

# PLANO DE ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS DE OEIRAS

RELATÓRIO SETORIAL: RECURSOS HÍDRICOS

Autor: Inês Morais, João Pedro Nunes, Amandine Pastor, Luís Dias | CCIAM/Ce3C/FCUL  
Andreia Ferreira | IDL/FCUL  
Frank Braunschweig | Superlative Numbers

## ÍNDICE

<b>1. Contexto.....</b>	<b>3</b>
1.1. Perspetiva e diagnóstico do setor .....	4
<b>2. Desenvolvimento.....</b>	<b>6</b>
2.1. Variáveis e parâmetros climáticos relevantes para o setor .....	8
2.2. Avaliação das vulnerabilidades e modelação de impactos.....	9
2.2.1. Disponibilidade hídrica.....	9
2.2.2. Cheias e inundações pluviais.....	15
<b>3. Vulnerabilidades climáticas atual para Oeiras.....</b>	<b>31</b>
3.1. Identificação de impactos não climáticos .....	31
3.2. Identificação de impactos climáticos atuais .....	34
3.2.1. Disponibilidade hídrica.....	34
3.2.2. Cheias e inundações pluviais.....	38
<b>4. Impactos e vulnerabilidades futuras para Oeiras.....</b>	<b>41</b>
4.1. Variação da disponibilidade hídrica .....	41
4.1.1. Águas superficiais.....	41
4.1.2. Águas subterrâneas.....	53
4.2 Cheias e inundações.....	54
4.2.1. Rio Jamor.....	54
4.2.2. Extrapolação para as restantes bacias hidrográficas .....	58
<b>5. Considerações finais .....</b>	<b>60</b>
<b>6. Bibliografia .....</b>	<b>61</b>
<b>Anexo .....</b>	<b>63</b>
<b>Ficha técnica.....</b>	<b>70</b>

## 1. CONTEXTO

O município de Oeiras faz fronteira a norte com os concelhos de Sintra e Amadora, a oeste com o de Cascais, e o de Lisboa a leste. Nesta análise a área de estudo compreende as 5 principais bacias hidrográficas inseridas neste concelho (Figura 1): bacia da ribeira Porto Salvo, com cerca de 4,6 km<sup>2</sup>; bacia da ribeira da Laje, com 41,29 km<sup>2</sup>; bacia do rio Jamor, 44,69 km<sup>2</sup>; bacia da ribeira de Barcarena, com 34,7 km<sup>2</sup> e bacia de ribeira de Algés, com 14 km<sup>2</sup>. À exceção da Ribeira de Porto Santo, as restantes bacias são de cariz intermunicipal.

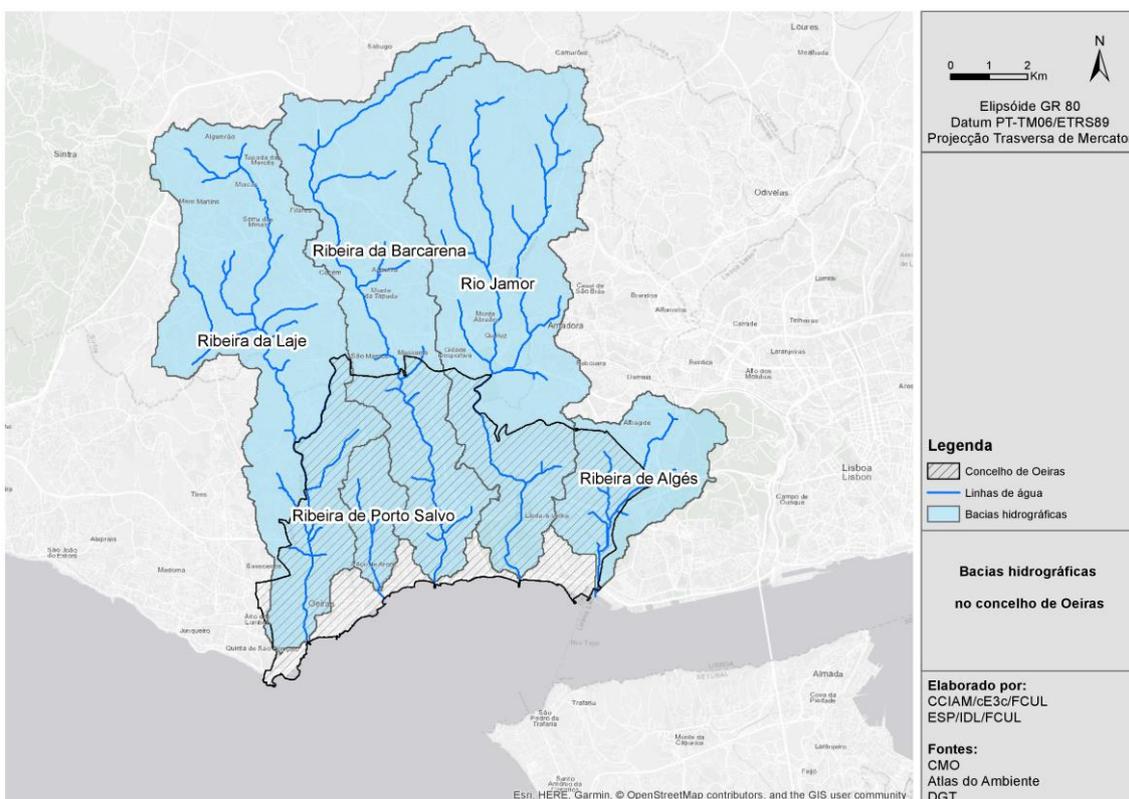


Figura 1 - Bacias Hidrográficas do concelho de Oeiras. Fonte de dados: Atlas do Ambiente e DGT

Os principais objetivos para o setor Recursos Hídricos foram a identificação das vulnerabilidades e a modelação dos impactos futuros que advêm das alterações climáticas, com relevância para o setor e considerando duas vertentes de análise.

A primeira consiste no estudo das modificações da disponibilidade hídrica, focada nos caudais das cinco linhas de água que atravessam o município, bem como na recarga subterrânea. A segunda, nas alterações projetadas para as cheias e inundações de origem pluvial, como resultado de um aumento de eventos extremos de precipitação.

No que respeita à disponibilidade hídrica, os objetivos foram alcançados através da aplicação do modelo hídrico Thornthwaite Mather (Stigter et al., 2014) que utiliza o clima, a cobertura do solo e o tipo de solo, simulando o balanço dos recursos hídricos numa determinada região.

Para a análise e modelação das cheias e inundações pluviais, recorreu-se ao modelo MOHID Land (MARETEC, 2018). Este consiste num modelo 3D, simulando de modo integrado o escoamento superficial, a rede de drenagem (e.g. canais e linhas de água) e o escoamento em meio poroso (infiltração), na zona não saturada e saturada (acima e abaixo do nível freático, respetivamente).

Esta aplicação foi realizada para a bacia do rio Jamor, onde se determinaram as áreas inundáveis no presente e a sua evolução ao longo do século (a curto 2011-2040, médio 2041-2070 e longo prazo 2071-2100), associadas aos períodos de retorno projetados de 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 500 anos. Esta análise permitiu obter mapas com a altura máxima da coluna de água, a extensão da inundação e a velocidade e direção de escoamento. A conjugação dos vários resultados modelados permitiu avaliar a perigosidade para o rio Jamor e extrapolar, para as restantes linhas de água do município, o nível de perigosidade de cada ribeira, considerando a informação produzida no âmbito do “Estudo Hidrológico e Hidráulico das bacias Hidrográficas de Oeiras para elaboração de carta de zonas inundáveis de acordo com Decreto-Lei n.º 115/2010” (CMO, 2011).

## 1.1. PERSPETIVA E DIAGNÓSTICO DO SETOR

Em Portugal, os recursos hídricos são geridos através de instrumentos de gestão designados de Planos de Gestão das Regiões Hidrográficas (PGRH). Existe uma integração do PGRH com outros instrumentos de gestão territorial, ambiental e económica. A sua elaboração passa pela caracterização das pressões, monitorização e avaliação da implementação das medidas, pela avaliação ambiental, técnica, económica e institucional, garantindo a sustentabilidade económica e financeira, visando a melhor relação custo eficácia ou custo benefício.

Os recursos hídricos do concelho de Oeiras inserem-se na unidade territorial Região Hidrográfica 5 (RH5), correspondente à bacia hidrográfica do Tejo (Decreto-Lei n.º 130/2012, de 22 de junho), com uma área total, em território nacional, de 30.502 km<sup>2</sup> e integra a bacia hidrográfica do rio Tejo e ribeiras adjacentes, a bacia hidrográfica das Ribeiras do Oeste, incluindo as respetivas águas subterrâneas e águas costeiras adjacentes (APA, 2016). Esta região hidrográfica é caracterizada por um clima temperado mediterrâneo, onde o período seco se verifica nos meses de julho e agosto. A precipitação média anual de Oeiras é cerca de 768 mm e a temperatura média anual ronda os 16,7°C.

Relativamente às cheias e inundações e à gestão de zonas inundáveis, estas encontram-se enquadradas nos Plano de Gestão de Risco de Inundações (PGRI) que resulta da transposição para a ordem jurídica nacional da Diretiva Comunitária 2007/60/CE, assim como no regime jurídico da Reserva Ecológica Nacional. A unidade territorial é coincidente com a dos PGRH (RH5), não sendo identificada qualquer zona crítica<sup>1</sup> no município de Oeiras. Não obstante, Oeiras dispõem do “Estudo Hidrológico e Hidráulico das bacias Hidrográficas de Oeiras para elaboração de carta de zonas inundáveis de acordo com Decreto-Lei n.º 115/2010” onde são

---

<sup>1</sup> Os PGRI definem zona crítica como áreas de risco potencial significativo de inundação

identificadas várias áreas ao longo das linhas de água que atravessam o município onde ocorrem cheias de origem pluvial com impactos significativos.

Em termos de tipo de solos, os grupos mais representativos no município são os cambissolos, luvisolos e vertissolos, sendo que estes últimos são de boa aptidão agrícola. Por esta razão, o município, até há poucas décadas, tinha um carácter desmarcadamente rural, que mais tarde foi alterado com a pressão e desenvolvimento socioeconómicos (e.g. construção de polos industriais, parques tecnológicos e desenvolvimento urbano). Esta alteração de ocupação do solo e substituição de áreas naturais permeáveis para áreas urbanas de elevada impermeabilidade, cooperou para o aumento da vulnerabilidade a eventos de cheia e inundações (CMO, 2011), alterando os caudais das linhas de água e a recarga subterrânea.

Em cenários de alterações climáticas projeta-se um aumento de ocorrências de eventos extremos, onde se incluem eventos de precipitação, aumentando a vulnerabilidade do território a cheias e inundações. No que respeita à disponibilidade dos recursos hídricos, os cenários apontam para uma diminuição da precipitação anual que tende a diminuir o caudal afluente às linhas de água e aos aquíferos.

## 2. DESENVOLVIMENTO

A avaliação das vulnerabilidades no que respeita à disponibilidade de recursos hídricos foi realizada em cinco etapas, que consistiram em: i) recolha, tratamento e análise de dados climáticos e hidrométricos; ii) preparação do modelo de balanço hídrico Thornthwaite-Mather para as cinco bacias hidrográficas que atravessam o município; iii) calibração do modelo hidrológico para a situação de referência, considerando a carta de ocupação do solo de 1995 (COS1995); iv) validação do modelo hidrológico para a situação de referência, considerando a carta de ocupação do solo de 2010 (COS2010)<sup>2</sup>; v) simulação de caudais e necessidades de irrigação considerando o período histórico e os cenários de alterações climáticas.

No caso das cheias e inundações, recorreram-se a duas abordagens para a avaliação das vulnerabilidades. Esta foi iniciada com a modelação hidrológica do rio Jamor, através do modelo MOHID Land, com o objetivo de cartografar as áreas inundáveis, a altura máxima da coluna de água e a direção e velocidade da água, para diferentes probabilidades de ocorrência, considerando o clima atual e projetado em cenários de alterações climáticas. A abordagem pode ser dividida em quatro etapas: i) compilação dos elementos base (topografia, cartografia temática, dados meteorológicos e hidrológicos); ii) caracterização da área de estudo (morfológica, eventos históricos); iii) modelação hidrológica e hidráulica; iv) produção de cartografia.

A produção de cartografia no âmbito da modelação de cheias e inundações para o rio Jamor, permitiu obter a perigosidade nessa bacia. Com esta informação foi possível executar e validar a extrapolação da perigosidade atual e projetada para as restantes linhas de água, que atravessam o município, tendo por base os resultados do “Estudo Hidrológico e Hidráulico das bacias Hidrográficas de Oeiras para elaboração de carta de zonas inundáveis de acordo com Decreto-Lei n.º 115/2010”.

Os dados meteorológicos utilizados para a avaliação realizada no âmbito do setor recursos hídricos tiveram origem nas estações meteorológicas do Cacém (SNIRH) e Tapada da Ajuda (IPMA) (Figura 2). A precipitação mensal acumulada e as temperaturas médias, mínimas e máximas mensais, foram as variáveis necessárias para a aplicação do modelo de balanço hídrico. A modelação hidrológica e hidráulica da bacia do Jamor recorreu aos dados provenientes da estação meteorológica do Cacém. A simulação hidrológica necessitou ainda da evapotranspiração potencial, que foi calculada através do método Hargreaves. Para o efeito foi utilizada a temperatura média, máxima e mínima, bem como a latitude da estação de origem dos dados meteorológicos.

---

<sup>2</sup> A utilização de duas cartas de ocupação do solo resulta do período de dados hidrométricos disponíveis para calibração do modelo que apenas estão disponíveis até à década de 90.

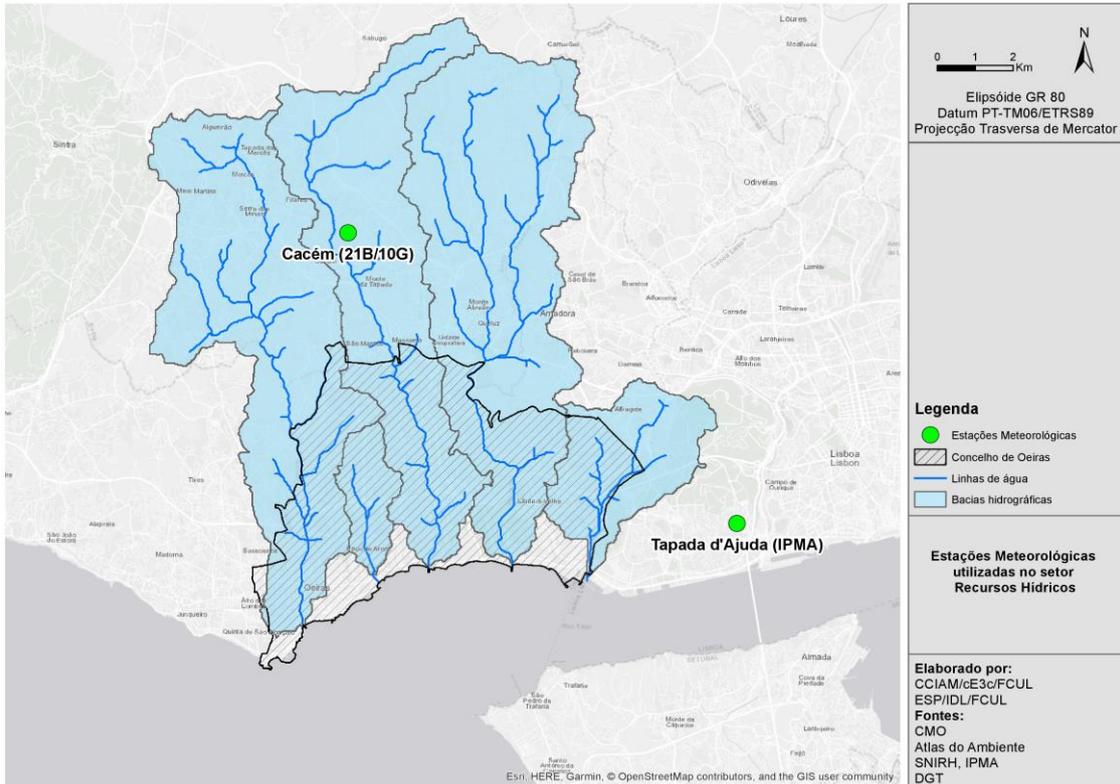


Figura 2 - Estações Meteorológicas utilizadas para recolher dados de precipitação e temperatura. Fonte de dados: Atlas Ambiente e DGT

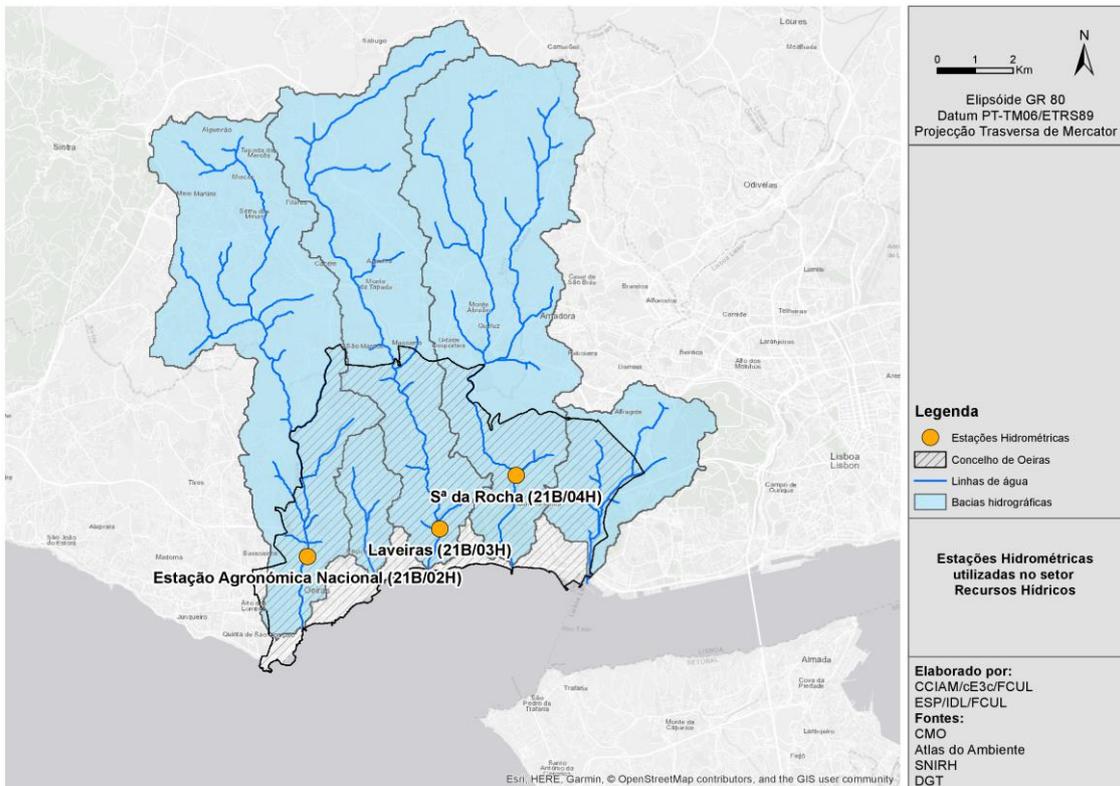


Figura 3 - Estações Hidrométricas utilizadas para recolher dados de caudal. Fonte de dados: Atlas Ambiente e DGT

As estações hidrométricas do SNIRH foram utilizadas para recolher valores de caudal e avaliar a simulação dos modelos. As estações Agronómica Nacional (21B/02H), Laveiras (21B/03H) e Senhora da Rocha (21B/04H) fazem correspondência com a ribeira da Laje, ribeira de Barcarena e rio Jamor, respetivamente (Figura 3). As estações Agronómica Nacional e Laveiras têm dados disponíveis no período de 1985 a 1990, enquanto que Senhora da Rocha tem apenas no período de 1988-1990.

## 2.1. VARIÁVEIS E PARÂMETROS CLIMÁTICOS RELEVANTES PARA O SETOR

As variáveis climáticas mais importantes para a avaliação da disponibilidade dos recursos hídricos são a precipitação, que determina a água disponível; e a temperatura, que regula a evapotranspiração potencial. A evapotranspiração potencial é a quantidade de água que deverá passar para a atmosfera através das plantas, se o solo tiver uma quantidade de humidade suficiente sempre disponível, ou seja, se não houver falta de água necessária para o processo.

A evapotranspiração potencial combina a evaporação e a transpiração, dois processos difíceis de se distinguirem um do outro, por ocorrem simultaneamente. Quando a planta está na fase inicial do crescimento, a perda de água por evaporação no solo é o processo predominante, enquanto que na fase de desenvolvimento, o principal processo é a transpiração (Allen et al. 1998). A variação destas características é dada pelo coeficiente de cultura mensal.

O tipo de cultura, variedade e estado de desenvolvimento devem ser considerados quando o objetivo é o cálculo da evapotranspiração. Diferenças entre características, como a resistência à transpiração, a altura da planta, a sua grossura, a reflexão, a cobertura do solo e as raízes, resultam em diferentes níveis de evapotranspiração entre os diversos tipos de culturas submetidos às mesmas condições ambientais (Allen et al., 1998).

Para cada cultura, o cálculo da evapotranspiração é dado pela seguinte relação:

$$ET_c = K_c \times ET_0$$

Equação 1 - Equação utilizada para o cálculo da evapotranspiração das culturas

$ET_c$  corresponde à evapotranspiração da cultura em condições ambientais normais,  $ET_0$  corresponde à evapotranspiração de referência e  $K_c$  ao coeficiente de desenvolvimento da cultura.

No que concerne às cheias e inundações pluviais, o parâmetro climático mais relevante prende-se com a precipitação que induz os picos de cheia capaz de se traduzir em inundações das áreas adjacentes às linhas de água, tendo-se recorrido à recolha da informação da precipitação diária máxima anual (PDMA) e, através desta, calculado os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 500 anos.

## 2.2. AVALIAÇÃO DAS VULNERABILIDADES E MODELAÇÃO DE IMPACTOS

### 2.2.1. Disponibilidade hídrica

O modelo de balanço hídrico mensal aplicado nesta análise, modelo Thornthwaite-Mather (Modelo TM), estima o excesso de precipitação (escoamento total) através dos valores da precipitação média mensal e da evapotranspiração potencial (Figura 4).

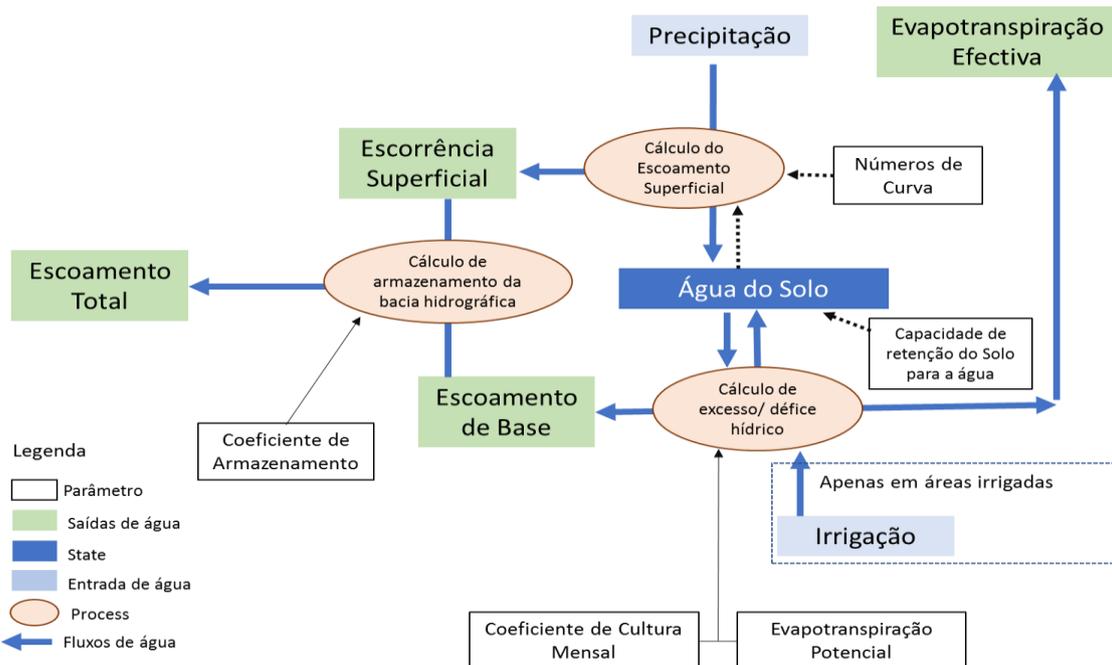


Figura 4 - Fluxograma do funcionamento do Modelo TM

A aplicação executada utilizou uma versão modificada que distingue a escorrência superficial do escoamento de base utilizando o método dos *Curve Numbers* (Stigter et al., 2014; Gomes et al., 2017). O modelo foi aplicado para dois períodos temporais: uma aplicação de calibração e validação referente a 1995, uma vez que os dados hidrométricos existentes se reportam maioritariamente ao período entre 1985 e 1995; e uma aplicação para um cenário mais recente, referente a 2010.

O modelo foi aplicado em cada uma das cinco bacias hidrográficas em estudo, e dentro de cada área, a cada Unidade de Resposta Hidrológica. As Unidades de Resposta Hidrológica (URH) são áreas que compreendem um conjunto de fatores e elementos que influenciam o comportamento (resposta) dos recursos hídricos à precipitação e evapotranspiração potencial. Para este efeito, consideraram-se estes elementos como sendo o tipo de cobertura do solo e o tipo de solo. Utilizaram-se as Cartas de Ocupação de Solos (COS) de 1995 e 2010 (conforme o período de referência de cada aplicação do modelo) disponibilizadas pela Direcção-Geral do Território, combinadas com a Carta de Solos da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO). Uma vez que a COS1995 disponibilizada não distingue entre

tecido urbano contínuo e descontínuo, foi assumida a mesma proporção que a que ocorre na COS2010. Como resultado, foram criadas 13 URH (ver Tabela 1 e Tabela 2).

URH	Unidades de Resposta Hidrológica COS 1995	Rib. Porto Salvo	Rib. Laje	Rio Jamor	Rib. Barcarena	Rib. Algés
1	Tecido Descontínuo Urbano + Cambissolos	30,9%	31,8%	7,7%	9,4%	6,8%
2	Tecido Descontínuo Urbano + Vertissolos	0%	0%	11,9%	21,5%	34,8%
3	Tecido Contínuo Urbano + Vertissolos	0%	10,9%	16,0%	6,4%	9,4%
4	Culturas temporárias de sequeiro + Vertissolos	0%	4,7%	4,98%	9,4%	0%
5	Pastagens permanentes + Vertissolos	0%	0%	14,6%	9,2%	10,4%
6	Pastagens Permanentes + Luvisolos	19,2%	14,2%	0%	0%	0%
7	Matos + Luvisolos	14,5%	21,4%	15,1%	12,1%	0%
8	Matos + Vertissolos	0%	0%	6,4%	6,9%	12,5%
9	Pinheiro + Vertissolos	0%	0%	5,1%	0%	14,4%
10	Pinheiro + Cambissolos	0%	0%	9,4%	12,8%	11,7%
11	Culturas Temporárias de Sequeiro + Cambissolos	26%	8,4%	2,4%	12,3%	0%
12	Tecido Contínuo Urbano + Cambissolos	9,4%	8,6%	0%	0%	0%
13	Eucalipto	0%	0%	6,5%	0%	0%

Tabela 1 - Unidades de Resposta Hidrológica e respetiva percentagem de ocupação em cada bacia, de acordo com a COS1995

URH	Unidades de Resposta Hidrológica COS 2010	Rib. Porto Salvo	Rib. Laje	Rio Jamor	Rib. Barcarena	Rib. Algés
1	Tecido Descontínuo Urbano + Cambissolos	39,7%	21,5%	10,9%	12,5%	1,2%
2	Tecido Descontínuo Urbano + Vertissolos	0,5%	7,9%	9,4%	15,4%	22,4%
3	Tecido Contínuo Urbano + Vertissolos	0%	4,6%	22,4%	14,1%	36,2%
4	Culturas temporárias de sequeiro + Vertissolos	1%	2,2%	4,4%	4,2%	0%
5	Pastagens permanentes + Vertissolos	2,8%	0,9%	2,0%	1,2%	9,7%
6	Pastagens Permanentes + Luvisolos	4,6%	5,1%	2,4%	4,3%	0%
7	Matos + Luvisolos	12,8%	15,8%	10,1%	10%	0,9%
8	Matos + Vertissolos	0,2%	1,8%	11,5%	7,9%	9,8%
9	Pinheiro + Vertissolos	0%	0%	4,6%	1,5%	9,4%
10	Pinheiro + Cambissolos	1,28%	3,8%	9,7%	11,5%	7,6%
11	Culturas Temporárias de Sequeiro + Cambissolos	10,2%	2,8%	1,6%	3,7%	0%
12	Tecido Contínuo Urbano + Cambissolos	27%	33,7%	5,2%	13,6%	2,9%
13	Eucalipto	0%	0%	5,9%	0%	0%

Tabela 2 - Unidades de Resposta Hidrológica e respetiva percentagem de ocupação em cada bacia, de acordo com a COS2010

Cada tipo de cobertura de solo tem um Coeficiente de Desenvolvimento de Cultura, Número de Curva (*Curve Numbers*) e profundidade de raízes próprias, e cada tipo de solo tem a sua Capacidade de Retenção de Água (AWC) e permeabilidade próprios. Estas Unidades fazem parte da aplicação do modelo de balanço hidrológico, tanto na calibração (COS1995) como na validação (COS2010).

O modelo de balanço hídrico utilizado, aquando a sua aplicação, gera valores de caudal ou recarga. Para verificar se o modelo está a simular os dados corretamente, ou se há falhas na calibração e validação, são efetuados os cálculos de nove variáveis: R,  $R^2$ , Viés, % Viés, RMSE (Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio), %RMSE, STDev (Desvio Padrão), RSR (*standard deviation ratio* ou erro de desvio padrão) e NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency). No entanto, foram consideradas as quatro mais relevantes para esta validação.

O Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ) é uma das mais importantes variáveis no modelo e corresponde à variável da correlação (R) elevada ao quadrado. De acordo com Krause e Boyle (2005), representa quanto dos valores observados são explicados pelos simulados. Este coeficiente varia entre 0 e 1, onde  $R^2=0$  significa que não existe correlação entre os dados observados e os simulados, e um  $R^2=1$  significa que a dispersão dos dados simulados é a mesma que a dos dados observados. Contudo, se o modelo tiver tendência para subestimar ou sobrestimar, este coeficiente será sempre próximo de 1, mesmo que as previsões estejam erradas. Neste sentido, devem ser tidos em conta outras variáveis de avaliação do modelo, referidas a seguir.

A percentagem de Viés, por sua vez, mede o erro entre os valores simulados e os valores observados. Isto é, com a diferença entre os valores simulados e os valores observados, é calculado o quociente entre a média desse erro e a média dos valores observados. Quanto mais a % Viés se afastar do zero, maior é a discrepância entre os valores observados e simulados, um valor negativo indica uma subestimativa e um valor positivo indica uma sobrestima. Os seus valores podem variar entre -100% e  $+\infty$ .

A terceira variável, o RSR, é a razão entre o RMSE e o Desvio Padrão dos dados observados. Varia de 0 (valor perfeito) até  $+\infty$ . (Moriassi et al., 2007).

A variável NSE, ou coeficiente de eficiência de modelação de Nash-Sutcliffe, é definida como 1 menos a razão entre a variância do erro (diferença entre os valores observados e calculados) e a variância dos valores observados, e varia entre  $-\infty$  e 1, sendo 1 o resultado desejado. (Paul, Kumari, Panigrahi, Mishra, & Singh, 2018).

O modelo é avaliado de acordo com estas variáveis e de acordo com os valores representados na Tabela 3.

