



ESCOAMENTOS FLUVIAIS EM BACIAS DE MONTANHA DO NE PORTUGAL: VARIABILIDADE E TENDÊNCIAS TEMPORAIS

Vinícius OKADA¹, Tomás de FIGUEIREDO¹, Felícia FONSECA¹, Maurício Moreira dos SANTOS²

1. Instituto Politécnico de Bragança, CIMO – Centro de Investigação de Montanha, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal, vkokada@gmail.com, tomasfig@ipb.pt, ffonseca@ipb.pt

2. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus de Londrina, Paraná, Brasil, mmsantos@utfpr.edu.br

RESUMO

As zonas de montanha têm importância crucial para o regime hidrológico das grandes bacias, designadamente na sua produtividade e no risco a que podem estar sujeitas as suas zonas baixas. A resposta hidrológica das bacias de montanha é espacialmente muito variada em resultado do relevo, o qual impõe também variabilidade espacial acentuada no regime climático, em particular na precipitação. A análise de séries longas de escoamentos fluviais pode permitir identificar tendências de evolução temporal, com consequências propagáveis para as zonas baixas das grandes bacias. Com o propósito de avaliar o efeito de gradientes climáticos na resposta hidrológica de bacias de montanha e as suas tendências de evolução temporal nas últimas décadas, o trabalho tomou como objeto de estudo 3 bacias contíguas do Parque Natural de Montesinho, NE de Portugal, de dimensão similar (400 – 530 km²): rio Tuela (mais húmida a oeste), rio Sabor e rio Maçãs (mais seca a leste). Sendo bacias transfronteiriças das cabeceiras da margem direita do rio Douro, tomaram-se e compatibilizaram-se bases cartográficas de Portugal e de Espanha, incluindo: modelo digital do terreno, resolução 30 m; geologia; solos; ocupação do solo; precipitação. Estas bases foram utilizadas para a caracterização fisiográfica das bacias aplicando ferramentas de SIG. Analisaram-se as séries de caudal médio diário disponíveis para as secções definidoras das bacias (42 anos) e utilizaram-se técnicas de análise de hidrogramas para separar escoamento de base de escoamento direto. Aplicou-se regressão linear às séries cronológicas para avaliar tendências de variação no caudal médio diário e suas componentes. Os resultados mostram, como efeito do incremento da aridez, uma redução do coeficiente de escoamento e da proporção de escoamento de base, este último acentuado ao longo da série e significando tendência para o aumento do escoamento direto. A análise efetuada aponta para acréscimos na severidade dos riscos hidrológicos (seca e cheia) nas últimas décadas, mais acentuados nas bacias de menor precipitação.

Palavras-Chave: bacias de montanha; NE Portugal; séries temporais; escoamentos fluviais.

1. INTRODUÇÃO

As zonas de montanha têm importância crucial para o regime hidrológico das grandes bacias hidrográficas, designadamente quanto à disponibilidade de água e ao risco hidrológico a que podem estar sujeitas as suas zonas baixas (Pereira et al, 2004). A resposta hidrológica das bacias de montanha é espacialmente muito variada em resultado do relevo, o qual impõe também variabilidade espacial acentuada no regime climático, em particular na precipitação (Gonçalves, 2016). Por outro lado, a análise de séries longas de escoamentos fluviais pode permitir identificar tendências de evolução temporal, com consequências propagáveis para as zonas baixas das grandes bacias. Importa, todavia, que nesta identificação se separem escoamento de base e escoamento direto, uma vez que o escoamento global pode ocultar variações de diferente sentido em cada uma das suas componentes.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de gradientes climáticos na resposta hidrológica de bacias de montanha e as suas tendências de evolução temporal nas últimas décadas, tomando-se como objeto de estudo 3 bacias contíguas do Parque Natural de Montesinho, NE de Portugal, zona de montanha de elevado valor natural e vulnerabilidade a ameaças sobre os seus recursos fundamentais: solo e água (Castro et al., 2010).

2. MATERIAL E MÉTODOS

As bacias em estudo situam-se no NE de Portugal e em parte em território espanhol (Fig. 1), sendo definidas pelas secções das estações hidrométricas de Vinhais-Quinta Ranca (rio Tuela), Gimonde (rio Sabor) e Ponte Pinelo (rio Maçãs). Correspondem às cabeceiras destes afluentes do rio Douro e dispõem-se ao longo de um gradiente climático, de mais húmido a oeste a mais árido a leste. A área e o declive médio são similares nas 3 bacias, mas a altitude média diminui de oeste para leste, acentuando o gradiente climático nessa direção (Tabela 1).

