



21

*Territórios de risco: processos,
vulnerabilidades e segurança*



**RISCO DE CHEIA E INUNDAÇÃO:
EXPOSIÇÃO E ADAPTAÇÃO NA ÁREA RIBEIRINHA DE PONTE DE LIMA***

Joaquim Mamede Alonso

Escola Superior Agrária do IPVC
malonso@esa.ipvc.pt

Carlos António Bastos de Morais Guerra

Escola Superior Agrária do IPVC
carlosguerra@esa.ipvc.pt

Ivone Patrícia de Oliveira Martins

Escola Superior Agrária do IPVC
ivonemartins@esa.ipvc.pt

Gilles Arnaud-Fassetta

CNRS (UMR 8591, LGP Meudon), France
gilles.arnaud-fassetta@u-pec.fr

Andréa Marques

Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne (Paris 12), France
andreamarques31@gmail.com

Francisco da Silva Costa

Universidade do Minho, CEGOT
costafs@geografia.uminho.pt

RESUMO

A modelação hidrológica, a avaliação do risco de inundação e a cartografia de áreas inundáveis tornam-se essenciais no planeamento local e regional associada à decisão-ação técnico-política. Este trabalho pretende analisar o funcionamento hidrológico da bacia hidrográfica do rio Lima, a incidência histórica de inundações no centro histórico da vila de Ponte de Lima e os potenciais impactes, exposição e vulnerabilidade sobre o meio natural e humano bem como, a adaptação humana através do planeamento aos padrões das inundações.

Palavras-chave: Avaliação de risco, Diretiva Quadro da Água, Diretiva Cheias, planeamento, dados espaciais.

RESUMEN

La modelización del riesgo de la crecida y la inundación: la exposición, la vulnerabilidad y la adaptación en la zona ribereña de Ponte de Lima - La modelización del régimen hidrológico, la evaluación de los riesgos de inundación y cartografía de las zonas inundables convertido en algo esencial en la planificación local y regional, así como la política técnico-decisión-acción. Este estudio tiene como objetivo examinar el funcionamiento de la cuenca hidrológica del río Lima, la incidencia histórica de las inundaciones en la histórica ciudad de Ponte de Lima y los posibles impactos, la vulnerabilidad y la exposición en el medio ambiente humano y natural, así como la adaptación humana a los padrones de inundaciones.

Palabras clave: Evaluación de riesgo, Directiva Marco del Agua, Directiva de inundaciones, planeamiento, datos espaciales.

RÉSUMÉ

La modélisation des risques de crues et inondation: l'exposition, la vulnérabilité et l'adaptation dans la zone riveraine de Ponte de Lima - La modélisation du régime hydrologique, l'évaluation des risques d'inondation et la cartographie des zones inondées devenues essentielles dans la planification locale et régionale, ainsi que à la décision-action technique and politique. Cette étude vise à examiner le fonctionnement du bassin hydrologique de la rivière Lima, l'incidence historique d'inondation dans la ville historique de Ponte de Lima et les impacts potentiels, la vulnérabilité et l'exposition sur l'environnement humain et naturel, ainsi que l'adaptation humaine aux inondations.

Mots-clé: Évaluation des risques, Directive-Cadre sur l'Eau, Directive inondation, planification, données spatiales.

ABSTRACT

Modelling of flood risk: exposure, vulnerability and adaptation in the riverside area of Ponte de Lima - The hydrological regime modeling, flood risk assessment and flooded areas mapping become essential in local and regional planning, as well as in technical and political action-decision making. This study aims to examine the functioning of the river Lima basin, the historical incidence of flooding in the historic town of Ponte de Lima and the potential impacts, vulnerability and exposure on the human and natural environment as well as human adaptation to floods patterns.

Keywords: Risk evaluation, Water Framework Directive, Floods Directive, management, spatial data.

* O texto deste artigo corresponde à comunicação apresentada ao VII Encontro Nacional de Riscos e I Fórum ISCIA, tendo sido submetido em 18-11-2013, sujeito a revisão por pares a 19-02-2014 e aceite para publicação em 16-04-2014.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 21, 2014, © Riscos, ISBN: 0872- 8941.

Introdução

As cheias e as inundações correspondem a processos naturais com uma influência e interferência crescente da atividade humana. Historicamente, a distribuição e a evolução da ocupação e uso do solo revela a adaptação do ser humano e a consequente diminuição da exposição e vulnerabilidade dos elementos a atividades antrópicas aos padrões locais de cheia. No entanto, mais recentemente, têm-se verificado vários casos de aumento significativo dos níveis de exposição aos fatores de risco a partir de ações de planeamento, muitas vezes desadequadas relativamente à realidade onde se inserem.

Neste contexto, foi desenvolvido um estudo de caso na bacia hidrográfica do rio Lima (BH rio Lima) (NW de Portugal), que inclui:

- a) a modelação hidrológica da bacia hidrográfica, incluindo o cálculo do caudal de ponta de cheia, a modelação do escoamento, o cálculo da superfície de escoamento e das áreas de inundação para diferentes períodos de retorno;
- b) a descrição e caracterização do histórico de cheias, a identificação, inventariação e caracterização dos elementos expostos, assim como a inquirição dos proprietários e residentes com vista a uma análise de vulnerabilidade da área ribeirinha de Ponte de Lima a situações de cheia;
- c) a avaliação do grau de adaptação à ocorrência de cheias da ocupação e uso do solo presente na sua relação com uma avaliação prospetiva ao nível das opções de planeamento espacial e ambiental.

A dimensão, a diversidade de condições e as mudanças de ocupação e uso do solo nas bacias hidrográficas, propiciam a ocorrência de cheias nos espaços ribeirinhos onde se localizam normalmente as principais centralidades urbanas regionais e locais. As cheias expõem um conjunto de elementos do património natural e humano, nomeadamente o património edificado e cultural da zona histórica de Ponte de Lima. Estes espaços de maior vulnerabilidade carecem de um maior conhecimento, organização e capacitação que se reflita ao nível das opções de planeamento e licenciamento municipal bem como, no planeamento e gestão dos espaços ambientais classificados e protegidos no sentido de prever, gerir e recuperar dos eventos de cheia/inundação. Os instrumentos tecnológicos, em particular os sistemas de informação geográfica (SIG), podem ser elementos centrais na descrição, avaliação e apoio à gestão do risco, mas também na implementação de sistemas colaborativos de governança do risco à escala regional e local, da gestão territorial, em particular dos riscos.

A avaliação do risco e áreas de cheia/inundação e implicações para os processos de planeamento

O risco de cheia e as áreas de inundação

Ao considerar a complexidade dos sistemas territoriais importa implementar "*uma avaliação das potenciais consequências prejudiciais das futuras inundações para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as atividades económicas, que tenha em conta tanto quanto possível questões como a topografia, a posição dos cursos de água e as suas características hidrológicas e geomorfológicas gerais, a posição das zonas povoadas e das zonas de atividade económica e a evolução a longo prazo, incluindo os impactos das alterações climáticas na ocorrência de inundações*" (DIRETIVA 2007/60/CE, do Parlamento e do Conselho, de 23 de Outubro). A importância dos recursos hídricos como fator de desenvolvimento socioeconómico e de atividades de lazer, a perceção da inexistência de uma abundância sustentada de água, a variabilidade espacial e temporal dos fluxos de água no ciclo hidrológico e a sensibilidade dos meios hídricos como ecossistemas, determinam a necessidade de uma gestão rigorosa, a adoção de medidas específicas de prevenção, proteção, recuperação e melhoria do estado dos meios hídricos e a realização de volumosos investimentos em infraestruturas, incompatível com intervenções casuísticas (DECRETO REGULAMENTAR n.º 11/2002, de 8 de Março). A gestão dos recursos hídricos à escala da bacia hidrográfica considera fundamental o conhecimento da dinâmica natural do sistema hídrico e da respetiva relação com as componentes antrópicas do ciclo hidrológico. Desta forma consegue-se antever situações de risco de inundação e identificar as zonas ameaçadas com vista a tornar o processo de tomada de decisão de medidas a adotar mais eficiente. O risco de inundação corresponde à "*combinação da probabilidade de inundações e das suas potenciais consequências prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as atividades económicas*" (DIRETIVA 2007/60/CE, do Parlamento e do Conselho, de 23 de Outubro). A ocorrência de cheias e a respetiva gestão inclui processos a diversas escalas espaciais e temporais na relação com os múltiplos atores e os respetivos valores e conflitos de interesse (WENDY, 2007). Ao longo do tempo, embora a tendência da complexidade crescente dos sistemas territoriais, o ser humano adaptou-se às cheias através do uso adequado do solo (WHEATER and EVANS, 2009) bem como, da implementação de instrumentos de gestão (KHATIBI, 2011). Assim, a dimensão e a importância ambiental, económica e social das cheias remetem para a necessidade de analisar os padrões espaciais e temporais históricos e esperados do risco de inundação (APEL *et al.*, 2004; WHEATER *et al.*, 2005). O desenvolvimento e aplicação de modelos espacialmente explícitos para a avaliação das cheias e das áreas

