

Atualização da Cartografia de Riscos Climáticos na Região de Lisboa e Vale do Tejo

20 de dezembro de 2024



CEG

Centro de Estudos Geográficos



Instituto de Geografia
e Ordenamento do Território
UNIVERSIDADE DE LISBOA

Equipa de Trabalho:

José Luís Zêzere (Coordenador)

Jorge Rocha

Raquel Melo

Cláudia Viana

Sérgio Oliveira

Pedro Santos

Ricardo Garcia

Eusébio Reis

Beatriz Duarte

Guilherme Rodrigues

Índice

1.	Introdução	9
2.	Avaliação e cartografia de riscos climáticos	10
2.1	Cenarização climática	10
2.2	Avaliação de perigos climáticos	12
2.2.1	Incêndios rurais / florestais	13
2.2.2	Erosão hídrica do solo	24
2.2.3	Instabilidade de vertentes	33
2.2.4	Inundações fluviais	41
2.2.5	Inundações estuarinas	46
2.2.6	Inundações e galgamentos costeiros	54
2.2.7	Erosão costeira e recuo de arribas	62
2.2.8	Calor excessivo	67
2.2.9	Seca	75
2.2.10	Tempestades de vento	83
2.3	Avaliação do risco atual e futuro	88
2.3.1	Introdução	88
2.3.2	Suscetibilidade multiperigo atual e futura	91
2.3.3	Exposição atual e futura	98
2.3.4	Vulnerabilidade social	111
2.3.5	Índice de risco climático mutiperigo	117
	Referências	123

Índice de Figuras

Figura 1 – Forçadores climáticos e perigos climáticos relevantes na Região de Lisboa e Vale do Tejo	12
Figura 2 – Curva de predição do modelo de suscetibilidade a incêndios rurais/florestais em Portugal Continental. As linhas a vermelho definem as 10 classes de suscetibilidade identificadas	14
Figura 3 – Suscetibilidade atual (2019) aos incêndios rurais/florestais na Região de Lisboa e Vale do Tejo	18
Figura 4 – Suscetibilidade aos incêndios rurais/florestais na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2045 (cenário RCP 4.5)	19
Figura 5 – Suscetibilidade aos incêndios rurais/florestais na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2045 (cenário RCP 8.5)	20
Figura 6 – Suscetibilidade aos incêndios rurais/florestais na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2080 (cenário RCP 4.5)	21
Figura 7 – Suscetibilidade aos incêndios rurais/florestais na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2080 (cenário RCP 8.5)	22
Figura 8 – Suscetibilidade atual (2015) à erosão hídrica do solo na Região de Lisboa e Vale do Tejo	29
Figura 9 – Suscetibilidade à erosão hídrica do solo na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2050 (cenário RCP 4.5)	30
Figura 10 – Suscetibilidade à erosão hídrica do solo na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2050 (cenário RCP 8.5)	31
Figura 11 – Curva de sucesso do modelo de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertente e definição das classes de suscetibilidade em função da área instabilizada	35
Figura 12 – Suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em vertentes na Região de Lisboa e Vale do Tejo (atual e futuro, RCP 4.5, RCP 8.5)	39
Figura 13 – Suscetibilidade à ocorrência de inundação por cheias progressivas e cheias rápidas na Região de Lisboa e Vale do Tejo (atual e futuro, RCP 4.5, RCP 8.5)	43
Figura 14 – Suscetibilidade atual (2011) à ocorrência de inundação estuarina na Região de Lisboa e Vale do Tejo	48
Figura 15 – Suscetibilidade à ocorrência de inundação estuarina na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2050 (cenário RCP 4.5)	49
Figura 16 – Suscetibilidade à ocorrência de inundação estuarina na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2050 (cenário RCP 8.5)	50
Figura 17 – Suscetibilidade à ocorrência de inundação estuarina na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2100 (cenário RCP 4.5)	51

Figura 18 – Suscetibilidade à ocorrência de inundação estuarina na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2100 (cenário RCP 8.5)	52
Figura 19 – Suscetibilidade atual (2011) à ocorrência de inundação e galgamento costeiro na Região de Lisboa e Vale do Tejo	56
Figura 20 – Suscetibilidade à ocorrência de inundação e galgamento costeiro na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2050 (cenário RCP 4.5)	57
Figura 21 – Suscetibilidade à ocorrência de inundação e galgamento costeiro na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2050 (cenário RCP 8.5)	58
Figura 22 – Suscetibilidade à ocorrência de inundação e galgamento costeiro na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2100 (cenário RCP 4.5)	59
Figura 23 – Suscetibilidade à ocorrência de inundação e galgamento costeiro na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2100 (cenário RCP 8.5)	60
Figura 24 – Suscetibilidade atual (2011) à erosão costeira e recuo de arribas na Região de Lisboa e Vale do Tejo	64
Figura 25 – Suscetibilidade à erosão costeira e recuo de arribas na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2100 (RCP 4.5, RCP 8.5)	65
Figura 26 – Suscetibilidade à ocorrência de calor excessivo na Região de Lisboa e Vale do Tejo - Histórico Modelado (1971-2000)	68
Figura 27 – Suscetibilidade à ocorrência de calor excessivo na Região de Lisboa e Vale do Tejo em meados do século XXI (2041-2070) (cenário RCP 4.5)	70
Figura 28 – Suscetibilidade à ocorrência de calor excessivo na Região de Lisboa e Vale do Tejo em meados do século XXI (2041-2070) (cenário RCP 8.5)	71
Figura 29 – Suscetibilidade à ocorrência de calor excessivo na Região de Lisboa e Vale do Tejo no final do século XXI (2071-2100) (cenário RCP 4.5)	72
Figura 30 – Suscetibilidade à ocorrência de calor excessivo na Região de Lisboa e Vale do Tejo no final do século XXI (2071-2100) (cenário RCP 8.5)	73
Figura 31 – Suscetibilidade à ocorrência de seca na Região de Lisboa e Vale do Tejo - Histórico Modelado (1971-2000)	76
Figura 32 – Suscetibilidade à ocorrência de seca na Região de Lisboa e Vale do Tejo em meados do século XXI (2041-2070) (cenário RCP 4.5)	78
Figura 33 – Suscetibilidade à ocorrência de seca na Região de Lisboa e Vale do Tejo em meados do século XXI (2041-2070) (cenário RCP 8.5)	79
Figura 34 – Suscetibilidade à ocorrência de seca na Região de Lisboa e Vale do Tejo no final do século XXI (2071-2100) (cenário RCP 4.5)	80
Figura 35 – Suscetibilidade à ocorrência de seca na Região de Lisboa e Vale do Tejo no final do século XXI (2071-2100) (cenário RCP 8.5)	81

Figura 36 – Suscetibilidade à ocorrência de vento intenso na Região de Lisboa e Vale do Tejo (atual e futuro, RCP 4.5, RCP 8.5)	86
Figura 37 – Metodologia de avaliação de riscos climáticos na região de Lisboa e Vale do Tejo	88
Figura 38 – Suscetibilidade multiperigo atual nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo	93
Figura 39 – Suscetibilidade multiperigo em 2050 (RCP 4.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo	94
Figura 40 – Suscetibilidade multiperigo em 2050 (RCP 8.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo	95
Figura 41 – Suscetibilidade multiperigo em 2100 (RCP 4.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo	96
Figura 42 – Suscetibilidade multiperigo em 2100 (RCP 8.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo	97
Figura 43 – Exposição multiperigo atual nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo	100
Figura 44 – Exposição multiperigo em 2050 (RCP 4.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo	101
Figura 45 – Exposição multiperigo em 2050 (RCP 8.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo	102
Figura 46 – Exposição multiperigo em 2100 (RCP 4.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo	103
Figura 47 – Exposição multiperigo em 2100 (RCP 8.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo	104
Figura 48 – Vulnerabilidade social em 2021 nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo	116
Figura 49 – Risco multiperigo atual nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo	117
Figura 50 – Risco multiperigo em 2050 (RCP 4.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo	118
Figura 51 – Risco multiperigo em 2050 (RCP 8.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo	119
Figura 52 – Risco multiperigo em 2100 (RCP 4.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo	120
Figura 53 – Risco multiperigo em 2100 (RCP 8.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo	121

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Probabilidade anual atual de ocorrência de incêndios rurais/florestais (por célula de 625 m²)	15
Tabela 2 – Áreas ardidas médias anuais (hectares) projetadas para o futuro nos clusters NW e SW da península Ibérica, em cenários de alterações climáticas (baseado em Sousa et al., 2015)	16
Tabela 3 – Percentagem de área ocupada por classe de suscetibilidade aos incêndios rurais/florestais	17
Tabela 4 – Áreas com suscetibilidade elevada, muito elevada e/ou extrema aos incêndios rurais/florestais, expressa em % da superfície dos municípios da região de LVT	23
Tabela 5 – Classificação da suscetibilidade de erosão potencial do solo	26
Tabela 6 – Percentagem de área ocupada por classe de suscetibilidade à erosão hídrica do solo	27
Tabela 7 – Áreas com suscetibilidade elevada e/ou muito elevada à erosão hídrica do solo, expressa em % da superfície dos municípios da região de LVT	32
Tabela 8 – Probabilidade anual atual de ocorrência de movimentos de massa em vertentes (por célula de 100 m²)	36
Tabela 9 – Probabilidade de ocorrência de movimentos de massa em vertentes (por célula de 100 m²) em períodos de 30 anos, nos cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5	38
Tabela 10 – Áreas com suscetibilidade elevada e/ou muito elevada à ocorrência de movimentos de massa em vertentes, expressa em % da superfície dos municípios da região de LVT (atual e futuro, RCP 4.5, RCP 8.5)	40
Tabela 11 – Períodos de retorno (em anos) da “cheia centenária” atual projetada para meados e o final do século XXI, nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5	42
Tabela 12 – Áreas suscetíveis a inundações por cheias progressivas e cheias rápidas, expressas em % da superfície dos municípios da região de LVT (atual e futuro, RCP 4.5, RCP 8.5)	45
Tabela 13 – Áreas suscetíveis a inundações estuarina, expressas em % da superfície dos municípios da região de LVT	53
Tabela 14 – Áreas suscetíveis a inundações e galgamento costeiro (em hectares) nos municípios da região de LVT	61
Tabela 15 – Áreas suscetíveis a erosão costeira e recuo de arribas (em hectares) nos municípios da região de LVT em 2100 (RCP 4.5, RCP 8.5)	66
Tabela 16 – Percentagem de área ocupada por classe de suscetibilidade ao calor excessivo	69
Tabela 17 – Áreas com suscetibilidade muito elevada e/ou extrema ao calor excessivo, expressa em % da superfície dos municípios da região de LVT	74
Tabela 18 – Percentagem de área ocupada por classe de suscetibilidade à seca	75

Tabela 19 – Áreas com suscetibilidade elevada e/ou muito elevada à seca, expressa em % da superfície dos municípios da região de LVT	82
Tabela 20 – Classes de intensidade média do vento (Fonte: IPMA e escala de Beaufort)	84
Tabela 21 – Percentagem de área ocupada por classe de suscetibilidade à ocorrência de vento intenso	84
Tabela 22 – Áreas com suscetibilidade moderada, elevada e/ou muito elevada à ocorrência de vento intenso, expressa em % da superfície dos municípios da região de LVT (atual e futuro, RCP 4.5, RCP 8.5)	87
Tabela 23 – Edifícios e população expostos atualmente aos perigos climáticos nos municípios da região de LVT	105
Tabela 24 – Edifícios e população expostos aos perigos climáticos nos municípios da região de LVT com o clima de 2050 (cenário RCP 4.5)	106
Tabela 25 – Edifícios e população expostos aos perigos climáticos nos municípios da região de LVT com o clima de 2050 (cenário RCP 8.5)	107
Tabela 26 – Edifícios e população expostos aos perigos climáticos nos municípios da região de LVT com o clima de 2100 (cenário RCP 4.5)	108
Tabela 27 – Edifícios e população expostos aos perigos climáticos nos municípios da região de LVT com o clima de 2100 (cenário RCP 8.5)	109
Tabela 28 – Matriz de componentes rodada do modelo final de Vulnerabilidade Social e o respetivo agrupamento em torno das 8 componentes principais	113

1. Introdução

Este relatório apresenta as bases conceituais e metodológicas que sustentam a avaliação e cartografia de riscos climáticos para a região de Lisboa e Vale do Tejo.

A avaliação e cartografia de riscos climáticos será efetuada para meados e o final do século XXI (atual; 2050: 2100) e para dois cenários climáticos de referência (RCP 4.5; RCP 8.5), para os seguintes perigos:

- Incêndios rurais/florestais;
- Erosão hídrica do solo;
- Instabilidade de vertentes;
- Inundações fluviais;
- Inundações estuarinas;
- Inundações e galgamentos costeiros;
- Erosão costeira e recuo de arribas;
- Calor excessivo;
- Seca;
- Tempestades de vento;

A avaliação da incidência espacial dos perigos climáticos é sustentada pela aplicação de métodos técnico-científicos reconhecidos, ajustados a uma análise à escala regional e aos dados disponíveis, sendo realizada separadamente para cada tipo de processo. O mapeamento da suscetibilidade para cada perigo foi efetuado com o recurso a métodos estado-da-arte de cartografia direta e indireta, em ambiente SIG.

2. Avaliação e cartografia de riscos climáticos

2.1 Cenarização climática

A avaliação dos riscos climáticos para a região de Lisboa e Vale do Tejo baseia-se em informação climática futura (projeções) com recurso a diferentes modelos e para diferentes cenários climáticos.

Um cenário climático é uma simulação numérica do clima no futuro, baseada em modelos de circulação geral da atmosfera e na representação do sistema climático e dos seus subsistemas (adaptado do IPCC, 2013).

As projeções climáticas utilizam cenários de concentrações de gases de efeito de estufa (GEE) como dados de entrada (inputs) nos modelos climáticos, designados por *Representative Concentration Pathways* (RCP) (IPCC, 2013). Estes cenários representam emissões esperadas de GEE em função de diferentes evoluções futuras do desenvolvimento socioeconómico global.

Atualmente a concentração de CO₂ é de 400 ppm (partes por milhão), tendo sido considerados dois cenários neste estudo:

- RCP 4.5 – que pressupõe uma trajetória de aumento da concentração de CO₂ atmosférico até 520 ppm em 2070, com incremento menor até 2100. O RCP4.5 é, assim, um patamar de estabilização intermediário em que o forçamento radiativo está estabilizado a aproximadamente 4,5Wm⁻² e 6,0Wm⁻² após 2100;
- RCP 8.5 – que pressupõe uma trajetória semelhante ao cenário RCP 4.5 até 2050, mas com posterior aumento intensificado, atingindo uma concentração de CO₂ de 950 ppm em 2100. Deste modo, o RCP 8.5 é um patamar elevado para cada forçamento radiativo e superior a 8,5 Wm⁻² em 2100, continuando a aumentar durante algum tempo.

Os dois cenários climáticos selecionados são equivalentes aos *Shared Socio-economic Pathways* SSP2-4.5 e SSP5-8.5, na nomenclatura introduzida pelo IPCC em 2021 (IPCC, 2021).

A informação climática de base utilizada neste trabalho está disponível em duas fontes fundamentais:

- IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera (através do ‘Portal do Clima’). A informação do projeto ‘Portal do Clima’ fornece dados de projeções climáticas do IPCC AR5 (projeto CORDEX) com desagregação em diferentes períodos de tempo, bem como a estimativa de indicadores agregados;
- EURO-CORDEX: *Coordinated Downscaling Experiment - European Domain*, projeto que corresponde ao ramo europeu da iniciativa do *World Climate Research Programme* (WCRP, WMO), destinada a desenvolver projeções climáticas regionais para todo o mundo, no âmbito do IPCC AR5. No sítio do EURO-CORDEX está detalhada toda a informação relativa às simulações para o domínio europeu, dos diferentes modelos regionais disponíveis.