LIMITES E HIDROGRAFIA DAS BACIAS DOS RIOS TUELA, SABOR E MAÇÃS

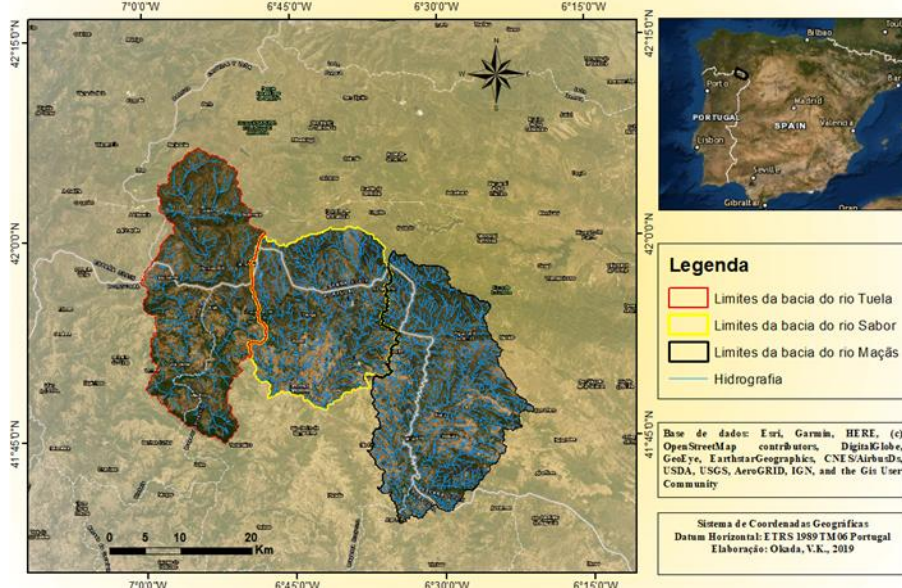


Fig. 1. Localização da área de estudo (Fonte: Okada, 2019).

Tabela 1. Dimensão e características das três bacias hidrográficas estudadas

Parâmetros	Bacia hidrográfica (Rio – Estação)		
	Tuela - Vinhais Quinta Ranca	Sabor - Gimonde	Maçãs - Ponte Pinelo
Área (km ²)	478	407	530
Altitude média (m)	1039	853	766
Declive médio (°)	13	12	11

A informação utilizada neste estudo inclui as séries cronológicas dos caudais médios diários das 3 estações hidrométricas, disponibilizadas pelo Sistema Nacional de Informação em Recursos Hídricos (SNIRH), para o período comum de registos dentro de 1967/68 a 2010/11 (42 anos hidrológicos). As componentes do escoamento consideradas na separação dos hidrogramas de cheia foram apenas escoamento direto e de base, face à resolução temporal diária das séries.

O procedimento de separação destas componentes é detalhadamente descrito em Okada (2019) e consiste em considerar, para cada ano hidrológico, que a média dos caudais médios diários no início de cada curva de ascensão representa o caudal de base médio diário do ano (Qbase médio). O caudal de base diário (Qbase dia) é calculado afetando o caudal médio diário (Qtotal dia) de um fator (f), obtido por otimização para cada ano hidrológico, de modo a respeitar as condições (somatórios referem-se ao ano hidrológico com N dias): $N \text{ Qbase médio} = \sum \text{Qbase dia} = \sum f \text{ Qtotal dia}$; $\text{Qbase dia} < \text{Qtotal dia}$.

Determinaram-se as estatísticas das séries de caudal total, de base e direto médio diário (m³s⁻¹), também convertidas em caudal específico (l s⁻¹ km⁻²) e altura equivalente (mm), calculados para o ano hidrológico com a área drenada, permitindo assim comparabilidade de resultados entre bacias (Lencastre e Franco, 2006). Para avaliação da tendencia de evolução temporal destas séries foi aplicada análise de regressão linear. A precipitação

média anual sobre as bacias, que permitiu calcular coeficientes de escoamento, foi estimada a partir do tratamento em ambiente SIG de informação cartográfica disponibilizada pelo Instituto Português de Mar e Atmosfera (IPMA, Portugal) e do Instituto Tecnológico Agrario da Junta de Castilla y León (ITACyL, Espanha), para 1981/2000, período de sobreposição dos trinténios mais recentes disponíveis nas duas fontes e praticamente central ao de registo de caudais.

