

# CATÁSTROFES MISTAS

UMA PERSPETIVA AMBIENTAL

IMPRESA DA  
UNIVERSIDADE  
DE COIMBRA  
COIMBRA  
UNIVERSITY  
PRESS

LUCIANO LOURENÇO  
ADÉLIA NUNES  
(COORDS.)



*RISCOS*  
E C A T Á S T R O F E S

I  
IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA  
COIMBRA UNIVERSITY PRESS  
U

**ESTRUTURAS EDITORIAIS**

Série Riscos e Catástrofes  
Estudos Cindínicos

**DIRETOR PRINCIPAL | MAIN EDITOR**

Luciano Lourenço  
Universidade de Coimbra

**DIRETORES ADJUNTOS | ASSISTANT EDITORS**

Adélia Nunes, Fátima Velez de Castro  
Universidade de Coimbra

**ASSISTENTE EDITORIAL | EDITORIAL ASSISTANT**

Fernando Félix  
Universidade de Coimbra

**COMISSÃO CIENTÍFICA | EDITORIAL BOARD**

Ana C. Meira Castro  
Instituto Superior de Engenharia do Porto

António Betâmio de Almeida  
Instituto Superior Técnico, Lisboa

António Duarte Amaro  
Escola Superior de Saúde do Alcoitão

António Manuel Saraiva Lopes  
Universidade de Lisboa

António Vieira  
Universidade do Minho

Cármem Ferreira  
Universidade do Porto

Helena Fernandez  
Universidade do Algarve

Humberto Varum  
Universidade de Aveiro

José Simão Antunes do Carmo  
Universidade de Coimbra

Margarida Horta Antunes  
Instituto Politécnico de Castelo Branco

Margarida Queirós  
Universidade de Lisboa

Maria José Roxo  
Universidade Nova de Lisboa

Romero Bandeira  
Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Porto

Tomás de Figueiredo  
Instituto Politécnico de Bragança

Antenora Maria da Mata Siqueira  
Univ. Federal Fluminense, Brasil

Carla Juscélia Oliveira Souza  
Univ. de São João del Rei, Brasil

Esteban Castro  
Univ. de Newcastle, Reino Unido

José António Vega  
Centro de Investigación Forestal de Lourizán, Espanha

José Arnaez Vadillo  
Univ.de La Rioja, Espanha

Lidia Esther Romero Martín  
Univ. Las Palmas de Gran Canaria, Espanha

Miguel Castillo Soto  
Universidade do Chile

Montserrat Díaz-Raviña  
Inst. Inv. Agrobiológicas de Galicia, Espanha

Norma Valencio  
Univ. Federal de São Carlos, Brasil

Ricardo Alvarez  
Univ. Atlântica, Florida, Estados Unidos da América

Victor Quintanilla  
Univ. de Santiago de Chile, Chile

Virginia Araceli García Acosta  
CIESAS, México

Xavier Ubeda Cartaña  
Univ. de Barcelona, Espanha

Yvette Veyret  
Univ. de Paris X, França



# CATÁSTROFES MISTAS

UMA PERSPETIVA AMBIENTAL

IMPrensa DA  
UNIVERSIDADE  
DE COIMBRA  
COIMBRA  
UNIVERSITY  
PRESS

LUCIANO LOURENÇO  
ADÉLIA NUNES  
(COORDS.)

**EDIÇÃO**

Imprensa da Universidade de Coimbra  
Email: [imprensa@uc.pt](mailto:imprensa@uc.pt)  
URL: [http://www.uc.pt/imprensa\\_uc](http://www.uc.pt/imprensa_uc)  
Vendas online: <http://livrariadaimprensa.uc.pt>

**COORDENAÇÃO EDITORIAL**

Imprensa da Universidade de Coimbra

**CONCEÇÃO GRÁFICA**

Imprensa da Universidade de Coimbra

**PRÉ-IMPRESSÃO**

Fernando Felix

**INFOGRAFIA DA CAPA**

Mickael Silva

**PRINT BY**

KDP

**ISBN**

978-989-26-1902-6

**ISBN DIGITAL**

978-989-26-1901-9

**DOI**

<https://doi.org/10.14195/978-989-26-1901-9>

RISCOS - ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE RISCOS, PREVENÇÃO E SEGURANÇA

TEL.: +351 239 992 251; FAX: +351 239 836 733

E-MAIL: [RISCOS@UC.PT](mailto:RISCOS@UC.PT)

© DEZEMBRO 2019, IMPRENSA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

**CATÁSTROFES MISTAS**

Catástrofes mistas : uma perspetiva ambiental / coord. Luciano Lourenço, Adélia Nunes. – (Riscos e catástrofes)

ISBN 978-989-26-1902-6 (ed. impressa)

ISBN 978-989-26-1901-9 (ed. eletrónica)

I – LOURENÇO, Luciano, 1951-

II – NUNES, Adélia, 1971-

CDU 551

## SUMÁRIO

<b>PREFÁCIO .....</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>RISCOS MISTOS DE COMPONENTE ATMOSFÉRICA.....</b>	<b>17</b>
<b>Riscos atmosféricos mistos</b>	
Ana Monteiro e Helena Madureira .....	19
<b>RISCOS MISTOS DE COMPONENTE GEODINÂMICA .....</b>	<b>39</b>
<b>Risco de sismicidade induzida</b>	
Bruno M. Martins .....	41
<b>Risco de erosão hídrica do solo</b>	
Adélia Nunes .....	51
<b>Risco de erosão fluvial</b>	
Adélia Nunes .....	77
<b>Risco de erosão costeira</b>	
António Campar de Almeida.....	109
<b>Risco de erosão eólica</b>	
António Campar de Almeida.....	155
<b>Risco de erosão química</b>	
António Campar de Almeida.....	195
<b>Desertificação</b>	
Maria José Roxo e Carlos Russo Machado .....	211
<b>Riscos de salinização do solo</b>	
Maria da Conceição Gonçalves, José Casimiro Martins e Tiago Brito Ramos .....	241
<b>Riscos relacionados com intrusão salina</b>	
Bruno M. Martins .....	269
<b>Riscos de poluição</b>	
Cármén Ferreira.....	279
<b>Riesgos de incendio forestal</b>	
Miguel E. Castillo Soto.....	313
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>361</b>

(Página deixada propositadamente em branco)

## PREFÁCIO

O terceiro dos volumes dedicados às Catástrofes trata daquelas que tanto podem ter uma origem natural, como podem ser provocadas pelo ser humano, razão pela qual as designamos por catástrofes mistas. Porque a maioria delas produz efeitos notórios sobre o ambiente, por vezes também são referidas como catástrofes ambientais, embora, neste caso, não seja tida em conta a sua origem, ou seja, as causas que as determinaram, mas sim as suas consequências, o que corresponde a um critério diferente daquele que esteve subjacente à divisão que usámos para organizar os três últimos volumes da Série.

Mas, porque muitas das consequências das catástrofes mistas se refletem exatamente sobre o ambiente, torna-se difícil traduzir esses efeitos em perdas de seres humanos, como fizemos nos dois volumes anteriores, já que mesmo quando elas existem, raramente ocorrem em simultâneo e, por conseguinte, não se tornam tão visíveis como sucede nas catástrofes naturais e antrópicas, em que o número de mortos provocados por um único acontecimento pode ser muito elevado.

Todavia e embora sendo mais raro, as catástrofes mistas também podem provocar muitas mortes, sendo suficiente estar atento às notícias para, de quando em vez, tomar conhecimento de algumas dessas consequências, traduzidas em número de mortes.

Apenas a título de exemplo, referimos duas notícias sobre os efeitos da poluição. Uma delas da autoria de Amber Milne, da *Thomson Reuters Foundation*, publicada no jornal O Globo, de 12 de março de 2019, intitulada: *Poluição mata mais do que cigarro, revela estudo internacional*, dava conta de que “cientistas constataam que 8,8 milhões de pessoas morreram em apenas um ano, mais do que as 7 milhões de vítimas anuais do tabagismo” (<https://oglobo.globo.com/sociedade/saude/poluicao-mata-mais-do-que-cigarro-revela-estudo-internacional-23515245>).

Uma outra notícia, publicada no Público de 4 de abril de 2019, da autoria de Sofia Neves, intitulada *Só em 2017 morreram 3540 pessoas devido à poluição atmosférica em Portugal*, dava conta de que “a poluição do ar foi o quinto principal causador de mortes prematuras em todo o mundo: 4,9 milhões. Em Portugal, o problema



*matou pelo menos 3540 pessoas. Os países em desenvolvimento são os mais afectados, mas os casos mais graves continuam a ser a China e a Índia*” (<https://www.publico.pt/2019/04/04/ciencia/noticia/quase-dez-mortes-2017-causados-poluicao-atmosferica-1867924>).

E porque, na altura em que estou a redigir este prefácio, as notícias são sobre os grandes incêndios florestais que, de novo, voltaram ao Centro de Portugal, não posso deixar de referir o trabalho da Agência Lusa, publicado no Observador de 18 de junho de 2017, na sequência do incêndio florestal de Pedrógão Grande, registado no dia anterior e de triste memória, com o título: *Os incêndios que mais mataram no mundo*, dando conta de que aquele que mais vítimas mortais causou ter-se-á sido registado em 1871, nos Estados Unidos. “*O incêndio florestal mais mortífero parece ter sido o de outubro desse ano, em Peshtigo (Wisconsin), que causou entre 800 e 1 200 mortos, segundo as estimativas. O incêndio, que tinha deflagrado na floresta há uns dias, destruiu em algumas horas a localidade de 1 700 habitantes, bem como outras 16 vilas, numa área de mais de 500 000 hectares*” (<https://observador.pt/2017/06/18/os-incendios-que-mais-mataram-no-mundo/>). Depois, seguia-se a lista com o número de vítimas mortais provocados por outros grandes incêndios.

Como é sabido, em Portugal o ano com maior número de mortos foi o de 2017, num total de 121, sobretudo vítimas dos incêndios de 17 de junho e 15 de outubro, como refere a Sábado, um ano depois, a 16 de junho de 2018, num texto da Lusa com o título “*Está ‘tudo’ por fazer para que Pedrógão não regresse ao pré-incêndios*”. Entre outros aspetos, menciona expressamente:

*“O incêndio que deflagrou há um ano em Pedrógão Grande (distrito de Leiria), em 17 de Junho, e alastrou a concelhos vizinhos provocou 66 mortos e cerca de 250 feridos.*

*As chamas, extintas uma semana depois, destruíram meio milhar de casas, 261 das quais habitações permanentes, e 50 empresas.*

*Em Outubro, os incêndios rurais que atingiram a região Centro fizeram 50 mortes, a que se somam outras cinco registadas noutros fogos, elevando para 121 o número total de mortos em 2017*” (<https://www.sabado.pt/portugal/detalhe/esta-tudo-por-fazer-para-que-pedrogao-nao-regresse-ao-pre-incendios>).

Com efeito, os grandes incêndios florestais são um bom exemplo de catástrofes de origem mista, não tanto, felizmente, pelo número de mortos, mas sobretudo

pela destruição de diversos tipos de bens e haveres, bem como de extensas áreas de património florestal e, ainda, pelas graves consequências socioeconómicas e ambientais que acarretam *a posteriori*.

De facto, muitas das catástrofes que serão abordadas neste volume, não se traduzem diretamente num elevado número de mortos, mas antes fazem sentir os seus efeitos sobre o ambiente e, deste modo, indiretamente, sobre a população que, por vezes, só mais tarde acaba por ser afetada.

Porventura, as catástrofes mistas que permitem uma quantificação mais direta do número de mortos resultam da plena manifestação dos riscos biomédicos, também designados por riscos do foro infecto-contagioso, em resultado da atuação de microrganismos e parasitas, que podem ser transmitidos por vectores biológicos (vírus e bactérias), por ingestão de água e alimentos, por contágio de sangue contaminado e secreções orgânicas, por inalação e, ainda, por mais de que um dos mecanismos anteriores. Todavia, a conclusão deste capítulo foi mais demorada do que o inicialmente previsto e, para não atrasar mais a publicação deste volume, por opção dos autores foi decido publicá-lo mais tarde, num outro tomo dedicado ao assunto.

