

# CARTAS DE INUNDAÇÃO E RISCO EM CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS





# INTRODUÇÃO

*"Nada é mais suave ou flexível que a água,  
porém nada lhe pode resistir."*

Lao Tzu

## Sobre a Associação Portuguesa de Seguradores

A APS é uma associação de empregadores fundada em 1982, sem fins lucrativos, que reúne companhias de seguros e resseguros que operam no mercado nacional, independentemente da sua natureza jurídica ou da sua nacionalidade. O conjunto das Associadas da APS representa atualmente mais de 99% do mercado segurador, quer em volume de negócios, quer em efetivos totais empregados.

Para mais informações visite [www.apseguradores.pt](http://www.apseguradores.pt)

# sobre o CIRAC

**PEDRO SEIXAS VALE**

Presidente do Conselho de Direção  
Associação Portuguesa de Seguradores

*Lisboa, março de 2014*

A Associação Portuguesa de Seguradores (APS) e a Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FFCUL) desenvolveram um projeto que consideramos de inegável interesse para a sociedade portuguesa denominado Cartas de Inundações e de Risco em Cenários de Alterações Climáticas (CIRAC).

É nossa convicção que o CIRAC constituirá a fonte de informação de referência na análise do risco de cheias de Portugal Continental.

Refira-se que atualmente existe um consenso científico de que as alterações climáticas provocadas pela intensificação do efeito de estufa causada por algumas atividades humanas se agravarão ao longo do século XXI. Sabemos, pois, que teremos de adotar medidas de adaptação e de mitigação para minimizar os efeitos adversos das alterações climáticas e prevenir o agravamento das suas consequências para a população e para a economia.

Para o setor segurador, o projeto CIRAC é um instrumento de avaliação dos riscos que potencialmente segurará, o que justifica o seu investimento no projeto, mas é também um contributo para a sociedade portuguesa.

Pretendemos que o CIRAC seja amplamente divulgado entre seguradores, resseguradores, comunidade científica, entidades públicas e setores da sociedade civil que demonstrem reconhecido interesse na matéria.

A União Europeia, pela Diretiva 2007/60/CE, de 23 de outubro de 2007, transposta para o direito interno português pelo Decreto-Lei 115/2010, de 22 de outubro, estabelece um quadro para a avaliação e gestão dos riscos de inundações, que os Estados Membros devem seguir, assumindo relevo a necessidade de "...elaboração de cartas de zonas inundáveis e de cartas de riscos de inundações indicativas das potenciais consequências prejudiciais associadas a diferentes cenários de inundações...".

Em Portugal, onde até ao momento a informação não existia de forma estruturada e detalhada, as inundações são responsáveis por perdas avultadas, esperando-se ainda alterações significativas nos regimes de precipitação, frequência e intensidade de fenómenos meteorológicos e climáticos extremos, tais como eventos de precipitação intensa em períodos curtos.

Portugal, devido às suas características, está muito exposto ao risco de cheias e não tenhamos dúvidas de que o nosso território sofrerá danos significativos causados por este risco.

Nos últimos 40 anos, observou-se uma tendência de diminuição da precipitação média anual e de aumento da variabilidade da precipitação acumulada no inverno, com maior frequência de invernos secos e de invernos chuvosos. Os cenários climáticos regionalizados para Portugal, obtidos por meio de modelos climáticos, indiciam a tendência de aumento do número de dias com precipitação acumulada diária superior a 50 mm no norte do país até 2100.

Também a subida do nível médio do mar, que resulta das alterações climáticas, contribuirá para um aumento

significativo da frequência e intensidade de cheias de origem marítima. Devido à enorme complexidade dos fenómenos envolvidos, as opiniões dividem-se no que respeita aos ritmos da evolução do nível médio do mar e respetiva magnitude. Mas não falta na comunidade científica o consenso de que o nível médio do mar continuará a subir no século XXI, o que afetará com especial intensidade o território português, dada a sua extensa orla marítima.

O CIRAC permite a avaliação de risco, mediante a disponibilização de índices que possibilitam aferir diferentes tipos de vulnerabilidade que auxiliam os stakeholders na tomada de decisões estratégicas.

A área de estudo deste projeto foi dividida em duas escalas: uma macro escala, onde se identificaram as zonas inundáveis, com possibilidade de análise até à freguesia ou ao código postal e uma micro escala para regiões consideradas mais vulneráveis com base nos critérios de probabilidade de inundação e risco de inundação, definindo-se esta última como a combinação da probabilidade de inundação com as suas potenciais consequências prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, as atividades económicas e o património cultural.

Atendendo ao elevado número de situações de cheia e inundações registadas, os dois principais centros urbanos, Lisboa e Porto, foram analisados com maior detalhe, assim como Algés, Vila Nova de Gaia e Coimbra.

Com o CIRAC, o setor segurador disponibiliza uma ferramenta de trabalho de indiscutível interesse para a sociedade.

Esperamos que cada um de nós saiba exponenciar toda a utilidade desta ferramenta, para que conjuntamente possamos contribuir para um futuro melhor e mais sustentável para as gerações vindouras.



## sobre o CCIAM

### FILIPE DUARTE SANTOS

Professor Catedrático da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

O grupo de investigação Impactos, Adaptação e Modelação em Alterações Climáticas (CCIAM) estabeleceu-se como uma referência Europeia de investigação e formação na análise integrada de impactos, políticas de adaptação e modelação num contexto de mudanças climáticas. O grupo reúne investigadores de várias áreas científicas que desenvolvem projectos transdisciplinares, tanto a nível nacional como internacional. O foco principal do CCIAM é (i) melhorar a nossa compreensão sobre os processos e efeitos relacionados com mudanças globais; (ii) o desenvolvimento de metodologias de integração intersectoriais para avaliar os impactos das mudanças climáticas, riscos e estratégias de adaptação; e (iii) desenvolver metodologias que melhorem as interfaces ciência-sociedade em adaptação às alterações climáticas e sustentabilidade.

Foi um grande privilégio desenvolver o projeto CIRAC onde a ciência e as necessidades dos diferentes agentes decisores foram desenvolvidas num ambiente colaborativo através de reuniões periódicas e workshops, tornando este projecto único e muito desafiador. Estamos certos de que estes resultados não só irão ajudar e apoiar o processo de decisão na gestão de inundações, mas também irá ajudar a melhorar a nossa compreensão sobre o nosso território e, em última análise, minimizar os danos causados por enchentes.



## sumário técnico

### **Análise de Vulnerabilidade a inundações**

Vulnerabilidade a inundações pode ser definida como a extensão do dano que pode ser esperado sob certas condições de exposição, suscetibilidade e resiliência. Assim o termo Exposição representa os valores que estão presentes no local onde as cheias podem ocorrer; o componente Suscetibilidade é uma característica física de uma área tendo em conta a configuração natural do terreno e de uso do solo, que determina a propensão a inundações; e Resiliência é definida como a capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade expostos a riscos de resistir, absorver, acomodar-se e recuperar-se dos efeitos de um perigo, de forma atempada e eficiente. Para explorar a relação entre a precipitação e inundações foi adicionado um quarto componente que visa fornecer informações adicionais sobre a distribuição geográfica da precipitação, considerando que em regiões com maior precipitação anual existe uma probabilidade acrescida de reunir todos os elementos necessários para a ocorrência de inundações.

Com o objectivo de reflectir as necessidades de diferentes agentes foi desenvolvido uma estrutura modular do índice de vulnerabilidade, que permite adicionar e remover de uma forma flexível os componentes que compõem o índice. Neste sentido foram desenvolvidos

três índices: (i) um Índice Básico de Vulnerabilidade (BFVI) que caracteriza as infra-estruturas expostas em termos de propensão a inundações tendo em conta a configuração natural do terreno; (ii) um Índice de Vulnerabilidade a Inundações (FVI) que caracteriza os elementos expostos em termos de propensão de serem afetados por inundações conjugada com a capacidade de reação da população; e finalmente (iii) um Índice Combinado de Vulnerabilidade a Inundações (CFVI) que reúne a Suscetibilidade Física, a Exposição e a Precipitação num formato combinado que permite extrair a contribuição de cada componente de vulnerabilidade num índice final.

A distribuição nacional de vulnerabilidade a inundações indica uma vasta área do território ( $\approx 85\%$ ) com baixa vulnerabilidade a inundações, associado a baixas densidades populacionais e baixa ou moderada suscetibilidade física, como nas zonas costeira e Sul do Alentejo, o Norte montanhoso do Algarve e a maior parte da região Centro e Norte interior.

Os valores de moderada vulnerabilidade abrangem cerca de 14% do território e estão concentrados em três áreas distintas: a) as baixas planícies aluviais de exposição a grandes rios como o Tejo, Mondego e Vouga, b) o Alentejo central e partes do Algarve, também com baixa exposição mas com valores de suscetibilidade física mais elevados relacionados com uma rede hidrográfica densa de cursos de água menores e solos impermeáveis (por exemplo, argila) e c) as áreas peri-urbanas com suscetibilidade física moderada, mais visível ao longo da área costeira entre Setúbal e Viana do Castelo, mas também presente nas proximidades de outras grandes cidades do interior (por exemplo, Bragança, Vila Real, Castelo Branco).

Finalmente, as áreas de alta e muito alta vulnerabilidade a inundações, cobrindo cerca de 2% do território Português Continental, são na sua maioria representadas por áreas urbanas com alta densidade

populacional e suscetibilidade física elevada e muito elevada, geralmente associadas a baixa permeabilidade do solo. Estas áreas podem ser encontradas nas áreas metropolitanas de Lisboa e Porto, a parte leste do Algarve, bem como todas as grandes cidades.

### **Análise de Risco de inundações**

A análise de risco de inundação tem como objetivo identificar e quantificar os danos espectáveis decorrentes desse fenómeno. Estes danos são variáveis ao longo do tempo devido a vários fatores nomeadamente, as modificações de usos do solo, a adoção de medidas de controlo de cheia e inundações, ou às modificações dos eventos extremos como resultado das alterações climáticas.

Com o objetivo de se executar o primeiro estudo sistemático de risco de inundações, integrando as alterações climáticas em Portugal, foram selecionados quatro áreas de estudo – Lisboa, Algés, Coimbra.

Para cada uma destas áreas aplicaram-se metodologias de avaliação de risco amplamente utilizadas no contexto europeu, baseadas em mapas de risco médio anual. Estes foram calculados usando: a) mapas de inundação contendo a altura da água para diferentes períodos de retorno, obtidos através de modelação hidrológica; e b) mapas de dano à escala do edifício calculadas através de curvas de dano, que relacionam a altura da água com o dano potencial médio. Esta avaliação foi realizada para o clima atual e para dois cenários globais de alterações climáticas, regionalizados a partir do modelo HadCm3 para cada uma das áreas, com exceção da bacia do Douro. Esta exceção prende-se com a complexidade daquele rio, onde os caudais estão fortemente regularizados pelas barragens.

Da avaliação de risco e no presente, verifica-se que Coimbra tem o maior número de elementos expostos às inundações com um total de 1278 edifícios. Esta área é seguida pelo troço final do Douro com 1080

edifícios, pela bacia da Baixa de Lisboa com 1001 edifícios e finalmente pela Baixa de Algés com 242 edifícios. Em termos de risco propriamente dito, a realidade é completamente diferente sendo a Baixa de Algés a que apresenta valores mais elevados. Assim é possível afirmar que, em termos genéricos e a seguir a Algés, as áreas com maior risco são a sub-bacia da Avenida da Liberdade, seguida pela parte Sul da cidade de Coimbra, pela sub-bacia da Avenida Almirante Reis e pela Parte Central de Coimbra.

Os valores de risco para o futuro seguem o comportamento dos eventos extremos projetados pelos dois cenários regionalizados. Esta regionalização foi executada para a área de Lisboa e Algés e para a área de Coimbra, englobando projeções de curto (2010 - 2039), médio (2040 - 2069) e longo prazo (2070 - 2099). Em Lisboa e Algés o cenário A2 indica uma diminuição de eventos extremos ao longo do século XXI, enquanto o cenário B2 tem um comportamento menos linear. Este segundo cenário sugere um aumento dos eventos extremos comparativamente ao presente, tanto a curto como a longo prazo, mas uma diminuição no período de 2040 a 2069. Assim, o risco para as sub-bacias da Baixa de Lisboa, Avenida da Liberdade e Avenida Almirante Reis diminui nos diferentes períodos do cenário A2 e aumenta a curto e longo prazo no cenário B2. O risco associado à Baixa de Algés tem o mesmo comportamento que o das sub-bacias de Lisboa no período de longo prazo. No entanto, o cenário A2 e B2 projetam um aumento do risco daquela área, tanto a curto como a médio prazo. Esta situação resulta de características específicas daquela bacia, onde precipitações relativamente baixas causam danos consideráveis, sendo que tanto o cenários A2 como o B2 projetam um aumento destas precipitações.

Em Coimbra ambos os cenários analisados têm uma tendência idêntica, ou seja, os eventos extremos diminuem nos períodos de curto e médio prazo, aumentam no final do século. Como é expectável, os valores de

risco projetado para o futuro em ambas as áreas analisadas naquela cidade, seguem este comportamento.

Sendo o primeiro trabalho realizado em Portugal com estas características, muito se poderá fazer para garantir que os dados de base científica são de alta qualidade, nomeadamente melhorando os levantamentos das redes de drenagem, o detalhe e resolução dos modelos digitais de terreno ou o detalhe dos usos do solo, de forma a garantir que a modelação hidrológica e as cartas de inundação resultantes, são as mais exatas e pormenorizada possível. Também a recolha de informação para a realização de curvas de dano pode ser melhorada, sistematizando a recolha de informação e complementando-a com elementos fundamentais como a altura da água da inundação dentro dos edifícios permitindo a relação com os danos causados. Finalmente, verifica-se a necessidade futura de incluir vários modelos de alterações climáticas, para se obter a incerteza associada a esses modelos, algo que não é possível com a utilização de apenas um. Não obstante estas limitações e incertezas, a metodologia utilizada para a quantificação do risco é robusta e conclusiva, permitindo a definição de estratégias para a gestão integrada do risco de inundações.





# ENQUADRAMENTO GERAL

*"Clima é o que esperamos, tempo é o que temos."*

Mark Twain

## •••• o que é uma cheia?

Segundo a Diretiva Comunitária 2007/60/CE relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações, define-se inundações como a “cobertura temporária por água de uma terra normalmente não coberta por água”, onde se “inclui as cheias ocasionadas pelos rios, pelas torrentes de montanha e pelos cursos de água efémeros, e as inundações ocasionadas pelo mar nas zonas costeiras”

Existem dois tipos de inundações principais: (1) Inundações fluviais que resultam da precipitação persistente sob um solo saturado dentro de uma bacia hidrográfica. A precipitação gera maior escoamento, aumentando significativamente o fluxo do rio promovendo inundações em margens de rios e áreas adjacentes. (2) As cheias rápidas, como consequência combinada de precipitação intensa localizada e solo impermeável. Este tipo de inundações tendem a ocorrer em áreas relativamente pequenas de ambientes urbanos sob a acumulação rápida de água. Há também inundações costeiras, quando a terra é inundada pela água do mar, mas estas ficaram de fora do âmbito deste projeto.

## •••• quais são os principais impactos da inundações?

As inundações podem provocar a perda de vidas, a deslocação da população, danos à propriedade e ao meio ambiente e prejudicar as atividades económicas.