	Muito Bom	Bom	Satisfatório
Viés (%)	< $\pm 10\%$	< $\pm 15\%$	< $\pm 25\%$
RSR	$\leq 0.50$	$\leq 0.60$	$\leq 0.70$
NSE	$> 0.75$	$> 0.65$	$> 0.50$

Tabela 3 - Avaliação do Modelo (Moriassi et al., 2007)

Quando o modelo é aplicado numa primeira área, há a necessidade de ajustar os seus parâmetros, de modo a que os resultados sejam os esperados e o modelo possa ser aplicado nas restantes áreas de estudo. A este processo de ajustamento dá-se a designação de calibração, designando-se de validação a comparação entre os resultados do modelo calibrado e dados

observados sem existir mais nenhum ajuste subsequente. Conforme referido anteriormente, a calibração do modelo para as áreas das bacias hidrográficas foi feita para todas as bacias hidrográficas de Oeiras recorrendo à COS1995, uma vez que a maior parte dos dados disponíveis se referem ao período de 1985-1990. Os parâmetros calibrados com a aplicação da COS1995 foram, posteriormente, extrapolados para a aplicação com a COS2010, alterando-se apenas as percentagens das áreas afetadas a cada Unidades de Resposta Hidrológica.

Na aplicação do modelo, foram modificados os seguintes parâmetros:

- Capacidade do Solo para reter água (AWC): a capacidade do solo para reter água, no modelo de balanço hídrico, é apresentada como uma profundidade em milímetros de água. Essa capacidade corresponde à água que pode ser utilizada pelas raízes da planta/cultura em questão, ou seja, à diferença entre a capacidade do solo para reter água (capacidade de campo) e ao limite de água abaixo do qual as raízes não conseguem absorver (ponto de emurchecimento). Esta capacidade é diretamente influenciada pelo tipo de solo e pela sua profundidade;
- Recarga de aquífero: % de escoamento que é transferida para o aquífero. Na bacia do rio Jamor as perdas para o aquífero foram consideradas na ordem dos 30%, e nas restantes bacias o valor considerado foi 5%. Estas taxas de recarga dos aquíferos foram estimadas com base em PGRH5 (2012);
- Coeficiente de Desenvolvimento de Cultura,  $K_c$ : corresponde a um valor que incorpora as características da cultura e a evaporação da água no solo, que difere por tipo de planta, tendo ainda uma variação sazonal. A secção seguinte descreve este coeficiente no contexto dos dados climáticos (Ver ainda a Equação 1).

Da Figura 5 à Figura 9, encontram-se as representações da simulação de caudal afluente e precipitação mensal, expresso em mm, nas bacias hidrográficas da ribeira de Porto Salvo, ribeira da Laje, rio Jamor, ribeira de Barcarena e ribeira de Algés, respetivamente, geradas pelo modelo TM.

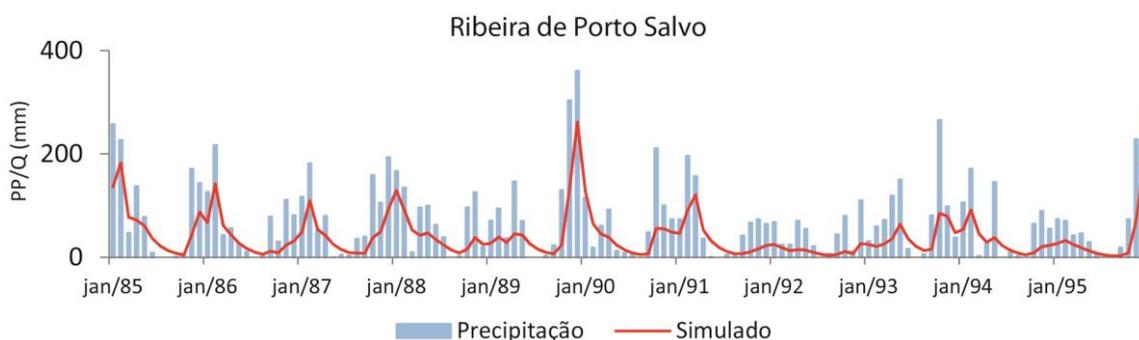


Figura 5 - Simulação do caudal afluente à ribeira de Porto Salvo COS1995 (janeiro de 1985 a dezembro de 1995)

Ribeira da Laje

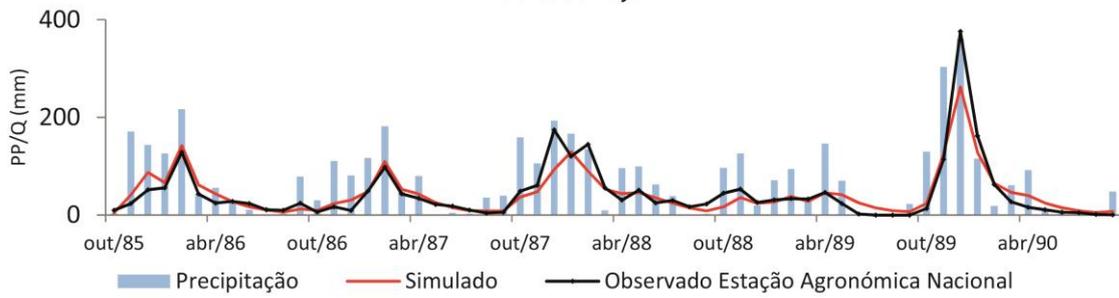


Figura 6 - Simulação do caudal afluente ribeira da Laje COS1995 (outubro de 1985 a setembro de 1990)

Rio Jamor

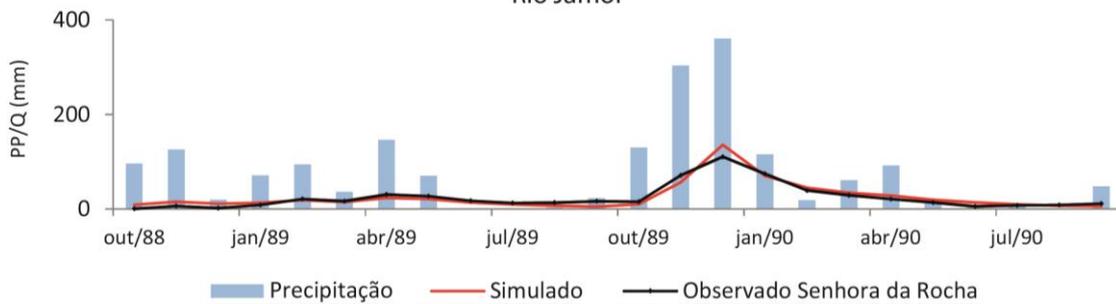


Figura 7 - Simulação do caudal afluente ao rio Jamor COS1995 (outubro de 1988 a setembro de 1990)

Ribeira de Barcarena

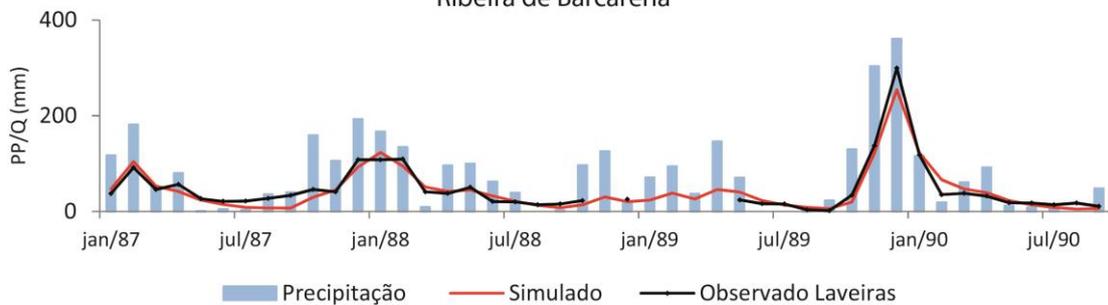


Figura 8 - Simulação do caudal afluente à ribeira de Barcarena COS1995 (janeiro de 1987 a setembro de 1990)

Ribeira de Algés

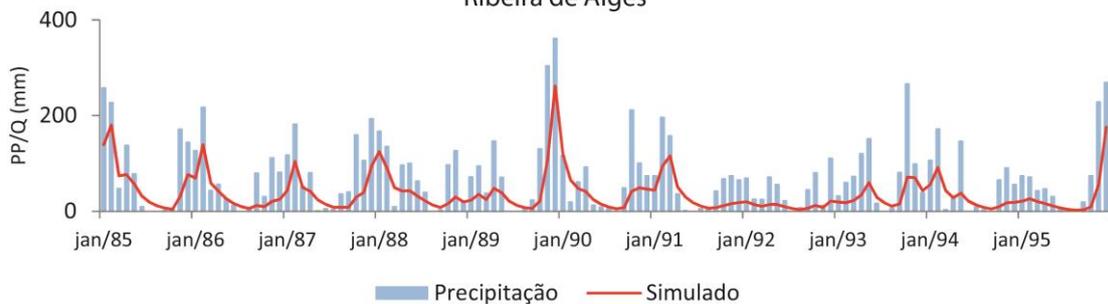


Figura 9 - Simulação do caudal afluente à ribeira de Algés COS1995 (janeiro de 1985 a dezembro de 1995)

Considerando os parâmetros de avaliação do modelo hídrico apresentados na Tabela 3, os resultados das variáveis %Viés, RSR e NSE para a calibração utilizando a COS1995 (Tabela 4) são avaliados em “Muito Bom”.

Parâmetro	Ribeira da Laje	Rio Jamor	Ribeira de Barcarena	Avaliação
<b>R<sup>2</sup></b>	0,88	0,91	0,94	-
<b>Viés (mm)</b>	-0,44	0,71	-2,48	-
<b>Viés (%)</b>	-0,01	0,03	-0,05	Muito Bom
<b>RSR</b>	0,39	0,32	0,26	Muito Bom
<b>NSE</b>	0,85	0,89	0,93	Muito Bom

Tabela 4 - Avaliação da calibração do Modelo para as Bacias Hidrográficas onde existem dados disponíveis de caudal observado pelo SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos), utilizando a COS1995, período de 1979-2007. Avaliação conforme Tabela 3

### *Caudal Ecológico*

Para se avaliar as vulnerabilidades no que respeita à disponibilidade de recursos hídricos, calculou-se ainda o regime do caudal ecológico para cada bacia hidrográfica, consistindo este na quantidade de água necessária para assegurar o ecossistema fluvial (Tabela 5). O cálculo recorreu ao método paramétrico da variação do caudal mensal (VMF), no qual são definidas as necessidades mensais de caudal ecológico (*environmental flow requirements* (EFR)), necessidades essas que permitem assegurar a conservação e a manutenção dos ecossistemas aquáticos naturais e a proteção de espécies (Ferreira et al., 2014). Neste método são utilizados algoritmos para classificar os meses de acordo com o seu regime de caudal. O método VMF foi desenvolvido para aumentar a proteção dos ecossistemas fluviais durante a estação de baixo escoamento com uma reserva de 60% do caudal mensal, e um fluxo mínimo de 30% durante a estação de elevado escoamento (Pastor, Ludwig, Biemans, Hoff, & Kabat, 2014).

Para calcular o EFR, foram previamente simulados os escoamentos das bacias hidrográficas naturalizadas, isto é, como ocorreriam sem ocupação humana. Para esta simulação, as áreas urbanas e artificiais (URH 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11 e 12) foram substituídas e consideradas como “Matos” (ver Tabela 1 e Tabela 2).

Meses	Rib. Barcarena	Rio Jamor	Rib. Porto Salvo	Rib. Laje	Rib. Algés
<b>Jan.</b>	14,9	8,2	15,0	15,0	15,1
<b>Fev.</b>	14,6	8,2	14,6	14,6	14,4
<b>Mar.</b>	10,4	6,3	10,7	10,7	9,8
<b>Abr.</b>	8,4	5,4	8,6	8,6	8,1
<b>Mai.</b>	6,3	4,3	6,5	6,5	6,1
<b>Jun.</b>	5,4	4,3	5,9	5,9	5,1

Meses	Rib. Barcarena	Rio Jamor	Rib. Porto Salvo	Rib. Laje	Rib. Algés
Jul.	4,3	4,0	4,7	4,7	4,0
Ago.	2,6	2,8	2,8	2,9	2,4
Set.	1,5	2,0	1,7	1,7	1,4
Out.	4,6	2,0	2,4	2,4	2,1
Nov.	6,8	3,4	6,4	6,4	6,2
Dez.	12,7	6,7	12,4	12,4	12,7

Tabela 5 - Caudal Ecológico (mm) de cada uma das bacias hidrográficas

### Aplicação para cenários futuros

Para simular os impactos de alterações climáticas, procedeu-se à aplicação do modelo Thornthwaite-Mather com os dados dos nove modelos de clima provenientes da iniciativa EURO-CORDEX (Tabela 6). Utilizando o ensemble (média) dos resultados dos nove modelos climáticos, calculou-se o balanço hídrico para os cenários climáticos RCP4.5 e RCP8.5, compreendendo os períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

Os modelos de clima geraram projeções futuras de precipitação, temperatura mínima, máxima e média, tendo sido aplicados no modelo de balanço hídrico Thornthwaite-Mather, após correção de viés, gerando por sua vez dados de caudal para cada cenário e período temporal. Os dados de temperatura futuros foram corrigidos com a aplicação de anomalias geradas a partir do histórico e dos cenários RCP4.5 e RCP8.5. Os dados de precipitação foram corrigidos através do método de perturbações por quantis (Dias, 2016; Willems e Vrac, 2011).

Modelo global	Modelo regional
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CLMcom-CCLM 4-8-17
	SMHI-RCA4
ICHEC-EC-EARTH	CLMcom-CCLM 4-8-17
	DMI-HIRHAM5
	KNMI-RACMO22E
	SMHI-RCA4
IPSL-CM5A-MR	IPSL-INERIS-WRF 3.3.1
MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM 4-8-17
MOHC-HadGEM2-ES	SMHI-RCA4

Tabela 6 - Modelos utilizados para a avaliação em cenários de alterações climáticas

### 2.2.2. Cheias e inundações pluviais

Para avaliar as vulnerabilidades a cheias e inundações em cenários de alterações climáticas foi necessário proceder-se à modelação hidrológica e hidráulica do rio Jamor. A informação da perigosidade obtida através da modelação permitiu executar e validar, uma extrapolação da perigosidade atual e projetada em cenários de alterações para as restantes linhas de água, que

atravessam o município, tendo por base os resultados do “Estudo Hidrológico e Hidráulico das bacias Hidrográficas de Oeiras para elaboração de carta de zonas inundáveis de acordo com Decreto-Lei n.º 115/2010”.

### Modelação do Rio Jamor

A metodologia utilizada para modelar os efeitos de cheias e inundações no rio Jamor seguiu a mesma abordagem da utilizada em 2014 pelo consórcio Aqualogus/Action Modulers na Elaboração de Cartografia Específica sobre Risco de Inundação para Portugal Continental, solicitado pela Agência Portuguesa do Ambiente no âmbito da elaboração dos PGRI.

Os trabalhos desenvolvidos neste contexto, podem ser sintetizados em quatro etapas, conforme apresentado na Figura 10, sendo ainda identificadas as ligações e dependências entre essas etapas.

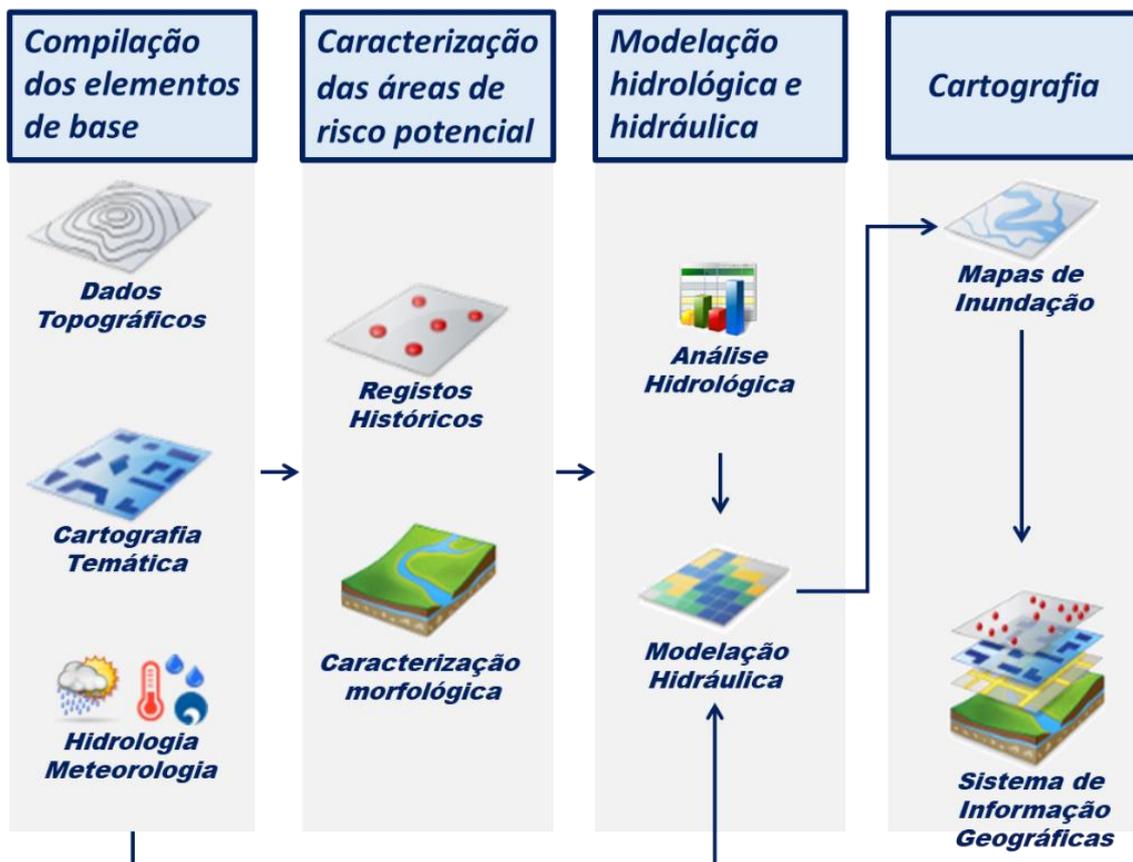


Figura 10 - Síntese metodológica para a elaboração de cartografia relativa a cheias e inundações pluviais

Das etapas referidas, tem especial importância os trabalhos da modelação de fenómenos hidrológicos e hidráulicos. A metodologia a aplicar, neste contexto, encontra-se dependente da informação de base disponível e das características e condicionantes próprias da zona de estudo, conforme sintetizado na Figura 11.

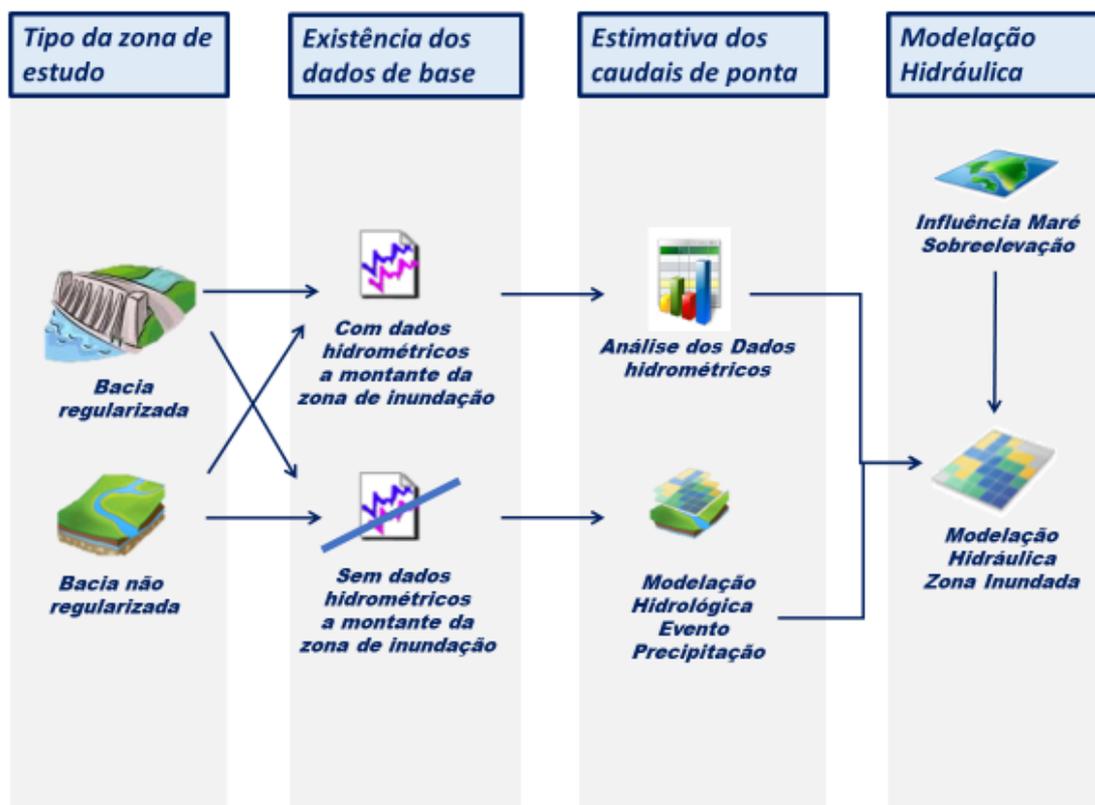


Figura 11 - Abordagem integrada de modelação

A modelação hidrológica teve como principal objetivo a obtenção de caudais de ponta de cheia com diferentes períodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50, 100 e 500 anos), de modo a delimitar as zonas inundáveis associadas a cheias e inundações.

Tendo em conta que a bacia hidrográfica do rio Jamor não apresenta regularização significativa, ou seja, não tem barragens, somente açudes, os caudais de ponta de cheia para cada período de retorno, foram determinados recorrendo a modelos de simulação hidrológica (precipitação-escoamento). Para tal foi utilizado o software MOHID Studio que implementa o modelo MOHID Land<sup>3</sup>. Este modelo simula os principais processos hidrológicos e hidráulicos em bacias hidrográficas, considerando os módulos do escoamento superficial e da rede de drenagem, e calcula a precipitação/escoamento pelo método do “Curve Number”.

Paralelamente à obtenção dos caudais de ponta de cheia, proceder-se à modelação hidráulica do escoamento superficial para se estimar a propagação da onda de cheia na área de estudo.

Neste sentido, foi elaborado um modelo matemático bidimensionais (2D) de alta resolução com recurso ao software referido anteriormente.

<sup>3</sup> mohid.com

No que respeita à modelação hidráulica podem distinguir-se dois tipos de zonas: zonas estuarinas e zonas interiores. Nas zonas estuarinas, geralmente, é utilizado o modelo MOHID Water e nas zonas interiores, como é o caso do Rio Jamor, o modelo MOHID Land. Os processos resolvidos por estes modelos são apresentados na Figura 12.

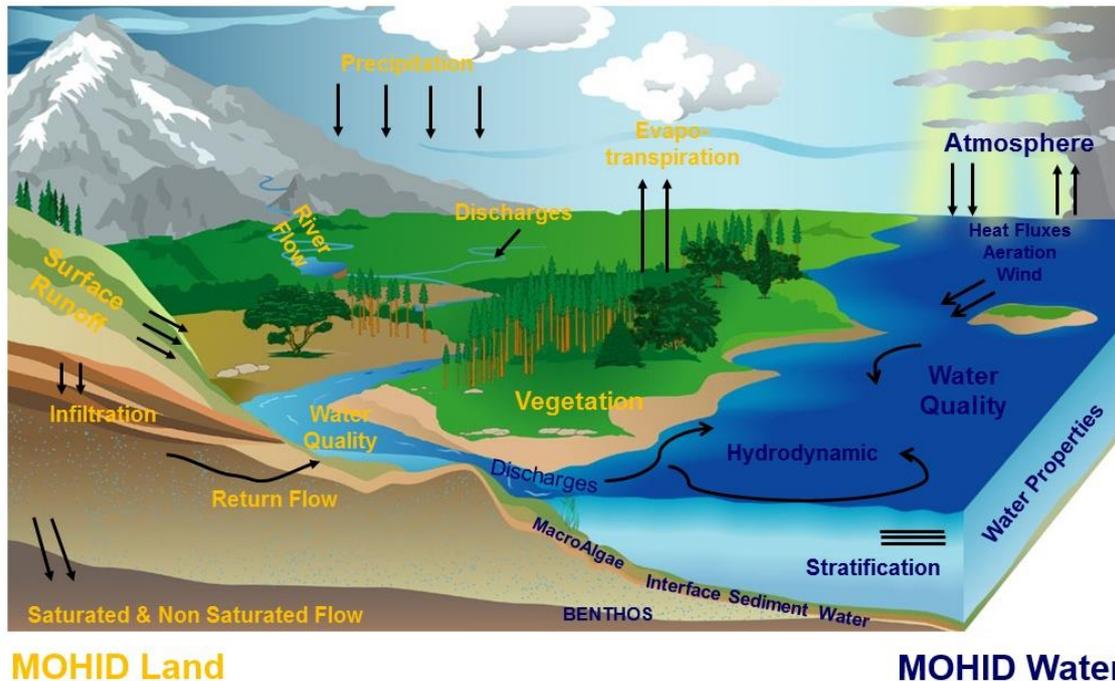


Figura 12 - Sistema de modelação integrada da água MOHID

O modelo MOHID Land é um modelo espacialmente distribuído, que permite simular de forma integrada i) o escoamento superficial (*Overland Flow*); ii) o escoamento nos canais que constituem a rede de drenagem (*Drainage Network*); iii) o escoamento na zona não saturada do solo (camadas acima do nível freático) e iv) o escoamento na zona saturada do solo (aquífero). Estes escoamentos são interdependentes, assim a sua simulação integrada elimina a necessidade de formular hipóteses sobre as transferências entre cada domínio. O escoamento de superfície livre (escoamento superficial e escoamento nos rios) é simulado recorrendo à equação de Saint-Venant e o escoamento subsuperficial é simulado com recurso à equação de Richards. Este modelo permite conhecer a evolução temporal das alturas de escoamento, caudal, velocidade do escoamento, conteúdo de água no solo e nível freático. No âmbito da modelação hidráulica, considerou-se o módulo do escoamento superficial com uma malha computacional bidimensional fina e usando caudais impostos como condições de fronteira de montante. Na fronteira de jusante foi imposto o nível de maré médio de acordo com as tabelas do Instituto Hidrográfico.

De referir que, nas zonas urbanas, não foi simulada a drenagem urbana (e.g. rede pluvial). Os obstáculos existentes na rede de drenagem, tais como pontes, estrangulamentos, aterros, obras hidráulicas ou outras estruturas, que não estejam definidas nos elementos de base do modelo digital de terreno não foram considerados. Para estes casos, será necessário realizar estudos de

pormenor, com base em cartografia a escala adequada a cada situação. Foram, no entanto, considerados as passagens hidráulicas mais importantes, nomeadamente:

- as passagens inferiores ao IC19 e à A5;
- o açude na Quinta Nova;

Apresenta-se, na Tabela 7, o quadro resumo contendo as características do modelo hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Jamor e do modelo hidrológico / hidráulico no concelho de Oeiras.

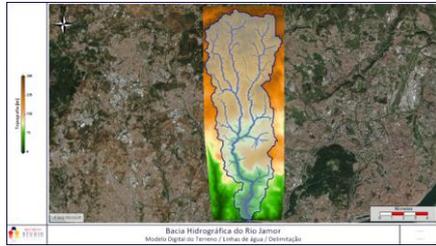
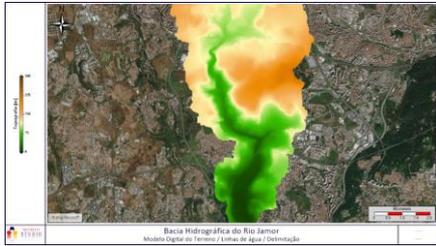
Componente	Modelo Hidrológico da bacia	Modelo Hidrológico/Hidráulico
	Descrição	Descrição
Modelo usado	MOHID Land	MOHID Land
Malha de cálculo	Malha de espaçamento constante	Malha de espaçamento constante
Tamanho das células (m)	~22m	10x10
Nº de células	315 (colunas) x 625 (linhas)	460 (colunas) x 575 (linhas)
Dados de base do DTM	Dados disponibilizados pelas CM de Oeiras, Sintra e Amadora	Dados disponibilizados pelas CM de Oeiras
Condições de fronteira	Hietogramas de precipitação; Fronteira de jusante aberta, com imposição do nível médio do mar.	Caudal imposto do modelo hidrológico; Hietogramas de precipitação; Fronteira de jusante aberta, com imposição do nível médio do mar.
Imagem do Modelo Digital do Terreno e Rede de Drenagem		

Tabela 7 - Características adotadas na modelação hidrológica da bacia do rio Jamor e hidrológica/hidráulica para o rio Jamor no concelho de Oeiras

### Modelação hidrológica de caudais de ponta de cheia no rio Jamor

A modelação hidrológica da totalidade da bacia do rio Jamor teve como principal objetivo estimar os caudais afluentes ao município de Oeiras para os diferentes períodos de retorno, de forma a possibilitar a delimitação das zonas inundáveis e a determinação dos níveis de cheia associados, com base na modelação hidráulica do escoamento superficial. A metodologia adotada teve em consideração a particularidade da bacia hidrográfica e os dados de base disponíveis.

O modelo aplicado requer como dado fundamental de entrada um Modelo Digital de Terreno (MDT), uma vez que, para cada ponto de cálculo da malha computacional é necessário fornecer

uma elevação. Como dados de base foram utilizados os dados topográficos disponibilizados pelas Câmaras Municipais de Oeiras, Sintra e Amadora.

Através do modelo digital de terreno (sem depressões) é possível derivar outros dados hidrológicos, nomeadamente as linhas de água, a delimitação da bacia hidrográfica e o declive do terreno.

O processo de geração das linhas de água pode ser controlado através de um parâmetro que define uma área drenada mínima a partir de qual se formam linhas de água. No âmbito do presente estudo, escolheu-se uma área de 10 hectares. Este valor corresponde aproximadamente à área drenada a partir da qual são desenhadas as linhas de água nas cartas militares 1:25 000.

A delimitação das bacias hidrográficas tem múltiplos objetivos, entre os quais: i) avaliar quais os postos udométricos dentro (ou perto) de cada bacia, ii) saber a área e o comprimento da linha da água principal para calcular o tempo de concentração da bacia através de fórmulas empíricas.

A figura seguinte mostra o modelo digital do terreno final (gradiente de cores), a delimitação da bacia hidrográfica (a preto) e as linhas de águas geradas a partir do DTM (azuis).

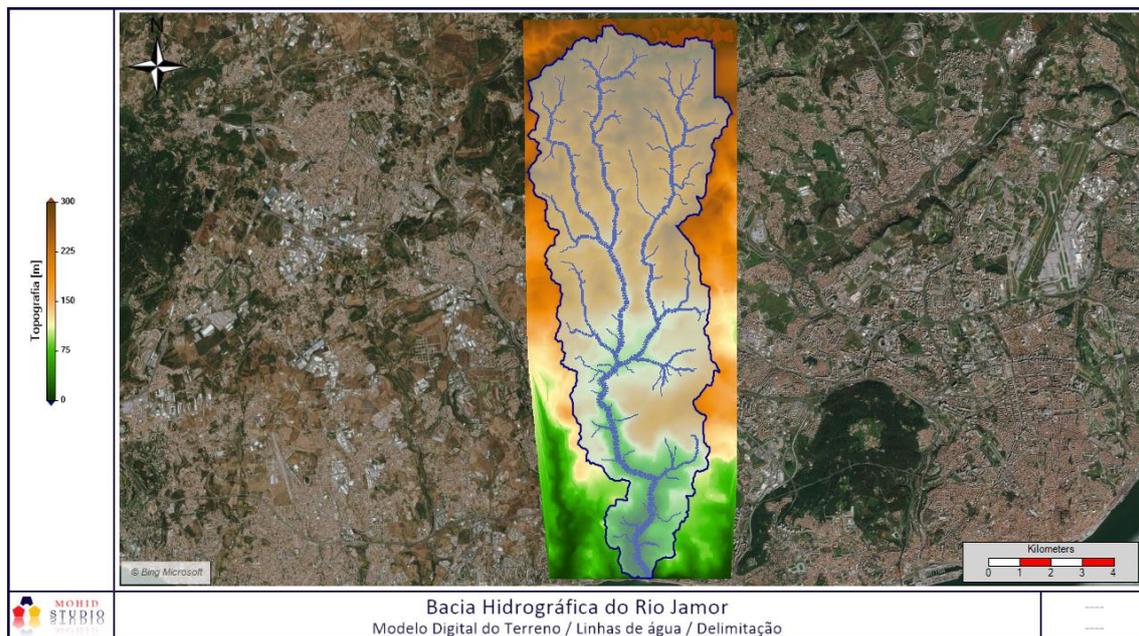


Figura 13 - Modelo digital do terreno e linhas de água da bacia hidrográfica do Rio Jamor

Além do modelo digital do terreno a metodologia aplicada requer, para cada ponto da malha computacional, informação acerca do *Curve Number* (para estimar a infiltração) e do valor de *Manning* (para determinar a resistência ao escoamento). Os valores *Curve Number* foram obtidos a partir de informação disponibilizadas pela Agência Portuguesa do Ambiente e os valores do *Manning* a partir da *Corine Land Cover*.