Os dados para a cenarização foram descarregados do sítio do ‘Portal do Clima’, estando disponíveis em malhas regulares rodadas, em formato netCDF (*Network Common Data Form*), com uma resolução espacial de 0,11° (aproximadamente 11 km de espaçamento entre pontos da grelha).

Na cenarização do clima futuro utilizou-se o *ensemble* dos modelos climáticos regionais, a partir do *ensemble* dos modelos globais, disponíveis no Portal do Clima, para dois períodos futuros até ao final do século (2041-70 e 2071-2100).

2.2 Avaliação de perigos climáticos

A análise e cartografia de perigos climáticos futuros é concretizada para um conjunto de processos físicos com incidência relevante no território regional e cuja ocorrência é influenciada por parâmetros climáticos. A **Figura 1** sistematiza os perigos climáticos considerados e a respetiva associação a 3 forçadores climáticos essenciais: subida do nível do mar, temperatura e precipitação.

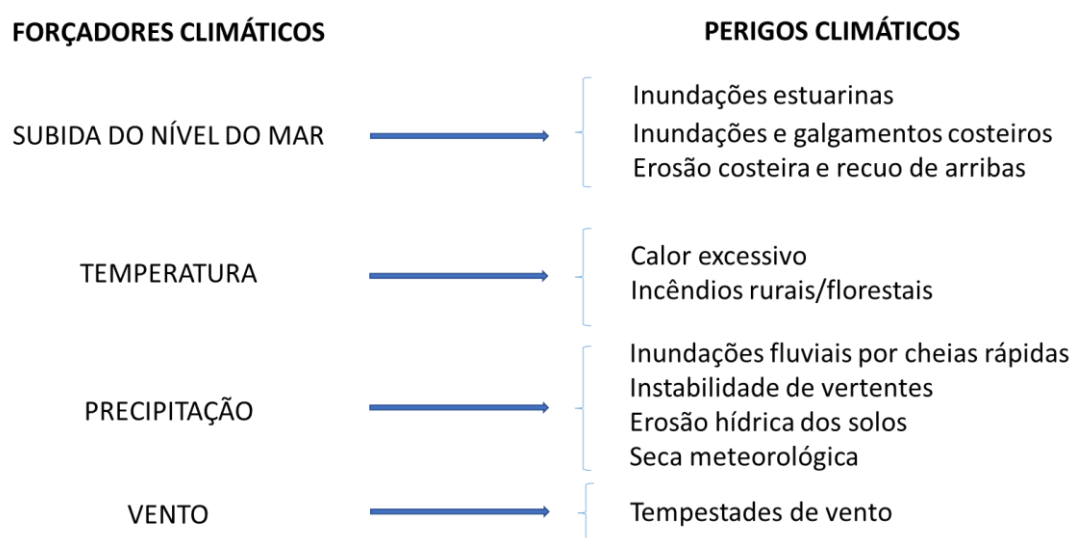


Figura 1 – Forçadores climáticos e perigos climáticos relevantes na Região de Lisboa e Vale do Tejo

A avaliação da incidência espacial dos perigos climáticos é sustentada pela aplicação de métodos técnico-científicos reconhecidos, ajustados a uma análise à escala municipal e aos dados e literatura científica disponíveis, sendo realizada separadamente para cada tipo de processo.

Em regra, os perigos climáticos futuros são projetados para o final do século XXI e estão ajustados em função dos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. As exceções dizem respeito à erosão hídrica do solo, que é estimada, com os dois cenários climáticos referidos, para 2050, por ausência de dados de base projetados para 2100.

2.2.1 Incêndios rurais / florestais

A suscetibilidade aos incêndios rurais/florestais é avaliada com recurso a um método estatístico bivariado de base Bayesiana: o Likelihood Ratio (LR), aplicado à totalidade do território de Portugal continental, utilizando como fatores condicionantes o declive, a altitude e o uso e ocupação do solo, e como variável dependente as áreas ardidas no período 1975-2018 (Oliveira et al., 2021). Refira-se que as megaclassas “territórios artificializados”, “zonas húmidas” e “corpos de água” foram excluídas da análise, seguindo a metodologia preconizada no Guia para os Planos Municipais de Defesa da Floresta Contra Incêndios (ICNF, 2012). Esta abordagem está alinhada com o preconizado pelo Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais (DL nº82/2021, de 13 de outubro), que define como “Territórios rurais” os territórios florestais e os territórios agrícolas.

O cálculo do LR para cada variável (classe X_i do fator de predisposição Z) é efetuado com recurso à equação (1):

$$Lri = \frac{Si/S}{Ni/N} \quad (1)$$

onde:

Lri – Likelihood Ratio da variável i (classe X_i do fator de predisposição Z);

Si – número de unidades de terreno com área ardida e presença da variável X_i ;

Ni – número de unidades de terreno com a presença da variável X_i ;

S – número total de unidades de terreno com área ardida;

N – número total de unidades de terreno da área de estudo.

A avaliação da suscetibilidade para cada unidade de terreno j (célula com 625 m²), obtém-se através do somatório dos Lri de cada fator de predisposição presente na unidade de terreno, utilizando a equação (2):

$$Lrj = \sum_{i=0}^n Xij Lri \quad (2)$$

onde:

Lrj – Likelihood Ratio total na unidade de terreno j ;

n – número de variáveis;

X_{ij} - 1 se a classe da variável está presente na unidade de terreno j ; 0 se a classe da variável não está presente.

A **Figura 2** representa a curva de predição do modelo de suscetibilidade, construída a partir do cruzamento dos resultados da aplicação da equação (2) com as áreas ardidas no período 1975-2018. A **Figura 2** representa igualmente 10 classes definidas com base em percentis, onde a classe I corresponde à suscetibilidade mais elevada e a classe X corresponde à suscetibilidade mais baixa. Assumindo a capacidade preditiva de cada classe de suscetibilidade expressa na **Tabela 1** e considerando o valor médio anual de área ardida de 117.300 ha, de 1975 a 2018, foi estimada a probabilidade atual de incêndio rural/florestal, com recurso à equação (3).

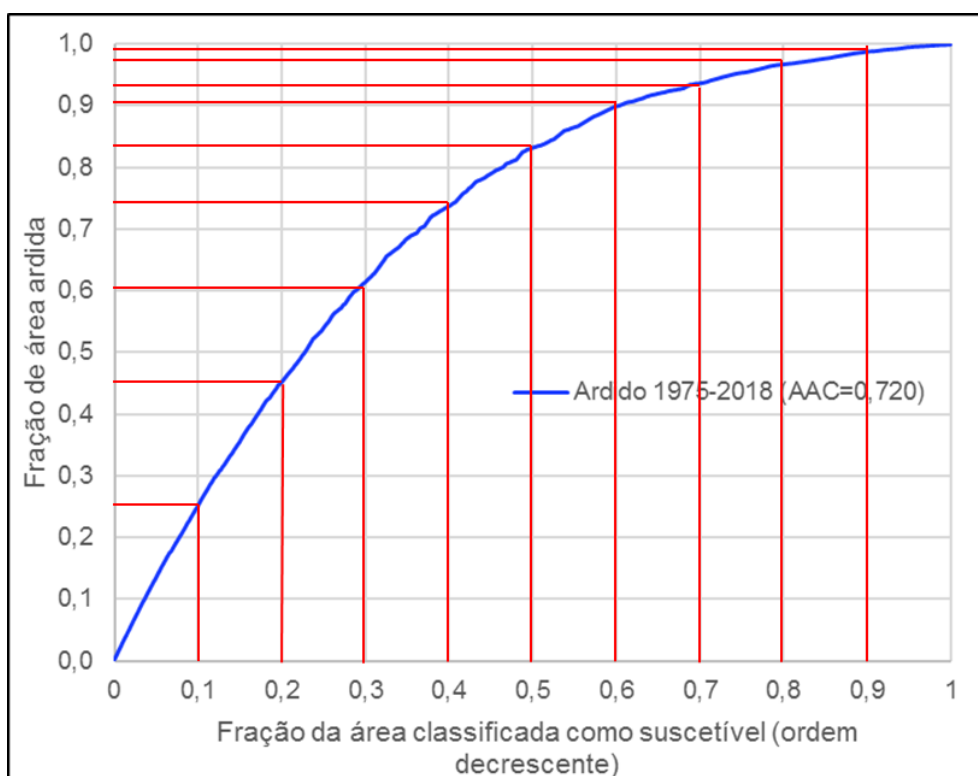


Figura 2 – Curva de predição do modelo de suscetibilidade a incêndios rurais/florestais em Portugal Continental. As linhas a vermelho definem as 10 classes de suscetibilidade identificadas

$$P_{iy} = 1 - \left(1 - \frac{T_{ard}}{T_y}\right) \times pred_y \quad (3)$$

onde:

P_{iy} - probabilidade de ocorrência de incêndio rural/florestal na célula j que integra a classe de suscetibilidade y ;

T_{ard} –área ardida total expectável num determinado período;

T_y –área total da classe de suscetibilidade y ;

$Pred_y$ –capacidade preditiva da classe de suscetibilidade y .

Tabela 1 – Probabilidade anual atual de ocorrência de incêndios rurais/florestais (por célula de 625 m²)

Classes de suscetibilidade (decrecente)	Extensão territorial (km ²)	Capacidade preditiva	Probabilidade (%) por célula de 625m ²
I	8222,89	0,25	3,56
II	8201,84	0,20	2,87
III	8167,24	0,16	2,33
IV	8315,54	0,12	1,76
V	8180,11	0,09	1,35
VI	8304,65	0,07	0,96
VII	8320,85	0,04	0,53
VIII	7724,08	0,03	0,45
IX	8531,32	0,02	0,29
X	8230,73	0,01	0,17

A estimativa das probabilidades futuras de incêndio rural teve em consideração os resultados de Sousa et al. (2015) na projeção das áreas ardidas anuais até 2080 para 4 clusters ibéricos (áreas homogêneas de predisposição para a ocorrência de incêndio rural/florestal), onde o território da região de Lisboa e Vale do Tejo se reparte em dois clusters: NW (municípios do distrito de Leiria) e SW (municípios dos distritos de Santarém, Lisboa e Setúbal). A **Tabela 2** sintetiza os resultados obtidos para os dois clusters referidos, a partir das projeções de Sousa et al. (2015), que ultrapassam significativamente as áreas ardidas verificadas no passado. Refira-se que estas projeções

de áreas ardidas anuais estão em linha com as sugeridas por Amatulli et al. (2013), Turco et al. (2018) e Dupuy et al. (2020).

Tabela 2 – Áreas ardidas médias anuais (hectares) projetadas para o futuro nos clusters NW e SW da península Ibérica, em cenários de alterações climáticas (baseado em Sousa et al., 2015)

	RCP 4.5		RCP 8.5	
Clusters	2045	2080	2045	2080
NW	170.000	212.000	195.000	265.000
SW	215.000	270.000	265.000	400.000

As probabilidades anuais futuras de incêndio rural/florestal na região de LVT são calculadas assumindo que o uso e a ocupação do solo se mantêm invariantes. Refira-se que a manutenção do atual uso e ocupação do solo até ao final do século XXI é altamente improvável, também em resultado das alterações climáticas em curso. No entanto, não existem ainda projeções fiáveis disponíveis para a evolução deste tema até ao final do século, facto que justifica a opção de o considerar invariante, para efeitos de modelação.

A suscetibilidade atual e futura, nos dois cenários considerados, é classificada individualmente para cada célula de 625 m², numa escala única que contempla 6 classes de suscetibilidade, estabelecidas em função da probabilidade anual de arder (**Tabela 3**): muito baixa (< 0,5 %); baixa (0,5 – 1,0 %); moderada (1,0 – 2,0 %); elevada (2,0 – 5,0 %); muito elevada (5,0 – 10,0 %); extrema (> 10,0%).

A **Tabela 3** sistematiza ainda a percentagem de área ocupada por cada uma destas classes na Região do LVT, na atualidade e em 2045 e 2080, nos cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5. Refira-se que as megaclasses da COS “territórios artificializados”, “zonas húmidas” e “corpos de água” não são consideradas nesta análise. Refira-se que as megaclasses da COS “territórios artificializados”, “zonas húmidas” e “corpos de água” não são consideradas nesta análise.

A **Figura 3** representa a suscetibilidade atual aos incêndios rurais/florestais na Região de Lisboa e Vale do Tejo. A suscetibilidade elevada observa-se nas serras da Arrábida, Sintra, Montejunto, Candeeiros e Aire, assim como nos municípios de Mação, Sardoal, Ferreira do Zêzere e Abrantes (parte norte do município). A probabilidade anual de arder na

atualidade nunca ultrapassa 5 %, pelo que as duas classes de suscetibilidade mais elevada (muito elevada e extrema) não têm expressão territorial.

Tabela 3 – Percentagem de área ocupada por classe de suscetibilidade aos incêndios rurais/florestais

Classe de suscetibilidade	Probabilidade anual (por célula de 625 m ²)	Atualidade	RCP 4.5		RCP 8.5	
		2019	2045	2080	2045	2080
Extrema	> 10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
Muito elevada	5,0 – 10,0	0,0	3,3	8,1	7,9	15,0
Elevada	2,0 – 5,0	8,4	22,9	34,1	34,3	28,9
Moderada	1,0 – 2,0	19,0	18,5	19,4	19,4	18,4
Baixa	0,5 – 1,0	28,1	28,6	12,3	11,7	35,3
Muito baixa	< 0,5	44,4	26,7	26,2	26,7	1,6

As **Figuras 4 e 5** representam a suscetibilidade aos incêndios rurais/florestais em meados do século XXI (2045) para os cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5, enquanto as **Figuras 6 e 7** apresentam essa suscetibilidade mais próximo do final do século XXI (2080) para os mesmos cenários. A **Tabela 4** sintetiza a expressão territorial das classes de suscetibilidade elevada, muito elevada e/ou extrema, em cada um dos municípios da Região de LVT, nos cenários climáticos e períodos considerados.

Atualmente, as 3 classes de suscetibilidade mais elevada abrangem 8,4 % do território de LVT. O agravamento da suscetibilidade aos incêndios rurais/florestais é evidente em ambos os cenários climáticos, sendo mais gravoso no caso do RCP 8.5. A expressão territorial das 3 classes de suscetibilidade mais elevada será de 25,2 % ou 42,2 % do território de LVT em 2045, respetivamente nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, alargando-se a 42,2 % ou 44,7 % da área total da região de LVT em 2080, nos mesmos cenários climáticos.

No caso do cenário climático menos gravoso (RCP 4.5), a expressão territorial destas classes em 2080 será superior a 60% da área rural de 13 municípios da Região de LVT: Abrantes, Amadora, Cascais, Ferreira do Zêzere, Loures, Mação, Odivelas, Ourém, Rio Maior, Sardoal, Seixal, Sesimbra e Vila Nova da Barquinha. Esta lista alarga-se a mais 3 municípios, no caso do cenário climático mais gravoso (RCP 8.5): Alcobaça, Caldas da Rainha e Nazaré.