Eventos meteorológicos e climáticos extremos são responsáveis por cerca de 80% dos danos causados por desastres naturais em todo o mundo. Catástrofes relacionadas com eventos meteorológicos registadas em todo o mundo aumentaram de uma média anual de 335 eventos 1980-1989, para 545 eventos em 1990 e para 716 eventos entre 2002 e 2011 (EASAC, 2013<sup>1</sup>). Apenas as inundações afetaram mais de mil milhões de pessoas na última década, causando milhares de mortes todos os anos. O número de desastres naturais e as pessoas afetadas tem vindo a crescer como resultado de um aumento da exposição e vulnerabilidade.

Na Europa, cerca de um terço das perdas económicas que resultam de desastres naturais são causados por inundações (relatório EEE de 2012 sobre as alterações climáticas). Os eventos hidrológicos do Espaço Económico Europeu (inundações e deslizamentos de terra) foram responsáveis por 31 dos 64% (tendo em conta que 100% são desastres naturais totais) das perdas totais relacionadas com catástrofes naturais entre 1980 e 2011, (relatório EEE de 2012 sobre as alterações climáticas), dos quais 116 mil milhões e 290 mil milhões de dólares, respetivamente, foram perdas seguradas (Munich Re NatCatSERVICE<sup>2</sup>).

O risco de inundações ganhou importância nas últimas décadas, especialmente em

1 Øystein Hov, Ulrich Cubasch, Erich Fischer, Peter Höppe, Trond Iversen, Nils Gunnar Kvamstø, Zbigniew W. Kundzewicz, Daniela Rezacova, David Rios, Filipe Duarte Santos, Bruno Schädler, Ottó Veisz, Christos Zerefos, Rasmus Benestad, John Murlis, M. Donat, Gregor C. Leckebusch, Uwe Ulbrich (2013). *Extreme Weather Events in Europe: preparing for climate change adaptation*. ISBN 978-82-7144-100-5

2 <http://www.munichre.com/en/reinsurance/business/non-life/natcatservice/index.html>

áreas urbanas, devido ao aumento da exposição humana e ocorrência de eventos extremos de precipitação em curtos períodos de tempo. Em Portugal, as inundações têm sido responsáveis por perdas económicas e de vida significativas. O projeto DISASTER identificou 1.524 ocorrências relacionadas com inundações, causando 968 mortes entre 1900 e 2010. Durante a última década, 145 inundações foram registadas, com 75 mortes. É importante salientar que durante o período 1900-2008 o número de inundações foi maior do que deslizamentos de terra, exceto no ano hidrológico de 1965-1966 (Quaresma, 2008<sup>3</sup>).

[0,72-0,85]°C. A principal razão para estes aumentos de temperatura é muito provável que seja devida ao aumento da concentração atmosférica de gases de efeito estufa, muitas vezes medidos em equivalente ao CO<sub>2</sub> (ver glossário), resultante das emissões antrópicas de tais gases.

É de notar que os atuais níveis de concentração de CO<sub>2</sub>, que são acima de 400 ppmv (partes por milhão em volume) são superiores aos dos últimos 400 000 anos, que inclui um período interglacial entre 129 mil e 116 mil anos atrás, quando a temperatura média global era cerca de 2°C mais alta do que hoje. Desde 1955, que as concentrações de CO<sub>2</sub> aumentaram 90 ppm e continuam a aumentar, o que nos coloca muito perto de uma concentração de 450 ppmv que poderia levar a um cenário em que a temperatura global é 2°C mais alta do que o valor pré-industrial. O aumento de 2°C na temperatura é considerado um limiar acima do qual as alterações climáticas têm impacto sobre os humanos e os sistemas ambientais tornam-se muito prejudiciais e levando a custos globais económicos, sociais e ambientais elevados.

Para avaliar o clima futuro, a comunidade científica desenvolveu cenários sócio-económicos, em geral designados como SRES

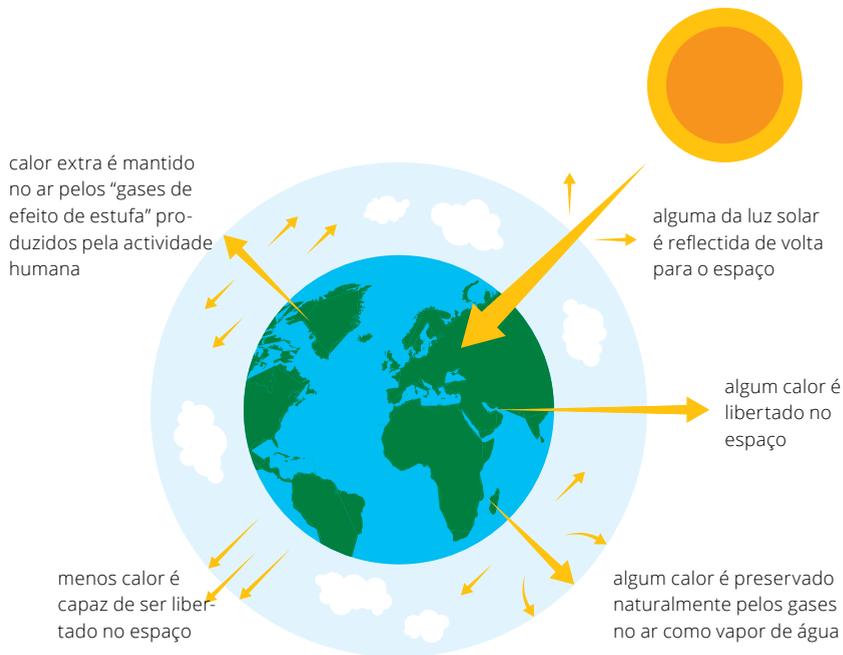
## quais as ligações entre as inundações e as mudanças climáticas?

De acordo com o 5º Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2013), a temperatura média combinada da superfície da terra e do oceano aumentou 0,85 [0,65-1,06]°C, durante o período 1880-2012. O aumento total entre a média do período de 1850-1900 e o período de 2003-2012 é de 0,78

<sup>3</sup> Quaresma (2008). *Inventariação e análise de eventos hidro-geomorfológicos com carácter danoso em Portugal Continental. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa*



Figura 1. Tipos de inundações: (1) cheias progressivas; (2) cheias rápidas



*Figura 2. Simplificação do balanço energético da terra para ilustrar o aumento do efeito estufa que resulta das emissões antropogénicas de gases de efeito estufa.*

(Relatório Especial sobre Cenários de Emissões do IPCC<sup>4</sup>), com base num conjunto coerente e internamente consistente de suposições sobre o crescimento da população mundial, a atividade económica, o consumo de energia e desenvolvimento tecnológico. A partir dos cenários SRES é possível derivar cenários de emissões de gases de efeito estufa que têm sua origem em várias atividades humanas. Os cenários de emissões são, então, introduzidos em Modelos de Circulação Global (GCMs) que simulam o sistema climático. Os GCMs constroem cenários climáticos que podem ser utilizados para avaliar os impactos das

mudanças climáticas sobre os vários sectores sócio-económicos e sistemas biofísicos.

Os cenários climáticos apresentam projeções climáticas futuras, mas não previsões climáticas futuras, uma vez que não é possível atribuir probabilidades aos vários cenários SRES sócio-económicos utilizados no GCMs. No projeto CIRAC foram usados vários cenários SRES para avaliar a vulnerabilidade e risco de inundação em Portugal Continental durante o século 21.

Há quatro famílias de cenários SRES chamados A1, A2, B1 e B2. O cenário A1 representa uma economia globalizada, com crescimento económico rápido, mas baixa consciência sobre os problemas

<sup>4</sup> IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES) (2000) by N. Nakicenović, J. Alcamo, G. Davis, et al. edited by N. Nakicenović, R. Swart

ambientais. A2 é um cenário de um mundo mais fragmentado do que no A1, onde o crescimento económico é direcionado para a região. A2 é o cenário com maior semelhança com a situação global atual. As questões ambientais são mais importantes nos cenários B1 e B2 do que em A1 e A2, respetivamente. Em B2, há um ênfase em soluções globais para alcançar a estabilidade social, económica e ambiental. B2 é um cenário mais ecologicamente correto do que o A2, mas mais fragmentado e menos centrado em questões globais do que B1.

O recente 5º Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2013<sup>5</sup>) concluiu que “o aquecimento do sistema climático é inequívoco” e que “é extremamente provável que a influência humana tem sido a causa dominante do aquecimento observado desde meados do século 20”. O aquecimento da atmosfera aumenta o teor de vapor de água na baixa atmosfera, chamada troposfera. Este aumento alimenta os sistemas de tempestades com energia adicional que, quando libertado como precipitação, amplifica a intensidade dos eventos de chuvas intensas, aumentando assim a probabilidade de inundações. Com base em dados do setor de seguros, o número de perdas-relevante devido a extremos climáticos está a tornar-se significativamente maior no mundo e há cada vez mais evidências de que pelo menos parte do aumento é associado ao aquecimento global. Nenhum evento extremo é exclusivamente causado por mudanças climáticas associadas ao aquecimento global. No entanto, todos os eventos climáticos extremos incluem

uma manifestação da mudança climática porque o ambiente em que eles ocorrem é mais quente e contém mais vapor de água. O aumento muito provável de perdas relevante devido a extremos climáticos no futuro e, em particular, das cheias representa riscos graves para a nossa sociedade.

Durante o século 20, o continente europeu sofreu um aumento na precipitação média anual entre 10 e 40% na zona norte do continente e uma diminuição de 20 a 40% em algumas regiões do sul da Europa. A chuva de inverno tem diminuído ao longo do sul da Europa e aumentou ainda mais no norte. Nas últimas décadas, a Europa passou por grandes inundações e danos associados, mas não há um padrão uniforme de mudanças em toda a Europa. Projeções baseadas em modelos climáticos indicam um aumento no risco de inundações em uma ampla faixa da Europa, devido a um aumento na frequência e intensidade de chuvas intensas (EASAC, 2013<sup>6</sup>). Projeções climáticas futuras indicam também um aumento dos riscos relacionados com as tempestades de vento para a Europa Ocidental e Central (EASAC, 2013). Zonas costeiras de baixa altitude são particularmente vulneráveis às alterações climáticas, especialmente através do aumento do nível do mar associado ao aumento de tempestades. O risco de inundações em zonas costeiras de baixa altitude é muito provável que aumente ao longo do século 21.

5 Stocker, Thomas F., Q. Dahe, and Gian-Kasper Plattner. “Climate Change 2013: The Physical Science Basis.” Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers (IPCC, 2013) (2013).

6 Øystein Hov, Ulrich Cubasch, Erich Fischer, Peter Höpfe, Trond Iversen, Nils Gunnar Kvamstø, Zbigniew W. Kundzewicz, Daniela Rezacova, David Rios, Filipe Duarte Santos, Bruno Schädler, Ottó Veisz, Christos Zerefos, Rasmus Benestad, John Murlis, M. Donat, Gregor C. Leckebusch, Uwe Ulbrich (2013). *Extreme Weather Events in Europe: preparing for climate change adaptation*. ISBN 978-82-7144-100-5

Portugal continental sofreu uma pequena diminuição na precipitação anual média de cerca de 30-60 mm por década entre 1961 e 2006 (relatório EEA 2012 sobre as alterações climáticas<sup>7</sup>). A diminuição do período de seca e uma tendência de condições climáticas mais secas de 1955-1999 foi observada sobre o sul de Portugal. Além disso, uma diminuição significativa no número de dias de chuva ligeira foi observada na mesma região, durante o período de 1903-2003 (Gallego et al. 2011<sup>8</sup>). Quanto ao futuro, as projeções dos cenários climáticos para Portugal continental indicam uma diminuição da precipitação anual, especialmente no sul (SIAMI, 2002<sup>9</sup>; SIAMII, 2006<sup>10</sup>). Também se esperam futuras alterações significativas na frequência e intensidade de ocorrências de precipitação. Eventos extremos de precipitação tendem a tornar-se mais frequentes e intensos, principalmente na região ao norte da cordilheira central que vai desde a Serra de Montejunto à Serra da Estrela. Os eventos de precipitação forte mais frequentes e intensos são muito suscetíveis de conduzir a uma maior frequência de inundações com impactos ambientais e sócio-económicos significativos. No que diz respeito ao risco de inundações no litoral, 67% das zonas costeiras em Portugal continental têm um risco significativo de perda de terra (SIAMI,

2002; SIAMII, 2006), principalmente devido à erosão. A elevação do nível do mar, mudanças na média da direção das ondas na costa oeste e o aumento de tempestades são suscetíveis de aumentar o risco de inundação, especialmente na segunda metade do século 21 e para além disso.

## pode a adaptação e mitigação alterar o risco de inundação?

As respostas às mudanças climáticas podem ser de dois tipos amplos e complementares: de adaptação e mitigação. Como a magnitude dos impactos relacionados com as mudanças climáticas são incertos, os decisores precisam de uma avaliação de risco adequada para definir a estratégia de mitigação / adaptação apropriada. Especialmente em relação a inundações, o risco deve ser gerido tendo em conta as comunidades locais e as suas características sociais, os desenvolvimentos científicos e as principais diretrizes da política internacional.

A fim de responder aos riscos e impactos decorrentes das alterações climáticas, são necessárias as medidas tanto de mitigação como adaptação (M & A). O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) define a mitigação como “uma intervenção antropogénica para reduzir a pressão antropogénica do sistema climático”, ou, em termos mais simples, como um conjunto de planos de ação para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Por outro lado, a adaptação é definida como um “ajuste nos sistemas naturais ou

7 EEA 2012. *Climate change, impacts and vulnerability in Europe*. ISBN: 978-92-9213-346-7

8 M.C. Gallego, R.M. Trigo, J.M. Vaquero, M. Brunet, J.A. García, J. Sigró, M.A. Valente (2011). *Trends in frequency indices of daily precipitation over the Iberian Peninsula during the last century* *Journal of Geophysical Research*, 116 (2011) <http://dx.doi.org/10.1029/2010JD014255>

9 SIAMI I - F. D. Santos, K. Forbes, R. Moita (2002). *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures*. Gradiva, Lisbon, Portugal.

10 SIAMI II - F.D. Santos e P. Miranda (2006). *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação*. Gradiva, Lisboa, Portugal.



**Figura 3.** Inter-relação entre a adaptação climática, mitigação e impactos. Baseado nos conceitos desenvolvidos no esquema de classificação de zona de vida de Holdridge.

humanos em resposta a estímulos reais ou estímulos climáticos esperados ou aos seus efeitos, o que modera danos ou explora oportunidades benéficas”.

Geralmente, a ciência e a política têm tratado M & A como domínios separados, embora sejam respostas para o mesmo problema. No entanto, como as estratégias de mitigação visam diminuir as emissões de GEE, quer reduzindo as suas origens e emissões ou aumentando os seus sumidouros, a adaptação pode trabalhar para restringir as mudanças climáticas e os seus impactos. Portanto, ambas as M&A são individualmente essenciais, mas não suficientes e devem ser vistas não como substitutas, mas como complementos da mesma estratégia.

Na verdade, o IPCC considera que existem quatro tipos de inter-relações entre M & A:

i) ações de adaptação que têm consequências para a mitigação, ii) ações de mitigação que têm consequências para a adaptação, e iii) decisões que incluem sinergias entre M & A; e iv) processos que têm consequências para ambos M & A.

Como as mudanças climáticas e os seus impactos negativos são inversamente relacionados com a redução de danos, quanto mais é feito para evitar esses impactos, menos se espera que seja suportado.