Como condições de fronteira para a modelação hidrológica da bacia hidrográfica do rio Jamor foram considerados dois parâmetros, consistindo na precipitação e no nível do mar.

Relativamente à precipitação e para a calibração e validação do modelo foram usados valores reais de precipitação de quatro estações meteorológicas do SNIRH:

- Cacém
- Caneças
- Monte de Caparica
- São Julião do Tojal

Foi escolhido o mês de fevereiro de 2008 para a calibração e validação do modelo. Neste mês ocorreram precipitações intensas, existiram dados horários e sem falhas nas estações meteorológicas referidas, bem como dados hidrométricos para o mesmo período na estação da Senhora da Rocha.

Os valores das estações meteorológicas foram interpolados para a bacia hidrográfica. O histograma final usado encontra-se representado na Figura 14.

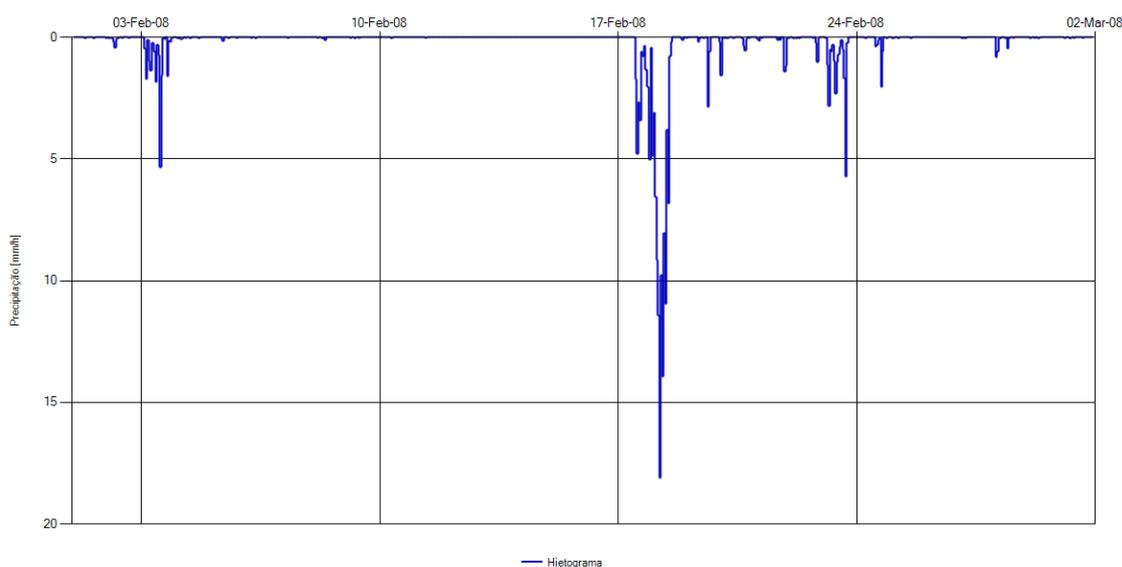


Figura 14 - Precipitação usada na fase de calibração e validação

Para a modelação de diferentes períodos de retorno de precipitação foram usados hietogramas de projeto calculados a partir de uma análise de eventos extremos de precipitação, com recurso a dados diários observados. Para o efeito, realizou-se uma análise estatística da precipitação diária máxima anual da estação do Cacém com 29 anos de dados, compreendendo os anos hidrológicos entre 1979 e 2007.

A lei de extremos com melhor ajuste para a amostra selecionada consiste na Log Pearson III, cujo ajuste passa no teste do qui-quadrado e kolmogorov smirnov. O resultado da análise encontra-se na Tabela 8, onde se podem observar os diferentes períodos de retorno considerados e a precipitação associada com recurso a diferentes leis de extremos.

	T2	T5	T10	T20	T50	T100
Pearson III	40,7	63,8	85,6	109,4	142,5	168,6
Log Pearson III	<b>43,7</b>	<b>63,7</b>	<b>81,6</b>	<b>103,0</b>	<b>138,4</b>	<b>171,7</b>
Gumbel	47,4	72,7	89,4	105,5	126,3	141,9

Tabela 8 - Períodos de retorno da amostra de precipitação diária máxima anual da Estação Meteorológica do Cacém, considerando diferentes leis de extremos

Para a discretização temporal da precipitação associada aos diferentes períodos de retorno recorreu-se ao estudo efectuado por Brandão, et al. (2001) para o posto udográfico de Lisboa (IGIDL), nomeadamente às curvas i-d-f estimadas para esta estação, ajustadas para os valores estimados conforme proposto por Portela (2006). Após esta operação foram criados hietogramas de projeto de blocos alternados de 5 minutos para uma precipitação com duração superior ao tempo de concentração da generalidade das bacias que atravessam Oeiras (Figura 15).

### Hietogramas de projeto (Presente)

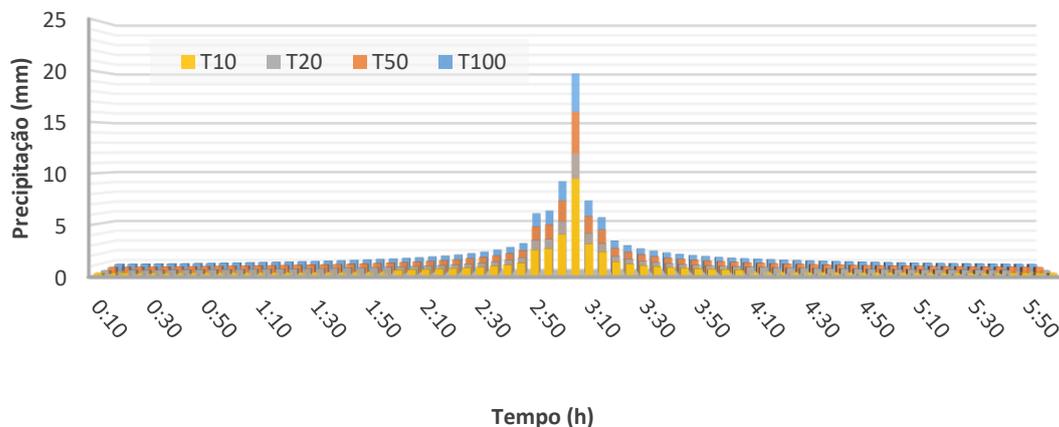


Figura 15 - Hietogramas de projeto para os períodos de retorno de 10, 20, 50 e 100 anos calculados com base em dados observados para a estação meteorológica do Cacém

Relativamente à interação da foz do rio Jamor com o nível do mar, optou-se por impor, como condição de fronteira, o seu nível médio para todas as simulações. Embora um nível do mar mais alto (e.g. preia-mar) resulte numa maior inundação perto da foz, visto que a água terá mais dificuldade de escoar para o mar, estatisticamente é tão provável que o pico de cheia, coincida com a preia-mar como com a baixa-mar, considerando apenas períodos de retorno de precipitação.

Para a calibração e validação do modelo e devido à escassez de dados, foram escolhidos 3 eventos que ocorreram em fevereiro 2008:

- Dia 2 de fevereiro (calibração)
- Dia 17 a 19 de fevereiro (validação)
- Dia 23 de fevereiro (calibração)

Para cada um destes períodos foi corrido o modelo e comparado com os níveis observados na estação hidrométrica da Senhora da Rocha. De notar que se fez a calibração / validação com os níveis, visto que a curva de vazão que o INAG apresenta para esta secção não tem validade para eventos extremos.

Na Figura 16 é apresentada a comparação entre os níveis observados e modelados para o período de validação.

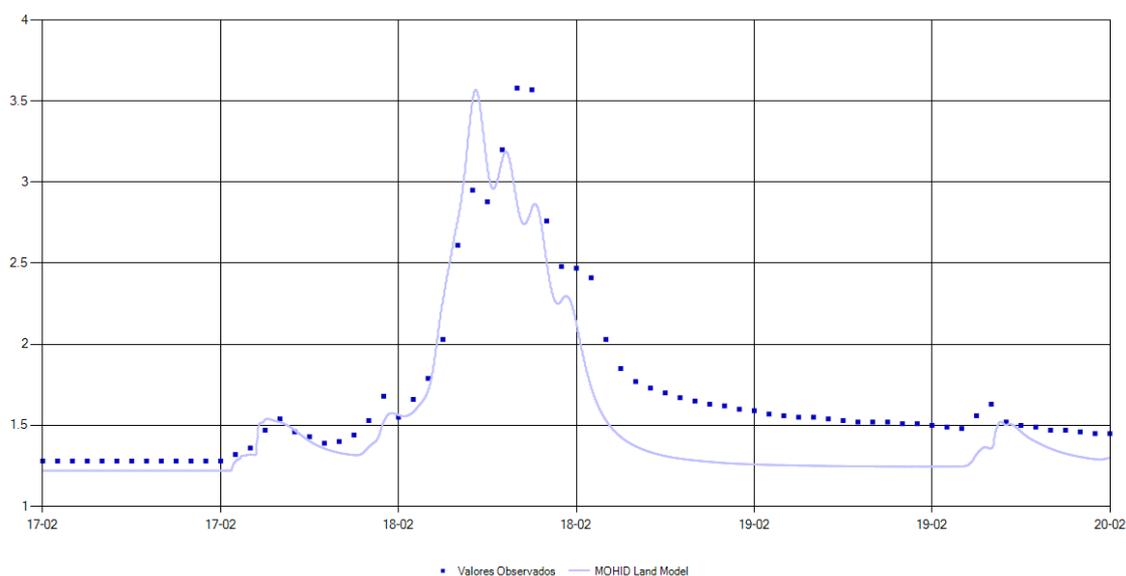


Figura 16 - Comparação entre valores medidos e modelados

### *Modelação hidráulica da bacia do Jamor no município de Oeiras*

A modelação hidráulica foi realizada com um modelo bidimensionais de alta resolução, usando como condições de fronteira os caudais afluentes, o nível da maré e a precipitação conforme descrito anteriores. Nesta modelação, foram usadas malhas computacionais de alta resolução, de forma a determinar com o maior rigor possível as zonas inundáveis e os respetivos níveis de cheia.

A Figura 17 mostra a delimitação da bacia hidrográfica (contorno preto), o modelo hidráulico de alta resolução (gradiente de cores) e os pontos onde foram considerados os afluentes do modelo hidrológico no modelo hidráulico (indicadores azuis).

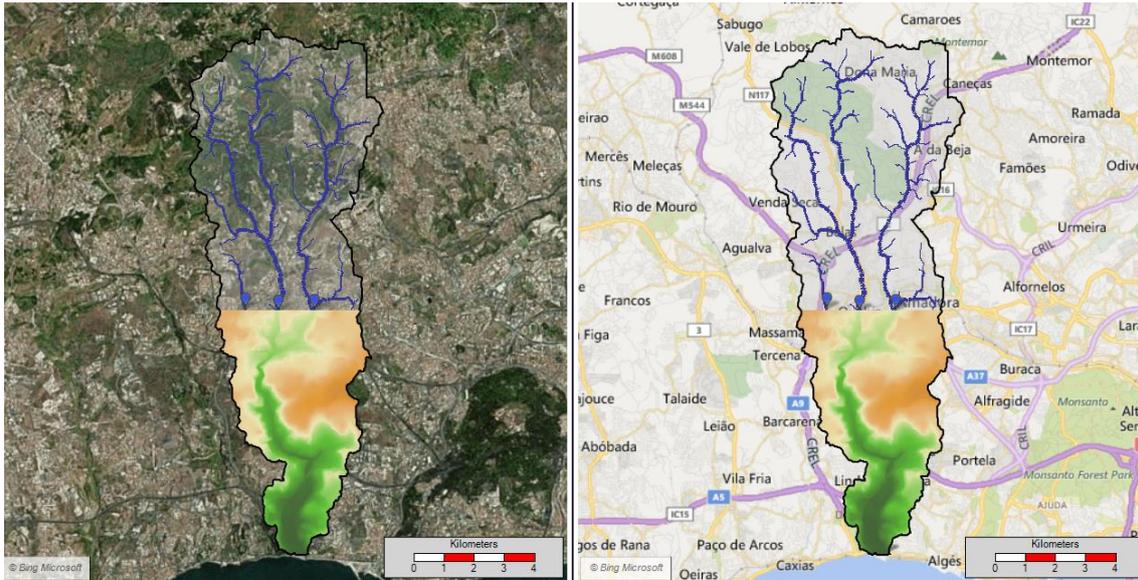


Figura 17 - Ligação entre o modelo hidráulico e hidrológico.

Os processos simulados nas zonas críticas são iguais aos das bacias hidrográficas, sendo os escoamentos nas planícies de inundação simulados em 2D, utilizando as equações de Saint Venant. A principal alteração entre a modelação hidrológica e hidráulica reside na resolução da malha computacional, de forma a adequar a simulação para os objetivos pretendido.

As inundações são fortemente condicionadas pelas condições topográficas do local e, conseqüentemente, a modelação numérica requer informação topográfica com rigor adequado. Este processo exige uma análise cuidada, tendo sido utilizada sempre a melhor informação disponível, que consistiu nos dados topográficos vetoriais fornecidos pela Câmara Municipal de Oeiras.

A informação topográfica tem normalmente uma resolução menor do que as malhas computacionais utilizadas para a simulação, pelo que os dados têm de ser interpolados para gerar malhas mais finas. Existem vários métodos para interpolar os dados de base para as malhas computacionais, como por exemplo IDW (*Inverse Distance Weighting*), triangulação e *kriging*.

Para os dados de base verifica-se que as zonas de inundação, por serem planas, têm baixa densidade de curvas de nível e os pontos cotados são geralmente bastante espaçados. Naturalmente, os diferentes métodos de interpolação geram modelos digitais de terreno com formas ligeiramente diferentes. No âmbito do presente trabalho foi usado um algoritmo específico para interpolar curvas de níveis para malhas<sup>4</sup>.

Nas zonas onde os dados topográficos não representavam toda a secção da linha de água (designadamente o leito menor devido à falta de definição batimétrica), para a caracterização do leito menor foi assumida uma secção tipo, cujas dimensões foram estimadas tendo por base a observação das zonas de estudo, e posterior delineação da linha de água no modelo digital de terreno. Para este melhoramento foram realizadas análises de sensibilidade, verificando-se que

<sup>4</sup> [grasswiki.osgeo.org/wiki/Contour\\_lines\\_to\\_DEM](http://grasswiki.osgeo.org/wiki/Contour_lines_to_DEM)

esta adição não altera significativamente os resultados, uma vez que, para os períodos de retorno simulados, a altura máxima de escoamento extravasa consideravelmente a secção do leito menor, representando esta parte da secção um pequeno contributo para a capacidade de vazão da secção total.

### *Aplicação para cenários futuros*

Em cenários de alterações climáticas, e visto que os dados de precipitação provenientes dos modelos de alterações climáticas se encontram normalmente enviesados (ver e.g. Christensen, Boberg, Christensen, & Lucas-Picher, 2008; Ehret, Zehe, Wulfmeyer, Warrach-Sagi, & Liebert, 2012), foi necessário proceder-se à correção desses erros sistemáticos, para a célula mais próxima à estação do Cacém. Para o efeito foi efetuada a correção de viés através do método de perturbações por quantis (Willems & Vrac, 2011) aos modelos considerados, utilizando-se a série histórica de precipitações da estação meteorológica do Cacém. A escolha deste método resultou da existência de estudos prévios que comprovam a aplicabilidade ao território nacional da metodologia em causa (ver Dias, 2016).

A análise em causa baseia-se na metodologia proposta por Willems & Vrac (2011), tendo sido selecionado o método baseado nas perturbações por quantis. Em pormenor, foram ordenados os dados de cada mês, de um determinado modelo climático, no período histórico modelado e projeção futura. A esses valores, é atribuído um quantil, correspondendo a uma probabilidade de excedência. O rácio da precipitação de um determinado quantil no período futuro, pelo correspondente quantil (ou o quantil mais próximo no caso do número de observações ser diferente), no período de referência, dá-nos o fator de perturbação associado a uma probabilidade. Esse fator é atribuído ao quantil mais próximo da série histórica observada, após a sua ordenação para cada mês e atribuição de probabilidades empíricas de excedência a cada observação. Estas operações permitem corrigir o viés nas precipitações obtidas diretamente dos modelos climáticos para a variável de precipitação (Dias, 2016).

Desta forma, a precipitação em cenários de alterações climáticas resulta da correção de viés dos dados dos modelos tendo em atenção os dados observados na estação meteorológica do Cacém, permitindo analisar os eventos extremos de precipitação atuais comparativamente aos valores projetados pelos cenários. Para o efeito, realizou-se uma análise estatística da precipitação diária máxima anual projetada para os dados provenientes de cada modelo climático considerando os intervalos de tempo de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

Para o cálculo dos períodos de retorno das diferentes séries projeções foram aplicadas diferentes leis de extremos (Pearson III, Log Pearson III e Gumbel), selecionando-se em cada situação aquela que apresentou melhor ajuste.

Os resultados para cada período de retorno, resultam de um *ensemble* da mediana dos valores obtidos em cada modelo considerado.

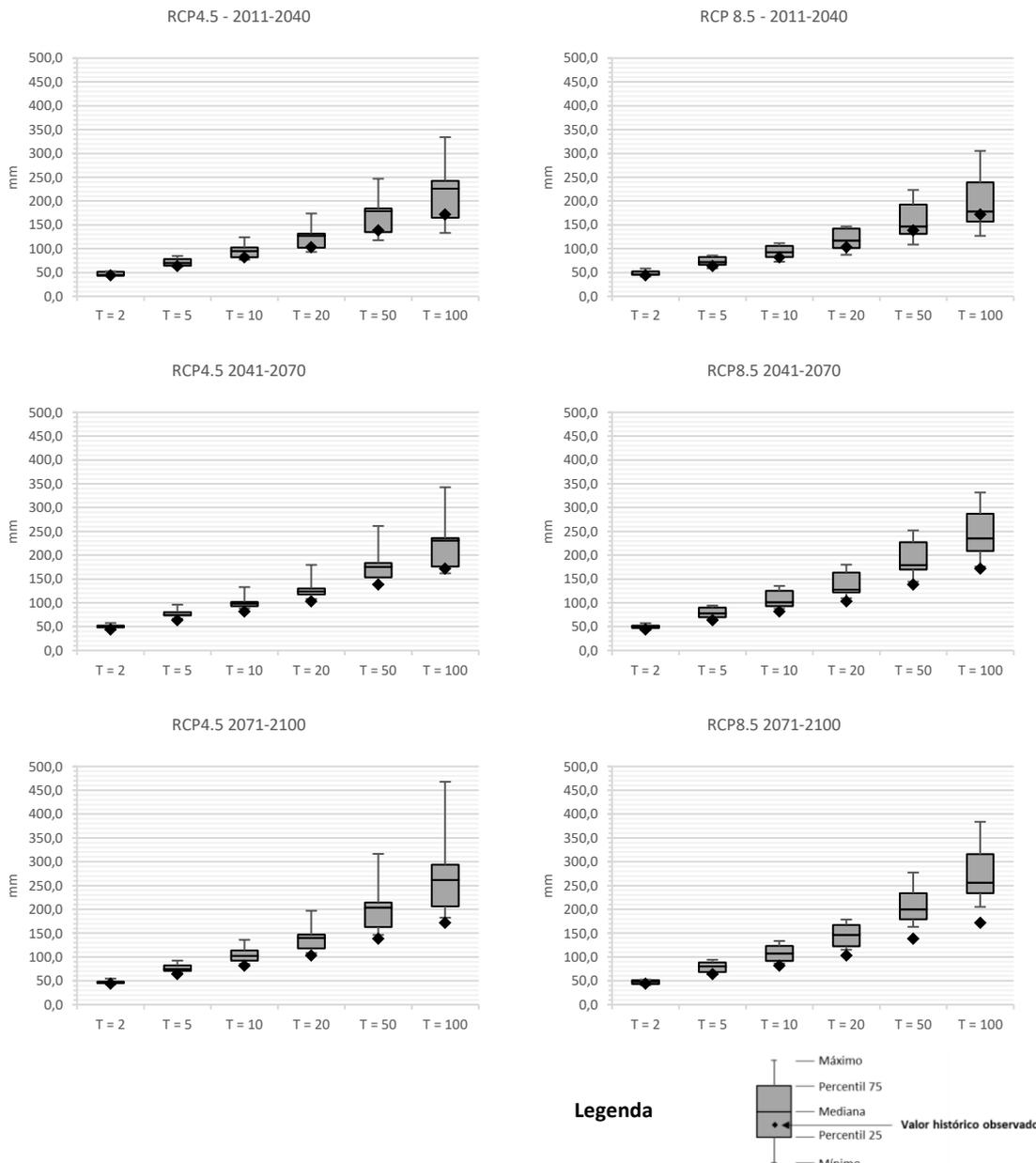


Figura 18 - Análise de incertezas associadas ao cálculo dos períodos de retorno em cenários de alterações climáticas, considerando nove modelos climáticos ajustados à precipitação da estação meteorológica do Cacém

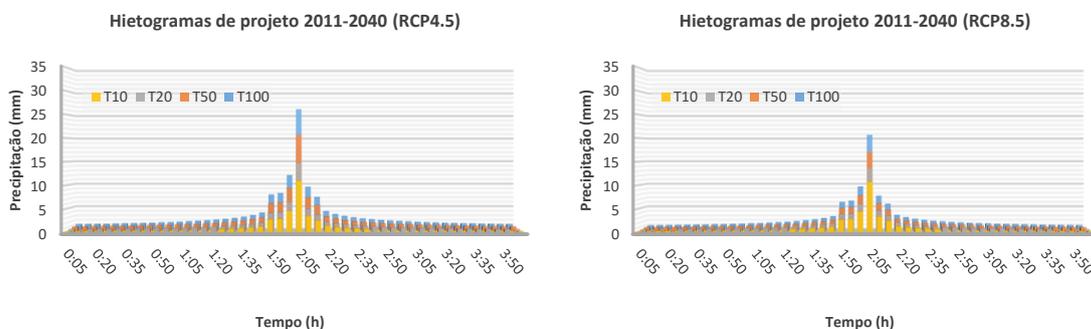
Na Figura 18 é apresentada uma análise de incertezas por cada período analisado, podendo verificar-se que nem todos os modelos projetam um aumento de precipitação extrema. Esta situação é mais evidente no período 2011-2040 e para o RCP8.5, onde o valor da mediana dos modelos encontra-se muito próximo dos valores históricos observado. Nos períodos de 2041-2070 e 2071-2100 praticamente todos os modelos indicam um aumento de eventos extremos de precipitação, variando, no entanto, a intensidade desse aumento entre modelos. A variação entre modelos encontrada é esperada, ocorrendo com frequência na variável precipitação (IPCC, 2012, 2013).

Período de retorno de	mm	1979-2007	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
		Histórico	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
10 anos	mm	81,6	94,9	92,8	98,7	101,0	102,3	107,5
	Alteração em %	-	16,3	13,8	21,0	23,8	25,4	31,7
20 anos	mm	103,0	127,1	117,3	124,2	127,5	140,1	146,7
	Alteração em %	-	23,3	13,8	20,5	23,7	35,9	42,4
50 anos	mm	138,4	178,5	146,8	175,3	179,3	203,9	200,1
	Alteração em %	-	29,0	6,1	26,7	29,6	47,4	44,6
100 anos	mm	171,7	226,3	178,2	231,2	235,1	261,8	255,8
	Alteração em %	-	31,8	3,8	34,7	37,0	52,5	49,0

Figura 19 - Períodos de retorno de 10, 20, 50 e 100 anos, associados à precipitação máxima diária da estação meteorológica do Cacém para o histórico observado (1979-2007) e valores projetados a curto (2011 – 2040), médio (2041 – 2070) e longo prazo (2071 – 2100), obtidos através da mediana de nove modelos climáticos

A Figura 19 resume os resultados obtidos na análise onde se pode verificar um aumento de eventos extremos de precipitação para ambos os modelos e cenários. Esta tendência é mais marcada no RCP4.5 do que no RCP8.5, para o período 2011-2040, verificando-se, nos restantes períodos, tendências relativamente próximas em ambos os cenários.

Com esta informação e seguindo a mesma metodologia que foi aplicada para os dados observados, foi possível definir hietogramas de projeto (Figura 20). É de referir que a aplicação das curvas, IDF publicadas por Brandão, et al. (2001), aos cenários de alterações climáticas pressupõe que os parâmetros das curvas se mantêm, alterando-se apenas a intensidade da precipitação. Este pressuposto é assumido e resulta da inexistência de informação proveniente dos cenários de alterações climáticas que permita a definição dessas curvas em tempo útil.



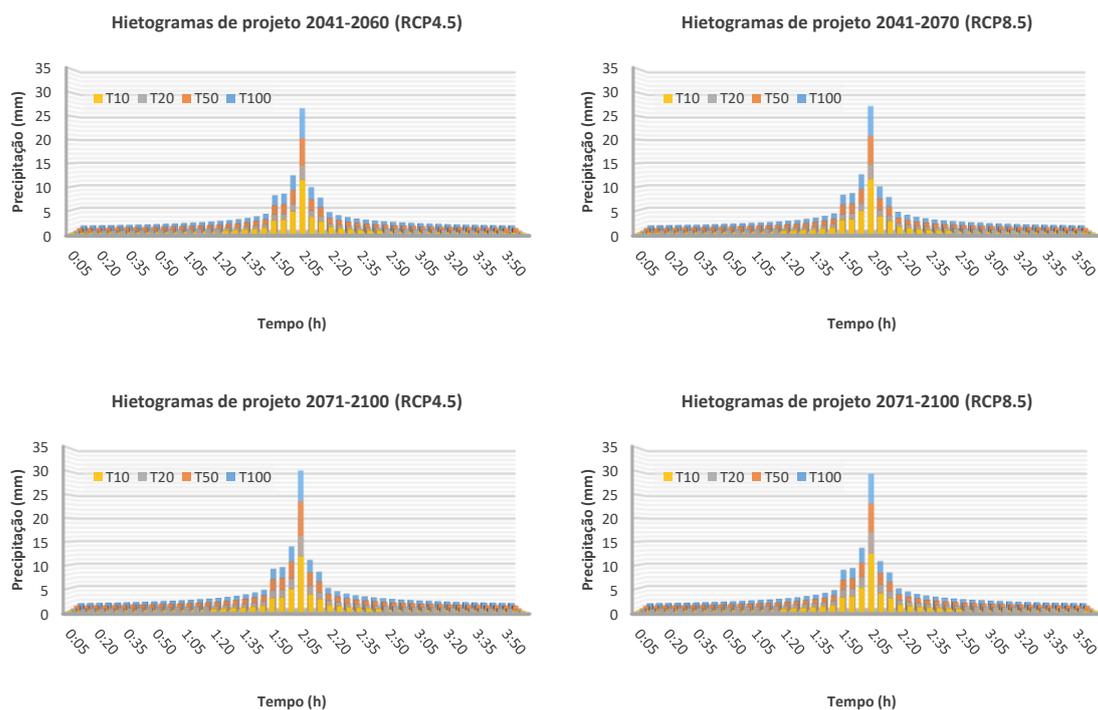


Figura 20 - Hietogramas de projeto para os períodos de retorno de 10, 20, 50 e 100 anos calculados para os períodos de curto (2011-2040), médio (2041-2070) e longo (2071-2100) prazo, para os cenários de concentrações de gases com efeito de estufa RCP4.5 e RCP8.5

### Extrapolação de resultados para as restantes bacias hidrográficas

A extrapolação de resultados para as restantes bacias hidrográficas considerou os resultados de perigosidade obtidos para o rio Jamor, para os diferentes períodos de retorno, e teve por base os dados disponibilizados pelo município de Oeiras, constantes no “Estudo Hidrológico e Hidráulico das bacias Hidrográficas de Oeiras para elaboração de carta de zonas inundáveis de acordo com Decreto-Lei n.º 115/2010” (CMO, 2011). Neste contexto, foram utilizadas as áreas inundáveis associadas aos períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos, que resultaram da elaboração desse estudo, atribuindo-se um grau de perigosidade que se agrava conforme a recorrência da inundação (e.g. o período de retorno de 20 anos tem associado um nível de perigosidade superior ao período de retorno de 50 anos). Após a atribuição dos níveis de perigosidade a cada área inundável, correspondente a cada período de retorno, a informação foi agregada num índice global relativo ao tema em causa.

A projeção das anomalias na perigosidade em cenários de alterações climáticas associada às cheias e inundações resultou da comparação entre a precipitação observada para um dado período de retorno (probabilidade de ocorrência) e o período de retorno a que essa mesma precipitação estará associada no futuro. Esta análise foi realizada para os períodos de curto (2011-2040), médio (2041-2070) e longo prazo (2071-2100) e para os cenários RCP4.5 e RCP8.5.

Esta abordagem segue a metodologia explicitada para o cálculo dos períodos de retorno para efeitos de modelação hidrológica e hidráulica do rio Jamor, acrescentando-se a essa, o cálculo

das probabilidades de não excedência da precipitação observada (histórica) em cada período de retorno, através da lei de extremos com melhor ajuste (Pearson III, Log Pearson III e Gumbel), para os dados de precipitação projetados por cada modelo e cenário. Após este cálculo, as probabilidades de não excedência foram convertidas em períodos de retorno, conseguindo-se estimar qual a média de ocorrência de determinado evento já observado em cenários de alterações climáticas, sendo o resultado final apresentado na Tabela 9.

Precipitação (mm)		Precipitação associada aos Períodos de Retorno Atuais (mm)							
		43,7	63,7	81,6	103,0	138,4	171,7	278,9	
1979-2007		Períodos de Retorno Atuais (Anos)							
		Presente	2	5	10	20	50	100	500
2011-2040		Período de Retorno Futuro (Anos)							
		RCP4.5	1,9	4,1	7,1	12,1	24,6	44,3	189,8
		RCP8.5	1,8	3,7	7,0	13,5	40,2	87,3	555,6
2041-2070		RCP4.5	1,6	3,4	6,3	11,1	27,9	47,5	165,0
		RCP8.5	1,6	3,1	5,6	10,6	25,8	44,8	153,6
2071-2100		RCP4.5	1,7	3,7	6,0	10,2	19,5	32,6	120,0
		RCP8.5	1,8	3,1	5,2	9,0	17,5	27,8	127,6

Tabela 9 - Períodos de retorno atuais e média de anos em que se projeta um evento com as mesmas características em cenários de alterações climáticas. O cenário mais desfavorável de cada período em análise está assinalado a verde

Após esta análise, foram comparadas as precipitações associadas a um período de retorno no presente com o período de retorno que essa mesma precipitação ocorrerá em média no futuro. Sempre que se verificou que uma dada precipitação associada a um período de retorno modelado (no âmbito do “Estudo Hidrológico e Hidráulico das bacias Hidrográficas de Oeiras para elaboração de carta de zonas inundáveis de acordo com Decreto-Lei n.º 115/2010”), passa a ocorrer num período de retorno mais recorrente (também modelado no mesmo âmbito), considera-se que existe um aumento de perigosidade. Ou seja, e como exemplo, o período de retorno de 20 anos observado tem associada uma precipitação 103 mm. Essa precipitação ocorrerá em média de 9 em 9 anos tendo em atenção as projeções do RCP8.5 para o final do século (2071-2100). Neste caso a área inundável com um período de retorno de 20 anos, no presente, é comparável com a área inundável de 10 anos, no RCP8.5 para o período 2071-2100, uma vez que o período de retorno passa a ser próximo de 10 anos para a mesma precipitação.