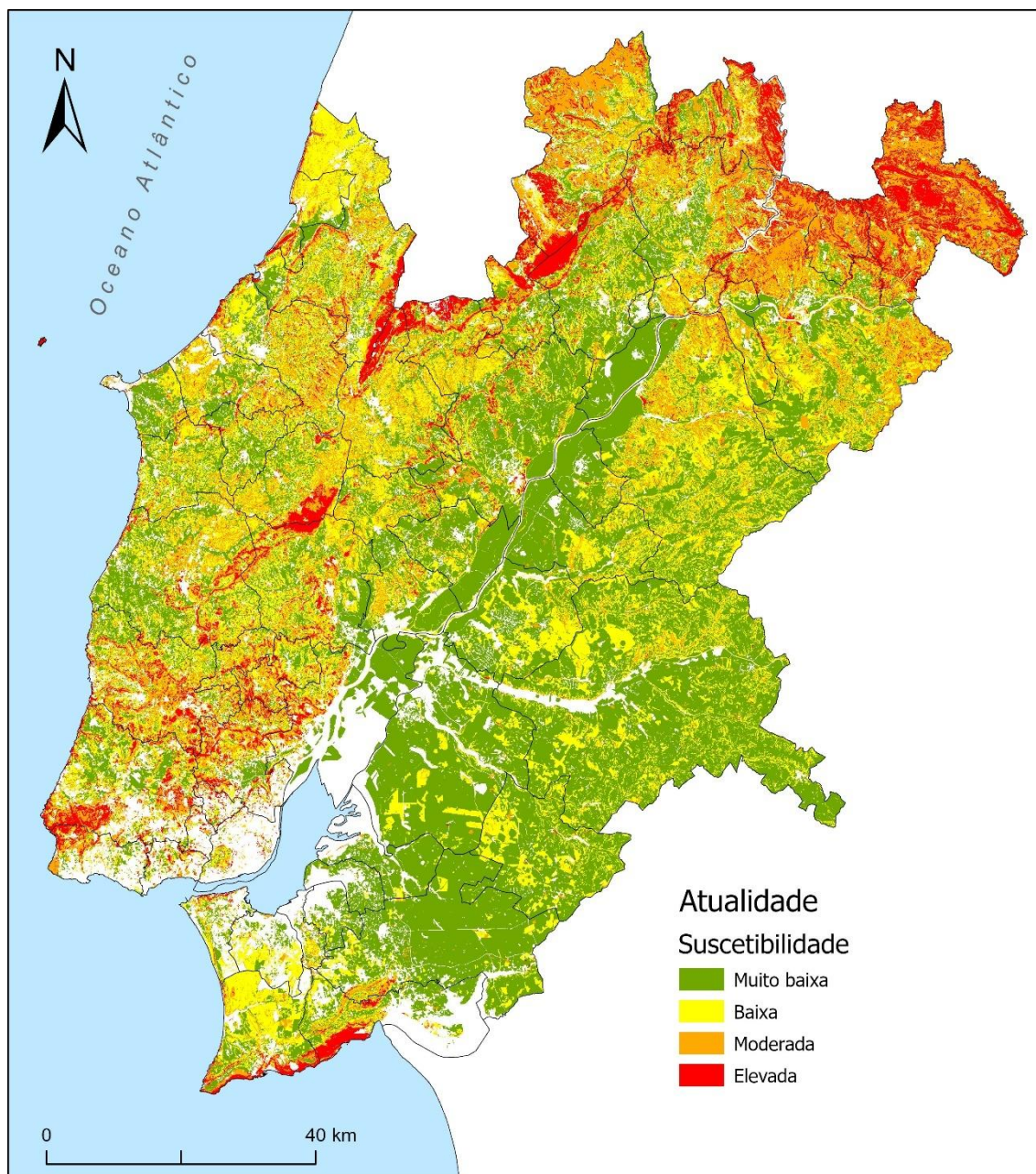


Figura 3 – Suscetibilidade atual (2019) aos incêndios rurais/florestais na Região de Lisboa e Vale do Tejo

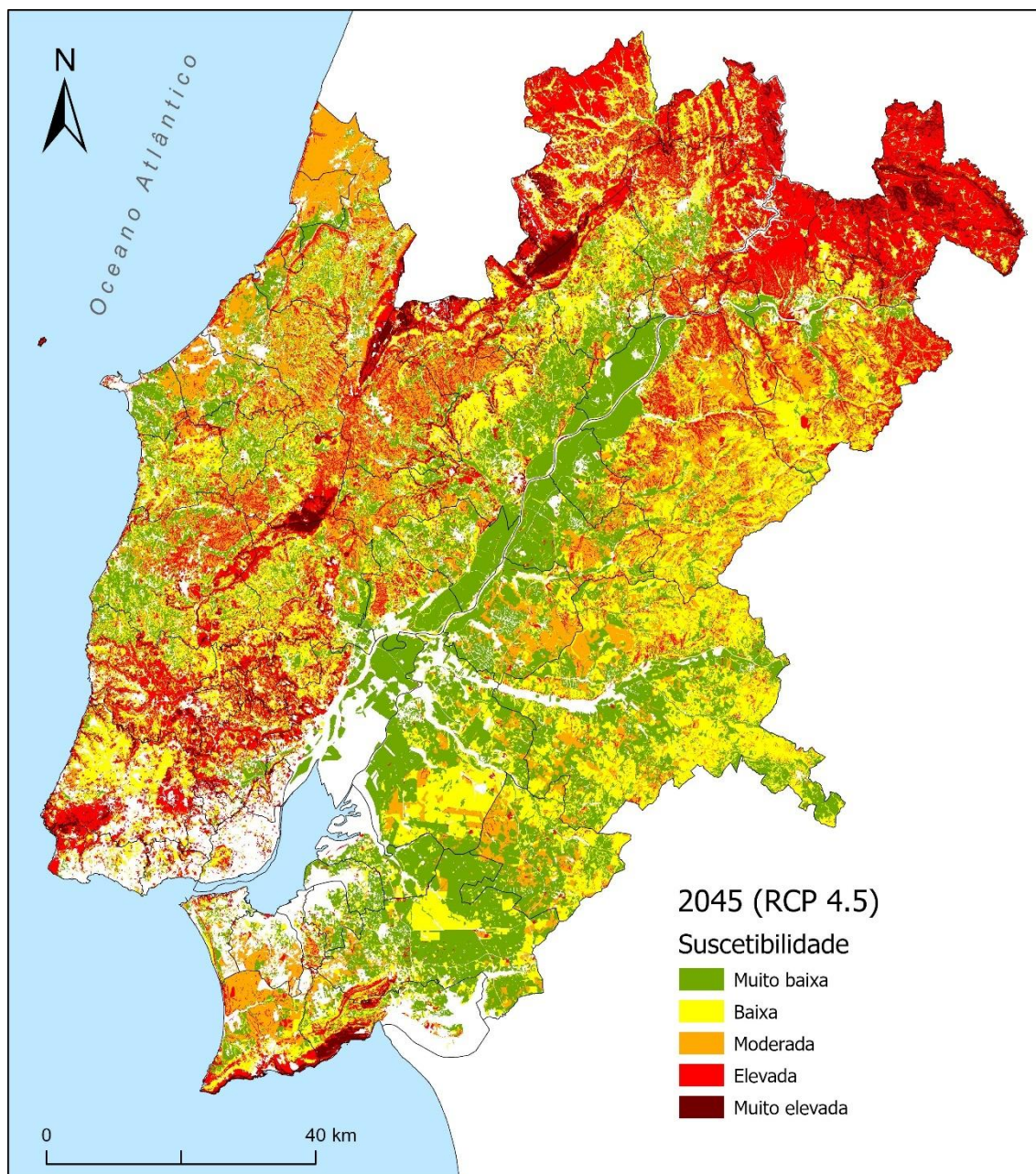


Figura 4 – Suscetibilidade aos incêndios rurais/florestais na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2045 (cenário RCP 4.5)

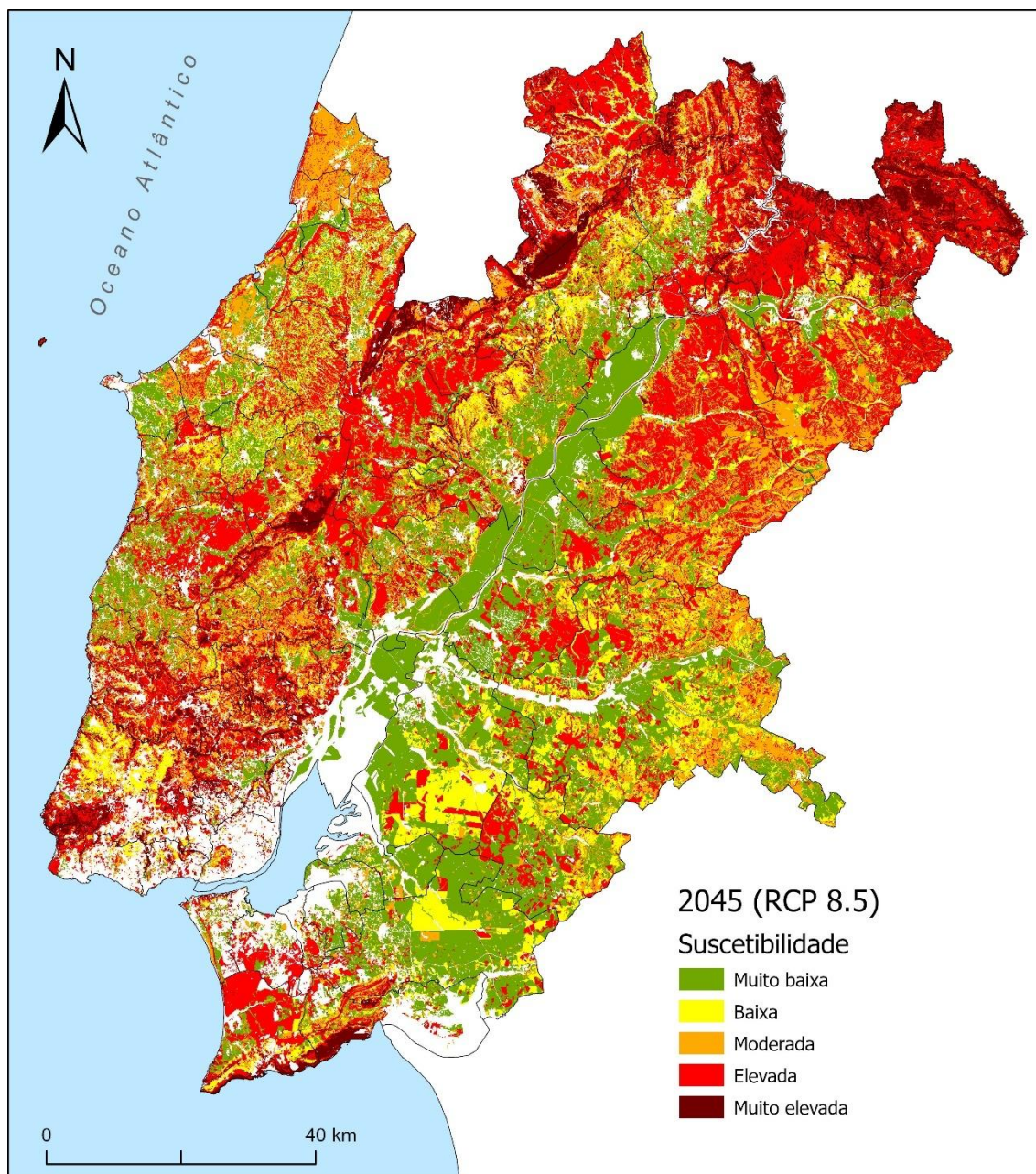


Figura 5 – Suscetibilidade aos incêndios rurais/florestais na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2045 (cenário RCP 8.5)

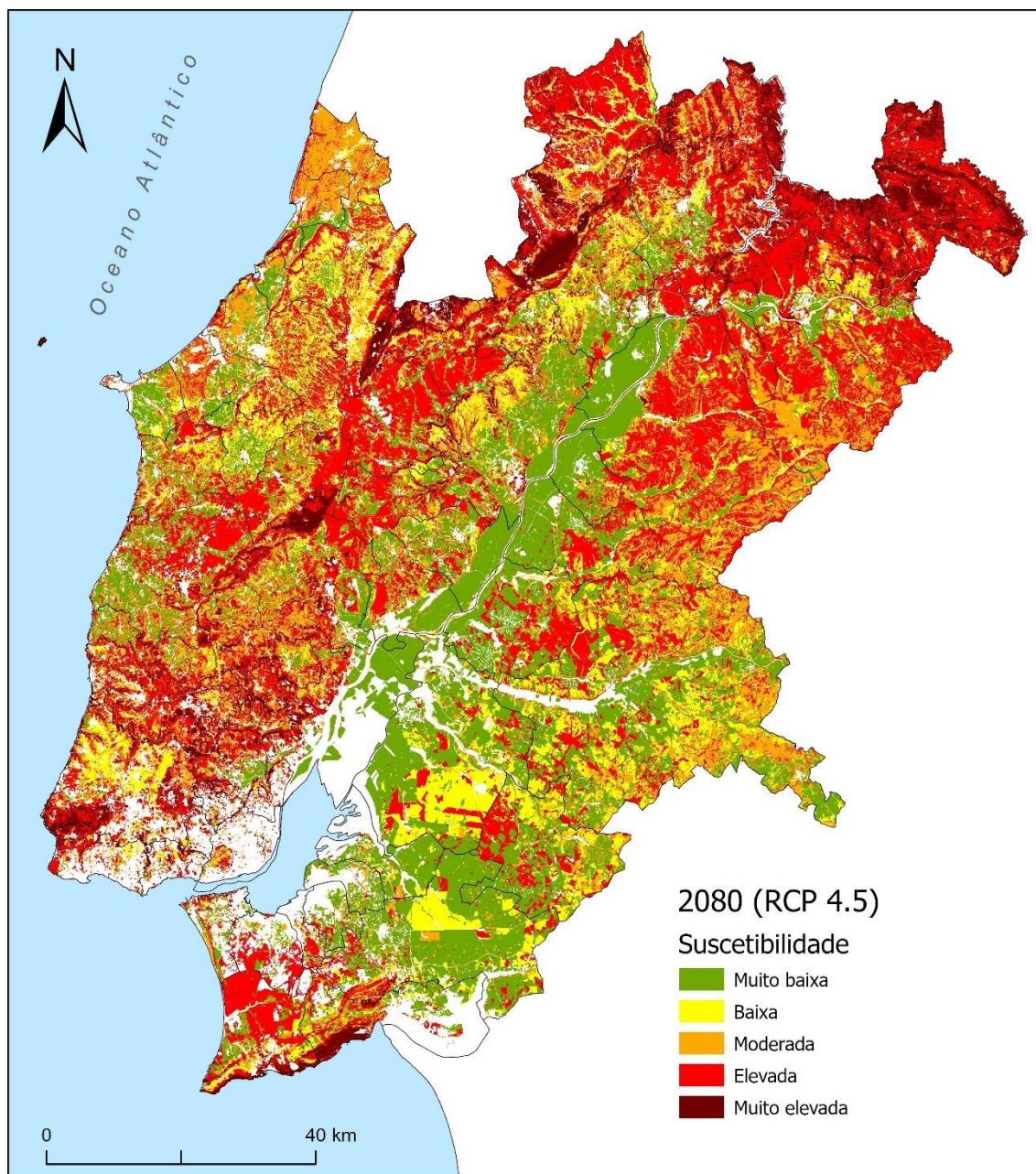


Figura 6 – Suscetibilidade aos incêndios rurais/florestais na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2080 (cenário RCP 4.5)