Tanto a mitigação como a adaptação visa reduzir a vulnerabilidade, mas a adaptação deve aumentar a resiliência dos sistemas expostos por si só. Neste caso, a seleção de medidas de adaptação devem ser baseadas em dados fortes e em análise custo-benefício tendo em conta as diferentes escalas de tempo para garantir a irreversibilidade dos impactos esperados.

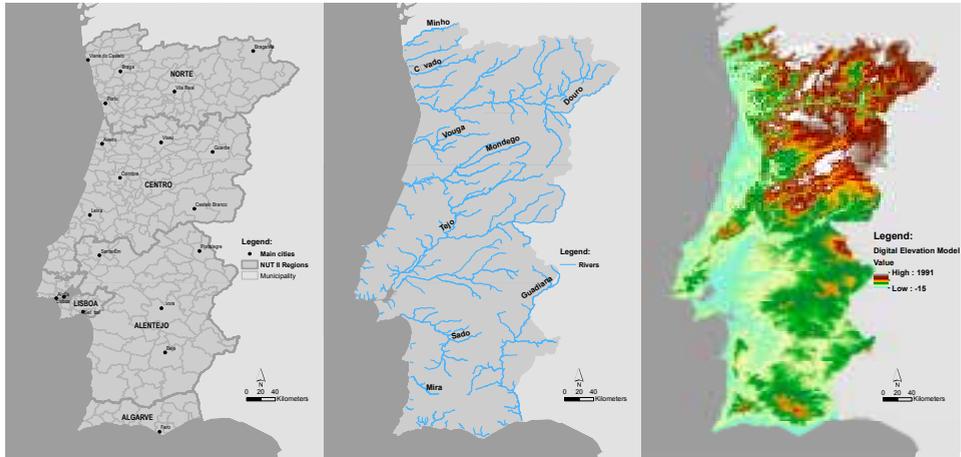


Figura 4. Caracterização da área de estudo – Regiões portuguesas e principais cidades (i), Bacias de Portugal continental e rede hidrográfica principal (ii) e elevações (iii).

## • • • como pode o projeto CIRAC contribuir para gerir as inundações em Portugal?

Em Portugal continental ocorrem diferentes tipos de eventos hidrológicos extremos, variando entre aqueles com progressão lenta e longa duração, normalmente estendendo-se até grandes áreas (chamados inundações progressivas), e aqueles com propagação muito rápida, curta duração e impacto concentrado (inundações rápidas). As enchentes ocorrem principalmente em pequenas bacias ou em áreas urbanas e as cheias progressivas ocorrem geralmente em escala maior, como o Tejo, Guadiana, Mondego e bacias do Douro (Figura 4 ii). A topografia do território Português é mais

acentuada a norte do rio Tejo e no sul, na região do Algarve, e mais plana na região do Alentejo, entre os rios Tejo e Mira (Figura 4 iii).

O projeto CIRAC teve como objetivo avaliar o risco de inundação e de vulnerabilidade em Portugal Continental para as condições presentes e futuras (usando cenários de mudanças climáticas), tentando definir uma metodologia para cumprir os objetivos da Directiva 2007/60/EC do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2007. Esta directiva estabelece um quadro para a avaliação e gestão dos riscos de inundações presente e futuro. Neste quadro as mudanças climáticas devem ser levadas em consideração, nomeadamente em termos de definição de áreas inundadas por enchentes, com uma frequência média igual ou superior a 100 anos (alínea b do nº3 do capítulo III). Em última análise, a definição destes mapas de risco e vulnerabilidade pode ajudar os decisores a definir estratégias de mitigação e adaptação mais eficazes.



Figura 5. Resumo das tarefas e resultados do Índice de Vulnerabilidade de Inundações.

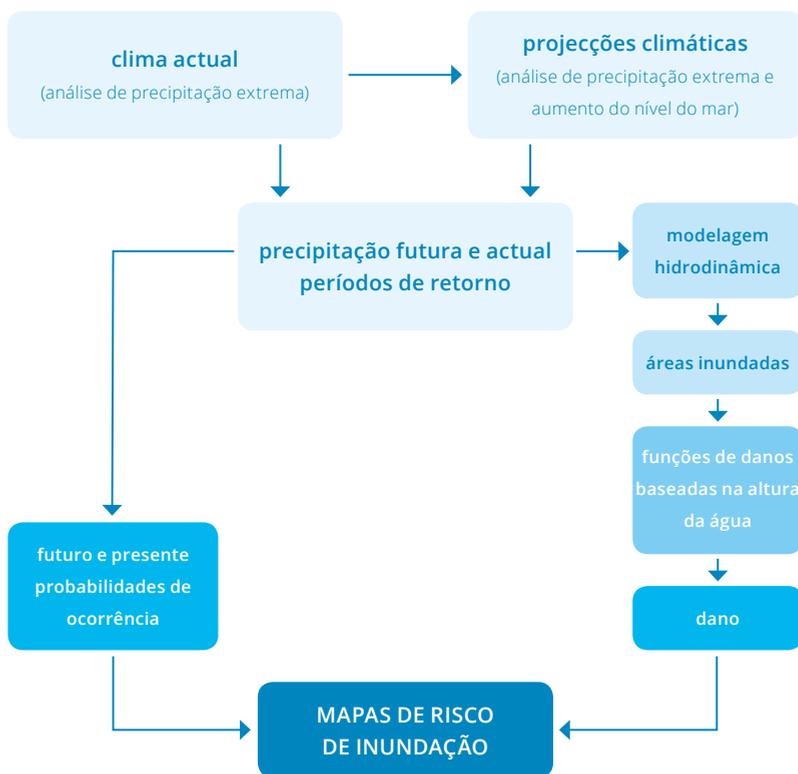


Figura 6. Resumo das tarefas e resultados do Índice de Risco de Inundações.

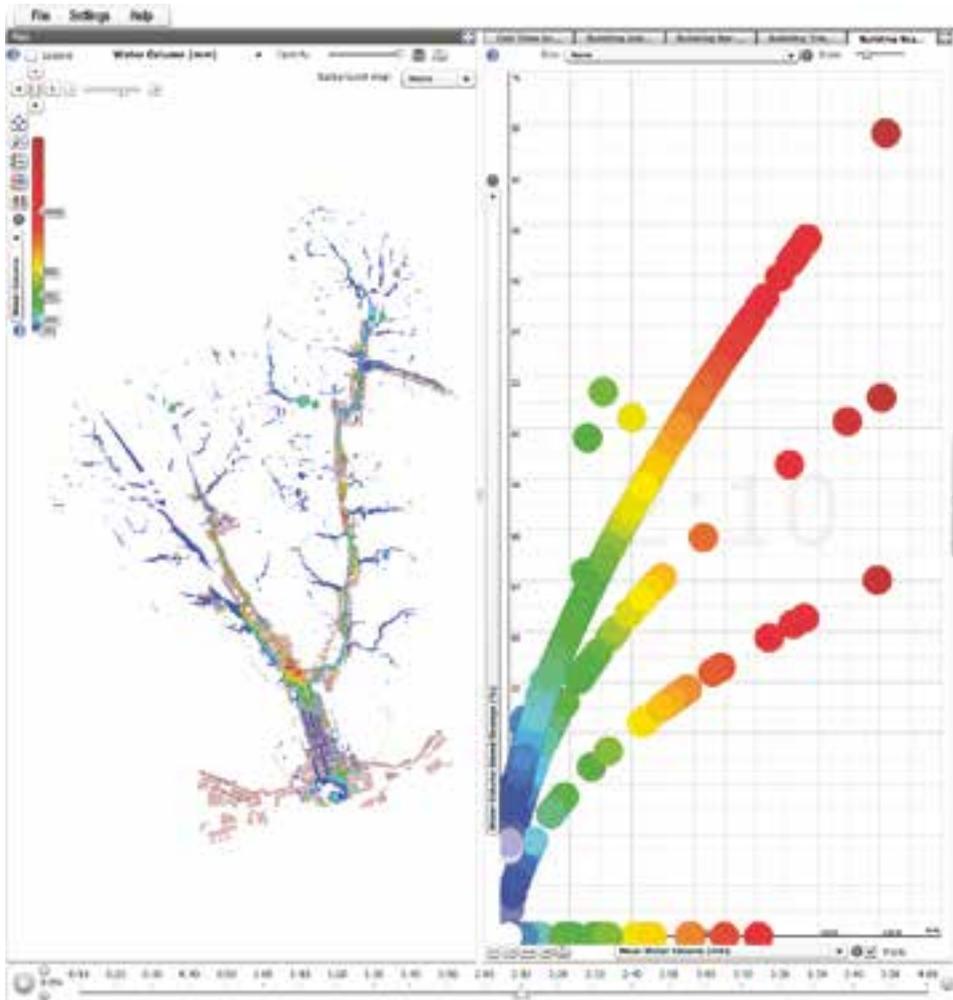


Figura 7. Ferramenta de visualização de inundação

Para avaliar o risco de inundação e vulnerabilidade duas abordagens principais foram desenvolvidas. A primeira foi uma perspectiva qualitativa de alta resolução para avaliar a vulnerabilidade da inundação à escala nacional, onde diversos componentes físicos e sociais caracterizam os elementos expostos, que neste caso, são edifícios, como casas, escolas e fábricas.

Simultaneamente, o projecto desenvolveu uma abordagem de avaliação de risco produzindo uma análise de risco de alta resolução para caracterizar os potenciais impactos e danos para Lisboa, Algés, Coimbra e Porto / Gaia, onde uma equipa multidisciplinar foi reunida para: (i) caracterizar extremos climáticos e projecções futuras, (ii) caracterizar o aumento do nível







# MAPEAMENTO DE VULNERABILIDADE DE INUNDAÇÃO EM PORTUGAL

*"A água é a força-motriz de toda a natureza."*

Leonardo da Vinci

Vulnerabilidade não é um conceito fácil de definir e depende do tópico onde é aplicado este termo. No contexto das alterações climáticas, a definição do IPCC de vulnerabilidade é “o grau em que um sistema é suscetível a, e incapaz de lidar com os efeitos adversos da mudança do clima, inclusive à variabilidade climática e aos seus extremos. A vulnerabilidade é uma função do caráter, magnitude e taxa de mudança climática e da variação a que um sistema está exposto, a sua sensibilidade e capacidade de adaptação.” Focando-se nas inundações, o Instituto UNESCO-IHE Instituto de Educação para as Águas considera vulnerabilidade de inundações “como a extensão do dano, que pode ser esperado sob certas condições de exposição, suscetibilidade”, que pode ser traduzido pela Equação 1 (Balica, S-F., 2012<sup>12</sup>).

Este trabalho adotou esta última definição de vulnerabilidade como um quadro metodológico para calcular índices de vulnerabilidade de inundações para Portugal continental com a seguinte descrição dos seus componentes:

- › Exposição representa os valores que estão presentes no local onde as inundações podem ocorrer, tais como: património cultural, infra-estrutura, bens, campos agrícolas ou pessoas (Merz et al., 2007<sup>13</sup>).
- › Suscetibilidade física é uma característica de uma área, determinada pela sua configuração natural do terreno e da sua

ocupação, o qual determina a propensão da zona a inundações.

› Resiliência, como definida por UNISDR (2009<sup>14</sup>), é “a capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade expostos a riscos, de resistir, absorver, acomodar-se e recuperar dos efeitos de um desastre, de forma atempada e eficaz, nomeadamente através da preservação e restauração das suas estruturas básicas essenciais e funções”.

Da Eq.1, a Resiliência foi abordada como Suscetibilidade Social, uma vez que incluía apenas uma caracterização sócio-económica da população em relação a fatores como idade, rendimentos e educação.

Para explorar a relação entre a precipitação e inundações, um quarto componente foi adicionado para levar em conta a distribuição geográfica da precipitação média anual. É importante notar que este componente é baseado nos dados médios entre 1961 e 1990, o Clima Normal usado como padrão internacional e de referência de alteração climática (ver glossário), e a sua representatividade é específica para esse período e não tem em conta possíveis tendências e mudanças. Portanto, a vulnerabilidade de inundações pode ser representada pela Equação 2.

Também deve ser tido em conta que a vulnerabilidade da inundações costeiras não foi abordada neste índice. Os capítulos seguintes têm como objetivo descrever detalhadamente estes componentes de vulnerabilidade apresentando os principais resultados e conclusões.

<sup>12</sup> Balica, S-F., 2012. *Applying the flood vulnerability index as a knowledge base for flood risk assessment*. CRC Press/Balkema, ISBN: 9780415641579

<sup>13</sup> Merz, B., Thielen, A. H., Gocht, M., 2007. *Flood risk mapping at the local scale: concepts and challenges*, in: Begum, S., Stive, M. J. F., Hall, J. W. (Eds.), *Flood Risk Management in Europe. Innovation in Policy and Practice, Advances in Natural and Technological Hazards Research 25*, Dordrecht, pp. 231-251.

<sup>14</sup> United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR) (2009). *Global assessment report on disaster risk reduction*. ISBN/ISSN: 9789211320282

vulnerabilidade = exposição + suscetibilidade física - resiliência (1)

vulnerabilidade = exposição + suscetibilidade física + + precipitação - suscetibilidade social (2)

Tabela 1. Índice de Classes de suscetibilidade física de inundações

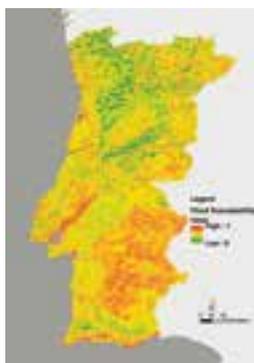


Figura 8. Índice de Suscetibilidade Física de Inundações

PSI	Caracterização da área	Características físicas e resiliência
<b>muito elevado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Diferenciação das principais linhas de água.</li> <li>› Algumas áreas urbanas principais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Linhas de água e regiões contíguas.</li> <li>› Regiões de solo impermeável (e.g. cidades).</li> </ul>
<b>elevado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Diferenciação de planícies de inundação adjacentes nos principais rios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Regiões inundadas provocadas por grandes rios.</li> <li>› Regiões de solo permeável.</li> <li>› Regiões com elevado potencial de acumulação de água.</li> </ul>
<b>moderado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Áreas com distância crescente de cursos de água e encostas mais íngremes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Regiões de acumulação média / baixa de água.</li> <li>› Regiões com custos significativos de transporte de água devido a distância às linhas de água.</li> <li>› Regiões de solo permeável.</li> </ul>
<b>baixo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Áreas montanhosas ou sem cursos de água na sua vizinhança.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Regiões sem potencial de acumulação de água.</li> <li>› Regiões com solo mais permeável.</li> <li>› Regiões com custos muito elevados de transporte de água devido a distância às linhas de água.</li> </ul>

## ••••• suscetibilidade física

A suscetibilidade a inundações deve ser visto como a propensão de uma área a ser afectada pelas cheias e é atribuída pelas características intrínsecas do território tais como declives, geologia, rede fluvial e uso

do solo. A Suscetibilidade Física a inundações deriva principalmente de características inerentes a uma bacia específica.