Depois desta breve nota sobre algumas das consequências das catástrofes mistas, esperamos ter aguçado o apetite do leitor para não só se embrenhar nas páginas seguintes, onde estes temas serão tratados de forma mais profunda, mas também para se empenhar na investigação das catástrofes mistas, uma área científica que ainda carece de muita pesquisa.

Coimbra, 23 de julho de 2019

Luciano Lourenço

(Página deixada propositadamente em branco)

## INTRODUÇÃO

**Adélia Nunes**

Departamento de Geografia e Turismo da Faculdade de Letras  
CEGOT e RISCOS, Universidade de Coimbra, Portugal  
ORCID: 0000-0003-3927-0748    adelia.nunes@ci.uc.pt

Os riscos mistos, de componente ambiental, associam-se a fenómeno potencialmente perigosos com causas combinadas, ou seja, para a sua manifestação concorrem condições naturais e/ou ações antrópicas. Resultam, assim, da combinação de ações continuadas da atividade humana com o funcionamento dos sistemas naturais, incluindo-se neste conjunto os incêndios florestais, a contaminação de cursos de água e aquíferos e a degradação e contaminação dos solos. Na terminologia sobre a Redução de Risco de Catástrofes do UNISDR emergem como riscos sicionatu-rais, pois estão associados à combinação de factores naturais e antropogénicos, enfatizando a degradação ambiental e as mudanças climáticas. Acrescentam, ainda, que podem ser riscos químicos, naturais e biológicos, e resultar da degradação ambiental ou da poluição física ou química do ar, da água e do solo. No entanto, muitos dos processos e fenómenos que se enquadram nesta categoria podem ser, também, considerados “*driving forces*” de outros riscos como a degradação do solo, a desfloresta-ção, a perda de biodiversidade, a salinização e o aumento do nível do mar.

Na obra que agora se apresenta analisam-se dois tipos principais de riscos: (i) os riscos mistos de componente atmosférica, quando, além do factor antrópico, se produzem no seio da atmosfera e os (ii) riscos mistos de componente geodinâmica, quando, além da ação antrópica, se relacionam com forças (geodinâmica interna) e processos (geodinâmica externa) que atuam sobre a Terra.

Nos riscos de componente atmosférica, no capítulo intitulado “*Riscos atmosfê-ricos mistos*”, as autoras, Ana Monteiro e Helena Madureira, pretendem identificar algumas das ameaças provenientes da atmosfera que podem causar, direta ou indiretamente, perdas e danos severos para os seres humanos, assim como a sua distribuição planetária. Entre a multiplicidade de riscos que podem ser identificados, abordaram três com grande relevância científica e mediatismo social, associados às alterações na composição química da atmosfera, e dois menos valorizados nos

planos de prevenção, como a queda de meteoritos e os resultantes das pesquisas espaciais. A redução de espessura da camada de ozono, o agravamento do efeito de estufa e a poluição da atmosfera por terem sido identificados como ameaças severas, tanto os estímulos como as consequências têm sido descritos e bastante divulgados na sociedade. Concluem, todavia, que a valorização destes riscos ainda se encontra fortemente condicionada pela magnitude das consequências, diretas e imediatas, e pelo contexto social, económico e político dos alvos.

A abordagem aos Riscos Mistos de componente geodinâmica inicia-se como o capítulo “*Risco de sismicidade induzida*”, da autoria de Bruno Martins. De acordo com o Autor, a génese antrópica de sismos, em reservatórios, minas, campos de petróleo e gás e injeção de fluidos justificam-se, fundamentalmente, pelas mudanças de pressão introduzidas sobre a estrutura geológica, modificadoras das pressões neutras nas falhas, no volume, forças aplicadas e carga. Acrescenta, ainda, que a dimensão da estrutura influi no impacto sobre a área crustal, sugerindo que quanto maior for, maior será o risco de sismicidade.

Os capítulos subsequentes, relacionados com a erosão (geodinâmica externa), têm como denominador comum a água enquanto agente erosivo. A erosão assume, assim, diversas formas: pluvial, resultante das águas das chuvas; fluvial, causada pela água que flui nas linhas de água; costeira, consequência da ação das águas do mar; química, através da reação dos materiais minerais das rochas à água, levando a formação de novos minerais (argilas) e sais solúveis. O “*Risco de erosão hídrica do solo*”, da autoria de Adélia Nunes, sintetiza os tipos e os principais fatores que interferem na erosão hídrica em vertentes. Analisam-se alguns dos principais métodos usados na sua avaliação/monitorização, assim com as atividades antrópicas que mais têm contribuído para acelerar estes processos, bem como as respetivas consequências e algumas medidas de mitigação. Com efeito, a erosão por efeito da água da chuva constitui um dos principais processos de degradação da camada edáfica superficial, à escala global, ameaçando a produtividade agrícola do solo e a estabilidade económica e social de diversas regiões do globo. No capítulo seguinte, da mesma autora, intitulado “*Risco de erosão fluvial*” analisa-se a dinâmica fluvial, enfatizando-se os agentes e processos que atuam ao nível do escavamento, transporte e deposição de sedimentos. São também abordadas as principais formas resultantes, os fatores



intervenientes, alguns dos métodos utilizados na avaliação do transporte de sedimentos e na erosão lateral, assim como na sua proteção.

António Campar de Almeida, autor dos três capítulos que se seguem, debruça-se em primeiro lugar sobre os “*Riscos de erosão costeira*”, discutindo as condições naturais terrestres e marinhas mais favoráveis à ação dos processos perigosos, assim como o aumento da exposição humana a esses processos. São abordadas as dinâmicas próprias da costa de arriba e da costa arenosa baixa e são analisadas as medidas que têm sido tomadas para combater ou mitigar a erosão costeira e possíveis adaptações. No capítulo que intitula “*Risco de erosão química*”, o autor refere que os principais processos químicos que se verificam à superfície da crosta terrestre têm como principal interveniente a água, quer como meio de reação quer como reagente. Assim, entre os múltiplos processos que podem ocorrer, aborda a hidratação, a dissolução, a hidrólise, a oxidação e a redução. São, igualmente, analisados alguns dos efeitos mais evidentes da ação destes processos, quer na natureza quer em construções humanas. Problematisa, também, algumas das alterações que se verificarão, em termos da generalidade dos processos químicos, na sequência das mudanças climáticas previstas.

No capítulo, com o título “*Riscos de erosão eólica*”, também da autoria de António Campar de Almeida, o vento assume-se como agente erosivo, cujos modos de atuar sobre as rochas e de destruir ou construir geoformas são muito diferenciados. Assim, depois de analisar como atua o vento, apresenta o modo como modela a paisagem nas regiões áridas e como pode afetar os solos das regiões semiáridas. Por último, discute algumas das medidas usadas para minimizar os efeitos da erosão eólica, tanto em solos como em dunas, assim como as adaptações humanas a essa erosão.

Maria José Roxo e Carlos Russo Machado, no seu capítulo “*Desertificação*”, descrevem este processo como gradual, marcado pela perda de produtividade do solo e de diminuição da cobertura vegetal, em consequência da interação das atividades humanas com as condições ambientais marcadas por situações de seca e aridez. Analisam a sua dimensão planetária, os processos envolvidos, as consequências, a sua evolução e discutem o papel de organizações como as Nações Unidas e a União Europeia no combate à desertificação, identificando os mecanismos, instrumentos e estratégias adotadas para minimizar os seus efeitos. O “desaparecimento do Mar

de Aral” e o fenómeno da desertificação na Península Ibérica, constituem os estudos de caso. No final, são perentórios quanto à necessidade, perante um cenário em que as alterações climáticas são bem evidentes, dos governos e dos cidadãos, em todo o mundo, terem o conhecimento da dimensão, das causas, consequências e de algumas medidas de mitigação/adaptação aos processos de desertificação.

“*Riscos de salinização do solo*”, de Maria da Conceição Goncalves, José Casimiro Martins e Tiago Brito Ramos, e “*Riscos relacionados com intrusão salina*”, de Bruno Martins, abordam as questões da salinização, enquanto processos de degradação do solo e dos aquíferos, a nível mundial. Embora o problema de salinização do solo pareça limitado às zonas costeiras afetadas pelas marés (sapais) e a algumas áreas regadas no sul do País (Alentejo), o aumento do regadio e as perspetivas de mudanças climáticas para as próximas décadas, nomeadamente, o aumento das temperaturas e da concentração de sais solúveis na água de rega, podem levar a um acréscimo da área afetada em Portugal e a uma crescente degradação dos solos.

Por outro lado, a excessiva extração de água doce, devido à crescente pressão demográfica nas áreas costeiras, aliada a uma agricultura intensiva, exigentes em consumo de água, têm conduzido a uma penetração da água salgada para áreas mais continentais, responsável pela denominada intrusão salina em aquíferos. Os problemas relacionados com a intrusão salina são mundiais e têm-se agravado ao longo das últimas décadas, com consequências severas para o ambiente, as populações, a economia e a sociedade. De acordo com o autor, B. Martins, a diminuição do risco dependerá em boa parte das estratégias de redução das vulnerabilidades que passarão, necessariamente, por um planeamento e gestão global dos recursos hídricos objetivada num princípio de desenvolvimento sustentável.

O capítulo “*Riscos de poluição*”, de autoria de Carmén Ferreira, inicia-se com a discussão dos termos “poluição” *vs.* “contaminação”, concluindo que que um solo ou uma massa de água pode estar contaminado/a mas não poluído/a, todavia se estiver poluído/a está, obviamente, contaminado/a. Enfatizando os efeitos adversos da ação antrópica nestes dois recursos estratégicos, o solo e a água, dos quais depende o futuro da Humanidade, reforça a necessidade de um controlo da ocupação do solo urbano, das práticas agrícolas e industriais e o respeito pelo cumprimento da legislação relativa a estes recursos, tendo em conta a sua gestão baseada nos princípios de sustentabilidade.

O último dos capítulos desta obra, “*Riesgos de incendio forestal*”, da autoria de Miguel E. Castillo Soto, analisa a incidência geográfica dos incêndios florestais, numa perspetiva multiescalar, desde o global, com o intuito de definir macro zonas de ocorrência, ao particular, ou seja, através da análise de alguns exemplos de incêndios particularmente catastróficos, onde se incluem os incêndios de junho e outubro de 2017 em Portugal. Com efeito, entre os riscos mistos, os incêndios florestais têm merecido maior destaque sobretudo pela sua dimensão global, pelos impactes que provocam nas diferentes componentes da natureza e da sociedade. Apesar de fazerem parte da história da humanidade, os incêndios florestais representam, na atualidade, uma das mais importantes ameaças às funções e serviços dos ecossistemas, de que dependem o bem estar e a qualidade de vida da população.

(Página deixada propositadamente em branco)

**RISCOS MISTOS  
DE COMPONENTE  
GEODINÂMICA**



(Página deixada propositadamente em branco)

## RISCO DE EROSÃO FLUVIAL RISK OF FLUVIAL EROSION

**Adélia Nunes**

Departamento de Geografia e Turismo da Faculdade de Letras  
CEGOT e RISCOS, Universidade de Coimbra, Portugal  
ORCID: 0000-0001-8665-4459    [adelia.nunes@ci.uc.pt](mailto:adelia.nunes@ci.uc.pt)

**Sumário:** Neste capítulo analisa-se a dinâmica fluvial, dando particular ênfase aos processos que atuam ao nível do escavamento, transporte e deposição de sedimentos. São também abordadas as formas resultantes, os fatores intervenientes, assim como algumas das metodologias utilizadas na avaliação da erosão lateral e no transporte de sedimentos.