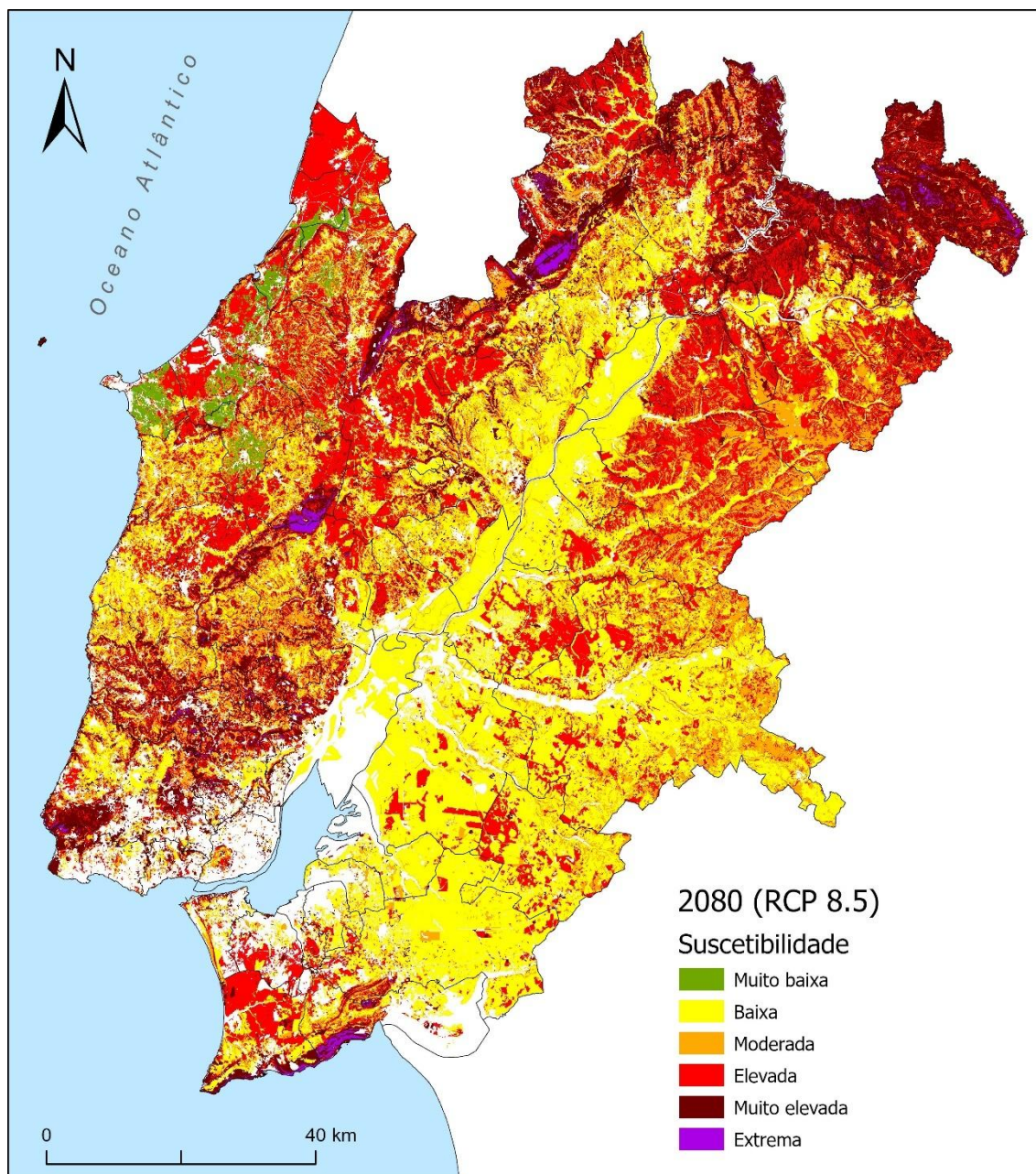


Figura 7 – Suscetibilidade aos incêndios rurais/florestais na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2080 (cenário RCP 8.5)

Tabela 4 – Áreas com suscetibilidade elevada, muito elevada e/ou extrema aos incêndios rurais/florestais, expressa em % da superfície dos municípios da região de LVT

	2019	2045		2080	
MUNICÍPIOS	Atual	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
ABRANTES	7,4	39,6	60,3	60,3	60,3
ALCANENA	20,8	44,8	53,6	53,6	53,6
ALCOBAÇA	9,5	18,0	32,3	32,3	65,2
ALCOCHETE	0,0	2,2	4,2	4,2	4,2
ALENQUER	9,2	28,5	45,7	45,7	45,7
ALMADA	8,2	22,3	40,1	40,1	40,1
ALMEIRIM	0,1	6,7	27,1	27,1	27,1
ALPIARÇA	0,2	5,7	14,3	14,3	14,3
AMADORA	27,4	68,4	75,1	75,1	75,1
ARRUDA DOS VINHOS	15,2	43,3	54,0	54,0	54,0
AZAMBUJA	2,3	16,6	37,1	37,1	37,1
BARREIRO	1,3	26,1	56,8	56,8	56,8
BENAVENTE	0,1	1,1	11,6	11,6	11,6
BOMBARRAL	3,7	8,5	16,9	16,9	28,5
CADAVAL	13,2	38,6	58,7	58,7	58,7
CALDAS DA RAINHA	6,8	16,4	34,6	34,6	60,3
CARTAXO	0,6	4,9	14,7	14,7	14,7
CASCAIS	24,6	57,8	68,6	68,6	68,6
CHAMUSCA	1,0	16,3	48,1	48,1	48,1
CONSTÂNCIA	2,5	27,8	53,6	53,6	53,6
CORUCHE	0,1	3,1	18,6	18,6	18,6
ENTRONCAMENTO	0,5	8,6	24,3	24,3	24,3
FERREIRA DO ZÊZERE	30,2	73,0	79,0	79,0	79,0
GOLEGÃ	0,1	1,2	2,7	2,7	2,7
LISBOA	13,2	49,1	56,0	56,0	56,0
LOURES	22,5	56,3	65,3	65,3	65,3
LOURINHÃ	3,2	18,0	34,8	34,8	34,8
MAÇÃO	42,8	89,7	92,6	92,6	92,6
MAFRA	16,1	47,6	58,4	58,4	58,4
MOITA	0,0	4,4	15,6	15,6	15,6
MONTIJO	0,1	2,1	21,9	21,9	21,9
NAZARÉ	6,5	11,7	26,3	26,3	75,6
ÓBIDOS	4,7	13,1	30,8	30,8	56,8
ODIVELAS	31,2	62,8	69,9	69,9	69,9
OEIRAS	21,1	48,4	58,6	58,6	58,6
OURÉM	18,1	65,7	74,7	74,7	74,7
PALMELA	0,5	3,4	12,1	12,1	12,1
PENICHE	3,3	9,5	14,6	14,6	30,0
RIO MAIOR	10,4	37,4	68,6	68,6	68,6
SALVATERRA DE MAGOS	0,1	3,6	32,6	32,6	32,6
SANTARÉM	8,4	22,6	34,3	34,3	34,3
SARDOAL	26,7	77,8	81,3	81,3	81,3
SEIXAL	0,3	10,8	71,0	71,0	71,0
SESIMBRA	10,5	26,6	67,6	67,6	67,6
SETÚBAL	15,9	29,4	40,6	40,6	40,6
SINTRA	17,7	43,8	52,8	52,8	52,8
SOBRAL DE MONTE AGRAÇO	11,9	46,4	54,7	54,7	54,7
TOMAR	10,9	43,9	58,9	58,9	58,9
TORRES NOVAS	13,3	25,4	33,0	33,0	33,0
TORRES VEDRAS	6,4	26,3	45,0	45,0	45,0
VILA FRANCA DE XIRA	8,7	23,6	29,7	29,7	29,7
VILA NOVA DA BARQUINHA	6,8	43,1	74,7	74,7	74,7
LVT	8,4	26,2	42,2	42,2	44,7

2.2.2 Erosão hídrica do solo

A suscetibilidade à erosão hídrica do solo é avaliada com recurso à Equação Universal de Perda do Solo (EUPS). Assim, a metodologia adotada expressa a erosão potencial do solo (A), em ton/ha/ano, obtida através da equação (4):

$$A=R.K.LS \quad (4)$$

onde:

R — Fator de erosividade da precipitação em unidades SI ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

K — Fator da erodibilidade dos solos, ($\text{t h ha MJ}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$);

LS — Fator topográfico, adimensional.

Refira-se que a megaclasses “territórios artificializados”, obtida a partir da Carta de Uso e Ocupação do Solo de 2018 (COS 2018), foi excluída da análise da erosão hídrica dos solos uma vez que nessas áreas o solo se encontra selado, logo, insuscetível de ser erodido superficialmente.

Os fatores LS e K consideram-se invariantes no horizonte temporal da cenarização climática considerado neste trabalho (até 2100), pelo que as variações projetadas na erosão potencial do solo resultam, exclusivamente, das variações estimadas para o fator que traduz a erosividade da precipitação (R).

Fator R - Erosividade da precipitação

A erosividade atual da precipitação (Fator R atual) é determinada com base na informação disponibilizada pelo ESDAC/JRC, cartografia Rainfall erosivity in Europe, Joint Research Center (JRC), cuja resolução original é de 500 m (Panagos et al., 2012, 2015). Contudo, para que a informação se ajuste à resolução de 10 m utilizada durante este

processo, e para colmatação de valores em falta, a matriz foi convertida para pontos, os quais foram utilizados para um processo de interpolação baseada no método IDW (*Inverse Distance Weighted*).

Não existem ainda projeções da erosividade da precipitação para o final do século XXI, em cenários de alterações climáticas. No entanto, o JRC disponibiliza para a Europa a projeção da erosividade da precipitação para 2050 para o cenário RCP 4.5, utilizando como principais fontes de dados o fator R baseado na REDES (*Rainfall Erosivity Database at European Scale*) e como covariantes os conjuntos de dados climáticos WorldClim (Panagos et al., 2017). Estes dados são utilizados na análise de riscos climáticos na região de LVT, para caracterizar a erosão hídrica do solo futura no cenário RCP 4.5, tendo-lhe sido aplicados os procedimentos metodológicos de interpolação e generalização referidos no parágrafo anterior.

O JRC não disponibiliza o fator R generalizado para o cenário climático RCP 8.5. No entanto, num trabalho recente (Panagos et al., 2021), este fator foi estimado para 2050, para as superfícies agrícolas da União Europeia e do Reino Unido, em comparação com uma linha de base representativa atual (2016). Nesse trabalho, foi utilizado o resultado médio de 19 Modelos Climáticos Globais (GCM) que constam da base de dados WorldClim, e projetados os cenários RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP 8.5 (Panagos et al., 2021). Os dados relativos aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 foram utilizados no presente trabalho para estabelecer uma superfície com a taxa de variação verificada entre os dois cenários nas áreas agrícolas da região de LVT, procedendo posteriormente à interpolação para a restante área de estudo. Assim, o fator R para 2050 no cenário RCP 8.5 foi obtido pela diferença da referida superfície que traduz a taxa de variação da erosividade com a erosividade correspondente ao cenário RCP 4.5.

Fator K - Erodibilidade do solo

A erodibilidade do solo está suportada na Carta dos Solos de Portugal e nos valores do fator K indicados por Pimenta (1999). Assim, com base naquela Carta, foi classificado o valor de erodibilidade (valores SI) para cada um dos tipos de solo existentes.

Uma vez que, na cartografia de base, é frequente a ocorrência de mais do que um tipo de solo em cada unidade cartográfica, o valor de erodibilidade final associado a cada uma dessas unidades resulta do cálculo da média aritmética ponderada de K, com base na frequência relativa dos solos presentes nessa unidade.

Fator Topográfico LS – comprimento e inclinação da vertente

O fator LS (adimensional) exprime a importância conjugada do comprimento da vertente (L) e do seu declive (S), aferidos à geometria normalizada dos talhões experimentais (L = 22,5 m; S = 9 %), resultando do seu produto.

Uma vez que é reconhecida a falta de atualidade da cartografia de solos disponível, os resultados cartográficos obtidos por modelação foram cruzados com a cartografia COS 2018, tendo sido reclassificadas como territórios artificializados todas as áreas que correspondem a zonas urbanizadas e impermeabilizadas artificialmente (e.g. com betão ou asfalto), onde o solo potencialmente erodível foi selado por intervenção antrópica.

A suscetibilidade atual e futura, para 2050 e nos dois cenários considerados, é classificada numa escala única que contempla 4 classes de suscetibilidade, estabelecidas em função da erosão potencial em ton/ha.ano, tal como expresso na **Tabela 5**.

Tabela 5 – Classificação da suscetibilidade de erosão potencial do solo

Código	Classe de suscetibilidade	ton/ha.ano
I	Muito elevada	≥ 55
II	Elevada	25 – 55
III	Moderada	10 – 25
IV	Reduzida	< 10

A **Tabela 6** sintetiza a percentagem de área ocupada por cada uma destas classes na Região do LVT, na atualidade e em 2050, nos cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5.

Tabela 6 – Percentagem de área ocupada por classe de suscetibilidade à erosão hídrica do solo

Classes de suscetibilidade	Atual	2050	
		RCP 4.5	RCP 8.5
Muito elevada	22,3	28,0	26,9
Elevada	12,7	12,3	12,5
Moderada	11,8	11,2	11,3
Baixa	43,0	38,0	38,7
Territórios artificializado	10,3	10,5	10,5

A **Figura 8** ilustra a suscetibilidade atual à erosão hídrica do solo, onde a taxa média de erosão potencial corresponde a 45 ton/ha.ano. Cerca de 35% do território mostra níveis elevados ou muito elevados de erosão potencial do solo (**Tabela 6**). Essa situação decorre da conjugação de uma erosividade da precipitação (máximo de 1304 MJ mm / ha h ano na região da AML Norte) considerada média-alta no contexto europeu (Panagos et al., 2015), um relevo ondulado e solos de erodibilidade moderada a alta (média europeia 0,038 t ha h / ha MJ mm; Panagos et al., 2014), dos quais se destacam os litossolos (Ec) e solos calcários pardos (Ptc), associados a climas de regime xérico, e os solos litólicos (Pt), que apresentam valores de erodibilidade superiores a 0,052 t ha h / ha MJ mm.

Contudo, o território de LVT apresenta uma clara distinção geográfica nos níveis de suscetibilidade à erosão hídrica do solo, com a clara evidência da importância do contexto topográfico, nos níveis de suscetibilidade observados. Os valores de erosão potencial reduzida, cerca de 43 % do território analisado (**Tabela 6**), estão, sobretudo, associados a relevos menos vigorosos, nas planícies aluviais dos rios Tejo e Sorraia, na margem esquerda do Tejo, em geral, e na Península de Setúbal (com exceção das áreas correspondentes ao Complexo da Arrábida e arribas de Almada que apresentam valores muito elevados). Os territórios artificializados, com solos selados ocupam cerca de 10% da região de LVT, com particular destaque na Área Metropolitana de Lisboa.

As **Figuras 9 e 10** representam a suscetibilidade à erosão hídrica do solo em 2050 para os cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5 A **Tabela 7** sistematiza a expressão territorial das classes de suscetibilidade elevada e/ou muito elevada, em cada um dos municípios da Região de LVT, nos cenários climáticos e períodos considerados.

As alterações projetadas para o fator Erosividade da precipitação (Fator R) em 2050 provocarão um incremento na suscetibilidade à erosão hídrica, que se traduzirá no aumento da expressão territorial das classes elevada e/ou muito elevada para 40,3 % ou 39,5 % do território, respetivamente nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. Por comparação com os valores atuais, a taxa de variação é de 15 % e 13 %, respetivamente.

Na atualidade e em 2050, em qualquer dos cenários climáticos, há sete municípios que se destacam, com mais de 60% da respetiva superfície com suscetibilidade à erosão hídrica elevada e/ou muito elevada: Arruda dos Vinhos, Cadaval, Ferreira do Zêzere, Mação, Mafra, Sardoal e Sobral de Monte Agraço.