As variáveis e respetivos conjuntos de dados foram baseados em três critérios: a) capacidade de incorporar a influência de parâmetros em ambas as inundações progressivas e rápidas; b) minimização do

número de variáveis para contribuir para a transparência de índice e, c) homogeneidade dos dados (por exemplo, origem, resolução espacial) em todo o território Português. Três variáveis foram escolhidas: (i) a acumulação de fluxo, (ii) uma matriz de custo de distâncias (iii) o número de fluxo. Os dois primeiros descrevem o potencial de acumulação de água no leito do rio e áreas adjacentes, enquanto o último avalia a permeabilidade do solo com base no uso do solo e da geologia.

Com base nos dados históricos espaciais de inundação o índice de Suscetibilidade Física (PSI) foi reclassificado em quatro classes distintas para distinguir entre áreas potenciais para acumulação de água mais elevada, como margens de rios e áreas adjacentes, e áreas menos suscetíveis a inundações, como topos das montanhas.

O mapa final de suscetibilidade física identifica como altamente suscetíveis as bacias dos principais rios portugueses (Tejo, Douro, Vouga, Mondego e Sado), em especial as áreas mais próximas à foz do rio. Algumas grandes cidades como Lisboa, Coimbra, Aveiro, Setúbal, Faro e Porto e algumas pequenas bacias na parte sul de Portugal (Algarve) também estão identificadas como altamente suscetíveis a inundações (classes 3 e 4).

Isso mostra a sensibilidade do índice para identificar também áreas propensas a enchentes, caracterizadas por superfícies artificiais altamente impermeabilizadas situadas em regiões planas nas proximidades de cursos de água relevantes. A região do Alentejo é também classificada como altamente suscetível (classe 3), devido às suas características topográficas e

geológicas, uma vez que a maior parte do território é plano, com uma densidade de rede hidrográfica alta e solos rochosos impermeáveis (xisto e mármore) ou argilosos. Neste último caso, estes valores de elevada suscetibilidade física podem não ser totalmente traduzidos para uma frequência elevada de inundações, visto que esta região é caracterizada por regimes baixos de precipitação na maior parte do ano.

## suscetibilidade . . . . . social

A suscetibilidade social a inundações é definida como a predisposição da sociedade para ser afetada, resistir, adaptar-se ou recuperar quando expostos a uma inundação. O Índice de Suscetibilidade Social (SSI) foi desenvolvido com base num conjunto de cerca de 50 variáveis retiradas do censo Português para descrever as características funcionais e sócio-económicas atuais que determinam a capacidade de uma população para lidar com inundações, tais como, idade, escolaridade, rendimento, função do prédio e tipologia e meio urbano / rural. A partir desse conjunto de dados original, um subconjunto menor de 14 indicadores foi selecionado e agregado de acordo com a sua relevância para caracterizar os três componentes principais de vulnerabilidade social a inundações: a) as condições regionais; b) idade; c) condições de exclusão social.

O componente de suscetibilidade social do FVI demonstra uma capacidade maior de lidar com as inundações em áreas costeiras, principalmente associados às áreas mais urbanizadas com educação e rendimentos mais elevados. Valores de

Tabela 2. Categorias de índice de suscetibilidade social de inundação

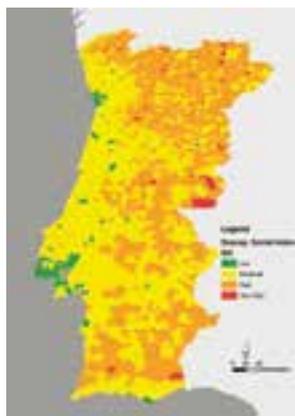


Figura 9. Índice de Suscetibilidade Social de Inundação.

SSI classe/valor	Descrição da Classe
<b>muito elevado</b> [-1.5; -0.75[	Populações altamente suscetíveis, com capacidade muito reduzida de agir ou evitar consequências de danos causados pelas inundações e recuperar o seu ambiente com as mesmas condições anteriores aos danos.
<b>elevado</b> [-0.75; 0[	Populações suscetíveis, com capacidade reduzida de agir ou evitar consequências de danos causados pelas inundações e recuperar o seu ambiente com as mesmas condições anteriores aos danos.
<b>moderado</b> [0; 0.75[	Populações moderadamente suscetíveis, que estão preparadas globalmente para agir com as consequências das inundações e recuperar o seu ambiente com as mesmas condições anteriores a sofrer danos.
<b>baixo</b> [0.75; 1.5]	Populações com um reduzido nível de suscetibilidade, que estão mais do que preparadas para agir com as consequências das inundações e recuperar o seu ambiente com as mesmas condições anteriores a sofrer danos.

suscetibilidade sociais mais elevados estão localizados em regiões mais do interior, com foco nas regiões Norte e Centro e parte do Norte e Sul do Alentejo. Como esperado, as áreas metropolitanas de Lisboa e Porto têm os valores mais baixos de SSI, principalmente devido ao seu mais elevado rendimento per capita, educação e menor desemprego.

estatística espacial, que se assemelha a um quarteirão em áreas urbanas, tem o nome de “Base Geográfica de Referência de Informações” (BGRI).

O componente de Exposição destaca as regiões urbanas e peri-urbanas entre Viana do Castelo e Setúbal, com maior incidência nas áreas metropolitanas de Lisboa e Porto. Reflete duas realidades diferentes de morfologia urbana, com valores de exposição superiores na região do litoral norte, que estão relacionadas com a expansão urbana nos arredores de grandes cidades como Porto, Aveiro, Braga e Viana do Castelo, enquanto que na área metropolitana de Lisboa estão associados a uma ocupação mais compacta e densa.

## ••••• exposição

Exposição (E) é representada pela densidade de edifícios no território Português derivada dos dados recolhidos no censo nacional, em 2001, pelo Instituto Nacional de Estatística (INE). Cada unidade

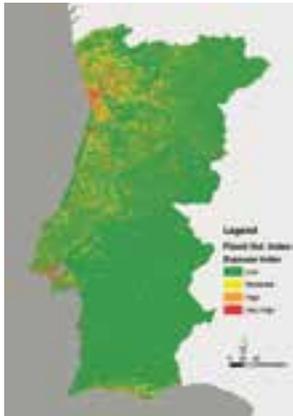


Figura 10. Índice de exposição a inundações.

Tabela 3. Índice de classes de exposição a inundações

Índice E	Descrição da Classe
<b>muito elevado</b>	Áreas com densidade elevada de edifícios, principalmente representando áreas urbanas.
<b>elevado</b>	Áreas com densidade média de edifícios, normalmente aldeias ou regiões próximas de áreas urbanas.
<b>moderado</b>	Áreas de baixa densidade de edificado característico de áreas rurais.
<b>baixo</b>	Áreas com estruturas dispersas.

## • • • • precipitação

Portugal é geralmente caracterizado pelo clima mediterrâneo, mas com a influência Atlântica devido à sua posição geográfica. No litoral norte predomina o clima temperado mediterrânico com influência atlântica e maiores volumes de precipitação, enquanto que a região Nordeste é dominada pelo clima mediterrânico com influência continental e, conseqüentemente, com menos precipitação anual. No Sul de Portugal as características do clima mediterrânico temperado são mais pronunciadas atingindo até três vezes menos precipitação anual do que no litoral norte.

A ligação entre as inundações e a precipitação depende do tipo de inundaçã (rápida ou inundaçã progressiva), as características da bacia, a saturaçã do solo e nas zonas costeiras da altura da maré. A combinaçã destas características determina que, para a mesma quantidade

de chuva é possível ter uma inundaçã ou não. As principais dificuldades neste trabalho para estabelecer a ligaçã entre precipitaçã e inundaçã foi que, numa abordagem geral e qualitativa é muito difícil colocar todas essas dependências num índice, uma vez que não são estáticas no tempo.

A precipitaçã como um componente do Índice de Vulnerabilidade de Inundaçã teve como objetivo fornecer informaçães adicionais sobre a distribuçã geográfica da normal de precipitaçã (ver normais climatológicos no glossário), sendo que as regiães com maior pluviosidade anual têm mais probabilidade de reunir todos os elementos necessários para ter inundaçães. Este índice representa a média da precipitaçã total anual entre 1961 e 1990 (ver normais climatológicos no glossário), dividido em quatro classes que refletem as influências atlânticas e continentais do clima mediterrânico temperado e os efeitos da topografia na precipitaçã.

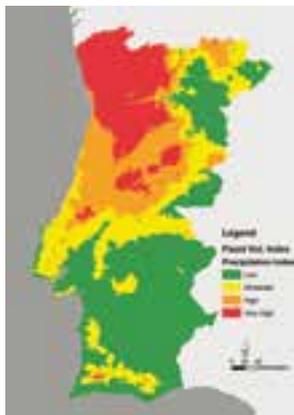


Figura 11. Índice de precipitação média anual

Tabela 4. Categorias de índice de precipitação

Índice de precipitação	Precipitação Anual (mm)	Descrição da Classe
<b>muito elevado</b>	[1270; 3500[	Áreas com precipitação anual muito elevada
<b>elevado</b>	[930; 1270[	Áreas com precipitação anual elevada
<b>moderado</b>	[730; 930[	Áreas com precipitação anual moderada
<b>baixo</b>	[380; 730[	Áreas com baixa precipitação anual

## ••••• onde somos vulneráveis? e porquê?

A vantagem de ter uma estrutura modular de um índice é que os diferentes componentes de vulnerabilidade de inundação podem ser utilizados em diferentes combinações, dependendo da informação que cada decisor exige ou quer extrair. Por exemplo, se uma das partes interessadas seleciona apenas a componente de

Suscetibilidade Física a informação dada pelo índice reflete apenas a vulnerabilidade territorial potencial. Ao incluir a exposição, uma segunda dimensão é adicionada ao índice final, que tem em conta não só a vulnerabilidade potencial, mas também a vulnerabilidade atual das estruturas existentes e pessoas. Esta combinação definiu um Índice Básico de Vulnerabilidade a Inundação (BFVI), que fornece uma abordagem mais física à suscetibilidade de inundação, combinando a propensão a enchentes do terreno e a presença humana.

*A ligação entre as inundações e a precipitação depende do tipo de inundação (rápida ou inundação progressiva), as características da bacia, a saturação do solo e nas zonas costeiras da altura da maré.*

Normalmente, este índice pode ser mais interessante para melhor caracterizar as companhias de seguros de riscos financeiros ou para melhorar a gestão operacional do desastre da inundação por parte das autoridades de protecção civil. Se o interessado requer informações sobre a caracterização sócio-económica, por exemplo, para melhorar as medidas de intervenção social ou para fins de planeamento territorial estratégico, a Suscetibilidade

Tabela 5. Índices de Vulnerabilidade a Inundações e seus componentes.

Componentes	Índice Básico de Vulnerabilidade a Inundação (BFVI)	Índice de Vulnerabilidade a Inundação (FVI)	Índice Combinado de Vulnerabilidade a Inundação (CFVI)
SSI = Índice de Suscetibilidade Social	BFVI (PSI + E)	FVI (SSI + E + PSI)	CFVI (PSI ∩ E ∩ P)
PSI = Índice de Suscetibilidade Física			
E = Índice de Exposição			
P = Índice de Precipitação			

Tabela 6. Tabela resumo dos índices de vulnerabilidade e seus componentes para diferentes aplicações e partes interessadas.

Índices ou nome dos componentes	Características do índice	Aplicação alvo / interessados
<b>SSI= Índice de Suscetibilidade Social</b>	Características funcionais e socioeconómicas que determinam a capacidade de uma população para lidar com enchentes; como idade, escolaridade, rendimentos, função do edifício e tipologia e meio urbano / rural.	(i) Instituições sociais (ii) Administrações locais públicas
<b>PSI= Índice de Suscetibilidade Física</b>	Propensão de uma área para ser afetada por inundações; características físicas intrínsecas do território, tais como declives, geologia, rede fluvial e uso da terra.	(i) Administrações locais públicas (ii) Planeamento territorial (iii) Companhias de seguros (iv) Gestão de risco
<b>BFVI = Índice Básico de Vulnerabilidade a Inundação = PSI+E</b>	Caracterização dos elementos expostos em termos de propensão a ser afectados pelas cheias, devido à sua localização.	(i) Administrações locais públicas (ii) Planeamento territorial (iii) Público em geral (iv) Protecção civil
<b>FVI = Índice de Vulnerabilidade a Inundação = PSI+E+SSI</b>	Caracterização dos elementos expostos em termos de propensão a ser afectados pelas cheias e à capacidade da população de lidar com isso.	(i) Administração local e nacional pública (ii) Protecção civil
<b>Índice Combinado de Vulnerabilidade a Inundação (CFVI) = CFVI (PSI ∩ E ∩ P)</b>	Intercepção das características de suscetibilidade física, exposição e precipitação num índice combinado. Com esta abordagem combinada é possível ponderar a contribuição de cada componente de vulnerabilidade.	(i) Administrações locais públicas (ii) Planeamento territorial (iii) Companhias de seguros

Índice de Vulnerabilidade a Inundação (FVI)



Figura 12. Sobreposição de componentes do índice de Vulnerabilidade a Inundação - Exposição + Suscetibilidade Física + Suscetibilidade Social (FVI=E+PSI+SS)

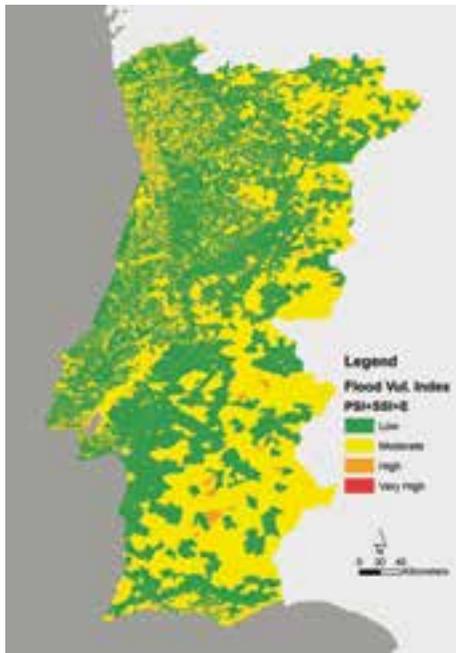


Figura 14. Índice de Vulnerabilidade a Inundação - Exposição, Suscetibilidade Física e Suscetibilidade Social (FVI=E+PSI+SS)

Índice Básico de Vulnerabilidade a Inundação (BFVI)

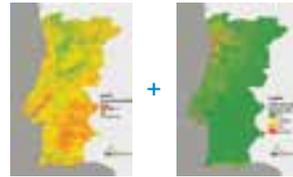


Figura 13. Sobreposição de componentes do índice de Vulnerabilidade a Inundação - Exposição + Suscetibilidade Física (FVI=E+PSI)

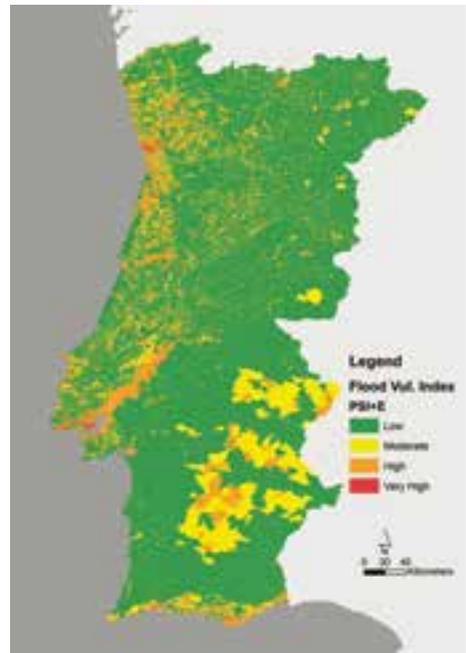


Figura 15. Índice de Vulnerabilidade a Inundação - Exposição e Suscetibilidade Física (FVI=E+PSI)

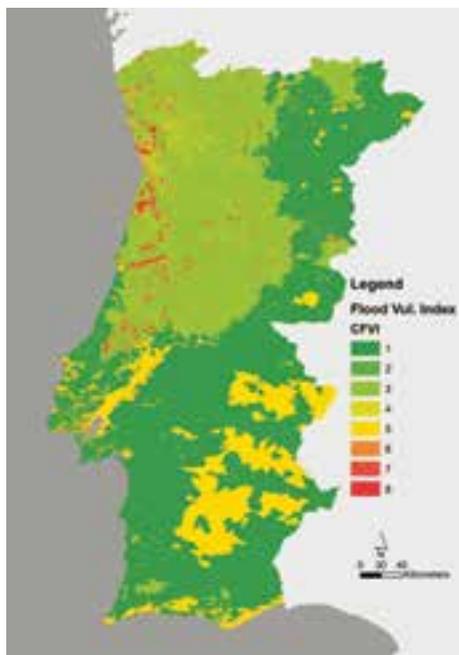
## 38 MAPEAMENTO DE VULNERABILIDADE DE INUNDAÇÃO EM PORTUGAL

Tabela 7. Categorias de Índice de Vulnerabilidade a Inundação

Categorias	E + PSI + SSI	E + PSI	Descrição de categoria
<b>muito elevado</b>	]10; 12]	]6; 8]	Áreas muito suscetíveis de sofrer danos durante ocorrências de inundação (E, PSI), e com comunidades suscetíveis (SSI).
<b>elevado</b>	]7; 10]	]4; 6]	Áreas suscetíveis de sofrer danos durante ocorrências de inundação (E, PSI) e com comunidades suscetíveis (SSI).
<b>moderado</b>	]5; 7]	]3; 4]	Áreas improváveis de sofrer danos durante ocorrências de inundação (E, PSI), e onde as comunidades tendem a ser menos suscetíveis (SSI).
<b>baixo</b>	]3; 5]	]2; 3]	Áreas improváveis de ter inundações (E, PSI), e onde as comunidades são menos suscetíveis (SSI).