de inundação é influenciado pelo âmbito temático, temporal e geográfico do estudo (BÜCHELE *et al.*, 2006). Os avanços atuais na quantidade e qualidade das bases de dados disponíveis (DEVILLERS and JEANSOULIN, 2010; HONRADO *et al.*, 2011) assim como, o desenvolvimento de modelos de simulação, de otimização e de apoio à decisão a partir de sistemas de informação geográfica proprietários ou em tecnologia open-source (FOTOPOULOS *et al.*, 2010) promovem as ferramentas informáticas de planeamento e gestão de recursos hídricos (VIEIRA *et al.*, 2005; CHARNECA, 2006; ALONSO *et al.*, 2011a). A cartografia de risco de inundação apresenta como objetivo demarcar áreas inundáveis e, caso seja possível, relacionar estes dados com as magnitudes de caudal e as próprias frequências de ocorrência, assim como, com a identificação dos elementos e processos expostos e respetiva vulnerabilidade. A cartografia de risco de inundação permite delimitar zonas adjacentes aos rios com base na probabilidade de que sejam afetadas por este tipo de eventos extremos. A delimitação cartográfica de zonas de risco não só sintetiza o conjunto de conhecimentos hidrológicos, geomorfológicos, hidráulicos e socioeconómicos da superfície inundável (MATEU, 1989; ROSSELLÓ, 1989), mas também reconhece de forma implícita a importância de uma valoração do nível de risco (LAHR e KOOISTRA, 2010). A cartografia de inundação pode ser implementada a partir de duas aproximações, ou por modelação numérica com modelos espaciais e estatísticos (LIU *et al.*, 2003; CORREIA *et al.*, 1998) ou delimitação por registo das ocorrências (WOLSKI *et al.*, 2005). Estas duas abordagens ou aproximações podem ser ainda complementares e servir de calibração, validação cruzada e melhoria contínua. Apesar da análise de casos pontuais aportar informações importantes acerca dos processos de formação de inundações (CAMARASA, 1995), a delimitação de zonas inundáveis requer a análise de um maior número de fenómenos. Os estudos de eventos concretos podem resultar excessivamente pontuais e não assegurar a robustez estatística que necessita o planeador para a afetação de usos do solo, ou o engenheiro, para a construção de obras de proteção, de acordo com as normativas vigentes. Assim, é frequente encontrar a associação entre parâmetros estatísticos sobre a probabilidade de ocorrência de um determinado caudal (períodos de retorno) e distintas categorias de risco em zonas inundáveis (ARONICA *et al.*, 2012). O estudo do risco de inundação implica a análise integrada de dois conjuntos de fatores: a) aqueles que se relacionam com a dinâmica ambiental e influenciam os processos hidrológicos; e b) ou outros relacionados com a diferente vulnerabilidade dos elementos humanos e populações, decorrente não só das características demográficas, mas sobretudo do seu nível socioeconómico, do seu modo de organização política ou do seu estatuto social e cultural (CUNHA e DIMUCCIO, 2001). Os fenómenos de

concentração urbana e a transformação do espaço rural em espaços periurbanos muitas vezes com crescimento desordenado, são responsáveis por um acréscimo do fator vulnerabilidade (SARAIVA e CARVALHO, 2009). No desenvolvimento do presente trabalho, os conceitos de risco, exposição e vulnerabilidade são entendidos respetivamente como (GOULDBY e SAMUELS, 2005; VRIJLING, 1995): a) evento perigoso e incerto mas suscetível de ser caracterizado em termos probabilísticos no que concerne à respetiva ocorrência potencial e magnitude física; b) conjunto de bens pessoais, materiais ou ambientais suscetíveis de serem atingidos ou danificados pelo impacto resultante do evento perigoso em causa; c) grau expectável de dano ou perda de resistência do exposto impacto resultante do evento perigoso. Neste sentido, o risco apresenta sempre uma dimensão probabilística, de algum modo próxima de um sentimento de incerteza, ainda que não de fatalidade, sentida e percebida diferentemente pela população em função do tempo histórico. A génese do risco está associada à interação da inundação perigosa com a vulnerabilidade dos bens em exposição ou expostas ao impacto. A inundação, como perigo, é caracterizada pelas respetivas características físicas ou magnitude (caudal de ponta, volume, duração) e pela probabilidade de ocorrência (SARAIVA e CARVALHO, 2009). A exposição ao risco é, em algumas abordagens, sinónimo de vulnerabilidade. Este conceito é utilizado por várias ciências e, por isso, polissémico (PAIVA, 2005). No quadro das ciências sociais, vulnerabilidade é entendida como a capacidade de uma sociedade para antecipar, resistir e recuperar, a curto e longo prazo, de uma situação de desastre (BLAIKIE *et al.*, 1994). A vulnerabilidade a cheias depende maioritariamente das atividades e comportamento humanas, da localização dos edifícios e infraestruturas, da existência de sistemas de aviso e do planeamento de emergência na sua relação com os quadros jurídicos e institucionais (UNITED NATIONS, 2009). A sua análise, por referência a um determinado território e a um dado perigo, desenvolve-se considerando dimensões físicas e sociais. Neste âmbito, incluem-se parâmetros associados às características dos elementos humanos, parque edificado (ex. volume, densidade e tipos de usos) e da população em risco.

Os impactes, a vulnerabilidade e a adaptação aos riscos e área de inundação

Ao longo do tempo, e muito dependente dos contextos populacionais e demográficos, o assentamento e as atividades humanas associam-se à procura do potencial produtivo na relação com a gestão dos riscos ambientais, e mais recentemente, tecnológicos (SLOVIC, 2000). As cheias apresentam potenciais consequências prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as atividades económicas (DIRETIVA 2007/60/CE, do Parlamento e do Conselho, de 23 de

Outubro). O nível de exposição e vulnerabilidade dos elementos presentes implicam mudanças e processos adaptativos por parte das populações ou mesmo, da biodiversidade local. Neste sentido, a ocorrência de inundações contribui para a distribuição e evolução dos elementos naturais e humanos no território. A frequência e a dimensão das cheias/inundações podem estar a aumentar devido aos fenómenos de natureza global, como as alterações climáticas (LEHNER *et al.*, 2006), bem como, das transformações do coberto, da infiltração e do escoamento por ação humana (FITZPATRICK *et al.*, 1999) numa base mais local ou regional.

Neste sentido, a influência e a resposta do ser humano à própria perceção do risco pode acontecer ao nível da bacia hidrográfica, ao nível regional, municipal e/ou local. A adequação da ocupação e uso do solo ao nível da bacia, é normalmente complementado com intervenções locais, inclusive com a construção de infraestruturas de contenção, na regulação de canais e de drenagem. Em termos da ação humana, como resultado da intervenção individual e coletiva em processos de planeamento (in)formal, procura-se manter os vales de cheia e as áreas de inundação com o menor número possível de elementos humanos e baixa vulnerabilidade. Neste ponto, sublinha-se a capacidade de adaptação das comunidades florísticas, faunísticas e dos habitats a estes processos cíclicos de natureza recorrente, ou em alguns casos, a ocorrências de natureza excepcional.

A importância das cheias traduz-se ainda no desenvolvimento e aplicação de instrumentos de natureza técnica, tecnológica, organizacional e legislativa que visem a prevenção, a gestão e a mitigação das inundações. Neste contexto, destaca-se a Diretiva relativa à avaliação e gestão dos riscos das inundações (DIRETIVA 2007/60/CE, do Parlamento e do Conselho, de 23 de Outubro), transposta para a ordem jurídica interna pelo Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de Outubro, em articulação com a Diretiva 2000/60/CE, do Parlamento e do Conselho, de 23 de Outubro, transposta pela Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, bem como a restante legislação nacional existente neste âmbito (ex. Lei n.º 16/2003, de 4 de Junho; Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de Agosto; Decreto-Lei n.º 364/1998, de 21 de Novembro; Lei n.º 54/2005, de 15 de Novembro; Portaria n.º 1356/2008, de 28 de Novembro). Esta Diretiva implica a realização de planos de gestão de áreas de inundação na sua relação com o planeamento espacial e ambiental, assim como, a gestão territorial integrada e ativa que garanta uma coerência e articulação de meios e instrumentos com vista a uma diminuição efetiva do risco de inundação.

No seguimento da aprovação e implementação desta Diretiva Europeia, surge a Resolução da Assembleia

da República n.º 15/2008 (de 21 de Abril) que define a urgente avaliação preliminar das situações de risco de inundações em cada distrito, a elaboração de relatórios sobre as principais situações de risco de cheia/inundação, a elaboração de um Plano Nacional de Redução do Risco de Cheias/Inundações, e a realização de campanhas de sensibilização dos cidadãos para a adoção de comportamentos responsáveis na prevenção dos riscos de cheia/inundação. O Decreto-Lei n.º 54/2005 e a Lei n.º 58/2005 (Lei da Água), define que o governo pode classificar como zona ameaçada por cheias e designada por zona adjacente à área contígua à margem de um curso de água, e que se estende até à linha alcançada pela maior cheia, com período de retorno de 100 anos.

