

# PLANO DE ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS DE OEIRAS

RELATÓRIO SETORIAL: TRANSPORTES E VIAS DE COMUNICAÇÃO

Autor: Ricardo Coelho | CCIAM/Ce3C/FCUL

Contributos: Bruno Aparício, Luís Filipe Dias, Ana Lúcia Fonseca | CCIAM/Ce3C/FCUL

Rui Taborda, César Andrade, Andreia Ferreira | IDL/FCUL

## Índice

<b>1. Contexto</b> .....	<b>3</b>
1.1. Perspetiva e diagnóstico do setor .....	3
1.1.1. Meios de transporte.....	4
1.1.2. Evolução da mobilidade .....	6
<b>2. Desenvolvimento</b> .....	<b>8</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. Vulnerabilidades climáticas atuais e futuras.....	9
2.2.2. Cheias e inundações pluviais.....	9
2.2.3. Inundações costeiras.....	10
2.2.4. Galgamento costeiro .....	11
2.2.5. Temperatura elevada .....	11
<b>3. Vulnerabilidades climáticas atuais e futuras para Oeiras</b> .....	<b>14</b>
3.1. Cheias e inundações pluviais.....	14
3.2. Inundações costeiras.....	29
3.3. Galgamentos costeiros.....	32
3.4. Temperaturas elevadas .....	34
<b>4. Considerações finais</b> .....	<b>37</b>
<b>5. Bibliografia</b> .....	<b>38</b>
<b>7. Ficha técnica</b> .....	<b>39</b>

## 1. CONTEXTO

No âmbito do sector prioritário Transportes e Vias de Comunicação proposto no PMAACO, foi feita uma análise das vulnerabilidades atuais e futuras das infraestruturas de transportes e vias de comunicação existentes no município de Oeiras, com a finalidade de identificar as necessidades de adaptação em cenários de alterações climáticas.

A ENAAC 2020 considera a possibilidade de se registarem, com crescente frequência, fenómenos meteorológicos muito severos que, eventualmente, possam atingir importantes infraestruturas de transporte, de forma continuada ou intempestiva, o que constitui um risco significativo para a segurança de pessoas e bens e para o funcionamento da economia e da sociedade (APA, Denário, & FCUL, 2015). Importa por isso minimizar os efeitos de tais impactos pela via das medidas de caráter preventivo.

### 1.1. PERSPETIVA E DIAGNÓSTICO DO SETOR

A rede de infraestruturas de transportes do Município de Oeiras encontra-se organizada numa malha constituída por eixos rodoviários estruturantes, que integram a rede Rodoviária Nacional, e por duas linhas ferroviárias metropolitanas, uma que o atravessa a sul servindo as localidades junto da margem do rio Tejo (linha de Cascais) e outra que serve marginalmente o limite norte do município (linha de Sintra). Ambas as linhas ferroviárias asseguram o escoamento dos fluxos de tráfego metropolitano, de características essencialmente pendulares, entre os municípios limítrofes, sendo que a linha de Sintra proporciona ligação à rede ferroviária nacional. A rede rodoviária apresenta quatro níveis, desde vias de acesso local a artérias supramunicipais, os eixos rodoviários nacionais detêm capacidade de escoamento de volumes de tráfego elevados e uma distribuição diferenciada nos dois sentidos, em especial nas horas de ponta (GPDEIG/CMO, 2013).

No município de Oeiras, a rede rodoviária municipal, constituída por eixos rodoviários pavimentados, tem uma extensão total de, aproximadamente, 473 km, de acordo com estimativa do modelo de tráfego realizada no âmbito do Estudo de Mobilidade e Acessibilidades do Concelho de Oeiras (Figura 1).

O município é servido por cinco heliportos (2 militares e 3 civis): no Forte de São Julião da Barra, na NATO – Joint Force Command Lisbon, nos edifícios do Millennium BCP no Taguspark, no Hospital de Santa Cruz e na EB2,3 de Miraflores, contudo não constam da listagem de heliportos civis certificados ou aprovados pelo INAC (Instituto Nacional de Aviação Civil) (CMO, 2010). O município é ainda servido por infraestruturas marítimas ao longo do seu troço costeiro, os equipamentos municipais são o Porto de Recreio de Oeiras e a Armação dos Pescadores de Paço de Arcos. Sob gestão de outras entidades encontra-se a Direção de Faróis de Paço de Arcos (Autoridade Marítima Nacional) e a Torre VTS (Vessel Traffic System) de Algés (Administração do Porto de Lisboa).

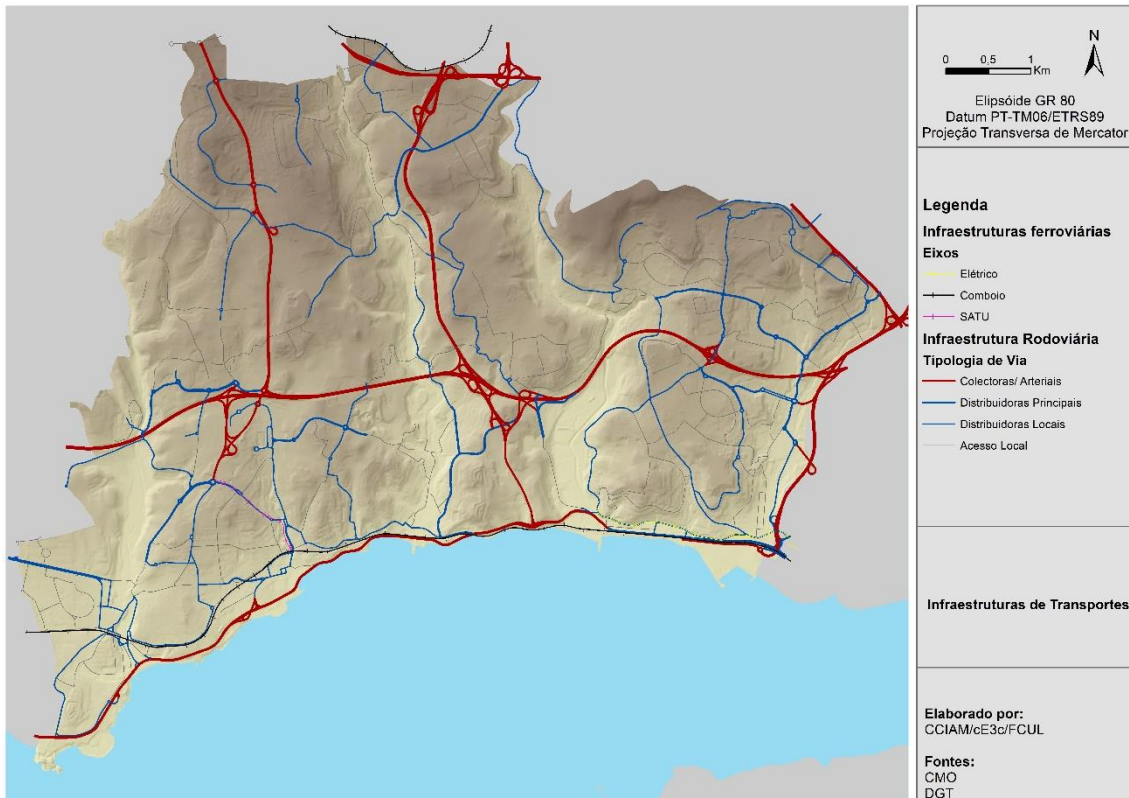


Figura 1 - Infraestruturas de Transporte rodoviário e ferroviário

### 1.1.1. Meios de transporte

Quanto aos transportes públicos, a rede estruturante do sistema de transportes coletivos está ancorada nos eixos ferroviários constituídos por três tipologias de transportes movidos a energia elétrica.

As de maior capacidade são as linhas ferroviárias suburbanas de Cascais e Sintra. A norte do município, a Linha de Sintra estabelece a fronteira com o município de Sintra, ao longo de 1,5 km dos 27,3 km. Nas estações do Cacém, Barcarena/Massamá e Monte Abraão localizam-se as interfaces que dispõem de serviços de transportes públicos rodoviários de rebatimento que servem Oeiras. A Linha de Cascais desenvolve-se entre Cascais (centro da Vila) e o centro de Lisboa (Cais do Sodré), atravessando o município de Oeiras ao longo da sua frente ribeirinha em 9,4 km dos 25,4 km que totalizam a sua extensão, servindo 6 estações.

A linha de elétrico 15E é a única em funcionamento em Oeiras e tem, atualmente, uma extensão aproximada de 0,7 km no município, servindo duas paragens em Algés e termina junto do Jardim Municipal de Algés.

O SATU Oeiras, uma linha de automated people mover (APM), é um sistema automático de transporte de passageiros, com tração por cabo e movido a energia elétrica e concebido para circular totalmente numa via dedicada, construída em viaduto. Realizado em parceria entre a Câmara Municipal de Oeiras e a Teixeira Duarte para estabelecer uma ligação de transporte público, entre o Centro de Negócios do Lagoas Park e a linha ferroviária suburbana da Linha de Cascais. A 1ª fase, com uma extensão de 1,2 km, esteve em funcionamento até 2015,



encontrando-se encerrada por tempo indeterminado, e serviu três estações entre Paço de Arcos (Linha de Cascais) e o Centro Comercial do Oeiras Parque. Futuramente, irá ligar os dois eixos ferroviários (Linhas de Cascais e de Sintra), atravessando a zona poente do município de Oeiras e acompanhando o desenvolvimento urbanístico previsto (GPDEIG/CMO, 2013).

A rede de serviços de transportes públicos rodoviários é assegurada por um total de 50 carreiras rodoviárias distribuídas por três operadores de transportes (Figura 2): a Scotturb na ligação intermunicipal com Cascais; a Vimeca, municipal e intermunicipal com Sintra e Amadora; e a Carris, intermunicipal com Lisboa. A cobertura territorial dos transportes coletivos acompanha a evolução urbanística do território, aproveitando o desenvolvimento da malha da rede rodoviária. A oferta do serviço de transportes é assegurada com uma clara correspondência entre a localização das paragens e a área urbanizada, com uma elevada concentração de serviços nos núcleos urbanos de Oeiras, Paço de Arcos, Algés, Miraflores, Carnaxide e Queijas (GPDEIG/CMO, 2013).

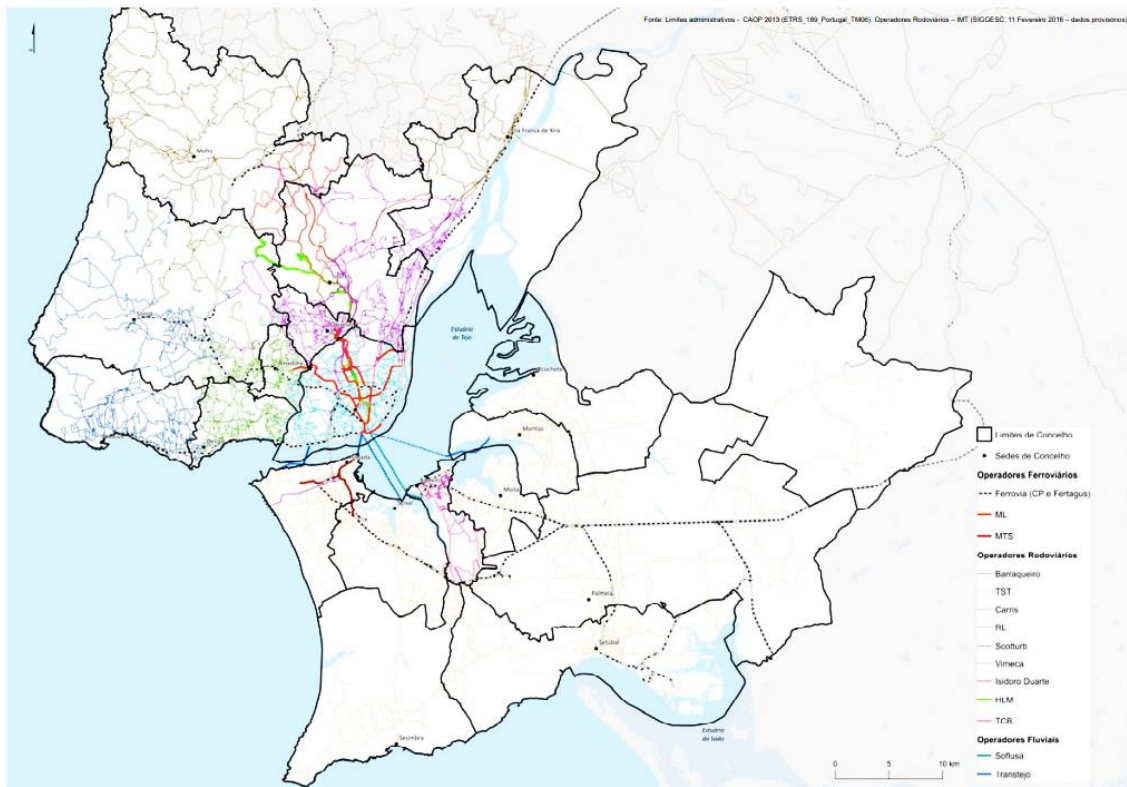


Figura 2 – Operadores de transportes públicos na Área Metropolitana de Lisboa (AML, 2016)

Na sequência de uma parceria estabelecida entre o município de Oeiras e a Vimeca, em 2007 foi iniciada a implementação do projeto COMBUS, constituído por carreiras urbanas que servem os principais aglomerados populacionais de Oeiras, tendo contribuído para uma significativa melhoria da cobertura territorial dos transportes públicos no município (ver Tabela 1 para mais detalhes sobre a rede rodoviária e mobilidade).

Os táxis surgem como um modo de transporte capaz de responder a procura diferenciadas, desempenhando um papel fundamental na mobilidade urbana e assegurando a prestação de

serviços com características mais próximas do transporte individual, sem rota e sem horários fixos. Constitui uma alternativa de transporte para a população de maior poder de compra, em substituição do transporte individual, principalmente, para acesso a áreas de maior congestionamento ou escassa oferta de estacionamento. O contingente de táxis licenciados em 2013, no município de Oeiras, era de 137.