Após se repetir esta análise para todos os períodos de retorno com cartografia de inundações previamente elaborada (20, 50, 100, 500 anos), chega-se ao resultado de incrementos e/ou conservação do grau de perigosidade para cada período de retorno e cenário considerados, conforme Tabela 10.

		Anomalias face ao Período de Retorno Atual			
		20 Anos	50 Anos	100 Anos	500 Anos
2011-2040	RCP4.5	=	=	+	=
	RCP8.5	=	=	=	=
2041-2070	RCP4.5	=	=	+	=
	RCP8.5	=	=	+	=
2071-2100	RCP4.5	=	+	+	=
	RCP8.5	+	+	+	=

Tabela 10 - Anomalias estimadas para a perigosidade de cheias e inundações em cenários de alterações climáticas, para curto, médio e longo prazos, em relação à perigosidade atual. O cenário mais desfavorável de cada período em análise está assinalado a verde

### 3. VULNERABILIDADES CLIMÁTICAS ATUAL PARA OEIRAS

Nesta seção, são identificados os impactos não climáticos (não dependem de variáveis/parâmetros climáticos) e os impactos climáticos (dependem da temperatura, precipitação, evapotranspiração, etc.) para o setor dos Recursos Hídricos.

#### 3.1. IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTOS NÃO CLIMÁTICOS

Os impactos não climáticos nos recursos hídricos identificados para o concelho de Oeiras consistem em: i) aumento do risco de cheias causado pela impermeabilização das áreas e consequente impedimento de infiltração de água no solo, diminuindo a recarga de aquíferos. Esta impermeabilização é essencialmente causada pela crescente ocupação urbana resultante do desenvolvimento socioeconómico; ii) diminuição da qualidade da água causada pelo aumento de população no concelho e em contacto com as bacias, proporcionando aumento de poluição.

#### **Alteração do escoamento devido às variações de Uso e Ocupação do Solo**

Na Figura 21, Figura 22, Figura 23, Figura 24 e Figura 25, estão representados os escoamentos de cada uma das bacias hidrográficas de Oeiras, correspondentes à COS 1995, COS 2010 e às respetivas bacias naturalizadas, comparados com os respetivos caudal ecológico (EFR) de cada bacia.

Os escoamentos das bacias com áreas urbanizadas é superior às bacias naturalizadas devido à maior percentagem de áreas impermeáveis, podendo levar ao aumento acentuado dos caudais de ponta de cheia e à ocorrência de cheias repentinas com elevados caudais de ponta (Portela, Silva, & Melim, 2000).

Escoamento Ribeira de Porto Salvo 1979-2007

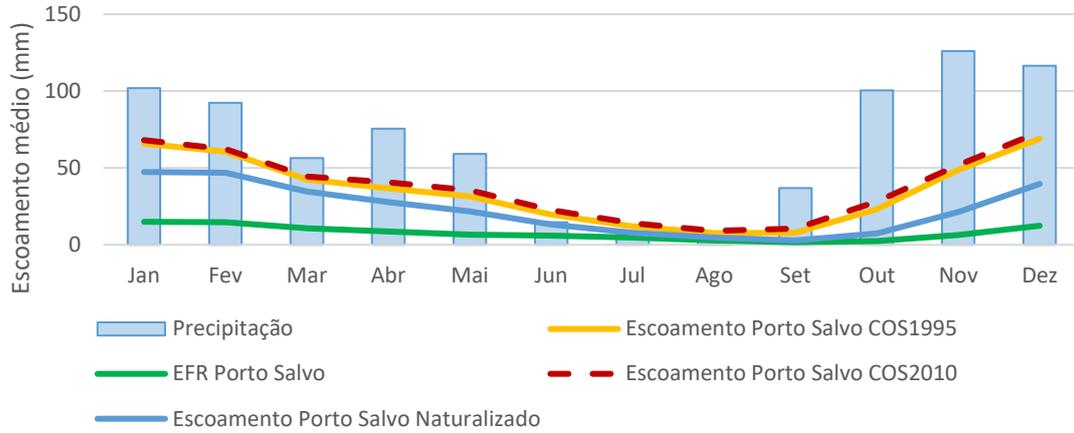


Figura 21 - Escoamento médio mensal na bacia da ribeira de Porto Salvo entre 1979-2007

Escoamento Ribeira da Laje 1979-2007

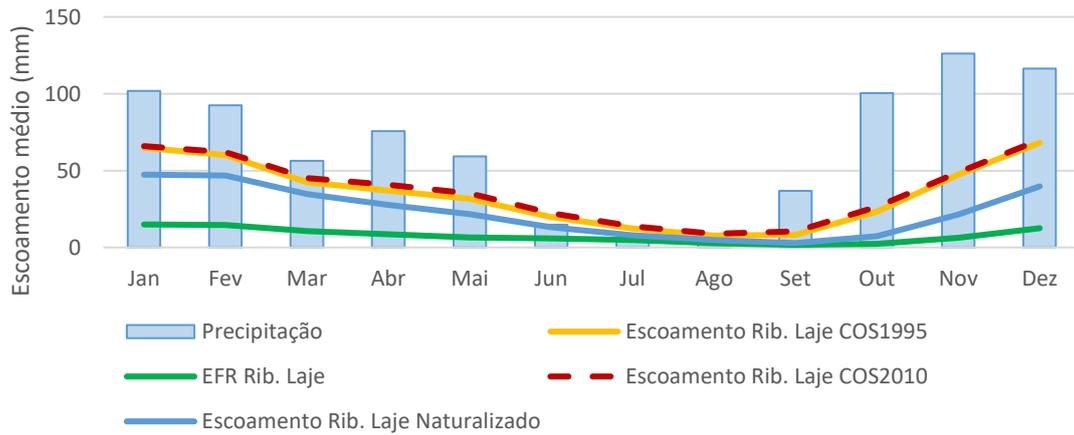


Figura 22 - Escoamento médio mensal na bacia da ribeira da Laje entre 1979-2007

### Escoamento Rio Jamor 1979-2007

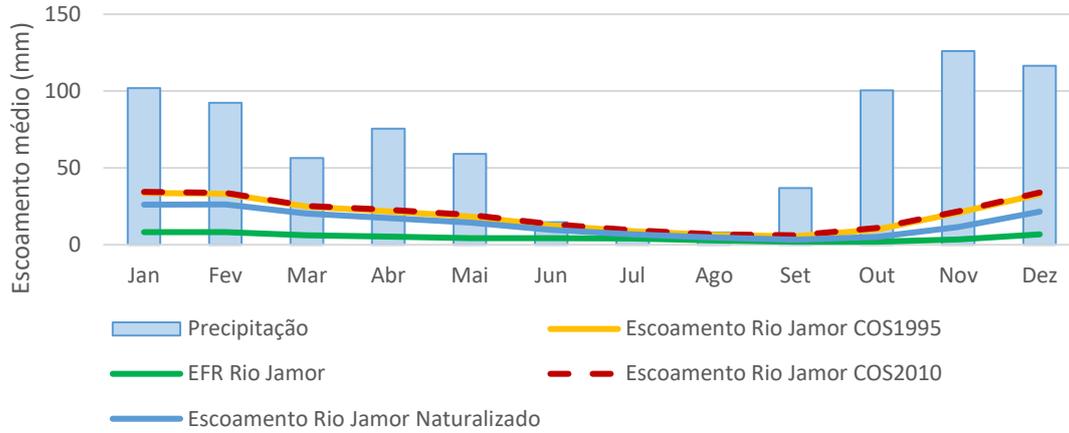


Figura 23 – Escoamento médio mensal na bacia do rio Jamor entre 1979-2007

### Escoamento Ribeira de Barcarena 1979-2007

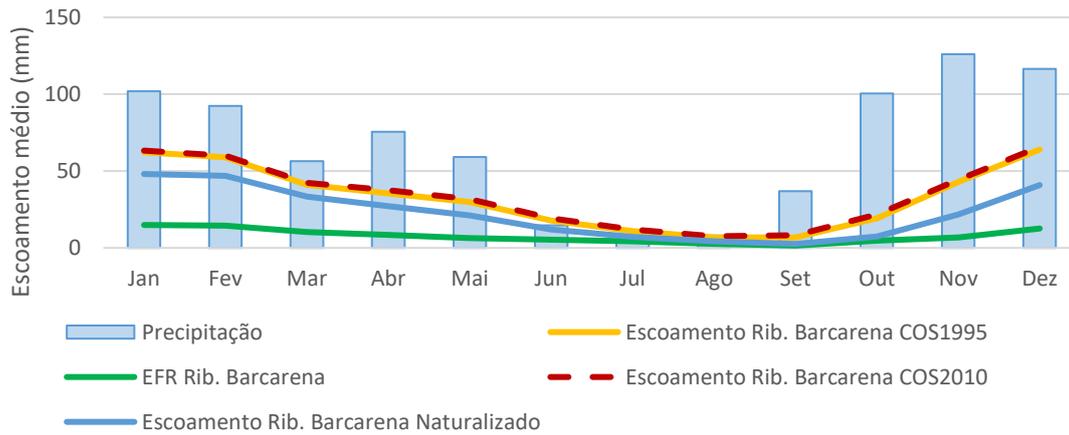


Figura 24 – Escoamento médio mensal na bacia da ribeira de Barcarena entre 1979-2007

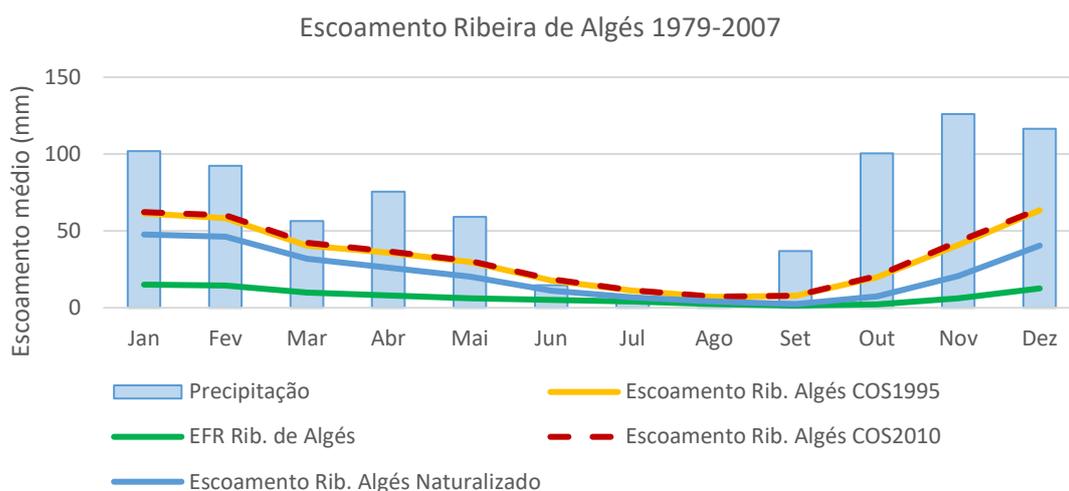


Figura 25 – Escoamento médio mensal na bacia da ribeira de Algés entre 1979-2007

Considerando o que foi dito anteriormente neste ponto, apesar de todas as bacias hidrográficas terem características diferentes, os escoamentos têm comportamentos semelhantes. Numa comparação entre o escoamento da bacia naturalizada e o escoamento da bacia representada pela COS2010 (ver Tabela 2), as bacias da ribeira de Porto Salvo e ribeira da Laje, para além de serem as bacias com maior percentagem de ocupação urbana (67% e 67,7%, respetivamente), são também as que apresentam escoamento mais díspar quando comparada à bacia sem ocupação urbana. A mesma proporção se verifica nas restantes bacias, sendo que a do rio Jamor é a que apresenta menor percentagem de ocupação urbana (47,9%) e a que em simultâneo difere menos do seu escoamento naturalizado.

## 3.2. IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTOS CLIMÁTICOS ATUAIS

### 3.2.1. Disponibilidade hídrica

#### *Águas superficiais*

Para o período histórico foi realizada uma análise interanual, de modo a representar a variabilidade dos caudais e a frequência de anos secos, verificando-se paralelamente se os valores de caudal ecológico (EFR) de cada bacia são cumpridos.

Da Figura 26 à Figura 30, estão representadas as percentagens de anos hidrológicos que não excedem determinado caudal (e.g. na ribeira de Porto Salvo, conforme Figura 26, 50% dos anos não excede 35 mm de caudal médio mensal) e respetivos EFR, para todas as bacias analisadas.

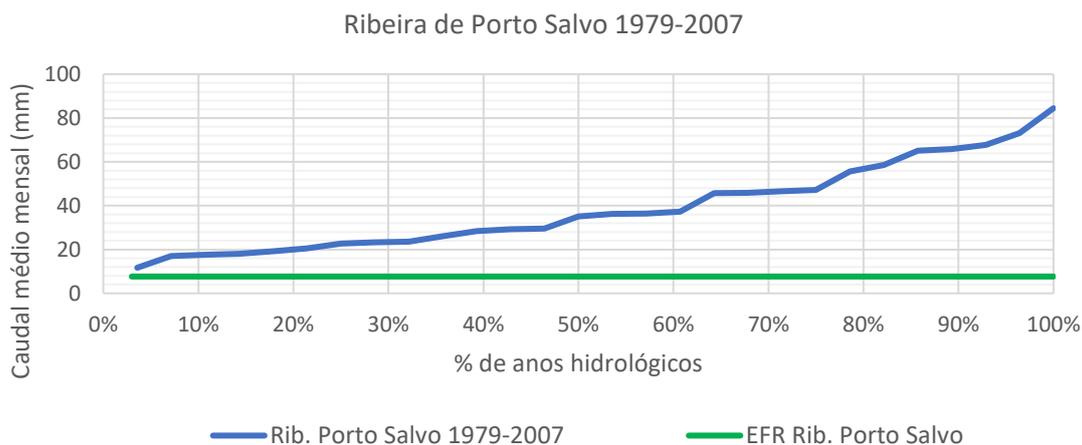


Figura 26 - Caudal médio mensal por ano hidrológico para a ribeira de Porto Salvo em relação ao seu EFR. A figura apresenta a percentagem de anos hidrológicos que não excedem determinado caudal (1979 e 2007)

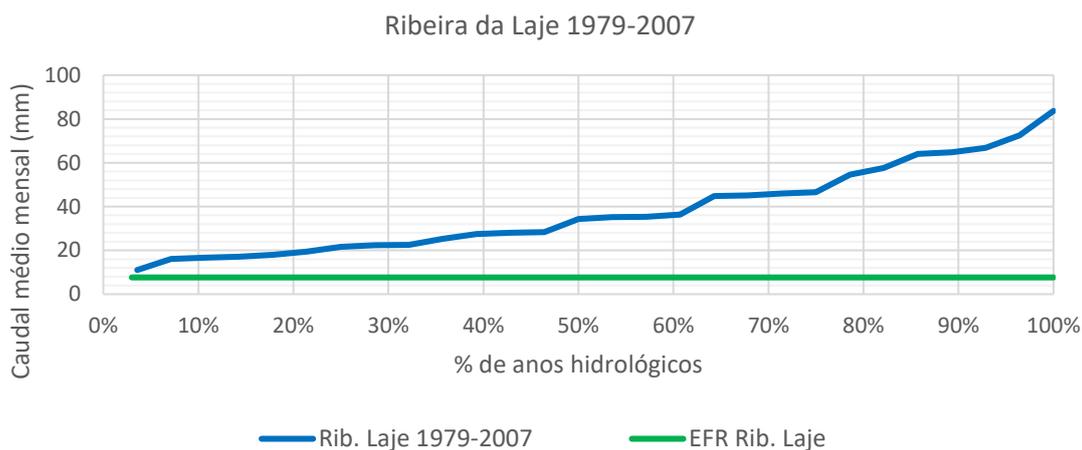


Figura 27 - Caudal médio mensal por ano hidrológico para a ribeira da Laje em relação ao seu EFR. A figura apresenta a percentagem de anos hidrológicos que não excedem determinado caudal (1979 e 2007)

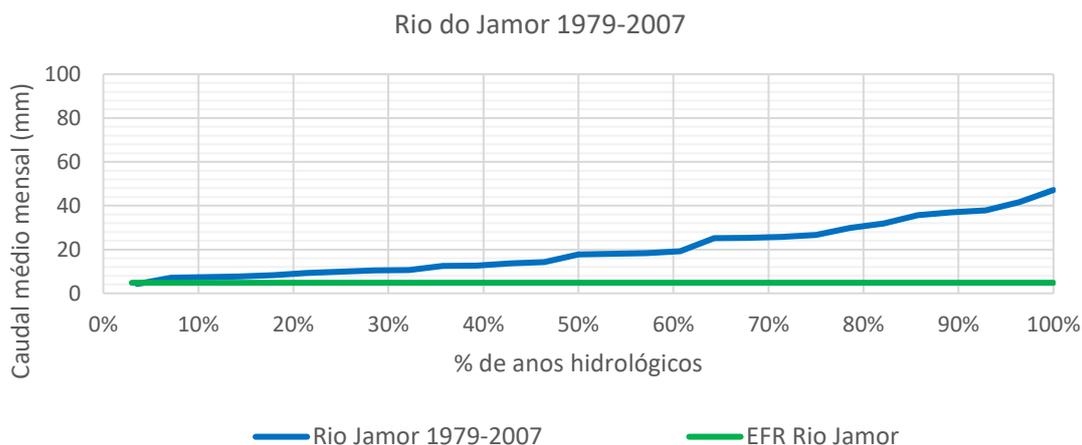


Figura 28 - Caudal médio mensal por ano hidrológico para o rio Jamor em relação ao seu EFR. A figura apresenta a percentagem de anos hidrológicos que não excedem determinado caudal (1979 e 2007)

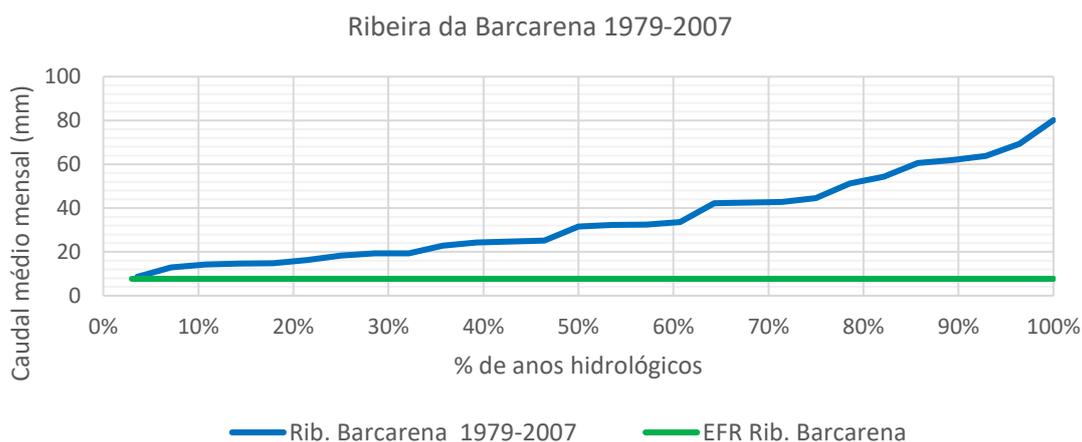


Figura 29 - Caudal médio mensal por ano hidrológico para a ribeira da Barcarena em relação ao seu EFR. A figura apresenta a percentagem de anos hidrológicos que não excedem determinado caudal (1979 e 2007)

Ribeira de Algés 1979-2007

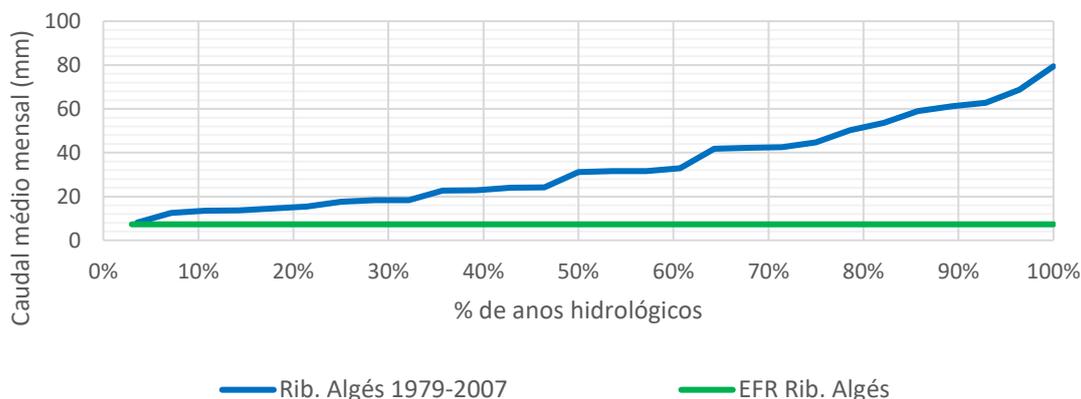


Figura 30 - Caudal médio mensal por ano hidrológico para a ribeira de Algés em relação ao seu EFR. A figura apresenta a percentagem de anos hidrológicos que não excedem determinado caudal (1979 e 2007)

Desta análise, verifica-se que no rio Jamor 3% dos anos hidrológicos entre 1979 e 2007 não excederam os níveis mínimos de EFR. As restantes linhas de água cumpriram os requisitos mínimos de EFR.

### Águas subterrâneas

Na Figura 31, está representada a recarga média mensal dos aquíferos no período histórico simulado (1979-2007).

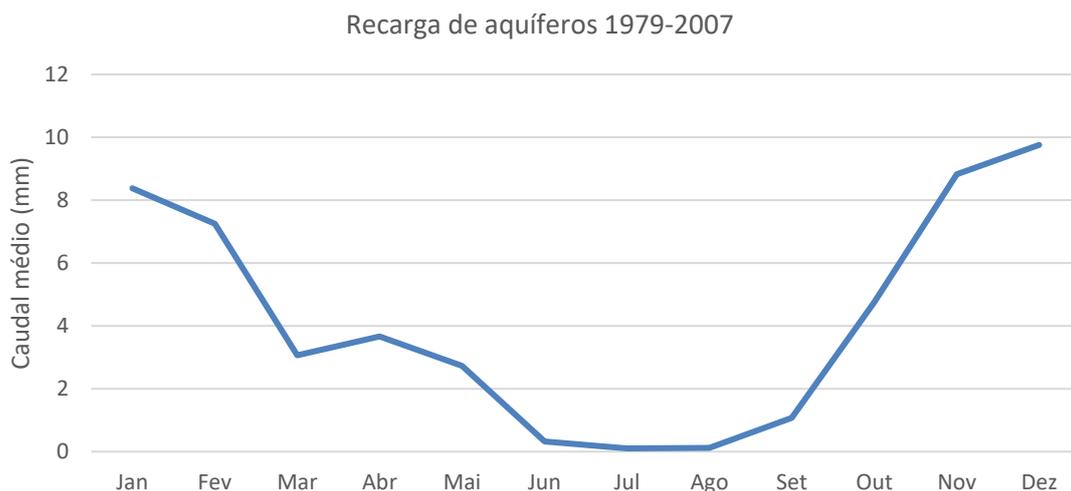


Figura 31 - Caudal de recarga de aquíferos para o período histórico simulado

A eventual diminuição da recarga hídrica dos aquíferos aumenta a vulnerabilidade destes às contaminações provenientes de camadas superiores, tornando-os simultaneamente vulnerável à intrusão marinha em regiões litorais (Magno, Barbosa, & Mattos, 2008).

### 3.2.2. Cheias e inundações pluviais

#### Rio Jamor

A modelação hidráulica realizada para o rio Jamor, permitiu a delimitação das zonas inundáveis na área de estudo para os diferentes períodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50, 100 e 500 anos), assim como a análise da altura máxima da coluna de água e a velocidade do escoamento em caso de inundação.

Os resultados da profundidade máxima da inundação e a perigosidade associada, para os períodos de retorno atuais de 20 e 100 anos são apresentados na Figura 32 e Figura 33, respetivamente (para os restantes períodos de retorno deverá ser consultado o Anexo). Nas referidas figuras é ainda possível identificar as zonas inundáveis, consistindo em pontos da malha onde a profundidade da água é superior a 10 cm, valor a partir do qual se considera existir inundação.

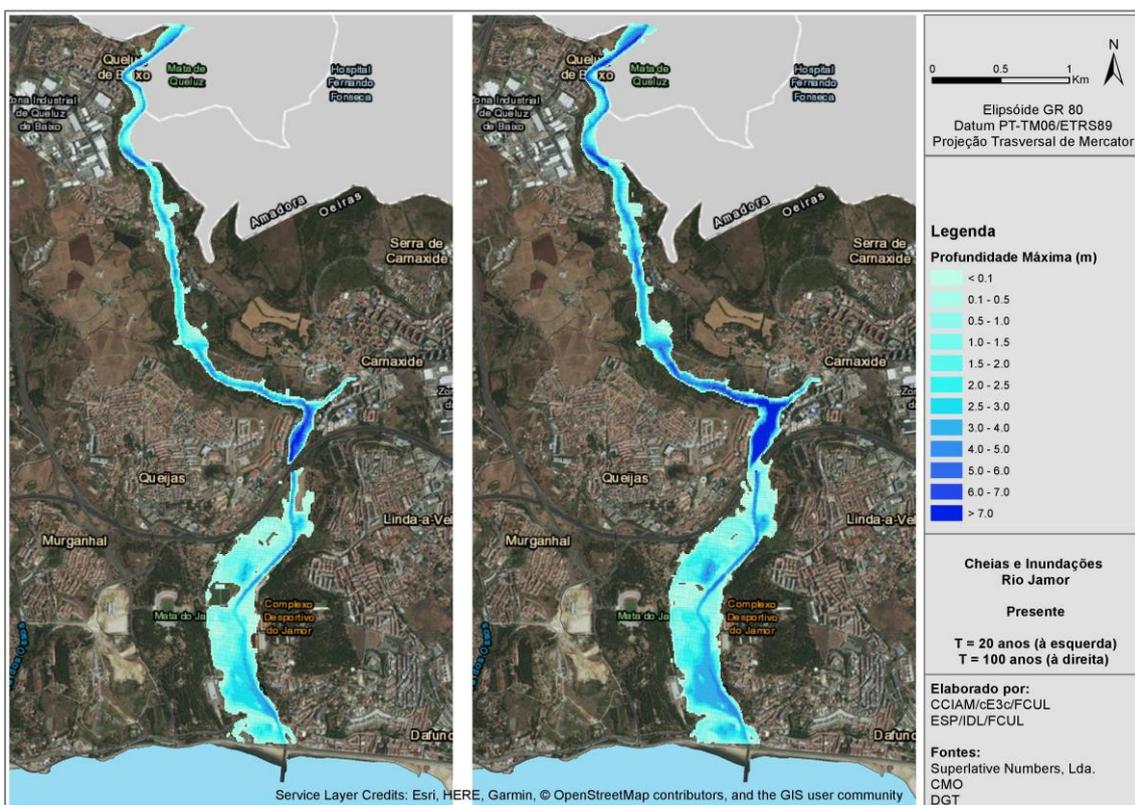


Figura 32 - Profundidade de inundação máxima para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), na bacia do rio Jamor (presente)

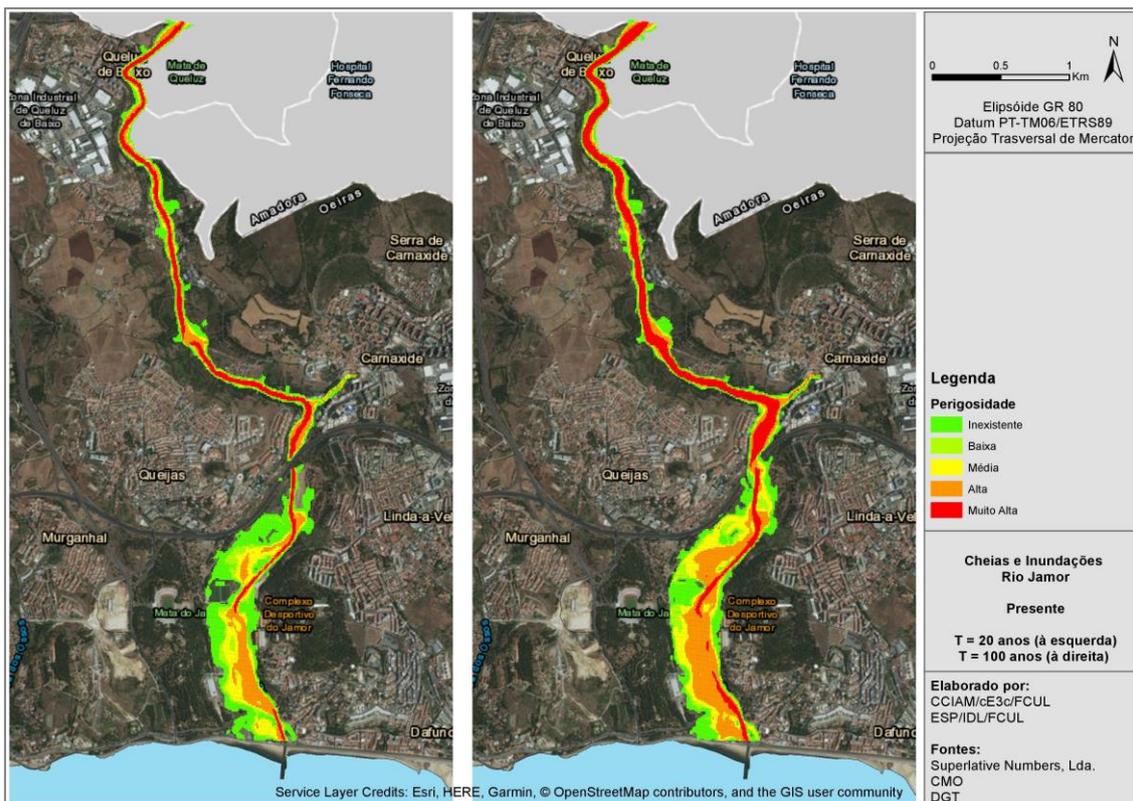


Figura 33 - Perigosidade associada aos períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), na bacia do rio Jamor (presente)

No período atual, a zona a norte da autoestrada (A5) é a que apresenta níveis de perigosidade mais elevados, devido aos declives mais acentuados nessa zona, implicando uma maior velocidade de escoamento. A sul da referida autoestrada os declives são menos acentuados o que permite um maior espreado da inundação e consequentemente uma maior extensão de área afetada, embora com níveis de perigosidade inferiores.

#### *Extrapolção para as restantes bacias hidrográficas*

Conforme referido no capítulo sobre a avaliação das vulnerabilidades e modelação de impactos, foi possível extrapolar níveis de perigosidade para as restantes bacias no contexto das cheias e inundações, considerando as probabilidades de ocorrência desses fenómenos, em conformidade com as áreas inundáveis identificadas por CMO (2011). O resultado dessa extrapolação, considerando as condições climáticas observadas, encontra-se cartografada na Figura 34.