Por outro lado, o Plano Nacional da Água (PNA) identificou as principais vulnerabilidades existentes em cada bacia hidrográfica face ao risco de cheia. Este levantamento incluiu os elementos em risco: populações afetadas, por isolamento ou inundação, tipo de edifícios afetados (habitações, estabelecimentos comerciais e industriais), zonas agrícolas e agropecuárias e infraestruturas e equipamentos diversos (AZEVEDO, 2008). Na bacia hidrográfica do rio Lima foram identificados como pontos críticos as zonas urbanas de Ponte de Lima, Ponte da Barca e Arcos de Valdevez, uma vez que são as zonas mais afetadas por cheias nesta bacia. O laminar de caudais nas barragens hidroelétricas existentes permite atenuar os riscos de inundação nas duas primeiras localidades, mas o efeito da orografia do terreno (Serra da Peneda) origina um acréscimo de precipitação que se traduz na formação de elevados caudais de cheia, nem sempre passíveis de armazenamento (INAG, 2004).

As particularidades da vila de Ponte de Lima, a recente requalificação urbana e ambiental nas margens, a regularização do regime fluvial provocada pela barragem de Touvedo e os episódios constantes de inundação, conferem-lhe os atributos necessários para compreender a exposição, vulnerabilidade e adaptação coletiva e individual, no que se refere às consequências humanas, sociais, económicas e ambientais das inundações.

Metodologia

A abordagem e o desenvolvimento metodológico integra a implementação de um projeto SIG, em ArcGIS Desktop, que incorpora informação geográfica de referência e temática, para a bacia hidrográfica do rio Lima (fig. 2 a), organizada de acordo com as orientações e estruturas de dados dos normativos internacionais (Diretiva INSPIRE). Estas bases de dados foram utilizadas na:

- a) aplicação dos modelos hidrológico e hidráulico para a elaboração de cartografia de zonas inundáveis

(cartas de suscetibilidade à ocorrência de cheias e inundações) e de risco de inundações (cartas de localização do risco) para a bacia hidrográfica do rio Lima;

- b) identificação das potenciais consequências prejudiciais das grandes inundações para o meio biofísico (recursos e funções naturais, habitats e espaços protegidos) e humano (saúde humana, o edificado, o património cultural e as atividades económicas) associadas à respetiva vulnerabilidade para a área ribeirinha de Ponte de Lima;
- c) avaliação da adaptação histórica e prospetiva do ser humano a estes episódios de natureza recorrente, seja ao nível do uso atual do solo, ou dos usos previstos no planeamento espacial e ambiental a nível municipal ou local.

Este estudo apresenta uma abordagem hierárquica ao nível espacial e temporal, desde a totalidade da bacia à área ribeirinha de Ponte de Lima, desde uma perspetiva histórica, à caracterização da situação atual e análise prospetiva. As mudanças de escala e o desenvolvimento de estudos de caso permitem contextualizar os desafios gerais relativos à objetividade de uma realidade local concreta. A experimentação e a concretização para cada área visa a avaliação das especificidades locais para a compreensão da complexidade global.

A modelação espacial dos riscos de cheia (ou áreas de inundação) para a bacia hidrográfica rio Lima

De acordo com o Guia Metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica de base municipal da Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC) (JULIANO *et al.*, 2009), a utilização de métodos de análise para avaliação da suscetibilidade à ocorrência de cheias deve considerar de forma diferenciada as áreas urbanas e as áreas rurais. Esta avaliação deve ter sempre por base a totalidade da bacia hidrográfica e as componentes que diretamente influenciam a suscetibilidade.

Segundo o mesmo Guia, existem duas abordagens metodológicas a considerar:

- a) as variáveis consideradas fundamentais são: a área de acumulação potencial do escoamento (que traduz a influência da dimensão da área de drenagem e define a magnitude da própria rede de drenagem), a permeabilidade (que interfere com a relação entre a água infiltrada e a água disponível para o escoamento direto) e o declive (que tem importância fundamental na dinâmica de escoamento), neste modelo simplificado, não são utilizadas variáveis relativas à precipitação e à ocupação do solo, a precipitação é considerada

um parâmetro constante ao longo das bacias hidrográficas pelo que este fator se encontra parcialmente representado pela área acumulada em cada unidade de terreno; por outro lado, o modelo assume a inexistência dos efeitos de evapotranspiração, interceção e retenção pelo coberto vegetal, devido às grandes alterações a que esta variável está sujeita em curtos espaços de tempo;

- b) no caso em que existam dados hidrométricos e pluviométricos adequados (séries temporais de dados), podem ser aplicados diferentes modelos hidrológicos ou hidráulicos, desde que devidamente calibrados e validados.

Neste sentido, e considerando as bases de dados geográficas recolhidas e organizadas para a área da bacia hidrográfica do rio Lima, que incluem dados relativos à fisiografia, litologia e geomorfologia (DRAEDM, 1999), hidrografia e hidrologia e ocupação e uso do solo (COS2005) assim como, dados sobre os planos em vigor, atividades económicas e elementos humanos presentes, foi definido o esquema metodológico/modelos a aplicar na modelação (fig. 1). Além da necessidade de incluir informação histórica de registo de inundações ocorridas, recolheram-se dados históricos das séries temporais de dados climáticos disponíveis, em particular em estações hidrométricas (caudal médio diário e nível médio diário) da rede hidrométrica do SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos) do INAG (Instituto da Água, I.P.) e em estações udométricas e climatológicas (precipitação média diária, precipitação média mensal, precipitação máxima em 24 horas e temperatura máxima e mínima) da rede meteorológica do mesmo sistema de informação. A seleção das estações a considerar na análise foi definida segundo critérios de distribuição espacial e séries de dados disponíveis (contínuas - anos hidrológicos completos). Estes dados permitem por um lado, a sua integração direta nos processos de análise espacial (conforme esquema metodológico apresentado) e por outro a validação/verificação dos resultados obtidos.

De acordo com a disponibilidade de dados considerou-se para este estudo a aplicação de modelos hidrológicos e hidráulicos para a elaboração de cartografia de zonas inundáveis (cartas de suscetibilidade à ocorrência de cheias e inundações) e, em conformidade com o esquema metodológico perconizado para este estudo (fig. 1), podemos considerar três fases distintas no processo de modelação:

- a) o tratamento estatístico da informação relativa à precipitação; os períodos de retorno (T) considerados no projeto e a análise dos dados pluviométricos permitiu a descrição da intensidade da precipitação; nesta fase considerou-se que

- as precipitações de certa duração ocorrem uniformemente sobre toda a bacia e com intensidade constante; ou as precipitações de certa duração ocorrem distribuídas num gradiente linear sobre a bacia e com intensidade variável;
- b) a aplicação do modelo hidrológico; a estimativa do caudal de ponta de cheia, através do método do Hidrograma Unitário Sintético (HUS) de acordo com o modelo *Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) com o apoio da extensão HEC-GeoHMS (HEC-GeoHMS) para a integração dos dados em ambiente SIG;
- c) a aplicação do modelo hidráulico; a modelação do escoamento superficial e a consequente definição das áreas de inundação resulta da aplicação do modelo HEC-RAS na sua relação de processamento de dados geográficos com o software ArcGIS e a extensão HEC-GeoRAS.

A aplicação da metodologia perconizada (fig. 1), combinação das três fases apresentadas, permite, no final, obter polígonos/áreas de inundação originando cartografia de zonas inundáveis (representativas da suscetibilidade deste território à ocorrência de cheias/inundações), e ainda identificar e localizar o risco de cheia/inundação pelo cruzamento com elementos expostos/sensíveis a eventos desta natureza.

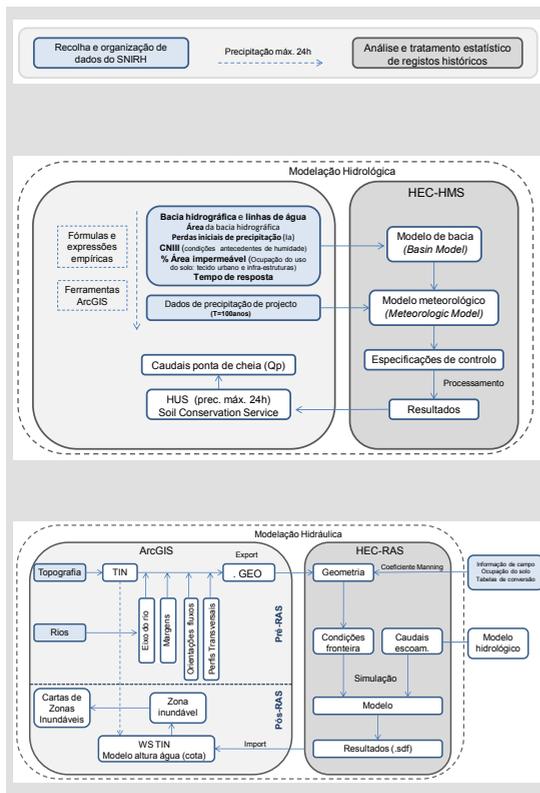


Fig. 1 - Estrutura da metodologia utilizada na avaliação do risco de inundação e cartografia de zonas inundáveis.

Fonte: I. MARTINS *et al.*, 2013

Avaliação dos elementos expostos e das vulnerabilidades no centro histórico de Ponte de Lima

Considerando a área geográfica de estudo, foi selecionado o centro histórico e espaço ribeirinho de Ponte de Lima para a aplicação do inventário funcional ao edificado e de inquéritos à população. A escolha deste local deve-se ao facto de esta área ser historicamente afetada conforme o Artigo 4º, ponto 2, capítulo II da Diretiva 2007/60/CE de 23 de Outubro de 2007, bem como ter sido identificada como de risco em estudos ou documentos institucionais, como o PNA, ou os Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH).