**Palavras-chave:** Dinâmica fluvial, processos erosivos, depósitos fluviais, metodologias de avaliação.

**Abstract:** In this chapter, fluvial dynamics are analysed with particular emphasis on the processes involved in the excavation, transport and deposition of sediments. The resulting landforms, the intervening factors, and some of the approaches used to evaluate lateral erosion and sediment transport are also addressed.

**Keywords:** River dynamics, erosive processes, fluvial depositional landforms, evaluation methodologies.

## Introdução

Pela sua capacidade de erosão, ou seja, de escavamento, transporte e deposição de materiais rochosos, os rios são os principais agentes de transformação da paisagem, atuando continuamente no modelado do relevo e na fisionomia da paisagem (Leopold *et al.*, 1964; Christofolletti, 1981; Charlton, 2007; Hooke, 2008; Wohl, 2014; Bertalan *et al.*, 2018; Bandeira *et al.*, 2018). Vários autores (Hackney *et al.*, 2015; Konsoer *et al.*, 2017; Bandeira *et al.*, 2018) referem que a erosão, em particular das margens, é responsável por uma parte significativa da destruição de terras aráveis, com importantes consequências económicas e sociais (Aktar *et al.*, 2013; Bandeira *et al.*, 2018). Por outro lado, a erosão constitui um problema ambiental, que afeta a sociedade, através da redução da capacidade dos reservatórios, intensificação da poluição da água e alteração na frequência e magnitude das cheias e inundações (Walling, 1983; Lane *et al.*, 1997; Van Rompaey *et al.*, 2001; Fasching e Bauder, 2001; Nelson e Booth, 2002; Abril e Knight, 2004; Araújo e Knight, 2005).

Assim, quando as águas da chuva se concentram e formam torrentes, a erosão deixa de ser pluvial e passa a ter a mesma dinâmica da erosão fluvial, mesmo que as linhas de água não funcionem durante todo o ano, como é o caso dos cursos de água temporários. A erosão fluvial ocorre quando o perfil da linha de água se encontra em desequilíbrio, devido à energia potencial, gravitacional e cinética da água em movimento.

A velocidade das águas, num rio, depende de fatores como a declividade do perfil longitudinal, o volume das águas transportadas, a forma da secção transversal, o coeficiente de rugosidade do leito, a viscosidade da água, fazendo com que a velocidade das águas tenha variações nos diversos setores do canal, no qual flui.

A quantidade e a velocidade das águas, o tipo de fluxo predominante (turbulento ou laminar), assim como a quantidade e o tamanho dos materiais transportados, influenciam os três principais tipos de processos que o rio executa na sua trajetória, ações de escavamento, transporte de carga sólida e deposição dos materiais transportados, e originam formas variadas de relevo fluvial, em função das variáveis anteriores (Christofolletti, 1981; Suguio e Bigarella, 1990; Bigarella, 2003).

No presente trabalho abordam-se, de forma sintética, os principais factores que afetam o sistema fluvial e que interferem nos processos erosivos associados à dinâmica fluvial, dando particular ênfase aos processos de escavamento, transporte e deposição de materiais. De igual modo, também se abordada alguma da metodologia usada na avaliação da erosão lateral e no transporte de materiais.

## Fluxo Laminar *vs.* fluxo turbulento

O fluxo aquoso, em linhas de água de pequena, média ou grande dimensão, sejam elas perenes, intermitentes ou efêmeras, move-se de acordo com certas características básicas da dinâmica dos fluidos. Em canais abertos, podem ser encontrados vários tipos de movimento de fluidos, destacando-se os fluxos laminares e os turbulentos, cujas características variam em função de certos parâmetros adimensionais (Press *et al.*, 2006).

O fluxo laminar ocorre quando as camadas de fluidos deslizam umas sobre as outras, sem se misturarem. A velocidade de fluxo é relativamente lenta e cada partícula do fluido se move com velocidade uniforme. Nesse tipo de regime, as linhas de fluxo envolvem suavemente as irregularidades do leito fluvial, sem formar correntes turbilhonares.

Com o aumento de velocidade da água e/ou de profundidade da corrente, podem atingir-se determinados valores críticos que conduzem à formação de fluxos turbulentos. Assim, o fluxo turbulento tem origem quando as flutuações nas velocidades excedem um limiar crítico. Essas flutuações são causadas por turbilhões/remoinhos produzidos quando a água passa por obstáculos ou irregularidades de contornos rugosos existentes no fundo ou nas margens.

Os fatores que afetam a velocidade crítica e permitem que o fluxo laminar se torne turbulento, são:

- i. Viscosidade - é uma medida de resistência ao movimento de um fluido. Quanto mais viscoso (espesso) for o fluido, maior será a sua resistência ao fluxo e maior a tendência para o fluxo laminar. Se o aquecimento for suficiente, a viscosidade pode diminuir e verificar-se uma passagem do fluxo laminar para turbulento.

- ii. Profundidade - um rio pode mostrar fluxo laminar ao longo das suas margens, onde a água se move de forma mais lenta.
- iii. Rugosidade da superfície do canal - a fricção ou resistência exercida sobre o fluxo aumenta de modo considerável e a força de cisalhamento cresce (Press *et al.*, 2006) , fazendo diminuir a velocidade do fluxo.

A distinção entre os fluxos laminar e turbulento é realizada através do coeficiente/número de Reynolds (1883), expresso na seguinte fórmula (eq.1):

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

*Re*: Coeficiente de Reynolds

*p*: Densidade do fluido, em kg/m<sup>3</sup>

*V*: Velocidade média do fluido, m/s

*D*: Diâmetro hidráulico, em m

*u*: Viscosidade do fluido, em kg/(m/s)

Em função dos resultados obtidos pode estabelecer-se a seguinte classificação:

$Re < 2100$	Fluxo laminar
$2100 \leq Re < 4000$	Fluxo de transição
$Re \geq 4000$	Fluxo Turbulento

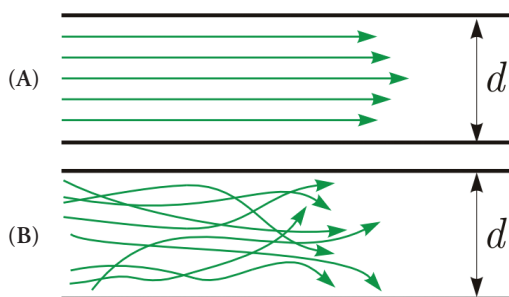
As principais características do fluxo laminar (fig. 1a) são:

- “Baixa” velocidade;
- Movimentação das partículas em linha reta;
- Fluxo das camadas de água a distintas velocidades, umas sobre as outras, sem se misturarem;
- A velocidade do fluxo diminui com a profundidade e com a aproximação às margens;
- Raro em sistemas fluviais.

De modo comparativo, indicam-se as principais características do fluxo turbulento (fig. 1b):



- “Alta” velocidade;
- Movimento irregular das partículas e do fluido;
- Fluxo da água em que as partículas se misturam de forma não linear, isto é, de forma caótica e em redemoinhos;
- A velocidade varia de fluxo para fluxo, sendo menor junto às margens e em profundidade;
- Mais comum em sistemas fluviais.



**Fig. 1** - Representação esquemática dos fluxos laminar (a) e turbulento (b)  
(Fonte: Domínio Público, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tokyo.png>).

***Fig. 1** - Schematic representation of laminar (a) and turbulent flows (b)  
(Source: Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tokyo.png>).*

Assim, o tipo de fluxo predominante é um dos factores que mais influência exerce nos três tipos principais de processos erosivos, interrelacionados, que ocorrem num rio: escavamento, transporte e deposição.

### Ação de escavamento

De acordo com Christofoletti (1981) e Suguio e Bigarella (1990), a erosão fluvial é um processo pelo qual o material é removido do fundo e das margens de um canal através de corrosão, abrasão e cavitação. A ação erosiva ocorre quando o resultado de todas as forças atuantes sobre o material erodível excede o resultado efetivo

de todas as forças que tendem a conservar o material no próprio local (Simons, 1982). Assim, os processos de erosão dependem da natureza dos materiais do canal (Rotta e Zuquette 2014), do tipo de materiais arrastados e também da quantidade de água transportada, a qual potencializa a velocidade e a vazão no canal fluvial. O poder erosivo de um rio será tanto maior quanto maiores forem o seu caudal e o declive do seu leito, os quais sofrem variações ao longo do percurso. Em situação de cheia, quando o caudal e a velocidade das águas são mais elevados do que em águas médias ou águas baixas, a ação erosiva do fluxo aquoso assume particular importância devido à pressão que a água exerce sobre as saliências do leito e das margens.

Os principais processos de erosão que ocorrem nos rios são os de: (i) ação hidráulica, (ii) corrosão; e (iii) abrasão (Strahler e Strahler, 1997).

Por si só, a água, em movimento e em contacto com fundo e com as margens, pode erosionar materiais aluviais mal consolidados, tais como argilas, silte, areias ou cascalho. Este processo de erosão, denominado de *ação hidráulica*, é capaz de escavar enormes quantidades de materiais não consolidados num curto espaço de tempo, sobretudo quando ocorrem cheias.

A *corrosão* compreende processos que envolvem reações químicas entre a água e as rochas presentes no canal fluvial, resultando na dissolução de material solúvel e na percolação da água nos depósitos de inundação.

A *ação abrasiva* decorre do atrito mecânico da carga sólida transportada pelas águas dos rios. Sendo um agente que depende das condições do fluxo da água, este processo irá contribuir para o desgaste tanto das margens como do leito dos canais. Além das partículas sólidas se desgastarem entre si, também exercem uma ação abrasiva sobre leito. Este processo de abrasão verifica-se sempre que o material sólido em movimento esteja em contacto direto com o substrato rochoso. Se a energia disponível para o transporte de carga sólida for insuficiente, o leito do rio mantém-se em condições estáveis. Se existir um excesso de energia, esta é usada para erosionar as margens e o fundo do canal, contribuindo para um aumento de carga sólida a jusante (Suguio e Bigarella, 1990).

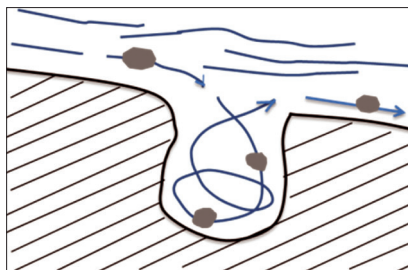
Os processos de abrasão estão na origem de várias formas, tais como cascatas, cavidades na base dessas cascatas, o que dá uma grande variedade aos canais fluviais, sobretudo, dos rios de montanha.

A *cavitação* representa um tipo especial de abrasão originada pelo movimento turbilhonar das águas sobre o leito rochoso. Assim, podem ser escavadas depressões de vários tamanhos, em geral, com uma forma cilíndrica, denominadas de marmitas (fig. 2 e fot. 1). Com frequência, no interior destas depressões encontram-se calhaus rolados que são o instrumento com que são talhadas as referidas cavidades. As correntes, em espiral, da água que circula no interior das marmitas, originam um movimento de rotação dos calhaus na sua base, levando ao seu aprofundamento. A cavitação ocorre em rios de alta velocidade, o que produz variações da pressão na parede do canal e facilita a erosão (Suguio e Bigarella, 1990), sendo que Hjulström (1939) refere que este processo se desenvolve apenas em canais com velocidades mínimas de aproximadamente 12m/s, o equivalente a 43,2km/h.



**Fot. 1** - Exemplos de marmitas (Fonte: Domínio Público, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Northwest\\_Branch\\_Park\\_Potholes.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Northwest_Branch_Park_Potholes.JPG)).

***Photo 1** - Example of kettles (Source: Public Domain [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Northwest\\_Branch\\_Park\\_Potholes.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Northwest_Branch_Park_Potholes.JPG)).*



**Fig. 2** - Formação de marmitas pelo fluxo de água do rio.

***Fig. 2** - Formation of a kettle by the river flow.*

### **Erosão vertical (de base ou remontante) e lateral (de margens)**

A erosão que ocorre no interior dos canais fluviais, através de processos de erosão vertical, de base ou remontante, e de erosão lateral, ou seja das suas margens, provoca tanto o aprofundamento e o aumento do comprimento dos canais, como favorece o contínuo alargamento do leito normal.