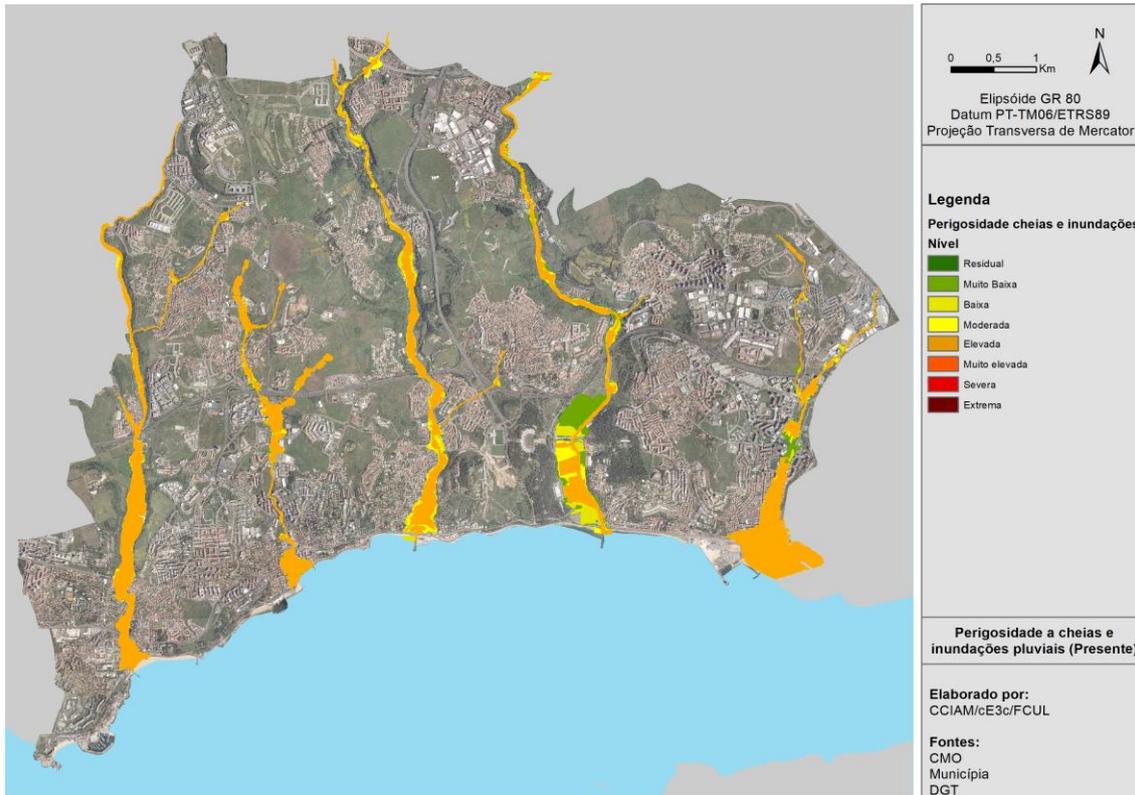


Figura 34 - Perigosidade extrapolada para cheias e inundações no presente

Desta cartografia é possível verificar que o concelho de Oeiras atualmente já atinge um nível elevado de perigosidade a cheias e inundações, com especial relevância para as zonas mais a jusante das linhas de água. Estas áreas são especialmente sensíveis porque são zonas com elevada densidade urbana (e.g. zona baixa de Algés, Paço de Arcos), e no caso da ocorrência de elevada precipitação coincidente com preia-mar de marés vivas a inundaçãõ assumirá maior extensão e/ou maior elevaçãõ da cota de cheia.

## 4. IMPACTOS E VULNERABILIDADES FUTURAS PARA OEIRAS

Nesta seção, são identificados os impactos e vulnerabilidades futuras para os Recursos Hídricos de Oeiras, onde se incluem as cheias e inundações. As vulnerabilidades futuras foram estudadas atendendo aos cenários de alterações climáticas RCP4.5 e RCP8.5.

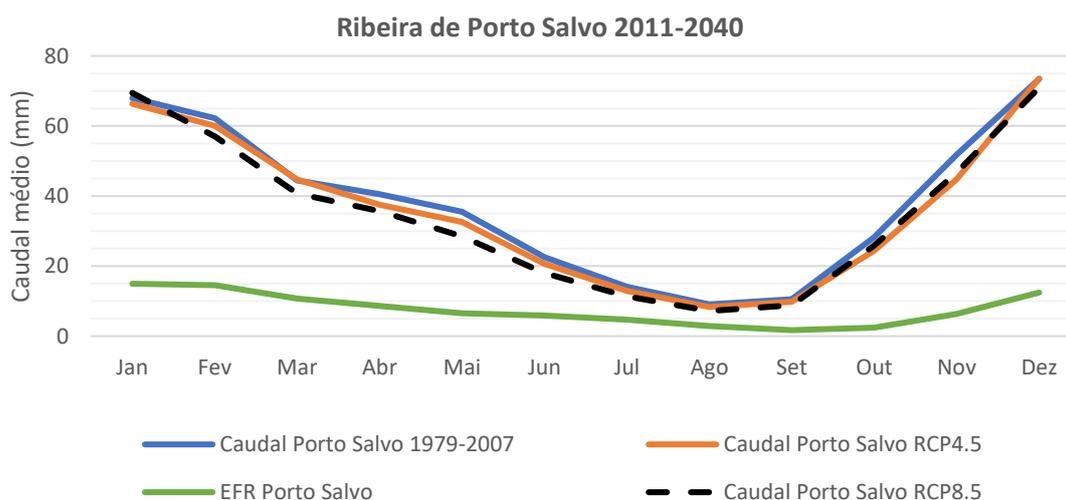
### 4.1. VARIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

#### 4.1.1. Águas superficiais

##### *Análise anual*

Da Figura 35 à Figura 39 estão representados os caudais mensais para os cenários futuros RCP4.5 e RCP8.5, o caudal modelado de referência (1979-2007) e o regime do caudal ecológico (EFR) para cada uma das bacias hidrográficas. Sendo o EFR um valor fixo para cada mês, verifica-se, através dos gráficos, que nos meses de menor caudal (meses de verão), o caudal projetado diminui e tende a aproximar-se do valor do EFR, especialmente no período de 2071-2100 para o cenário RCP8.5. No entanto, em nenhum cenário os escoamentos médios projetados são inferiores ao EFR.

##### *Ribeira de Porto Salvo*



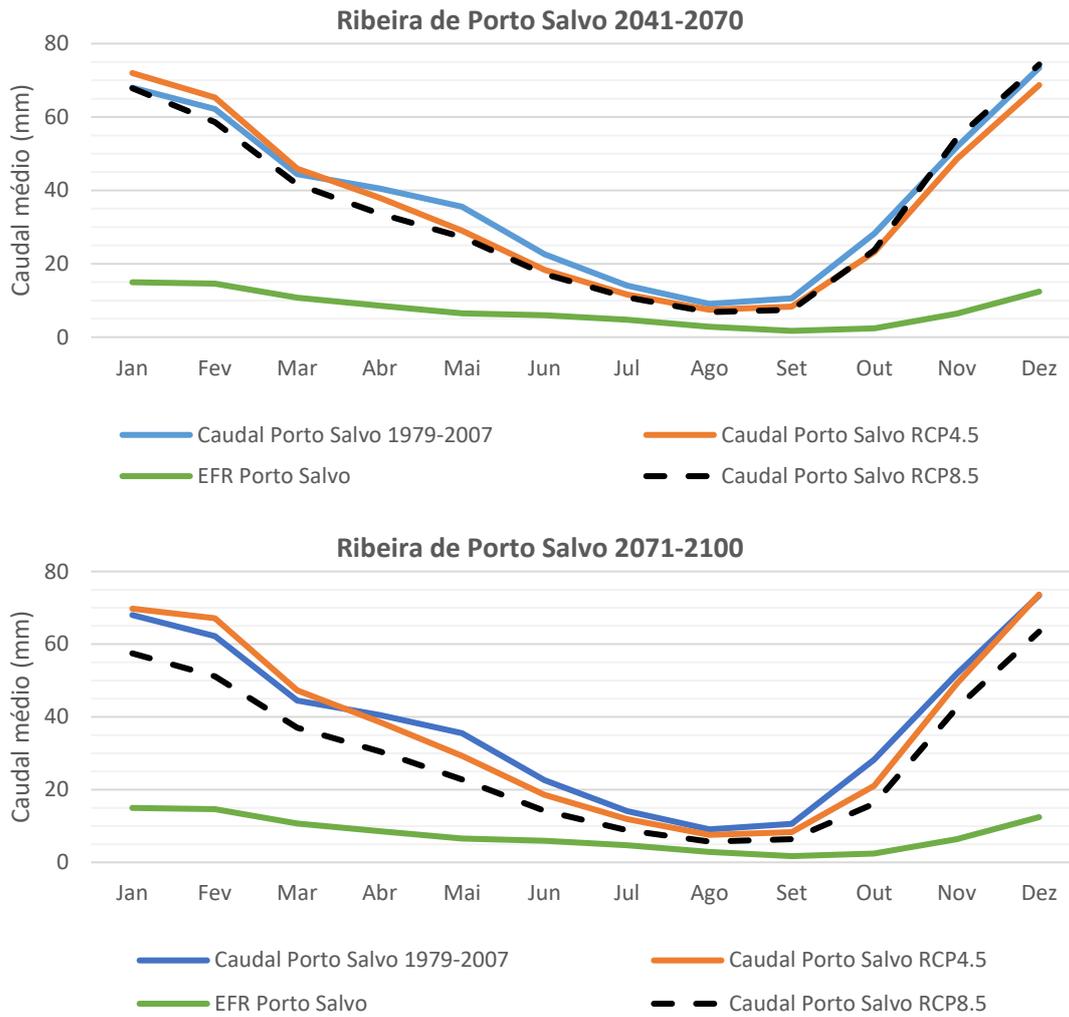


Figura 35 - Distribuição mensal de caudais na bacia da ribeira de Porto Salvo para os períodos de 2011-2040; 2041-2070; e 2071-2100

**Ribeira da Laje**

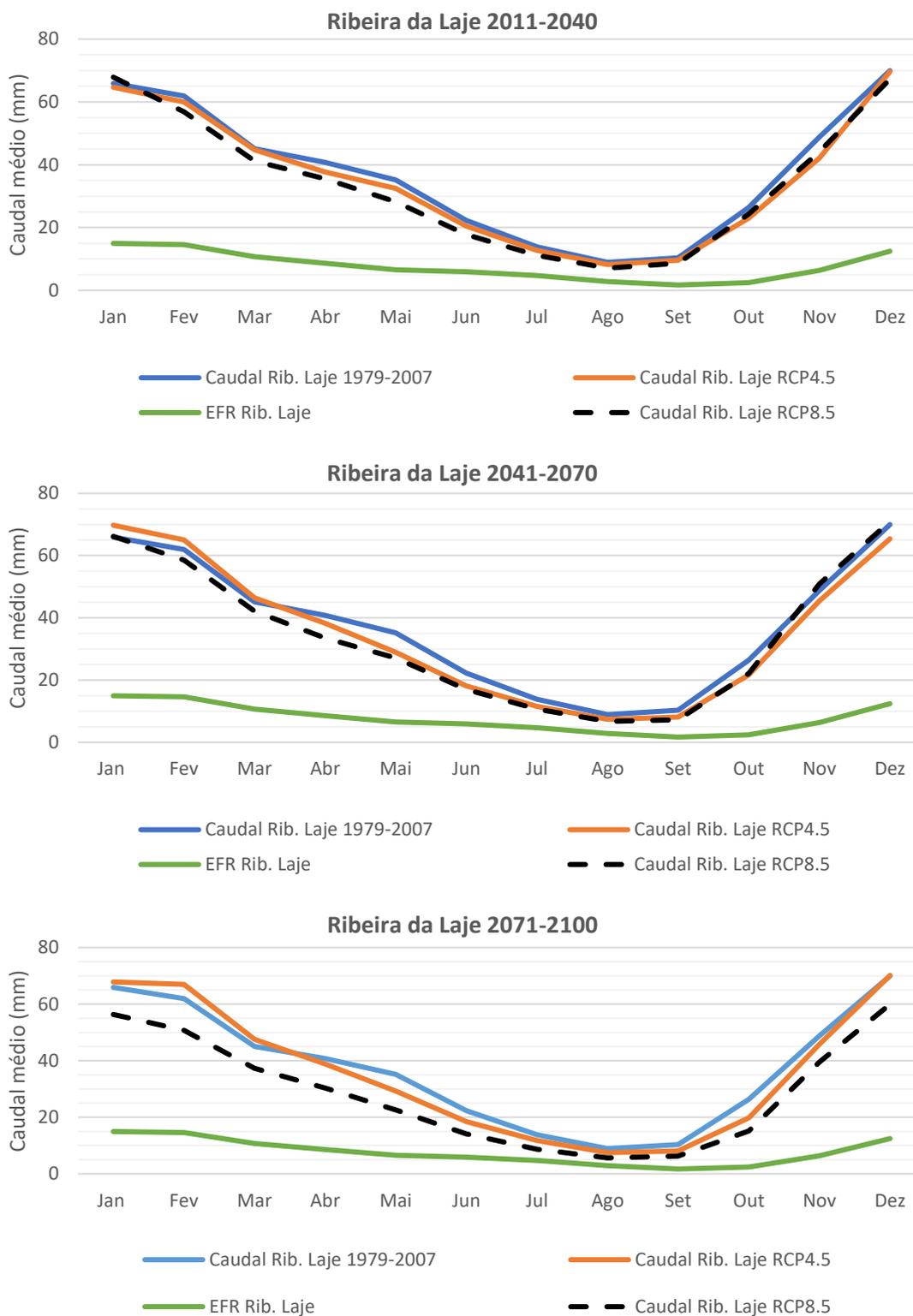


Figura 36 - Distribuição mensal de caudais na bacia da ribeira da Laje para os períodos de 2011-2040; 2041-2070; e 2071-2100

**Rio Jamor**

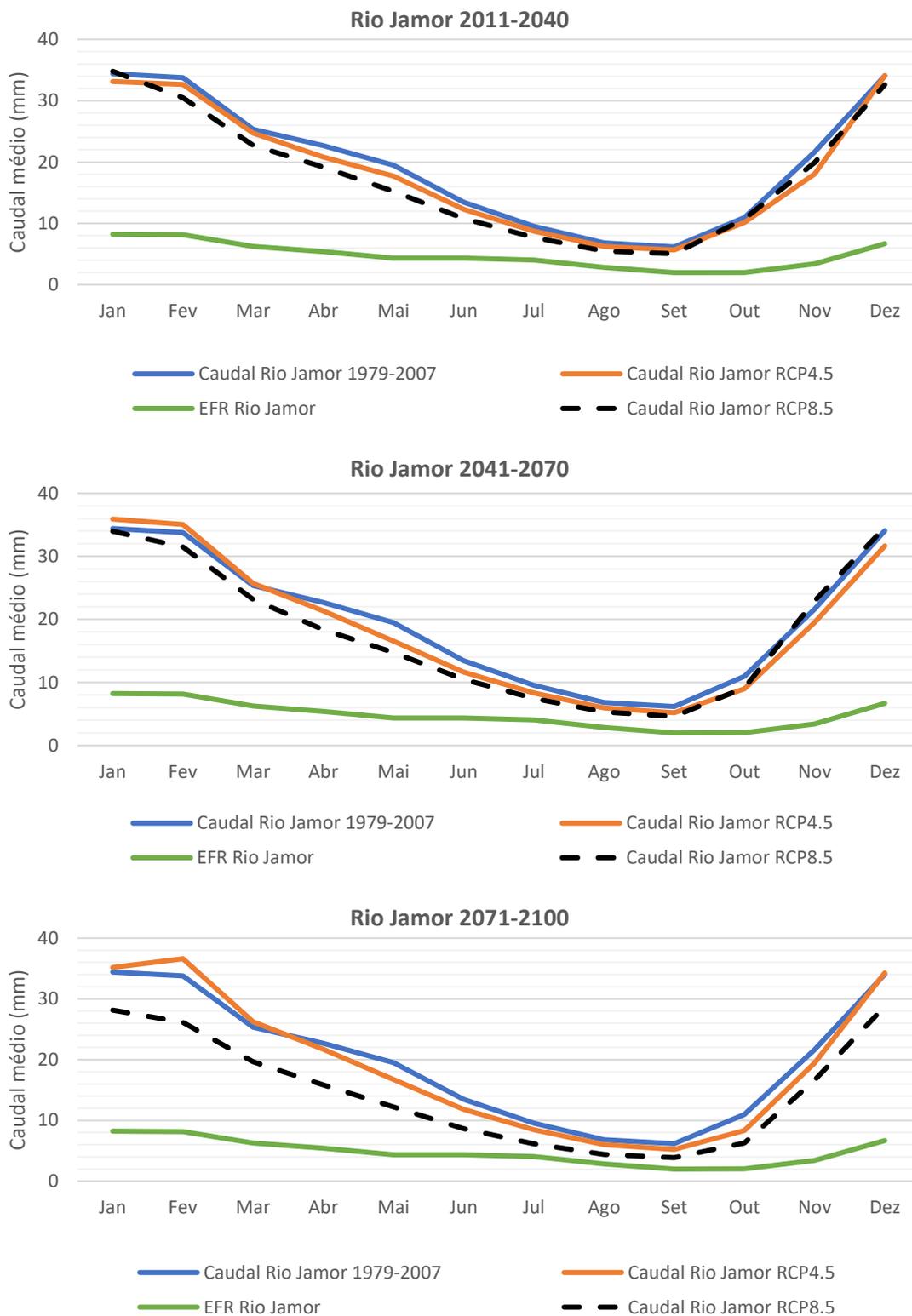


Figura 37 - Distribuição mensal de caudais na bacia do rio Jamor para os períodos de 2011-2040; 2041-2070; e 2071-2100

Ribeira de Barcarena

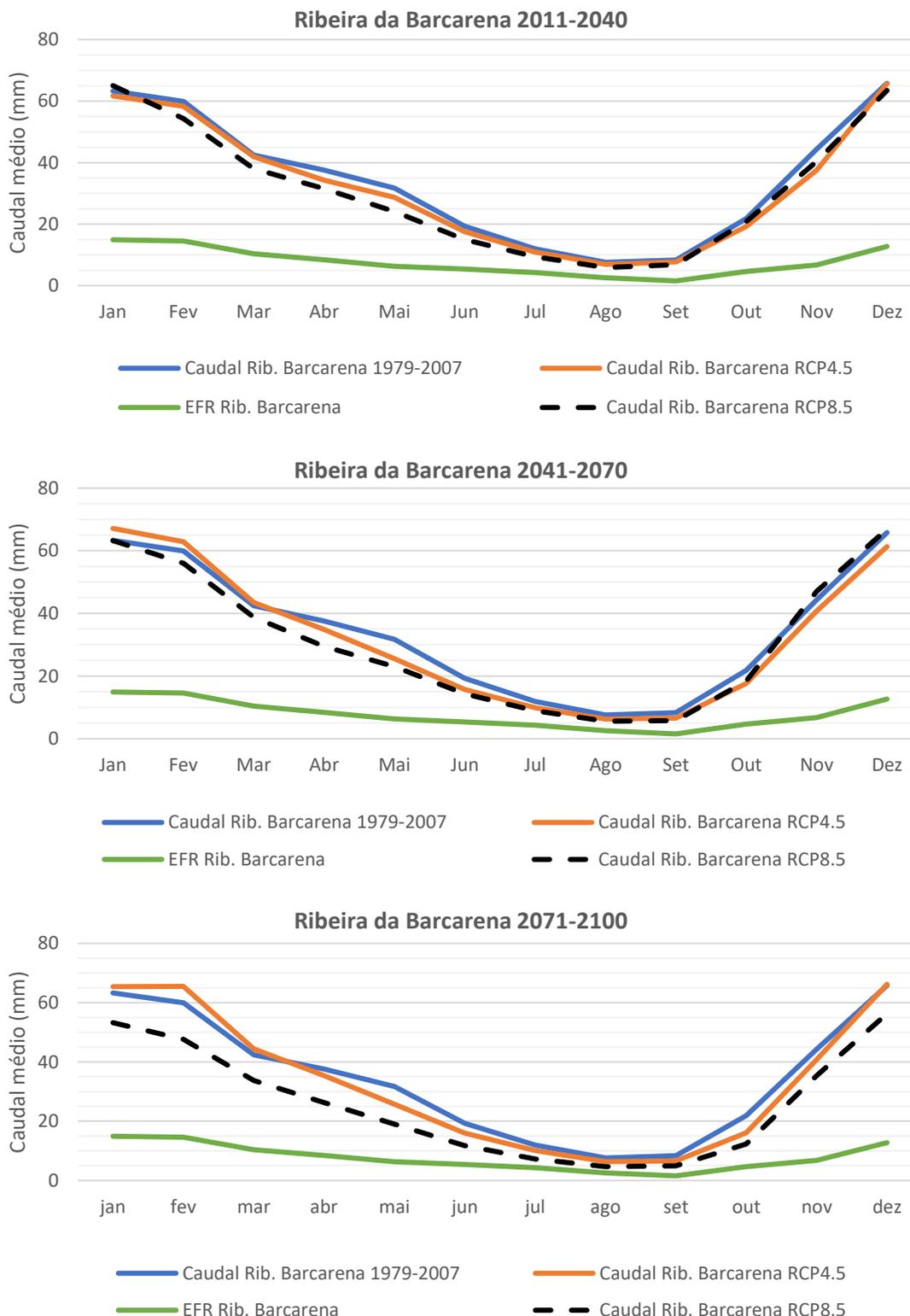


Figura 38 - Distribuição mensal de caudais na bacia da ribeira de Barcarena para os períodos de 2011-2040; 2041-2070; e 2071-2100

**Ribeira de Algés**

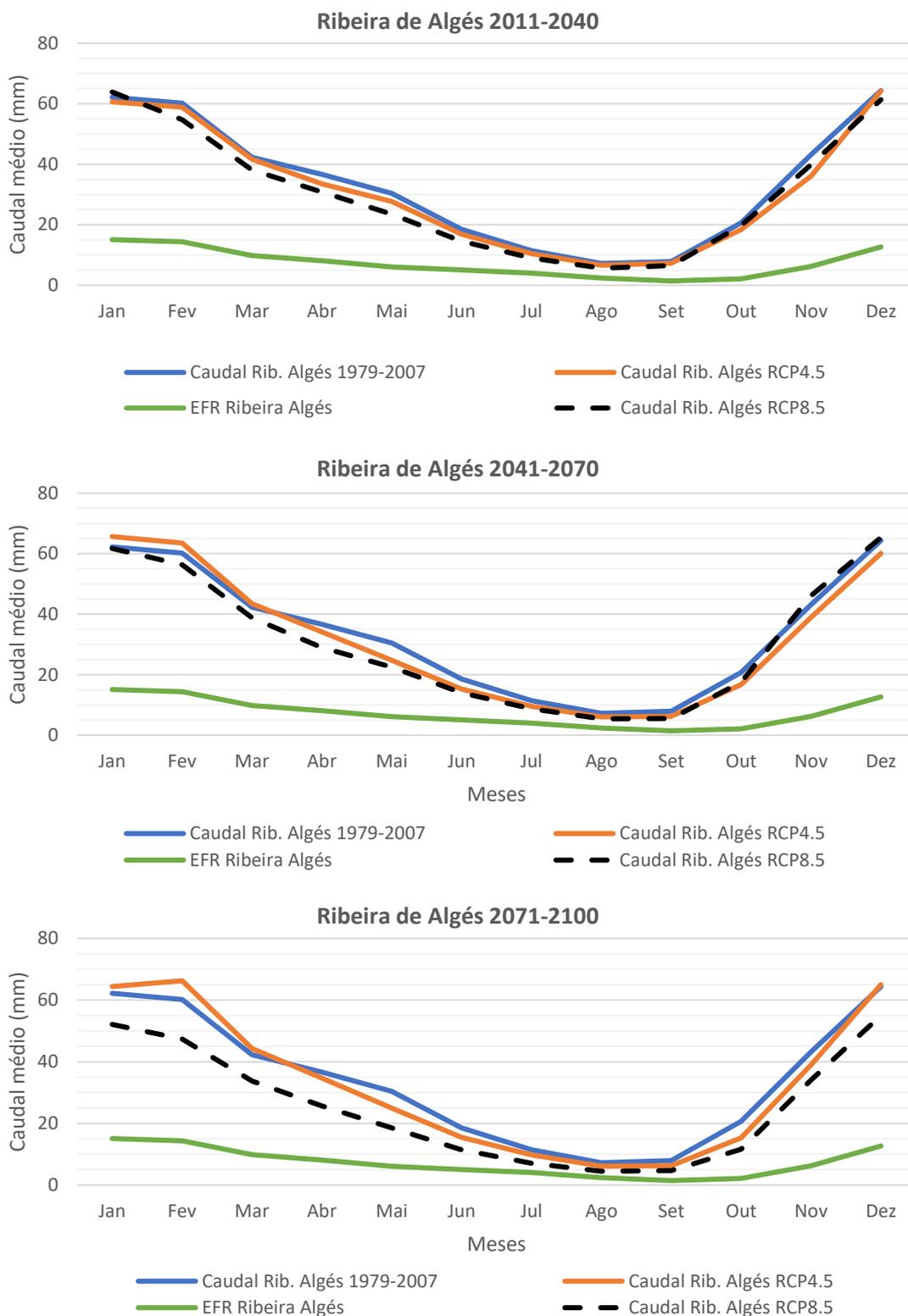


Figura 39 - Distribuição mensal de caudais na bacia da ribeira de Algés para os períodos de 2011-2040; 2041-2070; e 2071-2100

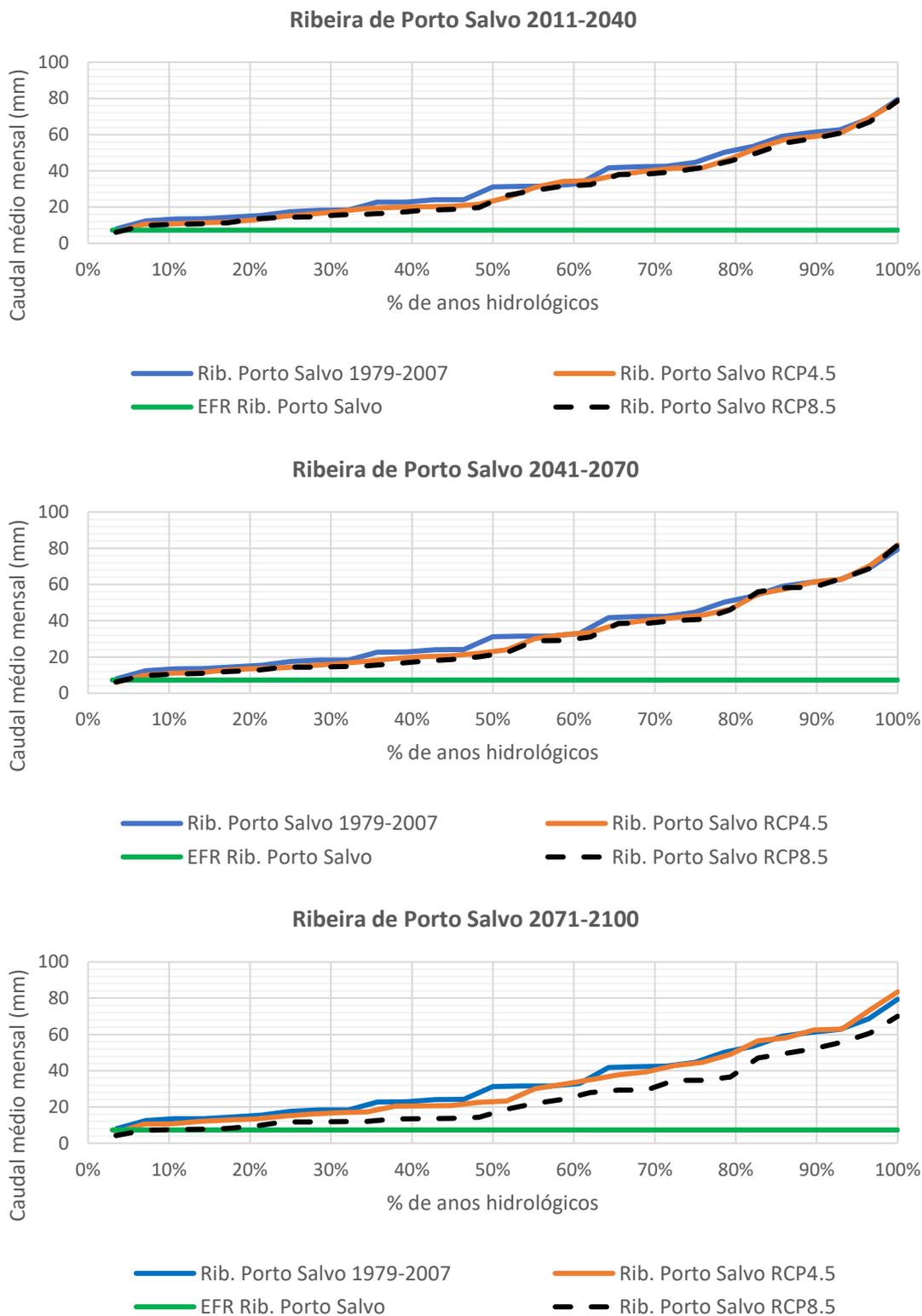
### *Análise Interanual (Ano Hidrológico)*

A análise interanual pretende representar a variabilidade dos caudais e a frequência de anos secos para o período em análise, verificando paralelamente o cumprimento do EFR.

Da Figura 40 à Figura 44, estão representadas as percentagens de anos hidrológicos que não excedem determinado caudal e respetivos EFR, para todas as bacias analisadas, bem como as projeções para os cenários futuros RCP4.5 e RCP 8.5. Ao longo dos 3 períodos projetados verifica-se uma aproximação progressiva do caudal ao EFR, ou seja, a disponibilidade de água tem tendência para diminuir ao longo do século, com especial relevância no cenário RCP8.5 para 2071-2100.

Os períodos de 2011-2040 e 2041-2070 são semelhantes quando comparados os caudais das bacias da ribeira de Porto Salvo e ribeira de Barcarena, cumprindo sempre o EFR, enquanto que as restantes bacias apresentam anos hidrológicos que não cumprem o EFR em cerca de 3% nos períodos acima referidos. Já para o período de 2071-2100, as bacias da ribeira de Porto Salvo e ribeira de Barcarena atingem os 3% de anos hidrológicos com caudal inferior ao EFR, no cenário RCP8.5. Neste mesmo cenário e período, a ribeira de Barcarena atinge os 7%, enquanto que o rio Jamor atinge a percentagem mais elevada, com 17% de anos hidrológicos com caudal inferior ao seu EFR.