ACESSIBILIDADES, TRANSPORTES E MOBILIDADE	
<b>Extensão da Rede Rodoviária:</b>	540 km, sendo 8,7 km com portagem
<b>Transportes Públicos</b>	
<b>Linhas Ferroviárias Urbanas</b>	<b>Linha de Cascais:</b> 6 estações e 9,4Km de extensão
	<b>Linha de Sintra:</b> 1 estação
<b>Linha de APM (atualmente desativada)</b>	<b>SATU Oeiras:</b> 3 estações e uma extensão de 1,2 km.
<b>Linha de Elétricos</b>	<b>Elétrico (15E):</b> 2 paragens e uma extensão de cerca 0,7 km
<b>Linhas Rodoviárias</b>	<b>51 Carreiras</b> com cerca de 4300 circulações em dia útil
	<b>Táxis:</b> ≈137 veículos
<b>Número de Viagens Diárias</b>	525 mil viagens, das quais 306 mil são de residentes e 34 % são viagens internas.
<b>Número Médio de Viagens por Pessoa</b>	2,59 por residente e 2,83 por não residentes
<b>Taxa de Motorização (ligeiros e mistos)</b>	<b>608 veículos/1.000 hab. em 2006</b> (média da GL: 461); 410 veículos/1.000 hab. em 1998

Tabela 1 - Quadro resumo da rede rodoviária, transportes e mobilidade no Município de Oeiras. Fonte: (GPDEIG/CMO, 2013)

### 1.1.2. Evolução da mobilidade

Nas últimas décadas assistiu-se, na Região de Lisboa e no município de Oeiras, ao aumento da mobilidade e uma modificação dos padrões de deslocações urbanas, introduzindo maior complexidade no funcionamento do sistema de mobilidade da Região.

Em 2006/2007, foi elaborado um inquérito à mobilidade no município de Oeiras que permitiu caracterizar a mobilidade da população, onde se destaca o número de 525 mil viagens diária. Os resultados, obtidos através de contagens e inquéritos nos eixos de entrada em Oeiras, permitiram estimar uma pressão ocasionada pela entrada diária de cerca 220 mil veículos ligeiros no sistema rodoviário do município (Tabela 2), onde se pode verificar a expressão que o transporte individual assume na mobilidade do município, sempre superior a 50%.

Mobilidade em Oeiras: Modos de transporte simplificados						
Distribuição por modos de transporte	Viagens Iniciadas/Terminadas		Viagens Internas		Viagens Intermunicipais	
	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%
Pedonal	53.846	11%	50.831	29%	3.015	1%
Transporte Individual (TI)	313.073	65%	90.628	51%	222.445	74%
Transporte Público (TP)	107.617	22%	34.896	20%	72.721	24%
TI + TP	3520	1%	74	0%	3.446	1%
Outros	330	0%	0	0%	330	0%
<b>TOTAL</b>	<b>478.386</b>	<b>100%</b>	<b>176.429</b>	<b>100%</b>	<b>301.957</b>	<b>100%</b>

Tabela 2 - Repartição modal da mobilidade no município de Oeiras. Fonte (GPDEIG/CMO, 2013)

Um inquérito, mais recente, ao nível da Área Metropolitana de Lisboa, INE (2018), revelou um ligeiro aumento do número médio de viagens por residente, de 2,59 (2006/07) para 2,69 (2016), e um aumento de 14,8% (entre 2005-2013) da taxa de motorização de veículos ligeiros, com 420 veículos/1.000 hab. em 2013, ainda abaixo da média da Área Metropolitana de Lisboa (475 veículos/1.000 hab. em 2013).

Mobilidade em Oeiras: Deslocações intermunicipais						
Município de origem	Primeiro município de destino		Segundo município de destino		Terceiro município de destino	
	Município	%	Município	%	Município	%
Oeiras	Lisboa	56.9	Cascais	19.7	Sintra	10.8
Cascais	Lisboa	45.3	<b>Oeiras</b>	<b>31.2</b>	Sintra	11.3
Lisboa	Loures	21.6	<b>Oeiras</b>	<b>19.7</b>	Amadora	14.3
Sintra	Lisboa	44.7	Amadora	16.2	<b>Oeiras</b>	<b>13.8</b>
Amadora	Lisboa	61	Sintra	14.1	<b>Oeiras</b>	<b>12.6</b>

Tabela 3 - Proporção de deslocações intermunicipais para os três principais municípios de destino, por município de origem (Fonte: INE, 2018)

As deslocações intermunicipais realizam-se, na sua grande maioria, com três municípios limítrofes, Lisboa, Cascais e Sintra, enquanto local de origem e destino.

## 2. DESENVOLVIMENTO

Atualmente, a literatura sobre o transporte urbano e as alterações climáticas foca com mais detalhe questões de mitigação, devido ao peso que o setor assume nessa matéria, do que propriamente em questões de vulnerabilidade, impactos e adaptação. No entanto, o clima extremo afeta as redes de transporte e vias de comunicação, o que inclui uma variedade de infraestruturas, como por exemplo pontes, túneis, estradas, caminhos-de-ferro, instalações portuárias, entre outros (IPCC, 2014). É por isso importante avaliar potenciais disrupções nos núcleos urbanos, nas ligações intermunicipais e entre zonas. As perdas de comunicação podem condicionar a resposta de emergência e dificultar a reposição da normalidade. Além disso, o condicionamento no setor dos transportes comporta custos indiretos a empresas e pessoas, que advêm do constrangimento ao normal funcionamento das vias de comunicação (e.g. atraso em entregas).

Os impactos diretos, que advêm das alterações climáticas analisadas, estão relacionados com eventos de cheias e inundações, decorrentes de fenómenos de precipitação extrema, inundações e galgamentos costeiros, devido a tempestades e ao aumento do nível médio do mar (NMM), e ondas de calor e extremos de temperaturas elevadas.

No âmbito deste trabalho foram considerados os constrangimentos e danos diretos no setor (e.g. capacidade de carga dos pavimentos das vias rodoviárias devido a temperaturas elevadas). No que concerne aos impactos indiretos, como por exemplo custos de atrasos, desvios e quebras de serviço, que podem ser substanciais, ou interações entre sistemas diferentes (como por exemplo com o sistema energético), não foram analisados.

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

Os fenómenos climáticos e os eventos influenciados pelo clima com relevância para o setor Transportes e Vias de Comunicação podem ser agregados em dois grupos. O primeiro grupo relaciona-se com os efeitos que se farão sentir nas infraestruturas, tendo sido considerado:

- Cheias e inundações pluviais;
- Inundações e galgamentos costeiros;
- Temperaturas elevadas.

No segundo grupo considerou-se os fenómenos climáticos que afetaram a utilização direta dos meios de transporte, tendo sido considerados:

- Ondas de frio (e.g. ocorrências, duração média, número de dias);
- Dias com temperatura muito baixa (e.g. dias de geada [temperatura mínima  $<0^{\circ}\text{C}$ ], dias muito frios [temperatura mínima  $<7^{\circ}\text{C}$ ]);
- Ondas de Calor (e.g. ocorrências, duração média, número de dias);
- Dias com temperatura muito elevada (e.g. dias com temperatura máxima superior a  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $38^{\circ}\text{C}$ ,  $40,6^{\circ}\text{C}$ ).



## 2.2. AVALIAÇÃO DAS VULNERABILIDADES E MODELAÇÃO DE IMPACTOS

A avaliação de vulnerabilidades e modelação de impactos no setor Transportes e vias de Comunicação teve em atenção a necessidade de refletir a evolução do clima projetado até ao final do século e a identificação das infraestruturas particularmente expostas aos impactos atuais e projetados. A metodologia aplicada divide-se numa avaliação de vulnerabilidades climáticas atuais, tendo em atenção a localização dos diferentes elementos considerados como relevantes para o setor, e na identificação de anomalias nessa vulnerabilidade no futuro (em cenários de alterações climáticas). Foram modelados os possíveis condicionamentos rodo e ferroviários devido a inundações pluviais e costeiras, assim como devido a galgamentos costeiros, e foram modeladas as variações de fiabilidade dos pavimentos rodoviários devido a temperaturas elevadas.

### 2.2.1. Vulnerabilidades climáticas atuais e futuras

A análise das vulnerabilidades climáticas para o setor considerou seis indicadores relacionados com o clima ou derivados deste, consistindo nas inundações pluviais e costeiras, nos galgamentos costeiros, nas temperaturas elevadas, nas ondas de calor e nas ondas de frio. Relativamente aos fenómenos de temperatura extrema optou-se, numa segunda fase, por se considerar apenas as ondas de calor. Esta opção justifica-se pelo facto da tendência destas, no que diz respeito à sua duração e intensidade, aumentarem significativamente em cenários de alterações climáticas, enquanto que se projeta que as ondas de frio passem a ser residuais.

A avaliação de vulnerabilidades climáticas futuras no setor foi feita com base no cálculo das anomalias projetadas nos níveis de perigosidade de cada variável considerada.

Tal como na avaliação das vulnerabilidades climática atuais, a anomalia projetada no âmbito das vulnerabilidades climáticas futuras, resulta do cruzamento entre um indicador agregado criado para o efeito, com a localização geográfica dos componentes analisados (exposição). Teoricamente, a anomalia pode variar entre oito classes de agravamento, compreendidas entre vulnerabilidade climática residual e vulnerabilidade climática extrema.

No caso dos fenómenos climáticos e os eventos influenciados pelo clima que afetam a utilização direta dos meios de transporte, projeta-se um aumento das ondas de calor e do número de dias com temperatura muito elevada.

### 2.2.2. Cheias e inundações pluviais

O tema das cheias e inundações foi tratado tendo 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”.

Neste contexto, foram utilizadas as áreas inundáveis associadas aos períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos, atribuindo-se um grau de perigosidade que se agrava conforme a recorrência da inundações, confrontado com as vias de comunicação expostas à inundações. Após a atribuição dos graus de perigosidade a cada área inundável, correspondente a cada período de retorno, a

informação foi agregada num índice global relativo ao tema em causa (para mais informações sobre a metodologia consultar o relatório sobre recursos hídricos).

Para o estudo da vulnerabilidade futura, a extrapolação das anomalias na vulnerabilidade climática associada às cheias e inundações, resultou da comparação entre a precipitação observada para um dado período de retorno (e respetiva probabilidade de ocorrência) e a que período de retorno essa mesma precipitação estará associada em cenários de alterações climáticas. 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 (Tabela 4).

Presente	2 Anos	5 Anos	10 Anos	20 Anos	50 Anos	100 Anos	500 Anos
Precipitação (mm)	43,7	63,7	81,6	103,0	138,4	171,7	278,9
RCP	Futuro (Anos)						
4.5 [2011-2040]	1,9	4,1	7,1	12,1	24,6	44,3	189,8
8.5 [2011-2040]	1,8	3,7	7,0	13,5	40,2	87,3	555,6
4.5 [2041-2070]	1,6	3,4	6,3	11,1	27,9	47,5	165,0
8.5 [2041-2070]	1,6	3,1	5,6	10,6	25,8	44,8	153,6
4.5 [2071-2100]	1,7	3,7	6,0	10,2	19,5	32,6	120,0
8.5 [2071-2100]	1,8	3,1	5,2	9,0	17,5	27,8	127,6

Tabela 4 - Períodos de retorno atuais e anos em que, em média, se projeta um evento com as mesmas características em cenários de alterações climáticas. Os cenários a verde são os utilizados para a definição de impactos e avaliação de vulnerabilidades futuras

A análise das cheias e inundações em cenários de alterações climáticas tem em conta apenas um cenário para cada período, tendo sido utilizado o RCP4.5 a curto prazo, e o RCP8.5 a médio e longo prazo (assinalado a verde na Tabela 4). Estes cenários foram escolhidos para cada período, de forma a representarem a alteração mais gravosa no nível de perigosidade (para mais informações sobre a metodologia consultar o relatório sobre recursos hídricos).

### 2.2.3. Inundações costeiras

O estudo da vulnerabilidade à inundações da orla estuarina do concelho de Oeiras considerou um cenário de referência e dois cenários futuros de subida do nível médio do mar (0,5 m e 1,5 m). Em todos os cenários foram utilizados extremos de nível do mar com períodos de retorno de 50 e 100 anos (Tabela 5), usando os métodos especificados no relatório do setor da Orla Ribeirinha.

ID	T (anos)	$\Delta$ NMM (m)	NM <sub>máx</sub> (m)	NM <sub>adotado</sub> (m)
I_50_Ref	50	--	2,22	2,22
I_50+0.5	50	+0,50	2,22	2,72
I_50+1.5	50	+1,50	2,22	3,72
I_100_Ref	100	--	2,32	2,32
I_100+0.5	100	+0,50	2,32	2,82
I_100+1.5	100	+1,50	2,32	3,82

Tabela 5 - Quadro resumo de cenários e níveis do mar adotados na avaliação da inundação costeira

Para cada cenário, foram delimitadas as áreas cuja cota de terreno é inferior à cota do nível do mar adotado ( $NM_{adotado} = \Delta NMM + NM_{máx}$ ). Esta informação foi confrontada com as vias de comunicação expostas à inundação costeira.

#### 2.2.4. Galgamento costeiro

Na avaliação do galgamento costeiro foi determinado o alcance do espraio e o caudal de galgamento, realizados no âmbito do relatório do setor da Orla Ribeirinha, através do recurso a modelos numéricos. Nesse relatório pode-se encontrar a representação do alcance vertical e horizontal do espraio das ondas e os caudais médios de galgamento no passeio marítimo, Av. Marginal e Linha Ferroviária, considerando um cenário de referência e dois cenários futuros de subida do nível médio do mar (0,5 m e 1,5 m), combinados com extremos de nível do mar com períodos de retorno de 50 e 100 anos

#### 2.2.5. Temperatura elevada

A temperatura elevada introduz solicitações relevantes aos pavimentos rodoviários. A grande maioria dos pavimentos das estradas portuguesas constituídos com base em misturas betuminosas assentes em camadas de material granular. As temperaturas mais elevadas afetam as misturas betuminosas (presentes em camadas superiores, portanto mais expostas), sendo as camadas granulares inferiores mais suscetíveis aos efeitos da percolação da água.

Quando ocorrem temperaturas mais elevadas, a mistura betuminosa sofre uma diminuição da sua capacidade resistente, sob as mesmas condições de tráfego, podendo levar a uma deformação plástica (permanente) do betume (Barrão, 2011). Atualmente, a ocorrência deste tipo de fenómeno é rara, havendo outras causas mais frequentes de perda de fiabilidade, tais como falhas do sistema de fundação da infraestrutura. As temperaturas extremas também provocam dilatações acentuadas, levando ao desgaste associado a ciclos de contração e dilatação, o que pode contribuir para o aparecimento de fissuras prematuras no pavimento, permitindo a infiltração água até às camadas granulares inferiores (Willway et al., 2008).