A *erosão de base* (*streambed erosion ou bed erosion*), através do aprofundamento do canal ou do remontar de cabeceiras, aumenta respetivamente a sua profundidade ou o seu comprimento. Trata-se de um processo pelo qual o leito do rio é erosionado para um novo nível, inferior.

Assim, ao processo pelo qual os rios desgastam o seu leito, mais a montante do que a jusante, é chamado de *erosão remontante* (fot. 2). Este tipo de erosão é, geralmente, acompanhada do alargamento e aprofundamento dos vales e ocorre quando se verificam oscilações no nível de base, devido, por exemplo, à descida do nível de mar como resultado de um período de glaciação. Nestes períodos climáticos, com a retenção de água nas calotes polares e nos glaciares, o nível do mar sofre um abaixamento e, com ele, o nível de base dos rios. A maior inclinação do seu leito faz com que as suas águas adquiram mais energia, desencadeando erosão mais a montante. Os movimentos tectónicos, de componente vertical, também podem desencadear alterações no nível de base dos canais fluviais e acelerar os processos de erosão a montante.



**Fot. 2-** Erosão remontante

(Fonte: Domínio public, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cox\\_Lavaka\\_W16.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cox_Lavaka_W16.jpg)).

**Photo 2 -** Headward erosion

(Source: Public Domain, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cox\\_Lavaka\\_W16.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cox_Lavaka_W16.jpg)).

Nas situações em que as cabeceiras fluviais recuam de forma significativa pode ocorrer a captura de outras linhas de água que se situam a cotas superiores, formando “cotovelos de captura”, através dos quais se “escapam” as águas dos rios que foram capturados e que assim deixam, a jusante desses cotovelos, vales que ficam abandonados.

Contudo, a erosão de base pode ocorrer devido a outros fatores, destacando-se entre eles:

- Diminuição da quantidade de materiais minerais em circulação. Este decréscimo pode ocorrer quando a passagem natural desses materiais pelo sistema fluvial é interrompida a montante, devido à construção de barragens, represas ou obras de controlo da erosão;
- Aumento da inclinação do leito. Esta situação pode resultar de alterações no leito devido à extração de sedimentos por parte de indústrias extrativas ou de recreio.
- Acréscimo na velocidade do fluxo de água. Este incremento pode dever-se a estrangulamentos no canal, devido a obras de regularização, acumulação de detritos ou desenvolvimento de vegetação, no respetivo leito normal.
- Incremento das descargas. O aumento dos caudais pode relacionar-se com acréscimos provenientes no escoamento urbano ou incrementos na precipitação. Pode, também, relacionar-se com a transferência de caudal entre bacias hidrográficas, para suprimimento das necessidades de consumos (população, irrigação, etc.).

Esta incisão vertical do leito pode, assim, iniciar uma extensa erosão das margens (fots. 3), em consequência do aumento da sua altura em relação ao leito, tornando-as mais suscetíveis ao colapso.

Imeson e Curfs (s/d) afirmam que cerca de metade dos materiais que circulam nos rios provêm da erosão das margens dos leitos. Walling *et al.* (1999), por exemplo, avaliaram a carga sólida transportada em suspensão (10 816 t/ano), resultante da erosão lateral em rios do Reino Unido, caracterizados por uma baixa energia, em cerca de 37% do total, a qual pode chegar a valores de 80% (75 000 t/ano) em alguns sistemas fluviais caracterizados por canais declivosos (Simon e Darby, 2002). “Terra caída” é um termo usado na Amazônia precisamente para caracterizar a erosão das margens, provocando a migração dos canais por efeito da erosão lateral



**Fots. 3** - Erosão de margens (Fonte: Domínio Público, [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/River\\_Snizort%2C\\_bank\\_erosion\\_-\\_geograph.org.uk\\_-\\_1173737.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/River_Snizort%2C_bank_erosion_-_geograph.org.uk_-_1173737.jpg)).

**Photo 3** - Bank erosion (Source: Public Domain, [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/River\\_Snizort%2C\\_bank\\_erosion\\_-\\_geograph.org.uk\\_-\\_1173737.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/River_Snizort%2C_bank_erosion_-_geograph.org.uk_-_1173737.jpg)).

que ocorre, principalmente, nas margens do rio Amazonas e nos seus afluentes, causando inúmeros prejuízos sociais aos moradores ribeirinhos (Bandeira *et al.*, 2018).

A *erosão lateral* (das margens ou *bank erosion*) depende de um vasto conjunto de fatores relacionados com a ação mecânica da água e, sobretudo, dos materiais transportados, bem como das características dos canais e do material adjacente. As condições climáticas regionais e a intervenção antrópica são igualmente outras variáveis que devem ser integradas nos estudos de dinâmica fluvial que envolvam a erosão das margens (QUADRO I).

Depois de terem analisado um número de significativo de estudos, Ritter *et al.* (2002) concluíram que a erosão de margens raramente resulta de um único processo, envolvendo a ação conjunta de diversos fatores (fig. 3), tais como:

- Ação hidráulica da água corrente, que se manifesta, principalmente, sobre os sedimentos não coesos;



**QUADRO I** - Fatores susceptíveis de influenciar a erosão das margens

**TABLE I** - *Factors that can influence bank erosion.*

Fatores	Caraterísticas relevantes
Propriedades do fluxo	Magnitude, frequência e variabilidade no caudal; Magnitude e distribuição da velocidade e pressão; Grau de turbulência; Concentração de sedimentos.
Geometria dos canais	Largura, profundidade e declive dos canais; Altura e ângulo das margens; Curvatura dos canais.
Composição do material adjacente	Tamanho, coesão e estratificação das camadas sedimentares.
Clima	Quantidade, intensidade e duração da precipitação; Frequência e duração do período gelado.
Condições subsuperficiais	Humidade do solo, existência de “ <i>piping</i> ” e de porosidades.
Biologia	Tipo e densidade do sistema radicular da vegetação; Macroporosidades biológicas.
Fatores antrópicos	Urbanização, sistemas de drenagem, desenvolvimento de reservatórios, estruturas de proteção, uso e ocupação do solo.

Fonte: Síntese elaborada a partir de Knighton, 1984, 1998.

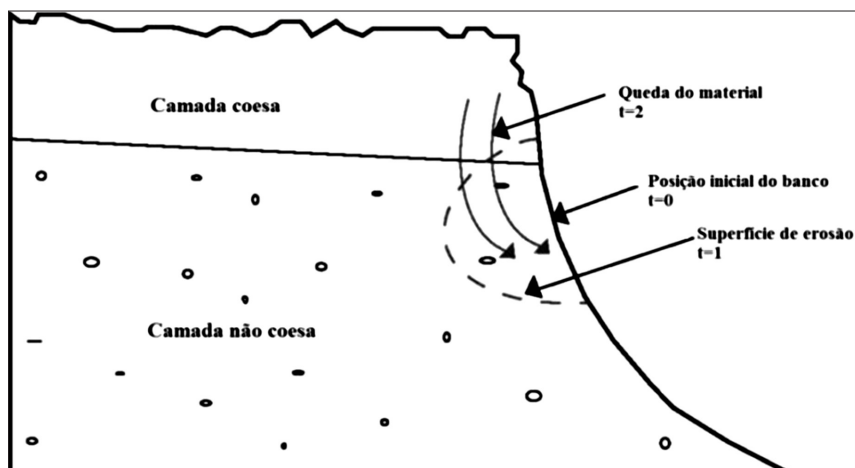
*Source: Synthesis elaborated from Knighton, 1984, 1998.*

- Decréscimo da resistência do material das margens, em função das condições climáticas, humidade, propriedades mecânicas do solo e intervenção antrópica.

A título de exemplo, diremos que a presença de vegetação nas margens aumenta a resistência do material à ação erosiva do escoamento fluvial, pois a sua presença diminui a velocidade das águas e das tensões atuantes sobre a margem (Gray e MacDonald, 1989).

De facto, o conhecimento dos fatores que influenciam e potenciam o modo como se desenvolve a erosão das margens, num determinado troço de rio, é essencial para compreender, de forma adequada, esta problemática e adotar medidas no sentido de minimizar os seus impactes (Magalhães e Maia, 2010).

O processo erosivo tem início em  $t=0$ , por atuação sobre o material menos coeso. A erosão continua até à superfície  $t=1$ . Após a remoção do material não coeso, o material suspenso da camada coesa cai, no momento  $t=2$  e o processo inicia-se de novo.



**Fig. 3** - Esquema típico de rotura das margens devido à remoção do material da base (Fonte: Domínio Público, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:River\\_Bank\\_Undercutting.pdf](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:River_Bank_Undercutting.pdf)).

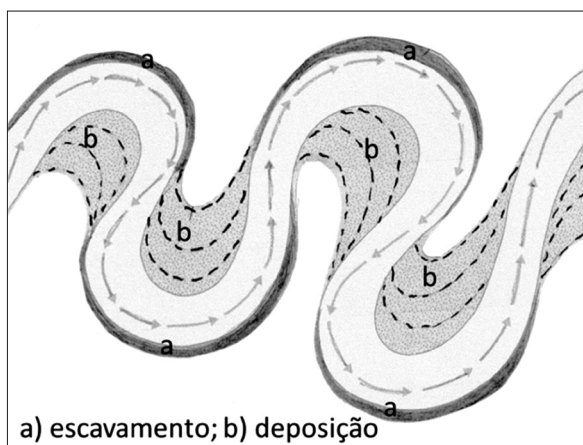
*Fig. 3 - Typical scheme of bank failure due to removal of material from the base (Source: Public domain, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:River\\_Bank\\_Undercutting.pdf](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:River_Bank_Undercutting.pdf)).*

Como já se referiu antes, o mecanismo mais comum de erosão das margens relaciona-se com a ação hidráulica do escoamento. A contínua remoção do material da sua base forma cavidades ao longo da parte inferior da margem. A sua rotura ocorre quando o peso do material suspenso excede a sua resistência, levando, assim, à sua queda (fig. 4).

A erosão das margens nos cursos de água é, pois, uma das manifestações mais visíveis do complexo reajustamento da morfologia do canal em busca de um novo equilíbrio dinâmico e das alterações na dinâmica do sistema fluvial, ocorrendo um trabalho contínuo de escavação na base da margem côncava (externa), onde a velocidade da água é maior, e de deposição na parte convexa (interna), onde a velocidade é menor (Christofoletti, 1981; Guerra e Cunha, 2003) (fig. 4).

O *Bank Assessment for Non-Point Source Consequences of Sediment* (BANCS), desenvolvido por Rosgen (2001), é um dos métodos usados na determinação da taxa de erosão das margens. Trata-se de um método empírico constituído por duas componentes: o *Bank Erosion Hazard Index* (BEHI) e o *Near Bank Stress* (NBS), as quais avaliam as características da margem e do escoamento, respetivamente. Com





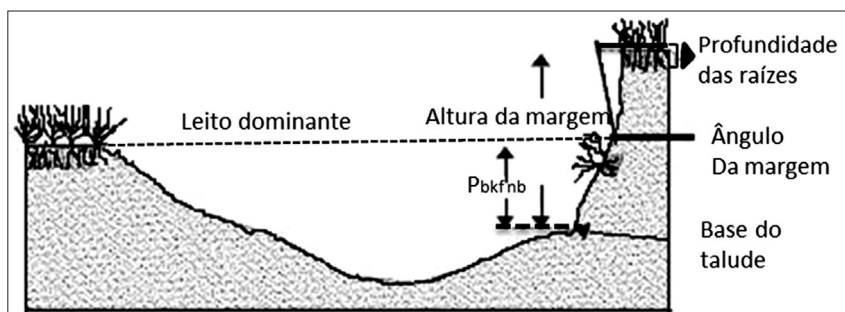
**Fig. 4** - Processos de escavamento *vs* deposição nas margens de um meandro (Fonte: tirada e adaptada de Earth Science World Image Bank, <http://www.earthscienceworld.org/images>)

**Fig. 4** - *Excavation vs. deposition processes on the banks of a meander* (Source: image taken and modified from Earth Science World Image Bank, <http://www.earthscienceworld.org/images>).

base nos resultados obtidos para cada uma das variáveis é possível, através de ábacos adequados, determinar a taxa de erosão da margem e atribuir, à margem em estudo, uma de seis categorias de risco: Muito Baixo, Baixo, Moderado, Elevado, Muito Elevado e Máximo.