**Ribeira de Porto Salvo**



**Figura 40 - Caudal médio mensal por ano hidrológico para a ribeira de Porto Salvo em relação ao seu EFR. A figura apresenta a percentagem de anos hidrológicos que não excedem determinado caudal para os períodos de referência (1979 e 2007) e projetados (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100)**

Ribeira da Laje

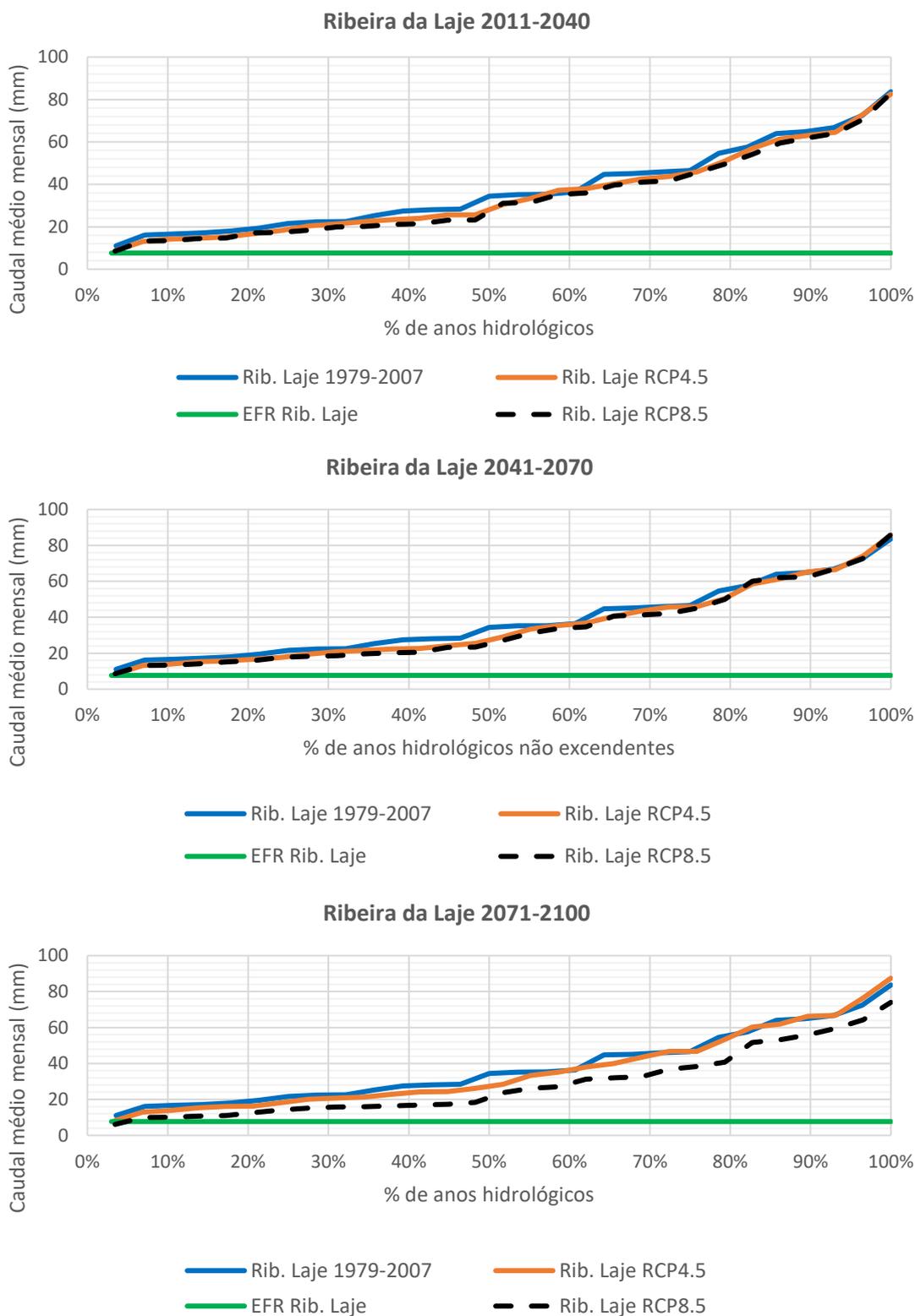


Figura 41 - Caudal médio mensal por ano hidrológico para a ribeira da Laje em relação ao seu EFR. A figura apresenta a percentagem de anos hidrológicos que não excedem determinado caudal para os períodos de referência (1979 e 2007) e projetados (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100)

Rio Jamor

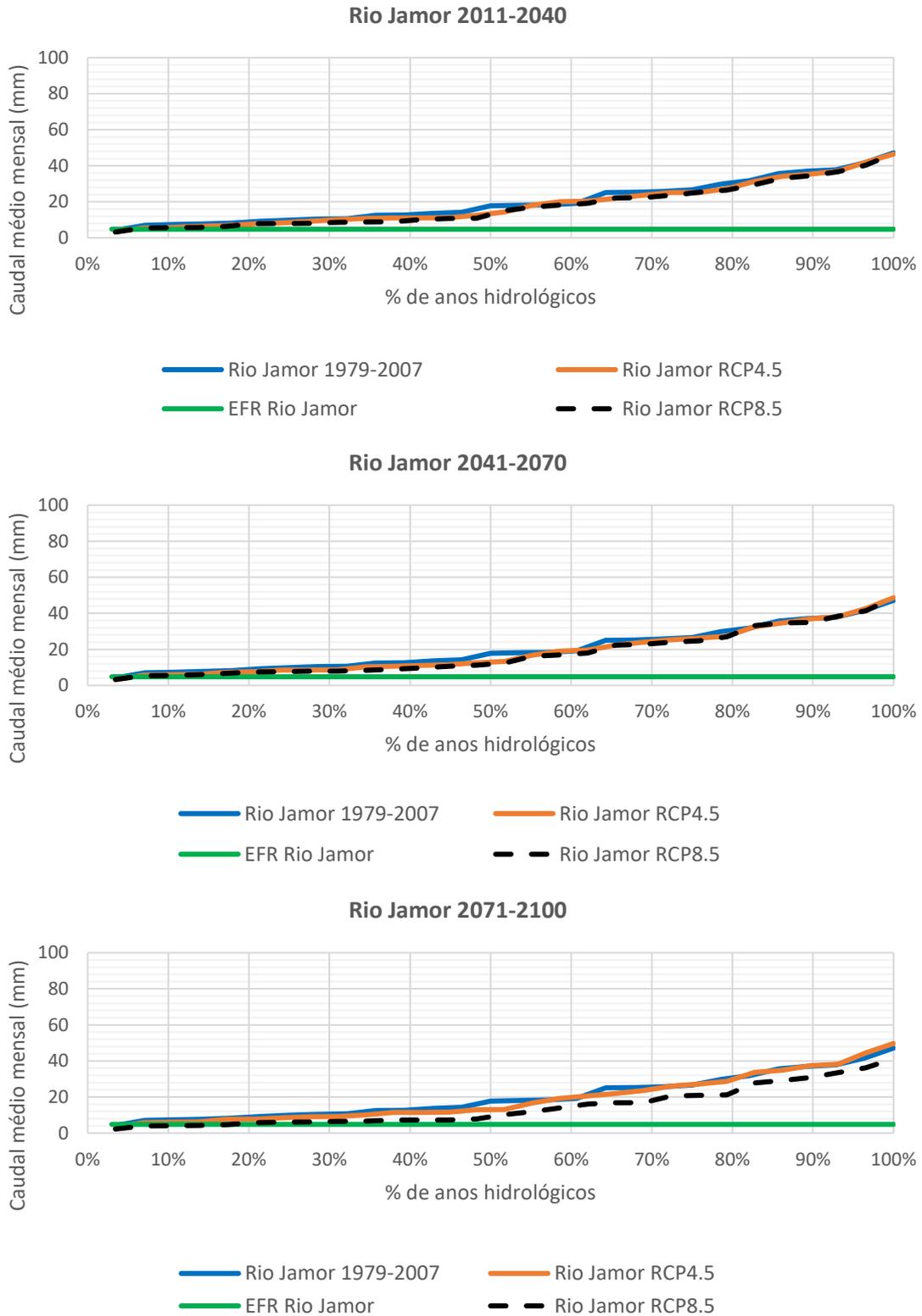


Figura 42 - Caudal médio mensal por ano hidrológico para o rio Jamor em relação ao seu EFR. A figura apresenta a percentagem de anos hidrológicos que não excedem determinado caudal para os períodos de referência (1979 e 2007) e projetados (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100)

Ribeira de Barcarena

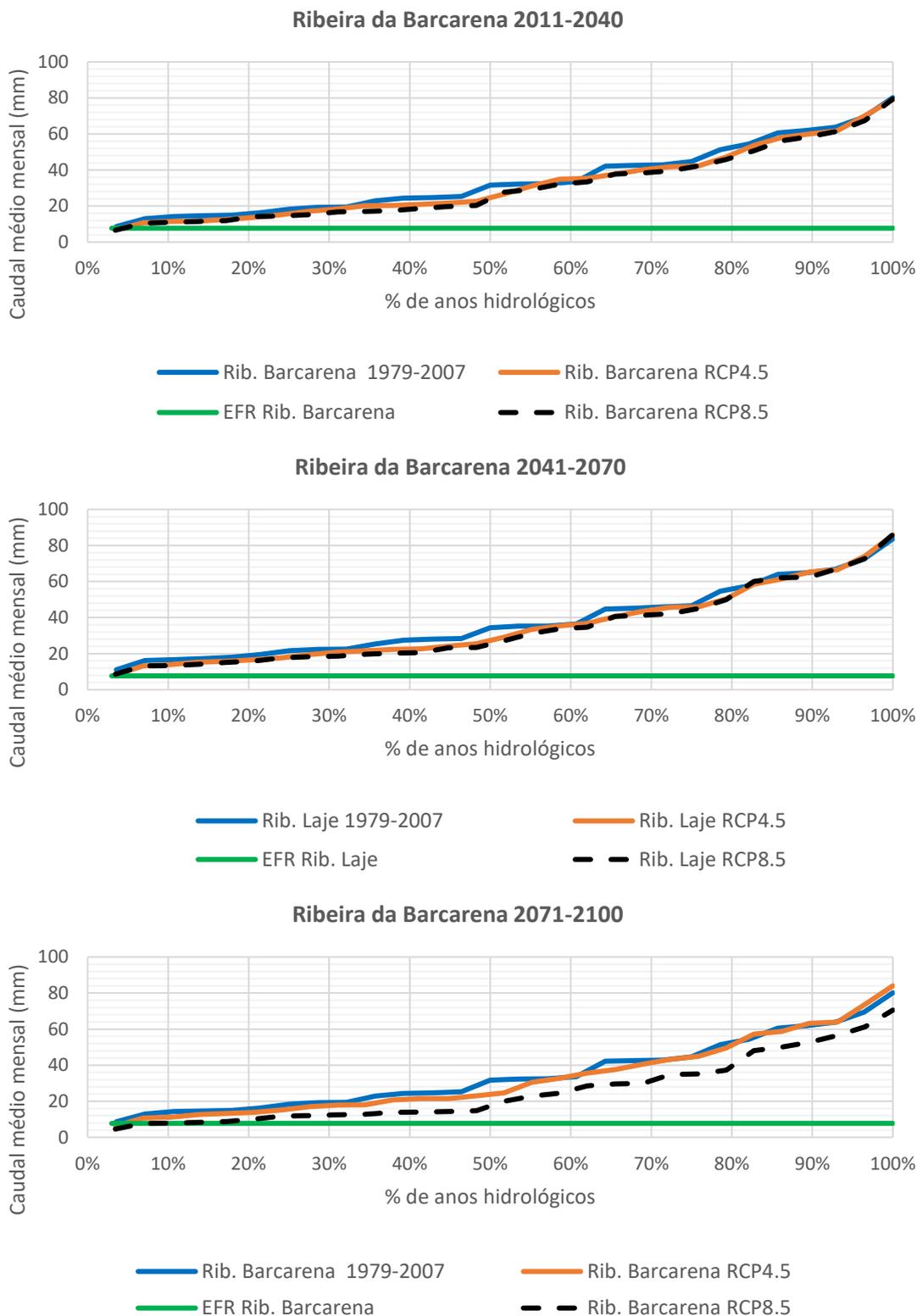


Figura 43 - Caudal médio mensal por ano hidrológico para a ribeira de Barcarena em relação ao seu EFR. A figura apresenta a percentagem de anos hidrológicos que não excedem determinado caudal para os períodos de referência (1979 e 2007) e projetados (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100)

Ribeira de Algés

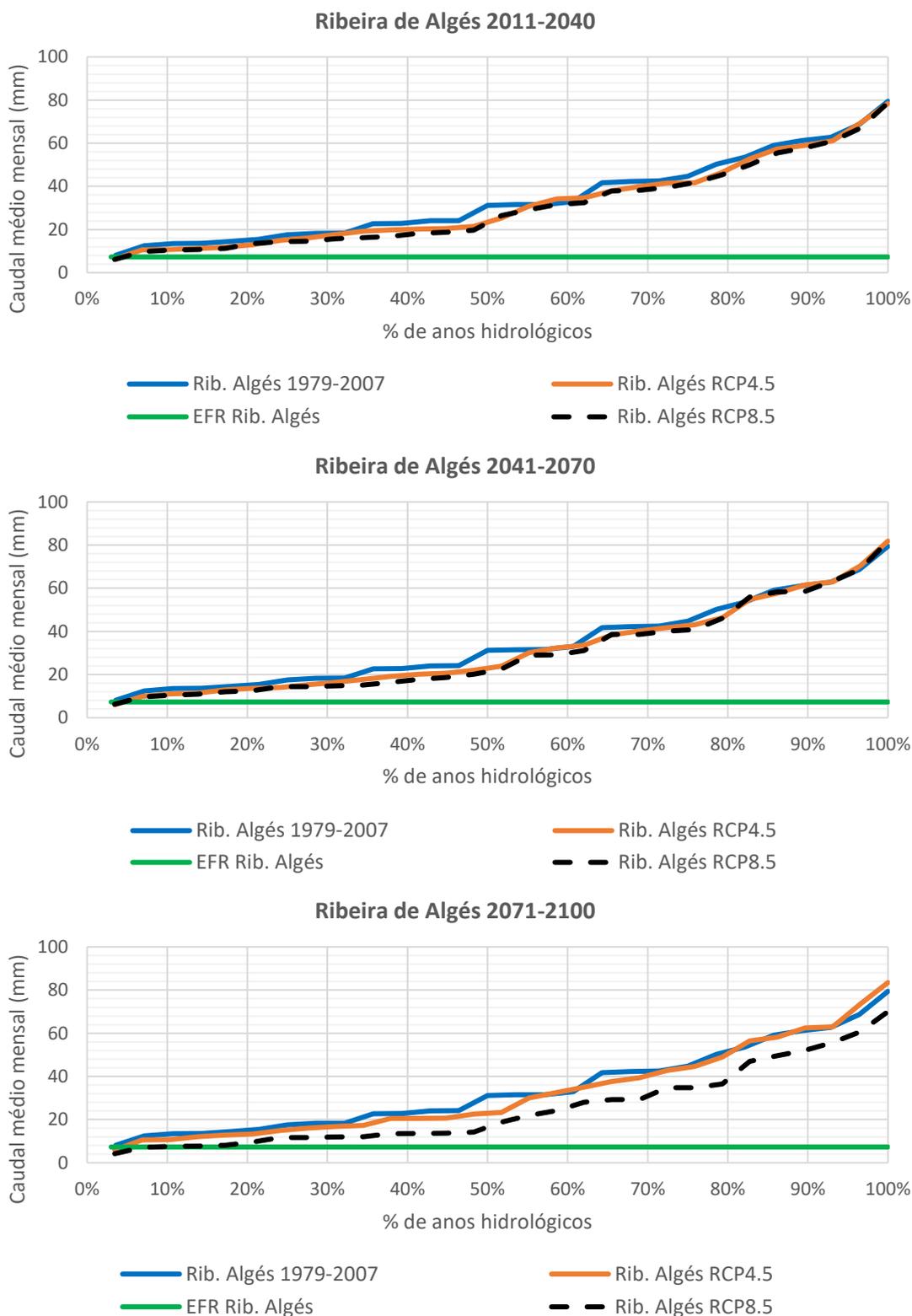


Figura 44 - Caudal médio mensal por ano hidrológico para a ribeira de Algés em relação ao seu EFR. A figura apresenta a percentagem de anos hidrológicos que não excedem determinado caudal para os períodos de referência (1979 e 2007) e projetados (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100)

### 4.1.2. Águas subterrâneas

Nas Figura 45, Figura 46 e Figura 47, estão representadas as recargas dos aquíferos, por período e cenários futuros. No cenário RCP4.5, período de 2071-2100, a recarga aumenta nos meses de inverno, devido ao aumento projetado da precipitação em alguns desses meses, verificando-se uma diminuição da recarga nas restantes estações. Contudo, no cenário RCP8.5, a recarga é sempre inferior à situação de referência.

Esta diminuição da disponibilidade hídrica do aquífero aumenta a sua vulnerabilidade às contaminações provenientes de camadas superiores, tornando-o simultaneamente vulnerável à intrusão marinha em regiões litorais (Magno et al., 2008).

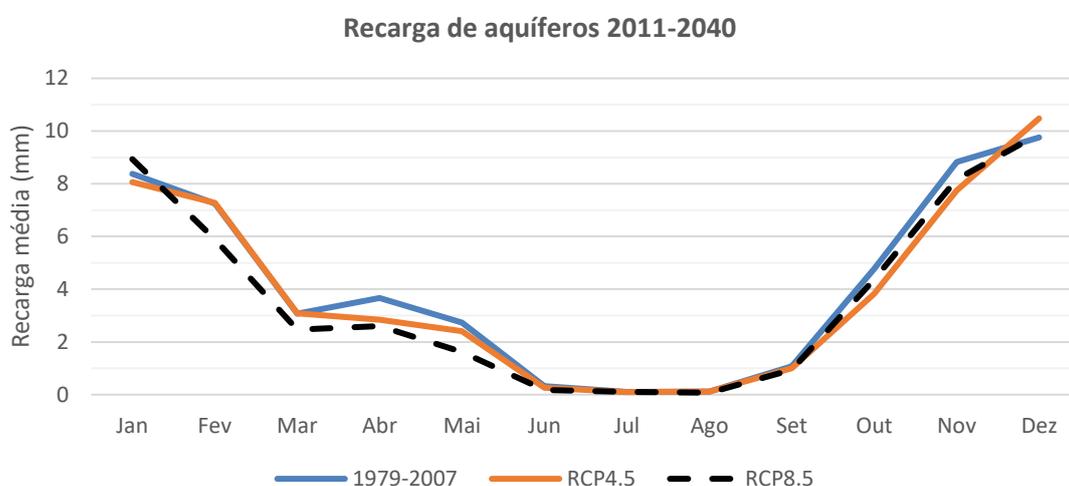


Figura 45 - Quantidade de recarga de aquíferos nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no período 2011-2040

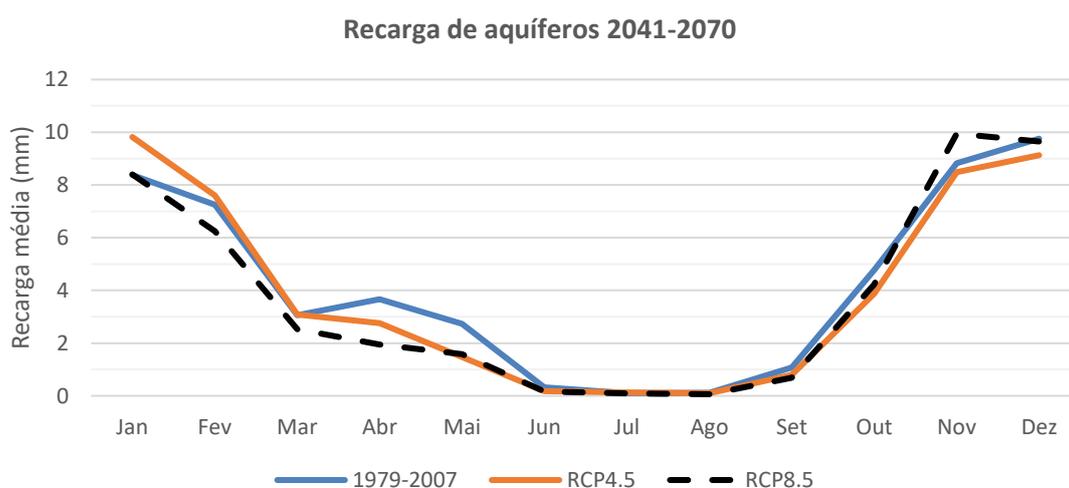


Figura 46 - Quantidade de recarga de aquífero nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no período 2041-2070

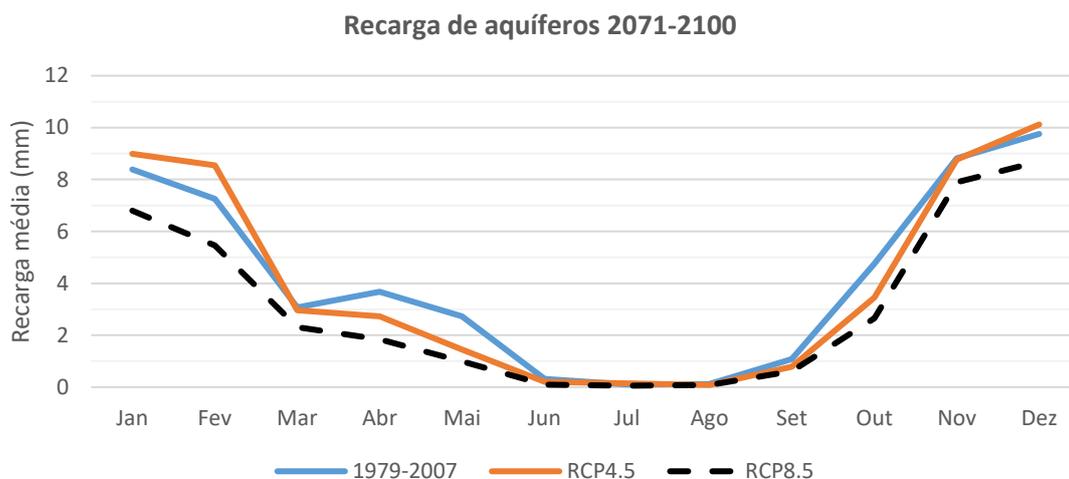


Figura 47 - Quantidade de recarga de aquífero nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no período 2071-2100

## 4.2 CHEIAS E INUNDAÇÕES

### 4.2.1. Rio Jamor

Tal como na análise da vulnerabilidade atual, a avaliação da vulnerabilidade futura no tema das cheias e inundações para a bacia do rio Jamor, consistiu na delimitação das zonas inundáveis, para os diferentes períodos de retorno considerados, as correspondentes profundidades máximas de inundação e a respetiva perigosidade associada, atendendo às projeções dos cenários climáticos a curto (2011-2040), médio (2041-2070) e longos prazos (2071-2100).

Os resultados da profundidade máxima da inundação e a perigosidade associada, para os períodos de retorno de 20 e 100 anos a curto, médio e longo prazo, são apresentados da Figura 48 à Figura 53 (para os restantes períodos de retorno deverá ser consultado o Anexo).

Da análise cartográfica produzida, verifica-se o aumento da extensão da inundação ao longo do tempo, assim como da perigosidade associada. Em todos os cenários e prazos, as áreas mais afetadas tendem a manter-se, aumentando o nível de perigosidade a norte da A5, devido ao aumento da coluna de água e para jusante desta autoestrada devido ao aumento da extensão da inundação conjugada com uma maior velocidade de escoamento.

Curto Prazo [2011-2040] RCP4.5

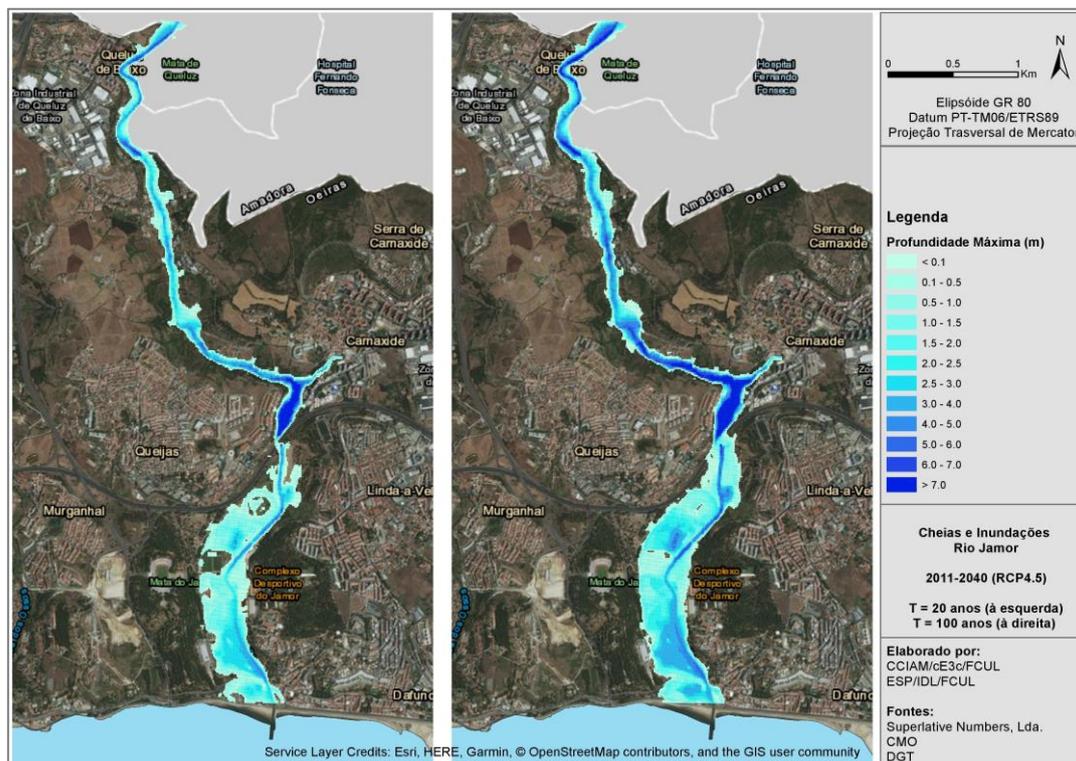


Figura 48 - Profundidade de inundação máxima na bacia do rio Jamor, para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), a curto prazo (2011-2040) e no cenário RCP4.5

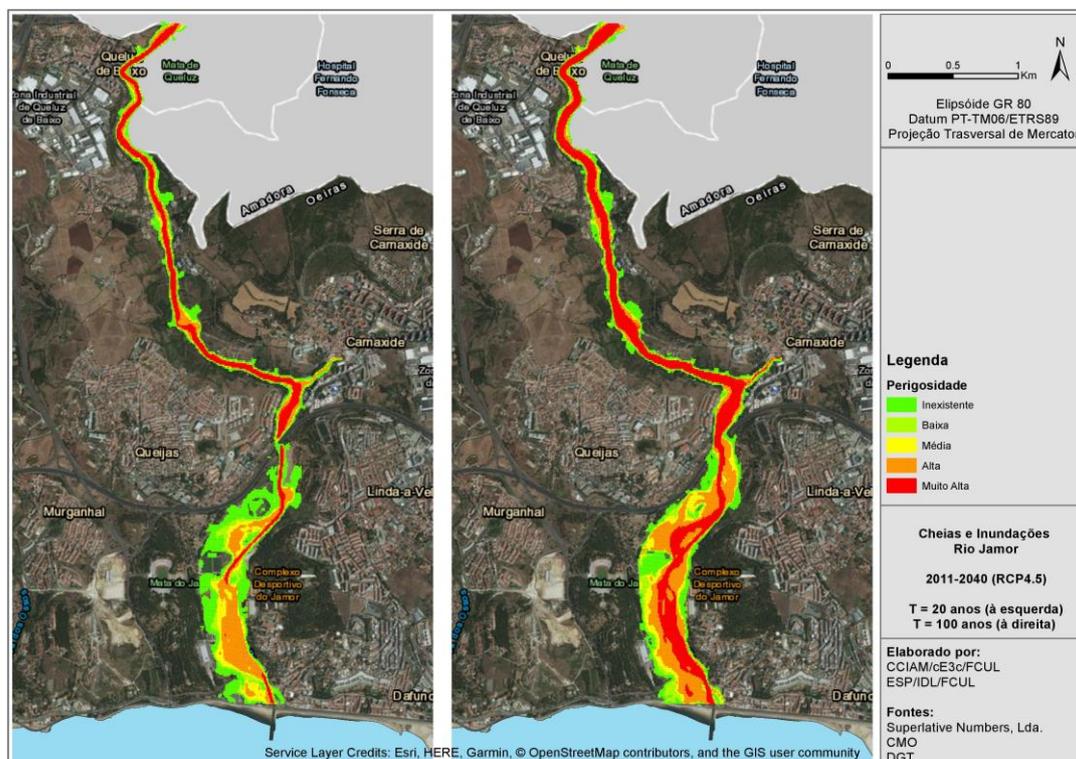


Figura 49 - Perigosidade associada aos períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), na bacia do rio Jamor, a curto prazo (2011-2040) e no cenário RCP4.5

Médio Prazo [2041-2070] RCP8.5

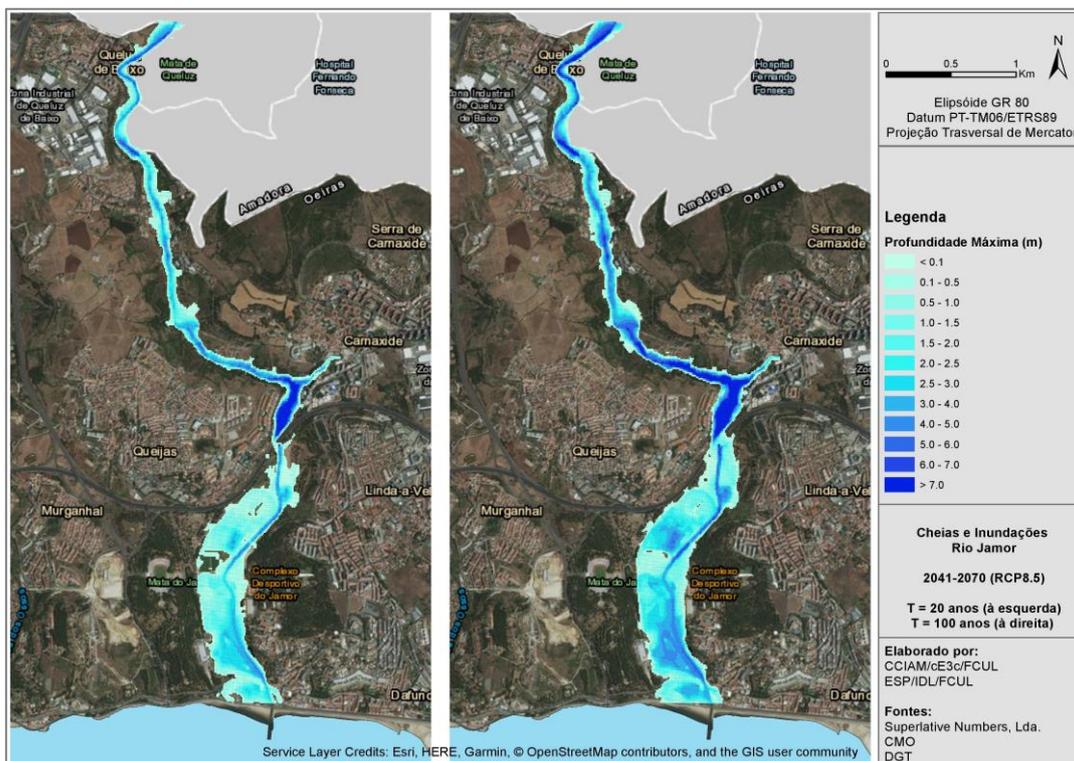


Figura 50 - Profundidade de inundação máxima na bacia do rio Jamor, para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), a médio prazo (2041-2070) e no cenário RCP8.5

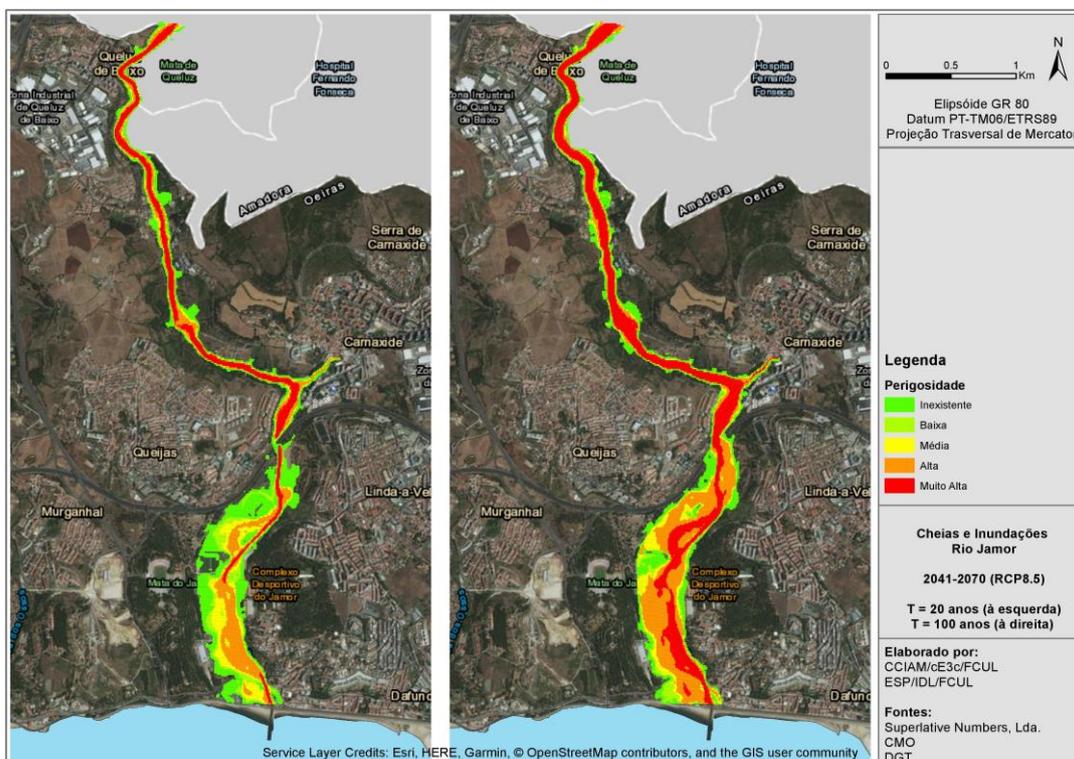


Figura 51 - Perigosidade associada aos períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), na bacia do rio Jamor, a médio prazo (2041-2070) e no cenário RCP8.5