Tabela 8. Descrição da categoria do Índice Combinado de Vulnerabilidade a Inundações

CFVI	Descrição	PSI	E	P
<b>8</b>	Elevada Suscetibilidade Física, Exposição e Precipitação	[3,4]	[3,4]	[3,4]
<b>7</b>	Elevada Suscetibilidade Física e Precipitação e baixa Exposição	[3,4]	[1,2]	[3,4]
<b>6</b>	Elevada Suscetibilidade Física e Exposição e baixa Precipitação	[3,4]	[3,4]	[1,2]
<b>5</b>	Elevada Suscetibilidade Física e baixa Exposição e Precipitação	[3,4]	[1,2]	[1,2]
<b>4</b>	Baixa Suscetibilidade Física e elevada Exposição e Precipitação	[1,2]	[3,4]	[3,4]
<b>3</b>	Baixa Suscetibilidade Física e Exposição e elevada Precipitação	[1,2]	[1,2]	[3,4]
<b>2</b>	Baixa Suscetibilidade Física e Precipitação, Exposição elevada	[1,2]	[3,4]	[1,2]
<b>1</b>	Baixa Suscetibilidade Física, Exposição e Precipitação	[1,2]	[1,2]	[1,2]



**Figura 16.** Índice Combinado com Exposição, Suscetibilidade Física e Precipitação FVI (CFVI= E+PSI+P)

Social pode ser adicionada a esse índice. Esta combinação de componentes é o que é geralmente referido como um Índice de Vulnerabilidade a Inundação (FVI). Para estes dois índices anteriores, os valores finais foram calculados por meio da soma dos diferentes elementos. Este método de agregação, pode resultar na perda de informações sobre a contribuição de cada componente para a vulnerabilidade geral a inundação. Além disso, a adição do componente Precipitação ao BFVI pode ajudar a distinguir propensão para inundação em áreas com características físicas de terreno semelhantes. Por esta razão, um terceiro índice foi desenvolvido, definindo diferentes classes de vulnerabilidade para diferentes combinações de Exposição, Suscetibilidade Física e Precipitação,

designados pelo Índice Combinado de Vulnerabilidade a Inundação (CFVI). As diferentes abordagens encontram-se resumidas nas tabelas 5 e 6.

A distribuição nacional do BFVI (Figura 15) mostra uma grande parte do território ( $\approx 85\%$ ), com uma vulnerabilidade baixa a inundação, associada a baixa densidade populacional e as classes de suscetibilidade físicas baixas ou moderadas, como as regiões costeiras e Sul do Alentejo, a área montanhosa do norte do Algarve e a maior parte do Centro e da região Norte interior.

Os valores de vulnerabilidade moderada cobrem cerca de 14% do território e estão concentrados em três áreas distintas: a) as baixas planícies aluviais de exposição a grandes rios como o Tejo, Mondego e Vouga, b) o Alentejo central e partes do Algarve, também com baixa exposição mas com valores de suscetibilidade física mais elevados relacionados com uma rede hidrográfica densa de cursos de água menores e solos impermeáveis (por exemplo, argila) e c) as áreas peri-urbanas com suscetibilidade física moderada, mais visível ao longo da área costeira entre Setúbal e Viana do Castelo, mas também presente nas proximidades de outras grandes cidades do interior (por exemplo, Bragança, Vila Real, Castelo Branco).

Finalmente, as áreas de alta e muito alta vulnerabilidade a inundação, cobrindo cerca de 2% do território Português Continental, são na sua maioria representadas por áreas urbanas com alta densidade populacional e suscetibilidade física elevada e muito elevada, geralmente associadas a baixa permeabilidade do solo. Estas áreas podem ser encontradas nas

áreas metropolitanas de Lisboa e Porto, a parte leste do Algarve, bem como todas as grandes cidades.

Ao comparar o BFVI e o FVI (Figuras 14 e 15), podemos ver claramente que a adição do componente de Suscetibilidade Social, como esperado, aumenta os valores de vulnerabilidade a inundações em áreas rurais, reduzindo-o em regiões costeiras e urbanas. Outra característica a ter em conta é que, em ambos os mapas, as áreas de nível 4 (muito elevado) são muito semelhantes.

Como mencionado acima, a adição de um terceiro componente (Precipitação) e combinando as suas categorias ajuda a descrever a influência das diferentes regiões climáticas e, ao mesmo tempo, exprime melhor a contribuição de cada componente (tabela 8). Como mostrado na Tabela 8 é possível explorar os resultados do ponto de vista das características físicas

do terreno, olhando para as categorias 5, 6, 7 e 8, ou a partir da perspectiva de exposição (categorias 2, 4, 6 e 8). O componente de Precipitação realça, como esperado, a vulnerabilidade do litoral norte, reduzindo-a na região do Alentejo.

## será que os índices . . . . . de vulnerabilidade refletem a realidade?

Durante o projeto CIRAC foi desenvolvido um inquérito para o mercado de seguros Português com dois objetivos principais. O primeiro foi validar o índice de vulnerabilidade com base no número de sinistros reclamados referentes a inundações entre 2000 e 2011. O segundo foi caracterizar a dispersão geográfica dos custos de sinistros em relação ao capital total segurado por código postal.

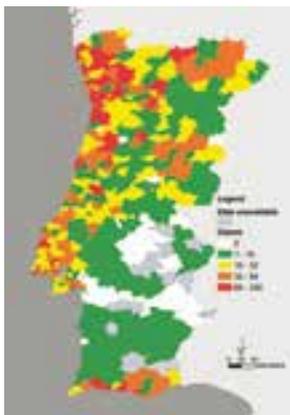


Figura 17. Número de reclamações relativas a inundações entre 2000 - 2011

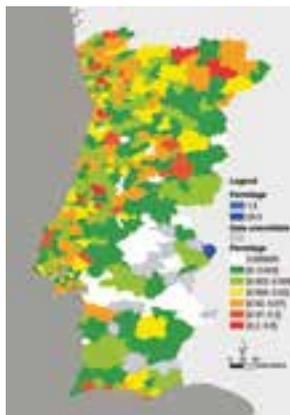


Figura 18. Permutagem média anual relativa às apólices médias ativadas entre 2000 - 2011 e a soma total segurada em 2010.

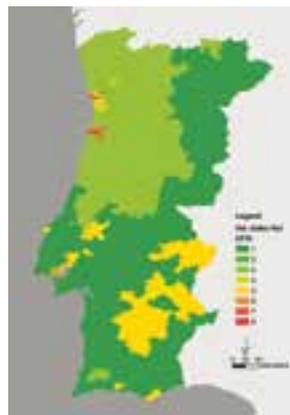


Figura 19. Índice Combinado de Vulnerabilidade FVI de Exposição, Suscetibilidade Física e Precipitação (CFVI) = E+PSI+P, por código postal

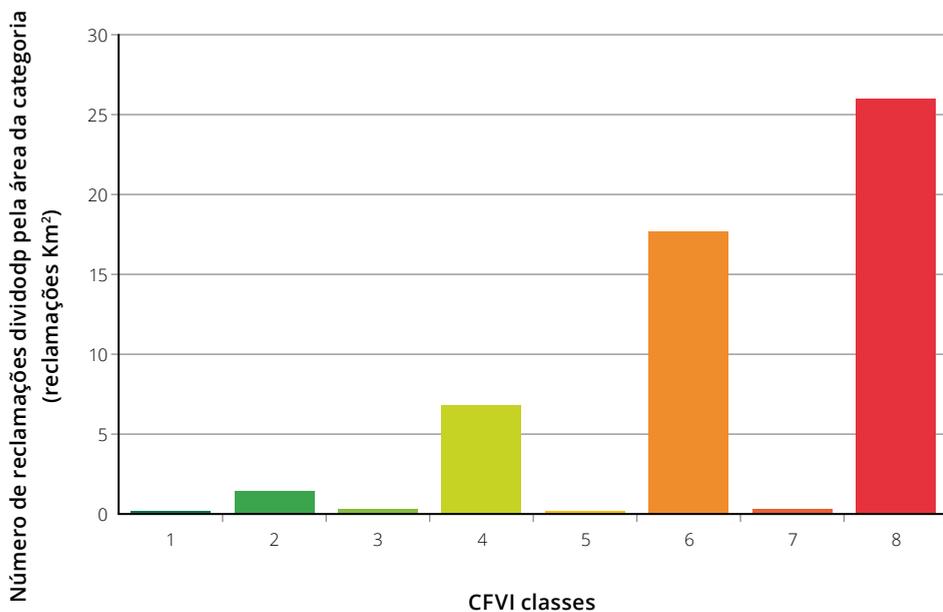


Figura 20. Densidade de reclamações por categoria de vulnerabilidade usando o modo dos componentes.

As Figuras 17 e 18 mostram por código postal, respetivamente, o número total de sinistros e a permilagem média anual, representada pelo rácio entre os custos com sinistros e a soma total segurada.

Embora com diferentes resoluções espaciais e, como esperado, Figura 17 e Figura 16 (CFVI) são muito semelhantes. Ambos os resultados destacam a região do Algarve e do centro e litoral norte como as mais afetadas pelas inundações. Para ir mais longe nessa comparação os valores de vulnerabilidade mais comuns foram agregados por código postal (Figura 19) do Índice Combinado de Vulnerabilidade a Inundação e o número total de

reclamações por quilómetro quadrado foi atribuído a cada categoria de vulnerabilidade (Figura 20).

A análise da Figura 20 mostra claramente que a maioria dos sinistros relacionados com inundações estão em áreas de elevada Suscetibilidade Física e Exposição, categoria 6, ou em áreas de alta Suscetibilidade Física, Exposição e Precipitação, categoria 8. Embora as categorias 5 e 7 também sejam caracterizadas pela elevada Suscetibilidade Física, uma vez que têm valores baixos de Exposição, o número de sinistros nessas áreas é muito pequeno. Estes resultados confirmam a robustez da metodologia nacional de Vulnerabilidade a Inundações.





# MAPEAMENTO DE RISCO DE INUNDAÇÕES EM PORTUGAL

*"O melhor que podemos fazer quando chove é deixar chover."*

Henry Wadsworth Longfellow

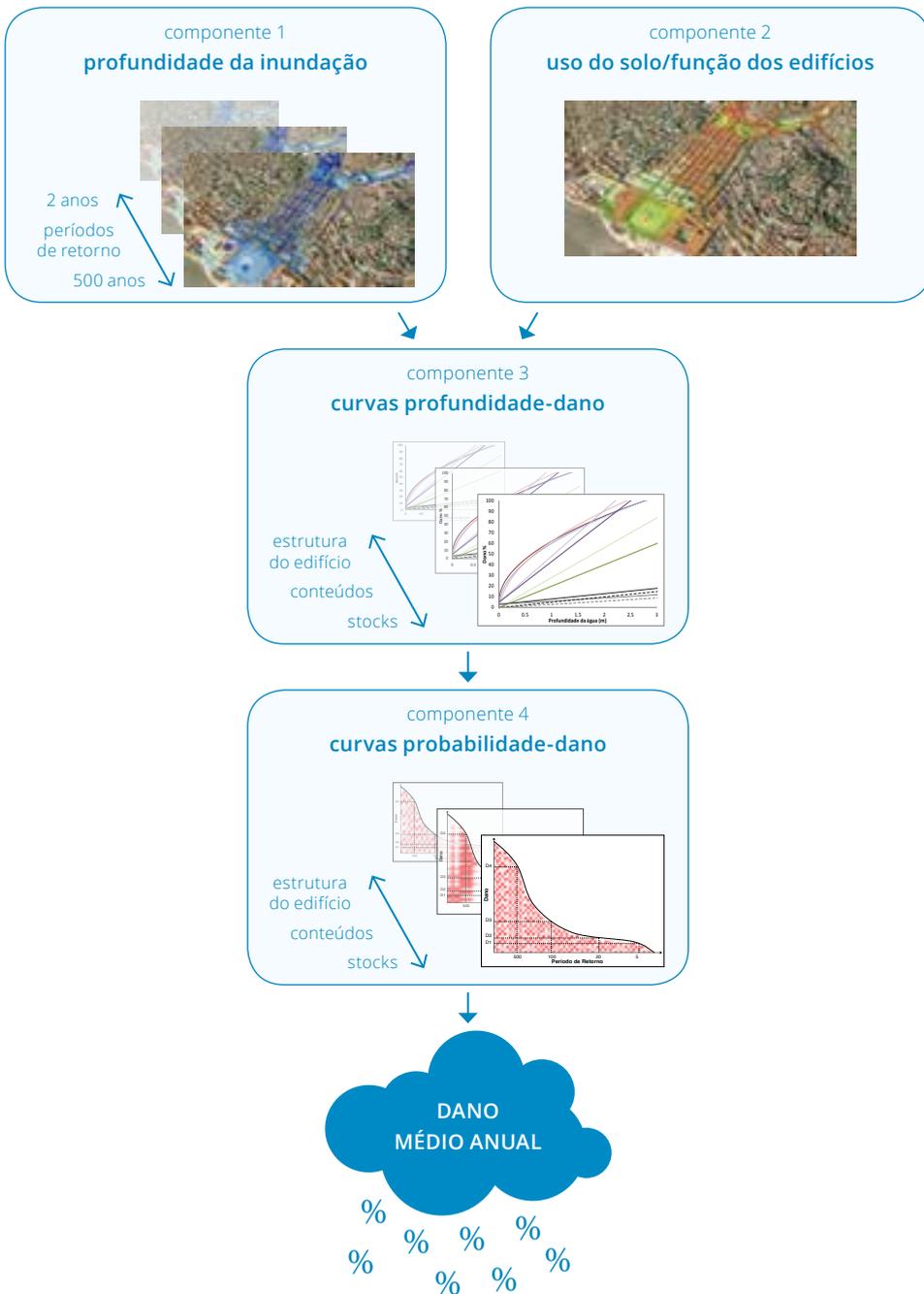


Figura 21. Esquema metodológico para a avaliação do risco de inundações através do cálculo do dano médio anual.