Assim, para determinação da categoria de risco do BEHI é necessária a obtenção *in situ* de diversas variáveis, caracterizadoras das margens, tais como: altura do talude da margem; distância da base do talude ao nível de água correspondente ao leito dominante (Pbkf nb); profundidade de penetração das raízes; densidade de raízes; percentagem da superfície revestida do talude; ângulo (do talude) da margem (Rosgen, 2001) (fig. 5). Deste modo, com base nos dados recolhidos, é possível determinar diversos parâmetros que permitirão atribuir uma categoria de risco à margem em estudo.

Os parâmetros que derivam das variáveis recolhidas são: a relação entre a altura da margem e a distância ao leito dominante; a relação entre a densidade raízes e a altura da margem; a densidade ponderada de raízes. Os valores relativos à percentagem de proteção da superfície do talude e ao ângulo da margem também podem ser incluídos na determinação da classe de risco.



**Fig. 5** - Características das margens usadas pela componente BEHI na identificação das categorias de risco (Fonte: Adaptado de Rosgen, 2001).

*Fig. 5 - Bank characteristics used by the BEHI component to identify risk categories  
(Source: Adapted from Rosgen, 2001).*

Para a atribuição da categoria de risco do NBS (*Near Bank Stress*), a formulação proposta por Rosgen (2001) interrelaciona a tensão de arrastamento com o valor do gradiente de velocidades. Assim, no cálculo da relação entre tensões, é necessário determinar as tensões de arrastamento em duas zonas distintas do canal: na área do talude da margem ( $_{nb}$ ) e na área do leito restante ( $_{bkf}$ ), referenciadas (em extensão transversal) à largura de escoamento correspondente ao caudal dominante. Assim, a primeira corresponde a  $\frac{1}{3}$  da largura do leito dominante, e, a segunda, à área de leito restante (Magalhães e Maia, 2010).

As tensões de arrastamento ( $\tau$ ) são determinadas através da fórmula de Chow (1964) (equação 2):

$$\tau = \gamma RS \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

$\gamma$ : Representa o peso volúmico da água;

$R$ : Raio hidráulico da seção do rio, que pode ser identificado com a profundidade do escoamento, em metros (m);

$S$ : Inclinação da superfície livre da água, em m/m.

Assim, a tensão de arrastamento junto à zona do talude da margem,  $_{nb}$ , é obtida pela fórmula 3 e a tensão de arrastamento na zona do leito dominante pela fórmula 4.

$$\tau_{nb} = \gamma d_{nb} s_{nb} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\tau_{bkf} = \gamma d_{bkf} s \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que :

$d_{nb}$ : Profundidade do rio junto à base do talude da margem, em metros;

$s_{nb}$ : Inclinação do leito do rio junto ao talude, em m/m;

$d_{bkf}$ : Profundidade média do leito dominante, em metros;

$s$ : Inclinação da linha superfície livre da água do rio, em m/m

Para a caracterização do gradiente de velocidades torna-se necessário determinar o perfil de velocidades em várias verticais, em distintas secções, ao longo canal fluvial em estudo, assim como a várias profundidades.

Nos sistemas de classificação dos rios naturais, a taxa de erosão é, posteriormente, determinada com base em ábacos. A escolha do ábaco adequado está dependente do conhecimento prévio da categoria de rio segundo o sistema de classificação de rios naturais, o qual pode ser consultado em Rosgen (1994).

Só depois de se conhecerem todos os fenómenos intervenientes no processo de erosão, é que se poderá adequar a melhor estrutura ou técnica de mitigação de erosão num determinado rio ou troço, em particular. Magalhães e Maia (2010) consideram que a proteção e o reforço das margens de um rio, cujo objetivo seja impedir ou minimizar a erosão das margens devido à ação do escoamento, deve assentar em soluções que se ajustem ao tipo de ações atuantes, aos mecanismos de instabilidade e de rotura presentes no talude da margem e, ao mesmo tempo, assegurar uma boa integração paisagística e o bom funcionamento do ecossistema ribeirinho (fots. 4).

### Ação de transporte

Os materiais sólidos transportados por uma corrente denominam-se de carga sólida ou carga fluvial. O conhecimento da carga sólida transportada



**Fot. 4** - Exemplos de proteção de margens.

**Photo 4** - Examples of bank protection.

(Fonte/Source: Domínio Público / Public Domain:

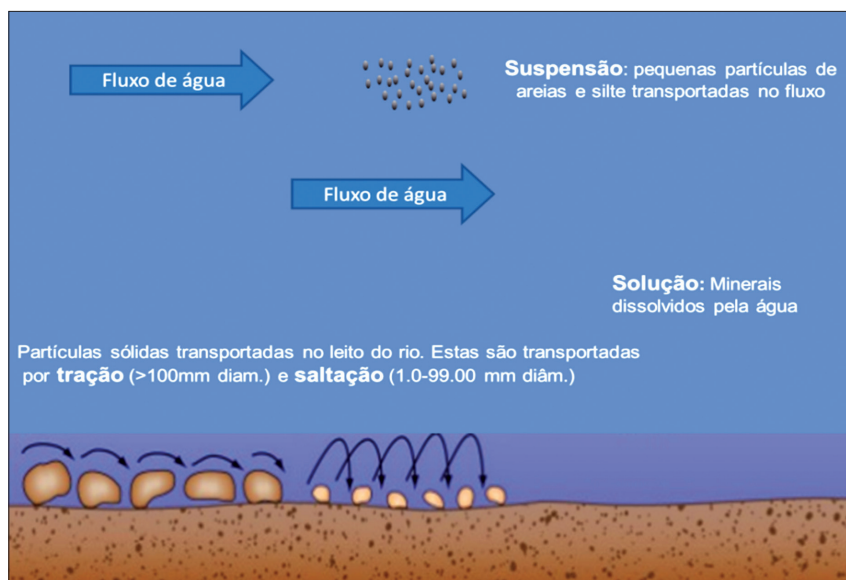
A) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bank\\_protection\\_on\\_the\\_Llangollen\\_Canal\\_-\\_geograph.org.uk\\_-\\_637620.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bank_protection_on_the_Llangollen_Canal_-_geograph.org.uk_-_637620.jpg);

B) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bend\\_in\\_the\\_River\\_Wye\\_and\\_bank\\_protection\\_-\\_geograph.org.uk\\_-\\_1541641.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bend_in_the_River_Wye_and_bank_protection_-_geograph.org.uk_-_1541641.jpg)).

pelos cursos de água, resultante do material carreado até ao canal fluvial devido à erosão superficial e subsuperficial ou em consequência da erosão de base e lateral promovida no leito do rio, é muito importante para a melhor compreensão dos processos hidro-sedimentológicos, ao nível da bacia hidrográfica. Esse conhecimento pode ser utilizado para apoiar a tomada de decisão, no que se refere tanto à instalação de estruturas e equipamentos destinados ao abastecimento de água, como na geração de energia, no manejo de solos agrícolas, na irrigação, na navegação, na pesca e, ainda, na própria preservação dos ecossistemas.

As correntes fluviais podem transportar a carga sólida de diferentes formas, de acordo com a granulometria das partículas (tamanho e forma) e as características da própria corrente. Com efeito, o transporte de materiais vai depender principalmente da *competência* e da *capacidade* da corrente da linha de água. A *competência* refere-se ao tamanho máximo das partículas que um rio pode transportar, enquanto a *capacidade* se relaciona com o volume total de material que um rio pode transportar, numa determinada seção.

As formas de transporte de materiais podem agrupar-se, assim, em três/quatro categorias (fig. 6):



**Fig. 6** - Transporte de materiais pelos rios através dos processos de tração, saltação, suspensão e solução (Fonte: Adaptado de <http://thebritishgeographer.weebly.com/river-processes.html>, acessado em 20.09.2018).

**Fig. 6** - River transportation of materials by traction, saltation, suspension and solution (Source: Adapted from <http://thebritishgeographer.weebly.com/river-processes.html>, accessed in 20.09.2018).

- i. Solução - a água, em contacto com as rochas, pode dissolver diversas substâncias, transportando-as de forma suspensa e invisível, sob a forma de iões químicos, à mesma velocidade do fluxo (Suguio e Bigarella, 1990).
- ii. *Suspensão mecânica e coloidal* (materiais finos) - a água corrente possui a capacidade de manter em suspensão partículas sólidas devido à sua velocidade e, sobretudo, ao seu grau de turbulência.

Quanto maior for a velocidade de um rio, maior será a sua capacidade de manter e transportar partículas em suspensão. A diferença entre a carga em suspensão e carga do leito baseia-se mais no mecanismo de transporte do que no tamanho da partícula. Em geral, a carga em suspensão é a fração mais fina do material transportado, sendo mantida de forma suspensa pela ação da turbulência do fluido (Christofolletti, 1981);

iii. *Tração (reptação) e saltação* - os materiais mais pesados são movimentados no leito do rio por tração e saltação. O transporte por tração está relacionado com as tensões da carga sedimentar ao longo do fundo do canal provocadas pela movimentação da água. O efeito dessas tensões tangenciais é reforçado pelas forças ascensionais devido ao fluxo turbulento.

Durante a condução da carga de fundo, Suguio e Bigarella (1990) observaram que as partículas esféricas rolam com mais facilidade do que as menos esféricas e irregulares. Além da forma, intervém também o tamanho e a densidade, dando origem a uma carga de tração ajustada às condições locais. Enquanto o fluxo não apresentar alteração, o transporte por tração mantém-se nas mesmas condições, porém à medida que ocorre diminuição da velocidade das correntes ou intensidade da turbulência, as partículas maiores, mais densas e de menor esfericidade vão sendo deixadas para trás.

O transporte por saltação, por sua vez, é o movimento pelo qual as partículas avançam ao longo do leito fluvial, através de uma série de saltos curtos.

Para Suguio e Bigarella (*op. cit.*) este movimento pode ser considerado como a fase intermediária entre o transporte por tração e por suspensão.

A estimativa da descarga sólida nos cursos de água, entendida como a quantidade de materiais que passa num determinado período de tempo e numa determinada secção de controlo, revela-se fundamental para a melhor compreensão dos processos hidro-sedimentares à escala da bacia hidrográfica. A concentração de minerais em suspensão é um parâmetro fundamental nestas análises e essencial para o entendimento do transporte de materiais nos cursos de água, sendo frequentemente utilizado em projetos de engenharia de obras hidráulicas e em diversos modelos hidrológicos, tanto para pequenas como para grandes bacias hidrográficas.

Na sua determinação têm sido utilizados, tradicionalmente, métodos e equipamentos que consistem na recolha de amostras de água representativas da secção do rio e na posterior análise laboratorial da concentração dos materiais transportados. No entanto, como segundo Carvalho (2008) 70 a 90% das maiores descargas sólidas coincidem, geralmente, com eventos pluviométricos intensos, quando nem sempre é fácil recolher as amostras. Por outro lado, recolher amostras para obter séries longas torna-se bastante moroso e oneroso.

