

Knickpoints na bacia hidrográfica do Douro: análise da sua distribuição e implicações estruturais.

Cátia Ferreira (1); António Gomes (2); Loreto Antón (3)

(1) Dept. de Geografia, Universidade do Porto, Portugal; catygeo@gmail.com

(2) Dept. de Geografia, Universidade do Porto, Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT), Portugal; albgomes@gmail.com

(3) Dept. de Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid, Grupo de Tectonofísica Aplicada, Spain; loreant@geo.ucm.es

Introdução

Em geomorfologia fluvial, o termo *Knickpoint* (**Kp**) aplica-se quando deparamos com secções subitamente íngremes no perfil longitudinal de um curso de água, vulgarmente, também denominado por ruptura de declive (Goudie, 2004). A análise da sua posição e distribuição revela-se um marcador essencial para a interpretação da incisão da rede fluvial e da evolução das paisagens marcadamente dissecadas pela erosão fluvial (Phillips *et al.*, 2010). Deste modo, a reflexão sobre a distribuição dos *knickpoints* nas bacias hidrográficas constitui uma tarefa fundamental nos estudos que versam a evolução da paisagem, assumindo-se como um método essencial nos estudos de geomorfologia fluvial (Schumm *et al.*, 2002; Hayakawa & Oguchi, 2006, Crosby *et al.*, 2006).

O método mais comum e utilizado na identificação de *knickpoints* é efectuado através da observação do perfil longitudinal de um curso de água. Dessa observação, resulta que muitos perfis longitudinais tendem a apresentar uma curvatura côncava, com tendência a aumentar a sua concavidade para montante. O acentuar da concavidade manifesta um equilíbrio entre o abastecimento sedimentar e a capacidade de transporte fluvial, aproximando-se assim, assintoticamente, de um perfil longitudinal de equilíbrio (Rădoane *et al.*, 2003).

Por isso, mediante a análise da forma que o perfil longitudinal toma é possível inferir se um curso de água, em termos das suas acções fundamentais de erosão, transporte e deposição, se encontra em estado de equilíbrio (*steady-state*) ou de desequilíbrio e, conseqüentemente, lançar pistas para a identificação dos factores responsáveis pelo estado de desequilíbrio do respectivo sistema fluvial (Phillips *et al.*, 2010).

O presente trabalho tem dois objectivos principais: apresentar uma metodologia semi-automática para a identificação de *knickpoints* no curso do rio Douro e principais

afluentes (apenas, para o sector português), e relacionar a sua distribuição com as características litológicas e tectónicas existentes na área da bacia hidrográfica considerada.

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Douro (figura 1), em território português, abrange uma área de 18 643 km², isto é, 19,1% do total da área da bacia (INAG, 2001), constituindo uma das bacias de maiores dimensões dos rios nacionais e internacionais que atravessam o território português (Tockner *et al.*, 2009).

O rio Douro tem as suas origens em Espanha, na serra de Urbión, a 2080 metros de altitude e desagua no Oceano Atlântico, na cidade do Porto. Apresenta um comprimento total de 938 Km, dividindo-se em três segmentos principais: Douro espanhol, 616 Km, Douro internacional, 122 Km, e Douro nacional, 200 Km (Ribeiro, Lautensach & Daveau, 1987)