O inquérito realizou-se sobre uma amostra representativa dos residentes com o intuito de avaliar a perceção do risco sobre os eventos de inundações, com conhecimentos e testemunhos diretos. Neste processo, recolheram-se dados sobre a ocorrência de inundações, danos causados, ajudas atribuídas, perceção dos riscos de cheia, obras realizadas para recompor os locais afetados, ainda estudos de opinião sobre futuras ações que deveriam ser colocadas em prática para proteção das populações contra inundações.

Este inquérito foi acompanhado por um inventário funcional dos padrões afetados e identificação de marcas históricas de cheias. Com base na informação relativa ao grau de exposição e vulnerabilidade da população e dos diferentes elementos afetados (património, atividades, serviços, entre outros), desenvolveram-se e analisaram-se bases de dados espaciais e produziu-se, em ambiente SIG, cartografia pormenorizada relativa às áreas inundadas.

O grau de exposição de uma comunidade - GE - (a maior ou menor proximidade das linhas de água) deve efetuar-se através de parâmetros quantitativos, como sejam o número de habitantes, o tipo e número de atividades económicas potencialmente afetadas, o que permitiu uma categorização numa escala qualitativa. O mapeamento de bens em risco tal como preconizado na Diretiva Europeia de Inundações, implica fornecer informações sobre os elementos potencialmente afetados por uma inundação (parâmetros de vulnerabilidade), como população, ativos e atividade económica, e as questões ambientais (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2007).

Avaliação da adaptação local histórica e prospetiva do ser humano aos padrões das inundações

Os sistemas territoriais evoluem de acordo com as dinâmicas naturais e a ação humana. A experiência e a perceção humana sobre os padrões de riscos ambientais contribui para a decisão-ação individual e coletiva (CARINE *et al.*, 2009). Neste sentido, para este estudo e local, desenvolveu-se: a) uma avaliação da ocupação

e uso do solo no interior da área inundada na sua relação com a possível afetação de recursos e funções naturais, habitats e áreas com estatuto de proteção mas também aspetos ligados ao meio humano, associados à saúde humana, ao património cultural e às atividades económicas; b) assim como, na perceção e consideração dos padrões históricos das inundações relativamente às opções de planeamento municipal e ambiental (uso urbano e gestão de património nos PMOT, REN, RAN, DPH e Rede Natura 2000). A perceção individual e coletiva dos diversos utilizadores do solo do grau de exposição e vulnerabilidade dos elementos naturais e humanos, em particular dos decisores, influencia a definição e aplicação de políticas e dos instrumentos de planeamento e gestão territorial.

Apresentação e discussão de resultados

A bacia, a cheia e as áreas de inundação

A BH do rio Lima ocupa uma área de cerca de 2470 km², dos quais cerca de 1140 km² (46%) em território português, integra a Região Hidrográfica 1 - Minho e Lima (PTRH1) (Decreto-Lei n.º 347/2007, de 19 de Outubro) e pertence à jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Norte (ARH DO NORTE, I.P.). O rio Lima nasce em Espanha, na Serra de S. Mamede a cerca de 950 m de altitude, percorrendo 41 km até entrar em território português no vale criado pela Serra do Gerês e da Peneda, percorre então 67 km até desaguar em Viana do Castelo (fig. 2 a). A bacia hidrográfica do rio Lima caracteriza-se por relevo muito ondulado ou acidentado, onde dominam os granitos e rochas afins em classes de declives entre os 25-40% nas zonas de maior altitude que diminuem bruscamente para declives praticamente nulos, em vales de cheia próprios do terço final.

O clima na PTRH1, segundo o Plano de Gestão da Região Hidrográfica Minho-Lima (RH1), caracteriza-se por temperado (mesotérmico), com precipitação média mensal de cerca de 162 mm, sendo a máxima em dezembro, com 283 mm, e a mínima em julho com 33 mm. A temperatura média anual é de 14 °C e a distribuição da evapotranspiração potencial média ao longo da região hidrográfica é homogénea, sendo o valor anual médio de 733 mm (ARH DO NORTE, I.P., 2011).

A influência da fisiografia e topografia no conjunto da morfologia nos padrões de inundação (COOK and MERWADE, 2009) permite inclusive a classificação automática das diversas unidades naturais no seu comportamento às cheias (ROBINSON *et al.*, 2010). A BH do rio Lima apresenta 241,25 km de perímetro (P), uma largura média (l) de 18,13 km, um valor de coeficiente de compacidade (C_g) de 1,97 que indica forma retangular alongada e um coeficiente de forma (K_f) igual a 0,28. Estas características exprimem uma tendência acentuada

para a ocorrência de cheias. A classificação da forma da bacia hidrográfica como retangular alongada ($C_g = 1,97$) revelam a irregularidade da mesma e os escoamentos se expressem predominantemente pelo canal principal, tornando-se desta forma o percurso mais longo até a secção principal, resultando em amortecimento das vazões. A BH é bem drenada (densidade de drenagem de 3,75 km/km² i.e. > 3,5 km/km²) e caracterizada por escoamento perene e padrões de drenagem dendrítica.

A BH do rio Lima caracteriza-se por uma matriz rural: a) com predomínio dos espaços seminaturais, incultos e pastagens pobres em altitude; b) de espaços de ocupação e aptidão florestal nas zonas de encosta com expansão do eucalipto por substituição dos pinheiros caracterizados pela extensão e elevada frequência dos incêndios florestais intercaladas com áreas agrícolas em pequenos vales de encosta em processo de abandono; c) seguida da maioria dos assentamentos humanos em expansão no início da encosta a partir dos núcleos históricos e ao longo dos eixos de maior acessibilidade que se cruzam com zonas sociais e sistemas parcelares complexos; d) e por último, o vale de cheia de ocupação agrícola mas com uma instalação crescente de elementos humanos. Nas zonas de interior e de altitude verifica-se uma perda e envelhecimento da população residente enquanto nas zonas litorais e de vale, acontecem processos inversos de atração populacional e dinamização económica (fig. 2 b).

O aumento da impermeabilização do solo como resultado do crescimento demográfico e das infraestruturas socioeducativas nos espaços ribeirinhos, costeiros mas principalmente em torno do estuário, contribuem para maior exposição e vulnerabilidade das populações pelas inundações. Esta pressão humana sente-se de forma diferenciada mas transversal a todos os afluentes do rio Lima, os rios Vez e Castro Laboreiro, os mais extensos, mas também o rio Labruja, Estorãos e de Carvalheiras todos na margem direita e os rios Vade e Trovela na margem esquerda. Um aspeto marcante na alteração do funcionamento hidrológico resulta da construção de barragens no terço superior (Alto Lindoso e Touvedo), bem como da influência menor de pequenas infraestruturas (ex. pesqueiras), da alteração natural e periódica do perfil do rio bem como, da construção e da alteração da cobertura das margens. A influência antrópica no ciclo natural da água na bacia do rio Lima, através da gestão dos caudais, favorece a ocorrência de cheias repentinas ao longo da bacia (INAG, 2004). A natureza torrencial e a influência localizada e momentânea das cheias em espaços de altitude (MAZZORANA *et al.*, 2011) cruzam-se com a maior probabilidade da extensão temporal e espacial das cheias nas zonas de vale.

A aplicação da metodologia perconizada indica os padrões e o risco de ocorrência de inundação principalmente ao longo do vale de cheia no terço médio e inferior da bacia hidrográfica (fig. 2 c e d).

Esta ocorrência periódica de cheia: a) influencia a natureza e a distribuição das condições e do património natural e como tal, o funcionamento dos habitats e ecossistemas locais presentes nos sítios da Rede Natura 2000 (PTCON0020- Sítio rio Lima e PTCON0040- Corno do Bico) (PCM, 2008), muitas vezes adaptados a estes processos de perturbação e resiliência ecológica e que são, muitas vezes oportunidades para recuperação de habitats (Cox *et al.*, 2006); b) afeta diretamente o valor e função dos elementos e atividades humanas expostos com perdas ao nível económico de acordo com o nível de vulnerabilidade e adaptação local (HANSSON *et al.*, 2008); c) com potencial impacto sobre a qualidade físico-química (LINDENSCHMIDT *et al.*, 2009) (OEURNG *et al.*, 2010) e mesmo (micro)biológica da água ao alterar as condições de vazão e favorecer a dispersão dos efluentes e resíduos de atividades humanas (POSTHUMUS *et al.*, 2008), em particular ao nível da indústria, dos sistemas de tratamento e abastecimento de água (TEN VELDHUIS *et al.*, 2010) numa relação direta com a saúde ambiental e pública.

No espaço ribeirinho de Ponte de Lima, as zonas de suscetibilidade elevada, cruzam-se com elementos expostos de elevada vulnerabilidade quer pela aglomeração de pessoas, quer pela tipologia das atividades associadas (ex. edifícios de habitação, postos de transformação de energia, ETAs, áreas de lazer e campos de jogos, zonas de comércio, entre outros).

