



EFEITOS DA PRESSÃO HUMANA NA EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA MORFOLOGIA DO TEJO

Maria do Rosário FERNANDES¹, Francisca Constança AGUIAR¹, Maria João MARTINS¹, Rui RIVAES¹, Maria Teresa FERREIRA¹

1 Universidade de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Centro de Estudos Florestais (CEF), Tapada da Ajuda, 1349-017, Lisboa, Portugal, mrfernandes@isa.ulisboa.pt, fraguiar@isa.ulisboa.pt, mjmartins@isa.ulisboa.pt, ruirivaes@isa.ulisboa.pt, terferreira@isa.ulisboa.pt

RESUMO

Este trabalho teve como objectivo reconstruir as trajectórias de alteração morfológicas ocorridas no Tejo português e avaliar a contribuição humana, introduzida pela crescente regularização hidrológica e pelas mudanças de uso do solo, para a alteração global. Para tal, foi usada uma análise temporal com recurso a cartografia histórica e actual em três períodos, representando níveis distintos de regulação hidrológica: 1855 (regulação baixa), 1940 (regulação média) e 2000 (regulação elevada). A análise incidiu sobre três zonas geomorfologicamente distintas: Zona Alta, compreendendo o troço entre Vila Velha de Ródão e Belver, Zona Média, entre Belver e Constância e Zona Baixa, entre Constância e Vila Franca de Xira. A morfologia do Tejo foi caracterizada recorrendo a um conjunto de métricas estruturais (índices de sinuosidade, dimensão do canal, conectividade ribeirinha, número e área de bancos, ilhas e braços fluviais laterais) obtidas com recurso a um Sistema de Informação Geográfica. Os dados hidrológicos foram obtidos por modelação, com recurso ao modelo SWAT e os dados de uso do solo foram calculados com base na digitalização manual e na classificação visual realizada sobre a cartografia histórica e actual. Foi ainda aplicado o Índice de Shannon Wiener (H') como descritor geral da diversidade morfológica do Tejo. Os resultados mostram uma trajectória de alteração morfológica caracterizada pela redução de ilhas e de bancos, estreitamento do canal, redução da sinuosidade e abandono dos braços fluviais laterais. As análises estatísticas revelam que as alterações morfológicas se encontram maioritariamente relacionadas com a regularização hidrológica, sobretudo com a diminuição dos caudais de cheia e com a redução de sedimentos causados pela crescente construção de barragens, enquanto a intensificação agrícola, o aumento das florestas de produção e a diminuição dos matos Mediterrânicos são também responsáveis por alterações na dinâmica de sedimentos e na conectividade ribeirinha. A Zona Alta apresentou a maior quebra de diversidade morfológica (H'), enquanto a Zona Média mostra padrões de elevada variabilidade. A Zona Baixa reflecte mudanças contínuas mas menos pronunciadas.

Palavras-Chave: Morfologia fluvial; cartografia histórica, grandes rios, pressões humanas, diversidade morfológica (H')

1. INTRODUÇÃO

A morfologia dos rios e das paisagens ribeirinhas resulta da combinação das alterações hidro-geomorfológicas e da interacção com a dinâmica da vegetação. Nos grandes rios ibéricos, as alterações morfológicas reflectem a história da actividade humana ocorrida no canal e nas planícies de inundação circundantes (Corenblit et al., 2010). A intensificação agrícola e urbana, os processos de desflorestação, o fogo, a exploração de inertes, a regularização hidrológica, a captação de águas para irrigação e abastecimento humano são apontadas como as principais causas de perturbação sobre os sistemas fluviais, resultando numa degradação generalizada da morfologia dos rios e dos processos geoquímicos e ecológicos, com efeitos, à escala do segmento e da bacia hidrográfica (Tockner e Stanford, 2002; Grabowski et al., 2014).

Os trabalhos de Azevêdo et al. (2004) descrevem inúmeras intervenções históricas ocorridas no Tejo português desde o século XVI, com o objectivo principal de proteger campos e aglomerados urbanos de inundações,

ampliar terras agrícolas e permitir a navegação. Apesar destas intervenções, o Tejo do século XVIII apresentava ainda um carácter dinâmico, que progressivamente se perdeu com os trabalhos de regularização iniciados na segunda metade do século XIX (Guerra, 1861), culminando com o boom de construção de barragens para produção de energia hidroelétrica e para irrigação ocorrido em meados do século XX. Ao mesmo tempo, as terras irrigadas aumentaram cerca de 25 vezes desde 1940 (Azevêdo, 2004).