Para estimar o grau de adaptação das misturas betuminosas dos pavimentos, em particular nas camadas de desgaste, foi usado um indicador baseado na temperatura máxima do pavimento, calculada a cada sete dias, pelo método Performance Graduation (Método PG), empregue em contexto de alterações climáticas por Nemry e Demire (2012). Esta abordagem é baseada nas linhas orientadoras para a constituição dos pavimentos de misturas betuminosas nos Estados

Unidos da América (Alves, 2011), classificando o tipo de pavimentos por graduações térmicas. Neste relatório é assumido que a mesma metodologia pode ser aplicada no contexto nacional.

O método PG requer como dados de base, a latitude e a média da temperatura máxima do ar mais elevada durante 7 dias consecutivos ( $T_a$ ). Para a obtenção da segunda variável, foram selecionados os 7 dias consecutivos com temperatura máxima mais elevada por ano, tendo sido posteriormente calculada a média da temperatura máxima desses mesmos dias,  $T_a$ . Posteriormente, calculou-se a média dos 30 anos do período de referência, de modo a obter apenas um valor para o período. Os dados do período de referências são provenientes de reanálise do projeto ERA-Interim (ECMWF, 2018).

A aplicação deste método em cenários de alterações climáticas seguiu o mesmo procedimento, tendo-se utilizado as projeções de nove modelos climáticos (ensemble) disponibilizados pelo Euro-Cordex (Jacob et al., 2014), sendo obtida a temperatura máxima do ar modelada de 7 dias ( $T_{am}$ ). Os períodos considerados foram o histórico modelado (1971-2000) e as projeções de curto (2011-2040), médio (2041-2070) e longo prazo (2070-2100). Novamente, cada período de análise possui apenas um valor, que corresponde à média de 30 anos da temperatura máxima mais elevada em 7 dias consecutivos.

Para a análise da temperatura do pavimento em cenário de alterações climáticas foi tido em conta apenas um cenário para cada período, tendo sido escolhido sempre o cenário mais gravoso para cada período de análise. Desta forma, foi utilizado o RCP4.5 a curto prazo, e o RCP8.5 a médio e longo prazo.

Neste contexto, foi assumida a relação especificada na Equação 1, entre a temperatura do pavimento ( $T_p$  para os dados históricos ou  $T_{pm}$  para os dados modelados, também designada por alta temperatura de projeto do pavimento a uma profundidade de 20 mm da superfície), a temperatura máxima do ar em 7 dias ( $T_a$  para os dados históricos ou  $T_{am}$  para os dados modelados) e a latitude ( $L$ ) em graus:

$$T_p = 0,9545 (T_a - 0,00618 L^2 + 0,2289 L + 42,2) - 17,78 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (1)$$

De forma a minimizar o efeito de viés existente entre os dados da reanálise do ERA-Interim e os dados dos modelos climáticos relativos à temperatura do asfalto projetada, procedeu-se ao cálculo das anomalias da  $T_{pm}$ , entre o período histórico modelado e os períodos futuros (originando a  $AT_{pm}$ ). Estas anomalias foram posteriormente adicionadas ao valor da temperatura do pavimento obtido para período histórico de reanálise ( $T_p$ ), constituindo a temperatura do pavimento projetada ( $T_{pp}$ ). Assim, a temperatura do pavimento projetada é calculada da seguinte forma:

$$T_{pp} = T_p + AT_{pm} \quad (2)$$

Por fim, o impacto do aumento da temperatura máxima foi traduzido através da análise de fiabilidade do pavimento por graduação PG. A fiabilidade é calculada assumindo uma distribuição normal das variáveis  $T_p$  ou  $T_{pp}$ , com um desvio padrão igual a  $4^\circ\text{C}$  (uniformizado para simplificação da análise). Segundo o método PG, para que um pavimento seja considerado fiável, a sua fiabilidade deve ser igual ou superior a 98% (Fall, 2014; NHI, 2000). Através da aplicação da função de probabilidade cumulativa, é calculada a fiabilidade de um determinado pavimento com determinada graduação (Tabela 6).

Gradação	Média da temperatura máxima do ar de 7 dias ( $T_a$ ou $T_{am}$ ) admissível (°C)	Média de $T_p$ ou $T_{pp}$ para 98% ( $\sigma=4$ ) de fiabilidade (°C)	Temperatura máxima de 7 dias do pavimento de projeto (°C)
PG 46	23,7	37,8	<46
PG 52	30,0	43,8	<52
PG 58	36,3	49,8	<58
PG 64	42,6	55,8	<64
PG 70	48,9	61,8	<70
PG 76	55,2	67,8	<76
PG 82	61,4	73,8	<82

Tabela 6 - Relação entre a gradação do pavimento e a temperatura máxima de projeto

Por exemplo, um local onde a temperatura média de  $T_a$  seja igual a 42,6°C, terá uma temperatura média de  $T_p$  de 55,8°C e necessitará de um pavimento com uma gradação PG-64, para ter uma fiabilidade de 98%.

A gradação encontrada para a fiabilidade de 98% é apropriada para condições padrão de tráfego, no entanto, para vias específicas com um tráfego que origine maiores solicitações, a gradação escolhida em projeto será superior (conforme o previsto no método PG). Sendo por isso possível que os pavimentos existentes no terreno sejam capazes de responder a solicitações de temperatura mais elevadas porque estão preparados para um tráfego mais severo. Contudo, este fator não influencia a análise da evolução da fiabilidade em cenários de alterações climáticas.



### 3. VULNERABILIDADES CLIMÁTICAS ATUAIS E FUTURAS PARA OEIRAS

#### 3.1. CHEIAS E INUNDAÇÕES PLUVIAIS

No que diz respeito ao setor transportes e vias de comunicação, a vulnerabilidade da rede de infraestruturas de transporte a cheias e inundações foi estudada e mapeada. As áreas afetadas por cheias e inundações pluviais, e os respetivos mapas de perigosidade, foram produzidos no âmbito do setor Recursos Hídricos.

Uma vez obtidos os mapas de perigosidade para o município nos diferentes períodos (presente, curto, médio e longo prazo), foram sobrepostos os resultados à rede rodo e ferroviária (apresentada na Figura 1). Este exercício permitiu desenvolver os mapas de vulnerabilidade climática da rede de transportes rodo e ferroviária, apresentados entre a Figura 3 e Figura 6. Na Tabela 7 é resumida a distribuição de metros de rodovia por categoria de vulnerabilidade em cada período em análise, e na Tabela 8 é feito o mesmo para a distribuição de metros de ferrovia.

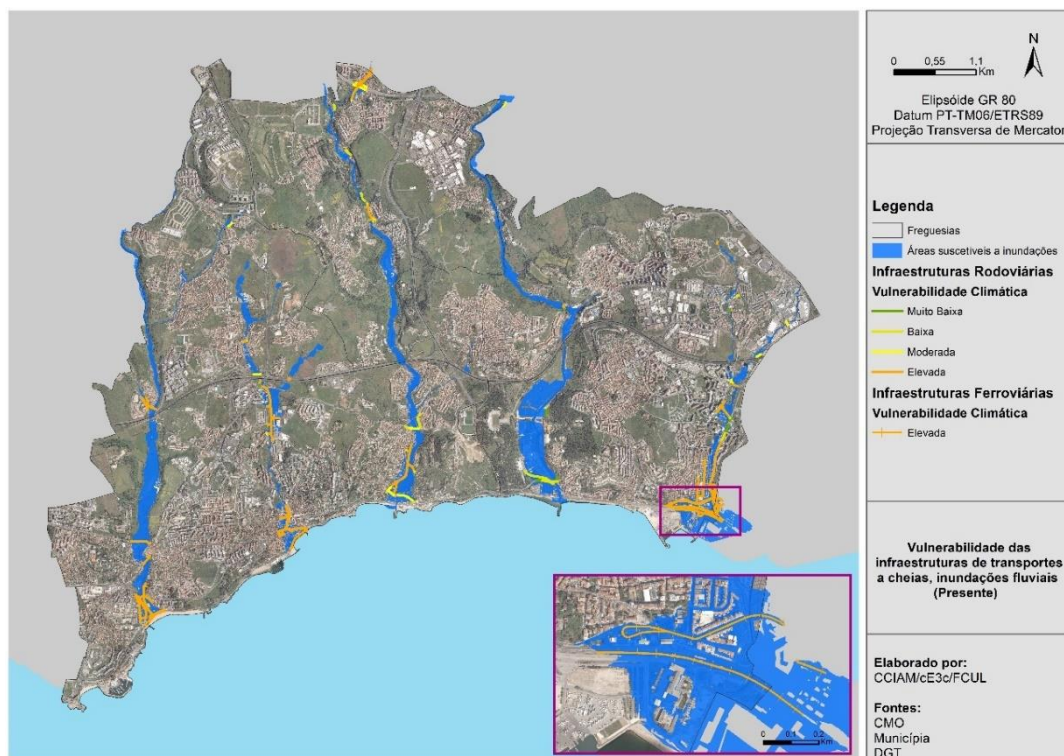


Figura 3 - Vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações, no período presente

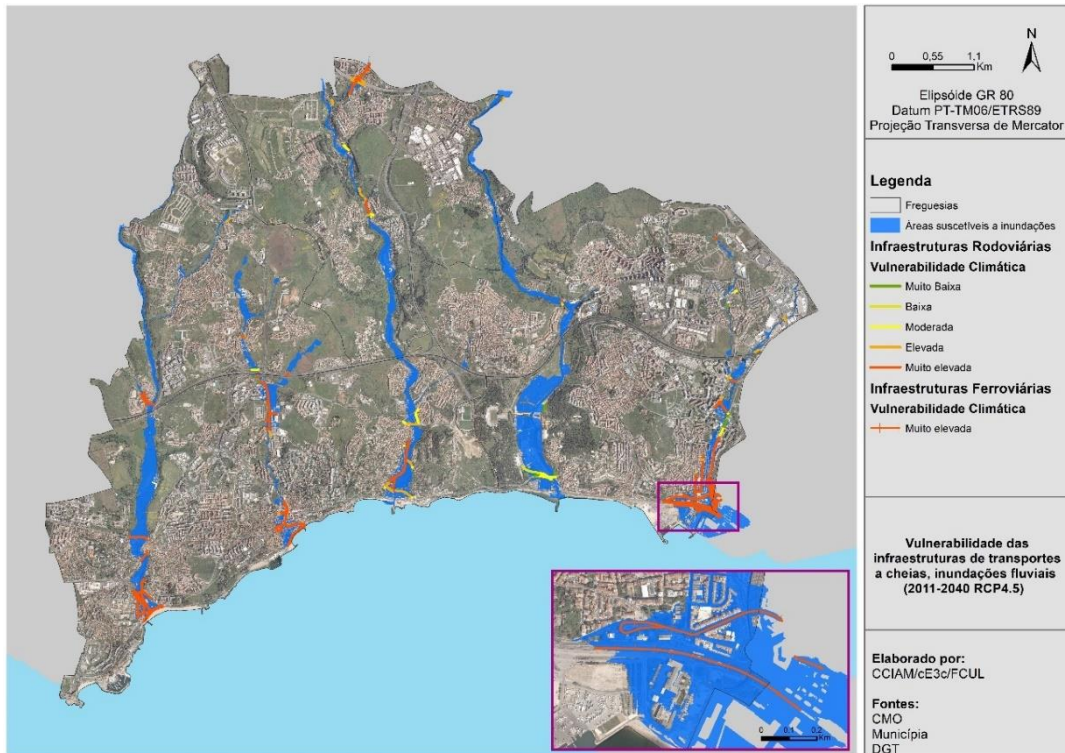


Figura 4 - Vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações, em cenário futuro RCP4.5, a curto prazo [2011-2040]

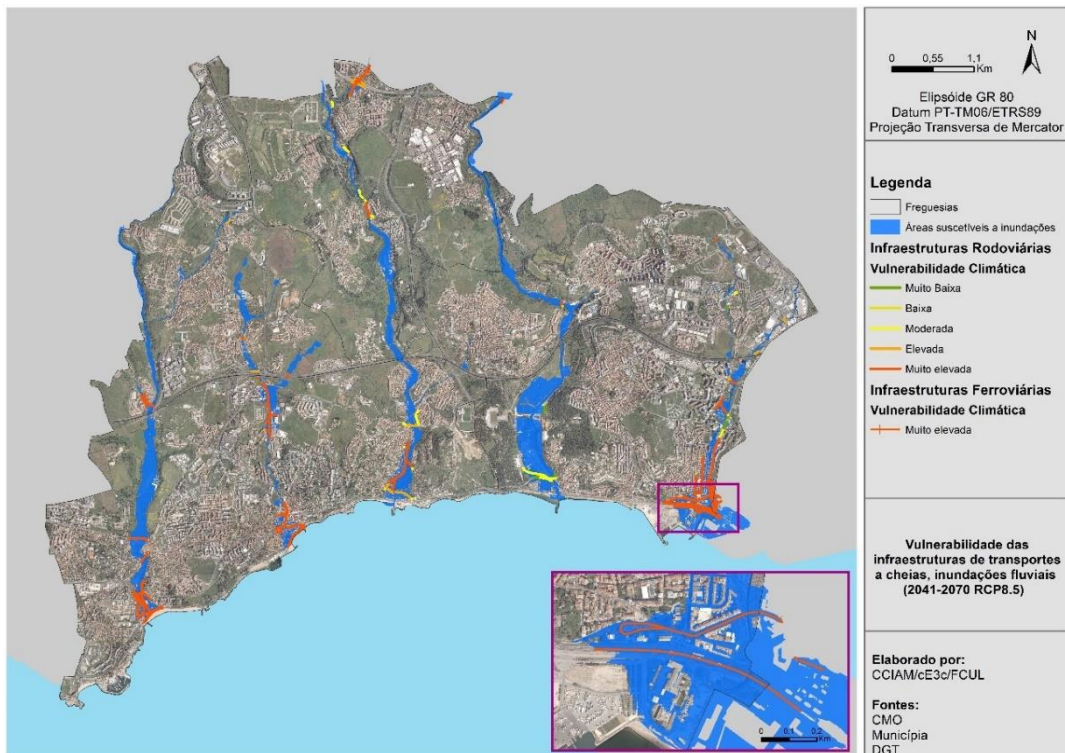


Figura 5 - Vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações, em cenário futuro RCP8.5, a médio prazo [2041-2070]

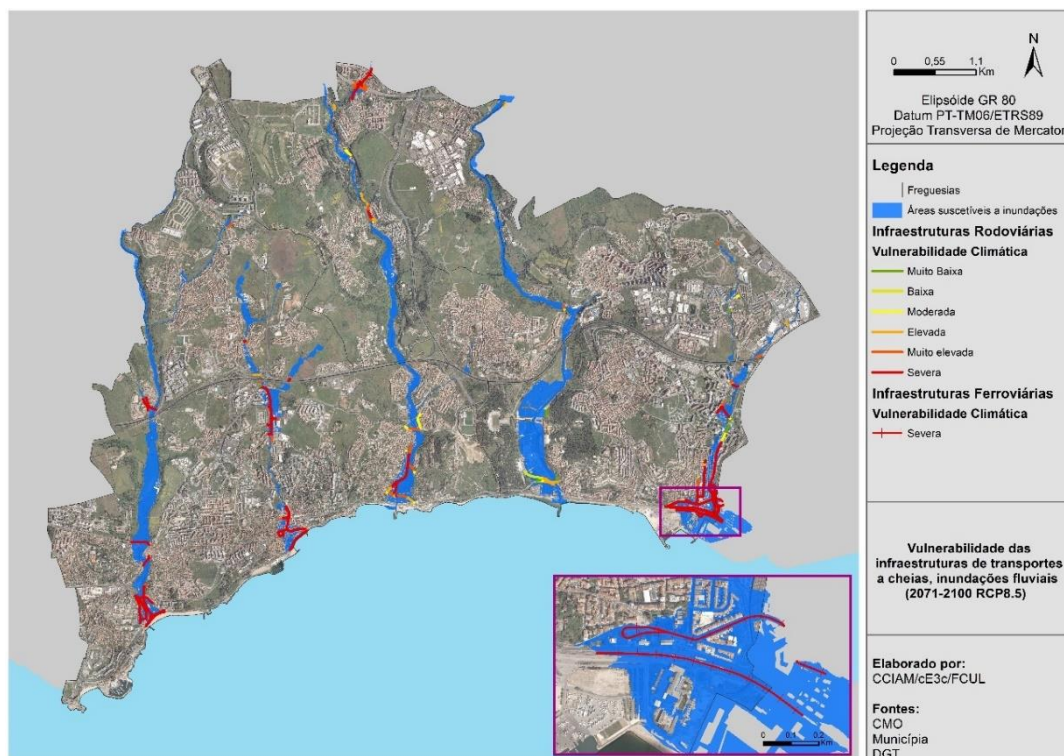


Figura 6 - Vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações, em cenário futuro RCP8.5, a longo prazo [2071-2100]

Período	Tipologia	Vulnerabilidade					
		Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito alta	Severa
Presente	Coletoras/ Artérias	165	327	365	2482	-	-
	Distribuidoras principais	71	29	166	2740	-	-
	Distribuidoras locais	260	472	408	6335	-	-
	Acesso local	38	932	385	3967	-	-
Curto Prazo (RCP4.5 2011-2040)	Coletoras/ Artérias	85	81	327	365	2482	-
	Distribuidoras principais	58	12	169	93	2673	-
	Distribuidoras locais	260	0	463	609	6142	-
	Acesso local	35	283	483	728	3793	-
Médio Prazo (RCP8.5 2041-2070)	Coletoras/ Artérias	165	0	327	365	2482	-
	Distribuidoras principais	71	0	29	166	2740	-
	Distribuidoras locais	260	0	472	356	6387	-
	Acesso local	35	3	948	369	3967	-
Longo Prazo (RCP4.5 2011-2040)	Coletoras/ Artérias	85	81	63	264	385	2462
	Distribuidoras principais	58	12	29	140	127	2638
	Distribuidoras locais	260	0	235	414	498	6067
	Acesso local	35	283	477	344	767	3416

Tabela 7 - Metros de rodovia por vulnerabilidade e tipologia



Período	Tipologia	Vulnerabilidade					
		Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito alta	Severa
Presente	Elétrico	-	-	-	927	-	-
	Ferrovia	-	-	-	926	-	-
Curto Prazo (RCP4.5 2011-2040)	Elétrico	-	-	-	-	927	-
	Ferrovia	-	-	-	-	926	-
Médio Prazo (RCP8.5 2041-2070)	Elétrico	-	-	-	-	927	-
	Ferrovia	-	-	-	-	926	-
Longo Prazo (RCP8.5 2071-2100)	Elétrico	-	-	-	-	-	927
	Ferrovia	-	-	-	-	-	926

Tabela 8 - Metros de ferrovia por vulnerabilidade e tipologia

De forma a concretizar a análise de vulnerabilidades climáticas atuais e futuras relativa aos transportes, foram discriminadas vistas de pormenor nas zonas mais vulneráveis a condicionamentos das vias devido a eventos de inundação. Para tal, recorreu-se ao mapa da rede viária representado na Figura 6 e o Open Source Map (OSM) como fundo de imagem, com a legenda apresentada na Figura 7.



Figura 7 - Legenda das vistas de pormenor das vulnerabilidades das infraestruturas de transportes.

Na Figura 8 estão representadas em pormenor as vulnerabilidades da ribeira da Lage, bem como a área de inundação desta e da ribeira da Polima (que faz parte da mesma bacia).

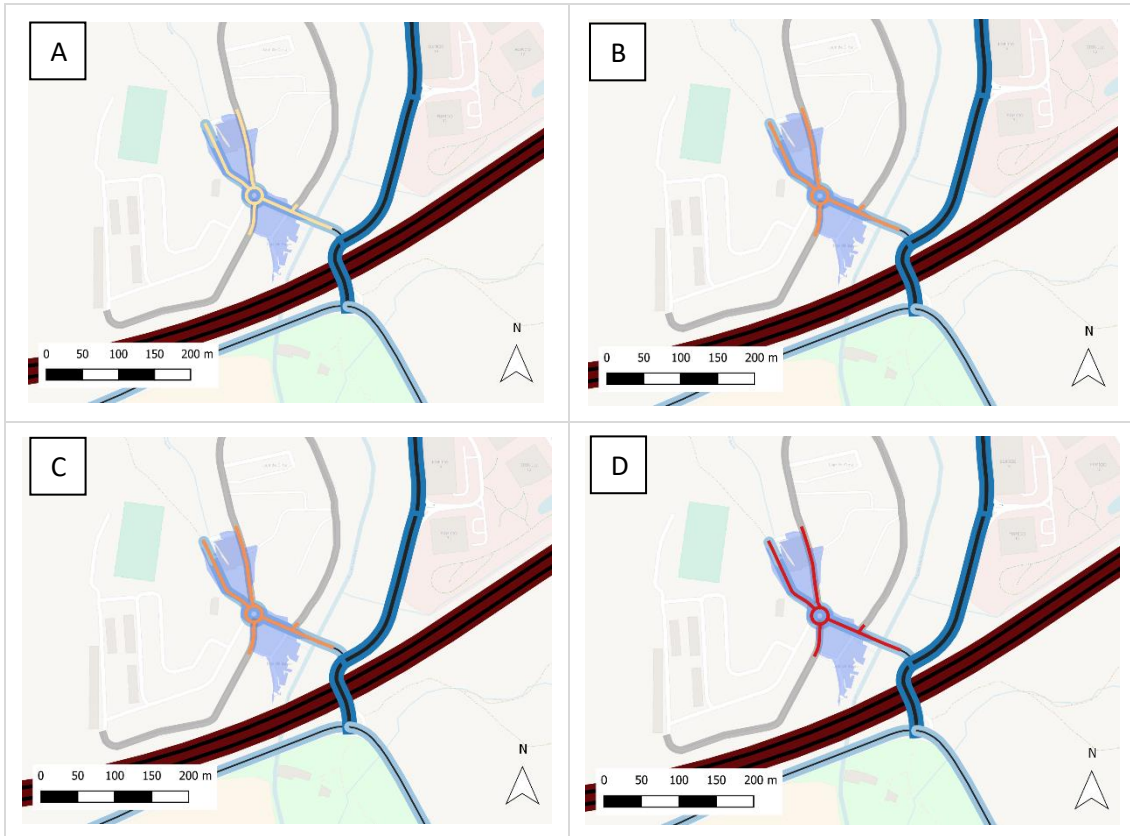


Figura 8 - Bacia da Laje, ribeira de Polima, Localidade da Lage, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações pluviais, no período (A) presente, e em cenários futuros (B) 2011-2040, RCP4.5; (C) 2041-2070, RCP8.5, e (D) 2071-2100, RCP8.5

Pode-se verificar que a infraestrutura rodoviária vulnerável em questão pertence à tipologia de estradas classificadas como acesso local e que, conforme a Figura 9, se encontra por cima do encanamento da ribeira da Polima. Em caso de inundação é espectável que a estrada se torne intransitável.

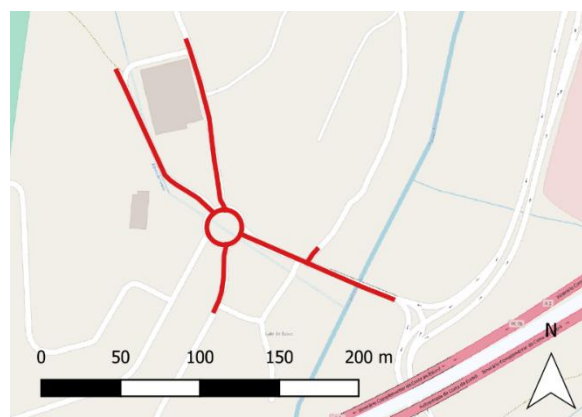


Figura 9 - Bacia da Laje, ribeira de Polima, Localidade da Lage, detalhe OSM com representação da vulnerabilidade a longo prazo (2071-2100), RCP8.5





Figura 10 - Bacia da Laje, ribeira de Leião, Localidade de Leião, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações pluviais. (A) presente, e em cenários futuros (B) 2011-2040, RCP4.5; (C) 2041-2070 e (D) 2071-2100, RCP8.5

Na Figura 10, podemos verificar que existe uma vulnerabilidade na localidade de Leião, na Rua José de Ascensão Guimarães, que poderá ficar inundada, dificultando ou impossibilitando o acesso ao bairro que aí existe pelo lado da Estrada de Talaíde.

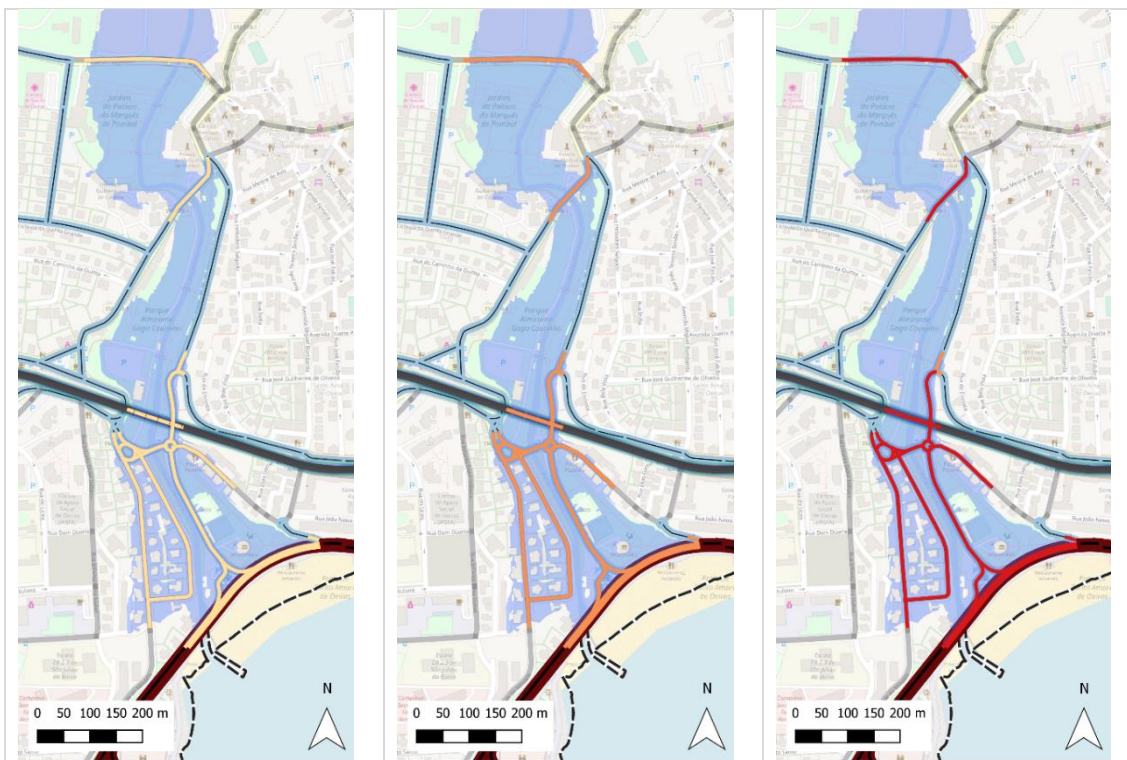


Figura 11 - Baía da Laje, Santo Amaro de Oeiras, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações pluviais. No presente (esq.), e em cenários futuros: 2011-2040 (RCP4.5) e 2041-2070 (RCP8.5) (centro) e 2071-2100 (RCP8.5) (dir.)

Para a mesma bacia, observa-se na Figura 11, as vulnerabilidades climáticas para a rede rodoviária na zona de Santo Amaro, desde a Avenida Marginal até à Rua do Aqueduto (junto aos jardins Marquês de Pombal), onde existe a possibilidade de ocorrência em simultâneo com picos de maré. Caso esta inundação ocorra, s  será possível transitar entre margens na R. Mina, junto   A5, o que significa que quem circular na Av. Marginal, no lugar de percorrer 320 metros (com vulnerabilidade de inunda o fluvial) terá que sair 1,5 km antes, junto   Praia de Paço D'Arcos, percorrer quase 10 km, sendo a maior parte deles em zonas residenciais, e entrar 350 metros depois para prosseguir viagem. De acordo com as tendências encontradas para a perigosidade, esta vulnerabilidade climática tem tendência para aumentar ao longo do tempo.

Para a bacia da ribeira de Porto Salvo, na Figura 12 pode-se observar no mapa do lado esquerdo e em cima, junto ao Núcleo Urbano Histórico de Porto Salvo, um pequeno troço da estrada EN 579-1 (Av. dos Descobrimentos) apresenta uma vulnerabilidade relevante.

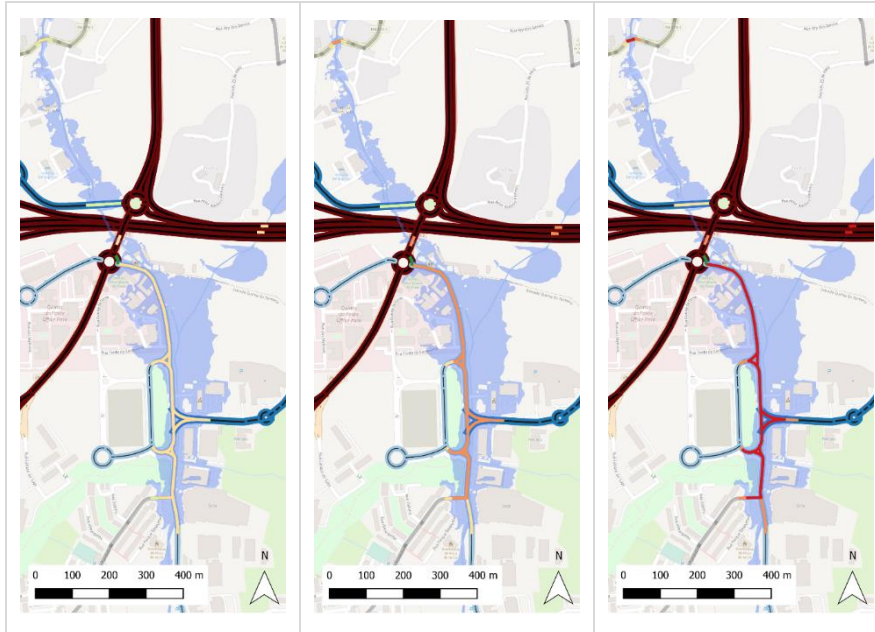


Figura 12 - Bacia da ribeira de Porto Salvo, zonas de Porto Salvo e Quinta da Fonte, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações pluviais. No presente (esq.), e em cenários futuros: 2011-2040 (RCP4.5) e 2041-2070 (RCP8.5) (centro) e 2071-2100 (RCP8.5) (dir.)

Também podemos verificar que, na zona de acessos à A5 e proximidades, existem locais que podem colocar fortes dificuldades no trânsito, por exemplo na ligação entre o lado a norte da autoestrada e o lado sul. Há incerteza quanto à vulnerabilidade assinalada na autoestrada, porque esta encontra-se numa cota elevada. Na zona da Quinta da Fonte, em caso de cheia e inundação, irão existir fortes condicionamentos à circulação na zona, com algumas instalações totalmente ou parcialmente isoladas, com destaque para o quartel operacional de bombeiros voluntários de Paço de Arcos. A circulação entre margens poderá ficar condicionada, apesar de existirem ligações redundantes entre margens.

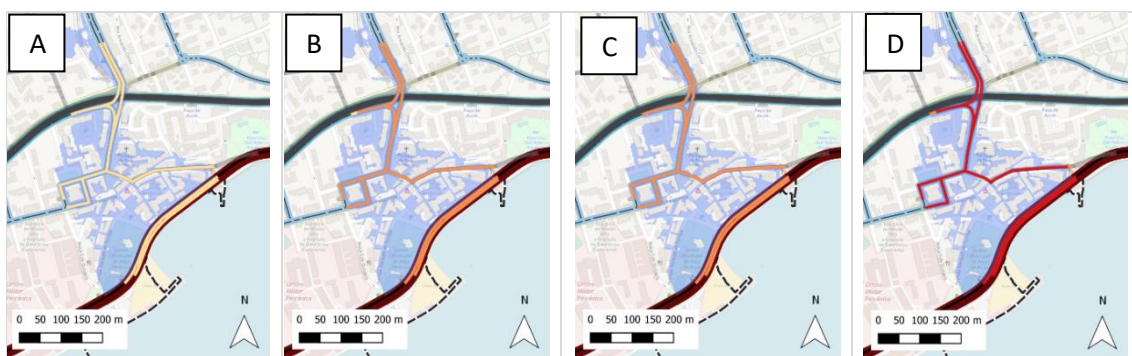


Figura 13 - Bacia da ribeira de Porto Salvo, Paço d'Arcos, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações pluviais, no período (A) presente, e em cenários futuros (B) 2011-2040, RCP4.5; (C) 2041-2070, RCP8.5, e (D) 2071-2100, RCP8.5

A Figura 13 apresenta a vulnerabilidade na baixa de Paço de Arcos. Este local pode apresentar constrangimentos à circulação, desde a Av. Marginal até para lá da linha do comboio. Uma série de arruamentos que não são considerados na análise serão afetados, entre eles o acesso aos Bombeiros Voluntários de Paço de Arcos.



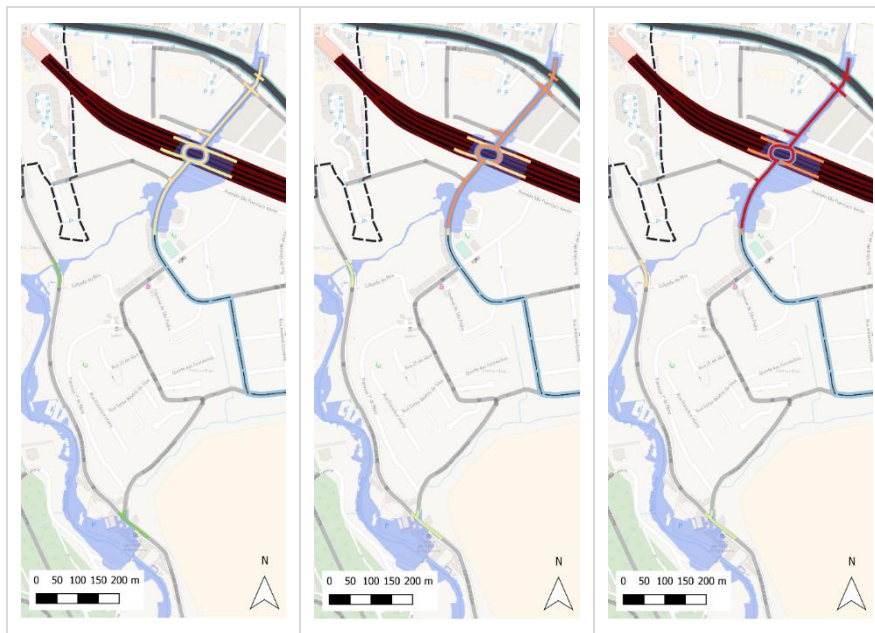


Figura 14 - Bacia de Barcarena, zonas de Tercena e Barcarena, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações pluviais. No presente (esq.), e em cenários futuros: 2011-2040 (RCP4.5) e 2041-2070 (RCP8.5) (centro) e 2071-2100 (RCP8.5) (dir.)

Na Figura 14 verifica-se que as rampas de saída de Barcarena e Massamá no IC19, as estradas que dão acesso à rotunda e a própria rotunda (que está por baixo do viaduto do IC19), estão vulneráveis. Esta situação tem o potencial de provocar constrangimentos notórios, devido à importância desta via coletora/arterial e devido a dificuldades de trânsito entre os dois lados da mesma, que podem surgir. A metodologia aplicada revela ainda uma vulnerabilidade para a linha de comboio, apesar da linha do comboio estar a uma cota elevada da estrada. Este resultado poderá decorrer do facto de as laterais à passagem da linha do comboio agirem como uma barreira ao escoamento de água, coletando todas as escorrências para o encanamento da ribeira, que aí começa.

Verifica-se ainda que na estrada do Cacém existem dois locais vulneráveis, um junto à calçada do Bico e outro frente à Fábrica da Pólvora. Adicionalmente, na mesma estrada (Figura 15 e Figura 16) pode-se verificar que existem mais troços vulneráveis de acesso, bem como na rotunda em Barcarena, nomeadamente a própria estrada do Cacém, Quinta do Monte, R. Felner Duarte e R. Hortense Luz. Caso esta rotunda (Figura 15) fique intransitável devido a inundação haverá constrangimentos consideráveis no trânsito entre as margens da ribeira e na direção norte-sul. Esta situação acaba por ser bastante relevante para a operacionalidade dos bombeiros de Barcarena, uma vez que a saída normal das viaturas se realiza precisamente através da R. Felner Duarte. Neste contexto, é de referir que apesar de existirem alternativas de acesso para as áreas a este da ribeira de Barcarena, o acesso às áreas localizadas a oeste ficam comprometidas uma vez que a alternativa de acesso implica a utilização da A5, o que se traduz no aumentando do tempo de resposta dos bombeiros.



Figura 15 - Bacia de Barcarena, zona de nova Barcarena e Barcarena, à esquerda projeção das vulnerabilidades a longo prazo nos ortofotomapas, à direita a vista de rua desse local (Google Street View) a partir das bombas de gasolina na rua R. Hortense Luz

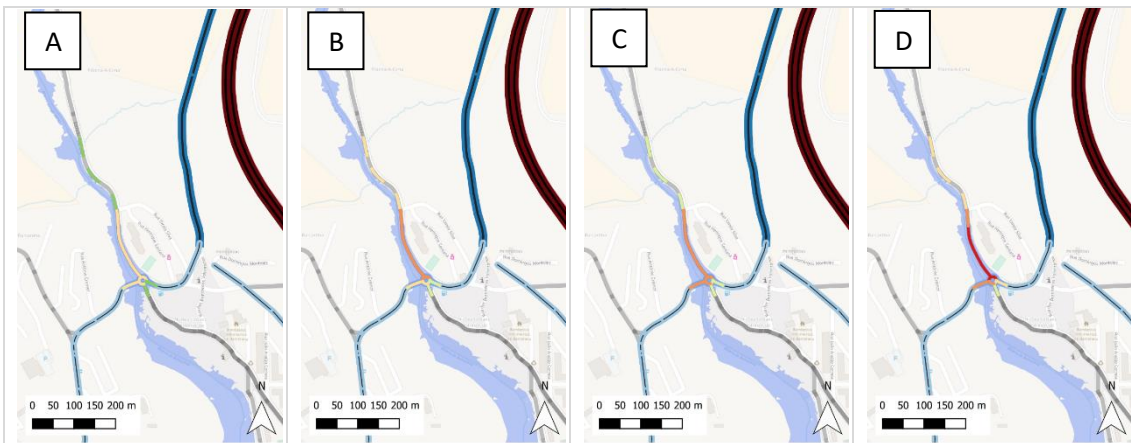


Figura 16 - Bacia de Barcarena, zona de Barcarena, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações pluviais, no período (A) presente, e em cenários futuros (B) 2011-2040, RCP4.5; (C) 2041-2070, RCP8.5, e (D) 2071-2100, RCP8.5

Na Figura 17 podemos verificar a norte, na ligação entre margens, de Laveiras (a ponte) para Murganhal-Caxias (a Nascente), que existe uma vulnerabilidade assinalável e com um potencial elevado de perturbação à circulação. Verifica-se, em todo o mapa, que existe uma série de arruamentos e habitações que estão vulneráveis a inundações (fora do âmbito da análise). À medida que se desce na estrada do Murganhal, em direção a Caxias podemos encontrar troços com vulnerabilidade, em especial nas ligações entre margens. O acumular de situações de interrupção entre margens, ao longo desta bacia indica o potencial para um cenário potencial mais problemático no município na sequência de um evento extremo de precipitação.



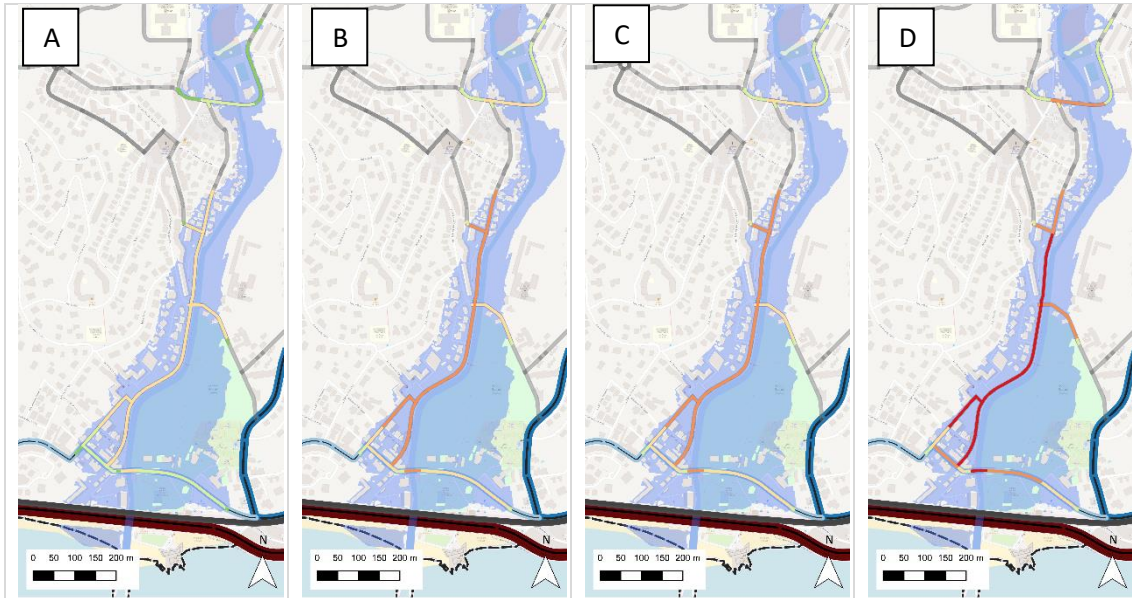


Figura 17 - Bacia de Barcarena, zona de Murganhal, Laveiras e Caxias, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações pluviais, no período (A) presente, e em cenários futuros (B) 2011-2040, RCP4.5; (C) 2041-2070, RCP8.5, e (D) 2071-2100, RCP8.5

O resultado obtido a partir da metodologia adotada mostra que a Avenida Marginal e a linha do comboio não são afetadas, mas dado que a ponte da estrada da Gibalta é afetada e tem uma cota similar, é possível que venha a existir alguma perturbação em situação de evento extremo.