É ainda importante destacar o elevado número de elementos expostos relacionados com infraestruturas urbanas em particular edifícios e vias de comunicação. Este conjunto de elementos potencialmente expostos e danificados pela ocorrência de fenómenos de cheias e inundações, levanta problemas sérios do ponto de vista da gestão, preparação e organização dos meios de proteção civil.

Análise de exposição e de vulnerabilidade no centro histórico de Ponte de Lima

As inundações podem provocar a perda de vidas, a deslocação de populações e danos ao ambiente, comprometer gravemente o desenvolvimento económico e prejudicar as atividades económicas. As inundações são um fenómeno natural que não pode ser evitado. No entanto, determinadas atividades humanas e as alterações climáticas contribuem para um aumento da probabilidade de ocorrência de inundações e do respetivo impacto negativo. É possível e desejável reduzir o risco de consequências prejudiciais associadas às inundações, especialmente para a saúde e a vida humanas, o ambiente, o património cultural, as atividades económicas e as infraestruturas (DIRETIVA 2007/60/CE, do Parlamento e do Conselho, de 23 de Outubro).

A zona histórica de Ponte de Lima, inclui edifícios antigos associados a uma população residente idosa

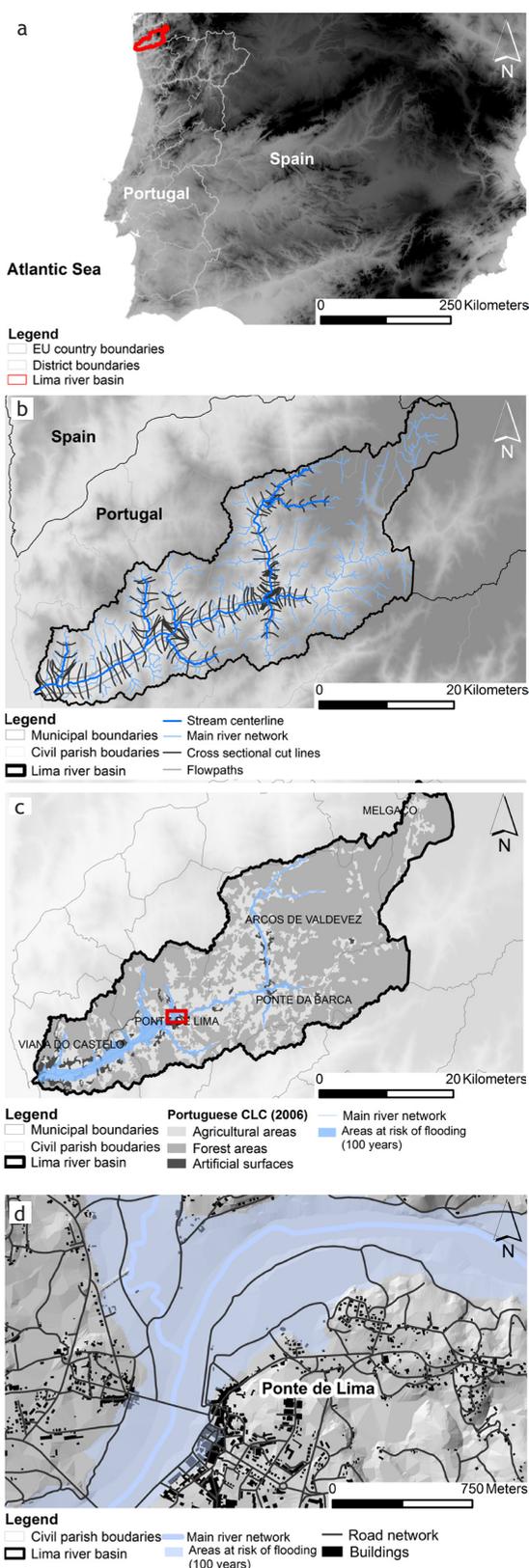


Fig. 2 - a) Modelo Digital do Terreno (MDT) para o NW peninsular e limite da bacia hidrográfica do rio Lima; b) Implantação dos perfis transversais (cross sectional cut lines) na bacia; c) Mapas de inundações de periodicidade provável de 100 em 100 anos; d) Pormenor dos mapas de inundação relativamente a elementos humanos expostos.

Fonte: F. COSTA *et al.*, 2013

e ocupação no rés-do-chão predominantemente comércio, o que influencia de forma significativa, a vulnerabilidade destes locais face à ocorrência de um potencial evento de cheia. Neste contexto, é ainda importante referir a existência de várias instituições públicas (ex. bibliotecas, postos de correios, museus) que pelas suas características de atração social, podem constituir um agravamento pontual do grau de vulnerabilidade ao concentrarem potencialmente um maior número de pessoas e bens de elevado valor.

Tendo como base o conceito de vulnerabilidade e o grau de exposição do centro histórico de Ponte de Lima em relação ao risco de inundação (DEFRA - Department for Environment, Food and Rural Affairs do Reino Unido) avaliou-se o grau de exposição com parâmetros quantitativos (QUADRO I), relativos à população, atividades económicas, património natural e cultural.

Os resultados obtidos referem que o grau de exposição no centro histórico de Ponte de Lima é médio. O centro histórico é afetado pelas cheias, causando danos a algumas habitações, mas especialmente em edifícios comerciais que estão no piso térreo (fot. 1 a 5) mais vulneráveis à variação do caudal do rio Lima, em paralelo aos potenciais danos sobre o património histórico e cultural (QUADRO I).

Os resultados do inquérito e das informações recolhidos junto dos entrevistados, forneceram dados sobre natureza e génese das inundações urbanas e possibilitaram a observação de várias marcas com o registo das alturas (fot. 6 e 7) destas nas cheias de maiores dimensões. Os moradores e os comerciantes referiram as insuficiências da estrutura de drenagem e escoamento de águas pluviais urbanas como principal fator das inundações no centro histórico.



Fots. 1 e 2 - Edifícios característicos de Ponte de Lima.
Fonte: MARQUES, 2012.



Fots. 3, 4 e 5 - Edifícios característicos da zona ribeirinha de Ponte de Lima.
Fonte: MARQUES, 2012.



Fots. 6 e 7 - Marcas de inundações em edifícios do centro histórico de Ponte de Lima.
Fonte: MARQUES, 2012.

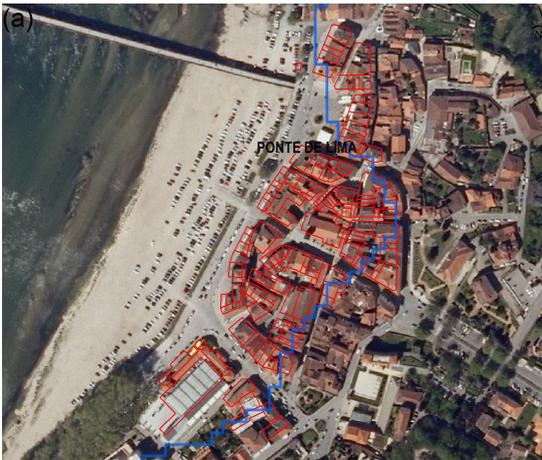
A população local refere encontrar-se mais segura desde a construção da barragem do Touvedo (1993). Com base nos resultados dos inquéritos, apoio à modelação

QUADRO I - Tipos de exposição na frente ribeirinha de Ponte de Lima.

Indicadores	Dados	Grau de exposição
População afetada (hab.)	2752 hab.	2
Tipo e n.º de atividades económicas afetadas	- Agricultura (Hortícolas e produção de milho) - Services (posto de turismo, restaurantes, cafés, pastelarias, ópticas)	2
Tipo e n.º de património natural afetado (ICNF)	- Património Cultural (Ponte medieval) - Paisagem protegida (REDE NATURA 2000)	1
Tipo e n.º de património cultural afetado (IPPAD+IPA)	- Imobiliário de interesse público (bancos, segurança social) - Imobiliário de interesse municipal (biblioteca, arquivo municipal)	2
N.º e extensão das zonas sensíveis (Diretiva Substâncias perigosas)	- Extensão das zonas sensíveis	2
N.º e extensão das zonas vulneráveis (Diretiva Nitratos)	- Extensão das zonas vulneráveis	2
Total		11

Fonte: COSTA *et al.*, 2012 e adaptado de MARQUES, 2012.

hidrológica e as medições efetuadas através de um distanciômetro por laser calculou-se a área ocupada pelo edificado suscetível a risco de inundação para um período de retorno de 100 anos, incluindo uma classificação de magnitude em função da altura de água atingida pelas cheias do rio Lima (fig. 3).



- Toponímia (concelho)
- Área Inundável (T=100 anos)
- Edifícios Inquiridos



- Classes de Magnitude**
- Falta de informação
 - 1 - Pequena (Inundações urbanas e alagamentos)
 - 2 - Pequena a Grande (Cheia ou inundação sem atingir edifícios)
 - 3 - Grande (< 0,5m)
 - 4 - Grande a muito Grande (> 0,5m e < 1m)
 - 5 - Muito Grande (> 1m)

Fig. 3- Grau de exposição às inundações no centro histórico de Ponte de Lima.