O Risco é definido, de forma genérica, como a probabilidade de ocorrência de consequências ou perdas danosas como resultado da interação entre o meio natural, ou dos perigos induzido pelo homem, e as condições de susceptibilidade dos elementos.

O cálculo do risco consiste no produto da probabilidade de ocorrência de um fenómeno, com uma determinada magnitude, pelas consequências resultantes desse fenómeno (Equação 3).

$$\text{risco} = \text{probabilidade} \times \text{consequência} \quad (3)$$

A probabilidade foi obtida através dos períodos de retorno (ver glossário) de precipitação ou de caudais para as diferentes áreas.

Através de modelação é possível obter-se a extensão da inundação e as características associada a diferentes períodos de retorno (componente 1 da Figura 21). Com esta informa o e recorrendo-se a dados históricas dos danos causados nos elementos expostos associados a diferentes alturas de água, criam-se curvas profundidade-dano (componente 3 da Figura 21). Com a aplica o destas curvas associa-se uma consequência aos elementos expostos nos diferentes períodos de retorno (componente 2 da Figura 21). Finalmente e através da multiplica o da probabilidade de uma inunda o pela consequência que esta causa nos elementos, obtemos o risco para cada período de retorno analisado. A soma do risco associado aos períodos de retorno analisados corresponde ao que se designa por dano médio anual (componente 4 da Figura 21). Este dano médio



Figura 22. Localiza o dos casos de estudo para a avalia o de risco de inunda es.

anual representa a fra o do valor total do patrim nio exposto para uma determinada categoria de edifícios que   impactado em média anualmente.

Neste projecto o dano foi avaliado para quatro áreas de estudo, sendo avaliado tanto a estrutura dos edifícios como os seus conteúdos, subdivididos em Inventário residencial, ativos fixos – Industriais e não industriais - e stocks (ver glossário). Esta avalia o apenas contabiliza o dano médio anual dos edifícios efectivamente afectados por inunda es e não a totalidade de edifícios presentes na bacia avaliada. As quatro áreas avaliadas foram escolhidas pelo grande número de cheias e inunda es registadas, correspondendo a Lisboa (Bacia da Baixa), Algés (Baixa de Algés),

Coimbra (Baixa de Coimbra e parte sul da cidade) e Douro (Porto e Gaia) (Figura 22).

## caso de estudo Lisboa

A cidade de Lisboa é frequentemente assolada por inundações. As áreas mais vulneráveis encontram-se identificadas em vários estudos nomeadamente no Plano Diretor Municipal da Cidade. Nesta cidade, as inundações ocorrem como resultado de precipitações intensas e de curta duração que resultam em cheias ou inundações rápidas. Estas são agravadas devido ao elevado nível de impermeabilização do solo, associado a um sistema de drenagem nem sempre devidamente dimensionado e através da ocupação e artificialização das antigas linhas de água, que se encontram maioritariamente canalizadas. Não menos importante é a interação existente entre a rede de drenagem pluvial e o rio Tejo. Visto a sua largura, este rio não é responsável por inundações resultantes de precipitações na cidade de Lisboa. No entanto, outros fenómenos como as sobrelevações meteorológicas, as marés e a subida do nível médio do mar têm um impacto significativo nas inundações urbanas uma vez que implicam um incremento do nível da água do rio, provocando um efeito de tampão no sistema de drenagem da cidade.

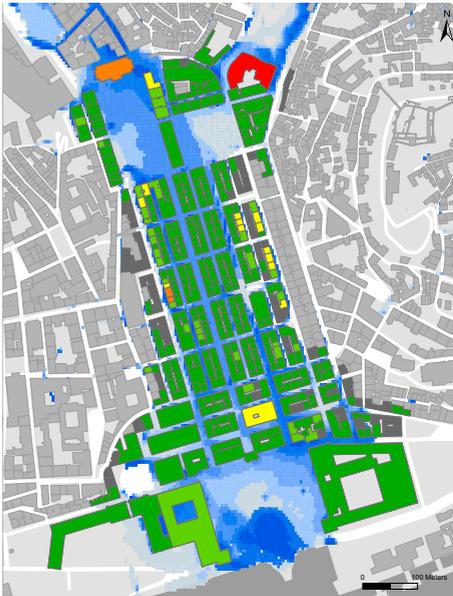
Na última década a inundações mais significativa na cidade de Lisboa ocorreu no dia 18 de Fevereiro de 2008. Neste dia a estação meteorológica do Instituto Geofísico do Infante D. Luís, em funcionamento desde 1836, ultrapassou o anterior registo máximo de precipitação diária, passando



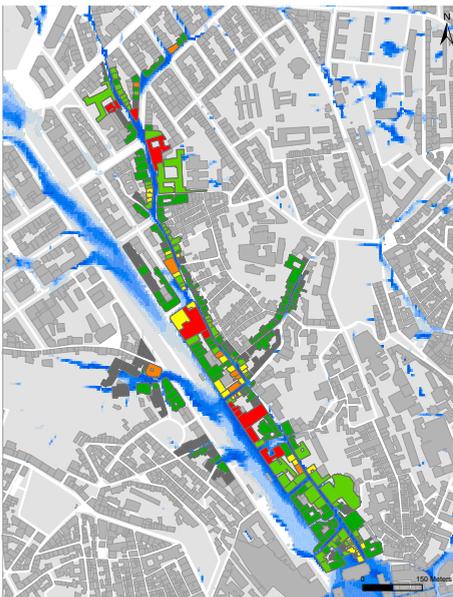
Figura 23. Delimitação da bacia da Baixa de Lisboa.

o novo extremo absoluto a ser de 118 mm. No entanto esta inundações não foi a que causou maiores impactos na população, sendo necessário recuar-se a 25 de Novembro de 1967 quando, na região de Lisboa, as inundações foram responsáveis por mais de 400 vítimas mortais (algumas fontes referem mais de 700 vítimas). Apesar do valor precipitado ser bastante superior em 2008 muitos melhoramentos foram realizados ao longo dos anos. Com relevância para a cidade de Lisboa podem-se referir os melhoramentos nos sistemas de drenagem pluvial que embora ainda apresentem algumas situações de subdimensionamento, têm uma capacidade de resposta bastante mais adequada no presente.

Dano Médio Anual Estrutura do edifício (%)	Período de retorno (anos)
0-10	2
10-20	5
20-30	10
30-40	20
40-55	50
edifícios avaliados	100
outros edifícios	500



*Figura 24. Risco de inundação. Dano médio anual na estrutura dos edifícios. Sub-bacia da Baixa de Lisboa.*



*Figura 25. Risco de inundação - Dano médio anual na estrutura dos edifícios. Sub-bacia da Avenida da Liberdade, Lisboa.*



*Figura 26. Risco de inundação - Dano médio anual na estrutura dos edifícios. Sub-bacia da Avenida Almirante Reis, Lisboa.*

**Tabela 9.** Dano médio anual (DMA) como consequência das inundações para a estrutura do edifício e diferentes ocupações. Diferença espectável nos danos médios anuais tendo em atenção dois cenários de alterações climáticas. Sub-bacia da Avenida da Liberdade, Lisboa.

SUB-BACIA DA AVENIDA DA LIBERDADE	Elementos Expostos	Presente	HadCm <sup>3</sup>	2010 2039	2040 2069	2070 2099
	n°	DMA (%)	SRES	Alterações ao DMA de 2010 (%)		
Estrutura	285	2.95	A2	-0.25	-0.08	-0.81
			B2	+0.28	-0.23	+0.20
Conteúdo Residencial CV	1	0.41	A2	-0.32	-0.24	-0.35
			B2	+0.13	-0.28	+0.26
Conteúdo Residencial R/C	37	59.4	A2	-0.77	+0.99	-10.3
			B2	+3.74	-1.03	+1.51
Activos Fixos não Industriais CV	9	59.7	A2	-3.49	-0.43	-15.4
			B2	+5.42	-3.38	+3.21
Activos Fixos não Industriais R/C	230	105.7	A2	-4.92	+0.02	-25.1
			B2	+8.81	-4.87	+4.74
Activos Fixos Industriais CV	0	—	A2	—	—	—
			B2	—	—	—
Activos Fixos Industriais R/C	0	—	A2	—	—	—
			B2	—	—	—
Stocks CV	27	38.3	A2	-2.30	-0.43	-9.40
			B2	+3.32	-2.22	+2.12
Stocks R/C	220	45.9	A2	-3.40	-0.85	-12.2
			B2	+4.27	-3.19	+2.84

Em Lisboa existem várias bacias de drenagem onde ocorrem inundações, designadamente a do vale de Alcântara, do vale de Chelas ou a da Baixa de Lisboa. Esta última desenvolve-se para Norte, através da Avenida da Liberdade (antiga Ribeira de Valverde ou de Santo Antão) e Avenida Almirante Reis (antiga Ribeira de Arroios), sendo a escolhida para a avaliação de risco de inundação (Figura 23).

Para efeitos de avaliação de risco, procedeu-se à modelação do escoamento superficial e da rede de drenagem e, posteriormente, dividiu-se a bacia em troços com o objectivo de se avaliar comparativamente o risco dessas diferentes áreas. Os

troços avaliados correspondem: (1) zona da Baixa de Lisboa (Figura 24), (2) Avenida da Liberdade (Figura 25) e Avenida Almirante Reis (Figura 26).

No presente, as três áreas avaliadas têm diferentes perfis de risco quando tratadas individualmente. A área com valores mais elevados corresponde ao troço da bacia designado por Avenida da Liberdade onde a rede de drenagem não é tão eficaz em situações de chuva torrencial, existindo várias zonas deprimidas e de acumulação de água, como por exemplo a Rua das Pretas ou a Rua das Portas de Santo Antão, que se encontra a uma cota inferior das zonas circundantes. No conjunto de edifícios

**Tabela 10.** Dano médio anual (DMA) como consequência das inundações para a estrutura do edifício e diferentes ocupações. Diferença espectável nos danos médios anuais tendo em atenção dois cenários de alterações climáticas. Sub-bacia da Avenida Almirante Reis, Lisboa.

SUB-BACIA DA AVENIDA	Elementos Expostos	Presente	HadCm <sup>3</sup>	2010 2039	2040 2069	2070 2099
ALMIRANTE REIS	nº	DMA (%)	SRES	Alterações ao DMA de 2010 (%)		
Estrutura	348	2.03	A2	-0.07	-0.01	-0.43
			B2	+0.15	-0.07	+0.08
Conteúdo Residencial CV	0	—	A2	—	—	—
			B2	—	—	—
Conteúdo Residencial R/C	64	64.9	A2	-1.97	+0.58	-13.5
			B2	+4.81	-2.08	+2.26
Activos Fixos não Industriais CV	5	69.8	A2	-1.84	+1.12	-16.1
			B2	+5.72	-2.07	+2.44
Activos Fixos não Industriais R/C	260	77.5	A2	-2.03	+0.93	-16.0
			B2	+5.71	-2.23	+2.55
Activos Fixos Industriais CV	1	0.50	A2	-0.32	-0.22	-0.40
			B2	+0.14	-0.28	+0.22
Activos Fixos Industriais R/C	0	—	A2	—	—	—
			B2	—	—	—
Stocks CV	22	34.5	A2	-1.10	+0.19	-6.83
			B2	+2.43	-11.4	+12.1
Stocks R/C	244	33.4	A2	-0.98	-0.32	-7.00
			B2	+2.49	-1.05	+1.16

avaliados, e para o presente, verifica-se uma perda média anual ligeiramente superior a 100% nos ativos fixos não industriais localizados ao nível do rés-do-chão, diminuindo este valor nas restantes categorias avaliadas (Tabela 9).

Relativamente ao troço da bacia da Avenida Almirante Reis a acumulação de água faz-se maioritariamente no Regueirão dos Anjos, onde se localizava a primitiva linha de água, e no Largo do Intendente. Para esta sub-bacia e à imagem da sub-bacia da Avenida da Liberdade, a categoria com maior dano no presente corresponde aos ativos fixos não industriais. No entanto o valor de dano médio anual para a

Em Lisboa existem várias bacias de drenagem onde ocorrem inundações, designadamente a do vale de Alcântara, do vale de Chelas ou a da Baixa de Lisboa. Esta última desenvolve-se para Norte, através da Avenida da Liberdade (...) e Avenida Almirante Reis (antiga Ribeira de Arroios), sendo a escolhida para a avaliação de risco de inundação.

**Tabela 11.** Dano médio anual (DMA) como consequência das inundações para a estrutura do edifício e diferentes ocupações. Diferença espectável nos danos médios anuais tendo em atenção dois cenários de alterações climáticas. Sub-bacia da Baixa de Lisboa.

SUB-BACIA DA BAIXA	Elementos Expostos	Presente	HadCm <sup>3</sup>	2010 2039	2040 2069	2070 2099
	n°	DMA (‰)	SRES	Alterações ao DMA de 2010 (‰)		
Estrutura	368	0.58	A2	-0.15	-0.09	-0.26
			B2	+0.09	-0.13	+0.11
Conteúdo Residencial CV	0	—	A2	—	—	—
			B2	—	—	—
Conteúdo Residencial R/C	2	59.2	A2	-1.29	+0.24	-9.10
			B2	+3.37	-1.44	+1.85
Activos Fixos não Industriais CV	2	36.9	A2	-15.4	-8.78	-24.0
			B2	+7.83	-13.1	+9.06
Activos Fixos não Industriais R/C	363	36.0	A2	-6.18	-3.07	-13.4
			B2	+4.61	-5.48	+4.34
Activos Fixos Industriais CV	0	—	A2	—	—	—
			B2	—	—	—
Activos Fixos Industriais R/C	0	—	A2	—	—	—
			B2	—	—	—
Stocks CV	4	11.0	A2	-2.53	-1.30	-5.57
			B2	+1.96	-2.28	+1.96
Stocks R/C	318	14.8	A2	-2.83	-1.50	-5.66
			B2	+1.96	-2.50	+2.00

sub-bacia da Avenida Almirante Reis tem um valor mais baixo, rondando os 77‰ (Tabela 10).

Finalmente a área com menor risco associado é a zona da Baixa. Esta situação prende-se principalmente com a estrutura da rede de drenagem mais eficiente nesta área mas também com a sua situação topográfica mais favorável devido ao alargamento da área de espraio das águas de escorrência superficial. Para este caso, e no presente, o valor mais elevado de risco corresponde aos conteúdos das frações dedicadas à habitação no rés-do-chão, com um valor a rondar os 60 ‰ de perdas médias anuais. No entanto e visto apenas

existirem dois edifícios expostos com esta característica, o seu valor tem uma baixa representatividade no universo avaliado. Mais relevantes em termos comparativos com as restantes áreas avaliadas nesta bacia são os ativos fixos não industriais localizados no rés-do-chão, onde o valor de risco corresponde a 36‰ de perdas anuais médias (Tabela 11).

A avaliação dos cenários climáticos para estes três troços revelam uma tendência de relativa estacionariedade ou diminuição dos eventos extremos, consoante o cenário. No cenário A2 observa-se uma ligeira diminuição dos danos médios em praticamente todas as categorias avaliadas.

.....  
 A avaliação dos cenários climáticos para estes três troços revelam uma tendência de relativa estacionariedade ou diminuição dos eventos extremos, consoante o cenário.

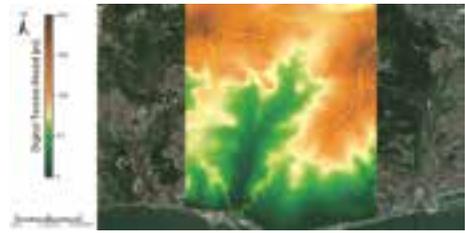


Figura 27. Delimitação da bacia da Ribeira de Algés

.....  
 No cenário B2 os resultados não têm uma tendência definida. As modificações projetadas por este cenário climático sugerem um aumento dos eventos extremos até meados do século (até 2039), bem como no seu final (2070-2099). No entanto o período intermédio (2040-2069) apresenta uma diminuição destes eventos. Deve referir-se que a tendência de diminuição do dano médio anual verificado no cenário A2 é, em geral, mais significativa do que a de aumento no cenário B2 (Tabelas 9, 10, 11).

## ..... caso de estudo Algés

Algés localiza-se no concelho de Oeiras, na fronteira com o município de Lisboa. A secção final da ribeira de Algés encontra-se canalizada, passando no subsolo da baixa de Algés e desaguando no Tejo. Por esse motivo, as inundações que ocorrem com bastante frequência nesta zona, são fortemente influenciadas pelas marés e restantes condições verificadas no rio.

Na última década são de especial relevância, duas inundações que ocorreram no espaço de dois meses mais especificamente

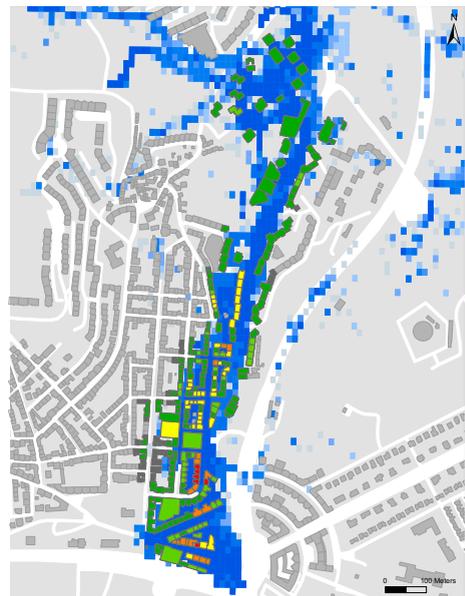


Figura 28. Risco de inundação - Dano médio anual na estrutura dos edifícios. Algés, Oeiras.

Dano Médio Anual Estrutura do edifício (%)	Período de retorno (anos)
0-10	2
10-20	5
20-30	10
30-40	20
40-55	50
edifícios avaliados	100
outros edifícios	500

a 19 de Dezembro de 2007 e 18 de Fevereiro de 2008. Em ambos os casos várias ruas da baixa de Algés ficaram alagadas e os danos causados nos espaços habitacionais e comerciais foram significativos.

Para efeitos de avaliação de risco procedeu-se à modelação tanto do escoamento superficial como da rede de drenagem. Esta modelação, apesar de ser realizada para toda a bacia da ribeira (Figura 27), é mais pormenorizada na baixa de Algés, onde foi realizada a avaliação de risco (Figura 28).

A área avaliada apresenta os maiores valores de risco, traduzidos em dano

*Para efeitos de avaliação de risco procedeu-se à modelação tanto do escoamento superficial como da rede de drenagem.*

médio anual, de todos os casos de estudo devido ao elevado número de ocorrências de inundações que aqui se verificam. Com a exceção dos danos causados na estrutura dos edifícios, todas as categorias de dano avaliadas, têm uma perda potencial média superior aos 100% ao ano, sendo de especial relevância a categoria de dano

**Tabela 12.** Dano médio anual (DMA) como consequência das inundações para a estrutura do edifício e diferentes ocupações. Diferença espectável nos danos médios anuais tendo em atenção dois cenários de alterações climáticas. Algés, Oeiras.

ZONA DA BAIXA DE ALGÉS	Elementos Expostos	Presente	HadCm <sup>3</sup>	2010	2040	2070
	nº	DMA (‰)	SRES	2039	2069	2099
				Alterações ao DMA de 2010 (‰)		
Estrutura	242	12.3	A2	+0.18	+0.44	-1.80
			B2	+0.66	+0.07	+0.10
Conteúdo Residencial CV	33	137.6	A2	+0.93	+4.80	-24.5
			B2	+8.95	-0.19	+2.06
Conteúdo Residencial R/C	134	170.2	A2	+2.12	+6.02	-26.2
			B2	+9.64	+0.69	+1.74
Activos Fixos não Industriais CV	44	177.2	A2	+2.13	+6.21	-27.2
			B2	+10.0	+0.66	+1.81
Activos Fixos não Industriais R/C	180	212.1	A2	+3.31	+7.61	-29.9
			B2	+11.1	+1.49	+1.60
Activos Fixos Industriais CV	5	113.5	A2	+2.12	+4.28	-15.6
			B2	+5.79	+1.09	+0.67
Activos Fixos Industriais R/C	1	130.1	A2	+2.77	+4.98	-16.6
			B2	+6.23	+1.57	+0.50
Stocks CV	42	136.3	A2	+1.95	+4.94	-20.4
			B2	+7.52	+0.78	+1.21
Stocks R/C	175	103.7	A2	+14.6	+3.69	-15.3
			B2	+5.64	+0.58	+0.91

dos ativos fixos não industriais onde este valor ultrapassa os 200%.

As modificações projetadas pelos cenários climáticos são idênticas às encontradas para a Baixa de Lisboa. O risco futuro associado à Baixa de Algés tem, consequentemente, o mesmo comportamento que o das sub-bacias de Lisboa no período de longo prazo (2070-2099). No entanto, para os cenários A2 e B2 verifica-se um aumento do risco em Algés, tanto a curto (até 2039) como a médio prazo (2040-2069). Esta situação resulta de características específicas da bacia, onde precipitações relativamente baixas causam danos consideráveis, sendo que tanto o cenário A2 como

o B2 projetam um aumento da frequência destas precipitações a curto e médio prazo (Tabela 12).

## caso de estudo . . . . . Coimbra

Na cidade de Coimbra ocorrem cheias de diferentes origens. Podem ocorrer como resultado do transbordo das águas do rio Mondego, implicando precipitação a montante deste rio; ou através de episódios locais de precipitação extrema, causando a sobrecarga dos sistemas de drenagem pluvial e/ou o aumento significativo das

**Tabela 13.** Dano médio anual (DMA) como consequência das inundações para a estrutura do edifício e diferentes ocupações. Diferença esperável nos danos médios anuais tendo em atenção dois cenários de alterações climáticas. Baixa, Coimbra.

BAIXA DE COIMBRA	Elementos Expostos	Presente	HadCm <sup>3</sup>	2010 2039	2040 2069	2070 2099
	nº	DMA (%)	SRES	Alterações ao DMA de 2010 (%)		
Estrutura	692	2.29	A2	+0.18	+0.44	-1.80
			B2	-0.60	-0.08	+0.51
Conteúdo Residencial CV	16	21.5	A2	-3.61	-2.65	+8.05
			B2	-8.52	-1.51	+4.49
Conteúdo Residencial R/C	122	50.1	A2	-5.11	-3.14	+14.4
			B2	-13.1	-1.88	+10.2
Activos Fixos não Industriais CV	15	46.2	A2	-4.79	-3.08	+12.9
			B2	-12.1	-1.88	+8.88
Activos Fixos não Industriais R/C	529	60.8	A2	-6.11	-3.29	+19.6
			B2	-16.6	-2.04	+14.7
Activos Fixos Industriais CV	0	—	A2	—	—	—
			B2	—	—	—
Activos Fixos Industriais R/C	2	1.76	A2	+0.02	+0.52	+2.34
			B2	-0.81	+0.21	+2.59
Stocks CV	46	40.6	A2	-3.78	-2.90	+7.78
			B2	-8.65	-1.62	+4.49
Stocks R/C	480	22.8	A2	-2.17	-0.90	+8.26
			B2	-6.37	-0.62	+6.61

**Tabela 14.** Dano médio anual (DMA) como consequência das inundações para a estrutura do edifício e diferentes ocupações. Diferença espectável nos danos médios anuais tendo em atenção dois cenários de alterações climáticas. Coimbra, Sul.

ZONA SUL DE COIMBRA	Elementos Expostos	Presente	HadCm <sup>3</sup>	2010	2040	2070
	nº	DMA (%)	SRES	2039	2069	2099
				Alterações ao DMA de 2010 (%)		
Estrutura	586	4.52	A2	-0.44	-0.40	+0.62
			B2	-0.90	-0.21	+0.22
Conteúdo Residencial CV	23	54.9	A2	-5.08	-4.45	+7.77
			B2	-10.6	-2.41	+3.16
Conteúdo Residencial R/C	238	66.3	A2	-6.81	-5.91	+10.8
			B2	-14.4	-3.20	+4.57
Activos Fixos não Industriais CV	16	50.4	A2	-5.05	-4.24	+8.64
			B2	-10.9	-2.32	+4.13
Activos Fixos não Industriais R/C	199	101.3	A2	-9.85	-8.94	+13.7
			B2	-20.2	-4.79	+4.54
Activos Fixos Industriais CV	0	—	A2	—	—	—
			B2	—	—	—
Activos Fixos Industriais R/C	7	22.8	A2	-2.35	-2.18	+3.02
			B2	-4.72	-1.16	+0.84
Stocks CV	104	39.7	A2	-3.85	-3.48	+5.39
			B2	-7.89	-1.87	+1.83
Stocks R/C	283	33.9	A2	-3.37	-3.02	+4.85
			B2	-6.95	-1.62	+1.74

escorrências superficiais, que originam cheias ou inundações urbanas.

A avaliação realizada em Coimbra centra-se em exclusivo nas cheias urbanas, responsáveis por danos na baixa da cidade e a sul, nas zonas do estádio e do Vale das Flores. Tal como no Porto, existem cheia progressivas no Rio Mondego, com uma componente de regularização dos caudais através das barragens a montante da cidade. Como os factores que levam à alteração de caudal vão para além das condições meteorológicas resolveu-se não incluir este tipo de fenómeno na avaliação de risco efectuada.

*A avaliação realizada em Coimbra centra-se em exclusivo nas cheias urbanas, responsáveis por danos na baixa da cidade e a sul, nas zonas do estádio e do Vale das Flores.*

A maior cheia registada em Coimbra ocorreu a 29 Janeiro de 1948, estando esta muito relacionada com a subida das águas do rio Mondego. No entanto, e na última década ocorreram dois episódios de inundações que resultaram de precipitações

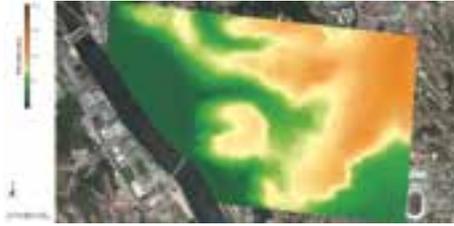


Figura 29. Delimitação da área avaliada. Baixa de Coimbra

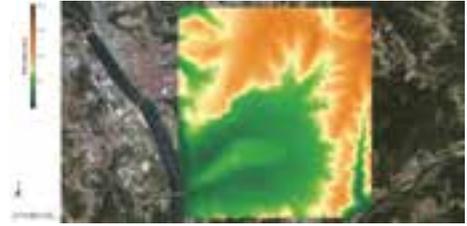


Figura 30. Delimitação da área avaliada. Coimbra Sul

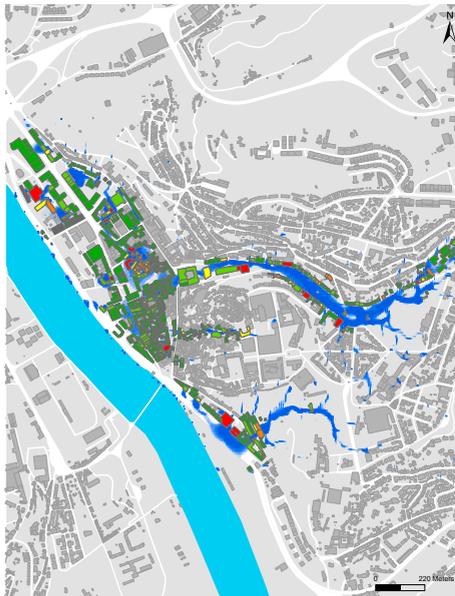


Figura 31. Risco de inundação - Dano médio anual na estrutura dos edifícios. Baixa de Coimbra.

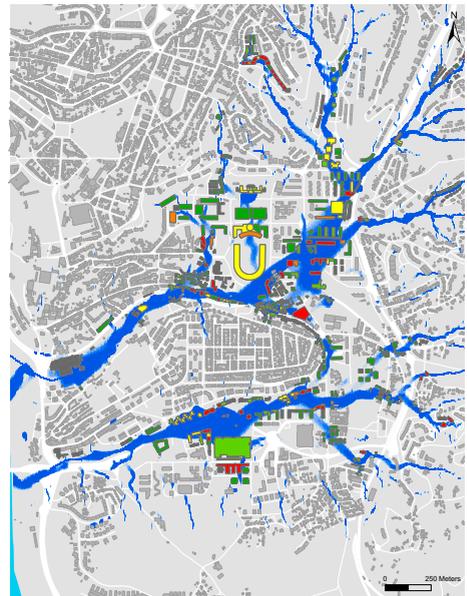
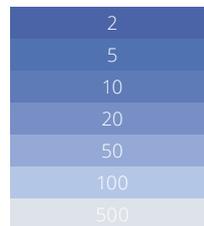


Figura 32. Risco de inundação - Dano médio anual na estrutura dos edifícios. Coimbra, Sul.

Dano Médio Anual  
Estrutura do edifício  
(‰)



Período de retorno  
(anos)





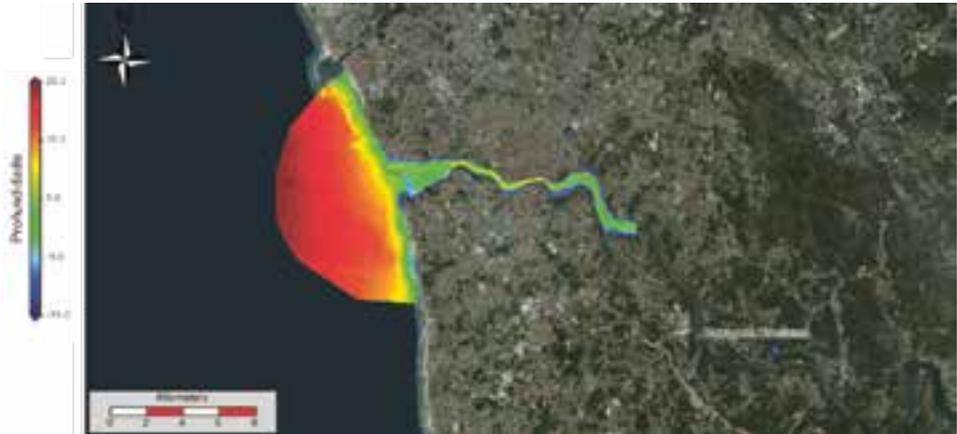


Figura 33. Delimitação do trecho da bacia do rio Douro modelado.