Na Figura 18 é mostrado o detalhe da vulnerabilidade na Estrada da Quinta da Rainha, no ponto mais a norte do rio Jamor, junto aos limites, mas já fora do município. A cota da estrada em relação ao rio Jamor, a orientação da estrada, a extensão e a evolução da vulnerabilidade no tempo antecipam que, a existir uma inundação, esta seja potencialmente menos problemática, mas não se pode descartar que possa existir fenómenos de erosão e movimentos de vertente, dadas as características da margem do rio neste local.

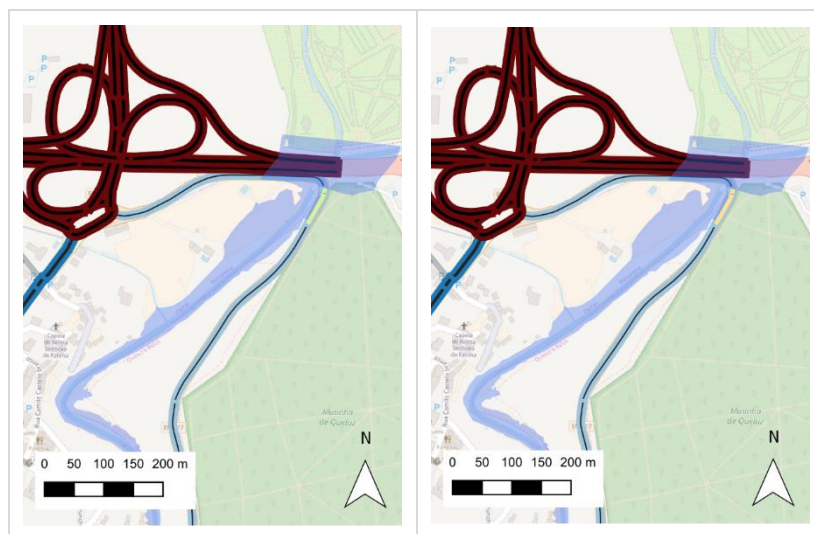


Figura 18 – Bacia do rio Jamor, na zona mais a norte no município, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações fluviais, no presente (esq.) e no curto, médio e longo prazos (dir.)



Figura 19 – Bacia do rio Jamor, zona de Queijas e Carnaxide, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações pluviais. No presente (esq.), e em cenários futuros: 2011-2040 (RCP4.5) e 2041-2070 (RCP8.5) (centro) e 2071-2100 (RCP8.5) (dir.)

Na Figura 19 pode-se verificar de novo o padrão de vulnerabilidade em pontos de passagem entre margens e a existência de estradas que ficam inundadas (fora do âmbito da análise).

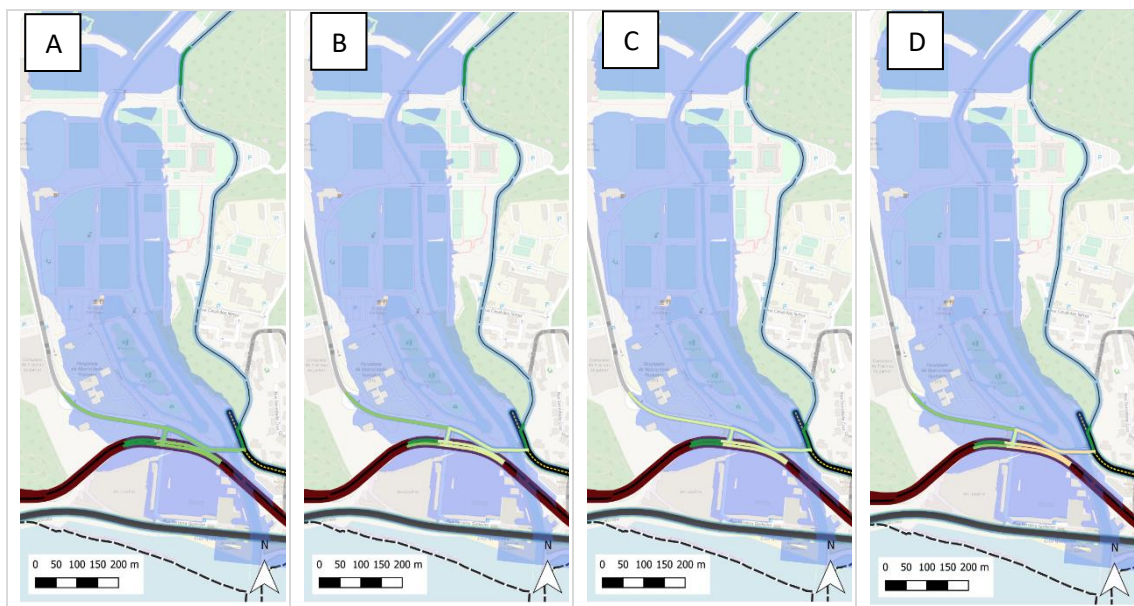


Figura 20 – Bacia do rio Jamor, zona do Estádio Nacional e Cruz Quebrada, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações pluviais, no período (A) presente, e em cenários futuros (B) 2011-2040, RCP4.5; (C) 2041-2070, RCP8.5, e (D) 2071-2100, RCP8.5

Na Figura 20 verifica-se que a norte existe um troço da estrada das Biscoiteiras com vulnerabilidade baixa. Para a Avenida Marginal e acessos são identificadas vulnerabilidades de condicionamento de trânsito numa via coletora/arterial (a de maior importância). Existem ainda várias inundações nos acessos ao Complexo de piscinas do Jamor, Instalações da Faculdade de Motricidade Humana, Driving Range, Centro de Treino de Atletismo, Parque urbano do Jamor e o complexo de Ténis do Estádio Nacional.

Na Figura 21 está assinalada uma vulnerabilidade que pode dificultar o trânsito entre margens da ribeira de Algés, zona de Portela de Carnaxide. Verifica-se que, a ponte, na ribeira da Outurela, existem vulnerabilidades menos significativas, mas que têm o potencial de contribuir para constrangimentos à circulação entre margens. A nascente sul, na ribeira de Algés, existem vulnerabilidades assinaladas para Rua do Proletariado que podem afetar o acesso a espaços comerciais e outras infraestruturas. A nascente norte, na ribeira de Algés, existe uma vulnerabilidade na Rua Quita do Pazinho, entre o acesso à ao espaço comercial Makro e a rotunda no outro lado da margem, o que poderá colocar fortes condicionantes ao trânsito entre margens, que eventualmente será compensado pela existência de estradas redundantes disponíveis no município de Lisboa (Alfragide), sobre as quais não foi estudada a vulnerabilidade. Os acessos a espaços comerciais e parque de estacionamento nas proximidades deste local poderão ser afetados.



Figura 21 – Bacia de Algés, zona de Portela de Carnaxide, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações pluviais. No presente (cima), e em cenários futuros: 2011-2040 (RCP4.5) e 2041-2070 (RCP8.5) (meio) e 2071-2100 (RCP8.5) (baixo)



Na Figura 22 podemos verificar que, ao descer em direção a Algés existe uma série de locais cuja vulnerabilidade aumenta ao longo do tempo, com potencial de dificultar seriamente o trânsito entre margens, bem como ao longo da ribeira. A norte, na Avenida Professor Doutor Bernardino Machado, verifica-se um pequeno troço vulnerável que pode contribuir para um maior isolamento entre nascente e poente, já detetado anteriormente nesta ribeira. Um dos acessos à CRIL, que é uma via Coletora/Arterial importante, tem um troço vulnerável. Em direção a sul poderão existir inundações com impacto significativo em vias distribuidoras principais e locais, já vulneráveis, bem como muitos arruamentos não analisados e outras estradas que poderão ser afetadas. Por exemplo, no Impasse à Estrada da Portela, a chegar à rotunda e na rotunda, e Rua Quinta das Romeiras (acesso da CRIL a Algés e onde a situação é pior). Mais a sul, a situação repete-se na Av. General Norton de Matos, na Av. dos Bombeiros Voluntários de Algés, na rotunda que as liga, bem como na rotunda seguinte, onde a vulnerabilidade é menor, assim como na via em direção a Algés.

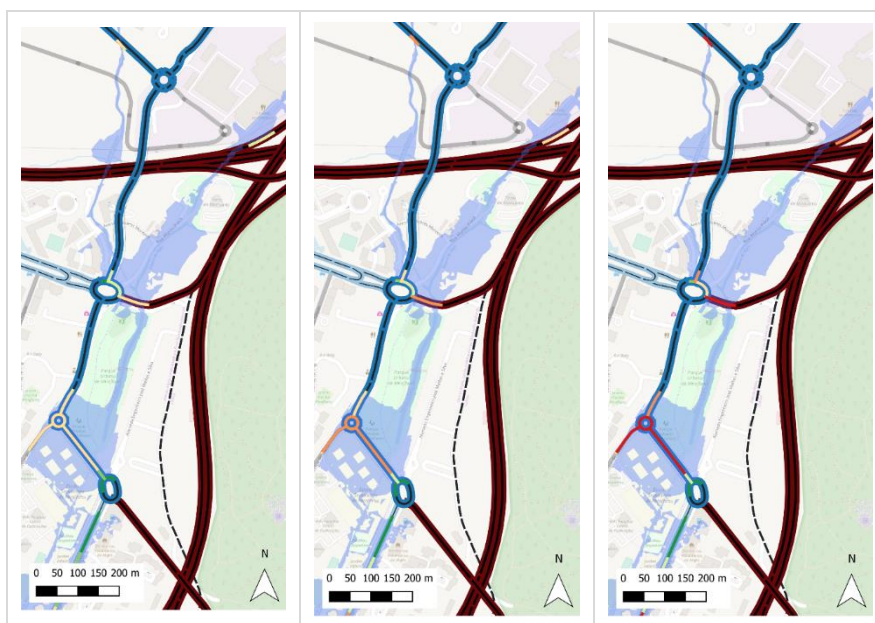


Figura 22 – Bacia de Algés, zonas de Miraflores e Algés, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações pluviais. No presente (esq.), e em cenários futuros: 2011-2040 (RCP4.5) e 2041-2070 (RCP8.5) (centro) e 2071-2100 (RCP8.5) (dir.)

Verifica-se na Figura 23 que, ao descer a Av. dos Bombeiros Voluntários de Algés, vários troços de via apresentam vulnerabilidade. É espectável que, em situações extremas existam perturbações muito significativas à circulação, com uma série de arruamentos inundados. A operacionalidade dos bombeiros de Algés poderá ficar comprometida parcial ou totalmente, dado que os acessos ao quartel são zonas potencialmente inundáveis.



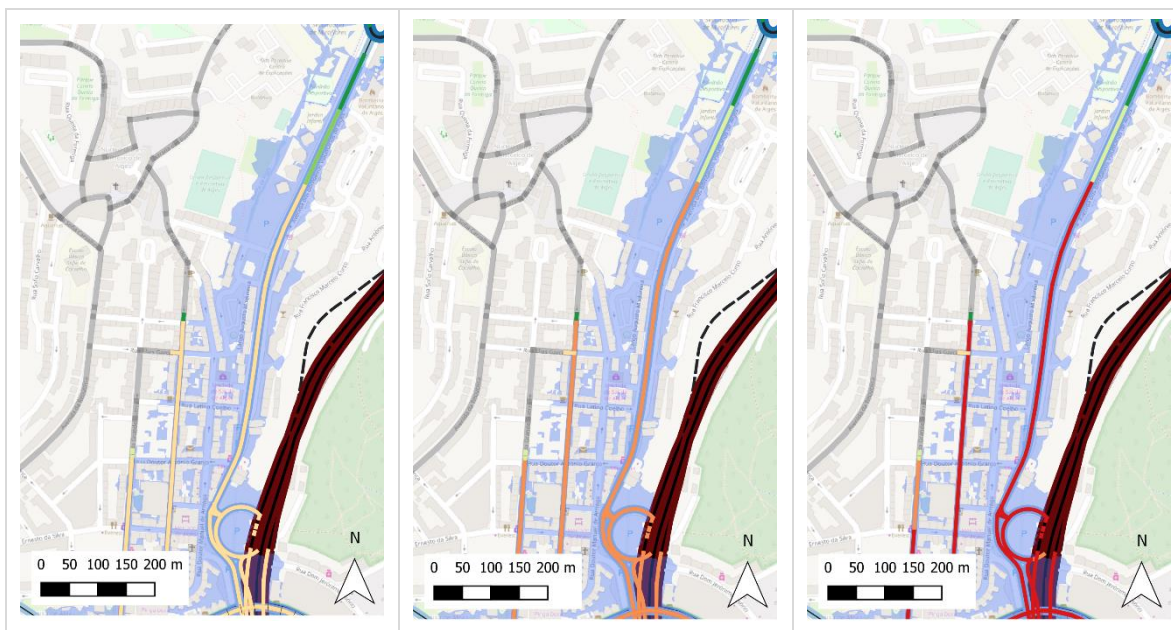
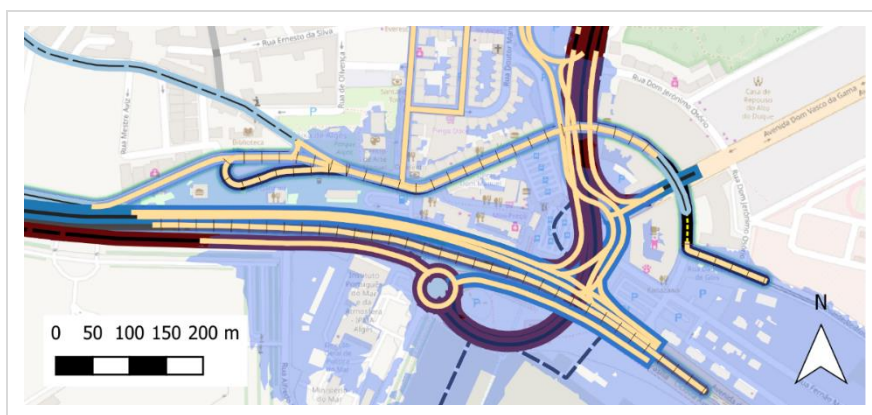


Figura 23 – Bacia de Algés, zona de Algés, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações pluviais. No presente (esq.), e em cenários futuros: 2011-2040 (RCP4.5) e 2041-2070 (RCP8.5) (centro) e 2071-2100 (RCP8.5) (dir.)