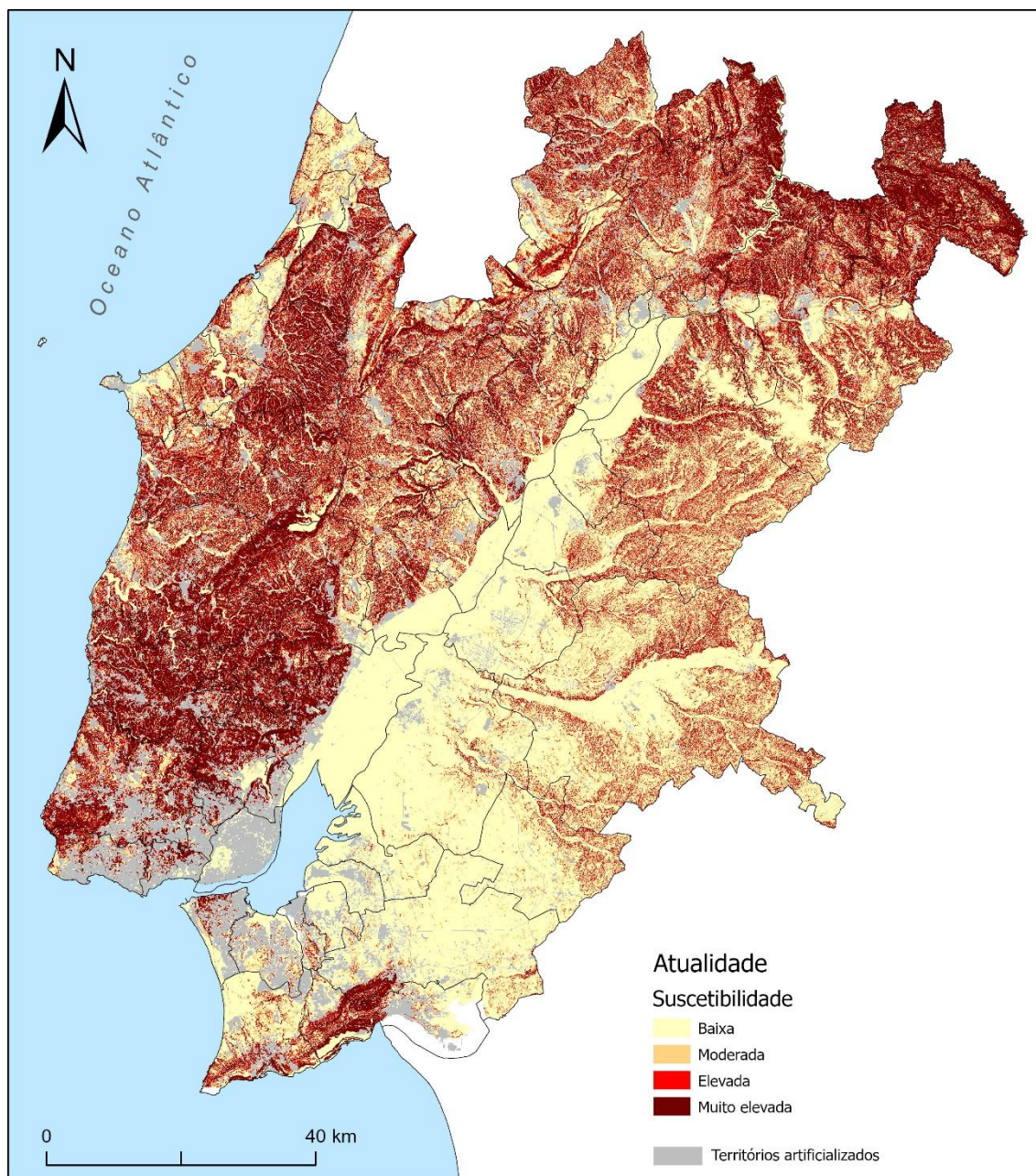


Figura 8 – Suscetibilidade atual (2015) à erosão hídrica do solo na Região de Lisboa e Vale do Tejo

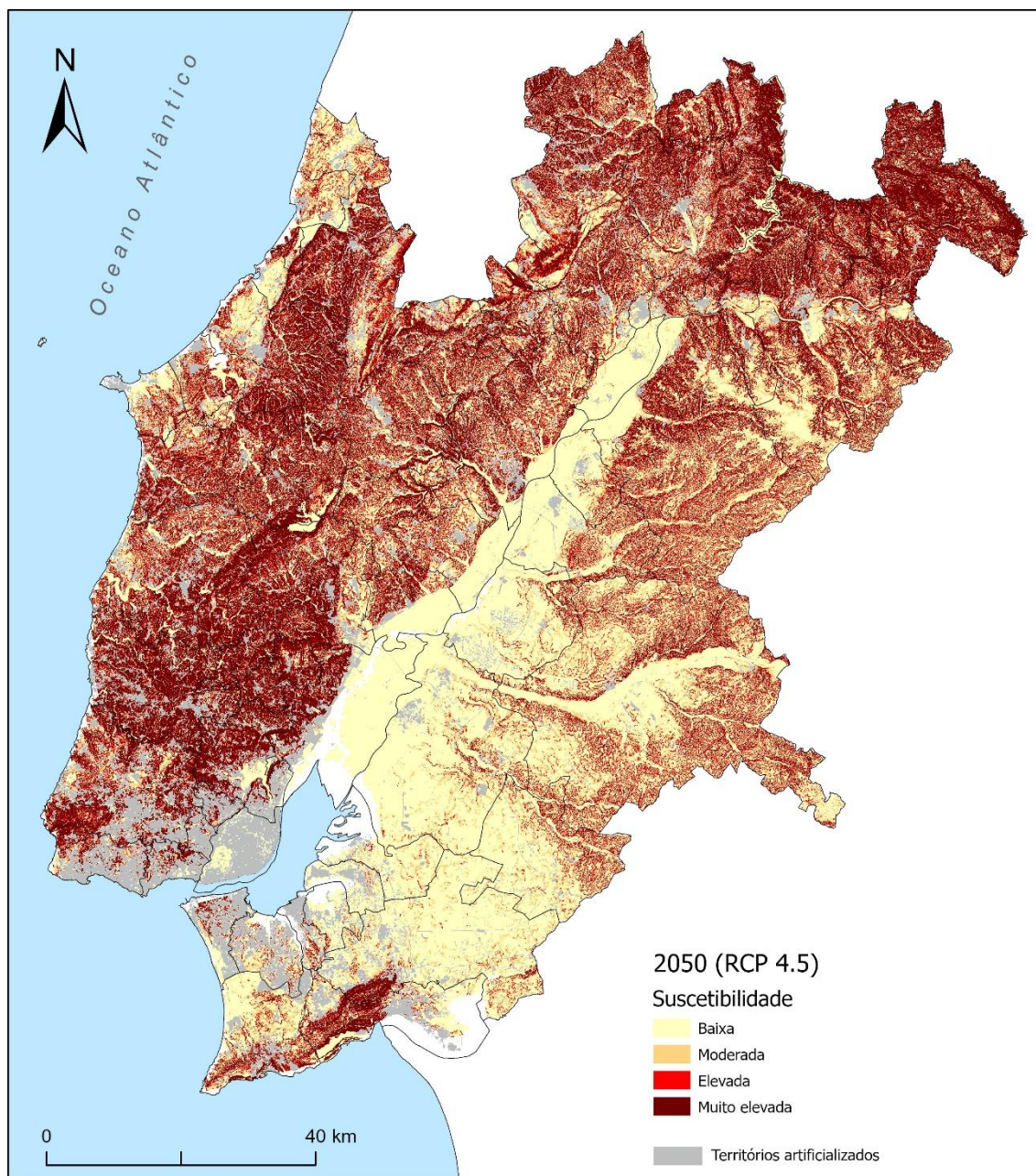


Figura 9 – Suscetibilidade à erosão hídrica do solo na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2050 (cenário RCP 4.5)

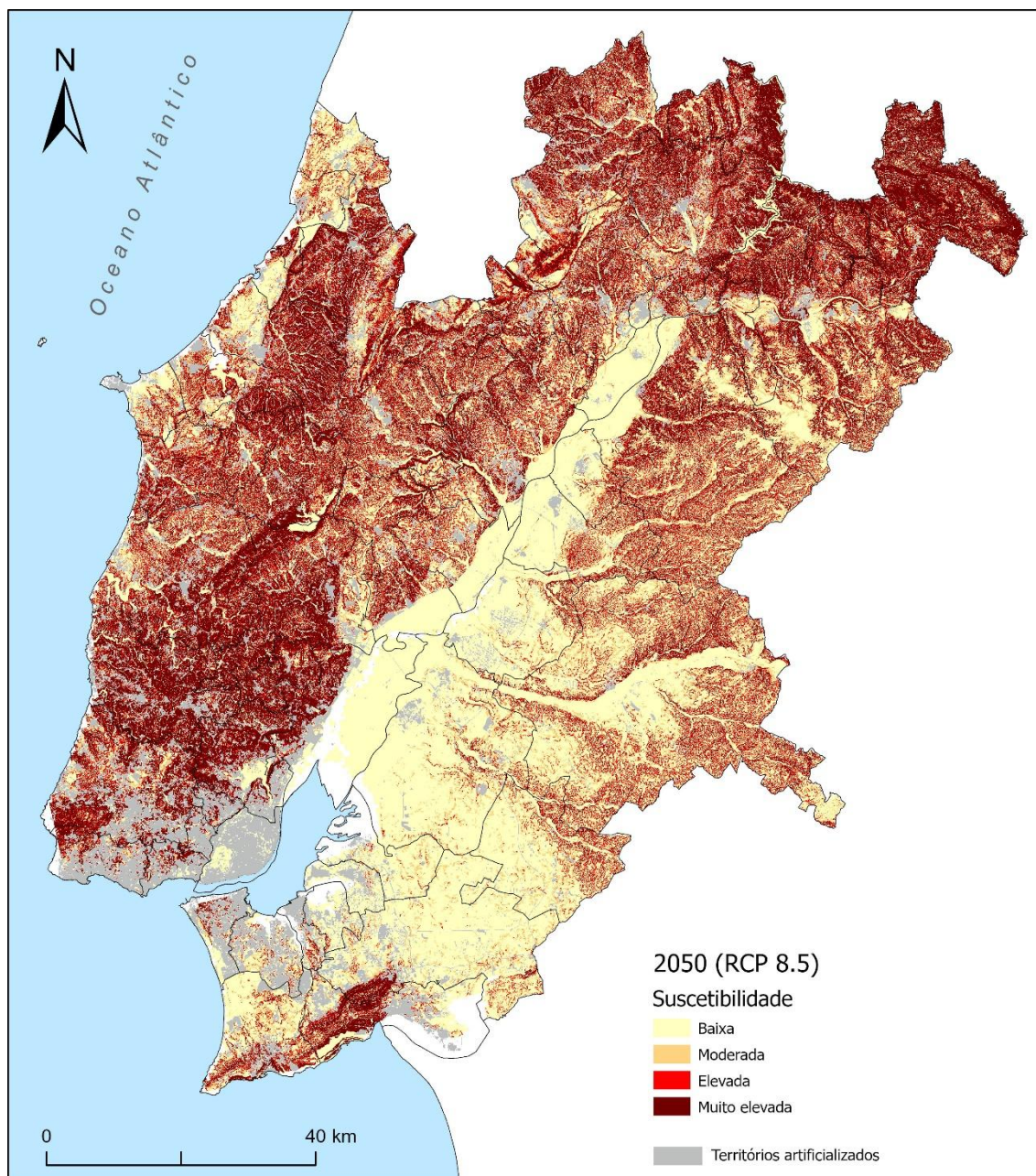


Figura 10 – Suscetibilidade à erosão hídrica do solo na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2050 (cenário RCP 8.5)

Tabela 7 – Áreas com suscetibilidade elevada e/ou muito elevada à erosão hídrica do solo, expressa em % da superfície dos municípios da região de LVT

MUNICIPIOS	Atual (2015)	2050	
		RCP 4.5	RCP 8.5
ABRANTES	40,9	49,8	50,0
ALCANENA	43,3	51,9	50,7
ALCOBAÇA	41,6	47,0	45,7
ALCOCHETE	0,9	2,4	2,0
ALENQUER	57,3	59,8	58,4
ALMADA	15,5	13,9	13,0
ALMEIRIM	15,9	21,2	20,5
ALPIARÇA	9,6	13,5	12,9
AMADORA	19,9	20,3	20,0
ARRUDA DOS VINHOS	75,8	77,0	76,4
AZAMBUJA	34,6	39,5	37,5
BARREIRO	13,0	15,6	14,5
BENAVENTE	3,1	5,2	4,5
BOMBARRAL	56,8	58,7	56,3
CADAVAL	61,4	63,7	62,2
CALDAS DA RAINHA	54,9	57,7	56,3
CARTAXO	17,9	22,9	20,9
CASCAIS	27,2	27,9	27,3
CHAMUSCA	34,2	43,4	43,4
CONSTÂNCIA	29,3	37,4	37,6
CORUCHE	19,2	28,2	27,6
ENTRONCAMENTO	2,9	6,2	5,9
FERREIRA DO ZÊZERE	66,1	70,7	70,5
GOLEGÃ	2,1	2,9	2,8
LISBOA	0,1	0,1	0,1
LOURES	53,5	54,4	54,0
LOURINHÃ	54,2	56,9	54,1
MAÇÃO	74,7	77,8	77,9
MAFRA	69,0	69,8	69,2
MOITA	2,1	4,1	3,7
MONTIJO	8,8	13,1	12,5
NAZARÉ	24,0	29,1	26,6
ÓBIDOS	45,8	50,2	47,4
ODIVELAS	30,5	31,0	30,6
OEIRAS	23,0	23,3	22,9
OURÉM	46,9	56,0	55,4
PALMELA	5,6	7,1	6,8
PENICHE	23,5	27,0	22,8
RIO MAIOR	49,0	54,3	52,6
SALVATERRA DE MAGOS	5,5	8,2	7,6
SANTARÉM	40,1	46,7	45,2
SARDOAL	65,4	72,3	72,3
SEIXAL	7,5	9,9	8,8
SESIMBRA	22,3	24,1	22,7
SETÚBAL	27,5	30,7	30,0
SINTRA	47,7	48,8	47,7
SOBRAL DE MONTE AGRADO	76,4	77,6	77,2
TOMAR	47,7	56,9	56,5
TORRES NOVAS	39,5	48,2	47,3
TORRES VEDRAS	56,8	58,5	56,5
VILA FRANCA DE XIRA	18,0	23,0	22,8
VILA NOVA DA BARQUINHA	32,8	43,1	43,1
LVT	34,9	40,3	39,5

2.2.3 Instabilidade de vertentes

A suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em vertentes na região de Lisboa e Vale do Tejo foi avaliada com recurso a um método estatístico bivariado de base Bayesiana: o Valor Informativo (VI). O modelo considerou 7 fatores de predisposição: declive, exposição das vertentes, curvatura das vertentes em perfil transversal, índice de posição topográfica, índice topográfico de humidade, geologia, uso e ocupação do solo.

Como variável dependente utilizou-se um inventário de movimentos de massa em vertentes que conta com 4047 ocorrências identificadas nos municípios de Sesimbra, Setúbal, Palmela, Oeiras, Amadora, Loures, Vila Franca de Xira, Arruda dos Vinhos, Sobral de Monte Agraço, Lourinhã, Cadaval, Bombarral, Peniche, Nazaré, Caldas da Rainha, Coruche, Alpiarça e Abrantes. Estes movimentos foram cruzados com os fatores de predisposição da instabilidade de vertentes classificados e o peso das classes de cada fator foi estabelecido com recurso à primeira equação do Método do Valor Informativo (Yin & Yan, 1988; Zêzere, 2002). Os scores das classes de cada fator de predisposição foram generalizados à totalidade da Região de LVT e a suscetibilidade de cada unidade de terreno foi determinada com recurso à segunda equação do Método do Valor Informativo (Zêzere, 2002).