O surgimento nas últimas décadas das preocupações ambientais e socio-económicas ligadas à quantidade e à qualidade das águas fluviais tem pressionado o desenvolvimento de regulamentação ambiental, o que exige uma melhor compreensão dos processos ecológicos e geomorfológicos e das suas trajectórias de mudança (Grabowski et al., 2014; González del Tánago et al. 2016). As abordagens geo-históricas usando mapas antigos são um recurso reconhecido na caracterização dos padrões de mudança morfológica fluvial (Uribelarrea et al., 2003; Zlinszky e Timár, 2013), embora as metodologias usadas apresentem inúmeros desafios na sua aplicação. Assim, o objectivo deste trabalho é caracterizar as referências morfológicas estruturais do Tejo, no período de pré-regulação hidrológica, e avaliar o efeito das intervenções humanas nos processos hidromorfológicos nas distintas zonas do rio.

2. MÉTODOS

O estudo foi realizado no Tejo português, no troço compreendido entre Vila Velha de Ródão e Vila Franca de Xira. Neste troço, o Tejo apresenta três zonas geomorfológicamente distintas: A Zona Alta, localizada entre Vila Velha de Ródão e Belver, numa região de declives acentuados e de vale encaixado, a Zona Média localizada entre Belver e Constância com um carácter geomorfológico complexo e a Zona Baixa, localizada entre Constância e Vila Franca de Xira, correspondendo à zona aluvionar envolvida por uma matriz predominantemente agrícola (Figura 1)

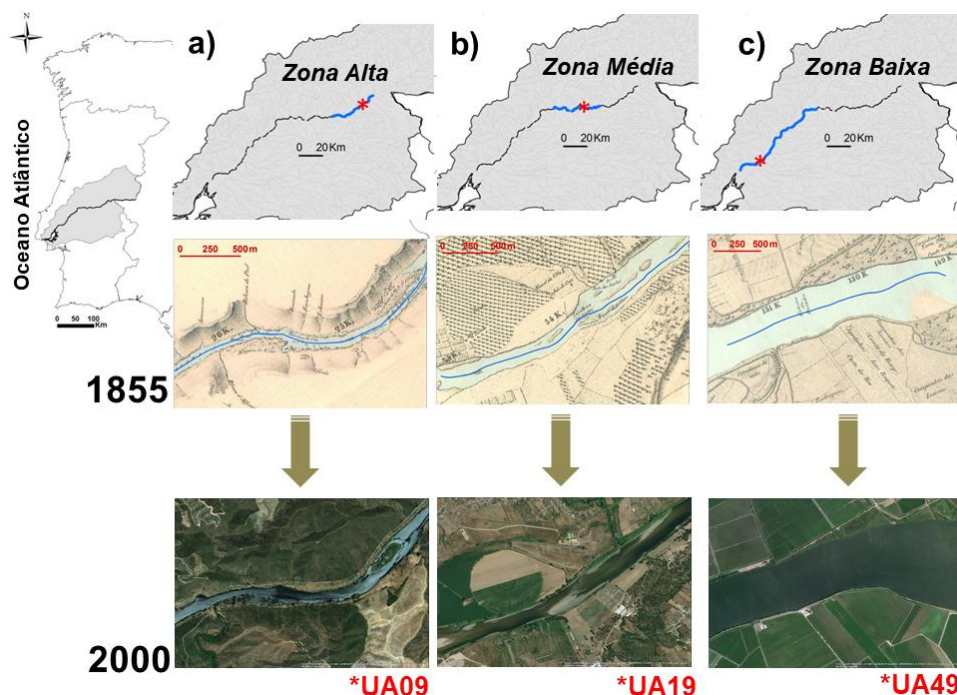


Figura 1- Localização geográfica das zonas de estudo no Tejo português: a) Zona Alta, b) Zona Média e c) Zona Baixa. O painel vertical mostra a transição de uma Unidade de Amostragem (UA), em cada zona do rio entre 1855 e 2000.