Nestas circunstâncias, são usadas outras técnicas para estimar a concentração de materiais em suspensão, como a turbidez e o sinal sonoro, este último obtido pelo equipamento denominado *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP). O efeito Doppler caracteriza-se, de acordo com Carvalho (1999), pela mudança na frequência de uma onda acústica ou eletromagnética, devido ao movimento relativo entre uma fonte sonora e um observador. Como o efeito Doppler ocorre em duas vias, da fonte sonora para o observador e do observador para a fonte sonora, a onda refletida trará a informação Doppler conforme descrito na equação 5:

$$f_d = \pm \frac{2f_t v}{c} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

$f_d$  (Hz): Desvio Doppler de frequência;

$f_t$  (Hz): Frequência de transmissão;

$v$  (m/s): Velocidade relativa entre a fonte sonora e o objeto ou o observador;

$C$  (m/s): Velocidade do som.

O sinal positivo ou negativo na equação 5 significa aproximação ou afastamento relativos, respetivamente. Conclui-se então, que o acréscimo na relação entre a velocidade relativa fonte-observador e a velocidade de propagação acarreta um acréscimo no desvio de frequência.

Assim, observa-se que a velocidade do som é a velocidade com a qual a onda se vai propagar e pode ser obtida pela equação 6:

$$C = f \cdot \lambda \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

$f$  (Hz): Frequência;

$\lambda$  (m): Comprimento de onda.

Gamaro (2012) sublinhou que apenas parte do eco refletido vai ser captado pelo equipamento e, assim, o desvio Doppler de frequência pode ser calculado pela equação 7:

$$F_d = \frac{2f_t \cdot v}{C} \cdot \cos(\theta) \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

$F_d$  (Hz): Desvio Doppler de frequência;

$f_t$  (Hz): Frequência de transmissão;

$v$  (m/s): Velocidade relativa entre a fonte e o objeto ou observador;

$C$  (m/s): Velocidade do som;

$q$ : Ângulo formado entre o vetor da velocidade relativa e a linha entre o ADCP e as partículas.

O ADCP tem sido, assim, amplamente utilizado para medição de descarga líquida em rios, com a vantagem de se usar o mesmo equipamento para ambas as medições, ou seja, para a descarga líquida e a concentração de materiais em suspensão. Para a construção destas relações, alguns investigadores desenvolveram, posteriormente, modelos matemáticos, destacando-se os de Deines (1999), Mayerle e Poerbandono (2002) e Gartner (2002).

### Ação de sedimentação

A sedimentação consiste na deposição dos materiais ao longo do leito, nas margens e na foz. Depende das dimensões e do peso dos materiais transportados, bem como da velocidade da corrente. Assim, os materiais mais pesados e de maiores dimensões depositam-se, em regra, mais a montante enquanto os de pequenas dimensões, mais finos e leves, se depositam mais próximos da foz ou são transportados para o mar.

Os processos de deposição, associados a mecanismos de perda de velocidade e turbulência do fluxo, vão originar diferentes formas topográficas ao longo do canal e do respetivo leito de inundação. A carga fluvial, transportada em suspensão ou junto ao leito, possui diferentes características granulométricas e deposita-se em condições variadas.

Assim, os depósitos sedimentares ao longo dos canais fluviais e nas planícies de inundação podem ser classificados de diferentes formas. Suguio e Bigarella (1990) bem como Ritter *et al.* (2002) classificam-nos, de acordo com a formação e a na-



tureza dos depósitos, em dois tipos principais: os depósitos por acreção lateral e os depósitos por acreção vertical. Estes processos são identificados por Christoforetti (1981) como depósitos de canal e depósitos de inundação.

Knighton (1984;1998) apresentou uma síntese dos principais tipos de depósitos em função do local em que posicionam: no canal, nas suas margens, na planície de inundação, na base das vertentes e na foz dos rios (QUADRO II).

**QUADRO II** - Principais características dos depósitos fluviais

*TABLE II - Main characteristics of fluvial deposits.*

Local do depósito	Nome	Principais Características
Canal	Depósitos transitórios do canal	Acumulação temporária de materiais detríticos de base; podem ser melhor preservados quando se acumulam em pequenas incisões ou lateralmente. <i>Microformas</i> - centimétricas (rizuras ou <i>ripples</i> ) ou <i>Mesofor- mas</i> - decimétricas ou métricas (megarrizuras, dunas).
Canal	Bancos de areia ( <i>alluvial island</i> )	Sobressaem ligeiramente face às águas fluviais. Formam-se, inicialmente, por acumulação dos materiais mais grosseiros, com materiais mais finos por cima: podem apresentar formas entrelaçadas (fot. 5).
Margens do canal	Depósitos laterais, Barras arenosas, aluviões ( <i>point bars</i> )	Acumulações de materiais nas margens convexas dos meandros, podendo formar uma alternância em canais estreitos; acreção vertical; podem manter-se preservados durante alterações nos canais (fot. 6).
Planície de inundação (leito de inundação)	Acreção vertical dos depósitos ( <i>vertical accretion deposits</i> )	Planícies aluviais resultantes da deposição de materiais em suspensão, em períodos de inundação, devido ao decréscimo na velocidade da água, com a consequente redução da competência do fluxo aquoso (fot. 7). Apresentam declives nulos ou muito reduzidos, equivalente ao leito maior ou de inundação, que o rio submerge quando transborda. Na planície de inundação podem surgir outras formas de acumulação, tais como: diques (dispostos paralelamente ao canal, com forma de crista) e baixas de inundação (área mais afastadas do canal, deprimidas funcionando como áreas de decantação dos sedimentos finos). Os canais abandonados e meandros abandonados são outros elementos morfológicos que podem subsistir nas planícies aluviais. Podem aparecer, também, degraus topográficos, preenchidos por depósitos sedimentares fluviais, denominados de terraços fluviais, os quais se relacionam com diferentes etapas de incisão vertical do rio, por variações no nível de base (variações glácio-eustáticas ou tectónico-eustáticas).

Local do depósito	Nome	Principais Características
Base das vertentes <i>Piedmont</i>	Cones ou leques aluviais ( <i>alluvial fans</i> )	<p>Formados a partir de cursos de água (efêmeros ou perenes) na base das vertentes, em consequência da súbita diminuição da velocidade do caudal (devido à quebra de declive), o que faz com que se depositem grandes quantidades de sedimentos, constituindo acumulações em forma de cone ou de leque (fot. 8).</p> <p>Assim, leque aluvial, "cone aluvial" ou "cone de dejeção" referem-se a depósitos de material detrítico, heterogénico, que se forma no sopé das montanhas, onde os talvéguos dos vales encontram uma área plana, quase sempre coincidente com uma planície aluvionar ou uma área lacustre.</p> <p>Estes depósitos recebem esse nome devido à forma que assumem, com os sedimentos a espalharem-se a partir da desembocadura do talvéguo.</p>
Foz dos rios	Deltas	<p>À medida que a corrente perde declive, o rio perde poder para transportar materiais. Os materiais mais grosseiros, normalmente, areias, são largados em primeiro lugar, logo na parte terminal dos rios. As areias mais finas são depositadas mais a jusante, seguidas pelos siltes e argilas.</p> <p>Os deltas correspondem à foz dos cursos de água em que as aluviões fluviais se acumulam em vez de serem redistribuídas pelas vagas e correntes litorais. Caracterizam-se, assim, por um avanço da terra em relação ao mar.</p> <p>Nos deltas, ao contrário do que sucede nos estuários, as ações fluviais de origem continental dominam as ações marinhas.</p>

(Fonte/Source: adaptado de/adapted from Knighton, 1984, 1998).



**Fot. 5** - Depósito na margem de canal, na parte convexa do meandro

*Photo 5 - A point bar on the inside of a meander.*

(Fonte/Source: Domínio public /Public Domain, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A\\_point\\_bar\\_north\\_of\\_Llanelltyd\\_bridge\\_-\\_geograph.org.uk\\_-\\_723310.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_point_bar_north_of_Llanelltyd_bridge_-_geograph.org.uk_-_723310.jpg))



**Fot. 6** - Depósitos no interior do canal (Fonte: Google Earth).

*Photo 6 - Deposition within the channel (Source: Google Earth).*



**Fot. 7** - Planície de inundação (ex. rio Mondego) (Fonte: Google Earth).

*Photo 7 - Flood plain (e.g. River Mondego) (Source: Google Earth).*



**Fot. 8** - Depósito na base da vertente: cone ou leque aluvial

**Photo 8** - *Deposition at the base of the slope: cone or alluvial fan*

(Fonte/Source: Domínio público/Public Domain: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/95/Alluvial\\_fan\\_01.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/95/Alluvial_fan_01.JPG)).

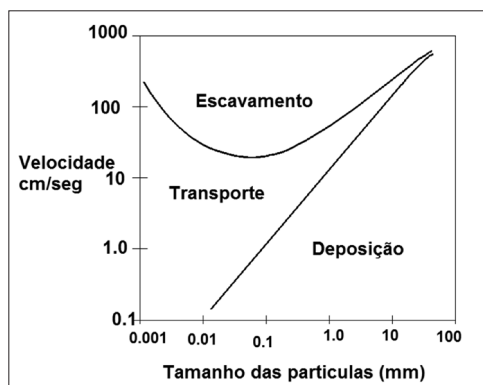
### **Velocidade do fluxo vs tamanho das partículas: implicações nos processos de escavamento, transporte e deposição**

Vários autores (Hjulström, 1935; Cunha, 1995; Press *et al.*, 2006; Novo, 2008) referem que o escavamento, o transporte e a deposição fluvial dependem da velocidade do fluxo (potência hidráulica) e do tamanho dos materiais erosionados. Assim, ao longo do curso de um rio realizam-se simultaneamente os três tipos de processos, embora, de uma forma seletiva, predomine um ou outro tipo.

No diagrama de Hjulström (1935) estão representadas curvas experimentais que tentam explicar a influência da velocidade da corrente e da dimensão dos materiais nos fenómenos de escavamento, de transporte e de deposição (fig. 7). As curvas de Hjulström mostram, assim, a relação entre a velocidade do rio e a sua

competência, ou seja a velocidade a que os materiais serão, em regra, arrancados, transportados ou depositados.

A curva de velocidade de erosão crítica mostra a velocidade mínima necessária para o rio escavar e transportar material de diferentes tamanhos (por exemplo, a carga em reptação ou em suspensão). Para arrancar material será necessária uma maior velocidade em comparação com o seu transporte. Por sua vez, a curva de velocidade média de deposição mostra as velocidades a que as partículas de diferentes tamanhos são depositadas.



**Fig. 7** - A curva de Hjulström  
(Fonte: Adaptado de Hjulström, 1935).  
**Fig. 7** - The Hjulström curve  
(Source: Adapted from Hjulström, 1935).

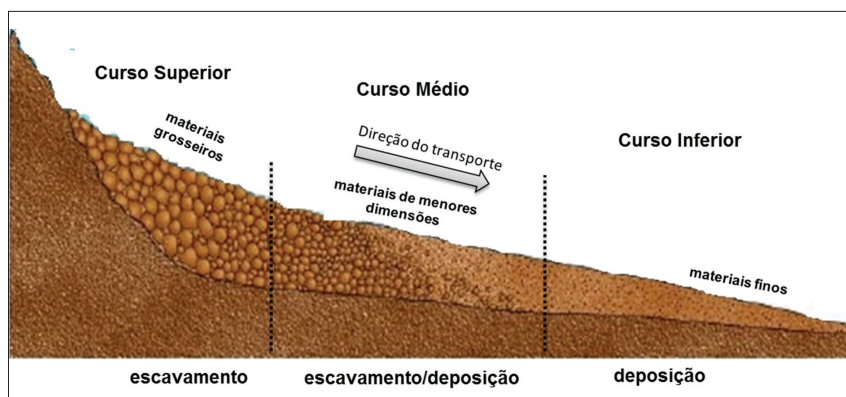
Assim, tendo por base o percurso de um rio, desde a nascente até à foz, e sua divisão em três seções principais: o curso superior, médio e o curso inferior (fig. 8), podemos concluir o seguinte:

No *curso superior*, que corresponde ao troço de maior declive, é onde o escavamento e o transporte de materiais são mais significativos. Acumulam-se sobretudo materiais de grande dimensão, pesados e angulosos.