No método estatístico do VI, o peso relativo de cada classe de cada fator condicionante é calculado com base na densidade de movimentos de vertente. Assim, para cada classe de cada fator condicionante é determinado o respetivo VI, a partir da equação (5):

$$I_i = \ln \frac{S_i/N_i}{S/N} \quad (5)$$

onde:

I_i - VI da variável X_i ;

S_i - número de unidades de terreno (célula com resolução de 10 m) com movimentos de vertente e com a presença da variável X_i (classe de fator de predisposição Y);

N_i - número de unidades de terreno com a presença da variável X_i ;

S - número total de unidades de terreno com movimentos de vertente;

N - número total de unidades de terreno da área de estudo.

O VI total de uma unidade de terreno j (célula com resolução de 10 m) é determinado pela equação (6):

$$I_j = \sum_{i=1}^m X_{ji} I_i \quad (6)$$

onde:

m - número de variáveis;

X_{ji} - 1 se a classe da variável está presente na unidade de terreno j ; 0 se a classe da variável não está presente.

O modelo de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertente foi validado com recurso a curva de sucesso (**Figura 11**) e computação da AAC (Área Abaixo da Curva = 0,92). A curva de sucesso do modelo de suscetibilidade foi ainda utilizada para definir 6 classes de suscetibilidade, estabelecidas com base na percentagem de área instabilizada acumulada: 50%, 70%, 90%, 95%, 100%, respetivamente.

Os movimentos de massa em vertentes que integram o inventário utilizado na modelação da suscetibilidade apresentam uma área total instabilizada de 1456,5 hectares. A data de ocorrência da maioria destes movimentos não é conhecida, mas considera-se que o tempo característico de manutenção destas manifestações de instabilidade na paisagem não é superior a 20 anos. Deste modo, para efeitos de modelação, assume-se que os 4047 movimentos de massa em vertentes poderão ter ocorrido num intervalo temporal de 20 anos, pelo que a área média instabilizada anualmente nos 18 municípios utilizados no modelo corresponde a 72,8 hectares.

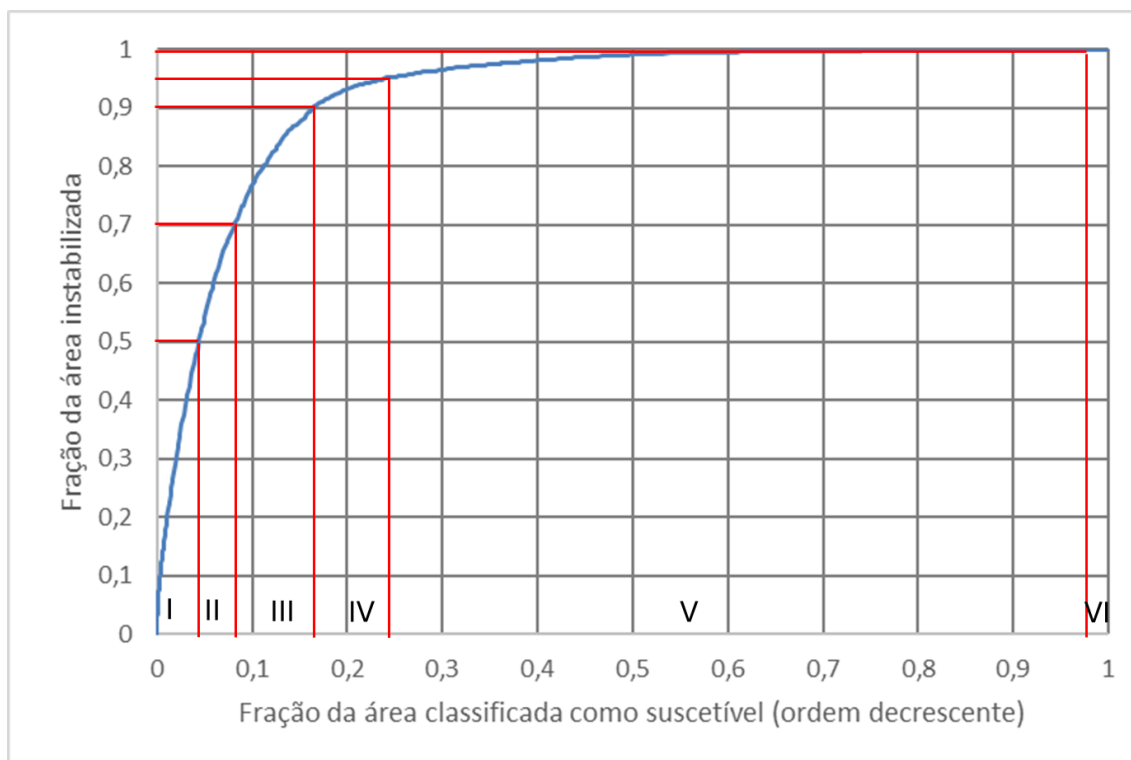


Figura 11 –Curva de sucesso do modelo de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertente e definição das classes de suscetibilidade em função da área instabilizada

Os scores de suscetibilidade obtidos nos 18 municípios foram extrapolados à totalidade do território da Região de LVT, assim como a área média instabilizada anualmente, assumindo uma relação direta e proporcional dependente da escala. Deste modo, para efeitos de cálculo de probabilidade de ocorrência, considera-se o valor de 207 hectares como área média instabilizada anualmente na totalidade da Região de LVT.

Assumindo a capacidade preditiva de cada classe de suscetibilidade expressa na **Tabela 8** e considerando o valor médio anual de área instabilizada de 207 hectares, foi estimada a probabilidade atual de ocorrência de movimentos de massa em vertentes, com recurso à equação (7).

$$P_{iy} = 1 - \left(\frac{T_{slide}}{T_y} \right) \times predy \quad (7)$$

onde:

P_{iy} - probabilidade de ocorrência de movimento de massa em vertente na célula j na classe de suscetibilidade y ;

Tslide – área de instabilidade total expectável num determinado período;

Ty – área total da classe de suscetibilidade *y*;

Predy – capacidade preditiva da classe de suscetibilidade *y*.

**Tabela 8 – Probabilidade anual atual de ocorrência de movimentos de massa em vertentes
(por célula de 100 m²)**

Classes de suscetibilidade (decrecente)	Extensão territorial (hectares)	Capacidade preditiva	Probabilidade anual (%) por célula de 100m²
I	53872,75	0,50	0,1935
II	45735,32	0,20	0,0899
III	101392,04	0,20	0,0407
IV	93610,26	0,05	0,0109
V	912629,53	0,05	0,0011
VI	12577,2	0,00	0,0000

Uma vez que a data de ocorrência da maior parte dos movimentos de massa em vertentes inventariados na Região de LVT é desconhecida, não é possível estudar os limiares críticos de precipitação responsáveis pelo seu desencadeamento. No entanto, existe uma literatura abundante sobre o assunto para a região de Lisboa (e.g. Zêzere et al, 2005; Vaz et al., 2018), para a qual se aponta um limiar de regressão de $R = 5,5D + 124,6$ e um limiar mínimo de $R = 4,4D + 56,5$, onde *R* é a precipitação crítica que desencadeia movimentos de massa em vertentes e *D* é o número de dias consecutivos (Vaz et al., 2018). Adicionalmente, a maior parte dos movimentos de massa em vertentes existentes na região de LVT estão tipicamente associados a episódios de chuva intensa com a duração de alguns dias (5 a 15 dias).

Num trabalho recente, Araújo et al. (2022) projetaram os limiares críticos de precipitação para a instabilidade de vertentes na região a norte de Lisboa para o final do século XXI, no quadro das alterações climáticas e para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, considerando 4 escalas de tempo de precipitação acumulada (1 dia, 10 dias, 30 dias e 60 dias). Tendo em conta a duração do período crítico de precipitação mais característico para o desencadeamento dos movimentos de massa em vertentes na região de LVT, assumem especial interesse as projeções para a duração de 10 dias, relativamente às quais é

expectável, no final do século XXI, um incremento da frequência de 5% no caso do cenário RCP 4.5, e uma redução da frequência de 10% no caso do cenário RCP 8.5 (Araújo et al., 2022).

Na falta de projeções para meados do século, considera-se que as variações projetadas por Araújo et al. (2022) vão materializar-se de forma linear ao longo do século XXI. Adicionalmente, considera-se que a variação na área instável anual média no futuro acompanhará, de modo linear, a variação na frequência de eventos de precipitação que ultrapassam os limiares críticos para o desencadeamento de instabilidades nas vertentes.

A estimativa das probabilidades futuras de ocorrência de movimentos de massa em vertentes na região de LVT teve em consideração os limiares críticos de precipitação estabelecidos para a região de Lisboa por Vaz et al. (2018) e as projeções de Araújo et al. (2022), que se assumem como válidas para a área de estudo. Deste modo, é possível estimar, para a região de LVT, uma área média instabilizada anual nos últimos 30 anos do século XXI (2070-2100), de 217 hectares e 186 hectares (RCP 4.5 e RCP 8.5, respetivamente), que comparam com os 207 hectares anuais estimados para a atualidade.

A **Tabela 9** apresenta as probabilidades de ocorrência de movimentos de massa em vertentes, no presente e no futuro, associadas a 6 classes de suscetibilidade definidas na Região de LVT. A **Figura 12** mostra a espacialização destas classes de suscetibilidade. As probabilidades apresentadas na tabela foram calculadas para cada célula de 100 m² que integra cada uma das classes de suscetibilidade e são válidas para períodos de 30 anos.

Neste trabalho apresenta-se um único mapa de suscetibilidade, válido para a atualidade e para o futuro em qualquer cenário climático, uma vez que não se esperam alterações na incidência territorial da instabilidade de vertentes, a qual é determinada por fatores de predisposição que são, à escala temporal considerada (século), estáticos (e.g. litologia do terreno, declive, exposição e curvatura das vertentes). Porém, as probabilidades de ocorrência associadas a cada classe de suscetibilidade variam ao longo do século, em função do cenário considerado. Tomando como referência a classe de suscetibilidade muito elevada, verifica-se que atualmente existe uma probabilidade de 5,81 % de que

qualquer célula de 100 m² seja afetada por um movimento de massa em vertente, num intervalo temporal de 30 anos. Em meados do século, essa probabilidade aumenta para 5,95 %, no cenário RCP 4.5, mantendo o mesmo período temporal de referência (2041-2070). Em contrapartida, no cenário RCP 8.5, a probabilidade de ocorrência na mesma célula diminui para 5,52%. No final do século XXI, a probabilidade de instabilidade na célula de referência atinge 6,10% no cenário RCP 4.5 e 5,23% no cenário RCP 8.5.

Tabela 9 – Probabilidade de ocorrência de movimentos de massa em vertentes (por célula de 100 m²) em períodos de 30 anos, nos cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5

Classes de suscetibilidade	% área de LVT	Atual (2010)	RCP 4.5		RCP 8.5	
			2041-2070	2071-2100	2041-2070	2071-2100
Muito elevada	4,3	5,81	5,95	6,10	5,52	5,23
Elevada	3,9	2,70	2,77	2,83	2,56	2,43
Moderada	7,9	1,22	1,25	1,28	1,16	1,10
Baixa	7,8	0,33	0,33	0,34	0,31	0,29
Muito baixa	75,0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Nula	1,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A **Tabela 10** sintetiza a extensão das 2 classes de suscetibilidade mais elevada à instabilidade de vertentes (Muito elevada e/ou elevada) expressa em % da superfície dos municípios da Região de LVT. No total, as áreas sujeitas a maior perigo de instabilidade de vertentes ocupam 8,1 % da Região de LVT. No entanto, a distribuição territorial da suscetibilidade aos movimentos de massa em vertentes é bastante desigual, havendo oito municípios que se destacam, com mais de 20% da respetiva superfície com suscetibilidade elevada e/ou muito elevada à instabilidade de vertentes: Alenquer, Arruda dos Vinhos, Cadaval, Loures, Lourinhã, Mafra, Odivelas e Sobral de Monte Agraço.

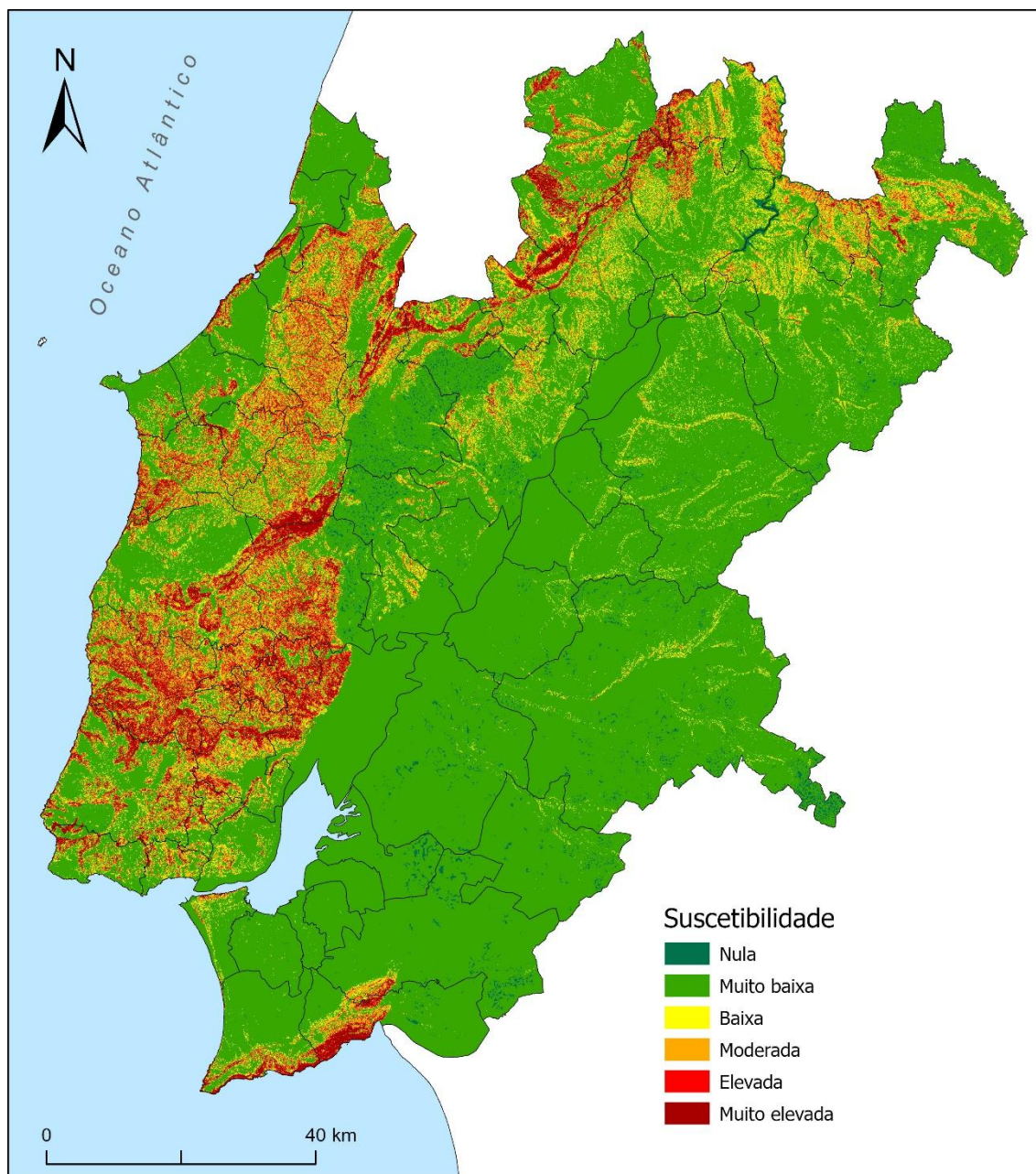


Figura 12 – Suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em vertentes na Região de Lisboa e Vale do Tejo (atual e futuro, RCP 4.5, RCP 8.5)

Tabela 10 – Áreas com suscetibilidade elevada e/ou muito elevada à ocorrência de movimentos de massa em vertentes, expressa em % da superfície dos municípios da região de LVT
(atual e futuro, RCP 4.5, RCP 8.5)

MUNICÍPIO	%
ABRANTES	0,9
ALCANENA	13,9
ALCOBAÇA	14,9
ALCOCHETE	0,0
ALENQUER	25,2
ALMADA	2,5
ALMEIRIM	0,0
ALPIARÇA	0,0
AMADORA	15,8
ARRUDA DOS VINHOS	45,7
AZAMBUJA	0,7
BARREIRO	0,0
BENAVENTE	0,0
BOMBARRAL	16,1
CADAVAL	23,4
CALDAS DA RAINHA	18,6
CARTAXO	0,1
CASCAIS	14,3
CHAMUSCA	0,1
CONSTÂNCIA	0,2
CORUCHE	0,0
ENTRONCAMENTO	0,0
FERREIRA DO ZÊZERE	10,6
GOLEGÃ	0,0
LISBOA	2,3
LOURES	25,0
LOURINHÃ	23,7
MAÇÃO	4,0
MAFRA	40,7
MOITA	0,0
MONTIJO	0,0
NAZARÉ	7,6
ÓBIDOS	10,3
ODIVELAS	21,4
OEIRAS	10,5
OURÉM	14,4
PALMELA	0,9
PENICHE	6,2
RIO MAIOR	8,0
SALVATERRA DE MAGOS	0,0
SANTARÉM	5,1
SARDOAL	7,7
SEIXAL	0,0
SESIMBRA	9,8
SETÚBAL	11,7
SINTRA	17,2
SOBRAL DE MONTE AGRAÇO	36,2
TOMAR	7,6
TORRES NOVAS	10,0
TORRES VEDRAS	15,8
VILA FRANCA DE XIRA	13,1
VILA NOVA DA BARQUINHA	0,9
LVT	8,1

2.2.4 Inundações fluviais

As inundações fluviais que ocorrem na região de Lisboa e Vale do Tejo decorrem de cheias progressivas (nos rios Tejo e Sorraia) e de cheias rápidas (na generalidade das bacias hidrográficas de pequena e média dimensão). As inundações estuarinas constituem um perigo específico, que é analisado na secção seguinte.