Também em ambiente SIG, trataram-se as bases cartográficas relativas ao relevo, geologia, solos e ocupação do solo das bacias, compatibilizando informação cartográfica de Portugal (SNIG) e de Espanha (SIOSE, IGME, ITACyL), processo cujos detalhes se descrevem em Okada (2019) e Okada et al. (2019).

3. RESULTADOS

As médias anuais do escoamento total e de base nas 3 bacias seguem as da precipitação, deste modo respondendo ao gradiente climático ao longo do qual se localizam (Fig. 2). O coeficiente de escoamento foi de 0,58, para a bacia do Tuela, 0,51, para a do Sabor e 0,33, para a do Maçãs, mostrando um decréscimo acentuado ao longo do gradiente de precipitação. Esta mesma tendência se verifica com a razão Q_{base}/Q_{total} (Tuela – 0,78; Sabor – 0,71; Maçãs – 0,67, o que significa uma tendência inversa na produção de escoamento direto.

A variação média anual do escoamento anual ao longo do período em análise foi negativa na bacia do Tuela ($-1,67 \text{ mm ano}^{-1}$) e positiva nas do Sabor ($+1,49$) e do Maçãs ($+1,74$), mostrando relação positiva com as condições de aridez, aqui expressas pela precipitação média sobre as bacias. As componentes do escoamento mostraram, todavia, tendências de variação consistentemente positivas e negativas para o escoamento médio direto e de base, respetivamente (Tabela 2). A maior variação em valor absoluto verificou-se na bacia do Tuela, a de maior redução no escoamento de base médio. A taxa de variação positiva no escoamento direto médio tende a aumentar com o incremento da aridez, a significar da bacia do Tuela para a do Maçãs. Quando considerados os extremos do ano do escoamento direto (máximo) e de base (mínimo), repete-se a tendência mostrada nos valores médios, embora com taxas mais elevadas no primeiro caso (Tabela 2).

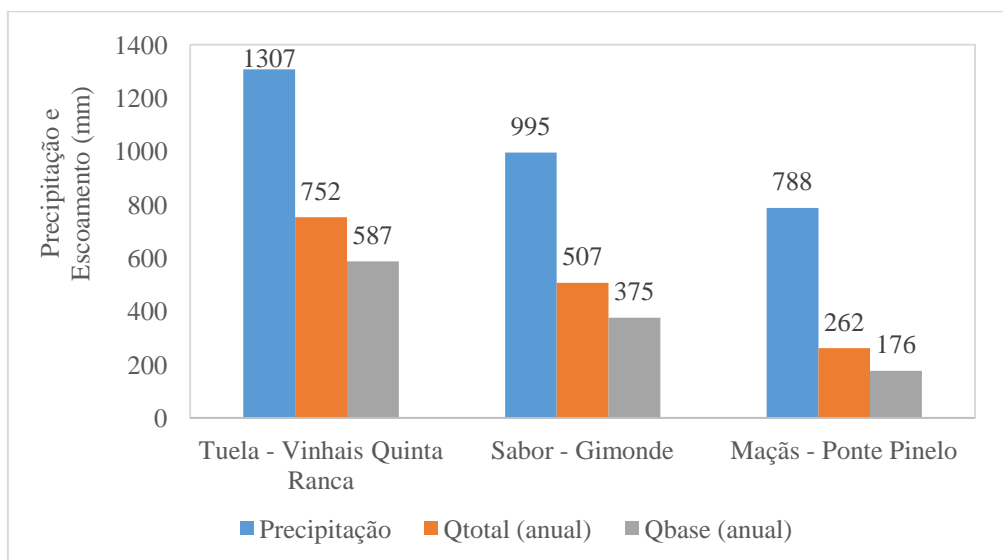


Fig. 2. Precipitação, Escoamento (Q_{total}) e Escoamento de Base (Q_{base}) nas bacias hidrográficas estudadas: valores médios em altura equivalente para o período de registos comum (1981/2000).