Na Figura 24 verifica-se que na zona da baixa de Algés (e zona adjacente do Restelo, município de Lisboa) existe uma extensa área vulnerável, afetando, direta e indiretamente, toda a rede viária nesse local. Apenas a CRIL, que se encontra numa cota superior, estará salvaguardada, contudo os seus acessos poderão ficar intransitáveis. A área inundável neste local é particularmente extensa, expondo também a rede ferroviária existente, eléctrico da Carris e comboio da CP, assim como vários arruamentos de menor expressão.

A vulnerabilidade modelada para este local poderá gerar condicionamentos na linha de Cascais. A situação é agravada pelo facto de a baixa de Algés ser uma zona de interface entre vários modos de transporte, o que poderá originar constrangimentos em cadeia no trânsito rodo e ferroviário que se pode prolongar após um evento extremo.



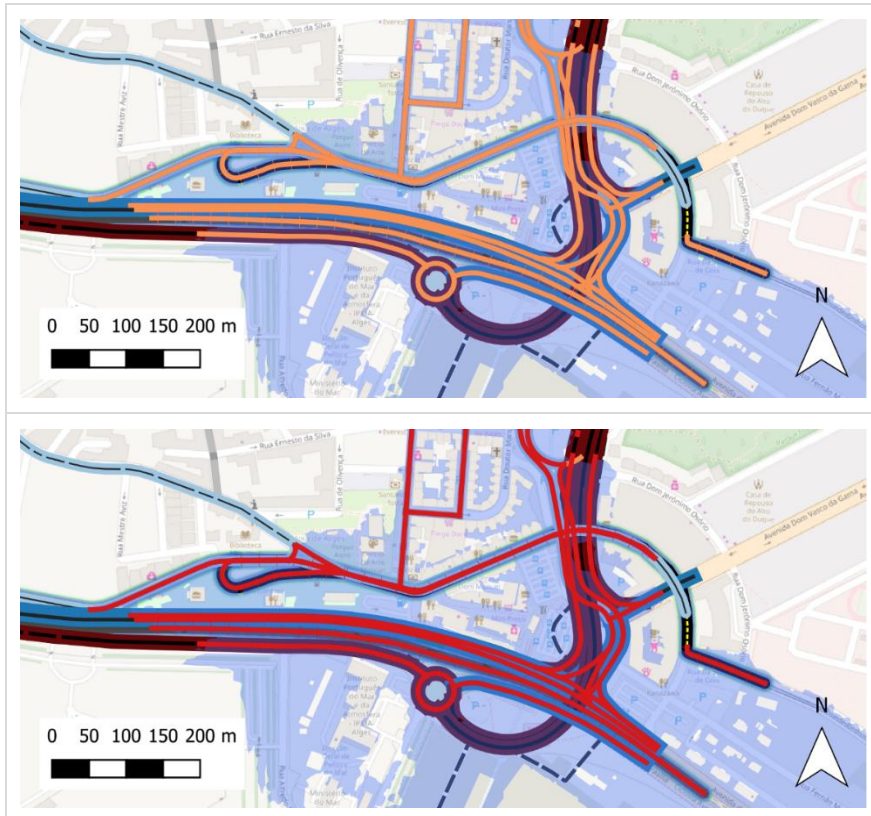


Figura 24 – Bacia de Algés, zona de Algés, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a cheias e inundações pluviais. No presente (cima), e em cenários futuros: 2011-2040 (RCP4.5) e 2041-2070 (RCP8.5) (meio) e 2071-2100 (RCP8.5) (baixo)

### 3.2. INUNDAÇÕES COSTEIRAS

Conforme descrito no relatório do setor Orla Ribeirinha, em todos os cenários de forçamento existem impactos significativos nas vias de comunicação rodo e ferroviárias. Nas Figura 25, Figura 26, Figura 27, Figura 28, Figura 29 e Figura 30, estão representadas as principais zonas vulneráveis a inundações costeiras devido à ocorrência de níveis de mar extremos, com período de retorno de 100 anos, para dois cenários de subida do NMM ( $I_{100+0,5}$  e  $I_{100+1,50}$ ) e o cenário de referência ( $I_{100\_Ref}$ ), com a identificação dos principais troços potencialmente afetados e das infraestruturas portuárias.

Ainda que em alguns locais a inundação costeira não afete vias de comunicação principais, poderá impedir o seu acesso.

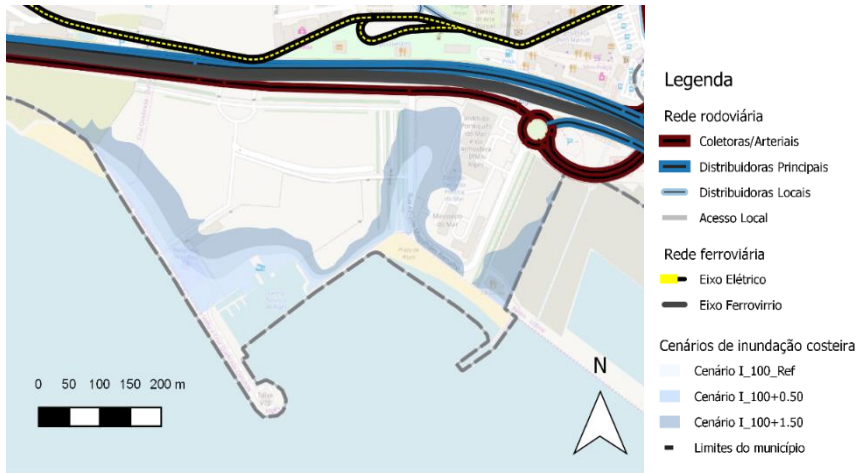


Figura 25 – Baixa de Algés, vulnerabilidade das infraestruturas portuárias a inundações costeiras



Figura 26 – Dafundo, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a inundações costeiras

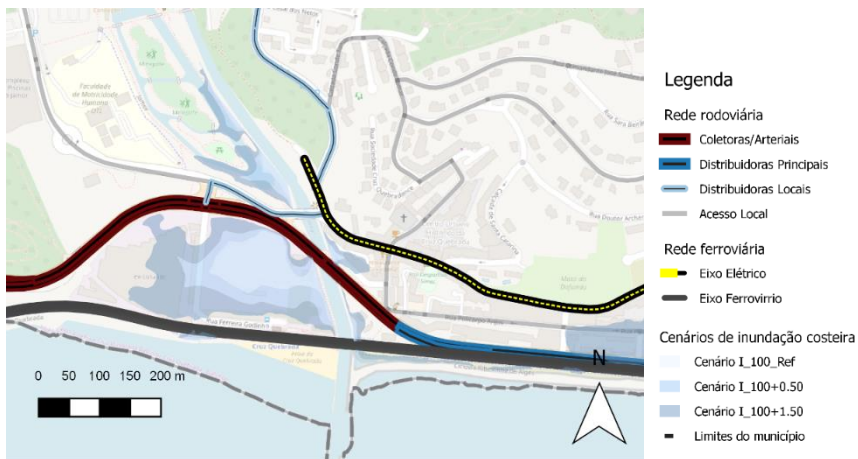


Figura 27 – Cruz Quebrada, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a inundações costeiras



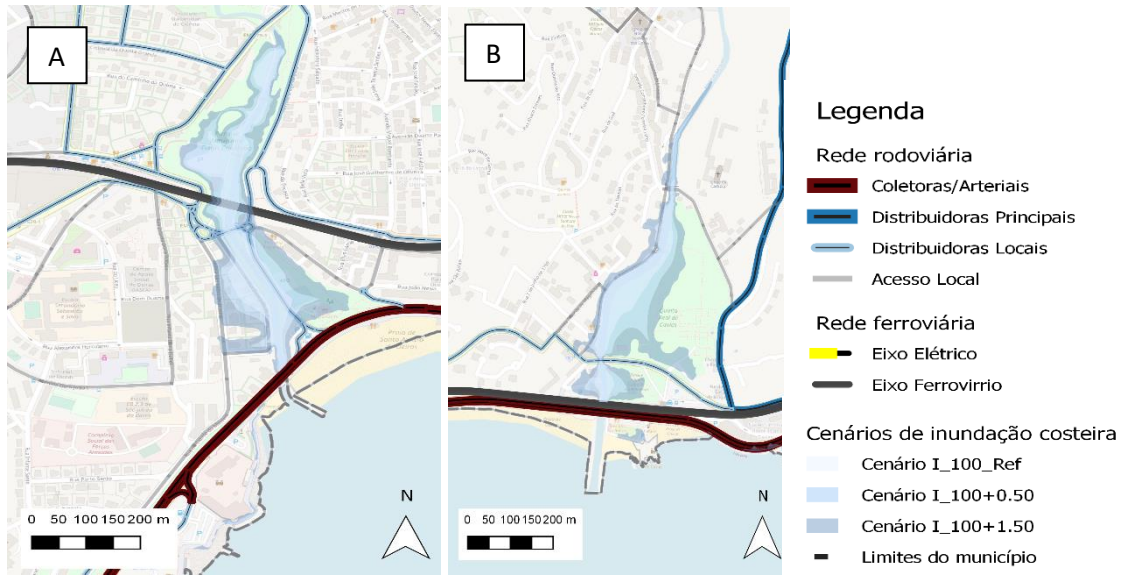


Figura 28 – Santo Amaro de Oeiras (A) e Caxias (B), vulnerabilidade das infraestruturas de transportes a inundações costeiras



Figura 29 – Paço de Arcos, vulnerabilidade das infraestruturas de transportes e portuárias a inundações costeiras





Figura 30 – Porto de Recreio de Oeiras, vulnerabilidade das infraestruturas portuárias a inundações costeiras

No caso destes eventos serem coincidentes com precipitações elevadas, as inundações (costeiras e pluviais) modeladas poderão ser amplificadas pela sinergia dos eventos.

### 3.3. GALGAMENTOS COSTEIROS

Embora este tema seja desenvolvido em maior detalhe no relatório do setor *Orla Ribeirinha*, a Figura 31 e Figura 32 mostram a percentagem de comprimento de infraestruturas pedonais (passeio marítimo) e rodo e ferroviárias, potencialmente afetadas por caudais de galgamento considerados perigosos para a segurança de pessoas e bens, bem como para a circulação rodo e ferroviária (i.e. valor de caudal superior a  $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  por metro). Nas mesmas figuras é possível avaliar a percentagem de infraestruturas potencialmente afetadas para os períodos de retorno de 50 e de 100 anos, para o cenário de referências e para os cenários futuros de aumento do nível médio do mar de 0,5 e 1,5 m.

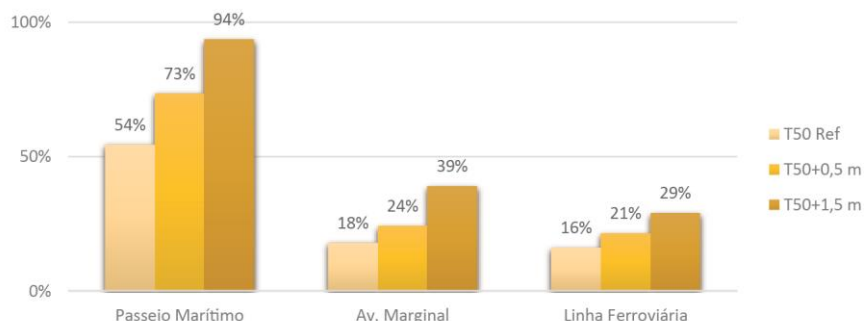


Figura 31 - Percentagem de comprimento das infraestruturas potencialmente afetadas por caudais de galgamento considerados perigosos (i.e. superiores, a  $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  por metro), para T=50 anos

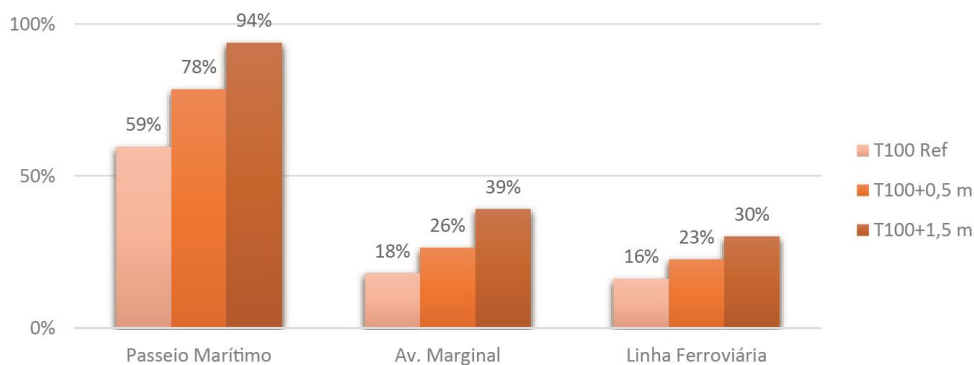


Figura 32 - Percentagem de comprimento das infraestruturas potencialmente afetadas por caudais de galgamento considerados perigosos (i.e., superiores a  $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  por metro), para T=100 anos

A distribuição espacial da exposição das vias de comunicação a eventos de galgamento costeiro tende a aumentar, com maior expressão no final do século em Santo Amaro de Oeiras (foz da ribeira da Laje), Paço de Arcos, Caxias, Alto da Boa Viagem, Vale do Jamor, Cruz Quebrada e Dafundo. Projeta-se para a Av. Marginal maior exposição na zona entre Paço de Arco e Caxias e no Dafundo. Para a linha de Cascais, o troço potencialmente mais exposto é entre Caxias e Dafundo. No que concerne à mobilidade suave do passeio marítimo, projeta-se elevada exposição em toda a sua extensão.