No *curso médio*, em que o declive já não é tão acentuado, as águas perdem força e decresce a sua capacidade de escavamento e de transporte dos materiais de maior dimensão. Não obstante, nesta secção dominam os processos de transporte em detrimento dos de escavamento.

No *curso inferior*, já mais próximo da foz, com declives suaves e com uma diminuição considerável da velocidade do fluxo, os processos de escavamento e transporte são praticamente inexistentes, predominando a deposição de materiais mais finos, leves e arredondados.





**Fig. 8** - Processos fluviais predominantes e variação granulométrica ao longo do perfil longitudinal de um rio (Fonte: Adaptado de: [http://farm5.static.fl ickr.com/4038/4361350981\\_44f840cf09\\_o.jpg](http://farm5.static.fl ickr.com/4038/4361350981_44f840cf09_o.jpg)),

**Fig. 8** - *Predominant fluvial processes and granulometric variation over the longitudinal profile of a river*  
(Source: Adapted from: [http://farm5.static.fl ickr.com/4038/4361350981\\_44f840cf09\\_o.jpg](http://farm5.static.fl ickr.com/4038/4361350981_44f840cf09_o.jpg))

## Impactes das barragens na dinâmica hidro-sedimentar

Quando ocorrem intervenções humanas de grande dimensão, como é o caso da construção de barragens, assiste-se a alterações no equilíbrio longitudinal do rio. De acordo com Bouno *et al.* (1998), para compreender a influência da barragem a nível do transporte de materiais, é indispensável observar os efeitos a montante e a jusante, em particular durante e após uma cheia.

De facto, a maior parte do transporte dos materiais ocorre durante uma cheia, altura em que se assinalam os maiores caudais e, consequentemente, uma maior competência e capacidade de transporte.

Outro dos efeitos que decorre da construção de barragens resulta da criação de reservatórios a montante destas, que provocam a redução da velocidade do escoamento e a consequente deposição de carga sólida, provocando também um processo de redução de carga sólida para jusante (Coelho, 2008).

De acordo com Cunha (1995), a construção de barragens altera a dinâmica hidrológica e geomorfológica natural dos rios em pelo menos três sectores distintos: (1) a montante da albufeira/barragem; (2) na albufeira e periferia; (3) a jusante da albufeira/barragem, introduzindo diversas alterações hidrológicas e geomorfológicas, nos diferentes sectores do rio (QUADRO III).

**QUADRO III** - Síntese das principais alterações hidrológicas e geomorfológicas nos diferentes sectores de um rio, devido à construção de barragens

**TABLE III** - *Summary of the main hydrological and geomorphological changes in different sectors of a river due to the construction of dams.*

Seção	Impactes hidrológicos	Impactes geomorfológicos
Montante da Barragem	Redução da velocidade das águas; Deposição de carga sólida; Subida do nível das águas. Mudança nas características físicas e químicas das águas;	Assoreamento na foz dos rios principais; Assoreamento no fundo dos vales principais; Assoreamento na foz e no fundo dos vales afluentes; Formação de novas áreas de inundação.
Na albufeira e periferia	Armazenamento das cargas líquidas e sólidas; Elevação do nível piezométrico; Alteração nas taxas de infiltração; Maior disponibilidade de água subterrânea; Assoreamento do reservatório e redução da vida útil da barragem; Alteração das características das águas (temperatura, conteúdo em gases...)	Submersão das formas de relevo; Processos de abrasão lacustre; Recuo das margens ou das arribas lacustres; Formação de praias e depósitos de abrasão; Processos de assoreamento; Formação de bancos arenosos emersos ou imersos; Colmatação da desembocadura dos rios principais; Formação de novas áreas de Inundação.
Jusante da barragem	Controle e regularização das descargas; Redução da carga sólida; Salinização da água; Alteração na estrutura térmica; Redução do nível piezométrico; Alteração nas taxas de infiltração; Menor disponibilidade de água subterrânea.	Entalhe no leito do rio, com consequente descida do nível de base local; Descida do nível de base dos afluentes com recidiva de erosão e entalhe dos seus leitos; Processos de escavamento nas margens; Alteração nos materiais do fundo e das margens; Reajustamento na morfologia do canal pela migração dos sectores de escavamento e deposição; Processos de deposição nas margens e fundo do leito; Modificações na dinâmica da foz.

Fonte/Source: Adaptado de/Adapted from Cunha, 1995.

Em Portugal, à semelhança do que se tem verificado um pouco por todo o mundo, verificou-se um aumento significativo do número de barragens, sobretudo no decurso do século passado, contando-se na atualidade mais de 230 empreendimentos, de norte a sul do território.

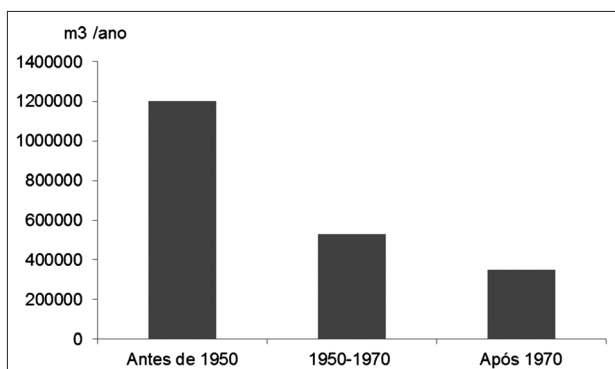
O Rio Tejo, o mais comprido da Península Ibérica, com aproximadamente 1 100 km de comprimento, e com uma área drenada de cerca de 80 100 km<sup>2</sup>, dos quais 2/3 localizados em Espanha e 1/3 em Portugal, face à irregularidade dos seus caudais e às cheias frequentes, foi significativamente intervencionado, alterando o seu comportamento hidrológico, através da construção de uma série de barragens, principalmente em território espanhol. Assim, antes de 1950, a capacidade de ar-

mazenamento das barragens espanholas era de 4 % do escoamento médio anual, aumentando para 76% nos anos 80 do século passado. Mais recentemente, a capacidade total de armazenamento das barragens espanholas e portuguesas representa 95% do escoamento médio anual do rio (Ramos e Reis, 2001).

No intuito de avaliar o impacto das barragens no caudal médio anual, Ramos e Reis (2001) definiram três intervalos de tempo, de acordo com o crescimento da capacidade das barragens; (i) antes de 1950, que representa o regime natural do rio; (ii) entre 1950 e 1970, que representa um surto na construção de barragens e uma clara artificialização; (iii) após 1970, quando o regime da parte portuguesa do Rio Tejo passou a depender principalmente da barragem espanhola de Alcântara.

Assim, na transição do primeiro período, anterior a 1950, para o segundo, entre 1950 e 1970, a variabilidade na flutuação dos caudais máximos instantâneos decresceu cerca de 60%, passando de aproximadamente 12 500 m<sup>3</sup>/s para cerca de 5 000 m<sup>3</sup>/s.

Com a diminuição dos picos de caudal líquido verificou-se uma redução do caudal sólido. Tendo por base os caudais sólidos, ao longo dos três períodos de análise, a jusante da barragem de Alcântara verificou-se um decréscimo muito significativo no transporte sólido, consequência da diminuição do caudal líquido e da retenção de material sólido a montante das barragens espanholas (fig. 9). Assim, no decurso dos três períodos analisados, o transporte sólido diminuiu cerca de 71%, consequência do decréscimo nos caudais líquidos máximos e na quantidade de carga sólida depositada a montante das barragens.



**Fig. 9** - Variação no transporte sólido do rio Tejo, em consequência da construção de barragens e da regularização do seu caudal (Fonte: elaborado a partir Ramos e Reis, 2001).

*Fig. 9 - Variation in the solid Tejo river transport, due to the construction of dams and the regularization of its flow (Source: based on Ramos e Reis, 2001).*



## Conclusão

Os recursos hídricos são essenciais à manutenção da vida no planeta e constituem motivo de preocupação, pelos crescentes sinais de escassez e deterioração. A bacia hidrográfica constitui uma unidade geográfica fundamental para caracterizar, diagnosticar, avaliar e planejar o uso dos recursos naturais.

Assim, o manejo integrado de bacias hidrográficas é de vital importância para a aplicação de políticas de gestão e o desenvolvimento sustentável. Torna-se, assim, necessário, desenvolver e aprofundar os estudos de erosão fluvial de modo a compreender, cientificamente, os processos de escavamento, transporte e sedimentação que afetam um determinado curso de água e a respectiva área de drenagem.

Com efeito, os processos de erosão em rios têm sido estudados para compreender, principalmente, a erosão do leito e das margens e o transporte de carga sólida durante de picos de cheia. A maioria dos estudos sobre erosão fluvial e distribuição de materiais preocupam-se com picos individuais e são baseados em dados históricos (estudos empíricos).

Por conseguinte, emerge um vasto campo de investigação, onde se combinem as propriedades geotécnicas e os processos hidrodinâmicos que atuam ao longo de um curso de água numa perspectiva de longo prazo (Göransson *et al.*, 2016), e em que as ferramentas de geoprocessamento, atualmente existentes, podem permitir uma interpretação quantitativa das características geomorfológicas e das relações com a dinâmica fluvial (Quiroga *et al.*, 2017), em diferentes escalas espaciais (bacia, setores da bacia e sub-bacia) e temporais.

Por outro lado, as questões relacionadas com as perturbações antrópicas como, por exemplo, as mudanças nos usos e cobertura vegetal, ou as associadas às mudanças climáticas, são temáticas que devem constituir objeto de investigação no intuito de melhor compreender as interrelações entre o ser humano, o clima e a dinâmica fluvial.

## Referências bibliográficas

- Abril, B., Knight, D. W. (2004). Stabilising the Paute River in Ecuador, Proceedings of the ICE. *Civil Engineering*, vol. 156, n.º 1, 32-38.
- Aktar, M. (2013). Impact of Climate Change on Riverban. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research* (IJSBAR), n.º7 (1), 36-42.
- Araújo, J. C., Knight, D. W. (2005). A review of the measurement of sediment yield in diferente scales, *REM*, 257-265.
- Bandeira, I. C. N., Adamy, A., Andretta, E. R., da Conceição, R. A. C., & de Andrade, M. M. N. (2018). Terras caídas: Fluvial erosion or distinct phenomenon in the Amazon? *Environmental earth sciences*, 77(6), 222.
- Bertalan, L., Novák, T. J., Németh, Z., Rodrigo-Comino, J., Kertész, Á., Szabó, S. (2018). Issues of Meander Development: Land Degradation or Ecological Value? The Example of the Sajó River, Hungary. *Water*, n.º 10, 1613.
- Bigarella, J. J. (2003). *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.—Processos erosivos, vertentes, movimentos de massa, atividade endógena, superfícies de erosão, compartimentação do relevo, depósitos correlativos e ambientes fluviais*. Vol. III, Florianópolis, Editora da UFSC, 559 p.
- Bouno, S., Shimizu, Y., Saitou, D. (1998). Sediment transport in the Saru River and Nibutani Dam, *Proceedings of the 7th International Symposium on River*. Hong Kong, China, 16 – 18 Dezembro 1998, A. A. Balkema, Rotterdam, 409- 414.
- Carvalho, M. S. (1999). *Investigações sobre um perfilador acústico (ADCP) de faixa larga*, Tese Doutorado. UFRJ.
- Carvalho, N. O. (2008). *Hidrossedimentologia prática*, Editora Interciência. 2.ºed.
- Charlton, R. (2007). *Fundamentals of fluvial geomorphology*, 1st Edition, London, 280p.
- Chow, V. T. (1964). *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw Hill Inc, New York.
- Christofoletti, A. (1981). *Geomorfologia fluvial*, Volume I – O canal fluvial. São Paulo: Edgard Blücher.
- Coelho, A. L. N. (2008). Geomorfologia Fluvial de Rios Impactados por Barragens. *Caminhos de Geografia* (revista on-line), v. 9, n.º 26, 6-32. Acedido em Outubro de 2008, em: <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>
- Cunha, S. B. (1995). *Impactos das Obras de Engenharia Sobre o Ambiente Biofísico da Bacia do Rio São João (Rio de Janeiro – Brasil)*, Rio de Janeiro: Ed: Instituto de Geociências, UFRJ, 378 p.
- Deines, K. L. (1999). *Backscatter estimation using broadband acoustic Doppler current profilers*. RD Instruments, San Diego. USA.
- Fasching, R.A., Bauder, J.W. (2011). Evaluation of agricultural sediment load reductions using vegetative filter strips of cool season grasses. *Water Environ. Res.*, v. 73, n.º 5, 590-596.
- Gartner, J. W. (2002). Estimation of suspended solids concentrations based on Acoustic Backscatter Intensity: theoretical background. In: *Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop*. USA.
- Göransson, G., Hedfors, J., Ndayikengurukiye, G., Odén, K. (2016). Climate change induced river erosion as a trigger for landslide. *Proceedings of the 17<sup>th</sup> Nordic Geotechnical Meeting Challenges in Nordic Geotechnic*, 25<sup>th</sup> - 28<sup>th</sup> of May, IGS, 1183-1192.
- Gray, D. H., MacDonald A. (1989). The role of vegetation in river bank erosion. In M. A. Ports (ed). *Hydraulic engineering. Proceedings of the 1989 national conference on hydraulic engineering*, 218-223.