A evolução morfológica do Tejo foi avaliada com base numa análise de alteração planimétrica usando cartografia militar de 1855, 1940 e 2000. As datas foram escolhidas de forma a representar um gradiente de regularização hidrológica. A cartografia de 1855 é considerada representativa dum período pré-regulação, uma vez que a construção de barragens no rio Tejo data do início do século XX, atingindo um pico em meados do mesmo século (Azevêdo, 2004). Os mapas históricos de 1855 são uma colecção de 8 mapas cartografados pela Instituição Militar Portuguesa designados por “Tágides”, com uma representação contínua de todas as entidades fluviais localizadas no canal principal e nas margens ao longo de cerca de 128km, à escala de 1:20000. Para as outras duas datas (1940 e 2000) foi também seleccionada cartografia militar à escala 1:25000 com legendas equivalentes de forma a permitir a comparação entre datas. O troço de rio em análise foi dividido em Unidades de Amostragem (UA) com 2500m de comprimento de rio, em cada uma, num total de 13 UA na Zona Alta, 11UA na Zona Média e 27 na Zona Baixa.

Foram seleccionadas quatro categorias de métricas para descrever a morfologia do Tejo nas três zonas e para as três datas, usando os mapas militares históricos e contemporâneo, nomeadamente: 1) Métricas de sinuosidade (índices de sinuosidade da margem e do canal); 2) Métricas ribeirinhas (percentagem de conectividade ripária longitudinal); 3) Métricas aquáticas (largura do canal principal, número e área de braços fluviais laterais), 4) Métricas geomórficas (número e área de ilhas e bancos de areia). Os mapas históricos “Tágides” foram georreferenciados usando pontos de controle e a unidade mínima cartografada foi de 150m². Foi ainda aplicado o Índice de Shannon Wiener (H') (Spellerberg, 2008) como indicador da diversidade morfológica usando o número e a percentagem de todos os elementos do rio observados em cada UA, como riqueza e abundância, respectivamente.

Relativamente aos dados de pressão humana, foram seleccionados dois grupos de variáveis explicativas das alterações morfológicas: hidrologia e uso do solo na zona do vale. Os dados relativos à hidrologia foram obtidos através da simulação dos caudais, para as 51 UA e para os três períodos em análise, usando o modelo SWAT através da interface ArcSWAT (Olivera *et al.*, 2006). O uso do solo foi obtido num buffer de 250m em torno de cada UA, por fotointerpretação dos mapas militares de 1855 e 1940. Esta informação foi complementada com os registos históricos escritos sobre as mudanças na ocupação do solo ocorridas no vale do Tejo descritas nos trabalhos de Guerra, 1961 e Dias, 2010. Para o período mais recente foi usada a cartografia temática já disponível, CORINE Land-Cover 2000 e a layer World Imagery Layer (ArcGIS data Center).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados revelam uma alteração morfológica global do Tejo entre o período histórico (1855) e o período contemporâneo (2000), embora as três zonas do rio apresentem magnitudes e trajetórias de mudança distintas associadas a diferentes níveis de contribuição relativa promovida pelas alterações hidrológicas (redução dos caudais médios, redução dos caudais de cheia, aumento de caudal no verão e diminuição do caudal no inverno) e pelas alterações de uso do solo (redução das áreas naturais, intensificação agrícola, expansão urbana e novas plantações de floresta de produção). A Zona Alta, localizada atualmente a montante da barragem de Belver e até Vila Velha de Ródão, apresentou a maior perda de diversidade morfológica (H'), caracterizada por uma diminuição da sinuosidade das margens e pela perda acentuada de ilhas, bancos e braços fluviais laterais em resultado de um processo contínuo e severo de estagnação do rio, após o comissionamento das barragens de Belver e Fratel (1951 e 1974, respetivamente), passando de uma zona histórica de elevada energia para uma zona de reduzida dinâmica fluvial. Esta zona mostrou uma elevada alteração no uso do solo, tendo as comunidades de vegetação natural, que dominavam em 1855 sido substituídas por culturas permanentes, sobretudo olival, instalado nas encostas íngremes no período de 1940. Atualmente, é composta por uma mistura das áreas remanescentes de olival, vegetação esclerofílica e, mais recentemente, plantações de eucalipto promovendo alterações na quantidade de sedimentos do rio. A Zona Média, localizada atualmente a jusante da barragem de Belver e até Constância, mostrou padrões de elevada variabilidade na diversidade morfológica (H'), quer no tempo, quer no espaço, embora no geral se tenha verificado perda significativa da diversidade morfológica caracterizada sobretudo pela diminuição do número de ilhas e pela redução da sinuosidade do canal. Esta zona apresenta troços com um aumento significativo do número de bancos de areias, sobretudo a jusante da barragem de Belver, justificada pela diminuição acentuada dos caudais de lavagem que impedem o arrastamento dos depósitos de sedimentos ao longo da rede hidrográfica. Padrões de aumento da conectividade longitudinal ripária