A avaliação da suscetibilidade a cheias tem em consideração a documentação disponível a partir de trabalhos anteriores, nomeadamente: (i) as zonas inundáveis definidas nos Planos de Gestão dos Riscos de Inundações (PGRI), disponibilizadas pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA); (ii) as zonas ameaçadas pelas cheias delimitadas no âmbito do Quadro Regional da Reserva Ecológica Nacional da AML e do OVT; e (iii) as zonas ameaçadas pelas cheias traçadas ao nível municipal disponíveis, no âmbito da delimitação da Reserva Ecológica Nacional.

Adicionalmente, a identificação das linhas de água com maior propensão para a geração de cheias foi realizada com recurso ao método descrito em Reis (2011) e Santos et al. (2019). Segundo o modelo adotado, as variáveis condicionantes descritivas - área de drenagem acumulada, declive e permeabilidade relativa - foram recolhidas em estrutura matricial para a totalidade das bacias drenantes, inclusivamente quando se estendem para além dos limites da região de Lisboa e Vale do Tejo. Seguidamente, por análise multicritério e segundo um processo iterativo – que incluiu a sua validação no terreno e por evidências históricas –, foi aferida a ponderação a utilizar no modelo final de suscetibilidade dos cursos de água para a ocorrência de cheias. Para estes cursos de água assim identificados, no pormenor, a delimitação das áreas inundáveis por cheias considerou a área contígua às margens dos cursos de água que se estende até à linha alcançada pela cheia máxima, interpretada através de critérios geomorfológicos, apoiados em informação topográfica, pedológica e interpretação de fotografia aérea ortorretificada.

Face às dificuldades em efetuar modelação hidrológica e hidráulica, devido à dimensão da área de estudo, opta-se neste trabalho por um exercício de cenarização climática em que se mantém inalterada a extensão da área inundada, assumida com período de retorno atual de 100 anos. Os futuros períodos de retorno da “cheia centenária” são calculados para meados (2041-70) e final do século XXI (2071-2100), para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, a partir da taxa de variação de uma variável climática de referência que corresponde à precipitação máxima acumulada em 5 dias consecutivos (disponibilizada no Portal do Clima). Deste modo, assume-se que existe uma relação linear entre a taxa de variação projetada para esta variável e a variação na frequência de ocorrência de cheias na região de Lisboa e Vale do Tejo.

A **Figura 13** representa as áreas suscetíveis a inundação por cheia, para um período de retorno de 100 anos, no tempo presente. Neste trabalho, apresenta-se um único mapa de suscetibilidade a cheias por inundação, válido para a atualidade e para o futuro em qualquer cenário climático. No entanto, os períodos de retorno da cheia de referência (“centenária”) foram recalculados para meados e o final do século XXI, nos cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5, para as regiões hidrográficas do Tejo e Ribeiras do Oeste e do Sado e Mira, estando sistematizados na **Tabela 11**. Os resultados obtidos mostram que, para qualquer período temporal e cenário climático, o período de retorno da “cheia centenária” baixa, por comparação com a atualidade, o que significa que aumenta a frequência de ocorrência de cheias.

Tabela 11 – Períodos de retorno (em anos) da “cheia centenária” atual projetada para meados e o final do século XXI, nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5

Região Hidrográfica	Código	RCP 4.5		RCP 8.5	
		2041-70	2071-00	2041-70	2071-00
Tejo e Ribeiras do Oeste	PTRH5A	94,2	93,6	93,1	97,5
Sado e Mira	PTRH6	95,1	95,4	97,5	98,3

A redução do período de retorno da cheia de referência é sempre mais acentuado na região hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste do que na região hidrográfica do Sado e Mira. Na região hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste, o aumento da frequência das

cheias é maior no cenário RCP 8.5 a meio do século, mas a situação inverte-se no final do século XXI, onde a situação mais desfavorável corresponde ao cenário RCP 4.5. Na região hidrográfica do Sado e Mira, o cenário climático RCP 4.5 é o que apresenta frequência de cheias mais elevada, com uma pequena tendência para redução no final do século.

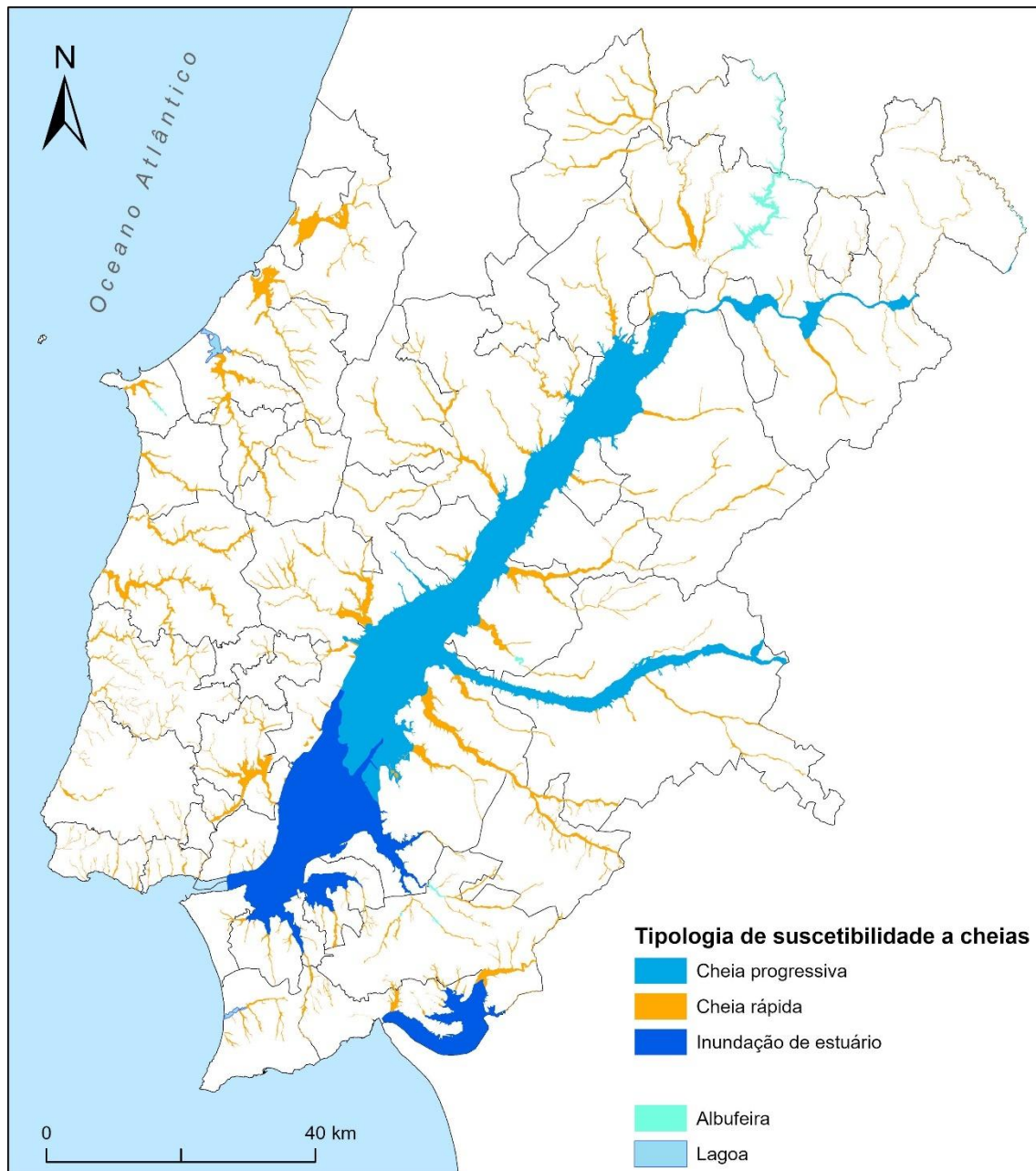


Figura 13 – Suscetibilidade à ocorrência de inundações por cheias progressivas e cheias rápidas na Região de Lisboa e Vale do Tejo (atual e futuro, RCP 4.5, RCP 8.5)

Refira-se que estas estimativas estão em consonância com as projeções do Plano de Gestão dos Riscos de Inundações 2022/2027 para a RH5 – Tejo e Ribeiras do Oeste e RH6 – Sado e Mira (APA, 2023a, 2023b). A análise efetuada, nestes documentos, aos eventuais impactos das alterações climáticas nos caudais de ponta de cheia para o período de retorno de 100 anos, teve por base a informação disponibilizada no portal do clima (<http://portaldoclima.pt/pt/>) e considerou que haverá um aumento da frequência de eventos extremos, com a ocorrência de precipitações de grande intensidade, concentradas em períodos curtos, sendo expectável um aumento das intensidades de precipitação associadas ao período de retorno de 100 anos. Adicionalmente, foi estimada a possível variação dos caudais de ponta para o período de retorno com probabilidade de ocorrência média ($T = 100$ anos). Consideraram-se os valores de precipitação média mensal referentes ao período 2041-2070, de modo a considerar cenários aplicáveis a um futuro intermédio. Para ambos os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 foram calculadas as médias das anomalias dos meses de inverno, de dezembro a fevereiro, e selecionada a média mais elevada, que se definiu como a percentagem de majoração a aplicar aos hidrogramas de cheia (APA, 2023a, 2023b). De acordo com esta metodologia, a variação expectável nos caudais de ponto de cheia na bacia do Tejo e nas ribeiras do Oeste foi estimada em 6 %, sendo mais reduzida na bacia do Sado (entre 3 e 4 %). Estes valores são compatíveis com a redução estimada no período de retorno para a cheia centenária.

No total, as áreas suscetíveis a inundações por cheias correspondem a 10,2 % do território de LVT, distribuídas por cheias progressivas (6,2 %) e cheias rápidas (4 %). A **Tabela 12** sistematiza a extensão territorial das áreas inundáveis por cheias (progressivas e rápidas), expressa em % da superfície dos municípios da Região de LVT. No caso das cheias progressivas, os municípios de Alpiarça, Azambuja, Cartaxo, Golegã e Vila Franca de Xira evidenciam-se, com mais de 20% das suas áreas classificadas como suscetíveis a inundações. Em contrapartida, nas cheias rápidas, destacam-se Loures, Nazaré e Odivelas, cujos territórios inundáveis ultrapassam 10% da área total de cada município.

Tabela 12 – Áreas suscetíveis a inundação por cheias progressivas e cheias rápidas, expressas em % da superfície dos municípios da região de LVT (atual e futuro, RCP 4.5, RCP 8.5)

MUNICÍPIO	Cheia progressiva	Cheia rápida	Total
ABRANTES	4,1	1,9	6,0
ALCANENA	0,0	1,5	1,5
ALCOBAÇA	0,0	5,8	5,8
ALCOCHETE	0,0	0,2	0,2
ALENQUER	2,3	7,8	10,1
ALMADA	0,0	1,1	1,1
ALMEIRIM	17,2	2,7	19,8
ALPIARÇA	33,1	2,5	35,5
AMADORA	0,0	1,2	1,2
ARRUDA DOS VINHOS	0,0	1,4	1,4
AZAMBUJA	24,1	3,7	27,8
BARREIRO	0,0	2,8	2,8
BENAVENTE	17,6	6,4	23,9
BOMBARRAL	0,0	8,6	8,6
CADAVAL	0,0	4,1	4,1
CALDAS DA RAINHA	0,0	5,5	5,5
CARTAXO	36,9	1,6	38,5
CASCAIS	0,0	4,6	4,6
CHAMUSCA	7,6	2,2	9,7
CONSTÂNCIA	10,8	1,0	11,8
CORUCHE	6,5	1,8	8,3
ENTRONCAMENTO	0,0	2,5	2,5
FERREIRA DO ZÊZERE	0,0	0,5	0,5
GOLEGÃ	83,5	0,1	83,6
LISBOA	0,0	2,8	2,8
LOURES	0,0	11,2	11,2
LOURINHÃ	0,0	4,2	4,2
MAÇÃO	0,6	1,8	2,4
MAFRA	0,0	5,6	5,6
MOITA	0,0	5,5	5,5
MONTIJO	0,0	4,8	4,8
NAZARÉ	0,0	13,1	13,1
ÓBIDOS	0,0	8,5	8,5
ODIVELAS	0,0	11,6	11,6
OEIRAS	0,0	5,8	5,8
OURÉM	0,0	4,9	4,9
PALMELA	0,0	4,6	4,6
PENICHE	0,0	5,1	5,1
RIO MAIOR	0,0	4,8	4,8
SALVATERRA DE MAGOS	11,3	7,5	18,8
SANTARÉM	7,8	4,2	11,9
SARDOAL	0,0	2,2	2,2
SEIXAL	0,0	4,0	4,0
SESIMBRA	0,0	3,7	3,7
SETÚBAL	0,0	3,9	3,9
SINTRA	0,0	1,8	1,8
SOBRAL DE MONTE	0,0	1,8	1,8
TOMAR	0,0	5,3	5,3
TORRES NOVAS	2,0	3,5	5,4
TORRES VEDRAS	0,0	8,4	8,4
VILA FRANCA DE XIRA	45,3	1,8	47,2
VILA NOVA DA	5,2	3,7	8,9
LVT	6,2	4,0	10,2

2.2.5 Inundações estuarinas

A avaliação da suscetibilidade a inundações estuarinas tem em consideração a documentação disponível a partir de trabalhos anteriores, nomeadamente a delimitação da cheia centenária na zona do estuário do Sado, produzida pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). No caso do estuário do Tejo, é considerada a modelação hidrodinâmica realizado por Guerreiro et al (2015). Nesse trabalho foi assumido como nível extremo para a situação atual, com 100 anos de período de retorno, o valor de 4,42m acima do zero hidrográfico. Adicionalmente, considerou-se uma subida do nível do mar de 1,5m e foram tomados em conta a dinâmica das marés, a ressonância e os níveis de água extremos. A batimetria foi extrapolada com base nas taxas de assoreamento atuais. A resolução do trabalho original contemplou células de 25 metros.