- Guerra, A. J. T., Cunha, S. B. (Org.) (2003). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Guerra, A. J. T., Silva, A. S., Botelho, R. G. M. (Org.) (2005). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 339 p.
- Hackney, C., Best, J., Leyland, J., Darby, S. E., Parsons, D., Aalto, R., Nicholas, A. (2015). Modulation of outer bank erosion by slump blocks: Disentangling the protective and destructive role of failed material on the three-dimensional flow structure. *Geophys. Res. Lett.*, n.º 42(10), 663–670.
- Hickey, R. (2000). Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS. *Cartography*, n.º 29 (1), 1-8.
- Hjulström, F. (1935). Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris, Bulletin. *Geological Institute Upsala*, n.º 25, 221-527.
- Hooke, J. M. (2008). Temporal variations in fluvial processes on an active meandering river over a 20-year period. *Geomorphology*, n.º 100, 3–13.
- Imeson, A. e Curfs, M. (s/d). *Erosão do Solo*. Lucinda, [http://www2.icnf.pt/portal/pn/biodiversidade/ei/unccd-PT/ond/lucinda/b1\\_booklet\\_final\\_pt\\_rev3](http://www2.icnf.pt/portal/pn/biodiversidade/ei/unccd-PT/ond/lucinda/b1_booklet_final_pt_rev3).
- Knighton, D. (1984). *Fluvial Forms and Processes*, Edward Arnold, Ltd: London.
- Knighton, D. (1998). *Fluvial Forms and Processes. A new Perspective*, London, New York.
- Konsoer, K., Rhoads, B., Best, J., Langendoen, E., Ursic, M., Abad, J., Garcia, M. (2017). Length scales and statistical characteristics of outer bank roughness for large elongate meander bends: The influence of bank material properties, floodplain vegetation and flow inundation. *Earth Surf. Process. Landf.*, n.º 42, 2024–2037.
- Lane, L. J., Hernandez, M., Nichols, M. (1997). Processes controlling sediment yield from watersheds as functions of spatial scales. *Environmental Modelling and Software*, v. 12, n.º 4, 355-369.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G., Miller, J. P. (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*, Dover Publications Inc., New York.
- Magalhães, H., Maia, R. (2010). Problemática e análise da erosão das margens de um curso de água. Exemplo de aplicação ao rio Neiva. 5.<sup>as</sup> *Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente*, FEUP.
- Mayerle, R., Poerbandono, W. C. (2002). *Effectiveness of acoustical backscatter profiler in the estimation of suspended sediment concentration*. Coastal Engineering Laboratory, Institute of Geosciences, Report n.º 16. Cristian Albrechts University, Kiel, Germany.
- Meneses B. M. (2011). *Erosão Hídrica de Solos. Caso de Estudo do Concelho de Tarouca*. Diss. Mestrado, FCSHUNL.
- Nelson, E. J., Booth, D. B. (2002). Sediment sources in an urbanizing, mixed land-use watershed. *J. Hydrology*, n.º 264, 51-68.
- Novo, E. M. L. M. (2008). River environments. In: Florenzano, T. G. (Org.). *Geomorphology: current concepts and technologies*. Oficina de Textos, São Paulo, p. 219–236.
- Press, F., Siever, R., Grotzinger, J., Jordan, T. H. (2006). *Para entender a Terra*. 4. ed. Tradução. Porto Alegre, Bookman.
- Quiroga, D. R. A., Gil, V., Coronato, A. (2017). Quantitative geomorphology applied to fluvial dynamic in Aviles and Moneta basins, Tierra Del Fuego, Southern Argentina. *Environmental Earth Sciences*, n.º 188. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6494-z>.
- Ramos, C., Reis, E. (2001). As Cheias no Sul de Portugal em Diferentes Tipos de Bacias Hidrográficas. *Finisterra*, v. 71, 61–82.
- Ritter, D. F., Krochel, R. C., Miller, J. R. (2002). *Process geomorphology*. Fourth Edition, New York: Mc Graw Hill.

- Rosgen, D. L. (1994). A classification of natural rivers. *Catena*, n.º 22 (3), 169-199.
- Rosgen, D. L. (2001). A Practical Method of Computing Streambank Erosion Rate. 7th *Federal Inter-agency Sediment Conference*, Reno, Nevada, 24-29.
- Rotta, C. M. S., Zuquette, L. V. (2014). Erosion feature reclamation in urban areas: typical unsuccessful examples from Brazil. *Environmental Earth Sciences*, n.º 72, 535-555.
- Simon, A., Darby, S.E. (2002). Effectiveness of grade-control structures in reducing erosion along incised river channels: The case of Hotophia Creek, Mississippi. *Geomorphology*, n.º 42, 229-254.
- Simons, D. B., Li, R. M. (1982). *Engineering Analysis of Fluvial Systems*. Fort Collins, Simons, LI & Associates.
- Snyder, P., Whipple, X., Tucker, E., Merritts J. (2000). *Geological Society of America Bulletin*, n.º 112 (8), 1250-1263.
- Strahler, A., Strahler, A. (1997). *Introducing physical geography*. New York: Wiley.
- Suguio, K., Bigarella, J. J. (1990). *Ambientes fluviais*. 2. ed. Florianópolis: Ed.UFSC/ UFPR, 183 p.
- Van Rompaey, A. J. J., Verstraeten, G., Van Oost, K., Govers, G., Poesen, J. (2001). Modelling means annual sediment yield using a distributed approach. *Earth Surfaces Proc. Landforms*, n.º 26, 1221-1236.
- Walling, D. E. (1983). The sediment delivery problem. *Journal of Hydrology*, n.º 65, 209-237.
- Walling, D. E., Owens, P. N., Leeks, G. J. L. (1999). Fingerprinting suspended sediment sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire, UK. *Hydrological Processes*, n.º 13, 955-975.
- Weill, M. A. M., Pires Neto, A. G. (2007). Erosão e assoreamento. In: Santos, R. F. (Org.). *Vulnerabilidade ambiental*, Brasília, DF, Ministério do Meio Ambiente, 39-58.
- Wohl, E. (2014). *Rivers in the Landscape: Science and Management*, Wiley-Blackwell, 336 p.

(Página deixada propositadamente em branco)

## CONCLUSÃO

**Adélia Nunes**

Departamento de Geografia e Turismo da Faculdade de Letras  
CEGOT e RISCOS, Universidade de Coimbra, Portugal  
ORCID: 0000-0003-3927-0748    adelia.nunes@ci.uc.pt

O contributo do ser humano, através das suas ações e atividades, constitui um elemento comum quando analisados os riscos mistos de componente ambiental, ampliando, de forma inequívoca, as suas causas e consequências. Acresce, por outro lado, os cenários futuros de mudanças climáticas, e a incerteza dos seus efeitos na amplificação dos riscos analisados.

Torna-se, por conseguinte, urgente e prioritário reduzir o risco através de esforços sistemáticos destinados a analisar e a gerir os fatores causadores deste tipo de catástrofes, assim como reconhecer a(s) vulnerabilidade(s), no intuito de proteger, de forma mais eficaz, as pessoas, as comunidades e os países, bem como os meios de subsistência, o património cultural e socioeconómico e os ecossistemas, incrementando, deste modo, a sua resiliência.

Assim, para alcançar tal desiderato, exige-se a implementação de medidas e ações integradas e o comprometimento de todos na salvaguarda dos recursos naturais. Neste contexto, emerge a necessidade de consciencialização da sociedade e das instituições sobre a complexidade destes fenómenos e das suas consequências, comprometedores do desenvolvimento social, económico, ambiental, cultural sustentável.

Torna-se, pois, necessário e urgente, neste contexto, integrar, na educação formal e na aprendizagem ao longo da vida, os conhecimentos, valores e habilidades necessárias para a redução do risco e para a promoção de modos de vida sustentáveis.

Embora os fatores de risco, aqui abordados, possam ser locais, nacionais, regionais ou globais, necessitam de ser compreendidos, para determinar as medidas de prevenção/redução a aplicar, requerendo novas formas de pensar e agir, mas também uma articulada cooperação e complementaridade entre os diferentes atores, nos planos local, nacional, regional e global, explorando as sinergias e interdependências entre as respetivas competências e estratégias. Na expectativa de que o presente livro sirva de inspiração a mais investigadores e decisores a participarem na

crescente avaliação e gestão dos riscos mistos, é também nosso desejo, através dos conteúdos aqui vertidos, facultar instrumentos metodológicos e pedagógicos que possam ser utilizados em atividades de investigação e educação, assim como promover competências pessoais, fundadoras de uma cidadania mais ativa, participada e informada, para uma prevenção e gestão mais eficaz dos riscos, e em simultâneo capazes de promover os valores e princípios da sustentabilidade.

Na expectativa de que o presente livro sirva de inspiração a mais investigadores e decisores a participarem na crescente avaliação e gestão dos riscos mistos, é também nosso desejo, através dos conteúdos aqui vertidos, facultar instrumentos metodológicos e pedagógicos que possam ser utilizados em atividades de investigação e educação, assim como promover competências pessoais, fundadoras de uma cidadania mais ativa, participada e informada, para uma prevenção e gestão mais eficaz dos riscos, e em simultâneo capazes de promover os valores e princípios da sustentabilidade.

(Página deixada propositadamente em branco)



**SÉRIE**  
**RISCOS E CATÁSTROFES**

**Títulos Publicados:**

- 1     *Terramoto de Lisboa de 1755. O que aprendemos 260 anos depois?*
- 2     *Sociologia do Risco;*
- 3     *Geografia, paisagem e riscos;*
- 4     *Geografia, cultura e riscos;*
- 5     *Alcáçache. 30 anos depois;*
- 6     *Riscos e crises. Da teoria à plena manifestação;*
- 8     *Catástrofes antrópicas. Uma aproximação integral;*
- 9     *Catástrofes mistas. Uma perspectiva ambiental.*

**Tomos em preparação:**

- 7     *Catástrofes naturais. Uma abordagem global;*
- 10    *Riscos inerentes à rotura de barragens de acumulação de rejeitos de mineração;*
- 11    *Contributos da Ciência para a Redução do Risco;*
- 12    *Contributos da Educação para a Redução do Risco;*
- 13    *Contributos da Formação para a Redução do Risco.*

(Página deixada propositadamente em branco)



I  
IMPRENSA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA  
COIMBRA UNIVERSITY PRESS  
U

RISCOS  
E C A T Á S T R O F E S

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA