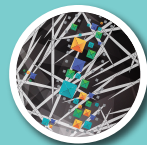


Coordenadores:

Luciano Lourenço

Adélia Nunes

XIV ENCONTRO
NACIONAL
de **RISCOS**



Risco de Cheias e Risco de Inundações Fluviais. Aprender com o Passado



RISCOS

Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança
Coimbra, 2022

Volvida uma década, o Encontro Nacional de Riscos, na sua XIV edição, regressou à Universidade de Coimbra. Depois de vários Encontros terem decorrido de Norte a Sul do território continental e no arquipélago da Madeira, o XIV Encontro, sobre “Risco de Cheias e Risco de Inundações Fluviais - Aprender com o Passado”, voltou a Coimbra para visitar as cheias e inundações de 2001, que imprimiram um rasto de destruição em várias bacias hidrográficas nacionais, com destaque para a do rio Mondego, onde o rebentamento de vários diques, a jusante de Coimbra, provocou mais de uma centena de desalojados.

No decurso destas duas décadas, o risco de cheia e de inundação voltou a manifestar-se, com as inundações de janeiro e fevereiro de 2016 a causarem avultados prejuízos na área ribeirinha de Coimbra e, as de dezembro de 2019, a afetarem vastas áreas da planície aluvial do rio Mondego. Assim, diremos que o objetivo deste Encontro, à semelhança de outros anteriores, visou visitar acontecimentos nefastos, para deles retirar os ensinamentos que podem transmitir e, assim, aprender com essa(s) experiência(s) do passado.

Para tal, neste Encontro colocaram-se os agentes de proteção civil, o órgão de gestão das bacias hidrográficas, a empresa de gestão da produção de energia da barragem da Aguieira e o Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos, a discutir com a comunidade científica as causas e as consequências destes acontecimentos e, sobretudo, a refletir sobre os desafios que se colocam à gestão integrada desta bacia hidrográfica, no intuito de evitar/reduzir o risco de cheias e o consequente risco de inundações no Baixo Mondego.

A expectativa foi a de que, com o envolvimento e articulação de todos, se pudesse reduzir o risco de inundações no Baixo Mondego, através do aumento tanto da resiliência das comunidades, como das capacidades de antecipação e de resposta dos meios de prevenção e socorro em situação de crise. A publicação das intervenções proferidas durante este XIV ENR pretende contribuir para esse desiderato.



RISCOS

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
DE RISCOS, PREVENÇÃO
E SEGURANÇA

ESTRUTURAS EDITORIAIS | EDITORIAL STRUCTURES
Estudos Cindínicos

DIRETOR PRINCIPAL | MAIN EDITOR
Luciano Lourenço

RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

DIRETORES ADJUNTOS | ASSISTANT EDITORS
António Amaro, Adélia Nunes, António Vieira, Fátima Velez de Castro
RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

ASSISTENTE EDITORIAL | EDITORIAL ASSISTANT
Fernando Félix
RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

COMISSÃO CIENTÍFICA | EDITORIAL BOARD

Adélia Nunes
Universidade de Coimbra

Ana 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 Vieira
Universidade do Minho

Cármem Ferreira
Universidade do Porto

Fátima Velez de Castro
Universidade de Coimbra

Helena Fernandez
Universidade do Algarve

Humberto Varum
Universidade de Aveiro

José Simão Antunes do Carmo
Universidade de Coimbra

Luciano Lourenço
Universidade de Coimbra

Romero Bandeira
Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Porto

Tiago Ferreira
Universidade do Minho

Tomás de Figueiredo
Instituto Politécnico de Bragança

Antenora Maria da Mata Siqueira
Universidade Federal Fluminense, Brasil

Carla Juscélia Oliveira Souza
Universidade de São João del Rei, Brasil

Esteban Castro
Universidade de Newcastle, Reino Unido

José António Vega
Centro de Investigación Forestal de Lourizán, Espanha

José Arnaez Vadillo
Universidade de La Rioja, Espanha

Lidia Esther Romero Martín
Universidade Las Palmas de Gran Canaria, Espanha

Miguel Castillo Soto
Universidade do Chile

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

Norma Valencio
Universidade Federal de São Carlos, Brasil

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

Victor Quintanilla
Universidade de Santiago de Chile, Chile

Virginia Araceli García Acosta
CIESAS, México

Xavier Ubeda Cartaña
Universidade de Barcelona, Espanha

Yvette Veyret
Universidade de Paris X, França

LUCIANO LOURENÇO
ADÉLIA NUNES
(COORDS.)



RISCO DE CHEIAS E RISCO DE INUNDAÇÕES FLUVIAIS. APRENDER COM O PASSADO

Edição

RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

Email: riscos@riscos.pt

URL: <https://www.riscos.pt/publicacoes/sec/>

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Luciano Lourenço e Adélia Nunes

IMAGEM DA CAPA

Karine Nieman

PRÉ-IMPRESSÃO

Fernando Félix

EXECUÇÃO GRÁFICA

Simões & Linhares, Lda.

ISSN

2184-5727

DOI (Série)

<https://doi.org/10.34037/978-989-54295-1-6>

Depósito Legal

495408/22

ISBN

978-989-9053-11-3

ISBN Digital

978-989-9053-12-0

DOI

https://doi.org/10.34037/978-989-9053-12-0_10

1.ª Edição



**REPÚBLICA
PORTUGUESA**

Este trabalho é Financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto “UIDB/GEO/04084/2020” e “UIDP/GEO/04084/2020”.

This work is Financed by National Funds through the FCT - Foundation for Science and Technology under the project “UIDB/GEO/04084/2020” and “UIDP/GEO/04084/2020”.

ÍNDICE

PREFÁCIO	9
AS CHEIAS E O RISCO DE INUNDAÇÕES NO BAIXO MONDEGO	15
Monitorização da variação secular dos parâmetros climatológicos em Coimbra: o caso da precipitação para análise de riscos hidrológicos Joana R. Domingues, Maria Alexandra Pais, Paulo Ribeiro, Alcides Pereira e Vasco Mantas	17
Estudo das inundações do rio Mondego a jusante da confluência do rio Ceira até à ponte Açude Teresa Fragoso, João Bravo, António Correia e Luís Araújo Santos	39
Contributos do Laboratório de Hidráulica da Universidade de Coimbra para o estudo das Cheias do Mondego José Afêu Sá Marques, Nuno Eduardo Simões e Fernando Seabra Santos	53
Impactos das grandes cheias do rio Mondego na região de Coimbra - uma resenha histórica João Pardal, Lúcio Cunha, Alexandre Oliveira Tavares, Pedro Pinto Santos e Luís Leitão	75
Gestão do risco de inundação no Baixo Mondego Carlos Luís Tavares	109
Investimentos do PO SEUR na redução de riscos de cheias e inundações. “O exemplo do Baixo Mondego” José Marques Guedes	129
Projetar o futuro revivendo acontecimentos passados: as cheias de 2001 no rio Mondego e na queda da ponte Hintze Ribeiro, no rio Douro José Simão Antunes do Carmo	145
RISCOS DE INUNDAÇÃO NOUTRAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE PORTUGAL E DO BRASIL	167
O risco hidrológico no município de Braga: contributo para a sua cartografia Isabel Catarina da S. M. Ferreira, António Bento-Gonçalves e António Vieira	169
Estimativas de caudais de ponta no Parque Natural de Montesinho aplicando o método SCS Tamires Bertocco, Tomás de Figueiredo e Felícia Fonseca	197
Tendências de evolução temporal dos caudais médios diários em bacias de montanha do NE de Portugal Vinícius Kenzo Okada, Tomás de Figueiredo, Felícia Fonseca e Maurício Morerira dos Santos	209

ÍNDICE

A vala de Alpiarça e o risco de inundação em Almeirim	
Samuel Rodrigues Tomé e Luciano Lourenço	225
Inundações urbanas na Amazónia setentrional, Boa Vista-RR-Brasil	
Antônio Carlos Ribeiro Araújo Júnior	249
Gestão do risco de inundações em Petrópolis (RJ - Brasil). Interface entre diferentes políticas públicas	
Jacques Manz, Raul Reis Amorim e Carmen Ferreira	269
Contribuição da educação na resolução do risco de inundação: estudo de caso através da observação de imagens	
Mário Talaia e Pedro Talaia	313

PREFÁCIO

A nível mundial, as cheias e as consequentes inundações fluviais são as catástrofes mais comuns, representando 44% das manifestações registadas no período compreendido entre 2000 e 2019, de acordo com a *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* (UNISDR). Afetaram, nesse período, 1,6 mil milhões de pessoas em todo o mundo, o valor mais elevado quando comparado com outros tipos de catástrofes.

À escala europeia, nestas últimas décadas, as cheias e as inundações representaram cerca de 1/3 das perdas causadas por fenómenos naturais e, na União Europeia, os seus respetivos custos anuais médios ultrapassam 4 mil milhões de euros. Também na região mediterrânea, as cheias e as inundações são consideradas as catástrofes com maior potencial de destruição, sendo de igual modo as que causaram o maior número de vítimas mortais e os danos materiais mais elevados.

Em Portugal, as cheias e as inundações foram, de igual modo, o fenómeno natural mais frequente e mortífero durante o último século. A este propósito, recorde-se o evento ocorrido de 25 para 26 de novembro de 1967, na área da Grande Lisboa, com inundações a causarem um elevado número de mortos, a rondar cinco centenas, milhares de desalojados e inúmeras habitações destruídas. Também as cheias e inundações de 2001 imprimiram um rasto de destruição em várias bacias hidrográficas nacionais, destacando-se a do rio Mondego, onde o rebentamento de vários diques, a jusante de Coimbra, provocou mais de uma centena de desalojados. Em dezembro de 2019, apesar de se terem registado caudais bastante superiores aos assinalados na cheia de 2001, apenas dois diques colapsaram, deixando também vastas áreas da planície aluvial do rio Mondego submersas pela água, inúmeras povoações isoladas, estradas cortadas e danos muito significativos em múltiplas infraestruturas e nos campos agrícolas.

Na bacia do Mondego, à semelhança de outras bacias do território nacional, as cheias e as inundações são seculares e, apesar das obras de regularização realizadas, elas continuam a ocorrer, provocando avultados prejuízos. Pode afirmar-se, todavia, que o estado atual de conhecimento sobre os processos que conduzem à ocorrência de cheias e de inundações se encontra relativamente bem consolidado, integrando processos eminentemente naturais, a que se associam outros fatores desencadeantes ou agravantes de origem antrópica. Como justificar, neste contexto, a contínua manifestação dos riscos de cheia e de inundação, com consequências mais ou menos gravosas, ano após ano?

Sob o tema “Risco de Cheias e Risco de Inundações Fluviais. Aprender com o Passado” decorreu nos dias 16 e 17 de julho de 2021, na Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, o XIV Encontro Nacional de Riscos em que, à semelhança do que aconteceu com edições anteriores, se revisitou um acontecimento particularmente nefasto, cuja efeméride “redonda” ocorreu neste ano, para dele retirar os ensinamentos que pode transmitir e, assim, aprender com essas experiências. Neste Encontro colocou-se a comunidade científica, bem como e, sobretudo, os agentes de proteção civil, os órgãos de soberania regionais/locais, os professores dos ensinos básico e secundário e a população em geral, a refletir sobre o que fazer em caso de situações de catástrofe provocadas pela manifestação dos riscos de cheias e de inundações fluviais, aprendendo com o passado para melhorar o presente e o futuro, tomando consciência de que a frequência e intensidade destes eventos hidrológicos excecionais têm tendência para aumentar e afetar um número crescente de pessoas e bens. Discutiu-se, também, a importância que um eficaz planeamento e ordenamento do território podem ter na redução destas catástrofes e avaliou-se e refletiu-se sobre a importância da educação formal na construção de sociedades mais conscientes e resilientes a tais riscos.

Porque a “memória do risco” tem um papel fundamental na evolução do conhecimento, por ter uma importância determinante na estrutura das ações dos atores sociais e na escolha das tomadas de decisão, tendo em vista a redução dos riscos, presentes ou futuros, baseada na experiência adquirida, o livro que agora se apresenta, para “memória futura”, reúne vários contributos que, de forma complementar, consolidam os conhecimentos e as aprendizagens que se possam retirar do estudo de eventos catastróficos passados. Constitui-se por catorze capítulos, dividido em duas partes; a primeira, sobre “As cheias e o risco de inundações no Baixo Mondego” e, a segunda, sobre “Riscos de inundação noutras bacias hidrográficas de Portugal e do Brasil”.

No primeiro capítulo, intitulado “*Monitorização da variação secular dos parâmetros climatológicos em Coimbra: o caso da precipitação para análise de riscos hidrológicos*”, da autoria de Joana Domingues, Maria Alexandra Pais, Paulo Ribeiro, Alcides Pereira e Vasco Mantas, avalia-se a correlação entre a precipitação, medida na estação meteorológica da Av. Dr. Dias da Silva, em Coimbra, e as cheias registadas nesta cidade. Os resultados obtidos mostram correlações baixas entre os anos de cheias em Coimbra e os anos de maior precipitação anual, sugerindo a necessidade de integração de maior

número de parâmetros de toda a Bacia do Mondego, nomeadamente a intensidade e a duração da precipitação noutros pontos da bacia, o caudal, assim como o uso e ocupação do território, características geomorfológicas da bacia, entre outros.

Teresa Frago, João Bravo, António Correia e Luís Araújo Santos apresentam, na sequência o “*Estudo das inundações do rio Mondego a jusante da confluência do rio Ceira até à Ponte Açudé*”, onde procuram avaliar a adequabilidade da utilização de programas de simulação dinâmica de Precipitação-Escoamento como ferramenta para a previsão de cheias. Como caso de estudo adotaram o evento de cheia ocorrido no Mondego, em dezembro de 2019. Pela análise verificou-se que o coeficiente de rugosidade de Manning tem uma forte relevância nos resultados obtidos sendo um parâmetro crucial na calibração do programa, pelo que o conhecimento rigoroso da cobertura vegetal nas margens do rio se torna fundamental, segundo os autores deste trabalho.

José Alfeu Sá Maques, Nuno Eduardo Simões e Fernando Seabra Santos, no capítulo seguinte explanam os “*Contributos do Laboratório de Hidráulica da Universidade de Coimbra para o estudo das cheias na região de Coimbra*” ao qual, na sequência das inundações de 2000/2001 e 2016, foi solicitado uma análise destes eventos. Os estudos requeridos tinham como objetivo explicar as razões da ocorrência das cheias, avaliar o comportamento dos intervenientes na operação de gestão das barragens e retirar ensinamentos para a gestão e atuação futuras. Os resultados obtidos demonstraram que, em ambas as cheias, a gestão das descargas da barragem da Aguieira não foi feita de acordo com os protocolos em vigor, pois, a serem seguidos, os caudais máximos e os níveis de água poderiam ter sido muito reduzidos e as inundações drasticamente mitigadas. Acrescentam, no entanto, outros fatores agravantes dos respetivos impactes: a deficiente manutenção das infraestruturas e da limpeza das margens, bem como o assoreamento do leito junto à cidade de Coimbra. Acresce a necessidade de integração dos conhecimentos mais atuais no domínio da previsão, seja meteorológica, hidrológica ou hidráulica, e das tecnologias de comunicação, para que a decisão do operador possa ser mais bem informada, e que é outra das conclusões evidenciada.

No capítulo seguinte, os autores, João Pardal, Lúcio Cunha, Alexandre Oliveira Tavares, Pedro Pinto Santos e Luís Leitão, fazem um levantamento dos “*Impactos das grandes cheias do rio Mondego na região de Coimbra - uma resenha histórica*”, através da consulta de bases documentais históricas e registos

hidrométricos (antigos e atuais). Assim, no período de 1200 a 2021, identificaram 296 cheias, 32 classificadas de catastróficas e 60 de extraordinárias. Entre os impactos mais relevantes, salientam a perda de vidas humanas, o isolamento das populações, situações de insalubridade e doenças, perdas agrícolas e na pecuária, destruição de infraestruturas hidráulicas e vias de comunicação, habitações, igrejas, conventos e comércio. Concluíram que o Mondego poderá estar parcialmente “domado” pelas atuais estruturas hidráulicas, mas “não controlado”, por isso é necessário adaptar o atual sistema de gestão da Bacia Hidrográfica à realidade atual.

Sobre a “*Gestão do risco de inundação no Baixo Mondego*”, Carlos Luís Tavares conclui, no capítulo que se segue, que as medidas estruturais de proteção são fundamentais na redução dos riscos de cheias e de inundações, acrescentando que, nos eventos de 2000, 2001, 2016 e, principalmente, no de 2019, ficou evidente a necessidade de serem complementadas com o desenvolvimento de atividades não-estruturais. Destaca, neste âmbito, o ordenamento do território, a gestão da emergência e o envolvimento das comunidades locais em todo o processo de gestão do risco.

O “*Investimento do POSEUR na Redução de Riscos de Cheias e Inundações. O Exemplo do Baixo Mondego*”, é o título do capítulo da autoria de José Marques Guedes, no qual se analisa o financiamento comunitário a projetos com o objetivo de Redução de Riscos de Cheias e Inundações, com especial destaque para os investimentos aprovados na Bacia Hidrográfica do Mondego. Assim, no que concerne ao Baixo Mondego foram 7 as operações financiadas, que representam um investimento total superior a 36 M€, destinados principalmente à limpeza de leitos e margens (vegetação e/ou materiais), e a ações para reduzir a impermeabilização dos solos, através da rearborização das margens em zonas críticas.

No capítulo “*Projetar o futuro revivendo acontecimentos passados. As cheias do rio Mondego e a queda da ponte Hintze Ribeiro*”, José Antunes do Carmo analisa as cheias de 2000/2001 que afetaram a cidade de Coimbra e a planície do Baixo Mondego. Contudo, nesse mesmo ano hidrológico ocorreu a “tragédia de Entre-os-Rios”, com o colapso da ponte Hintze Ribeiro, provocando a morte de 59 pessoas. O Autor é perentório ao afirmar que o colapso da ponte Hintze Ribeiro é um exemplo concreto de resposta do leito aluvionar a alterações antrópicas, só possíveis por manifesta permissividade, gestão inadequada, negligência e fiscalização inexistente. Acrescenta que o fenómeno de erosão localizada, em pilares de pontes construídas em fundos

aluvionares, representa um risco acrescido à segurança da estrutura e dos seus utilizadores. Enfatiza, por fim, a necessidade de estudar e acompanhar as alterações do leito junto aos pilares, mas também ao longo de extensões significativas do rio para montante e para jusante do trecho onde a infraestrutura se encontra implantada.

A segunda parte deste livro, congrega vários capítulos sobre os “Riscos de inundação noutras bacias hidrográficas de Portugal e do Brasil”. No trabalho apresentado por Isabel Machado Ferreira, António Bento-Gonçalves e António Vieira, sobre “*O risco hidrológico no município de Braga: contributo para a sua cartografia*”, constatou-se que apesar do risco hidrológico estar inserido no grande grupo dos riscos naturais, uma vez que a sua manifestação se encontra associada às características do meio natural, também apresenta várias condicionantes antrópicas, sobretudo relacionadas com a evolução da urbanização, sendo de destacar, neste município, as construções nas proximidades dos cursos de água, o aumento das taxas de impermeabilização e as obstruções nos cursos de água e nos sistemas de drenagem.

Os dois capítulos seguintes, versam sobre a resposta hidrológica de cursos de água, localizados Nordeste de Português; o primeiro, da autoria de Tamires Bertocco, Tomás de Figueiredo e Felícia Fonseca, trata “*Estimativas de caudal de ponta no Parque Natural de Montesinho aplicando o método SCS*” e avalia a influência que os lameiros exercem na regulação do ciclo hidrológico em pequenas bacias de drenagem em zonas de montanha; o segundo, da autoria de Vinícius Kenzo Okada, Tomás de Figueiredo Felícia Fonseca e Maurício Morerira dos Santos, analisa as “*Tendências de evolução temporal dos caudais médios diários em bacias de montanha do NE de Portugal*”. Os resultados obtidos, no primeiro destes estudos, mostra a influência da área ocupada por lameiros nas respostas hidrológicas, apontando para um aumento, em cenários de mudanças climáticas, mais expressivo nos caudais de ponta, quando os lameiros estão em condição de abandono. No segundo estudo ficou evidente um decréscimo tanto dos caudais como dos coeficientes de escoamento (valores médios), com a redução da precipitação a significar caudais abaixo do expectável, quando se considera apenas a variação espacial das precipitações na região.

No capítulo seguinte, com o título “*A vala de Alpiarça e o risco de inundação em Almeirim*”, Samuel Rodrigues Tomé e Luciano Lourenço analisam as inundações fluviais ocorridas durante mais de um século, na cidade de Almeirim, com o intuito de perceber se a construção de barragens, no rio Tejo, teve um impacte significativo

na sua redução, tanto em termos de periodicidade como de altura hidrométrica. Os resultados mostram que o risco de inundação diminuiu, contudo o seu controlo só será efetivo quando se promover uma gestão adequada de água descarregada pelas barragens, em plena concertação entre Portugal e Espanha.

Os capítulos que se seguem, de Antônio Carlos Ribeiro Araújo Júnior e de Jacques Manz, Raul Reis Amorim e Carmen Ferreira, versam, respetivamente, sobre as “*Inundações urbanas na Amazônia Setentrional, Boa Vista-RR-Brasil*” e sobre a “*Interface entre diferentes políticas públicas na gestão do risco de inundações em Petrópolis, RJ – Brasil*”. No primeiro, analisam-se, de forma integrada, fatores biofísicos e socioeconómicos, essenciais no enquadramento geoespacial do risco de inundação na cidade de Boa Vista, com o intuito de identificar as áreas potencialmente perigosas e socialmente vulneráveis a eventos desta natureza, enquanto no segundo, se analisa a interface entre Políticas Nacionais, seja de Recursos Hídricos ou de Proteção e Defesa Civil, e Sistemas Nacionais, neste caso, o de Unidades de Conservação, na gestão do risco de inundações em Petrópolis.

A fechar este livro, Mário Talaia e Pedro Talaia apresentam o capítulo intitulado “*Contribuição da educação na resolução do risco de inundação: caso através da observação de imagens*”, onde exploram a combinação de fundamentos teóricos, que permitem a interpretação do risco de inundações e a utilização de imagens de diferentes locais, para mostrar as consequências da manifestação deste risco, considerando-a como uma valiosa estratégia na prevenção de eventos futuros.

Trata-se, sem dúvida, de um livro de elevada utilidade para investigadores, decisores públicos, professores e estudantes, com interesse nesta matéria ou com responsabilidade na análise e gestão dos riscos de cheias e de inundações fluviais. A expectativa é a de que, com o envolvimento e articulação de todos, se possa reduzir o risco de inundações no Baixo Mondego, assim como noutras bacias nacionais e internacionais, através do aumento, tanto da capacidade de antecipação, tornando as comunidades mais resilientes, como da capacidade de resposta dos meios de socorro em situação de crise, para mitigar os danos.

Coimbra, 14 de novembro de 2021.

Adélia Nunes

RISCOS DE INUNDAÇÃO
NOUTRAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS DE
PORTUGAL E DO BRASIL

**O RISCO HIDROLÓGICO NO MUNICÍPIO DE BRAGA:
CONTRIBUTO PARA A SUA CARTOGRAFIA**
**HYDROLOGICAL RISK IN THE CITY OF BRAGA:
CONTRIBUTION TO ITS MAPPING**

Isabel Ferreira

Universidade do Minho, Departamento de Geografia (Portugal)
ORCID: 0000-0002-4286-315X isabelcsmf@gmail.com

António Bento-Gonçalves

Universidade do Minho, Departamento de Geografia (Portugal)
ORCID: 0000-0002-9646-156X bento@geografia.uminho.pt

António Vieira

Universidade do Minho, Departamento de Geografia (Portugal)
ORCID: 0000-0001-6807-1153 vieira@geografia.uminho.pt

Resumo: O risco hidrológico é um dos riscos vulgarmente classificado como natural e que apresenta uma elevada e difusa incidência no território nacional, não sendo, o município de Braga, uma exceção. Neste contexto, foi adaptada uma metodologia, para a elaboração de uma cartografia de risco hidrológico no município de Braga, que envolve três componentes de risco, sendo eles a perigosidade, a exposição e a vulnerabilidade social. Esta metodologia permitiu identificar as áreas com diferentes níveis de risco e, desta forma, foi possível estabelecer também as áreas prioritárias para a implementação de medidas de gestão do risco hidrológico, visando melhorar a segurança das populações.

Palavras-chave: Braga, risco hidrológico, perigosidade, exposição, vulnerabilidade social.

Abstract: The hydrological risk is a risk that is commonly classified as natural, and one which has a high and widespread incidence in the national territory; the municipality of Braga is no exception. A methodology was therefore adapted for drafting a map of the hydrological risk in the municipality of Braga. Three risk components are involved, namely, hazard, exposure, and social vulnerability. This methodology allowed the identification of areas with different levels of risk, and it was also possible to establish priority areas where hydrological risk management measures should be implemented, aimed at improving people's safety.

Keywords: Hydrological risk, Braga, probability of the hazard, exposure, social vulnerability.

Introdução - Enquadramento do risco hidrológico no município de Braga

Rebelo (1996) afirma que o ser humano, ao se consciencializar da sua existência, ficou também ciente dos riscos a que estava exposto, sendo por isso, o risco, inerente à própria vida (Smith, 1992).

Na nossa sociedade, o risco está em toda a parte (Veyret, 2007), podendo mesmo falar-se de uma “sociedade de risco” (Beck, 1992, pp: 183), sendo, portanto, diante deste paradigma, indispensável gerir o risco (Veyret, 2007).

Risco natural é a denominação para fazer referência aos riscos que não podem ser facilmente atribuídos ou relacionados com a ação humana (Dagnino e Junior, 2007). No entanto, essa é uma tarefa cada vez mais difícil nos dias de hoje (Rebelo, 2003).

Os riscos naturais, por vezes, não podem ser estudados isoladamente (Rebelo, 2003), pois resultam da conjugação de dois aspetos: da dinâmica do meio físico e da exposição de uma comunidade (Fernandes, 2009). Desta forma, pode afirmar-se que o risco natural aparece relacionado com o ambiente físico como elemento ativo e relacionado com a presença do homem como elemento passivo (Fernandes, 2009).

O risco hidrológico é um dos riscos classificado como natural e decorre do excesso de água à superfície terrestre, comportando três subtipos que assumem uma aparência semelhante, sendo, por isso, muitas vezes confundidos e tratados como

um só. No entanto são tecnicamente distintos, podendo assim diferenciar-se o risco de cheia, o risco de inundação e o risco de alagamento (Lourenço, 2018).

O risco de cheia decorre de um aumento brusco do caudal, ou da altura da água num leito fluvial ou num outro canal com capacidade para transportar água (Lourenço, 2018), normalmente em resultado de precipitações intensas (Costa, 2020).

O risco de inundação é a consequência de duas componentes (Costa, 2020): por um lado, do processo associado ao transbordo da água para fora dos elementos que normalmente a contêm, sejam eles do leito normal dos rios, da linha de costa dos lagos, dos mares e dos oceanos, e dos canais subterrâneos naturais e artificiais (Lourenço, 2018); por outro, das vulnerabilidades que resultam do homem se instalar no espaço aluvial para implantar todos os tipos de construções, equipamentos e atividades (Costa, 2020).

O risco de alagamento ainda é pouco mencionado por produzir um efeito semelhante e coincidir com o risco de inundação do ponto de vista hidrológico. Contudo apresenta uma gênese diferente e, por essa razão, deve ser tratado em separado (Lourenço, 2018). Este corresponde a uma acumulação de água em áreas aplanadas da superfície terrestre, resultando exclusivamente da precipitação e de dificuldades de infiltração e de escoamento superficial por saturação do solo e das rochas, pelo que não deve ser confundido com inundações pois não resulta de nenhum transbordo (Lourenço, 2018).

O risco hidrológico é um dos riscos com bastante incidência no território nacional e, a cada ano que passa, são ainda muitos os municípios do país que continuam a ter problemas a ele associado (Costa, 2013).

Naturalmente, o município de Braga não é exceção. A Agência Portuguesa do Ambiente (APA), no relatório da “Avaliação Preliminar do Risco de Inundações em Portugal Continental” identificou 71 Áreas de Risco Potencial Significativo de Inundação (ARPSI) em Portugal Continental, sendo em Braga identificadas duas áreas de risco potencial significativo de inundação, Braga Padim da Graça e Braga Este.

Com uma área correspondente a 183,4 km² (INE, 2018), o município de Braga localiza-se em Portugal Continental (NUT I), na Região do Norte (NUT II) e na Sub-região do Cávado (NUT III) e é limitada a norte pelos municípios de Vila Verde e Amares, a oeste por Barcelos, a este pela Póvoa de Lanhoso e a sul e sudeste

faz fronteira com os municípios de Vila Nova de Famalicão e Guimarães. Com a reorganização administrativa das freguesias estabelecida no Regime Jurídico das Autarquias Locais, Lei 75/2013 de 12 de setembro, na sua redação atual, as 62 freguesias que possuía encontram-se atualmente agregadas em 37 freguesias/uniões de freguesias (INE, 2018). Possui como principais rios o Rio Cávado, que comanda a hidrografia no setor norte, constituindo uma fronteira natural do município, e o Rio Este, que é um dos principais afluentes do Rio Ave e que percorre o centro urbano do município (fig. 1).

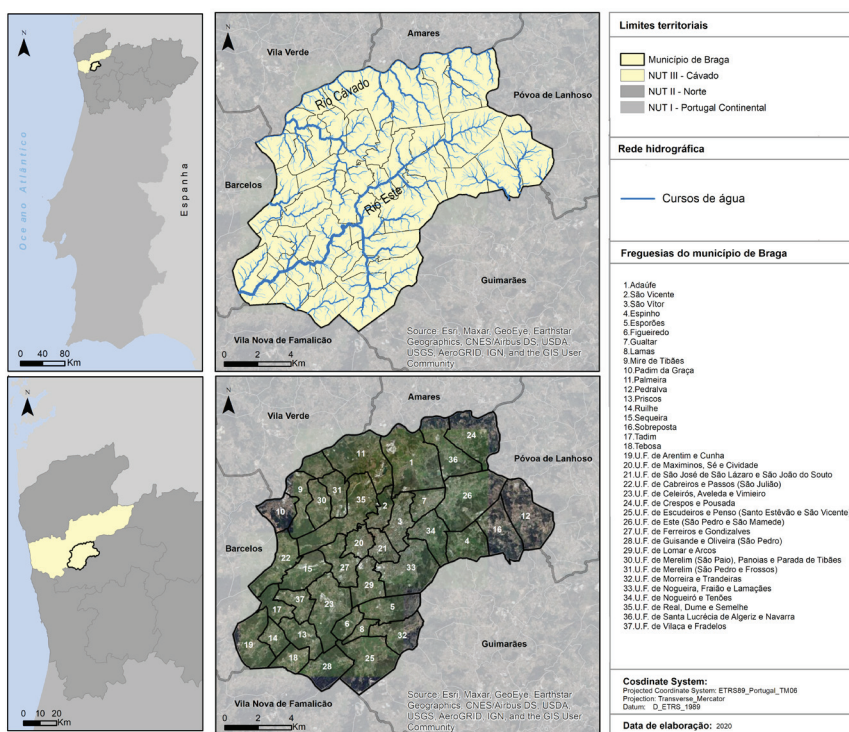


Fig. 1 - Enquadramento geográfico do município de Braga
(Fonte: CMB, 2020; DGT, 2019; SNIRH, 2020).

Fig. 1 - Geographical setting of the municipality of Braga
(Source: CMB, 2020; DGT, 2019; SNIRH, 2020).

Neste território os fenómenos hidrológicos são frequentes, causando consequências negativas para o ambiente, sociedade e economia. Cabe assim ao

Homem atuar com o intuito de prevenir estes fenómenos e de minimizar os seus impactes. O direito a uma maior segurança e a uma melhor qualidade do ambiente é uma expectativa crescente da sociedade, pelo que é essencial identificar e delimitar as áreas de risco para que estas sejam passíveis de uma aplicação de medidas, que visem prevenir os cidadãos e minimizar prejuízos, imprescindíveis numa gestão do território eficiente (Zêzere *et al.*, 2006).

Assim, o objetivo principal deste trabalho passou por adaptar e desenvolver uma metodologia para a elaboração de uma cartografia de risco hidrológico, o que resultou na delimitação do município de Braga em cinco áreas de risco diferentes que vão desde o risco “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “elevado”, a “muito elevado”, permitindo identificar as áreas a dar uma atenção reforçada.

Metodologia para a adaptação e elaboração de uma cartografia de risco hidrológico

Esta metodologia teve como base estudos realizados anteriormente no âmbito do projeto FORLAND, que versam sobre o risco hidrológico, sendo posteriormente adaptada face ao território do município de Braga.

Foi assim estabelecido um modelo de risco tendo como base três componentes de risco: a perigosidade, a exposição e a vulnerabilidade social (fig. 2).

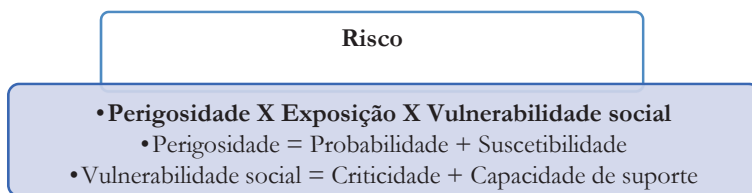


Fig. 2 - Modelo de risco.

Fig. 2 - Risk model.

De forma a dar corpo às componentes de risco foram selecionados e agrupados doze indicadores relevantes no território, em função das suas especificidades naturais, humanas e mistas, que determinam e influenciam o risco hidrológico (fig. 3).

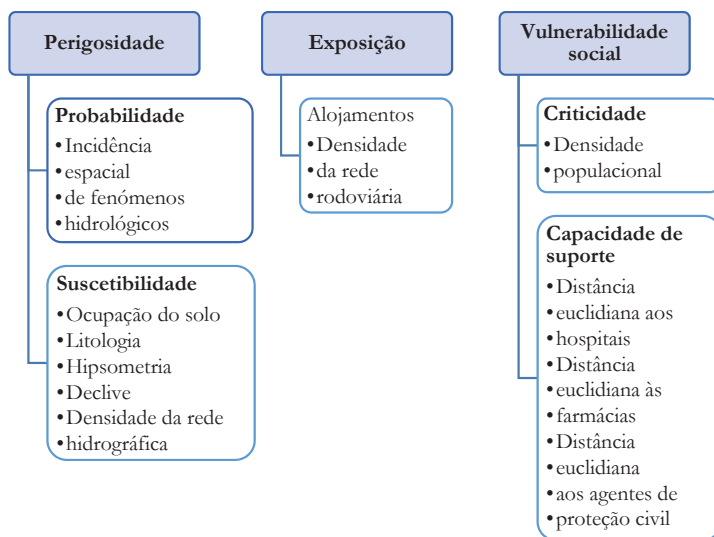


Fig. 3 - Componentes do risco.

Fig. 3 - Risk components.

A triagem destes indicadores resultou da pesquisa e leitura bibliográfica, sustentada em estudos¹ que aplicam indicadores para caracterizar o risco hidrológico e no levantamento de fontes de informação sobre como as particularidades do território podem influenciar a materialização do risco hidrológico.

Perigosidade

Probabilidade

- Incidência espacial de fenômenos hidrológicos:

Analisar o histórico de ocorrências é crucial, pois para além de permitir verificar a existência de padrões temporais, permite identificar as áreas recorrentemente

¹ Pereira, *et al.* (2019); Santos *et al.* (2015); Santos *et al.* (2019a); Santos *et al.* (2019b); Santos *et al.* (2019c); Santos *et al.* (2020); Tavares *et al.* (2018).

afetadas, ou seja, determinar a incidência espacial do fenómeno. Deste modo, o risco tem um valor quantificável (Almeida, 2014).

Umas das preocupações fundamentais associadas ao risco, tendo em conta os processos de decisão, decorre da necessidade de comparar, no presente, determinados efeitos cuja ocorrência num futuro é considerada com diferentes graus de convicção ou incerteza (Almeida, 2014). Assim, através da representação da incidência espacial, é possível identificar os locais onde estes fenómenos ocorrem recorrentemente, tendo estes, por isso, maior probabilidade de ocorrer nesse mesmo local, num futuro (fig. 4).

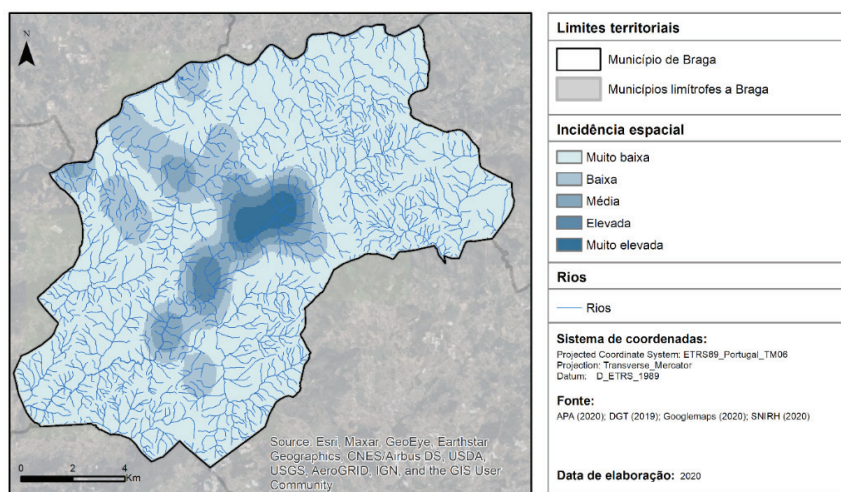


Fig. 4 - Incidência espacial de fenómenos hidrológicos no município de Braga (Fonte: APA, 2020; Googlemaps, 2020, SNIRH, 2020).

Fig. 4 - Spatial incidence of hydrological phenomena in the municipality of Braga (Source: APA, 2020; Googlemaps, 2020, SNIRH, 2020).

Suscetibilidade

• Ocupação do solo

O solo é um recurso natural suscetível a ações antrópicas que influenciam as suas características e alteram as suas propriedades. Assim, o Homem confere ao solo diversas ocupações.

No município de Braga a ocupação do solo corresponde a 8 classes nominais: “territórios artificializados”, “agricultura”, “pastagens”, “superfícies agroflorestais”, “florestas”, “matos”, “espaços descobertos ou com pouca vegetação” e “massas de água superficiais” (fig. 5).

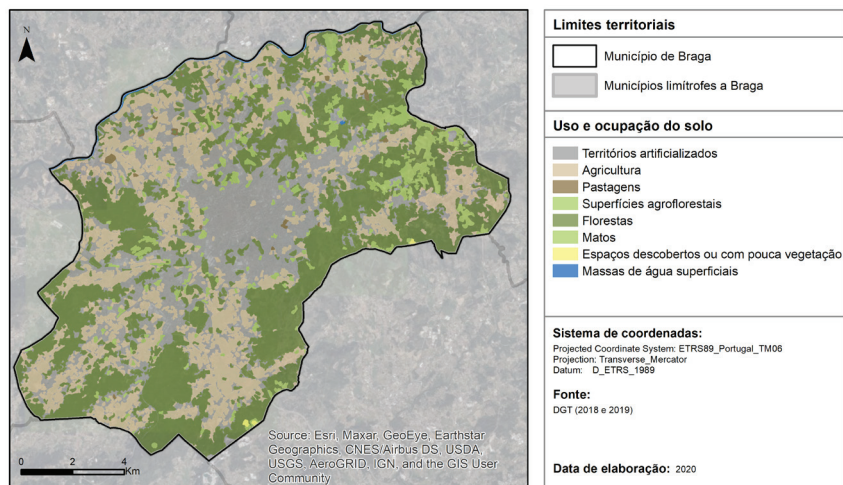


Fig. 5 - Ocupação do solo no município de Braga (Fonte: DGT, 2018 e 2019).

Fig. 5 - Land occupation in the municipality of Braga (Source: DGT, 2018 and 2019).

Cada ocupação do solo possui diferentes características que, por sua vez, induzem a diferentes manifestações do risco hidrológico.

As que propiciam este risco estão associadas às áreas próximas da sua génese, os cursos de água, mas também associadas a áreas impermeáveis que dificultam a infiltração e promovem a escorrência e consequentemente a acumulação de águas à superfície. Por outro lado, as que minimizam este risco estão associadas a áreas com uma boa cobertura vegetal, dado que a vegetação promove a infiltração das águas no solo e diminui a escorrência que, por sua vez, diminuem as águas à superfície.

- *Litologia*

Estudar a permeabilidade da litologia que compõe o território é algo significativo quando se trata de risco hidrológico. A permeabilidade consiste na maior ou menor

capacidade de uma rocha permitir a passagem de água, sem alterar a sua estrutura. Quanto mais permeáveis forem as rochas maior é a infiltração e, consequentemente, menor é o escoamento superficial. Por outro lado, quanto mais impermeáveis forem as rochas, menor é a infiltração e, a escorrência será maior, influenciando as águas à superfície.

O território em estudo apresenta 7 litologias: “granito de Celeirós e Vieira do Minho”, “granito de Braga”, “granito do Sameiro”, “granito de Briteiros”, “granito de Gondizalves”, “metassedimentos do Paleozóico” e “depósitos de cobertura” (fig. 6).

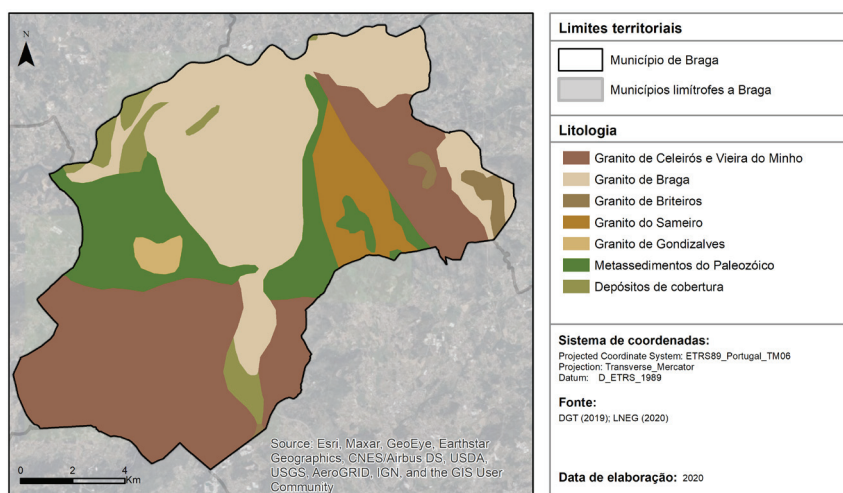


Fig. 6 - Litologia no município de Braga (Fonte: DGT, 2019; LNEG, 2020).

Fig. 6 - Lithology in the municipality of Braga (Source: DGT, 2019; LNEG, 2020).

O município de Braga é dominado pela ocorrência de rochas graníticas de idade Hercínica, por metassedimentos do Paleozóico e depósitos de cobertura (Ferreira *et al.*, 2000). Estas rochas têm permeabilidades diferentes o que interfere na infiltração e escorrência (Ferreira *et al.*, 2000), condicionando o risco hidrológico.

Os granitos de Braga apresentam generalizadamente uma permeabilidade média a baixa ou muito baixa (Ferreira *et al.*, 2000). O xisto é uma rocha metamórfica, caracterizada por ser de muito baixa permeabilidade (Oliveira e Fontoua, 2019). Já os depósitos de cobertura têm uma permeabilidade elevada (Ferreira *et al.*, 2000).

- *Relevo*

O risco hidrológico também é influenciado pelo relevo da bacia hidrográfica.

Neste território, as altitudes mais baixas predominam no setor norte, situadas na margem esquerda do Rio Cávado. A contrastar, as altitudes mais elevadas verificam-se a este, onde se situa o Monte do Sameiro, com 572 metros (CMB, 2001). No setor sul e no setor oeste o terreno é um misto de colinas e vales. O centro do município está implantado sobre uma plataforma que varia entre os 100 a 200 metros de altitude (fig. 7).

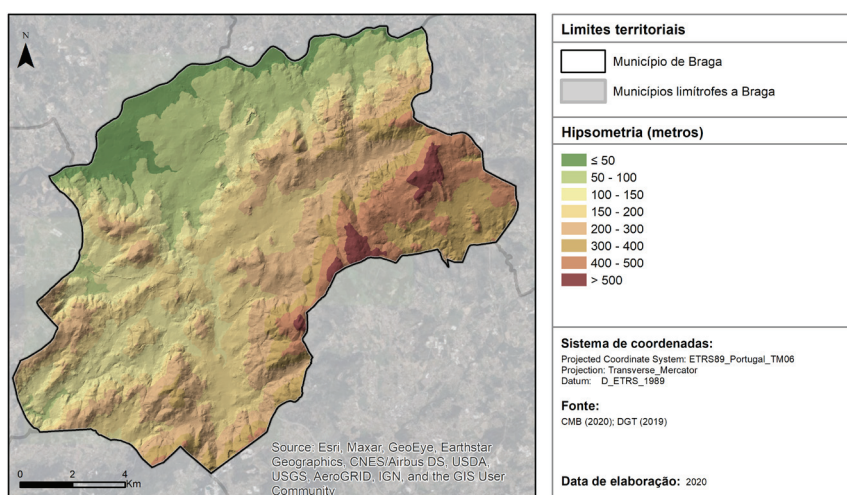


Fig. 7 - Hipsometria município de Braga (Fonte: CMB, 2020, DGT, 2019)

Fig. 7 - Hypsometry in the municipality of Braga (Source: CMB, 2020, DGT, 2019).

Relativamente à distribuição dos declives, esta também não é uniforme. Os declives da classe entre os 0% e os 4% acompanham a margem esquerda do rio Cávado e ao longo do vale do rio Este e do vale do rio Veiga, o que é explicado pelas baixas altitudes aí encontradas. Os declives mais acentuados (> 16%) localizam-se onde começam a surgir cotas mais elevadas (fig. 8).

Consequentemente, vamos observar uma correspondência das áreas mais elevadas com os declives mais acentuados, promovendo, muito provavelmente, um maior escoamento superficial das águas provenientes da precipitação, que serão

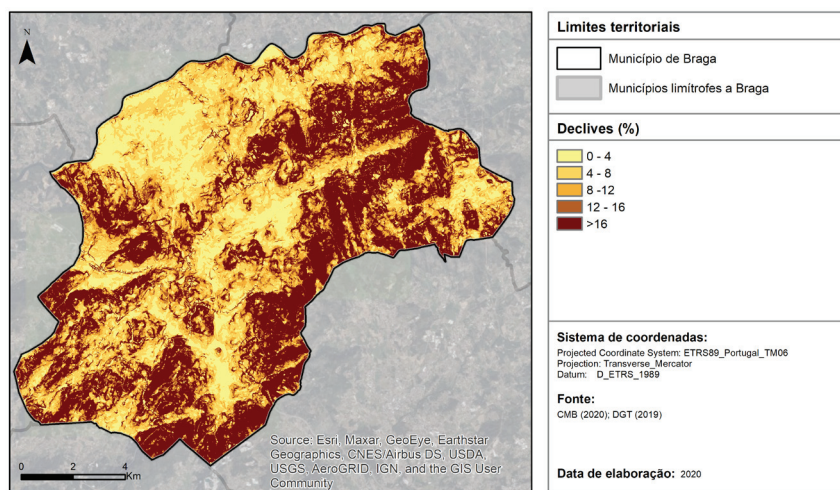


Fig. 8 - Declives no município de Braga (Fonte: CMB, 2020, DGT, 2019).

Fig. 8 - Slopes in the municipality of Braga (Source: CMB, 2020, DGT, 2019).

conduzidas, através de vales mais ou menos encaixados, para as áreas de menor altitude, que são também as que apresentam menores declives, contribuindo para a ocorrência, em situações mais críticas, de fenómenos hidrológicos extremos, como sejam as inundações ou mesmo alguns alagamentos.

- *Densidade da rede hidrográfica*

O Homem sempre procurou a proximidade dos cursos de água para se instalar (Rebelo, 1997), contudo, é nessas áreas que se verifica uma maior suscetibilidade de ocorrência de fenómenos hidrológicos associados.

O município de Braga apresenta uma densa rede hidrográfica que advém da elevada pluviosidade e da morfologia do terreno (CMB, 2015) (fig.9).

Este território é constituído por parte de duas bacias hidrográficas, a norte a bacia do Cávado e, a sul desta, a bacia hidrográfica do Ave. No município, associadas a estas bacias, correm, como cursos de água principais, o rio Cávado e o rio Este (APA, 2019), assim como outros seus afluentes (CMB, 2015).

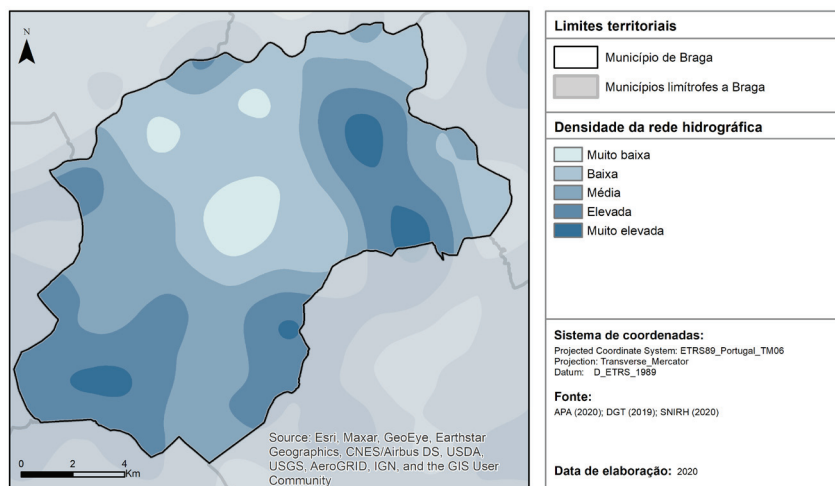


Fig. 9 - Densidade da rede hidrográfica no município de Braga
 (Fonte: APA, 2020; DGT, 2019; SNIRH, 2020).

Fig. 9 - Density of the hydrographic network in the municipality of Braga
 (Source: APA, 2020; DGT, 2019; SNIRH, 2020).

Exposição

- Alojamentos*

Os fenómenos hidrológicos causam diversas consequências negativas, afetando a qualidade de vida das populações, que residem no município, podendo causar destruições, que comprometam o alojamento dos indivíduos levando mesmo a casos de desalojamento.

A freguesia que regista um maior número de alojamentos é São Vitor (16619 alojamentos), seguindo-se a união de freguesias de Maximinos, Sé e Cidade (7522 alojamentos) e São José de São Lázaro e São João do Souto (7388 alojamentos) (fig. 10).

- Densidade da rede rodoviária*

A ocorrência de fenómenos hidrológicos pode condicionar a circulação de viaturas no município. De facto, Braga é um município com um caracter

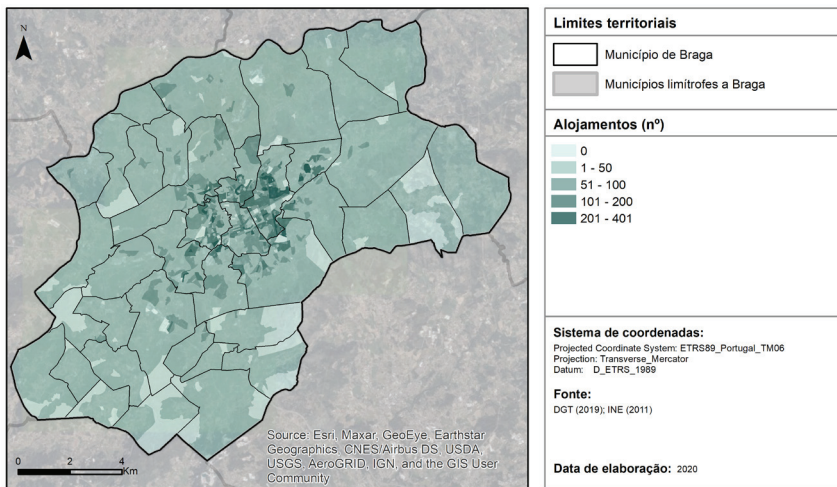


Fig. 10 - Total de alojamentos no município de Braga (Fonte: DGT, 2019; INE, 2021).

Fig. 10 - Total dwellings in the municipality of Braga (Source: DGT, 2019; INE, 2021).

essencialmente urbano demonstrado pela cartografia da rede viária, que demonstra a sua elevada densidade (CMB, 2020), onde o excesso de água pode ocasionar dificuldades nos acessos ou até mesmo provocar o corte das vias (fig. 11).

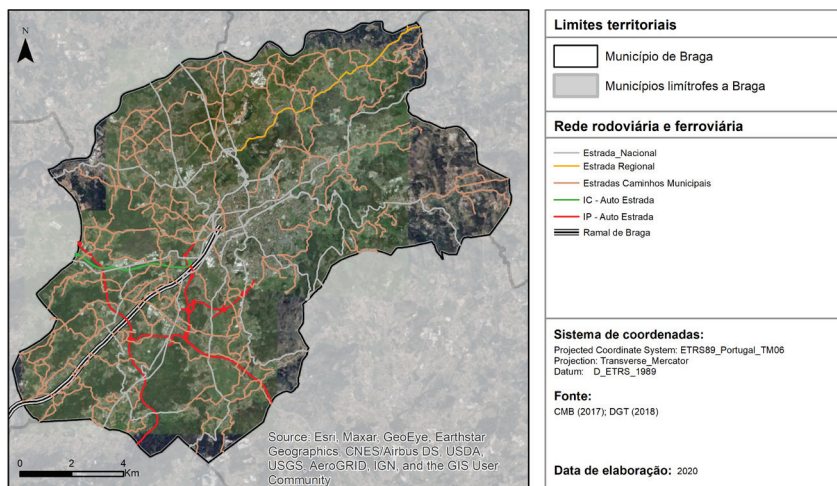


Fig. 11 - Rede rodoviária no município de Braga (Fonte: CMB, 2017; DGT, 2018).

Fig. 11 - Road network in the municipality of Braga (Source: CMB, 2017; DGT, 2018).

Vulnerabilidade social

Criticidade

- *Densidade populacional*

A densidade populacional é um indicador importante na medida em que demonstra a relação entre a população e a superfície do território (INE, 2020), indicando os locais onde se encontram as maiores e as menores concentrações de população. Assim, é possível identificar os locais onde a criticidade pode ser maior e consequentemente os locais que necessitam de mais operacionais e meios para dar resposta em situações de manifestação de risco.

A freguesia com maior densidade populacional é a de São Vítor, com 7258,46 hab/km², seguindo-se a união de freguesias de São José de São Lázaro e São João do Souto, com 5881,10 hab/km² e a união de freguesias de Maximinos, Sé e Cividade, com 5676,88 hab/km² (INE, 2020). A freguesia de menor densidade populacional é a de Pedralva, com apenas 137,58 hab/km², segue-se a união de freguesias de Crespos e Pousada, com 183,56 hab/km², e a freguesia de Sobreposta, com 217,55 hab/km² (INE, 2020).

Como seria de esperar, é notório que as subsecções estatísticas das freguesias centrais são as áreas que detêm maior densidade, enquanto que as subsecções periféricas são as que registam menor densidade populacional existindo mesmo locais com o registo de 0 hab/km² (fig. 12).

Capacidade de suporte

- *Distância euclidiana aos hospitais*

Como referido anteriormente, as ocorrências de fenómenos hidrológicos podem causar consequências entre as quais ferimentos e até mesmo perdas de vidas humanas. Pelo que os hospitais são um equipamento de saúde a ser incuído nas componentes que determinam e influenciam o risco.

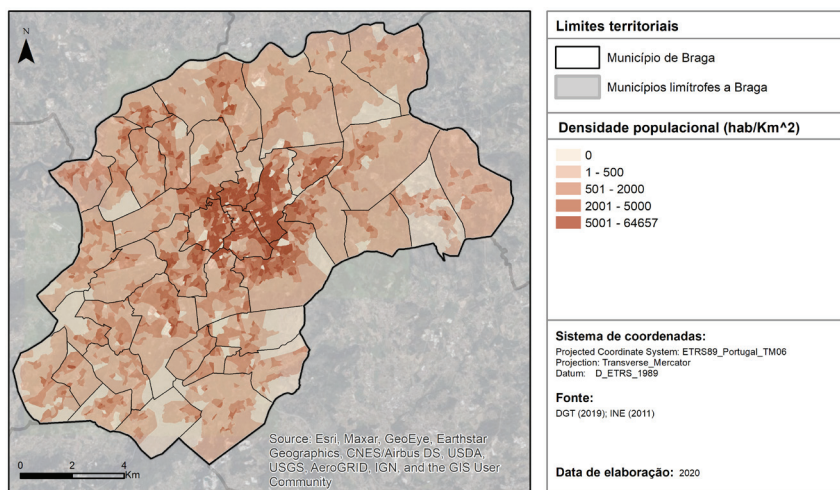


Fig. 12 - Densidade populacional no município de Braga (Fonte: DGT, 2019, INE, 2021).

Fig. 12 - Population density in the municipality of Braga (Source: DGT, 2019, INE, 2021).

No município de Braga existem 5 unidades hospitalares, que se encontram localizados, sobretudo, na área urbana do município (fig. 13).

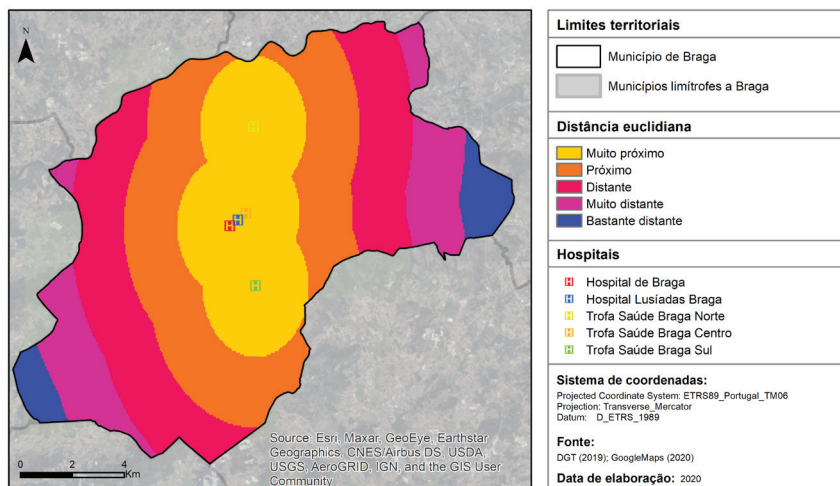


Fig. 13 - Distância euclidiana aos hospitais no município de Braga (Fonte: DGT, 2019 Googlemaps, 2020).

Fig. 13 - Euclidean distance to hospitals in the municipality of Braga (Source: DGT, 2019 Googlemaps, 2020).

- *Distância euclidiana às farmácias*

As farmácias são estabelecimentos com uma grande proximidade das populações, e nos dias de hoje a sua função vai muito além da simples dispensa de medicamentos aos utentes (Leal, 2014).

No município de Braga, existem 38 farmácias (Infarmed, 2020), as quais se encontram distribuídas por todo o município, com predominância nas freguesias centrais (fig. 14).

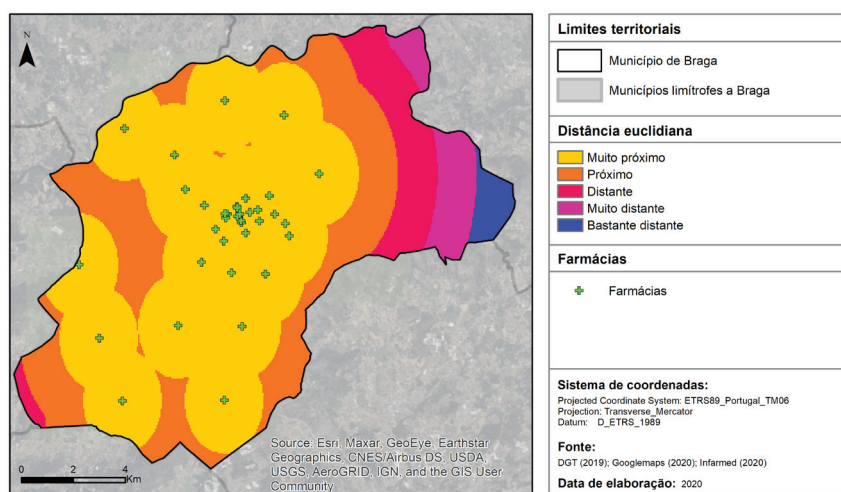


Fig. 14 - Distância euclidiana às farmácias no município de Braga
 (Fonte: DGT, 2019 Googlemaps, 2020).

*Fig. 14 - Euclidean distance to pharmacies in the city of Braga
 (Source: DGT, 2019 Googlemaps, 2020).*

- *Distância euclidiana aos agentes de proteção civil*

Os agentes de proteção civil são entidades fundamentais em caso de ocorrências de fenómenos hidrológicos pois são aqueles que, sob a direção de chefias próprias, exercem funções de aviso, alerta, apoio e socorro, de acordo com as suas jurisdições próprias.

Na generalidade os agentes de proteção civil estão sobretudo localizados na área urbana (fig. 15).

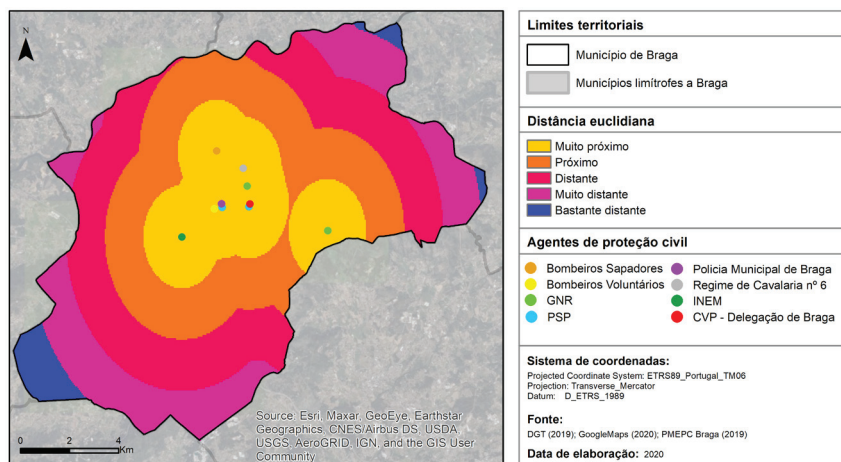


Fig. 15 – Distância euclidiana aos agentes de proteção civil no município de Braga (Fonte: DGT, 2019 Googlemaps, 2020).

Fig. 15 – Euclidean distance to civil protection agents in the municipality of Braga (Source: DGT, 2019 Googlemaps, 2020).

Implementação da metodologia de cartografia do risco

Tendo em vista a elaboração de uma cartografia de risco hidrológico, a metodologia utilizada baseou-se numa análise espacial em ambiente SIG.

Primeiramente foi definida uma escala de risco, dispondo esta de cinco níveis de risco: “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “elevado” e “muito elevado”, sendo dessa forma possível atribuir a cada classe dos indicadores, o nível de risco correspondente (fig. 16).



Fig. 16 – Níveis de risco.

Fig. 16 – Risk levels.

Seguidamente foi elaborada a respetiva cartografia com apoio do *software* ArcGis versão 10.6.1. da ESRI e foi utilizada a ferramenta *raster calculator*, disponível no software SIG para a gerar, uma vez que esta é uma ferramenta de geoprocessamento que permite criar e executar expressões de álgebra de mapas (ESRI, 2020).

Com a finalidade de obter uma cartografia de risco hidrológico válida foi o seguinte o processo de atribuição de ponderações.

Para a perigosidade pretendeu-se harmonizar os seus subcomponentes de forma a atribuir a ambos, probabilidade e suscetibilidade, a importância de 50%.

Deste modo, o indicador incidência de fenómenos hidrológicos, possui 50% da percentagem total da perigosidade.

Perigosidade

No que concerne à suscetibilidade, foi atribuída maior ponderação à densidade da rede hidrográfica, 20%, uma vez que nesta está implícita a génese das cheias e inundações e indiretamente a ocorrência de alagamentos em momentos de precipitação.

Depois seguem-se dois indicadores que se completam por estarem relacionados com a permeabilidade do território.

A ocupação do solo detém uma ponderação de 15%, uma vez que a maior parte dos fenómenos hidrológicos ocorrem nas áreas urbanas que se traduzem por solos impermeáveis. Segundo Teixeira (2005), os fenómenos hidrológicos são sobretudo um problema urbano. Nestas áreas as águas têm dificuldades na infiltração e, portanto, o escoamento superficial é promovido. Segue-se a litologia, uma vez que está relacionada com a permeabilidade das rochas que compõem o território, sendo por isso atribuída a ponderação de 5%.

O relevo, no seu conjunto, segue-se com 10% de ponderação. Este encontra-se subdividido em hipsometria e declives, ambos com 5% de ponderação, uma vez que estes se completam, pois, as cheias, inundações e alagamentos ocorrem simultaneamente em áreas de menor altitude, mas também com menor declive (aplanadas).

Exposição

A componente exposição, é composta por apenas dois indicadores, nomeadamente os alojamentos e a densidade da rede rodoviária.

Ao número de alojamentos por subsecção estatística foi atribuída a ponderação de 60%. Isto porque para além de representarem uma realidade numérica, também se destinam à habitação dos indivíduos, estando expostos de tal forma que, em caso de ocorrências de fenómenos hidrológicos graves, o lar dos residentes pode ser comprometido, existindo mesmo possibilidade de situações de desalojamento.

No que concerne à densidade da rede rodoviária, optou-se por atribuir 40%. Uma vez que esta foi representada através da utilização de uma ferramenta de geoprocessamento aplicada às linhas da rede rodoviária, não se revela uma realidade absoluta. Por esse motivo atribuiu-se maior ponderação aos alojamentos. Contudo, este indicador também está exposto a fenómenos hidrológicos de tal modo que podem ocorrer situações que condicionem uma circulação fluída e segura. Sendo que, por isso, estas ponderações não foram muito díspares, visando o equilíbrio.

Vulnerabilidade social

Relativamente à vulnerabilidade social, também se pretendeu uniformizar os seus subcomponentes de forma a atribuir a ambos, criticidade e vulnerabilidade social, a importância de 50%.

Assim, o indicador correspondente à densidade populacional, possui 50% do total da criticidade.

As ponderações dos indicadores que compõem a capacidade de suporte, foram atribuídas de forma a que os hospitais e os agentes de proteção civil tivessem a mesma importância (20%), uma vez que os hospitais são essenciais para tratar os casos mais graves que comprometam a saúde da população, e os restantes agentes de proteção civil são os responsáveis por prestarem o devido socorro às populações em casos de ocorrência de fenómenos hidrológicos. Já as farmácias dispõem de 10% de ponderação uma vez que complementam, como um apoio, os hospitais, pois para além da dispensa de medicamentos (Leal, 2014), disponibilizam um

conjunto de serviços de saúde, permitindo evitar algumas deslocações aos hospitais, possibilitando um melhor funcionamento das urgências (Lisbonph, 2020).

Nesta perspetiva, deve-se dar destaque ao quadro que se segue (TABELA I).

TABELA I - Ponderações para a cartografia de risco hidrológico no município de Braga.

TABLE I - Weightings for hydrological risk mapping in the municipality of Braga.

Componente	Subcomponentes	Indicadores		Ponderações (%)
Perigosidade	Probabilidade	Incidência espacial de fenómenos hidrológicos		50
	Suscetibilidade	Ocupação do solo		15
		Litologia		5
		Relevo	Hipsometria	5
			Declive	5
		Densidade da rede hidrográfica		20
Exposição		Alojamentos		60
		Densidade da rede rodoviária		40
Vulnerabilidade Social	Criticidade	Densidade populacional		50
	Capacidade de suporte	Distância euclidiana aos hospitais		20
		Distância euclidiana às farmácias		10
		Distância euclidiana aos agentes de proteção civil		20

Depois de realizados todos os ajustes e estabelecidos todos estes parâmetros, os dados foram inseridos na ferramenta *raster calculator*, do *software* ArcGis versão 10.6.1. da ESRI, procedendo-se ao cálculo da perigosidade, da exposição e da vulnerabilidade através das seguintes equações (equações 1, 2 e 3).

Equação 1: Perigosidade Perigosidade = (incidência espacial X 0.5) + (ocupação do solo X 0.15) + (litologia X 0.05) + (hipsometria X 0.05) + (declive X 0.05) + (densidade da rede hidrográfica X 0.2)
Equação 2: Exposição Exposição = (alojamentos X 0.6) + (densidade da rede rodoviária X 0.4)
Equação 3: Vulnerabilidade social Vulnerabilidade social = (densidade populacional X 0.5) + (distância euclidiana aos hospitais X 0.2) + (distância euclidiana às farmácias X 0.1) + (distância euclidiana aos agentes de proteção civil X 0.2)

Para os mapas da perigosidade, da exposição e da vulnerabilidade social, o método de classificação de dados adotado foi o *natural breaks* em 5 classes.

Posteriormente, para se obter a cartografia de risco hidrológico, foi implementada a seguinte equação no *raster calculator* (equação 4).

Equação 4: Risco hidrológico

$$\text{Risco hidrológico} = \text{Perigosidade} \times \text{Exposição} \times \text{Vulnerabilidade social}$$

De forma a finalizar a cartografia de risco hidrológico, método de classificação de dados utilizado foi o quantile, estabelecido em 5 classes: “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “elevado” e “muito elevado”. Neste método cada classe contém um número igual de recursos, não existindo níveis de risco vazios ou níveis de risco com poucos ou muitos valores (ESRI, 2020).

Resultados da cartografia de risco hidrológico no município de Braga

Após a implementação dos procedimentos para cálculos dos diversos indicadores, através da álgebra de mapas, obtivemos a carta de perigosidade, de exposição e vulnerabilidade social, bem como a carta de risco hidrológico.

Assim constata-se que a distribuição da perigosidade é bastante irregular no conjunto do território analisado. A perigosidade “muito baixa” verifica-se sobretudo na periferia norte. A perigosidade “baixa” predomina no território e envolve todo centro do município. A perigosidade “média” localiza-se um pouco por todo o município, das periferias em direção ao centro, embora com menor expressão. Já a perigosidade “elevada” detém a menor área e observa-se principalmente circundando núcleo urbano, enquanto que a perigosidade “muito elevada” destaca-se pelo facto de abranger o troço do rio Este correspondendo ao centro urbano (fig. 17).

Relativamente à exposição, a classe “muito baixa” encontra-se essencialmente nas periferias do município, enquanto que a “baixa” é a que detém maior área envolvendo o centro. A exposição “média” observa-se ao longo de manchas que ligam a periferia do município ao seu centro, as “elevadas” rodeiam o centro urbano e as “muito elevadas” concentram-se no centro urbano do território (fig. 18).

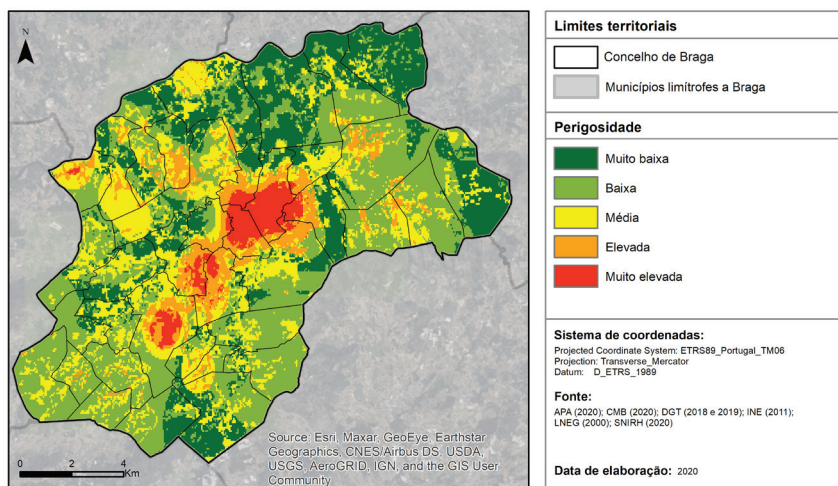


Fig. 17 - Carta de perigosidade.

Fig. 17 - Hazard map.

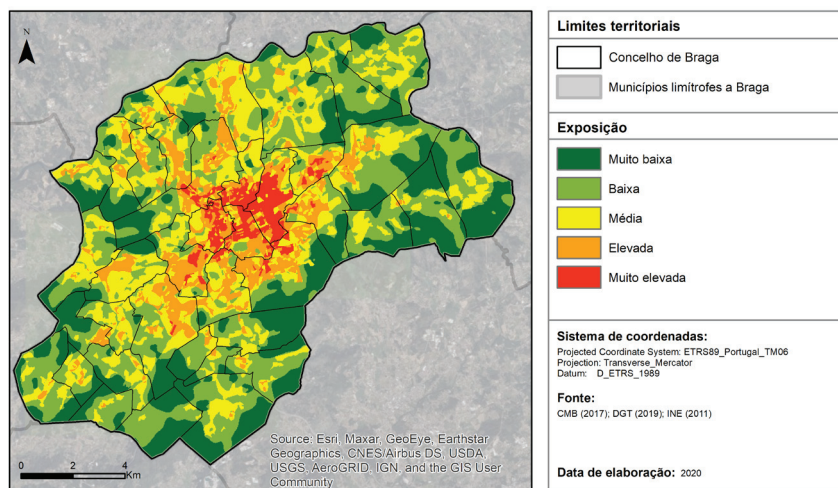


Fig. 18 - Carta de exposição.

Fig. 18 - Exposure map

De forma geral, verifica-se que à medida que nos afastamos do centro do município, a vulnerabilidade social (não diretamente ligada ao risco hidrológico) passa gradualmente de “muito baixa” a “muito elevada”, isto porque os hospitais, farmácias e agentes de proteção civil estão maioritariamente concentrados no centro

do município, e quanto mais distante estamos destes serviços de apoio maior será a distância a percorrer e consequentemente maior será o tempo de resposta, da ajuda e do socorro. Contudo, é também no centro deste território que se verifica maior densidade populacional e é por isso que a área urbana apresenta tanto uma vulnerabilidade “muito baixa” e “baixa”, atenuada devido à proximidade com os elementos referidos anteriormente, mas também “média”, “elevada” e “muito elevada” devido às áreas com maior densidade populacional (fig. 19).

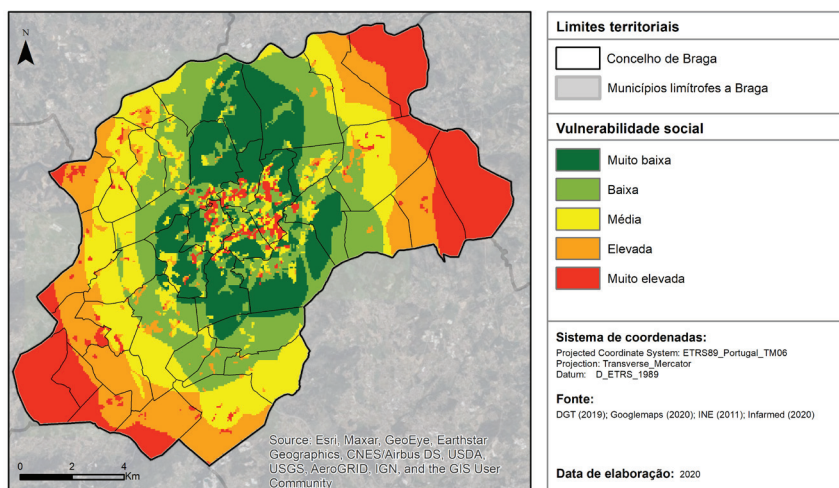


Fig. 19 - Carta de vulnerabilidade social.

Fig. 19 - Social vulnerability map.

Relativamente à cartografia de risco hidrológico no município de Braga, esta combina de forma geral todos os indicadores dos componentes de risco. A classe de risco “muito baixo” predomina no território, sendo de destacar o setor este, assim como o setor norte. O risco “baixo” observa-se maioritariamente a sul e a nordeste enquanto que as áreas de risco “médio” se encontram espalhadas desde as periferias até ao centro. As áreas de risco “elevado” geralmente envolvem as áreas de risco “muito elevado”, sendo que este nível de risco “muito elevado” é o que detém menor área (TABELA II). Contudo, observa-se uma mancha significativa relacionada com o percurso do rio Este, destacando-se o centro urbano por onde este passa, mas também algumas áreas no setor oeste (fig. 20).

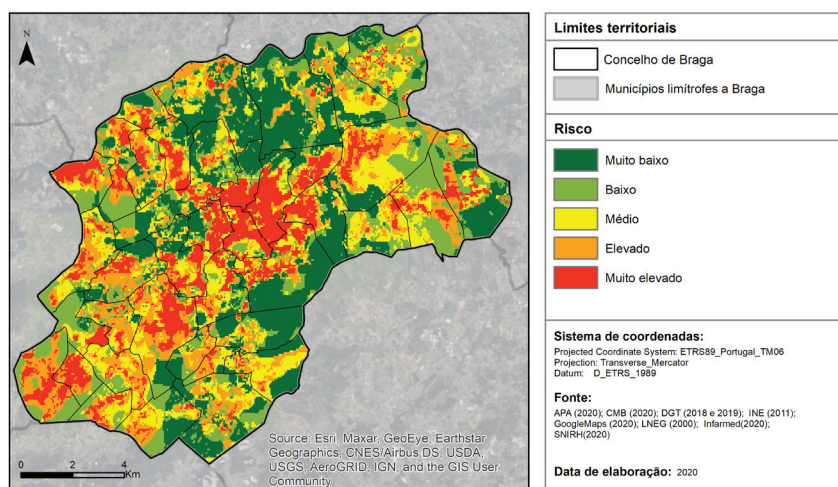


Fig. 20 - Cartografia de risco hidrológico.

Fig. 20 - Hydrological risk mapping.

TABELA II – Área e % de risco hidrológico no município de Braga.

TABLE II - Area and % of hydrological risk in the municipality of Braga.

Escala	Muito baixo	Baixo	Médio	Elevado	Muito elevado
Área em km ²	47.47	36.76	33.63	37.21	28.32
%	25.89	20.04	18.34	20.29	15.44

Considerações finais

Uma vez produzida a cartografia de risco hidrológico para o município de Braga, foi possível identificar e delimitar as áreas com diferentes níveis de risco.

Apesar das áreas de risco hidrológico “muito elevado” deterem a menor percentagem, correspondem áreas onde é requerida uma atenção especial. Estas áreas verificam-se de forma contínua entre as freguesias, não apresentando barreiras às mesmas, contudo é importante evidenciá-las no sentido de se ter uma noção espacial do risco. São, portanto, de salientar as áreas correspondentes:

- A todo o troço do rio Este:
 - A montante: a união de freguesias de Este (São Pedro e São Mamede), a freguesia de Gualtar, a união de freguesias de Nogueiró e Tenões;

- Na área urbana: a freguesia de São Vítor, a freguesia de São Vicente, a união de freguesias de São José de São Lázaro e São João do Souto, a união de freguesias de Maximinos, Sé e Cidade;
- A jusante: a união de freguesias de Ferreiros e Gondizalves, a união de freguesias de Celeirós, Aveleda e Vimieiro, a freguesia de Ruilhe e a união de freguesias de Arentim e Cunha.
- No setor oeste do município destaca-se a freguesia de Padim da Graça junto ao rio Cávado e em algumas áreas da união de freguesias de Cabreiros e Passos (São Julião), a freguesia de Mire de Tibães, a união de freguesias de Merelim (São Paio), Panoias e Parada de Tibães, a união de freguesias de Merelim (São Pedro e Frossos) e a união de freguesias de Real, Dume e Semelhe.

De um modo geral, foi verificado que as áreas de risco “muito elevado” estão simultaneamente relacionadas com a localização das áreas próximas aos cursos de água, das áreas com altitudes baixas e declives suaves, com ocupações do solo correspondente ao tecido artificializado e das áreas com uma elevada densidade populacional, que por sua vez também se relacionam com as áreas com um maior número de alojamentos, das áreas com uma rede rodoviária mais densa e das áreas com uma maior incidência espacial.

O que permitiu constatar que, apesar do risco hidrológico estar normalmente inserido no grande grupo dos riscos naturais, uma vez que a sua manifestação se encontra associada às características do meio natural, este também apresenta várias componentes antrópicas associadas que decorrem de ações do homem, sobretudo relacionadas com a evolução da urbanização, sendo de destacar as construções nas proximidades dos cursos de água, o aumento das taxas de impermeabilização e as obstruções nos cursos de água e nos sistemas de drenagem.

A proteção absoluta é um “mito” irão existir sempre riscos residuais (Costa et. al., 2014, pp: 287), assim numa tentativa de controlar o risco hidrológico no município de Braga, é essencial apostar em medidas de autoproteção, prevenção e minimização.

Estas medidas não se traduzem numa eliminação da possibilidade de ocorrências de fenómenos hidrológicos, mas antes na redução do risco que lhes está associado, quer em termos de vidas, quer em termos de bens (APA, 2019).

Nesta lógica, deve-se conferir aos cidadãos bracarenses conhecimentos e competências essenciais para uma cidadania ativa e responsável perante os riscos de

modo a instituir uma cultura de autoproteção com base no conhecimento das áreas com maior de risco hidrológico no território.

O conhecimento das áreas de risco mais elevado permite apostar em estratégias de planeamento, ordenamento e de gestão do sistema urbano em conciliação com princípios de sustentabilidade e desenvolvimento.

Conhecer e agir no paradigma de “sociedade de risco” exige novas competências pessoais e, portanto, é essencial que, no futuro, esta gestão do risco seja objetiva, participativa e contínua, de forma que seja melhorada a qualidade de vida da população assim como a qualidade do ambiente.

Bibliografia

- Almeida, A. B. (2014). Gestão do risco e da incerteza: conflitos e filosofia subjacente. In *Gestão do risco e da incerteza: conceitos e filosofia subjacente. I Diálogo entre Ciência e Utilizadores*. Imprensa da Universidade de Coimbra. DOI: http://dx.doi.org/10.14195/978-972-8330-23-1_2
- CÂMARA MUNICIPAL DE BRAGA (2001). *Relatório da Avaliação da Execução do PDMB*.
- CÂMARA MUNICIPAL DE BRAGA (2014). *PDMB – Estudos temáticos - Carta de risco de cheias e inundações*.
- CÂMARA MUNICIPAL DE BRAGA (2014). *Revisão do PDMB – Relatório dos estudos temáticos*.
- CÂMARA MUNICIPAL DE BRAGA (2015). *Revisão do PDMB - Avaliação Ambiental Estratégica – Relatório*.
- Costa, F. S. (2020). *Riscos de inundação e suas manifestações*. Catástrofes naturais uma abordagem global. Imprensa da universidade de Coimbra, 71-117. DOI: https://doi.org/10.14195/978-989-26-1936-1_4
- Costa, F. S., Lourenço, L., Ferreira, C., & Gouveia, M. (2014). Medidas preventivas na gestão integrada do risco de inundação em Portugal: o planeamento participativo e o papel das comunidades locais.. In *Multidimensão e territórios de risco*. Imprensa da Universidade de Coimbra e RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, 287-290. DOI: http://dx.doi.org/10.14195/978-989-96253-3-4_48
- Dagnino, R. S., Junior, S. C. (2007). *Risco ambiental: conceitos e aplicações*. CLIMEP-Climatologia e Estudos da Paisagem, volume 2, número 2, 50–87.
- Fernandes, M. J. P. (2009). *Riscos no Concelho da Ribeira Brava movimentos de vertente cheias rápidas e inundações (Dissertação de mestrado)*. Obtenção do grau de mestre em dinâmicas sociais. Faculdade de economia. Coimbra, Portugal.
- Ferreira, N., Dias, G., Meireles, C. A. P., & Braga, M. A. S. (2000). *Notícia Explicativa da folha 5-D (Braga)*. Instituto Geológico e Mineiro.
- Gaspar, T. C. F. (2013). *Modelos de apoio à decisão para gestão de riscos de cheias em bacias hidrográficas urbanizadas (Dissertação de mestrado)*. Obtenção de grau de mestre em engenharia do Ambiente. Técnico de Lisboa. Lisboa. Portugal.

- ÍNDICE MUNICIPAL DE RISCO DE CHEIA PARA PORTUGAL (2019). Apresentação em Guimarães no XII Congresso da Geografia Portuguesa .
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (2018). *Anuário Estatístico da Zona Norte*.
- Leal, M. A. N. A. (2014). *O Farmacêutico em Farmácia Comunitária Experiência Pessoal e Profissional. (Relatório para a obtenção do grau de mestre em ciências farmacêuticas)*. Universidade da Beira Interior. Covilhã. Portugal.
- Lourenço, L., Amaro, A. (2018). *Riscos e Crises: da teoria à plena manifestação*. Imprensa da Universidade de Coimbra. Coimbra University Press, volume 6. ISBN: 978-989-26-1696-4; ISBN Digital: 978-989-26-1697-1, 523 p. DOI: <https://doi.org/10.14195/978-989-26-1697-1>
- M., Vaz, T., Meneses, B., Rilo, A., Bateira, C (2019). *Perfis municipais de risco a cheias e inundações para aplicação ao ordenamento do território em Portugal continental*. Apresentação em Lisboa no Encontro ciência '19.
- Martins, P. M. F. (2013). *Sistema de previsão e alerta de cheias e inundações (Dissertação de mestrado)*. Obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, Universidade do Minho. Guimarães. Portugal.
- Oliveira, D. A., Fontoura, S. A. B. (2019). *Simulação da operação de fraturamento hidráulico em formações de xisto*. Geociências, volume 38, número 4, 1064-1072.
- Pereira, S., Santos, P. P., Zêzere, J. L., Reis, E., Santos, M., Garcia, R., Oliveira, S., Rocha, J., Fragoso, M., Vaz, T., Meneses, B., Rilo, A., Bateira, C (2019). *Perfis municipais de risco a cheias e inundações para aplicação ao ordenamento do território em Portugal continental*. Apresentação em Lisboa no Encontro ciência '19.
- Rebelo, F. (1996). Alguns livros recentes sobre riscos, perigos e crises. *Territorium*, número 3, 61-64. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_3_11
- Rebelo, F. (1997). *Risco e crise nas inundações rápidas em espaço urbano: Alguns exemplos portugueses analisados a diferentes escalas*. Territotium, número 4, 29-47. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_4_4
- Santos, P. P. (2015). *Cheias e inundações: Avaliação, impactos e instrumentos para a gestão do risco. Tese de Doutoramento*). Obtenção do grau de doutor no ramo de doutoramento em território, risco e políticas públicas. Universidade de Lisboa. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Lisboa, Portugal.
- Santos, P. P., Pereira, S., Reis, E., Zêzere, J., Garcia, R., Oliveira, S., Santos, M. (2019a). Aplicação de um processo de análise hierárquica para a avaliação municipal da suscetibilidade a cheias rápidas em Portugal Continental. *Água e Território*, 163-180.
- Santos, P. P., Pereira, S., Zêzere, J. L., Tavares A. O., Reis, E., Garcia, R. A., Oliveira, S. C. (2020). A comprehensive approach to understanding flood risk drives at the municipal level. *Journal of Environmental Management*, 260, 110127.
- Santos, P. P., Pereira, S., Zêzere, J. L., Tavares, A. O., Reis, E., Garcia, R. A. C., Oliveira, S. C. (2019b) Índice municipal de risco de cheia para Portugal. *Apresentação em Guimarães no XII Congresso da Geografia Portuguesa*.
- Santos, P. P., Reis, E., Pereira, S., Santos, M. (2019c). A flood susceptibility model at the national scale based on multicriteria analysis. *Science of The Total Environment*, 667, 325-337.
- Smith, K. (1992). *Environmental Hazards. Assessing Risk and Reducing Disaster*.

- Tavares, O. A., Barros, J. L., Mendes, J. M., Santos, P. P., Pereira, S. (2018). Decennial comparison of changes in social vulnerability: A municipal analysis in support of risk management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. Elsevier
- Veyret, Y. (2007). Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. Em *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*, 23-79.
- Zêzere, J. L., Pereira, A. R., Morgado, P. (2006). Perigos naturais e tecnológicos no território de Portugal Continental. *Apontamentos de Geografia - Série Investigação*.

Webgrafia

- <http://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=848> (acedido 2020)
- <http://www.dgterritorio.pt/> (acedido 2020)
- http://www.dgterritorio.pt/dados_abertos/cos/ (acedido 2020)
- <https://apambiente.pt/> (acedido 2020)
- <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9> (acedido 2020)
- <https://lisbonph.pt/> (acedido 2020)
- <https://rea.apambiente.pt/> (acedido 2020)
- <https://rea.apambiente.pt/content/risco-associado-%C3%A0s-zonas-inund%C3%A1veis> (acedido 2019)
- <https://sniamb.apambiente.pt/> (acedido 2020)
- <https://sniamb.apambiente.pt/tema/1309> (acedido 2020)
- <https://snirh.apambiente.pt/> (acedido 2019)
- <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=1250> (acedido 2020)
- <https://www.esri-portugal.pt/pt-pt/o-que-sao-os-sig/overview> (acedido 2019)
- <https://www.facebook.com/municipiodebraga/posts/926289504068904/> (acedido 2020)
- <https://www.sns.gov.pt/> (acedido 2020)

SÉRIE ESTUDOS CINDÍNICOS

Títulos Publicados:

- 1 *Incêndios em Estruturas. Aprender com o Passado;*
- 2 *Educação para a Redução dos Riscos;*
- 3 *Metodologia de Análise de Riscos através de Estudos de Casos;*
- 4 *Riscos Hidrometeorológicos;*
- 5 *Pluralidade na Diversidade de Riscos;*
- 6 *Risco Sísmico - Aprender com o Passado;*
- 7 *Territórios em Risco;*
- 8 *Resiliência ao Risco;*
- 9 *Madeira Região Resiliente - Aprender com o Passado;*
- 10 *Risco de Cheias e Risco de Inundações Fluviais - Aprender com o Passado.*

Tomos em preparação:

- 11 *Ciência e Redução do Risco;*
- 12 *Geografia dos Incêndios Florestais. 50 anos de Incêndios a queimar Portugal;*
- 13 *Efeitos dos Incêndios Florestais nos Solos de Portugal.*
- 14 *Floresta, Incêndios e Educação;*
- 15 *Redução do Risco e Educação.*



Luciano Lourenço é doutorado em Geografia Física, pela Universidade de Coimbra, onde foi Professor Catedrático, encontrando-se atualmente na situação de jubilação.

É Diretor do NICIF - Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais, da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra e Presidente da Assembleia Geral da RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança.

Exerceu funções de Diretor-Geral da Agência para a Prevenção de Incêndios Florestais, Presidente do Conselho Geral da Escola Nacional de Bombeiros e Presidente da Direção da Escola Nacional de Bombeiros.

Consultor científico de vários organismos e de diversas revistas científicas, nacionais e estrangeiras, coordenou diversos projetos de investigação científica, nacionais e internacionais, e publicou mais de mais de três centenas de títulos, entre livros e capítulos de livro, artigos em revistas e atas de colóquios, nacionais e internacionais.



Adélia Nunes é Professora Associada, com Agregação em Geografia, na Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, onde exerce funções de docência e investigação.

Diretora do Departamento de Geografia e Turismo, da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, membro integrado do Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT), da RISCOS (Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança) e do NICIF (Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais).

Ingressou na carreira docente universitária em 1999. Em 2001 concluiu o Mestrado em Geografia Física e em 2007 o Doutoramento em Geografia.

Dinâmica da paisagem, riscos naturais e mistos e gestão de recursos naturais são as principais áreas de investigação, tendo publicado várias dezenas de trabalhos, onde se incluem capítulos de livros e artigos em revistas de especialidade. Desde 2008 colabora no Mestrado em Ensino de Geografia e em 2017 assumiu a Coordenação do Mestrado em Geografia Física, Ambiente e Ordenamento do Território.



RISCOS

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
DE RISCOS, PREVENÇÃO
E SEGURANÇA



estudos
CINDÍNICOS