Longo Prazo [2071-2100] RCP8.5

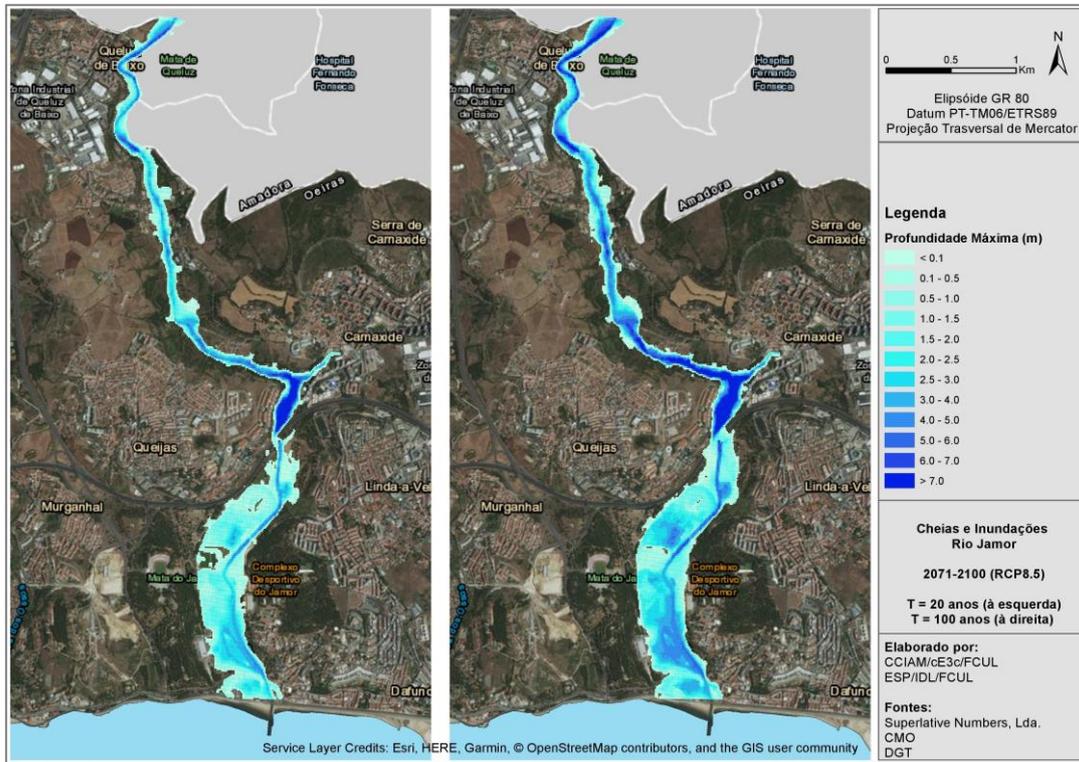


Figura 52 - Profundidade de inundação máxima na bacia do rio Jamor, para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), a longo prazo (2071-2100) e no cenário RCP8.5

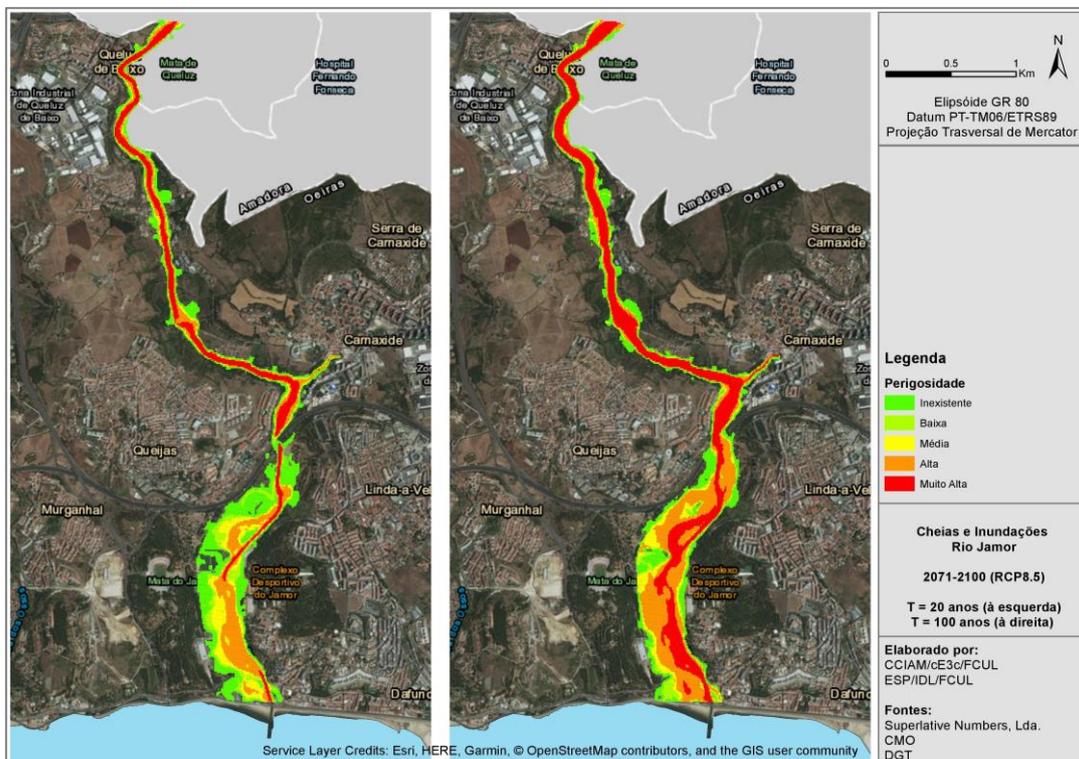


Figura 53 - Perigosidade associada aos períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), na bacia do rio Jamor, a longo prazo (2071-2100) e no cenário RCP8.5

#### 4.2.2. Extrapolação para as restantes bacias hidrográficas

A extrapolação dos níveis futuros de perigosidade devido a cheias e inundações nas diferentes linhas de água que atravessam o município, realizadas para diferentes períodos e cenários de alterações climáticas ao longo do século XXI, podem ser observadas na Figura 54 (Cenário RCP 4.5, período 2011-2040), Figura 55 (Cenário RCP 8.5, período 2041-2070) e Figura 56 (Cenário RCP 8.5, período 2071-2100).

Como se pode observar nas figuras referidas, existe um agravamento progressivo da perigosidade desde o momento presente até ao cenário de longo prazo, passando os valores máximos de perigosidade de elevada para muito elevada e finalmente para severa.

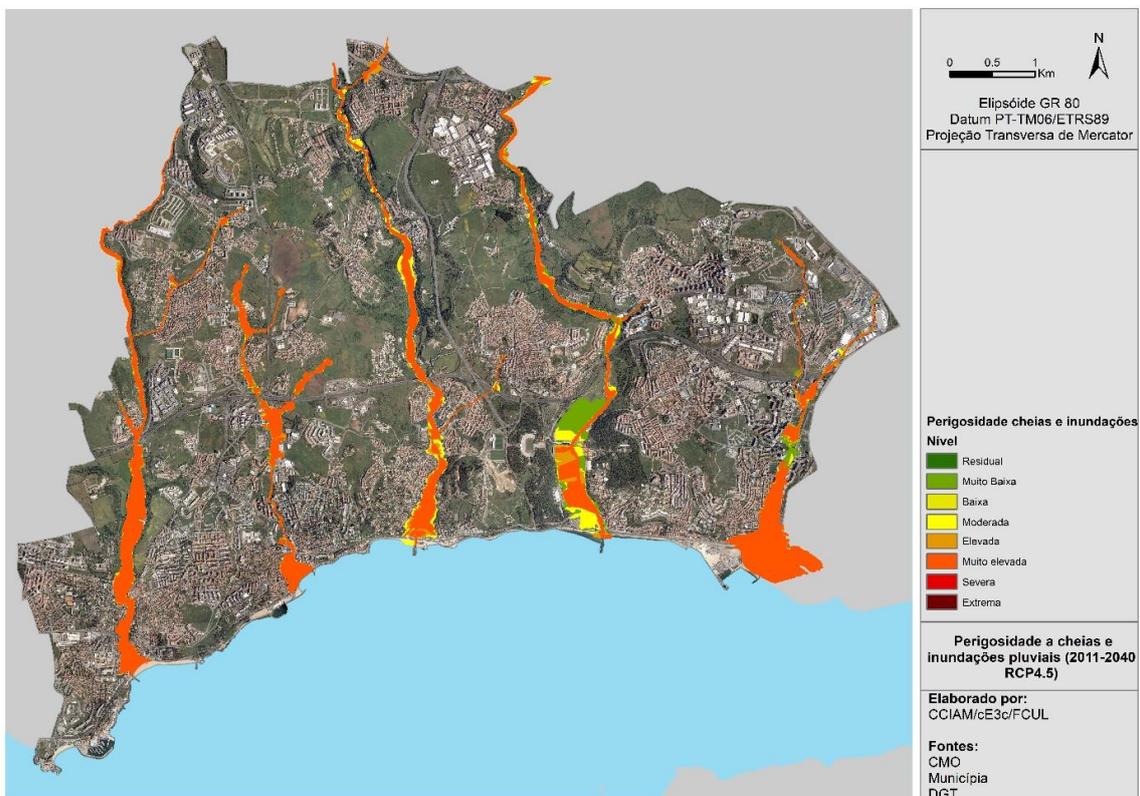


Figura 54 – Perigosidade extrapolada para Cheias e Inundações no período 2011 - 2040 (cenário RCP4.5)

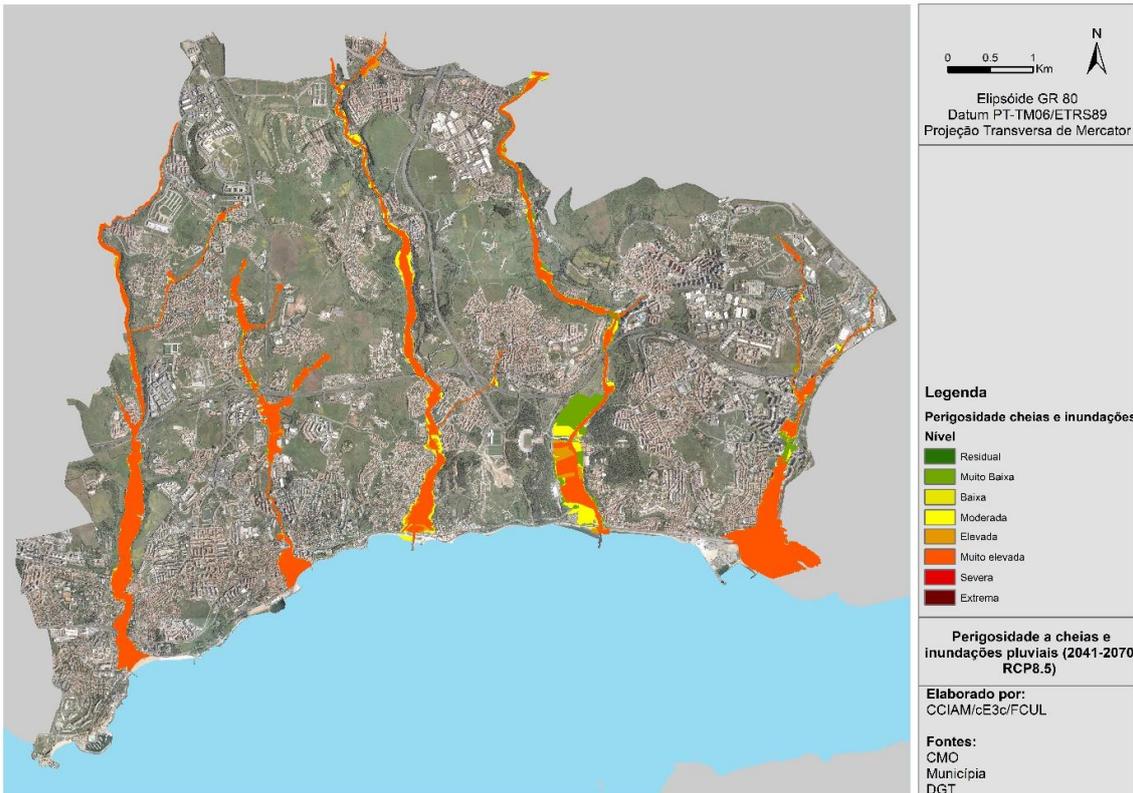


Figura 55 - Perigosidade extrapolada para Cheias e Inundações no período 2041 - 2070 (cenário RCP8.5)

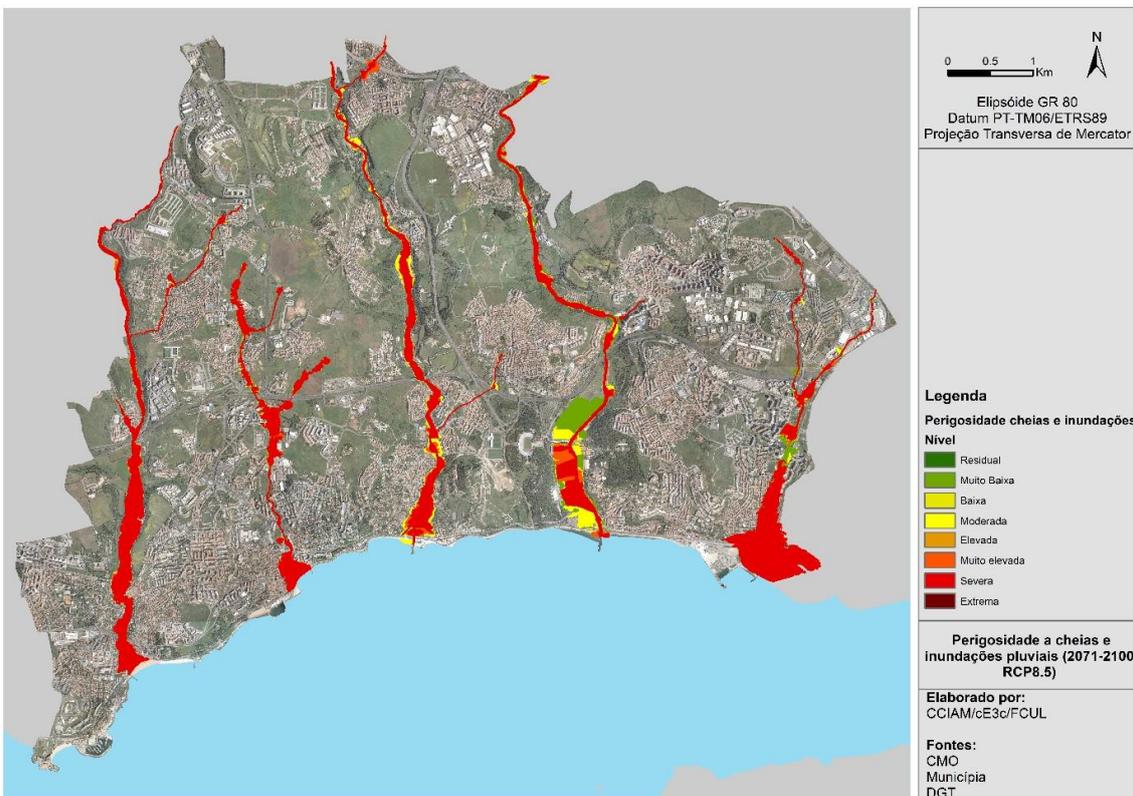


Figura 56 - Perigosidade extrapolada para Cheias e Inundações no período 2071 - 2100 (cenário RCP8.5)

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada permitiu retirar conclusões sobre os impactos futuros das alterações climáticas na disponibilidade dos recursos hídricos e nos regimes de cheias e inundações para o concelho de Oeiras.

As bacias hidrográficas da ribeira de Porto Salvo, ribeira da Laje, rio Jamor, ribeira de Barcarena e ribeira de Algés foram as bacias analisadas através da simulação de caudal aquando da aplicação do modelo hídrico Thornthwaite Mather.

A modelação hidrológica e hidráulica tendo em vista as cheias e inundações foi realizada apenas para o rio Jamor tendo-se extrapolado, com base nestes resultados, a perigosidade para todas as linhas de água que atravessam o município.

Em termos de escoamento, da comparação entre os resultados obtidos para a COS1995, COS2010 e para a bacia naturalizada, as bacias com maior percentagem de área de tecido urbano em 2010 (ribeira de Porto Salvo, ribeira da Laje e ribeira de Barcarena) foram as que apresentaram valores de escoamento mais elevados em relação ao escoamento naturalizado. Considerando que as áreas de tecido urbano são áreas impermeáveis, não permitindo a infiltração da água no solo, aumenta a probabilidade e o risco de cheias nestas áreas.

A relação entre o caudal anual afluyente e EFR (Caudal Ecológico), nos períodos de 2011-2040 e 2041-2070 são relativamente iguais quando comparados, não apresentando mais do que 3% de anos hidrológicos com caudal inferior ao EFR em algumas bacias. A bacia do rio Jamor é a que se destaca pela negativa, pois é a única que, em anos mais secos, apresenta caudal inferior ao EFR na situação de referência 1979-2007. No período de 2071-2100 para o cenário RCP8.5, a projeção para esta bacia apresenta cerca de 17% dos anos hidrológicos com caudal inferior ao EFR, podendo constituir uma ameaça futura ao ecossistema fluvial. Neste mesmo cenário e período, a ribeira de Barcarena atinge os 7%.

Quanto aos recursos hídricos subterrâneos, no cenário RCP4.5 verifica-se uma concentração de recarga nos meses de inverno, enquanto no RCP8.5, a recarga é inferior à da situação de referência 1979-2007.

No que respeita à ocorrência de cheias e inundações projeta-se um agravamento na precipitação associada a diferentes períodos de retorno ao longo do século XXI, ou seja, apesar da precipitação acumulada diminuir e, conseqüentemente, a disponibilidade hídrica ser menor, a precipitação intensa será mais frequente e concentrada no tempo.

Neste sentido, os níveis máximos de perigosidade atingem, na situação atual, um nível de perigosidade elevada. Na análise à vulnerabilidade futura, verifica-se que existe um agravamento progressivo da perigosidade desde o presente até ao cenário de longo prazo, passando os valores máximos de perigosidade de elevada para muito elevada, e posteriormente para severa.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56: Crop Evapotranspiration*. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.12.001>
- APA. (2012). *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo- Relatório Técnico*.
- APA. (2016). Parte 1 - Enquadramento e Aspectos Gerais. In *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5) 2016/2021*. Lisboa: APA, I.P. ARH do Tejo.
- Brandão, C., Rodrigues, R., & Costa, J. P. da. (2001). *Análise de Fenómenos Extremos - Precipitações Intensas em Portugal Continental*. Lisboa: Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos.
- Christensen, J. H., Boberg, F., Christensen, O. B., & Lucas-Picher, P. (2008). On the need for bias correction of regional climate change projections of temperature and precipitation. *Geophys. Res. Lett.*, 35(20), L20709. <https://doi.org/10.1029/2008gl035694>
- CMO. (2011). Estudo Hidrológico e Hidráulico das bacias Hidrográficas de Oeiras para elaboração de carta de zonas inundáveis de acordo com Decreto-Lei n.º 115 / 2010 Município de Oeiras, 1.
- Dias, L. (2016). *As alterações climáticas, as inundações e a cidade. Contributos para o estudo da resiliência urbana em situações de chuvas torrenciais*. Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Ehret, U., Zehe, E., Wulfmeyer, V., Warrach-Sagi, K., & Liebert, J. (2012). HESS Opinions “Should we apply bias correction to global and regional climate model data?” *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16(9), 3391–3404. <https://doi.org/10.5194/hess-16-3391-2012>
- Ferreira, T., António, P., Santos, J. M., Boavida, I., Rivaes, Rui, P., & Branco, P. (2014). *Determinação de um regime de caudais ecológicos a jusante do empreendimento do Alvito - Relatório Final*. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa.
- Gomes, M. R., Oka, C., & Taborda, C. (2017). Eficiência do Método Curve Number de Retenção de Águas Pluviais, 1–16.
- IPCC. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation - Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, Q. Dahe, D. J. Dokken, K. L. Ebi, ... P. M. Midgley, Eds.). First Joint Session of Working Groups I and II.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Krause, P., & Boyle, D. P. (2005). Advances in Geosciences Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances In Geosciences*, 5(89), 89–97. <https://doi.org/10.5194/adgeo-5-89-2005>
- Magno, C., Barbosa, D. S., & Mattos, A. (2008). CONCEITOS E DIRETRIZES PARA RECARGA ARTIFICIAL DE AQUÍFEROS. *XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, (84), 1–12.

MARETEC. (2018). MOHID Water Modelling System.

Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Liew, M. W. Van, Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>

Pastor, A. V, Ludwig, F., Biemans, H., Hoff, H., & Kabat, P. (2014). Accounting for environmental flow requirements in global water assessments, 5041–5059. <https://doi.org/10.5194/hess-18-5041-2014>

Paul, P. K., Kumari, N., Panigrahi, N., Mishra, A., & Singh, R. (2018). Implementation of cell-to-cell routing scheme in a large scale conceptual hydrological model. *Environmental Modelling & Software*, 101, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.12.003>

Portela, M. M. (2006). Estimação de precipitações intensas em bacias hidrográficas de Portugal Continental. *Recursos Hídricos - Associação Portuguesa Dos Recursos Hídricos (APRH)*, 27(1), 15–32.

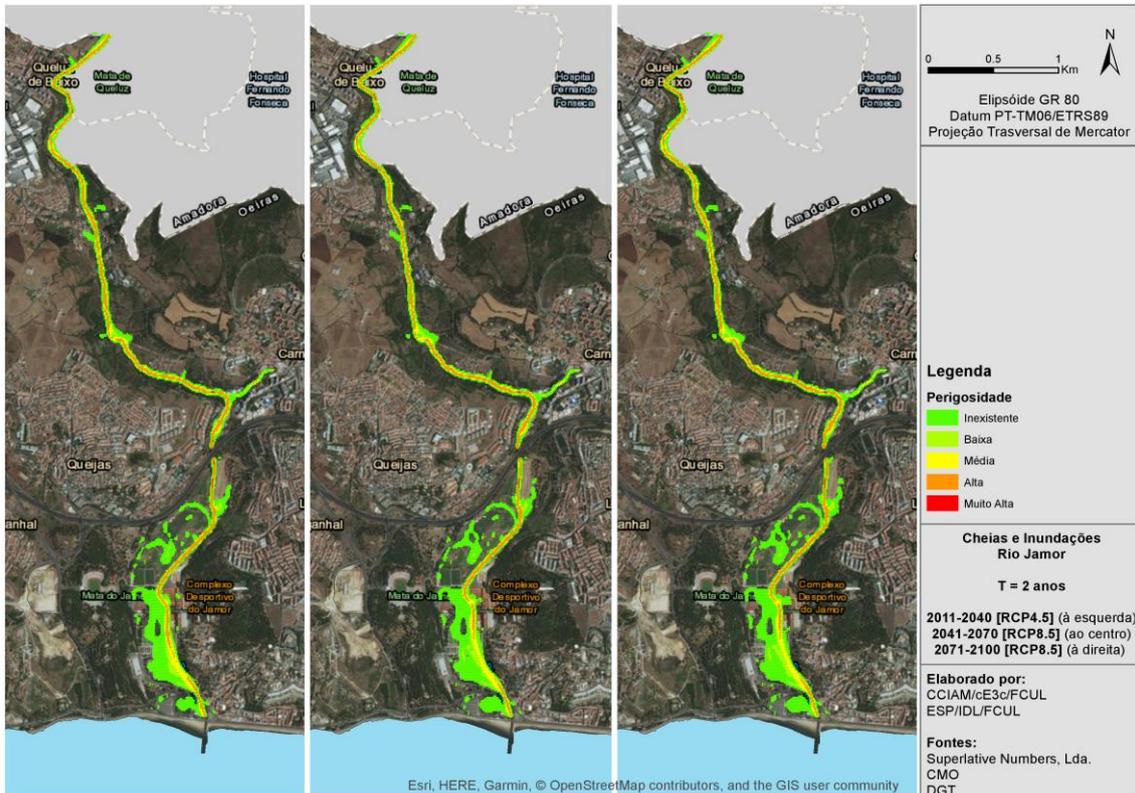
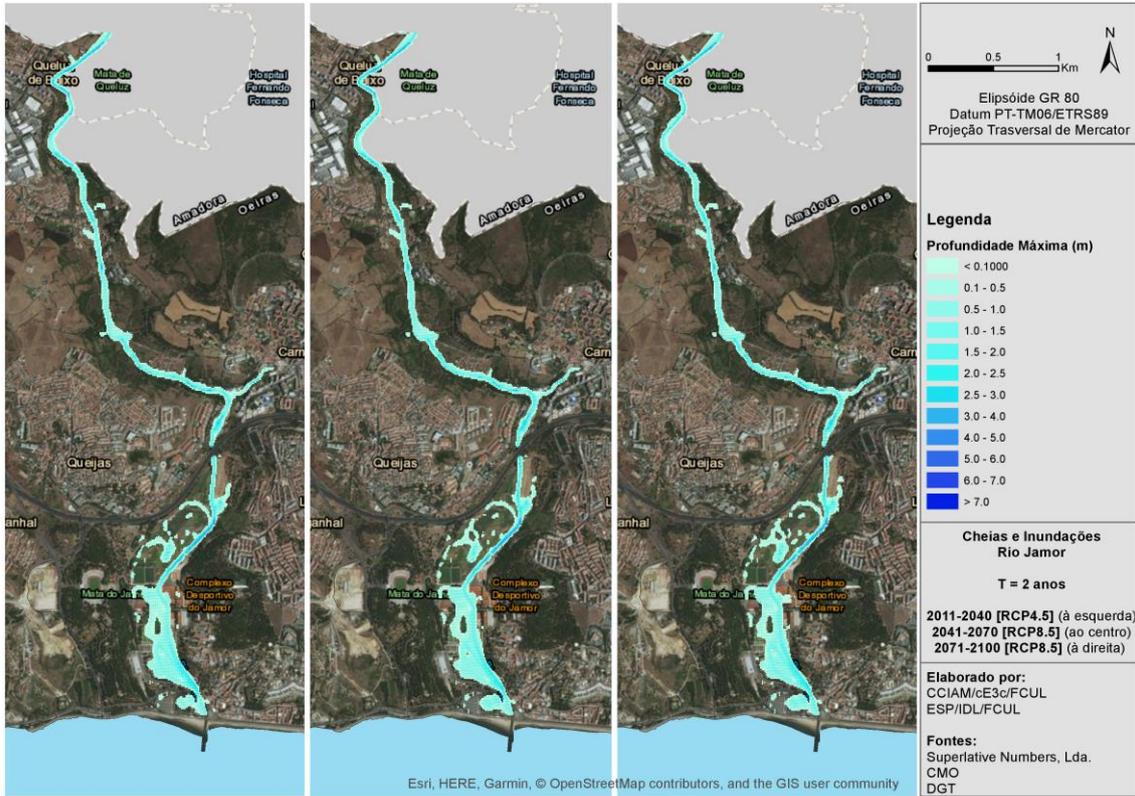
Portela, M. M., Silva, A. T., & Melim, C. P. (2000). O efeito da ocupação urbana nos caudais de ponta de cheias naturais em pequenas bacias hidrográficas, 1–16.