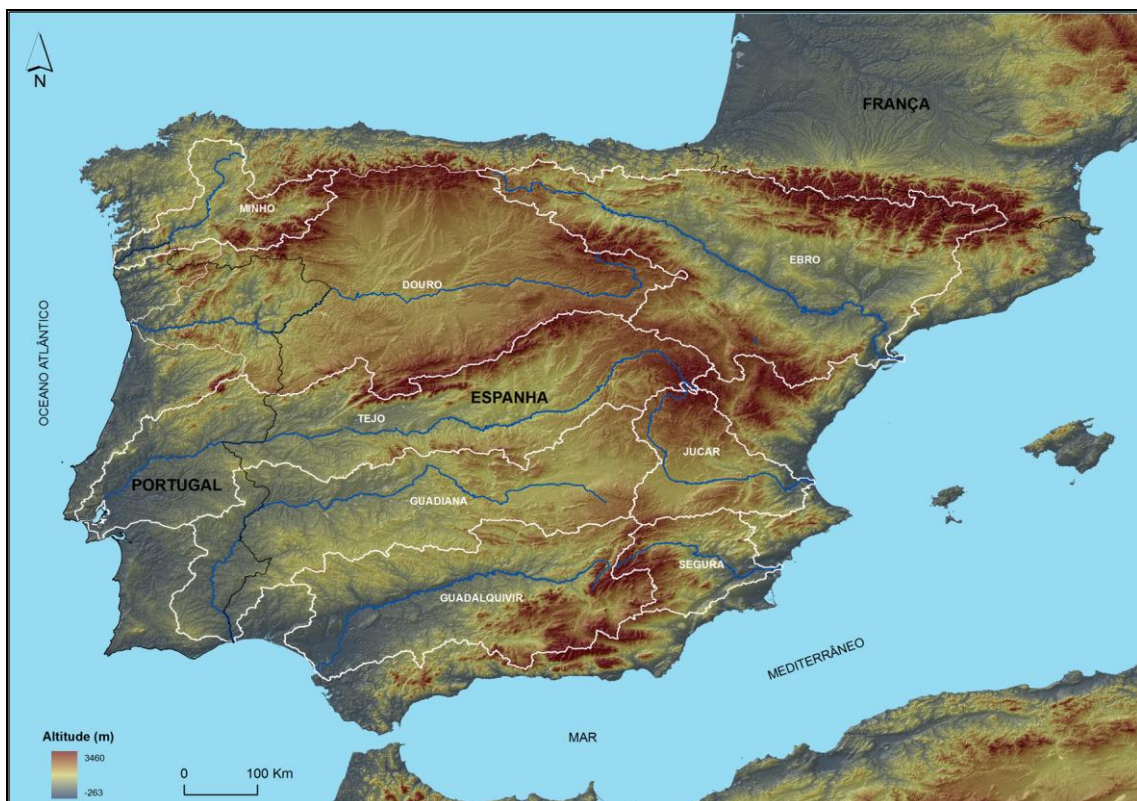


Figura 1 – Enquadramento geral da bacia hidrográfica do rio Douro. Modelo Digital de Elevação baseado nos dados do SRTM-V4 (90m), folhas n^{os} 35-04, 35-05, 36-04, 36-35, 37-04 e 37-05 (<http://srtm.csi.cgiar.org/>).

Para a área abrangida neste estudo foram considerados 26 cursos de água, contemplando os afluentes principais das duas margens do rio Douro no sector português (figura 3). Na margem direita, foram considerados 9 afluentes e subafluentes mais longos, enquanto na margem esquerda foram considerados 14 afluentes.

Materiais e Métodos

Inicialmente, para a obtenção dos *knickpoints* (designados, doravante por **Kps**), realizou-se um cálculo semi-automático dos perfis longitudinais dos principais afluentes do rio Douro, através de curvas de nível com uma equidistância de 10m, provenientes das cartas militares, à escala 1/25.000 (figura 2). Dado que a elaboração dos perfis longitudinais requer informação relativa à altitude e ao comprimento dos segmentos do curso de água que estão entre duas curvas de nível consecutivas, usamos as ferramentas disponíveis no software ArcGis 9.3 para sectionar em segmentos, as linhas representativas das intersecções entre os cursos de água e as curvas de nível, calculando assim, o comprimento desses segmentos. De seguida, usando uma folha de cálculo do software Grapher 9.0, estabeleceu-se a relação entre a altitude e o comprimento dos segmentos, obtendo-se os perfis longitudinais para cada curso de água e respectivos **Kps**.

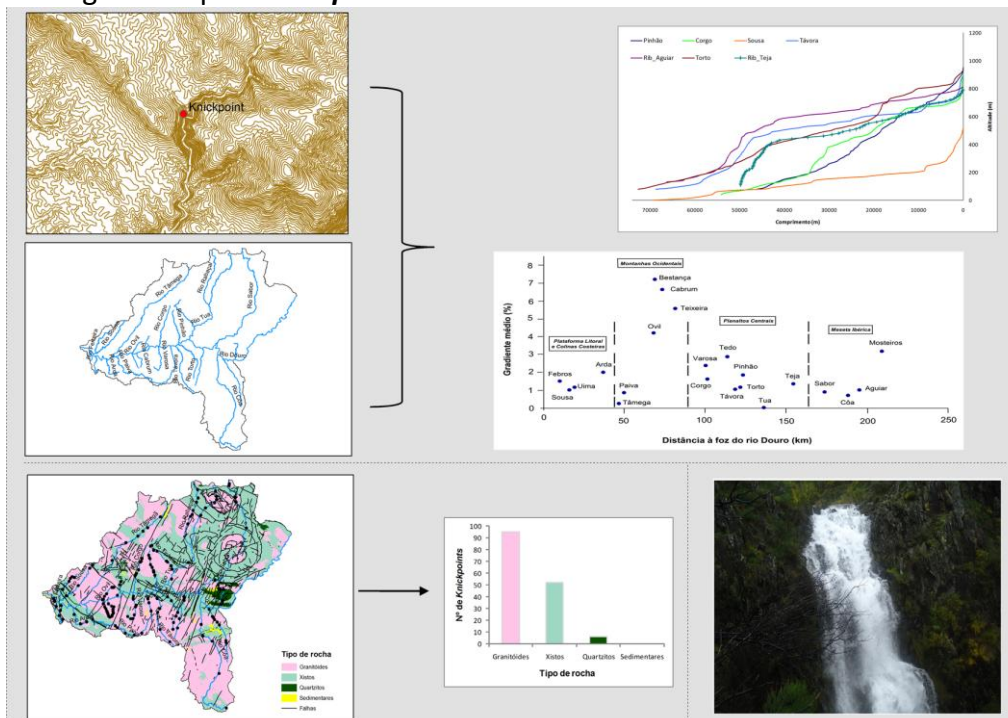


Figura 2 – Materiais e passos metodológicos realizados para a obtenção dos *knickpoints*, a partir dos perfis longitudinais.

