidos, M. A. & Llorente-Pinto, J. M. 2008a, 'Water resources and environmental change in a Mediterranean environment: the south-west sector of the Duero river basin (Spain)', *Journal of Hydrology*, vol. 351, pp. 126-138.
- Ceballos, A., Morán-Tejeda, E., Luengo-Ugidos, M. A. & Llorente-Pinto, J. M. 2008b, 'Aportaciones hídricas en la cabecera fluvial del río Duero: relación con la variabilidad climática y cambio en la cubierta vegetal', *Territorium*, vol. 15, pp. 15-28.
- Gallart, F. & Llorens, P. 2004, 'Observations on land cover changes and water resources in the headwaters of the Ebro catchment, Iberian Peninsula', *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 29, pp. 769-773.
- Machín, J., Navas, A., Doménech, S. & López-Vicente, M. 2005, 'El río Arlanza en cabecera: evolución reciente y tendencias en condiciones de cambio global', *Cuadernos de Investigación Geográfica*, vol. 31, pp. 77-95.
- Miranda, P., Valente, M., Tomé, A., Trigo, R., Coelho, M., Aguiar, A. & Azevedo, E. 2006, 'O Clima de Portugal nos Séculos XX e XXI', in *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação*, ed. F. D. Santos & P. Miranda, Gradiva Publicações, Lisboa, pp. 45-113.
- Nunes, A. 2007, 'Recursos hídricos na bacia do rio Côa: relações com a variabilidade climática e mudanças no uso do solo', *Iberografias*, vol. 10, pp. 71-86.
- Nunes, A. 2008, 'Recursos hídricos na bacia do Rio Sabor: evolução recente e relações com mudanças sócio-ambientais', *6º Congresso Ibérico Sobre Gestão e Planificação da Água*, Vitória-Gasteiz, 10 p. (em CDROM)
- Wallace, J. S. & Olivier, H. R. 1990, 'Vegetation and hydroclimate', in *Process studies in hillslope hydrology*, ed. M. G. Anderson & T. P. Burt, John Wiley, pp. 9-41.