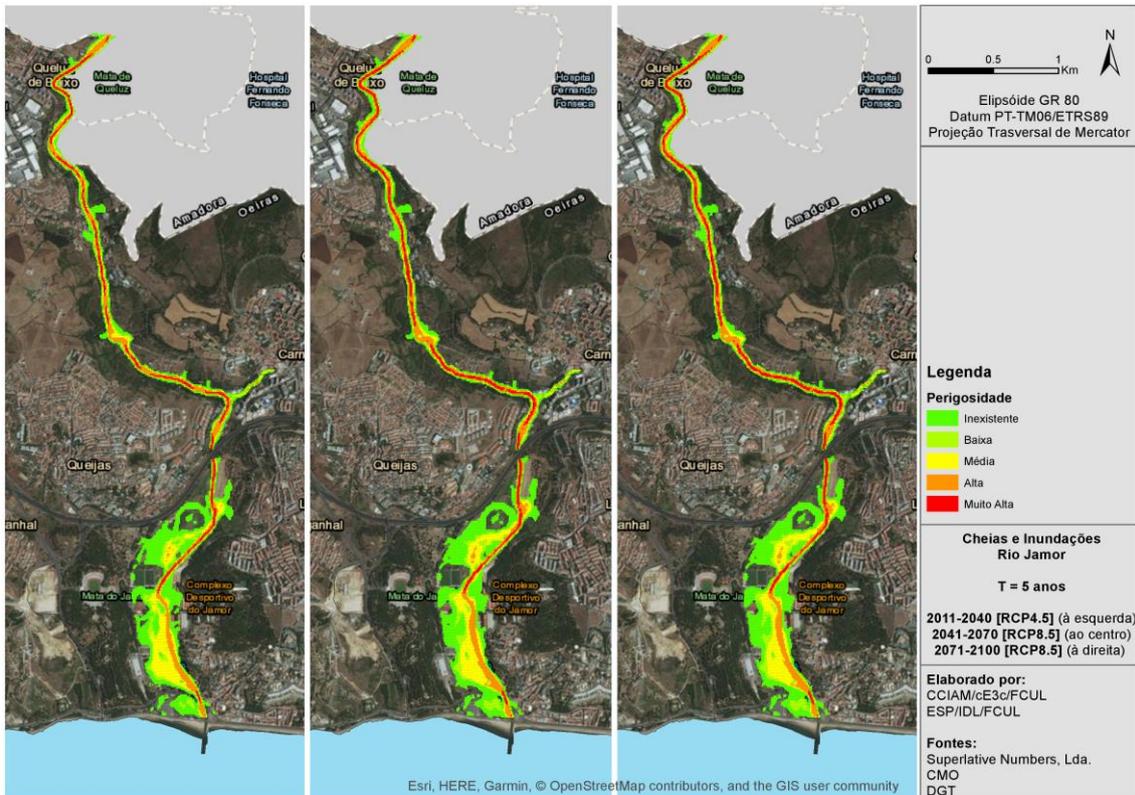
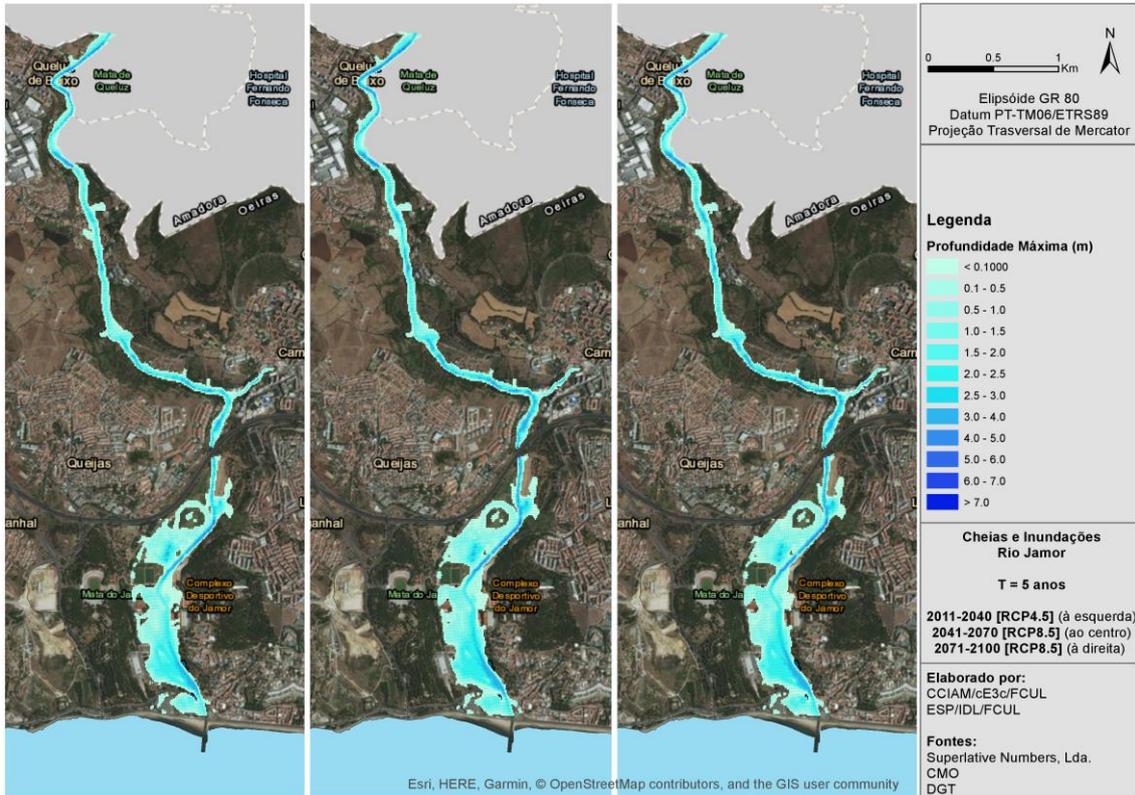
Stigter, T. Y., Nunes, J. P., Pisani, B., Fakir, Y., Hugman, R., Li, Y., ... El Himer, H. (2014). Comparative assessment of climate change and its impacts on three coastal aquifers in the Mediterranean. *Regional Environmental Change*, 14(SUPPL.1), 41–56. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0377-3>

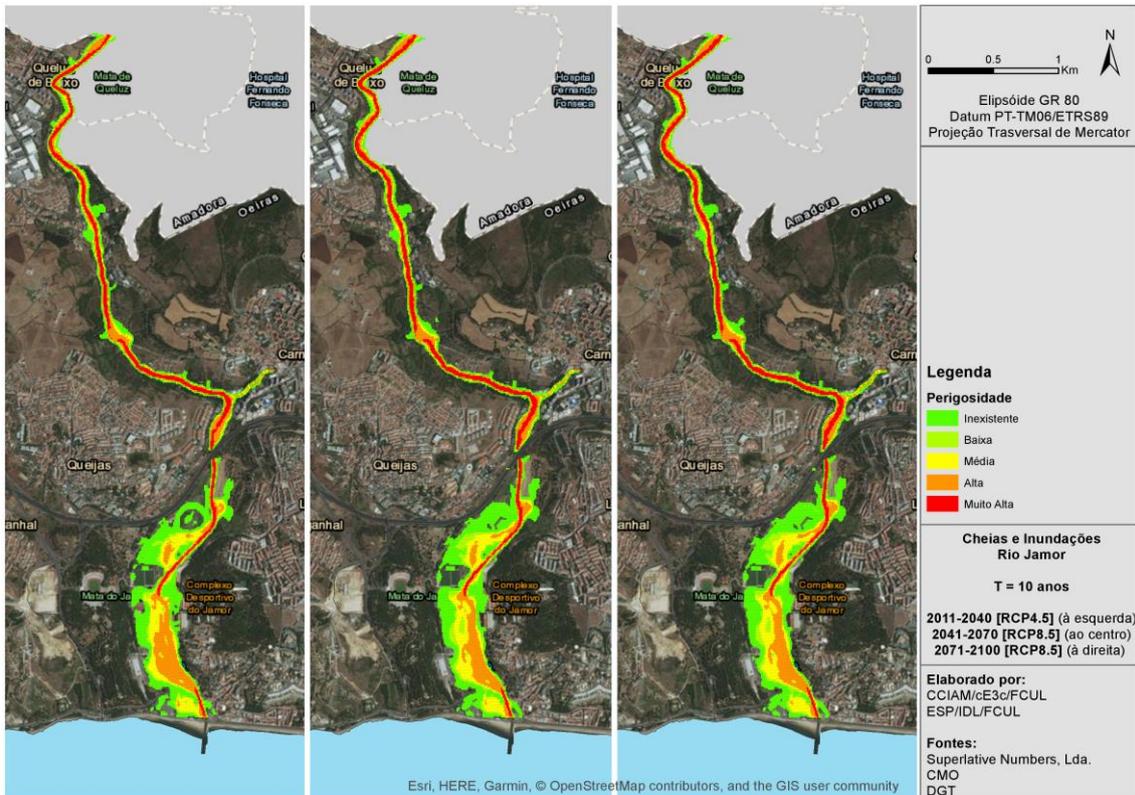
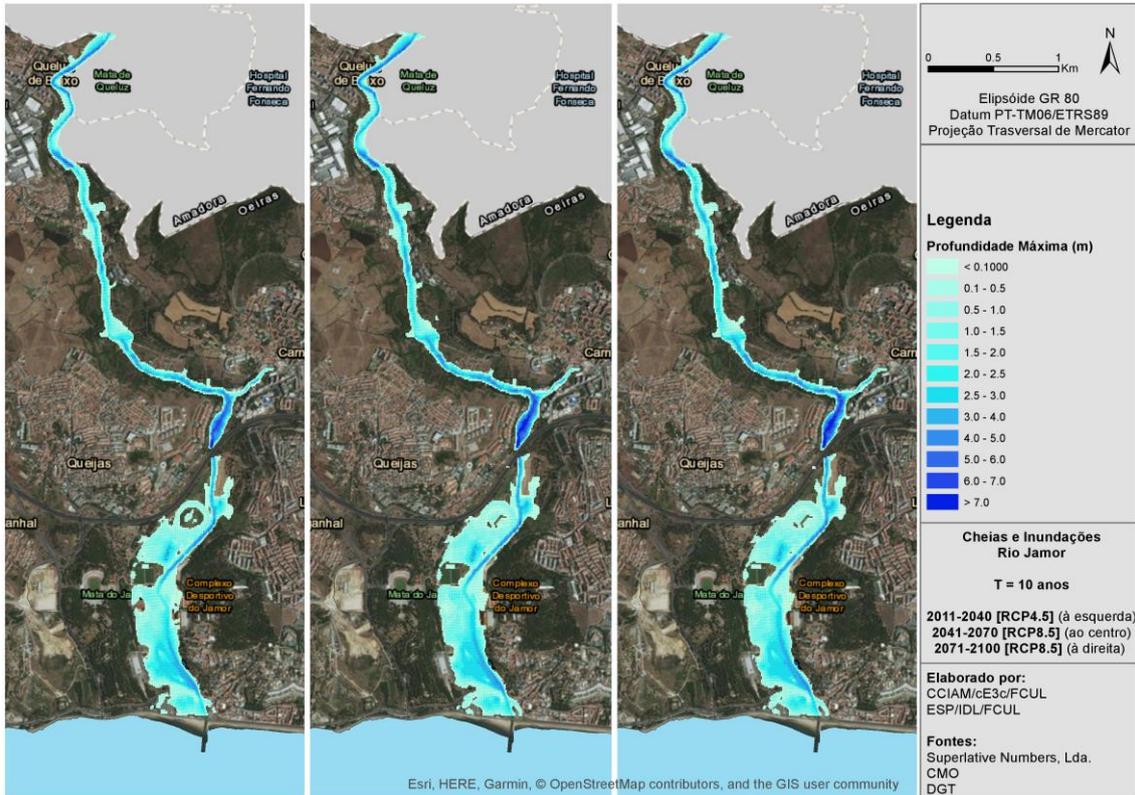
Willems, P., & Vrac, M. (2011). Statistical precipitation downscaling for small-scale hydrological impact investigations of climate change. *Journal of Hydrology*, 402(3–4), 193–205. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.02.030>

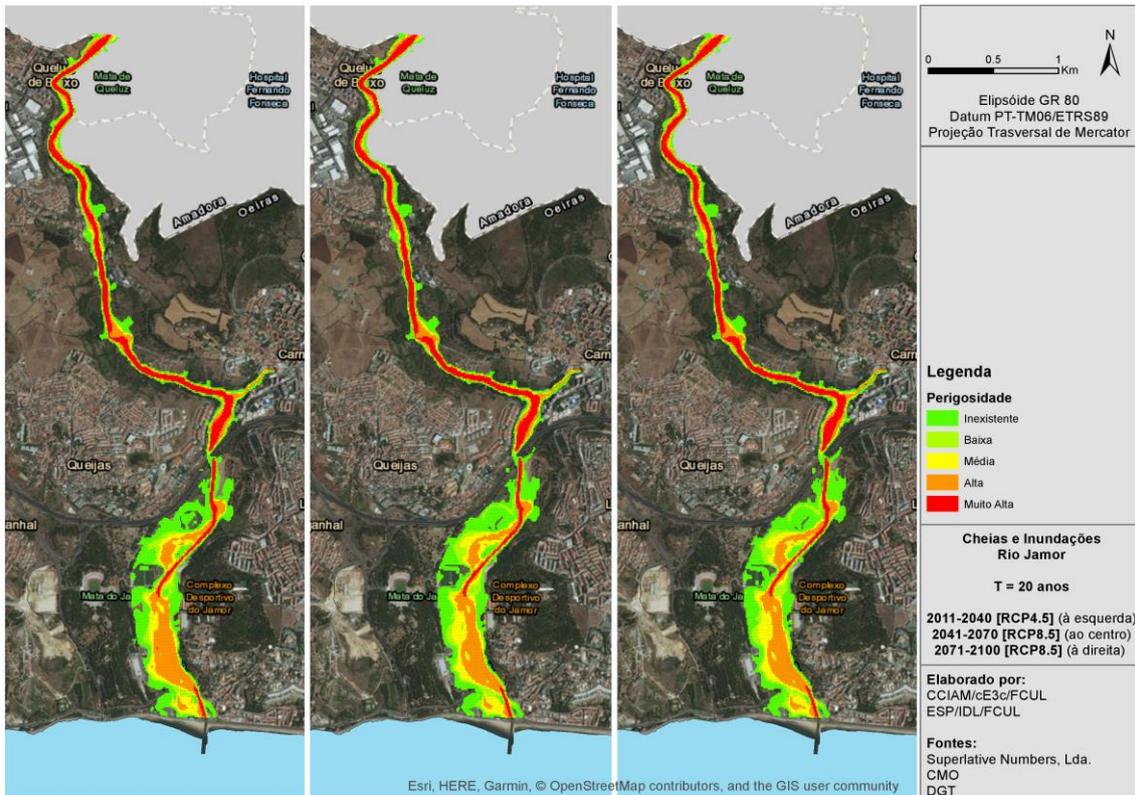
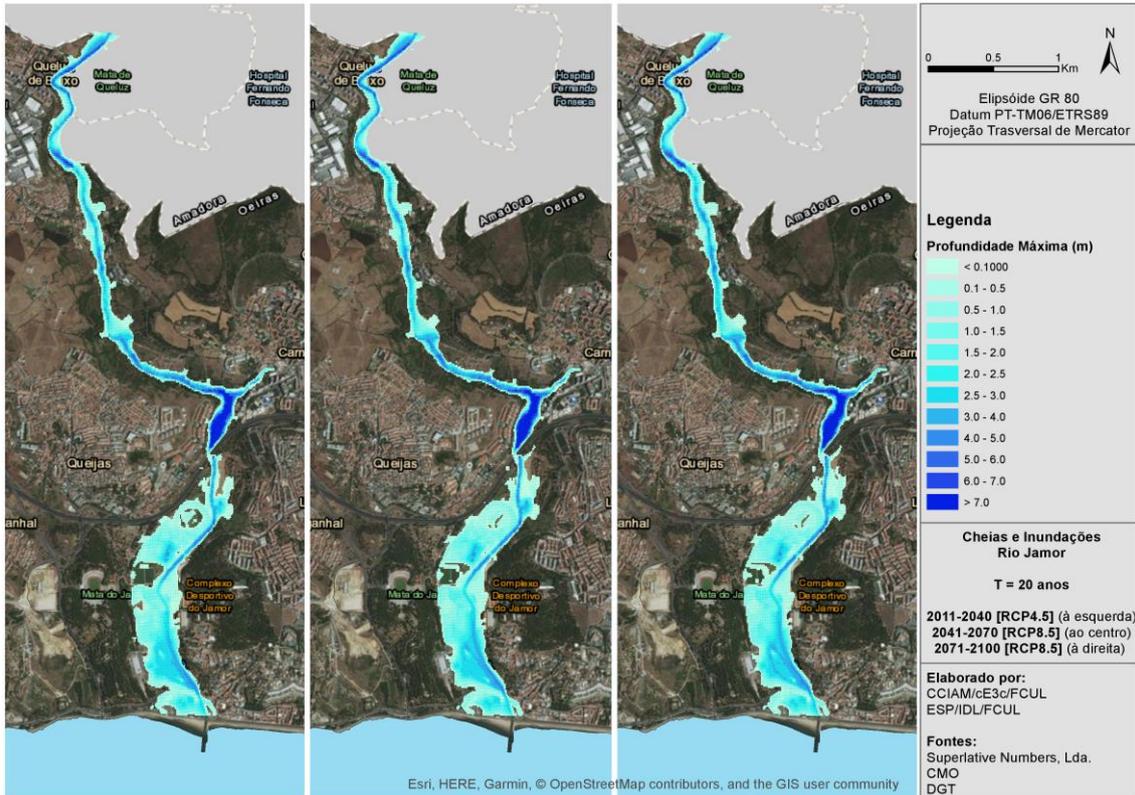
# ANEXO

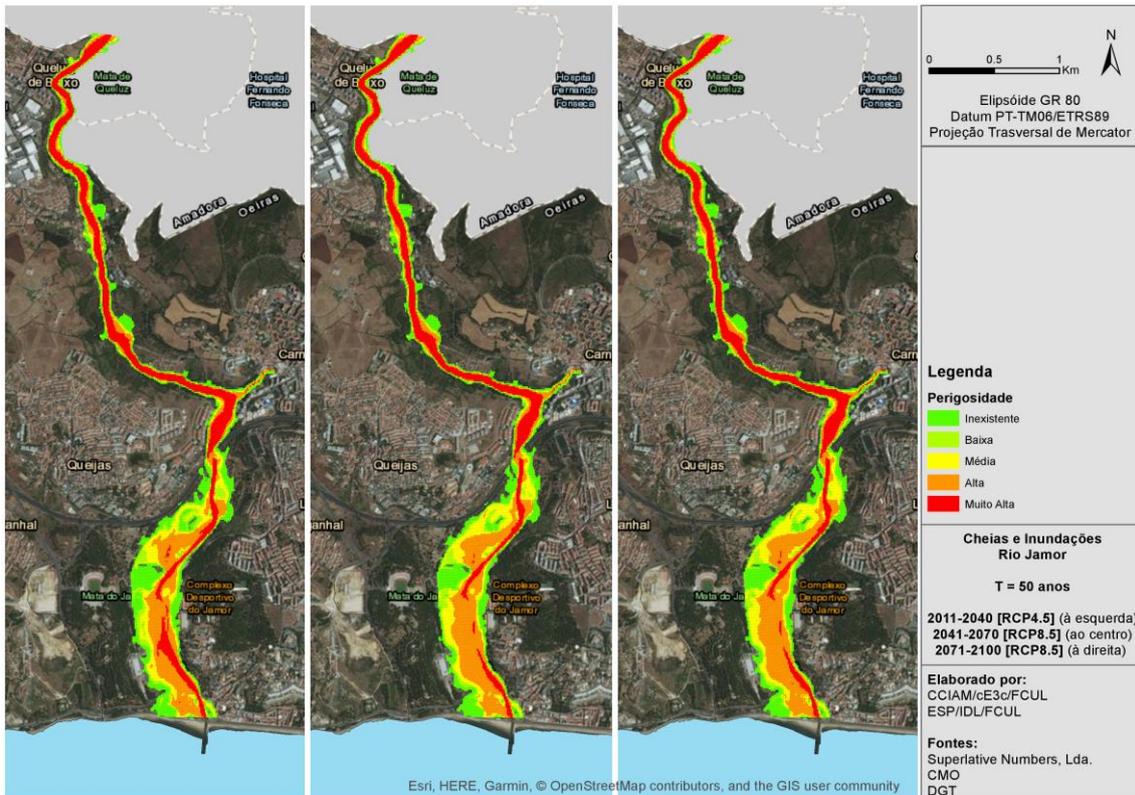
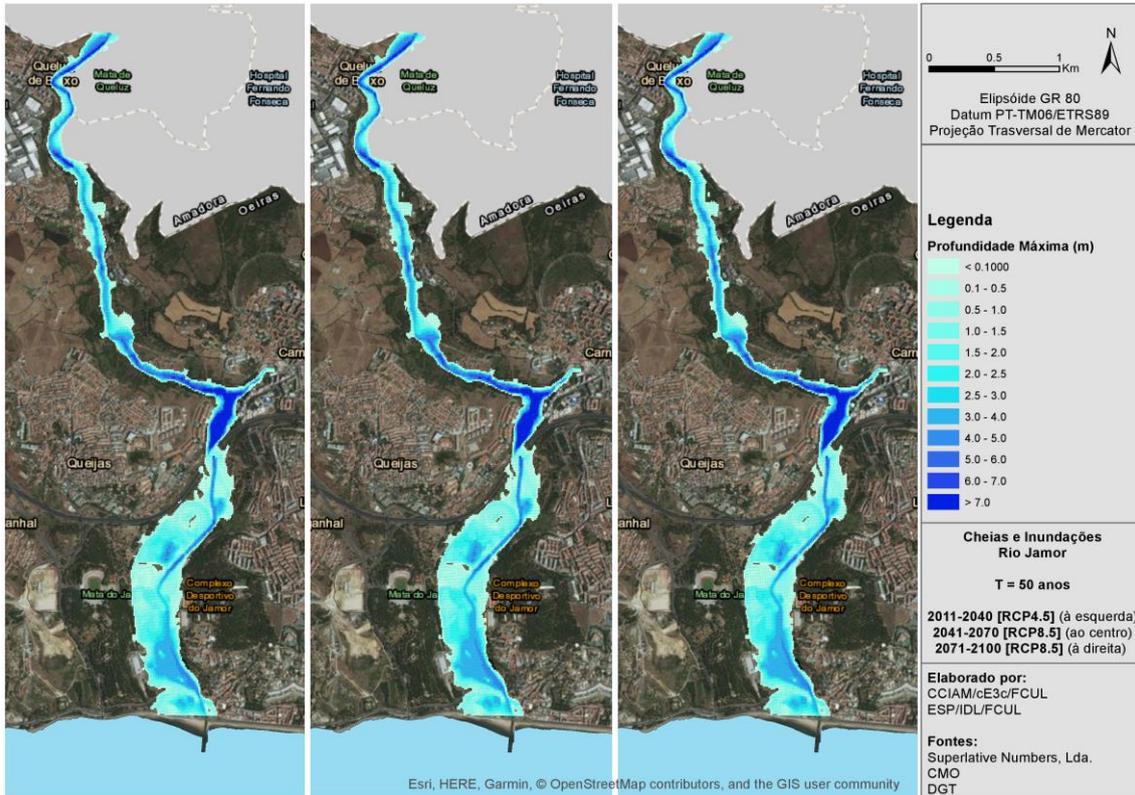
## Áreas Inundáveis, por período de retorno, para cada período de análise

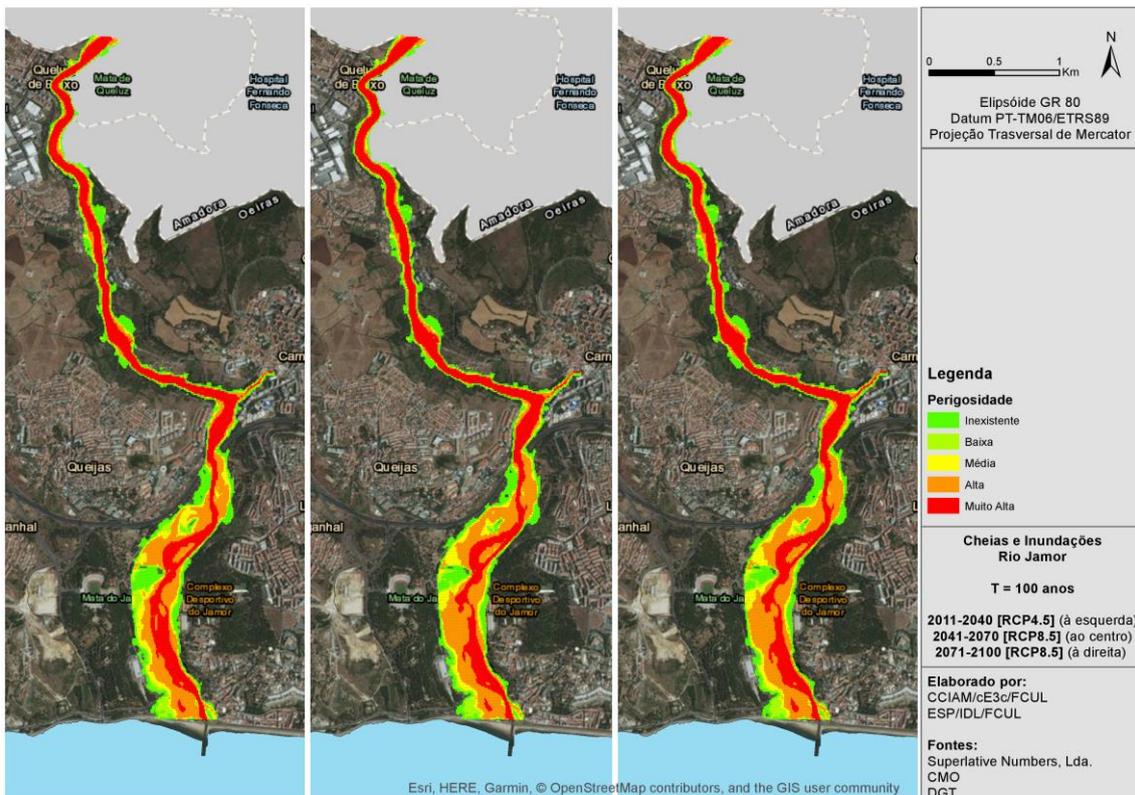
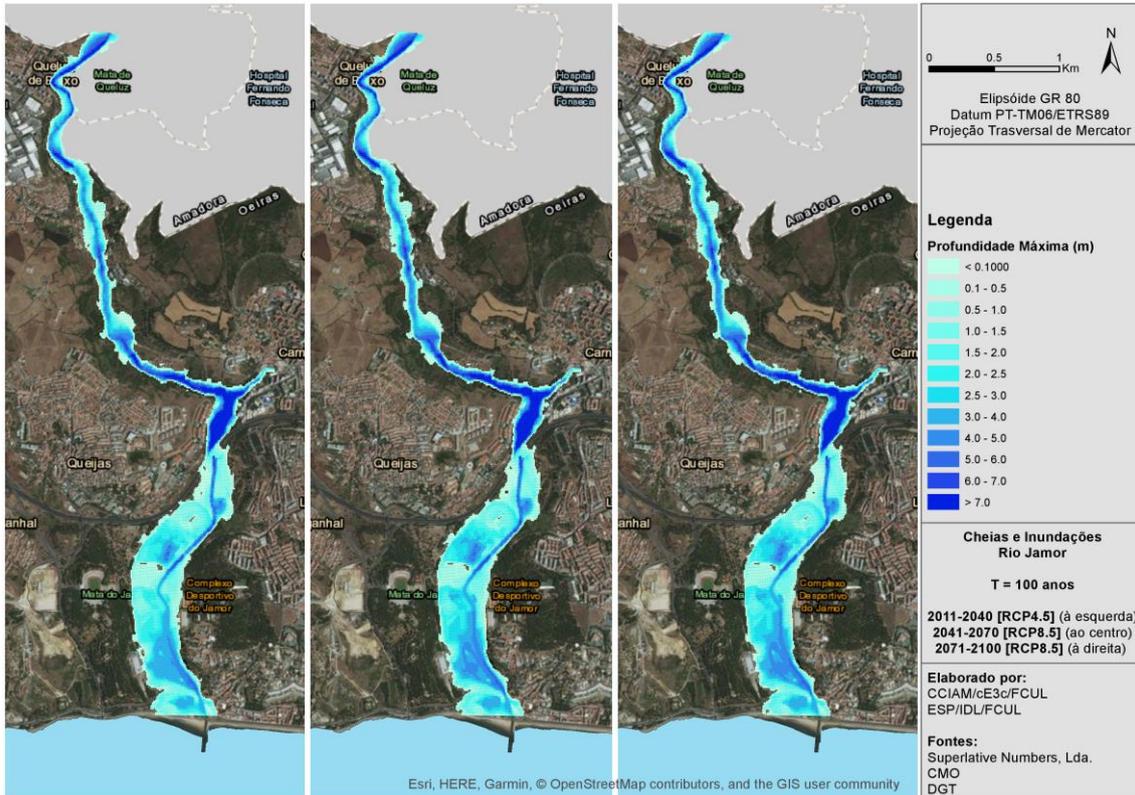


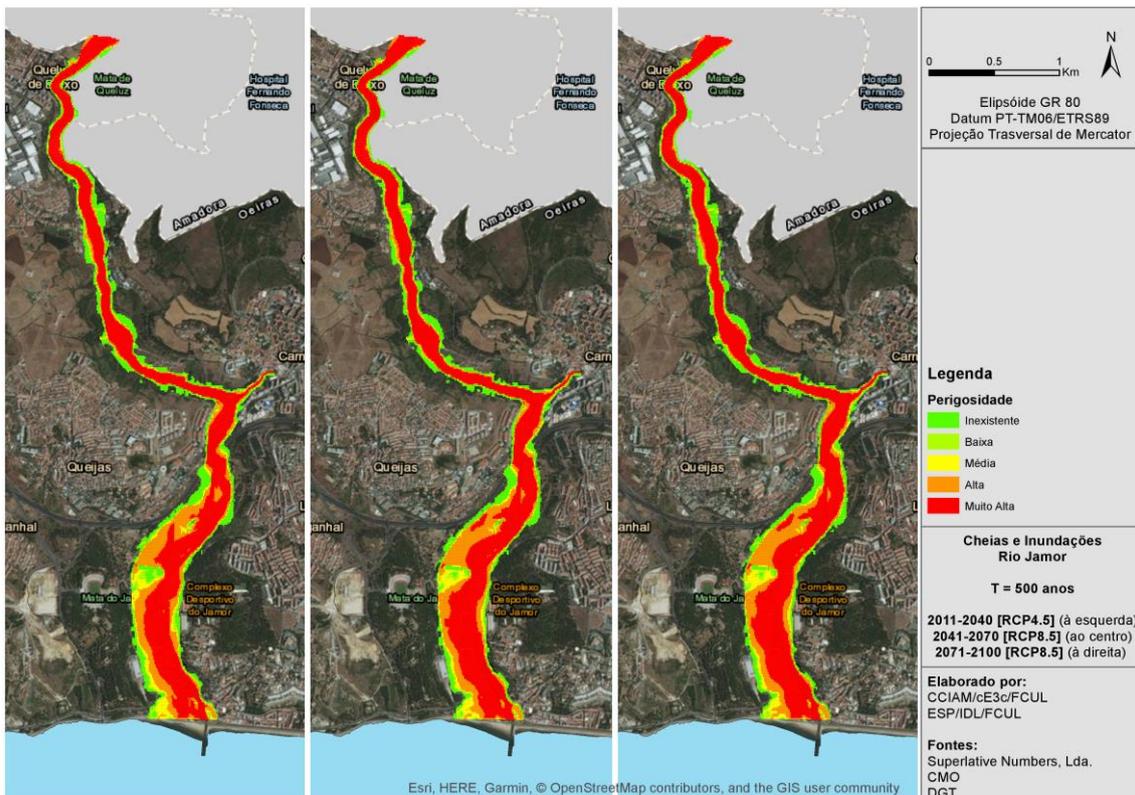
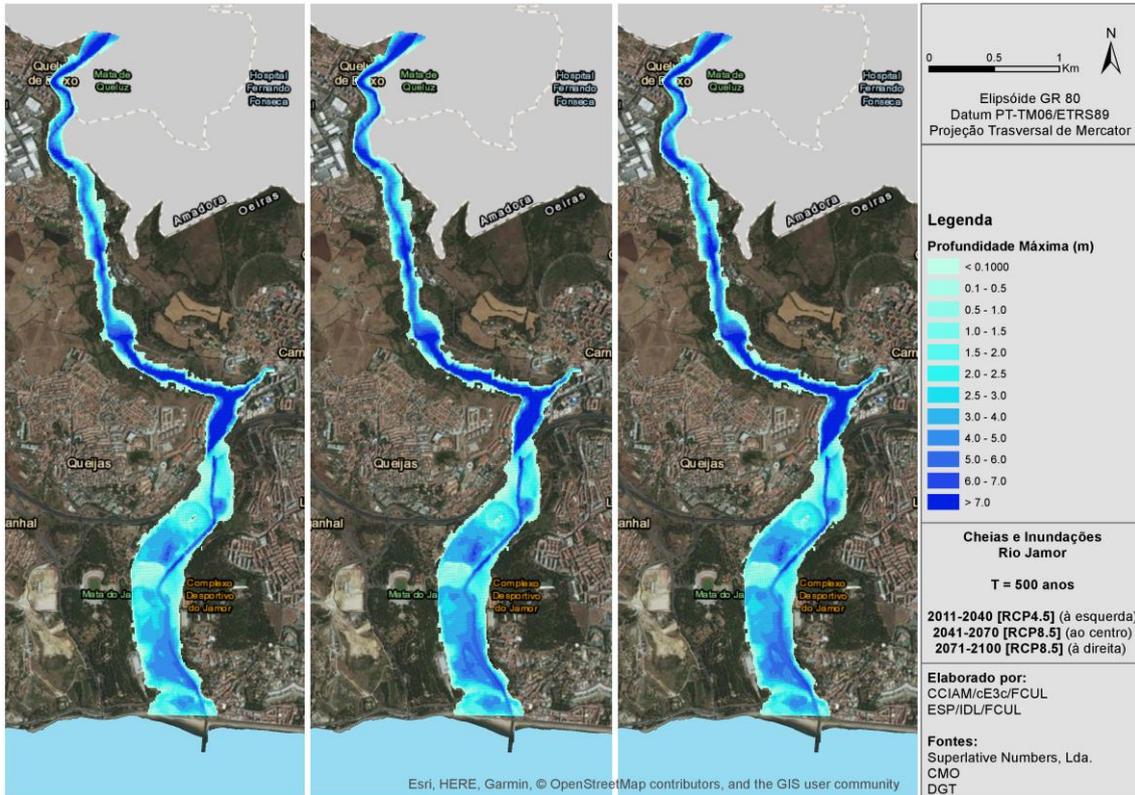












## FICHA TÉCNICA

### Título

Plano Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas de Oeiras (PMAACO) – Relatório Recursos Hídricos sobre vulnerabilidades climáticas

### Coordenação Científico/Executiva

Luís Filipe Dias (CCIAM/cE3c/FCUL)

### Coordenação Não Executiva

Filipe Duarte Santos (CCIAM/cE3c/FCUL)

### Equipa Técnica

#### CCIAM/Ce3C/FCUL:

Amandine Pastor (Recursos Hídricos)  
Ana Lúcia Fonseca (Caracterização Socioeconómica)  
André Oliveira (Saúde Humana, Segurança Pessoas e Bens)  
Bruno Aparício (Clima, Economia)  
Helena Santos (Agricultura e Segurança Alimentar)  
Inês Morais (Recursos Hídricos)  
João Pedro Nunes (Recursos Hídricos)  
Luís Filipe Dias (Clima, Recursos Hídricos, Ordenamento do Território, Economia)  
Ricardo Coelho (Energia e Segurança Energética, Transportes e Vias de Comunicação)  
Sidney Batista (Clima)  
Tomás Calheiros (Fogos Florestais)

#### eChanges/Ce3C/FCUL:

Cristina Branquinho (Biodiversidade)  
Filipa Grilo (Biodiversidade)  
Pedro Pinho (Biodiversidade)  
Alexandra Oliveira (Biodiversidade)  
Ana Luz (Biodiversidade)

#### IDL/FCUL:

Rui Taborda (Orla Ribeirinha)  
César Andrade (Orla Ribeirinha)  
Andreia Marques Ferreira (Orla Ribeirinha)

#### CEF/ISA/UL:

José Lima-Santos (Agricultura e Segurança Alimentar)

#### Superlative Numbers:

Frank Braunschweig (Recursos Hídricos)