Posteriormente, localizaram-se os **Kps** na bacia do Douro e confrontou-se a sua localização com as características litológicas e tectónicas da área da bacia. Para isso, recorreu-se à cartografia geológica, à escala 1/500.000 (IGM, 1992), a qual, originalmente, inclui cerca de 80 unidades geológicas classificadas de acordo com o tipo de rocha e idade. Estas unidades geológicas complexas foram reagrupadas em quatro grandes tipos de rocha, seguindo um critério de resistência à erosão fluvial, a saber: granitóides (rochas ígneas, incluindo neste grupo as rochas básicas e ultrabásicas que constituem os Maciços de Morais e de Bragança), xistos e quartzitos (rochas metamórficas) e as rochas sedimentares (pouco expressivas na bacia).

Por fim, realizou-se uma análise estatística dos dados obtidos que contemplou os seguintes indicadores: a) nº de **Kps** em cada curso de água; b) gradiente médio (Gr) de cada rio; e c) nº de **Kps** por tipo de rocha.

Resultados

A distribuição dos **Kps** na bacia do Douro (figura 3) é muito desigual, permitindo a individualização de vários sectores correspondentes a conjuntos de cursos de água que apresentam características comuns, tais como: o número de **Kps** ao longo do perfil, a distância dos **Kps** ao nível de base, *i.e.*, o rio Douro, e o comprimento desses cursos de água.

Tendo em conta a relação entre a distribuição dos **Kps** e a altitude a que se encontram, verifica-se que os **Kps** se localizam em maior número, entre os 200 e os 600 metros (74% do total), e são pouco frequentes acima dos 800 metros (apenas 11%).

De uma forma geral, os cursos de água mais curtos apresentam maior número de **Kps**, particularmente no sector compreendido entre o rio Bestança e o Rio Varosa, ou seja, na cortina de relevos mais elevados da bacia que se dispõem ao longo de uma faixa de orientação média NNE-SSW. Esta barreira orográfica é composta por montanhas com altitudes superiores a 1000m (Barroso, 1155; Alvão, 1320; Marão, 1416; Montemuro, 1381), sendo designadas, no conjunto, por Montanhas Ocidentais (Ferreira, 1978).

Os cursos de água localizados neste sector das Montanhas Ocidentais, rios Cabrum, Ovil e Bestança, correspondem a pequenos cursos de água (19,7km, 20,5km e 17,4km, respectivamente), que apresentam um perfil muito irregular com abundantes **kps** (em termos da relação comprimento/nº de *knickpoints*), registando o primeiro **Kp** muito próximo do nível de base.

Um segundo sector engloba os rios mais extensos, Tâmega, Tua, Sabor e Côa, que possuem menos **Kps**, apresentando-se muito distantes entre si e com tendência para se localizarem mais a montante, o que é particularmente visível nos dois afluentes que prolongam o rio Tua para Norte, o rio Tuela e o Rabaçal.

Os cursos de água localizados mais a Oeste escavam relevos de menor envergadura, como as colinas costeiras que não excedem 700 metros de atitude, ou o relevo aplanado da Plataforma Litoral que não ultrapassa os 200m. Estão, neste caso, os rios Arda, Sousa e Ferreira, Uíma, Arda e Febros, que apresentam poucos **Kps**, os quais se afastam em distâncias quase regulares, em função do seu comprimento.

Merecem também algum destaque os rios Corgo, Varosa e Pinhão que correm na área de transição entre as Montanhas Ocidentais e os Planaltos Centrais (Ferreira, 1978), dado que este cursos apresentam muitos **Kps** próximos uns dos outros.

A leste do eixo Corgo – Varosa (figura 3), em áreas de menor altitude dos Planaltos Centrais e da Superfície da Meseta (relevo a leste do alinhamento Bragança-Vila Nova de Foz Côa), os rios apresentam menos **Kps** e evidenciam uma tendência para se disporem mais afastados entre si.

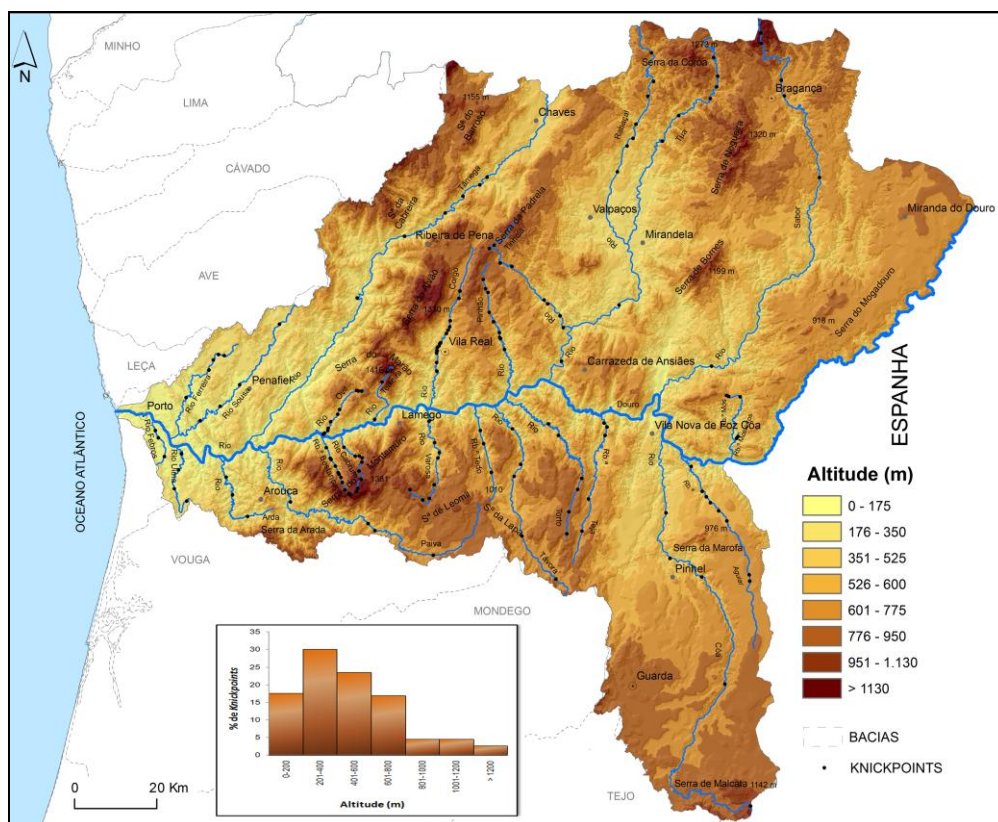


Figura 3 – Localização dos *knickpoints* na bacia hidrográfica do Douro, considerando apenas, o território português.

De forma a compreendermos a relação entre esta distribuição dos **Kps** e a altitude regional em que os cursos de água se desenvolvem, calculamos o gradiente médio de cada curso de água. O cálculo do gradiente médio (Gr) de cada perfil é um índice que se obtém de forma rápida e que ajuda a diferenciar os diferentes cursos de água considerados, bem como, a compreender parte da distribuição dos **Kps**. Este gradiente é obtido através da relação entre o comprimento total de cada curso de água e o desnível total entre as cotas do início e do fim (Gomes, 2008), resumindo-se à seguinte fórmula, adaptada de Hayakawa & Oguchi (2009):

$$\text{Gr} = \frac{e_2 - e_1}{d} * 100$$

em que e_2 corresponde à cota de início, e_1 à cota de fim e d ao comprimento do curso de água. O gradiente médio fornece informação relativa ao desnível de um curso de água. Assim, um rio com elevado gradiente é representativo de um relevo com vertentes íngremes/declivosas, tornando a queda de água mais forte e com maior capacidade erosiva. Neste caso, os rios são pouco evoluídos em termos de alargamento dos vales e percorrem vales estreitos em V que reúnem condições favoráveis à presença de **kps**. Por sua vez, os rios com baixo gradiente ilustram relevos com vertentes mais suaves, típicos de canais meandrizados, cujo fluxo só consegue transportar sedimentos finos (areias finas, siltes e argilas).

Pelos dados calculados do gradiente médio (figura 4), desde logo que se constata um acentuado contraste entre os valores, ocupando o Rio Bestança o valor mais elevado, 7,2%, enquanto os rios Tua e Côa, tomam valores inferiores a 1%. Estas diferenças são muito evidentes à medida que caminhamos da foz para o interior da bacia, estabelecendo-se, nitidamente, vários conjuntos que reflectem a variação altimétrica do relevo que a bacia apresenta de Oeste para Leste.

Por um lado, os cursos de água localizados mais a ocidente, apresentam gradientes médios fracos, inferiores a 2,5%, o que de certa forma se alia a um número reduzido de **Kps**.

Tal como já foi referido, os rios que possuem mais **kps** localizam-se na área das Montanhas Ocidentais, correspondendo a cursos de água pouco extensos, que percorrem altitudes elevadas, nascendo a cerca de 1300m e desaguando, aproximadamente, a 50m de altitude, justificando os elevados valores do gradiente médio para estes rios. Dado que os vales são muito encaixados, a probabilidade de haver **kps** é maior, comparativamente com os rios que percorrem altitudes mais

baixas. A ilustrar esta dicotomia, bem representada na figura 4, temos o rio Febros e o rio Bestança. Ambos possuem uma extensão muito semelhante (15km e 17km, respectivamente), mas localizam-se em áreas distintas. O rio Febros insere-se na Plataforma Litoral, que corresponde a uma área em que predominam as superfícies aplanadas (Araújo, 1991), não ultrapassando os 200m de altitude, enquanto que o rio Bestança se encontra, nas Montanhas Ocidentais, nascendo a cerca de 1330m de altitude.

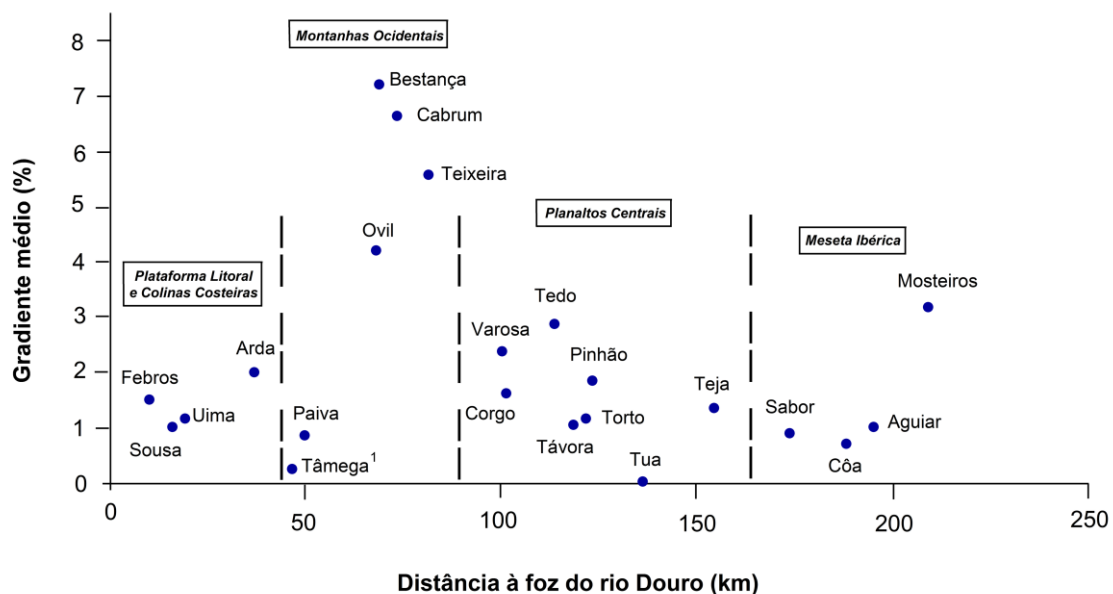


Figura 4 – Gradiente médio dos cursos de água considerados. A distância à foz do rio Douro, refere-se à distância que se estabelece entre a foz do rio Douro e a confluência entre este e o afluente em causa. ¹ – O gradiente calculado para o rio Tâmega, apenas toma em consideração o percurso em território nacional, pelo que deve ser encarado como um valor incompleto.

A leste do rio Teixeira os valores do gradiente médio diminuem, mantendo-se alguma variabilidade entre os vários cursos de água, o que se enquadra, em parte, também com a variabilidade de **Kps** que apresentam.

Para além da relação que parece existir entre o diferencial altimétrico dos perfis longitudinais e a abundância de **kps** ao longo do perfil, não se deve considerar a altitude como um factor isolado, pois, só por si, não explica a distribuição dos **kps**, derivando a explicação da interacção de diversos factores, como a litologia e a tectónica da área, os quais constituem, de certa forma, os factores mais importantes que explicam a sua localização (Rebelo, 1975 e Ferreira, 1978).

Em termos litológicos, na bacia do rio Douro predomina o substrato em rochas graníticas ou em rochas xistentas. Em menor quantidade, mas não menos importante

em termos de resistência à incisão fluvial, está o substrato quartzítico (figura 5). Estas características litológicas da bacia são fundamentais, uma vez que ajudam a interpretar a distribuição dos *kps*. É sabido que muitos *kps* estão associados a contactos litológicos, essencialmente, na passagem de substratos com diferentes respostas em relação à incisão fluvial (Ferreira, 1978).

Os xistos, na generalidade são rochas pouco resistentes à erosão fluvial, dada a sua composição argilosa que facilmente se meteoriza em ligação com a água, e também pela fraca dureza dos minerais que os compõem, excepto, para xistos resultantes de elevado grau de metamorfismo. O mesmo não acontece, na generalidade, com as rochas granitóides e principalmente, com as rochas quartzíticas. A presença de um mineral muito duro, o quartzo, confere a esta litologia uma resistência apreciável ao trabalho erosivo dos cursos de água, embora, para as rochas granitóides, em função do balanço entre a quantidade de quartzo e dos outros minerais típicos desta rocha (os feldspatos e as micas), a resistência da rocha possa ser algo variável, principalmente, se estamos na presença de um granito rico em feldspatos, os quais podem sofrer uma alteração pronunciada pela hidrólise desses minerais.

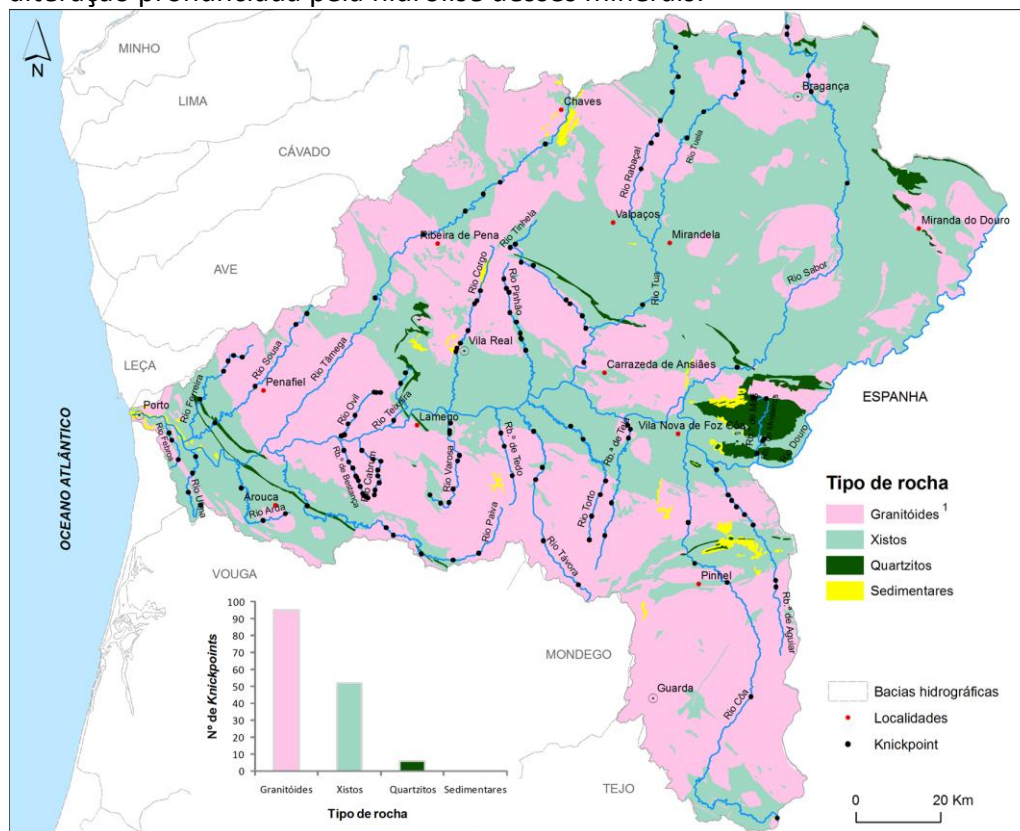


Figura 5 – Distribuição dos *knickpoints* e relação com a litologia existente na bacia hidrográfica do Douro, no território português. ¹ - O grupo designado por rochas granitóides inclui os maciços básicos e ultrabásicos de Morais e Bragança.

Em estudos anteriores já se identificou que alguns contactos litológicos na bacia do Douro são responsáveis por importantes rupturas de declive. Segundo Rebelo (1970) e Ferreira (1978), a maioria das rupturas de declive de alguns dos afluentes do rio Douro estão associadas a contactos litológicos, essencialmente, na passagem dos xistos (rochas pouco resistentes) para os granitos (rochas resistentes). Os dados obtidos com a localização dos **Kps** na bacia do Douro confirmam, em larga medida, as ideias destes autores (figura 5).

Pela figura 5 verifica-se que os **Kps** são mais abundantes nas áreas de substrato granitóide e uma parte deles, localiza-se junto de contactos litológicos, particularmente, entre xistos e granitos, mas também nas passagens dos quartzitos, como acontece nos rios que atravessam as Cristas Quartzíticas de Valongo, os rios Ferreira, Sousa e Paiva, ou no Sinclinal de Poiars, junto de Torre de Moncorvo, com a ribeira dos Mosteiros. São cerca de 50 **Kps**, os que se localizam próximos de contactos litológicos, indicando claramente que muitas destas rupturas de declive no perfil longitudinal têm uma motivação litológica. No entanto, o número significativo de **Kps** que se podem encontrar no interior das áreas predominantemente constituídas por um tipo de rocha, demonstra que serão outros factores que explicam a sua existência, nomeadamente, a presença de falhas responsáveis pela diferenciação altimétrica entre compartimentos tectónicos.

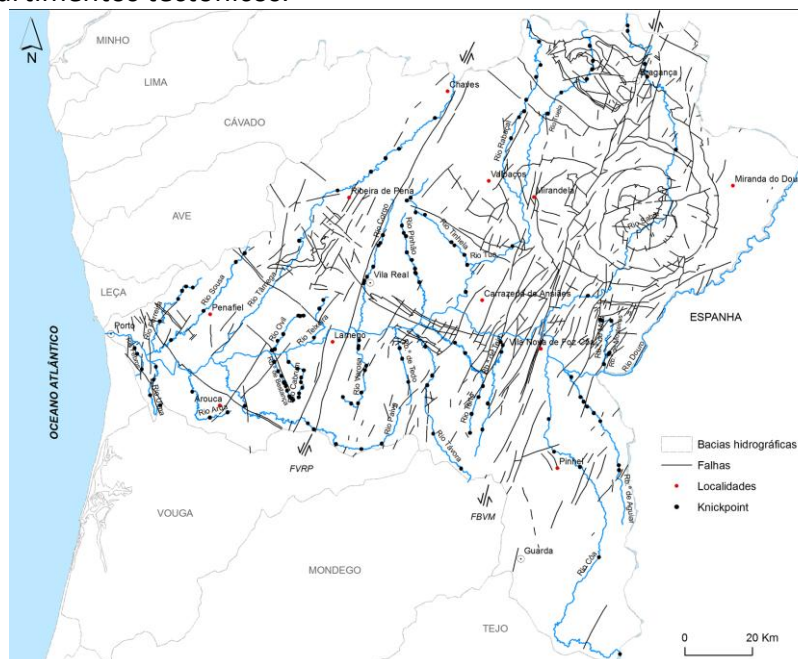


Figura 6 - Distribuição dos **knickpoints** e relação com as falhas assinaladas na bacia hidrográfica do Douro, no território português. As falhas representadas na figura foram adaptadas da Carta Geológica de Portugal à escala 1/500000 (IGM, 1992). FVRP – Falha Veri-Régua-Penacova; FBVM – falha Bragança-Vilariça-Manteigas.

A bacia do Douro apresenta uma densa rede de falhas cujas orientações mais importantes são NW-SE e NNE-SSW (figura 6), condicionando, em parte, o traçado dos cursos de água. A compartimentação em blocos, tectónica e morfológicamente muito diferenciados é estabelecida pelos dois grandes desligamentos esquerdos regionais de direcção NNE-SSW, a zona de falha Verin-Régua-Penacova e a zona de falha Bragança-Vilariça-Manteigas.

Numa análise global, dada a escala do mapa que se apresenta, deparamos com duas situações principais, relativamente à localização dos **Kps** face às falhas assinaladas:

- 1 - **Kps** que se dispõem ao longo de vales de falha, como acontece no Rio Bestança;
- 2 - **Kps** que se localizam na intersecção entre os cursos de água e falhas que os cruzam.

A segunda situação é a mais frequente e são vários os exemplos que se podem observar, como acontece nos rios Corgo, Paiva, Rabaçal, Tuela, Sabor, entre outros. No entanto, a esta escala temos algumas reservas em assumir que este condicionamento é determinante, dado que a posição do **Kp** pode já estar bastante afastada do plano de falha.

Discussão

Os resultados obtidos com este trabalho mostram que a distribuição de **Kps** na área da Bacia do Douro é irregular e será em parte explicada pela intervenção dos três factores analisados: a diferença altimétrica regional, a litologia e a tectónica.

É notório o condicionamento que a variação altimétrica impõe ao traçado longitudinal dos cursos de água, mediante a clara tendência para que os rios com gradiente médio mais elevado apresentem maior número de **Kps**. No entanto, parece-nos que esta tendência é manifestamente influenciada pelo grau de soerguimento regional que a área em causa manifesta e pela extensão do curso de água em questão.

A litologia é um factor determinante na localização dos **Kps** na bacia do Douro, dado que é no substrato granitóide que eles se encontram em maior número e uma significativa parte deles localizam-se junto de contactos litológicos, evidenciando assim, o contraste entre contextos rochosos mais resistentes à erosão vertical dos rios, *i.e.*, granitóides e quartzitos, e substratos rochosos menos resistentes, onde dominam as rochas xistentas. A presença de falhas também assume alguma importância na localização dos **Kps**, dado que algumas rupturas longitudinais estão próximas delas, no entanto, a escala de análise não é a melhor para o efeito e afigura-se-nos mais

plausível que não seja o plano da falha/s a localização exacta da ruptura, mas sim, o soerguimento tectónico motivado pelos acidentes tectónicos importantes, numa escala temporal longa, que seja o motor responsável pela formação de alguns **Kps**.

Para uma interpretação mais aprofundada da localização dos **Kps** na bacia do Douro, será também desejável contabilizar, futuramente, outros factores. A análise da extensão do curso de água, a área da bacia e o grau de evolução do curso de água em questão evidenciado em função do traçado longitudinal do seu perfil e possíveis capturas, serão elementos que poderão auxiliar a compreensão da distribuição dos **Kps** e verificar até que pontos a sua existência condiciona e evidencia o ritmo/s da incisão fluvial (Phillips *et al.* 2010).

Novos estudos estão a ser desenvolvidos, em contextos mais detalhados, para se afinar a compreensão dos factores geomorfológicos intervenientes na explicação da localização e distribuição de **Kps** na bacia do Douro, bem como, na procura de uma classificação dos **Kps** que os caracterize em função de um quadro geomorfológico definido. O entendimento da evolução que os perfis longitudinais evidenciam, em função da sua forma e do posicionamento que os **Kps** ocupam no traçado, também é um objectivo que se pretende desenvolver em trabalhos futuros.

Agradecimentos

Aos professores, Diamantino Ínsua Pereira (Univ. Minho), Pedro Cunha (Univ. Coimbra) e António Martins (Univ. Évora), agradecemos a troca de impressões sobre os problemas geomorfológicos que a Bacia do Douro suscita e algumas ideias que contribuíram para a evolução deste estudo. Ao Mestre Horácio Garcia (Univ. Santiago de Compostela), agradecemos a ajuda que nos deu no tratamento dos dados altimétricos provenientes do SRTM V4 e a cedência de alguma informação adicional para completarmos o modelo digital de elevação da Península Ibérica. O projecto de investigação PALEOSISPOR – “Paleoseismological study of active faults in mainland Portugal” - FCT-PTDC/CTE-GIN/66283/2006, assegurou o financiamento de algumas saídas de campo de António Gomes.

Bibliografia

- Araújo, A.M. 1991, *Evolução geomorfológica da plataforma litoral da região do Porto*, Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, pp. 534.
- Instituto Geológico e Mineiro, 1992, *Carta Geológica de Portugal, 1/500 000, folha nº 1*, Lisboa
- Crosby, B.T. & Whipple, K.X. 2006, 'Knickpoint initiation and distribution within fluvial networks: 236 waterfalls in the Waipaoa River, North Island, New Zealand', *Geomorphology*, vol. 82, no. 1-2, pp. 16-38
- Ferreira, A.B. 1978, *Planaltos e montanhas do Norte da Beira. Estudo de Geomorfologia*, Memórias do Centro de Estudos Geográficos, da Faculdade de Letras de Lisboa, no. 4, pp. 374
- Gomes, A. 2008, *Evolução Geomorfológica da Plataforma Litoral entre Espinho e Águeda*, Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, pp. 337
- Goudie, A.S. 2004, *Encyclopedia of Geomorphology*, Routledge, London and New York, vol. 1, pp. 595
- Hayakawa, Y.S. & Oguchi, T. 2006, 'DEM-based identification of fluvial knickzones and its application to Japanese mountain rivers', *Geomorphology*, vol. 78, no. 1-2, pp. 90-106.
- Hayakawa, Y.S. & Oguchi, T. 2009, 'GIS analysis of fluvial knickzones distribution in Japanese mountain watersheds', *Geomorphology*, vol. 111, pp. 27-37.
- Instituto Nacional da Água, 2001, *Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Douro. Análise e diagnóstico – Caracterização Geral da Bacia Hidrográfica*, Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território, vol. III, pp. 32
- Phillips, J. D., et al 2010, 'Origin and interpretation of knickpoints in the Big South Fork River Basin, Kentucky-Tennessee', *Geomorphology*, vol. 114, no. 3, pp. 188-198.

- Rădoane, M., Rădoane, N. & Dumitriu, D. 2003, 'Geomorphological evolution of longitudinal river profiles in the Carpathians', *Geomorphology*, vol. 50, no. 4, pp. 293-306
- Rebelo, F. 1975, *Serras de Valongo. Estudo de Geomorfologia*, Suplementos da Biblios, 9, pp. 194
- Ribeiro, O., Lautensach, H. & Daveuau, S. 1987, *Geografia de Portugal. I. O ritmo climático e a paisagem*, Sá da Costa, pp. 623 502
- Schumm, S., Dumont, J. & Holbrook, J. 2002, *Active Tectonics and Alluvial Rivers*, Cambridge University Press, pp. 292
- Tockner, K., Robinson, C. T. & Uehlinger, U. 2009, *Rivers of Europe*, Elsevier, pp. 699