foram também observados, em resultado do abandono da agricultura de subsistência, localizada nas margens do rio, nos períodos de 1855 e 1940, devido ao êxodo rural. Fenómenos de *encroachment* explicam ainda o aumento da conectividade ripária nesta zona devido à diminuição dos caudais de cheia que permitem a propagação da vegetação ribeirinha para dentro e fora do canal. A Zona Baixa, correspondente à zona aluvionar entre Constância e Vila Franca de Xira, apresentou uma perda contínua de diversidade morfológica (H'), mas menos pronunciada, revelando o carácter histórico de perturbação humana a que esta zona tem sido sujeita. As alterações morfológicas nesta zona são caracterizadas por um estreitamento do canal principal, diminuição da sinuosidade e redução do número de bancos em resultado do efeito combinado das alterações hidrológicas e da mudança no uso da terra (substituição dos sistemas de agricultura extensiva e familiar por sistemas de agricultura intensiva mecanizada, aumento da área urbana e substituição de áreas de vegetação natural por floresta de produção). Modificações físicas locais para evitar danos causados pelas inundações, como a construção de diques, ou de vales de drenagem, e /ou a extração de inertes poderão ainda explicar as mudanças morfológicas observadas no Tejo entre 1855 e 2000 nesta zona.

4. CONCLUSÕES

Este estudo revela pontos comuns nas alterações morfológicas e nas principais causas antropogénicas, nas distintas zonas geomorfológicas no Tejo português. A redução de caudais, sobretudo dos caudais de cheia combinado com as alterações do uso do solo, nomeadamente a substituição dos usos naturais pelo aumento da agricultura intensiva, das áreas urbanas e da floresta de produção, criaram um Tejo com um carácter mais simples e de menor dinâmica fluvial, quando comparada a situação atual com a do século XIX. A gestão dos grandes rios deve assentar no conhecimento sobre como as pressões humanas, passadas e presentes, afetam os processos morfológicos nos sistemas fluviais, expressando as especificidades das distintas zonas e de como estas podem reagir ou restringir os potenciais processos de restauração.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. (FCT), através do Centro de Estudos Florestais (CEF), projeto UID/AGR/00239/2019 e no âmbito da Norma Transitória - DL57/2016 e DL57/2016/CP1382/CT0019. R. Rivaes beneficiou da bolsa de doutoramento (SFRH/BD/52515/2014) no âmbito do Programa Doutoral *FLUVIO,FCT*. Agradecemos ainda à Biblioteca Nacional pela cedência dos mapas históricos “Tágides”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azevêdo TM, Nunes E, Ramos C (2004) Some morphological Aspects and Hydrological Characterization of the Tagus Floods in the Santarém Region, Portugal. *Natural Hazards*, 31, 587-601.
- Corenblit D, Steiger J, Tabacchi E (2010) Biogeomorphologic succession dynamics in a Mediterranean river system. *Ecography*, 33, 1136-1148.
- Dias M H (2010) Cursos e Percursos para o Mar Oceano. Intervenções nos rios portugueses e representações da Cartografia Militar. Instituto Geográfico do Exército.
- González del Tanago M, Gurnell AM, Belletti B, de Jalon DG (2016) Indicators of river system hydromorphological character and dynamics: understanding current conditions and guiding sustainable river management. *Aquatic Sciences*, 78, 35-55.
- Grabowski RC, Surian N, Gurnell AM (2014) Characterizing geomorphological change to support sustainable river restoration and management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 1, 483-512.
- Guerra MJJ (1861) Estudos chorographicos, physicos e hydrographicos da Bacia do Rio Tejo comprehendida no Reino de Portugal, Imp. Nacional, Lisboa, p. 110.
- Olivera F, Valenzuela M, Srinivasan R, Choi J, Cho H, Koka S, Agrawal A (2006). ArcGIS-SWAT: A geodata model and GIS interface for SWAT. *Journal of the American Water Resources Association*, 42, 295-309.
- Spellerberg IF (2008) Shannon–Wiener Index. *Encyclopedia of Ecology*. 3249–3252.



- Tockner K, Stanford JA (2002) Riverine flood plains: present state and future trends. *Environ. Conserv.* 29, 308-330.
- Uribe Larrea D, Pérez-González A, Benito G (2003) Channel changes in the Jarama and Tagus rivers (central Spain) over the past 500 years. *Quaternary Science Reviews*, 22, 2209-2221.
- Zlinszky A, Timár G (2013). Historic maps as a data source for socio-hydrology: a case study of the Lake Balaton wetland system, Hungary. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 4589-4606.