Tabela 2. Variação média anual dos caudais específicos médios no período de 1967/68 a 2010/11 (42 anos hidrológicos) nas três bacias hidrográficas estudadas (valores em $\text{ls}^{-1} \text{ km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)

Caudais	Bacia Hidrográfica (Rio – Estação hidrométrica)		
	Tuela - Vinhais Quinta Ranca	Sabor - Gimonde	Maçãs - Ponte Pinelo
Q_{direto} específico médio	0,026	0,072	0,097



Qbase específico médio	-0,757	-0,011	-0,010
Qdireto específico máximo	0,187	2,286	2,890
Qbase específico mínimo	-0,078	-0,005	-0,007

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O estudo realizado em 3 bacias de montanha, do NE de Portugal, contíguas e de dimensão semelhante, mostra que a sua produtividade responde menos do que proporcionalmente ao gradiente climático prevalecente na região. De facto, tanto os escoamentos como os coeficientes de escoamento (valores médios) decrescem com a redução da precipitação, o que significa uma garantia de caudais abaixo do expectável quando apenas se considera a variação espacial das precipitações na região. Todavia, o potencial de recarga subterrânea que estes resultados sugerem, aparentemente crescente da bacia mais húmida para a mais seca, não se traduz em maior proporção de escoamento de base, o que poderá significar maior transferência de água do solo para a atmosfera por evapotranspiração nesta última, a de menor altitude média. Pelo contrário, a proporção de escoamento direto aumenta com a aridez, gerando nas bacias mais secas maior risco hidrológico, tanto associado à escassez de água (seca) quanto ao excesso (cheia).

A evolução temporal dos caudais no período analisado não revela tendência similar nas 3 bacias quanto ao escoamento total, uma vez que em duas delas é crescente e numa é decrescente. Mostra, todavia, tendência comum nas 3 bacias no caso das suas componentes: decrescente no escoamento de base e crescente no escoamento direto. Neste último, a taxa de variação aumenta com as condições de aridez.

As tendências identificadas indicam um acentuar das condições de risco hidrológico ao longo das últimas 5 décadas, associado a episódios extremos de efeitos mais evidentes nas bacias de montanha de maior aridez.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gonçalves, D.A.; Figueiredo, T de.; Ribeiro, A. C.; Leite, S. M. (2016) A geografia e o clima das montanhas ibéricas. In Sustentabilidade da montanha portuguesa: realidades e desafios. Bragança, Instituto Politécnico de Bragança, Cap 2, 9-38.
- Castro, J.; Figueiredo, T. de; Fonseca, F.; Castro, J.P.; Nobre, S.; Pires, L.C. (2010). Montesinho Natural Park: general description and natural values. In Evelpidou, N.; Figueiredo, T.; Mauro, F.; Tecim, V.; Vassilopoulos, A. (eds) Natural Heritage from East to West: case studies from 6 EU Countries. New York: Springer, 119-132.
- Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Disponível em: <http://www.igme.es/>
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). Disponível em:
<URL:<https://www.ipma.pt/pt/produtoseservicos/index.jsp?page=dataset.pt02.xml>>
- Instituto Tecnológico Agrario de Jata de Castilla y Leon (ITACyL). Disponível em: <URL:
<http://atlas.itacyl.es/>>
- Lencastre, A.; Franco, F. M. (2006) Lições de Hidrologia. 3ª ed. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.
- Okada, V. K. (2019) Escoamentos Fluviais e Riscos Hidrológicos em Bacias de Montanha do Parque Natual de Montesinho, NE de Portugal: Variabilidade Espacial e Tendências Temporais. Tese de Mestrado em Tecnologia Ambiental, Instituto Politécnico de Bragança.
- Okada, V. K.; Figueiredo, T de.; Fonseca, F.; Santos, M. M. (2019) Características de três bacias hidrográficas de montanha ao longo de um gradiente climático: inferências quanto a riscos hidrológicos. In Atas do V Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia (CIEEMAT). Portalegre, 2019, 312-318.
- Pereira, H.M.; Domingos, T. e Vicente, L. (Eds.) (2004) - Portugal Millennium Ecosystem Assessment: State of the Assessment Report. Lisboa, Centro de Biologia Ambiental, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 68 p.
- Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE). Disponível em: <https://www.siose.es/>
- Serviço Nacional de Informação Geográfica (SNIG). Disponível em: <https://snig.dgterritorio.gov.pt/>



Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH). - Dados de base – Monitorização. Disponível em: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1>