Fonte: F. COSTA *et al.*, 2012

Adaptação histórica e opções de planeamento espacial e ambiental

Os planos de gestão dos riscos de inundações deverão considerar as características próprias do território a que se referem e prever soluções específicas para cada caso, de acordo com as necessidades e prioridades de tais zonas, assegurando ao mesmo

tempo uma coordenação adequada no interior das regiões hidrográficas (DIRETIVA 2007/60/CE, do Parlamento e do Conselho, de 23 de Outubro). Neste âmbito, deve ser considerado, tanto quanto possível, o impacto das alterações climáticas na ocorrência de inundações, bem como questões relacionadas com a topografia, a posição dos cursos de água e as suas características hidrológicas e geomorfológicas gerais, incluindo as planícies aluviais enquanto zonas de retenção natural, a eficácia das infraestruturas artificiais existentes de proteção contra as inundações, e a dinâmica, a longo prazo, das populações e das atividades económicas.

A área de inundação corresponde ao leito do rio e as várzeas agrícolas envolventes, em particular na parte terminal do rio Labruja e na abertura que se segue imediatamente a jusante da vila de Ponte de Lima. Estas áreas de solos de aluvião intercala espaços de margens com vegetação ripária e estabilizadas por pequenos bosquetes com margens fortemente artificializadas associada a espaços urbanos e jardins históricos. Neste troço do rio nota-se uma forte dinâmica sedimentar, com uma alteração frequente dos inertes no leito e na margem com afetação dos usos da massa de água. Em ambas as margens do rio Lima, em particular na margem direita e núcleo histórico da vila verifica-se uma elevada densidade do património edificado, inclusive classificado e um forte investimento e instalação de novas infraestruturas de espaço verdes e equipamentos para a gestão municipal. Nesta área encontramos edifícios da administração, inclusive espaços ligados à proteção civil, saneamento e tratamento de resíduos e efluentes, edifícios de ajuntamento coletivo como sejam hotéis, igrejas e áreas de estacionamento público.

Os elevados valores e interesse ambiental justificam a extensão do Sítio rio Lima (PTCON0020), da Reserva Ecológica Nacional (REN), Reserva Agrícola Nacional (RAN) e Domínio Público Hídrico (DPH) que apresentam condicionamentos à ocupação e uso humano e neste sentido contribuem para a diminuição da exposição e vulnerabilidade. Na imediação da ponte romana/medieval e junto à frente ribeirinha verificam-se intervenções pontuais de regulação do canal, proteção das margens embora o planeamento municipal (PMOT e PDM) não consiga evitar uma forte pressão da área edificandi para e na proximidade com o leito de cheia e as áreas de inundação. A autarquia local na sua relação com outros agentes socioeconómicos, em particular os agentes da proteção civil encontra-se a desenvolver os planos de emergência e proteção civil que incluem uma análise detalhada das suscetibilidades, da cartografia de localização do risco com a organização dos meios e capacidade de resposta em situações de emergência.

Conclusão

A complexidade dos sistemas territoriais exige conhecimento e capacidade de resposta por parte dos agentes sociais e económicos, como resultado da sua respetiva organização, partilha de elementos e de comunicação no quadro da implementação de sistemas de governança territorial. Neste quadro, os riscos ambientais e tecnológicos apresentam uma dimensão multidisciplinar, sistémica, integradora e prospetiva. A avaliação e gestão dos riscos são instrumentos e processos que permitem compreender e intervir no território no sentido da sustentabilidade. Esta realidade ganha especial importância na gestão do ciclo hidrológico e do recurso água, em particular no conhecimento dos riscos hidrológicos, o respetivo impacte sobre a quantidade e qualidade da água mas também sobre a influência da capacidade de adequação do ser humano ao meio ambiente.

Neste estudo e para a bacia hidrográfica do rio Lima, o desenvolvimento de um projeto de SIG que incorpora informação geográfica de referência e temática organizada de acordo com os Anexos da Diretiva INSPIRE (ALONSO *et al.*, 2011b) apoiou a caracterização da bacia mas também:

- a) o suporte e alimentação dos modelos hidrológico e hidráulico de avaliação do risco de inundação e de cartografia de zonas inundáveis;
- b) a identificação dos elementos expostos e a respetiva vulnerabilidade dos elementos naturais e humanos presentes na área ribeirinha de Ponte de Lima;
- c) a avaliação da adaptação e de governança dos riscos de inundações ao nível local.

A compreensão do ciclo hidrológico à escala das unidades naturais deve acompanhar o desenvolvimento de estudos de caso de base local. Esta análise hierárquica favorece os ganhos de mudança de escala numa perspetiva sistémica e a realidade de resposta à escala local. No primeiro objetivo desenvolve-se a elaboração de cartografia de zonas inundáveis e dos cenários de inundação através da:

- a) determinação espacial do comportamento das inundações (processamento de dados geográficos) com a representação da incidência espacial deste risco e identificação dos fatores de predisposição à ocorrência de eventos desta natureza;
- b) identificação e avaliação das zonas de riscos potenciais de inundação a partir de fontes diretas e indiretas e respetivo cálculo dos riscos associados às inundações, nomeadamente através do desenvolvimento de fichas de inventário e inquéritos para estimar a vulnerabilidade e os prejuízos causados em caso de cheia excepcional.

O processo e os resultados do estudo reconhecem: a) a importância de detalhar os dados de base em particular nas superfícies tridimensionais e condições de vazão, validar e calibrar os caudais e transformar gradualmente os modelos produzidos em sistemas de informação para apoio à decisão em termos operacionais; b) a necessidade de articulação da administração pública nacional, regional e local ao nível da prevenção (políticas, ordenamento do território e dos usos do solo), no alerta (hidrológico e meteorológico), na gestão de emergências (previsão de cenários e sua possível evolução, previsão de elementos e infraestruturas de apoio) e na reabilitação e reconstrução (seguir normas construtivas específicas e em lugares adequados).

No conjunto destaca-se a necessidade de inclusão do risco de cheia nos processos de planeamento local e municipal assim como da consideração da avaliação ambiental estratégica (CARTER *et al.*, 2009) (POTTIER *et al.*, 2005), em particular na manutenção das áreas agrícolas e de gestão florestal (KENYON *et al.*, 2008) (MORRIS *et al.*, 2008), mas também considerar a instalação pontual de infraestruturas hidráulicas e renaturalização do meio (LEDoux *et al.*, 2005) (POULARD *et al.*, 2010) no quadro da classificação e atribuição de medidas estruturais para cada massa de água (MCMINN *et al.*, 2010). Estes avanços devem considerar sempre a informação e promover a participação e adaptação da população (CECCATO *et al.*, 2011) inclusive adequação da organização social e institucional mesmo à escala local (NESS *et al.*, 2005) no quadro da implementação de planos de gestão e sistemas de governança do riscos das cheias (SCHELFAUT *et al.*, 2011).

Considerando os resultados e os avanços obtidos é necessário desenvolver estratégias que permitam no futuro: a) ampliar a base de conhecimento relativa à qualidade das bases de dados utilizadas, assim como dos produtos e planos resultantes; b) melhorar a integração dos processos de planeamento espacial e sectorial com as figuras de ordenamento existentes ao nível local; c) desenvolver a identificação e descrição dos elementos expostos, em particular dos valores humanos, patrimoniais e naturais existentes; d) identificar possíveis fontes de pressão/contaminação que, por estarem expostas ao risco de cheia/inundação, possam potenciar eventuais focos de contaminação do meio hídrico, em particular fenómenos de contaminação biológica por agentes patogénicos ou espécies invasoras.

Por outro lado, os planos de gestão e mitigação de riscos de cheias/inundações deverão centrar-se na prevenção, proteção e preparação tanto das populações como dos bens expostos e dos próprios agentes de proteção civil envolvidos. Estes planos deverão ser periodicamente revistos e, se necessário, atualizados, tendo em consideração a atual intensificação de alterações

(climáticas) ou do nível de transformação da ocupação e uso do solo sobre a ocorrência de cheias. A informação e o sistema de informação geográfica desenvolvidos devem suportar o desenvolvimento e a adoção de sistemas de base colaborativa e de apoio à administração local, agentes da proteção civil, segurança e saúde. Neste sentido, este sistema deve ainda servir de suporte à comunicação e interação com a população local e agentes socioeconómicos no sentido de veicular informação relativa à incidência, à probabilidade e aos possíveis impactos resultantes da ocorrência de cheias.