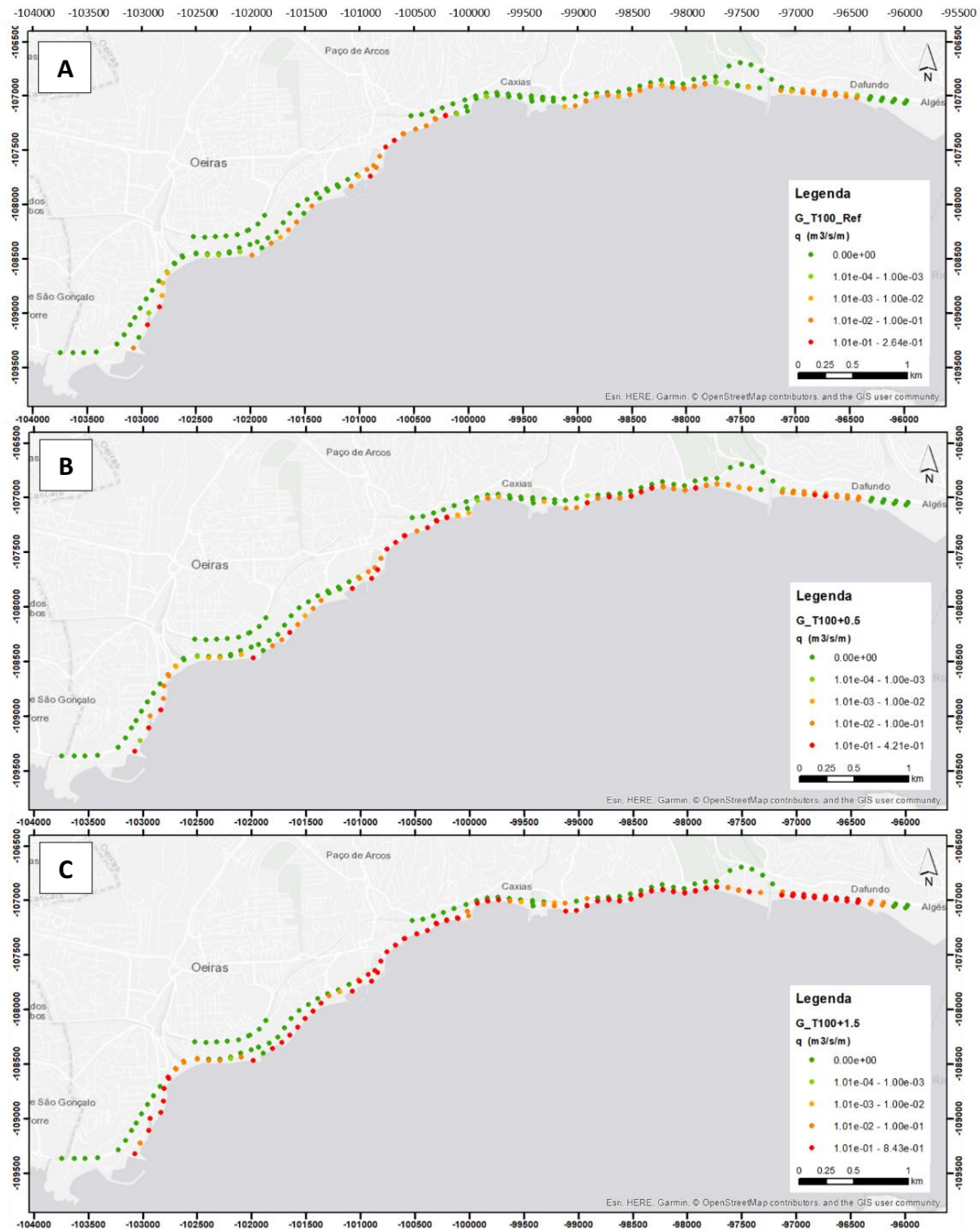


Figura 33 - Distribuição espacial dos níveis de caudal médio de galgamento, ao nível do passeio marítimo, Av. Marginal e Linha Ferroviária, para os cenários de Ref. (A), +0,5 m (B) e +1,5 m (C), para as condições de mar com T=100 anos

No âmbito deste trabalho, não foi modelado o efeito do galgamento nas infraestruturas portuárias, contudo é expectável que possa alterar o efeito de abrigo produzido pelos molhes e estruturas de proteção, podendo gerar períodos de inoperacionalidade.

### 3.4. TEMPERATURAS ELEVADAS

A temperatura do ar apurada, usando o histórico de reanálise (ERA-Interim), foi de 31,8°C, o que resultou numa temperatura de pavimento de 52,4°C ( $T_p$ ). Conforme a Tabela 9, foram usadas as

de  $T_{am}$  (obtidas a partir de nove modelos de projeção e do ensemble que deles resulta) para subsequentemente calcular  $T_{pm}$ , para os períodos do histórico simulado e dos cenários RCP4.5 e RCP8.5 (cada um com três períodos), no sentido de encontrar os resultados médios e extremos.

Variável	Modelo global	Modelo regional	Histórico simulado (1971-2000)	RCP4.5			RCP8.5			
				2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100	
Temperatura do ar modelada (°C) - Tam  (Temperatura máxima de 7 dias consecutivos no período de 30 anos)	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CLMcom-CCLM 4-8-17	35,8	36,7	38,0	38,5	37,0	38,1	40,4	
		SMHI-RCA4	33,7	34,5	35,7	35,6	34,5	35,6	37,0	
	ICHEC-EC-EARTH	CLMcom-CCLM 4-8-17	35,9	35,9	38,4	38,9	36,6	38,6	40,4	
		DMI-HIRHAM5	31,3	32,4	33,3	33,1	32,4	33,6	35,5	
		KNMI-RACMO22E	32,1	32,7	33,9	33,3	32,6	34,4	35,7	
	IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	33,0	33,7	35,3	35,3	33,5	34,9	37,2	
		IPSL-INERIS-WRF 3.3.1	29,5	30,7	31,4	31,6	30,7	32,2	33,4	
	MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM 4-8-17	36,7	37,5	39,3	40,0	38,6	40,2	42,9	
		SMHI-RCA4	34,9	35,8	37,0	37,2	33,5	34,9	37,2	
	<b>Ensemble de modelos</b>			<b>33,6</b>	<b>34,4</b>	35,8	35,9	34,4	<b>35,8</b>	<b>37,7</b>
	<b>Anomalia na temperatura (ensemble)</b>			-	<b>0,8</b>	2,2	2,3	0,8	<b>2,2</b>	<b>4,1</b>

Tabela 9 - Cálculo da temperatura máxima de 7 dias consecutivos em cada período de análise (A tons de cinzento estão os períodos e cenários considerados na análise)

Na Tabela 10 podemos verificar que na situação presente, segundo o histórico de reanálise, a temperatura do pavimento a 20 mm ( $T_p$ ) se situa nos 52,4°C. Considerando o método PG, a esta temperatura um ligante asfáltico classificado com PG-58<sup>1</sup> tem uma fiabilidade de 97%<sup>2</sup>. O mínimo requerido é de 98%, contudo diferença é muito pequena, podendo resultar da incerteza dos dados utilizados, do período recente que está incluído nos dados e do método em si. Para os períodos futuros, é apresentada a fiabilidade futura (tomando como base uma graduação PG-58).

<sup>1</sup> Ligante asfáltico que consegue manter as suas propriedades mecânicas até uma temperatura de 58°C para as condições de projeto considerando número padrão de cargas rápidas e transitórias.

<sup>2</sup> Se for considerado o desvio padrão de 3°C proposto pelo método, mas se for considerada a variância da temperatura máxima calculada para Oeiras (5,3°C), teria de ser feito o mesmo exercício a partir da graduação PG-64.



Dados	Parâmetro	Histórico Reanálise	Histórico modelado	RCP4.5 2011-2040	RCP8.5 2041-2070	RCP8.5 2071-2100
Era-Interim	Temperatura do ar (°C)	31,8	-	-	-	-
	<b>Temperatura do pavimento (°C)</b>	<b>52,4</b>	-	-	-	-
	<b>Fiabilidade (PG-58)</b>	<b>97%</b>	-	-	-	-
Ensemble de modelos	Temperatura do ar modelado (°C)	-	33,6	34,4	35,8	37,7
	Anomalia da Temperatura do ar modelada (°C)	-	-	0,8	2,2	4,2
Aplicação do método de delta (Era-Interim + Ensemble de modelos)	Temperatura do ar projetado (°C)	-	-	32,6	34,0	35,9
	<b>Temperatura do pavimento projetado (°C)</b>	-	-	<b>53,2</b>	<b>54,5</b>	<b>56,4</b>
	<b>Fiabilidade (PG-58)</b>	-	-	<b>95%</b>	<b>88%</b>	<b>71%</b>

Tabela 10 - Resumo de valores da temperatura de pavimento e fiabilidade no presente, curto, médio e longo prazo em Oeiras

Considera-se que a graduação PG-58 está adaptada ao período presente, mas que já no curto prazo poderão surgir os primeiros problemas associados à perda de fiabilidade do pavimento, podendo haver uma deformação plástica pontual, com a diminuição da fiabilidade ao longo do século. Será expectável que a perda de fiabilidade seja mais acentuada em vias secundárias com elevado tráfego ou tráfego de pesados (e.g. acessos a zonas industriais).

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho realizado para o setor Transportes e Vias de Comunicação faz uma abordagem às vulnerabilidades atuais e futuras que decorrem de fatores climáticos sobre os quais se projetam alterações ao longo do século.

Projeta-se um aumento da extensão dos troços de vias vulneráveis a inundações, tanto fluviais como costeiras, afetando principalmente as margens dos troços mais a jusante das ribeiras Laje, Porto Salvo, Barcarena e Algés, e do rio Jamor, com potencial de condicionar o tráfego nestas zonas.

Em situações de inundação pluvial, as travessias de ribeiras e rios poderão ser alvo de condicionamentos. Esta situação poderá levar ao desvio de percursos habituais, recorrendo a percursos alternativos mais extensos e demorados. Esta situação pode acontecer, por exemplo, na ribeira da Lage (na zona de Santo Amaro), ribeira de Porto Salvo (na zona de Paço de Arcos) ou ribeira de Barcarena (na zona de Caxias) e no rio Jamor (entre o Dafundo e a Cruz Quebrada). Em termos de inundações pluviais, o destaque vai para a zona da baixa de Algés, Dafundo, Santo Amaro e Paço de Arcos.

No caso dos eventos de galgamento, na Av. Marginal projeta-se maior vulnerabilidade em Santo Amaro, zona entre Paço de Arco e Caxias e no Dafundo. Para a linha de Cascais, o troço potencialmente mais exposto é entre Caxias e Dafundo. No que concerne à mobilidade suave do passeio marítimo, projeta-se elevada exposição em toda a sua extensão. No total existem 20 km de vias rodoviárias e 3,5 km de ferrovia com algum nível de vulnerabilidade, relacionadas com inundações e cheias (fluviais e costeiras) e galgamentos costeiros.

No que diz respeito à fiabilidade do pavimento em resposta à ocorrência de temperaturas elevadas, no período de curto prazo são esperados impactos pontuais e localizados no pavimento das estradas do município, decorrentes da exposição a temperaturas elevadas, para pavimentos do tipo PG-58, ou inferior. Os primeiros casos de degradação precoce do pavimento poderão ocorrer onde as solicitações forem maiores, com tendência a aumentar a perda de fiabilidade dos pavimentos rodoviários ao longo do século. Dado a extensão e carácter da análise ao nível do município, foi admitido um único tipo de pavimento para todos os tipos de vias, pelo que se considera aconselhável proceder a uma análise de maior resolução aquando de uma intervenção.

Para os utilizadores dos meios de transporte, projeta-se um aumento da sua vulnerabilidade devido ao acréscimo da exposição a eventos de calor extremo, tanto devido a eventos de temperatura elevada como de ondas de calor.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Alves, L. R. R. (2011). *Ligantes betuminosos e a normalização europeia*. FEUP.
- AML. (2016). *Fórum Mobilidade e Sistemas Metropolitanos de Transportes: Direito à Mobilidade com Transportes Públicos Sustentáveis*. Retrieved from [http://www.aml.pt/susProjects/susWebBackOffice/uploadFiles/wt1wwpgf\\_aml\\_sus\\_pt\\_s ite/componentText/SUS57A1C4D85F573/FORUM\\_CARTAZAML\\_03032016.PDF](http://www.aml.pt/susProjects/susWebBackOffice/uploadFiles/wt1wwpgf_aml_sus_pt_s ite/componentText/SUS57A1C4D85F573/FORUM_CARTAZAML_03032016.PDF)
- APA, Denário, & FCUL. (2015). *Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAAAC 2020)*. Agência Portuguesa do Ambiente.
- Barrão, L. C. S. P. de C. (2011). *Avaliação do comportamento de misturas betuminosas sob temperaturas elevadas*. Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- CMO. (2010). Plano Municipal de Emergência de Proteção Civil de Oeiras. Retrieved from [http://pdm.cm-oeiras.pt/DownloadHandler.ashx?pg=0deadc6-e52b-42b0-a5e0-8c7027eff19e&section=13a7f05f-a684-47d5-b756-144b1e22dcb6&file=PMEmergencia\\_v15.pdf](http://pdm.cm-oeiras.pt/DownloadHandler.ashx?pg=0deadc6-e52b-42b0-a5e0-8c7027eff19e&section=13a7f05f-a684-47d5-b756-144b1e22dcb6&file=PMEmergencia_v15.pdf)
- ECMWF, E. C. for M.-R. W. F. (2018). ERA-Interim.
- Fall. (2014). Choosing an Asphalt Grade Based on Required Reliability.
- GPDEIG/CMO. (2013). Relatório de Caracterização e Diagnóstico Concelho de Oeiras. Volume I. In *PDM 2015*. Oeiras.
- INE. (2018). *PLANO DE AÇÃO DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL DA ÁREA METROPOLITANA DE LISBOA Volume I-Relatório*. Retrieved from [http://www.cm-oeiras.pt/pt/viver/mobilidade/PublishingImages/Paginas/portugal2020\\_pamus/PAMUS\\_AMLversão-final-Vol-I-Relatório.pdf](http://www.cm-oeiras.pt/pt/viver/mobilidade/PublishingImages/Paginas/portugal2020_pamus/PAMUS_AMLversão-final-Vol-I-Relatório.pdf)
- IPCC. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Pachauri, Rajendra K Allen, Myles R Barros, Vicente R Broome, John Cramer, Wolfgang Christ, Renate Church, John A Clarke, Leon Dahe, Qin Dasgupta, Purnamita Others. IPCC.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L. M., ... Yiou, P. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2), 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Nemry, F., & Demirel, H. (2012). Impacts of Climate Change on Transport: A focus on road and rail transport infrastructures. *European Commission, Joint Research Centre (JRC), Institute for Prospective Technological Studies (IPTS)*.
- NHI. (2000). *Superpave Fundamentals: Reference Manual (NHI Course #131053)*. Federal Highway Administration - FHWA, National Highway Intitute. U.S. Department of Transportation.
- Willway, T., Baldachin, L., Reeves, S., & Harding, M. (2008). *The effects of climate change on highway pavements and how to minimise them: Technical report*.

## 7. FICHA TÉCNICA

### Título

Plano Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas de Oeiras (PMAACO) – Relatório Transportes e Vias de Comunicação 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)