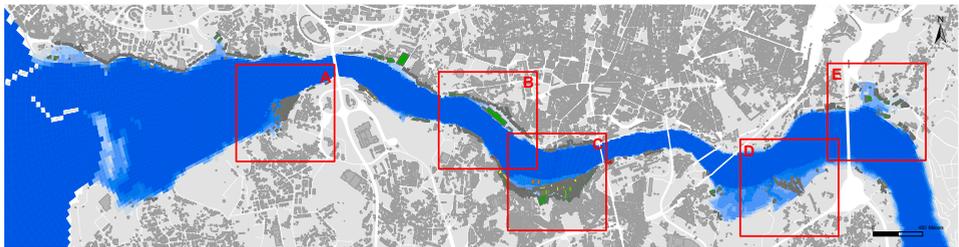
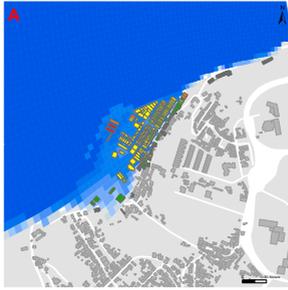


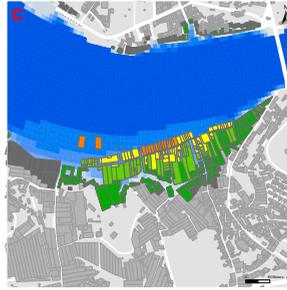
Figura 34. Risco de inundação - Dano médio anual na estrutura dos edifícios. Douro - Porto/Gaia.

23 de dezembro de 1909 ocorreu uma das maiores cheias registadas no ultimo século, onde morreram mais de 120 pessoas e a altura da água chegou a ultrapassar os 10 metros (tendo como referencial o zero hidrográfico) na zona do cais da ribeira do Porto, correspondendo a 4 metros de altura de água a contar da superfície daquele cais. Esta não é a inundação mais grave de que há registo, existindo diversos relatos de eventos extremos anteriores àquela data. Na última década a inundação mais significativa ocorreu a 25 de Novembro de 2006. Esta, embora tenha causado muitos prejuízos, não é comparável à de 1909.

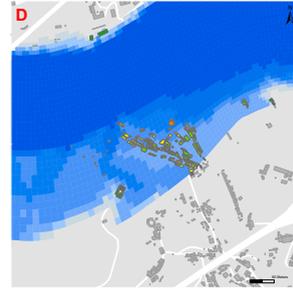
.....  
 As cidades do Porto e Gaia são frequentemente assoladas por cheias progressivas que resultam do transbordo das águas do rio Douro. Estas cidades localizam-se na foz do rio onde as marés, a sobrelevação meteorológica e as tempestades, quando conjugadas com os caudais têm influência na altura da água do rio.  
 .....



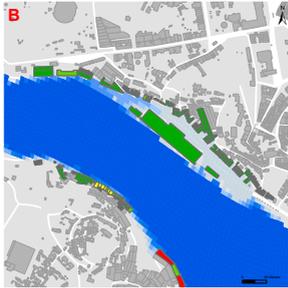
**Figura 35a.** Risco de inundação -  
- Dano médio anual na estrutura  
dos edifícios. São Pedro da  
Afurada, Gaia.



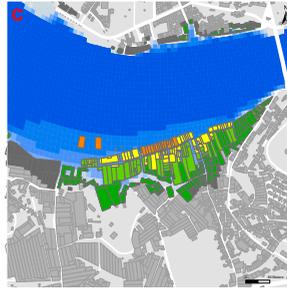
**Figura 35b.** Risco de inundação -  
- Dano médio anual na estrutura  
dos edifícios. Junto às caves do  
vinho do Porto - Frente ribeirinha  
de Santa Marinha, Gaia (Parte Sul  
da Imagem).



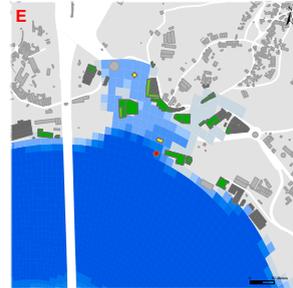
**Figura 35c.** Risco de inundação -  
- Dano médio anual na estrutura  
dos edifícios. Areinho, Gaia.



**Figura 35d.** Risco de inundação -  
- Dano médio anual na estrutura  
dos edifícios. Zona da Alfândega  
do Porto (Parte Norte da Imagem).



**Figura 35e.** Risco de inundação -  
- Dano médio anual na estrutura  
dos edifícios. Zona da Ribeira,  
Porto (Parte Norte da Imagem).



**Figura 35f.** Risco de inundação -  
- Dano médio anual na estrutura  
dos edifícios. Confluência dos rios  
Tordo e Tinto com o Douro.

Dano Médio Anual Estrutura do edifício (‰)	Período de retorno (anos)
0-10	2
10-20	5
20-30	10
30-40	20
40-55	50
edifícios avaliados	100
outros edifícios	500







# GLOSSÁRIO

*"Toda a água tem uma memória perfeita e está sempre a tentar voltar para onde estava."*

**Toni Morrison**

### Alterações climáticas

Variação estatisticamente significativa tanto no estado médio do clima ou na sua variabilidade, persistindo por um período prolongado (geralmente décadas ou mais). A mudança climática pode dever-se a processos internos naturais ou forças externas, ou a mudanças antropogénicas persistentes na composição da atmosfera ou no uso da terra.

### Ativos fixos

Bens imóveis localizados de forma permanente dentro de uma fracção ou edifício. Podem ser industriais caso se encontrem dentro de um edifício/fracção cuja actividade seja a indústria ou não industriais caso se localizem num edifício/fracção associado a comércio, serviço, equipamento ou escritórios. São exemplo de activos fixos as máquinas industriais, os servidores e computadores, as camaras frigoríficas, etc.

### Cenário

Uma descrição plausível e muitas vezes simplificada de como o futuro pode desenvolver-se com base em um conjunto coerente e internamente consistente de suposições sobre as forças motrizes e relações-chave. Os cenários podem ser derivados de projeções, mas são muitas vezes baseados em informações adicionais de outras fontes, por vezes combinado com uma "história narrativa".

### Cenário climático

Uma representação plausível e muitas vezes simplificada do clima futuro, com base num conjunto internamente consistente de relações climatológicas, que

foi construído para uso explícito na investigação das possíveis consequências de mudanças climáticas antropogénicas.

### Clima

O "clima médio", descrito em termos da média e da variabilidade de quantidades relevantes ao longo de um período de tempo que varia entre meses a milhares ou milhões de anos. O período clássico é de 30 anos, conforme definido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM).

### CO<sub>2</sub> equivalente

É uma medida que usa a quantidade funcionalmente equivalente ou concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como referência. Convertendo todo o gás de efeito estufa (GEE) em equivalentes de CO<sub>2</sub> podem ser comparados.

### Estrutura de edifício

Compreende para além dos elementos estruturantes dos prédios, as suas paredes, os revestimentos as redes de abastecimento e restantes elementos que fazem parte integrante do edifício.

### Evento climático extremo

Um evento que é raro dentro da sua distribuição de referência estatística num local particular. Definições de "raro" variam de lugar para lugar (e ao longo dos tempos), mas um evento extremo, normalmente, seria tão raro ou mais raro do que o percentil 10 ou 90.

### Exposição

Consiste na presença de pessoas, bens ou outros elementos potencialmente sujeitos a danos em áreas onde a inundação

ocorre (ver e.g. UNISDR, 2004, UNISDR, 2009, SEC, 2010), podendo ser quantificada pelo número ou valor dos elementos que se encontram dentro dessa área (Merz et al., 2007). Desta forma, um determinado elemento muito frágil a inundações mas que não se encontre exposto a esse fenómeno, terá sempre um risco nulo (Bruijn et al., 2009).

### Gestão de risco

Uma abordagem sistemática para definir a melhor forma de agir em situações de incerteza, através da aplicação de políticas, procedimentos e práticas de gestão para as tarefas de análise, avaliação, controle e comunicação sobre questões de risco.

### Inventário residencial

Todos os bens que se encontram numa fracção com uso habitacional.

### IPCC

Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

### Média Anual de Permilagem

Relação entre a compensação média obtida entre 2000-2011 e o valor segurado para cada código postal em 2011.

### Modelo climático

A representação numérica do sistema climático baseado nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos seus componentes, as suas interações e processos de retroação, representando todas ou algumas de suas propriedades conhecidas.

### Modelos de Circulação Geral (GCM)

Uma representação tridimensional da atmosfera da Terra

por meio de quatro equações principais que descrevem o fluxo de energia (primeira lei da termodinâmica) e momento (segunda lei do movimento de Newton), juntamente com a conservação da massa (equação de continuidade) e vapor de água (lei dos gases ideais). Cada equação é resolvida em pontos distintos sobre a superfície da Terra em intervalos de tempo fixos (geralmente 10-30 minutos), para várias camadas na atmosfera definida por uma grelha regular (resolução de cerca de 200 km). Modelos de circulação geral acoplado Oceano-atmosfera (O/MCGA) também incluem o oceano, a superfície da terra e componentes do gelo marinho. Ver modelo climático.

### Normais climatológicas

“Normais” climáticas são pontos de referência utilizados pelos climatologistas para comparar as tendências climáticas atuais com as do passado ou o que é considerado “normal”. Normal é definido como a média aritmética de um elemento climático (por ex. temperatura) durante um período de 30 anos. Utiliza-se um período de 30 anos, por ser longo o suficiente para filtrar qualquer variação interanual ou anomalias, mas também curto o suficiente para ser capaz de mostrar as tendências climáticas mais longas. O período climático normal atual é calculado de 1 de janeiro de 1961 a 31 de Dezembro de 1990. (Organização Meteorológica Mundial (OMM).

### O Zero Hidrográfico

Corresponde ao valor definido em 1938, consistindo na mais baixa baixa-mar registrada.

### Período de retorno

Número médio de anos entre dois eventos sucessivos em que uma determinada quantidade de água precipitada ou de caudal é excedida.

### ppm ou partes por milhão

É uma unidade que pretende descrever pequenos valores de muitas quantidades sem dimensão, por exemplo, fração molar, fração de massa ou fração de volume (ppmv ou partes por milhão por Volume).

### Projeção climática

A projeção da resposta do sistema climático aos cenários de emissão ou concentração de gases de efeito estufa e aerossóis, ou cenários de energia radioativa, muitas vezes baseadas em simulações de modelos climáticos. Como essas projeções climáticas são baseadas em suposições sobre os futuros desenvolvimentos sócio-económicos e tecnológicos.

### Resiliência

A capacidade de um sistema social ou ecológico para absorver perturbações, mantendo a mesma estrutura básica e os modos de funcionamento, a capacidade de auto-organização, e a capacidade de se adaptar ao stress e mudança.

### Risco

É definido de forma genérica como a probabilidade de ocorrência de consequências ou perdas danosas (morte, ferimentos, bens, meios de produção, interrupções nas atividades económicas ou impactos ambientais) que resultam da interação entre o meio

natural ou dos perigos induzido pelo homem e as condições de vulnerabilidade dos elementos (UNISDR, 2004, ISO 31010, 2009). Desta forma o cálculo do risco consiste no produto da probabilidade de ocorrência de um fenómeno com uma determinada magnitude.

### Risco de inundação

A combinação da probabilidade de inundação e as possíveis consequências adversas para a saúde humana, o ambiente, o património e a actividade económica associados às inundações.

### Stocks

Mercadorias ou produtos armazenados ou contidos numa fração.

### Suscetibilidade

No contexto de um estudo o conceito está relacionado com cheias e inundações, o conceito de suscetibilidade tem várias interpretações. Para alguns autores a suscetibilidade resume-se à predisposição de uma determinada área para ser afectada por estes fenómenos. Esta avaliação tem em conta fatores físicos do terreno, não integrando a probabilidade de ocorrência de inundações (Julião et al., 2009).

### Variabilidade Climática

Variações no estado médio e outras estatísticas (tais como desvios-padrão, a ocorrência de extremos, etc) do clima em todas as escalas temporais e espaciais que vão além dos eventos climáticos individuais.

# EQUIPA

## COORDENAÇÃO

Pedro Garrett, Filipe Duarte Santos  
*Centre for Climate Change Impacts Adaptation  
& Modelling (CCIAM)*

## COMISSÃO DE ACOMPANHAMENTO

Tomé Pedroso, João Barata, António Teixeira  
*Companhia de Seguros Tranquilidade, S.A.*

Rui Esteves, Carlos Ferreira Borges  
*Fidelidade - Companhia de Seguros, S.A.*

Olga Germano  
*Consultora*

Miguel Guimarães, Paulo Baptista, José Maria Lima  
*Associação Portuguesa de Seguradores*

Pedro Castro Caldas  
*Ocidental – Companhia Portuguesa de Seguros, S.A.*

## EXECUÇÃO TÉCNICA

**Análise de Vulnerabilidade**  
Nuno Grosso, Hugo Costa, Luís Dias, Rita Jacinto,  
Pedro Garrett  
*Centre for Climate Change Impacts Adaptation  
& Modelling (CCIAM)*

**Análise de Risco**  
Luís Dias, Hugo Costa, Nuno Grosso  
*Centre for Climate Change Impacts Adaptation  
& Modelling (CCIAM)*

**Extremos e Cenários Climáticos**  
Pedro Garrett  
*Centre for Climate Change Impacts Adaptation  
& Modelling (CCIAM)*

**Modelação Hidrodinâmica**  
Frank Braunschweig  
*Action Modulers*



## COLABORADORES

Carlos Antunes, Rute Vieira  
*LATTEX, IDL*

Eusébio Reis  
*RISKam*

## DESIGN GRÁFICO

vivóeusébio  
*www.vivoeusebio.com*

## IMPRESSÃO

Gráfica Maiadouro  
*Tiragem: 500 exemplares*

## TRADUÇÃO

Susana Filipe

# ÍNDICE

## 3 INTRODUÇÃO

- 5 sobre o CIRAC
- 9 sobre o CCIAM
- 11 sumário técnico

## 17 ENQUADRAMENTO GERAL

- 18 o que é uma cheia?
- 18 quais são os principais impactos da inundação?
- 19 quais as ligações entre as inundações e as mudanças climáticas?
- 22 pode a adaptação e mitigação alterar o risco de inundação?
- 24 como pode o projeto CIRAC contribuir para gerir as inundações em Portugal?

## 29 MAPEAMENTO DE VULNERABILIDADE DE INUNDAÇÃO EM PORTUGAL

- 31 suscetibilidade física
- 32 suscetibilidade social
- 33 exposição
- 34 precipitação
- 35 onde somos vulneráveis? e porquê?
- 40 será que os índices de vulnerabilidade refletem a realidade?

## 43 MAPEAMENTO DE RISCO DE INUNDAÇÕES EM PORTUGAL

- 46 caso de estudo Lisboa
- 51 caso de estudo Alghés
- 53 caso de estudo Coimbra
- 56 caso de estudo Porto

## 61 GLOSSÁRIO

## 64 EQUIPA