Referências Bibliográficas

- ALONSO, J.; CASTRO, P.; RIBEIRO, J.; MAMEDE, J.; MARTINS, I.; MARTINS, L.; GUERRA, C.; SANTOS, S.; MACHADO, S. (2011b) - *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Minho e Lima RH1: Parte complementar C - Sistema de informação e apoio à decisão (SI.ADD)*. Coordenação e conceção do sistema; Produção e organização de bases de informação geográfica. Administração da Região Hidrográfica do Norte, I.P. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território. Setembro, 2011, Porto.
- ALONSO, J.; CASTRO, P.; RIBEIRO, J.; MARTINS, I.; MAMEDE, J.; MACHADO, A.; BRITO, A. (2011a) - "O sistema de informação e apoio à decisão [SI.ADD] da ARH do Norte, I.P.: objetivos e desenvolvimento". Artigo publicado na *Revista Recursos Hídricos, Journal of water resources*, Volume 32, N.º1. Fundação para a Ciência e a Tecnologia. APRH, ISSN 0870-1741. p. 5-12.
- APEL, H.; THIEKEN, A. H.; MERZ, B.; BLÖSCHL, G. (2004) - *Flood risk assessment and associated uncertainty Natural Hazards and Earth System Sciences (4)*, 295-308. European Geosciences Union.
- AR (2005) - Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, aprova a Lei da Água, transpondo para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro, e estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas. Diário da República n.º 249/2005 - I Série A. Lisboa.
- ARH DO NORTE, I.P. (2011) - *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Minho e Lima RH1- Minho e Lima*. Relatório Técnico (Versão para consulta pública). Administração da Região Hidrográfica do Norte, I.P. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território. Setembro, 2011, Porto.
- ARONICA, G.; CANDELA, A.; FABIO, P.; SANTORO, M. (2012) - *Estimation of flood inundation probabilities using global hazard indexes based on hydrodynamic variables; Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*; Volumes 42-44, 2012, Pages 119-129
- AZEVEDO, T. M. (2008) - "Risco de inundação". In MATEUS, A. (Coord.), *Desastres Naturais: Minimizar os riscos, maximizar a consciencialização*. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa, p. 14-16.
- BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I.; WISNER, B. (1994) - *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disaster*. Edições Routledge, Londres.
- BÜCHELE, B.; KREIBICH, H.; KRON, A.; THIEKEN, A.; IHRINGER, J.; OBERLE, P.; MERZ, B.; NESTMANN, F. (2006) - "Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks". *Natural Hazards and Earth System Sciences (6)*: 485-503.
- CAMARASA, A. (1995) - *Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas: Barranc del Carrsáxet y Rambla de Poyo*. MOPTConfederación Hidrográfica del Júcar, 252 pp.
- CARTER, J.G.; WHITE, I.; RICHARDS, J. (2009) - "Sustainability appraisal and flood risk management". *Environmental Impact Assessment Review* 29: 7-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2008.06.003>.
- CECCATO, L.; GIANNINI, V.; GIUPPONI, C. (2011) - "Participatory assessment of adaptation strategies to flood risk in the Upper Brahmaputra and Danube river basins". *Environmental Science & Policy* 14(8): 1163-1174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2011.05.016>.
- CHARNECA, N. (2006) - *A gestão da informação geográfica na implementação da Directiva-Quadro da Água*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente.
- CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS LW. (1994) - *Hidrología aplicada*. Me Graw Hill. 584 pp.
- COOK, A. and MERWADE, V. (2009) - "Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping". *Journal of Hydrology* 377: 131-142. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.015>.
- CORREIA, F.N.; REGO, F.C.; SARAIVA, M.G.; RAMOS, I. (1998) - Coupling GIS with Hydrologic and Hydraulic Flood Modelling. *Water Resources Management* 12: 229-249. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- COSTA, F.S. (2009) - "Risco de inundação na cidade de Amarante (Norte de Portugal): contributo metodológico para o seu estudo", *Territorium* n.º 16, Revista da Associação Portuguesa de Riscos,

- Prevenção e Segurança, Coimbra, p. 99-111.
- COSTA, F.S.; ALONSO, J.M.; ARNAUD-FASSETTA, G.; MARQUES, A. (2012) - "As grandes cheias de Ponte de Lima: uma abordagem metodológica à análise do risco de inundação na perspetiva da Diretiva relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundação". Revista *GeoNorte*, Edição Especial, V.1, N.4, Universidade Federal das Amazonas, Manaus, p. 487-500.
- COSTA, F., MARQUES, A., ARNAUD-FASSETTA, G., ALONSO, J., MARTINS, I. & GUERRA, C., (2013) - Methodological deepening for flood-risk analysis in crossborder regions: a case study for the Lima catchment (NW Spain/Portugal) according to the implementation of the European Water Framework Directive. In ARNAUD-FASSETTA, G., MASSON, E., & REYNARD, E., *European Continental Hydrosystems under Changing Water Policy*, pp. 99-112. ISBN: 978-3-89937-157-4.
- COX, T.; MARIS, T.; DE VLEESCHAUWER, P.; DE MULDER, T.; SOETAERT, K.; Meire, P. (2006) - "Flood control areas as an opportunity to restore estuarine habitats". *Ecological Engineering* 28: 55-63. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.04.001>.
- DEVILLERS, R. and JEANSOULIN, R. (2010) - "Spatial data quality: concepts". In DEVILLERS, R., JEANSOULIN, R. (Eds). *Fundamentals of Spatial Data Quality. Geographical Information Systems*. ISTE - GIS Series, p. 31-42 (Online ISBN: 9781905209569).
- DRAEDM (1999) - *Carta dos Solos e carta da aptidão da terra de Entre-Douro e Minho (EDM)*, Escala 1:100 000. Direção Regional de Agricultura de Entre-Douro e Minho. Agroconsultores e Geometral. Lisboa.
- DUNNE, T. e LEOTOLD, L.B. (1978) - *Water in Environmental Planning*, S. Francisco, Freeman and Company, 818 pp.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2007) - *Handbook on good practices for flood mapping in Europe, EXCIMAP European exchange circle on flood mapping*, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, 60 pp.
- FITZPATRICK, F.A.; KNOX, J.C.; WHITMAN, H.E. (1999) - *Effects of Historical Land-Cover Changes on Flooding and Sedimentation, North Fish Creek, Wisconsin*. USGS Water-Resources Investigations Report 99-4083.
- FOTOPOULOS, F.; Makropoulos, C.; MIMIKOU, M.A. (2010) - "Flood forecasting in transboundary catchments using the Open Modeling Interface". *Environmental Modelling & Software* 25: 1640-1649. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.06.013>.
- GOBIERNO DE ESPAÑA (2010) - Sistema Nacional de cartografía de Zonas Inundables en la Demarcación Hidrográfico del Duero. Evaluación preliminar del riesgo de inundación (EPRI) y areas de riesgo potencial significativo de inundación (ARPSIs), Confederación Hidrográfico del Duero, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, 89 pp.
- HANSSON, K.; DANIELSON, M.; EKENBERG, L. (2008) - A framework for evaluation of flood management strategies. *Journal of Environmental Management* 86: 465-480. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.037>.
- HEC-GeoRAS (2009) - *GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS. User's Manual*. Hydrologic Engineering Center US Army Corps of Engineers, Davis, EUA. Approved for Public Release - Distribution Unlimited CPD-83.
- HEC-HMS (2008) - *Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). Technical Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center US Army Corps of Engineers, Davis, EUA. Approved for Public Release - Distribution Unlimited CPD-74B.
- HEC-RAS (2009) - *River Analysis System (HEC-RAS). User's Manual*. Hydrologic Engineering Center US Army Corps of Engineers, Davis, EUA. Approved for Public Release - Distribution Unlimited CPD-68.
- HEITZ, C., SPAETER, S., AUZET, A., GLATRON, S. (2009) - "Local stakeholders' perception of muddy flood risk and implications for management approaches: A case study in Alsace (France)". Original Research Article; *Land Use Policy*, Volume 26, Issue 2, April 2009, Pages 443-451.
- HONRADO, J.; ALONSO, J.; GUERRA, C.; PÔÇAS, I.; GONÇALVES, J.; MARCOS, B. (2011) - Deliverable No: D4.1 Report on pre-existing in situ and ancillary datasets for sites (FP7-SPA-2010-1-263435), Porto, 129 pp.
- INAG (2004) - *Plano Nacional da Água*. Instituto Nacional da Água, I. P., Lisboa.
- IPVC (2005). *Carta de ocupação do solo (COS 2005) para os distritos de Viana do Castelo e Braga (atualização)*. Inst. Politécnico de V. do Castelo.
- JULIÃO R.P.; NERY, F.; RIBEIRO, J.L.; BRANCO, M.C.; ZÊZERE, J.L. (2009) - *Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica de base municipal*, ANPC, 93 pp.

- KENYON, W.; HILL, G.; SHANNON, P. (2008) - "Scoping the role of agriculture in sustainable flood management". *Land Use Policy* 25: 351-360. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2007.09.003>.
- KHATIBI, R. (2011) - "Evolutionary systemic modelling of practices on flood risk". *Journal of Hydrology* 401: 36-52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.02.006>.
- KNEBL, M.R.; YANG, Z.L.; HUTCHISON, K.; MAIDMENT, D.R. (2005) - "Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event". *Journal of Environmental Management* 75: 325-336. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.11.024>.
- LAHR, J. and KOOISTRA, L. (2010) - *Environmental risk mapping of pollutants: state of the art and communication aspects*. The Science of the total environment 408, 3899-907.
- LEDoux, L.; CORNELL, S.; O'RIORDAN, T.; HARVEY, R.; BANYARD, L. (2005) - "Towards sustainable flood and coastal management: identifying drivers of, and obstacles to, managed realignment". *Land Use Policy* 22: 129-144. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2004.03.001>.
- LEHNER, B.; DÖLL, P.; ALCAMO, J.; HENRICH, T.; KASPAR, F. (2006) - "Estimating the Impact of Global Change on Flooding and Drought Risks in Europe: A Continental, Integrated Analysis". Springer. *Climatic Change* 75: 273-299. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-006-6338-4>.
- LENCASTRE, A. e FRANCO, F.M. (1992) - *Lições de Hidrologia*. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2ª edição. Lisboa.
- LINDENSCHMIDT, K.E.; PECH, I.; BABOROWSKI, M. (2009) - Environmental risk of dissolved oxygen depletion of diverted flood waters in river polder systems - A quasi-2D flood modelling approach. *Science of the Total Environment* 407: 1598-1612. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.11.024>.
- LIU, Y.B.; GEBREMESKEL, S.; DE SMEDT, F.; HOFFMANN, L.; PFISTER, L. (2003) - "A diffusive transport approach for flow routing in GIS-based flood modeling". ELSEVIER. *Journal of Hydrology* 283: 91-106. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00242-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00242-7).
- MAOT (2010) - Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de Outubro de 2010, que aprova o quadro para a avaliação e gestão dos riscos de inundações, com o objetivo de reduzir as suas consequências prejudiciais, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2007/60/CE, do Parlamento e do Conselho, de 23 de Outubro. Diário da República n.º 206 - I Série. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- MAOTDR (2007) - Decreto-Lei n.º 347/2007, de 19 de Outubro, que procedeu à delimitação georreferenciada das Regiões Hidrográficas. Diário da República n.º 202 - I Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- MARQUES, A. (2012) - La zone inondable de Ponte de Lima (Portugal) - Le cas de la crue centenaire de 1909. Mémoire de Master Espace, dynamiques des milieux et des risques, Université Paris 12, Université Paris-Est Créteil Val de Marne, Paris, France, 131 pp.
- MARTINS, I., GUERRA, C., LEITE, F., ALONSO, J. (2013) - Desenvolvimento de Modelos Regionais de Avaliação e Cartografia de Risco de Cheia no Apoio ao Planeamento Local. Comunicação oral apresentada no III Encontro da Rede BRASPOR - Ambientes Costeiros e Bacias Hidrográficas, Ponte de Lima, 22 a 24 de Julho.
- MATEU BELLES, J.F. (1989) - *Crescidas e Inundaciones, Guía de la Naturaleza de la Comunidad Valenciana*, p. 565-608.
- MAY, P.J.; BURBY, R.J.; ERIKSEN, N.J.; HANDMER, J.W.; DIXON, J.E.; MICHAELS, S.; SMITH, I. (1996) - *Environmental Management and Governance, Intergovernmental Approaches to Hazards and Sustainability*. Londres (Reino Unido), Edições Routledge.
- MAZZORANA, B.; COMITI, F.; SCHERER, C.; FUCHS, S. (2011) - "Developing consistent scenarios to assess flood hazards in mountain streams". *Journal of Environmental Management* 94: 112-124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.030>.
- MCMINN, W.R.; YANG, Q.; SCHOLZ, M. (2010) - "Classification and assessment of water bodies as adaptive structural measures for flood risk management planning". *Journal of Environmental Management* 91: 1855-1863. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.04.009>.
- MORRIS, J.; BAILEY, A.P.; LAWSON, C.S.; LEEDS-HARRISON, P.B.; ALSOP, D.; VIVASH, R. (2008) - "The economic dimensions of integrating flood management and agri-environment through washland creation: A case from Somerset, England". *Journal of Environmental Management* 88: 372-381. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.023>.
- NÆSS, L.O., BANG, G., ERIKSEN, S., VEVAATNE, J. (2005) - *Institutional adaptation to climate change*:

- flood responses at the municipal level in Norway*. Global Environmental Change Part A, Volume 15, Issue 2, pp. 125-138.
- OEURNG, C.; SAUVAGE, S.; SÁNCHEZ-PÉREZ, J.M. (2010) - *Temporal variability of nitrate transport through hydrological response during flood events within a large agricultural catchment in south-west France*. Science of the Total Environment 409: 140-149. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.09.006>.
- PAIVA, I. (2005) - *Risco de inundação em Coimbra. Fatores físicos e Ação antrópica. As inundações urbanas e as cheias do Mondego (1950/51 - 2003/04)*, Coimbra, Faculdade de Letras da Univ. de Coimbra.
- PARKER, D.J. (2000) - "Introduction to floods and Flood Management", in *Floods*, Volume I. Londres (reino Unido). Edições Routledge.
- PCM (2008) - Resolução do Conselho de Ministros n.º 115-A/2008, de 21 de Julho, que aprova o Plano Sectorial da Rede Natura 2000 (PSRN2000). Diário da República n.º 139 - I Série. Presidência do Conselho de Ministros.
- PECUE (2000) - Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 23 de Outubro de 2000, que estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*. Luxemburgo, 23 de Outubro de 2000.
- PECUE (2007) - Diretiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 23 de Outubro de 2007, relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações. *Jornal Oficial da União Europeia* n.º L 288 de 06/11/2007 p. 27-34. Bruxelas.
- POSTHUMUS, H.; HEWETT, C.J.M.; MORRIS, J.; QUINN, P.F. (2008) - "Agricultural land use and flood risk management: Engaging with stakeholders". In *North Yorkshire. Agricultural Water Management*, 95: 787-798. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2008.02.001>.
- POTTIER, N.; PENNING-ROWSELL, E.; TUNSTALL, S.; HUBERT, G. (2005) - "Land use and flood protection: contrasting approaches and outcomes in France and in England and Wales". *Applied Geography* 25: 1-27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2004.11.003>.
- POULARD, C.; LAFONT, M.; LENAR-MATYAS, A.; ŁAPUSZEK, M. (2010) - "Flood mitigation designs with respect to river ecosystem functions—A problem oriented conceptual approach". *Ecological Engineering* 36: 69-77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.09.013>.
- ROBINSON, M.; SCHOLZ, M.; BASTIEN, N.; CARFRAE, J. (2010) - "Classification of different sustainable flood retention basin types". *Journal of Environmental Sciences* 22: 898-903. [http://dx.doi.org/10.1016/s1001-0742\(09\)60195-9](http://dx.doi.org/10.1016/s1001-0742(09)60195-9).
- ROSSELLÓ, V.M. (1989) - Los llanos de inundación. (En) ONCINA, A.G; GIL, A.M. (Eds.): *Avenidas fluviales e inundaciones en el Mediterráneo*. Universidad de Alicante. Caja de Ahorros del Mediterráneo. p. 243-285.
- SARAIVA, M. G. E CARVALHO, L. (2009) - *Risco de inundação, Metodologia para formulação do indicador Riprocity nº 4. Workshop "Rios e Cidades, Oportunidades para a sustentabilidade urbana*. Lisboa, 19 pp.
- SCHELFAUT, K.; PANNEMANS, B.; VAN DER CRAATS, I.; KRYWKOW, J.; MYSIAK, J.; COOLS, J. (2011) - "Bringing flood resilience into practice: the FREEMAN project". *Environmental Science & Policy* 14: 825-833. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2011.02.009>.
- SILVA, D. S. (2004) - "À espera da cheia? Paradoxos da modificação do ambiente por via da tecnologia", Atas dos ateliers do Vº Congresso Português de Sociologia, Sociedades Contemporâneas: Reflexividade e Ação, Atelier: Modernidade, Incerteza e Risco, Associação Portuguesa de Sociologia, Lisboa, p. 14-24. In SLOVIC, P.(2000) - *The perception of risk. Risk, society, and policy series*. London, England: Earthscan Publications. Xxxvii 473 pp.
- SMITH, D.I. (2000) - "Floodplain Management: Problems, Issues and Opportunities", in *Floods*, Volume I. Londres (reino Unido). Edições Routledge.
- TEN VELDHUIS, J.A.; CLEMENS, F.H.; STERK, G.; BERENDS, B.R. (2010) - "Microbial risks associated with exposure to pathogens in contaminated urban flood water". *Water Research* 44: 2910-2918. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2010.02.009>.
- UNITED NATIONS (2009) - *Transboundary Flood Risk Management: Experiences from the UNECE Region*. Convention on The Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes.
- VIEIRA, J. M. P., PINHO, J. L., LIMA, M. M. (2005) - "Um ambiente hidroinformático de suporte à decisão na gestão da água numa bacia hidrográfica". *ODEANA. 8º Congresso da Água*. Associação Portuguesa de Recursos Hídricos (APRH).

- WENDY, K. (2007) - "Evaluating flood risk management options in Scotland: A participant-led multi-criteria approach". *Ecological Economics* 64: 70-81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.06.011>.
- WHEATER, H. and EVANS, E. (2009) - Land use, water management and future flood risk. *Land Use Policy* 26, Supplement 1: S251-S264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.08.019>.
- WHEATER, H.S.; CHANDLER, R.E.; ONOF, C.J.; ISHAM, V.S.; BELLONE, E.; YANG, C.; LEKKAS, D.; LOURMAS, G.; SEGOND, M.-L. (2005) - "Spatial-temporal rainfall modelling for flood risk estimation". Springer-Verlag. *Stoch Environ Res Risk Assess* 19: 403-416. <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-005-0011-8>.
- WOLSHI, P.; MASAKA, T.; RADITSEBE, L.; MURRAY-HUDSON, M. (2005) - *Aspects of Seasonal Dynamics of Flooding in the Okavango Delta*. Botswana Notes & Records, Volume 37.