A delimitação das áreas sujeitas a inundações estuarinas no final do século XXI teve em conta as projeções disponibilizadas pela NASA em articulação com o IPCC (2021), acessíveis em [<https://sealevel.nasa.gov/>], que apontam para subidas do nível do mar no litoral português, até 2100, de 0,59 m e 0,79 m, respetivamente para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 (SSP2-4.5 e SSP5-8.5, na nomenclatura dos cenários climáticos introduzida pelo IPCC em 2021). Adicionalmente, foram utilizadas como referência as modelações disponibilizadas no *Coastal Risk Screening Tool do Climate Central* [<https://coastal.climatecentral.org/>] (Kulp e Strauss, 2019), considerando as seguintes condições de cenário:

- Fonte da projeção da subida do nível do mar: dados do ‘estado da arte’ consensualizados (IPCC, 2021);
- Tipo de projeção: subida do nível do mar + efeito local da cheia moderada, com 10 % de probabilidade anual de excedência. Os dados do incremento provocado pela cheia baseiam-se no trabalho de Muis et al. (2016).
- Ano: 2050; 2100.

- Incerteza (favorável; desfavorável): A incerteza favorável significa que a emissão de gases com efeito de estufa terá efeitos menos graves na subida do nível do mar, relativamente ao espectável pelos cientistas. A incerteza desfavorável significa o oposto. Neste trabalho, assume-se incerteza desfavorável, representada pelo percentil 95 das projeções da subida do nível do mar.
- Trajetória de emissões:
 - o (a) cortes moderados (RCP 4.5): as emissões globais de gases com efeito de estufa atingem o seu pico perto de 2040 e depois diminuem, resultando num incremento de temperatura de cerca de 2,7°C, acima dos níveis pré-industriais, até 2100;
 - o (b) emissões descontroladas (RCP 8.5): as emissões globais de gases com efeito de estufa aumentam rapidamente durante a maior parte do século, duplicando aproximadamente até 2050 e resultando num incremento da temperatura de cerca de 4,4°C, acima dos níveis pré-industriais, até 2100.

A **Figura 14** ilustra a suscetibilidade atual à inundação nos estuários do Rio Tejo e Rio Sado. A  rea abrangida pela inundação corresponde sensivelmente a 336 km² no Tejo e 76 km² no Sado, incluindo a área ocupada permanente pelos rios.

As **Figuras 15 e 16** representam a suscetibilidade   inundação estuarina em meados do século XXI (2050) para os cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5, enquanto as **Figuras 17 e 18** apresentam essa suscetibilidade no final do século XXI (2100) para os mesmos cenários. A **Tabela 13** sintetiza a expressão territorial da área inundável em cada um dos municípios da Região de LVT, nos cenários climáticos e períodos considerados.

O incremento da área estuarina inundável   assinalável da atualidade para 2050, sendo praticamente insensível ao cenário climático (aumento de 149,7% e de 150,0%, respetivamente nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5). Este aumento da área afetada verifica-se sobretudo no estuário do Tejo, onde o efeito da inundação estuarina é projetado com progressão significativa para montante.

O aumento da área inundável nos estuários verifica-se também no final do século XXI, mas a uma taxa de incremento mais reduzida e mais diferenciada em função do cenário climático (1,5 % para o RCP 4.5; 4,2 % para o RCP 8.5).

O efeito da inundação estuarina é mais acentuado nos municípios de Alcochete, Azambuja, Barreiro, Benavente, Moita, Vila Franca de Xira e Setúbal, onde as áreas inundáveis projetadas ultrapassam 20% dos respetivos territórios.

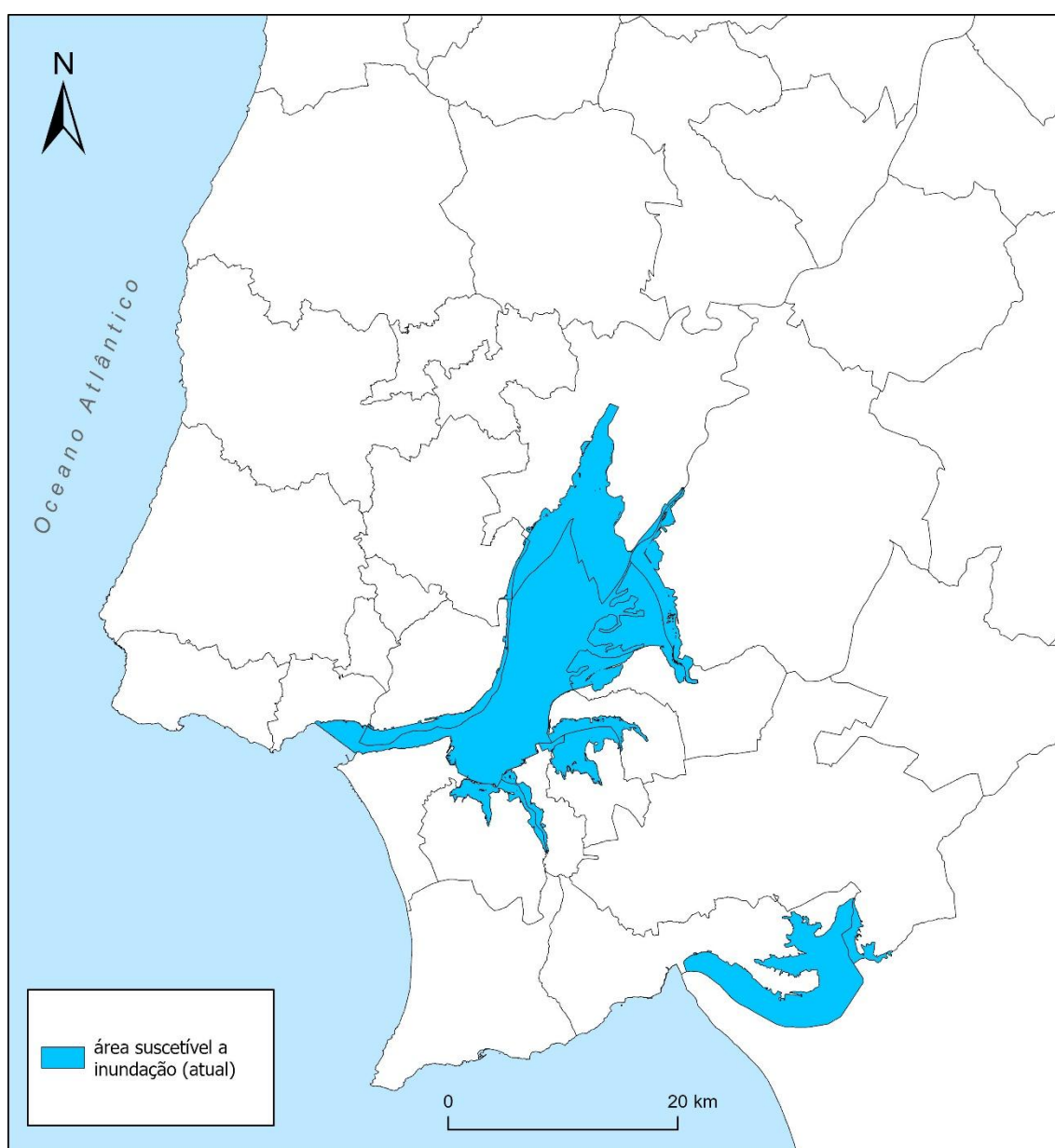


Figura 14 – Suscetibilidade atual (2011) à ocorrência de inundação estuarina na Região de Lisboa e Vale do Tejo

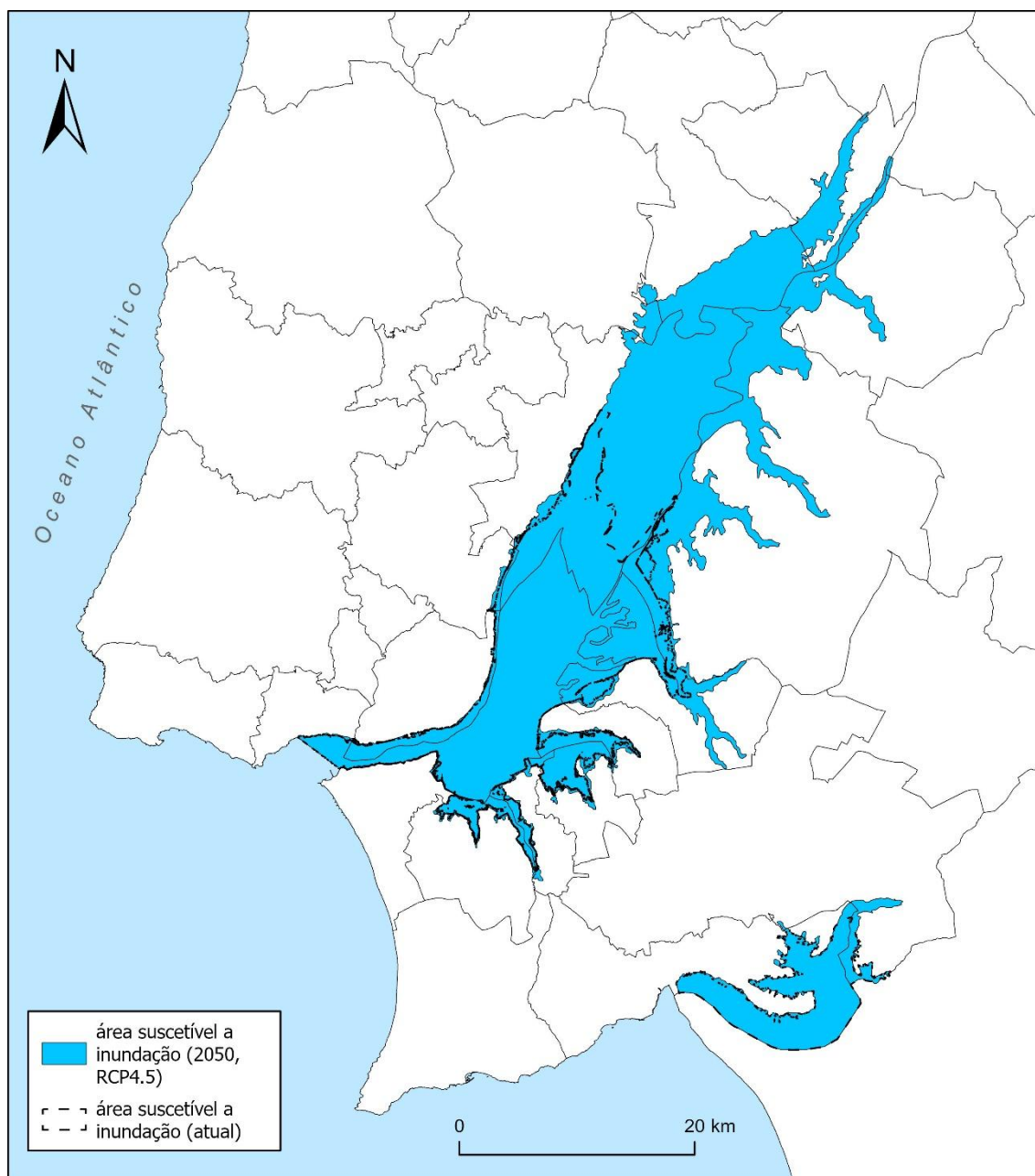


Figura 15 – Suscetibilidade à ocorrência de inundação estuarina na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2050 (cenário RCP 4.5)

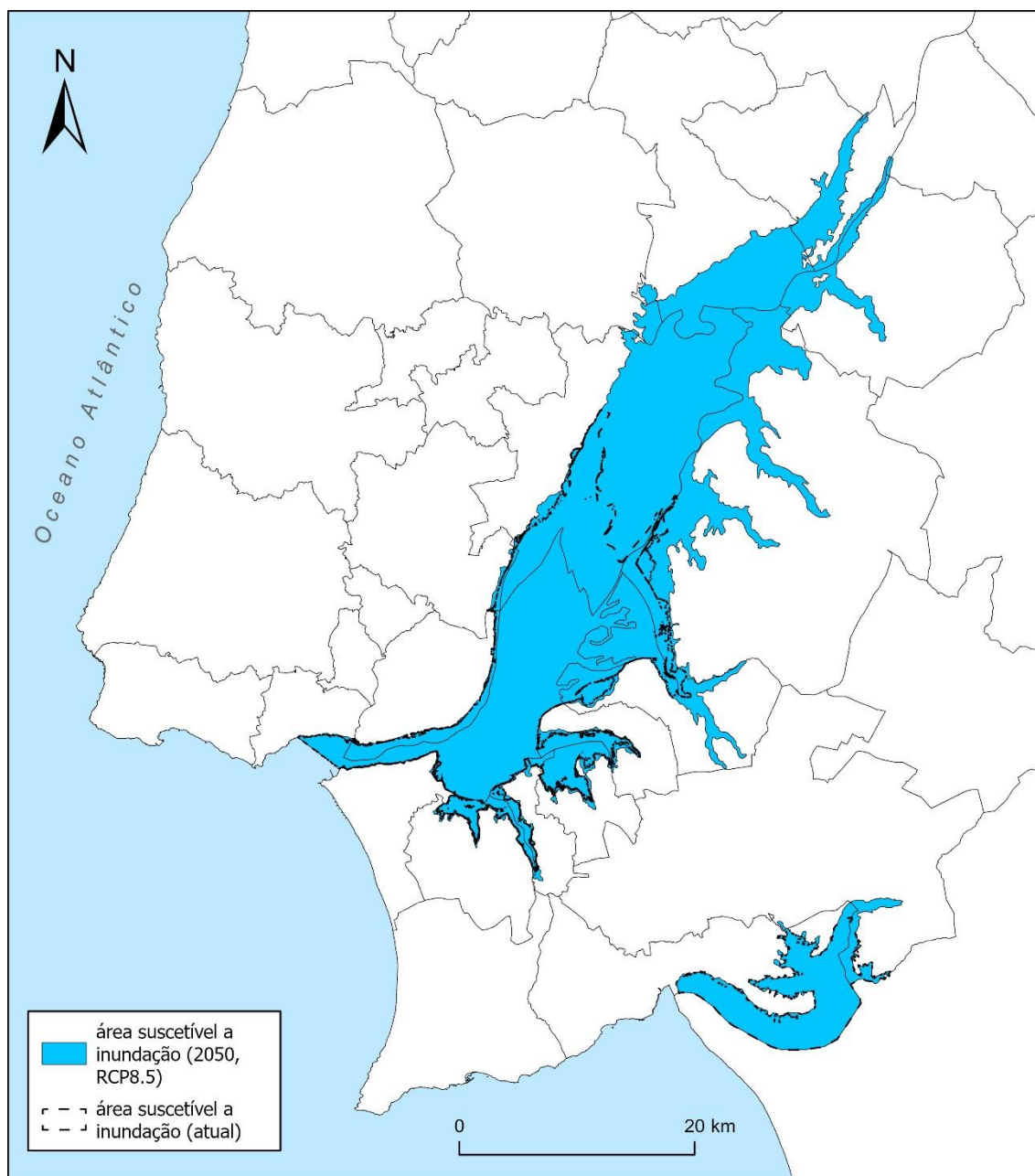


Figura 16 – Suscetibilidade à ocorrência de inundação estuarina na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2050 (cenário RCP 8.5)

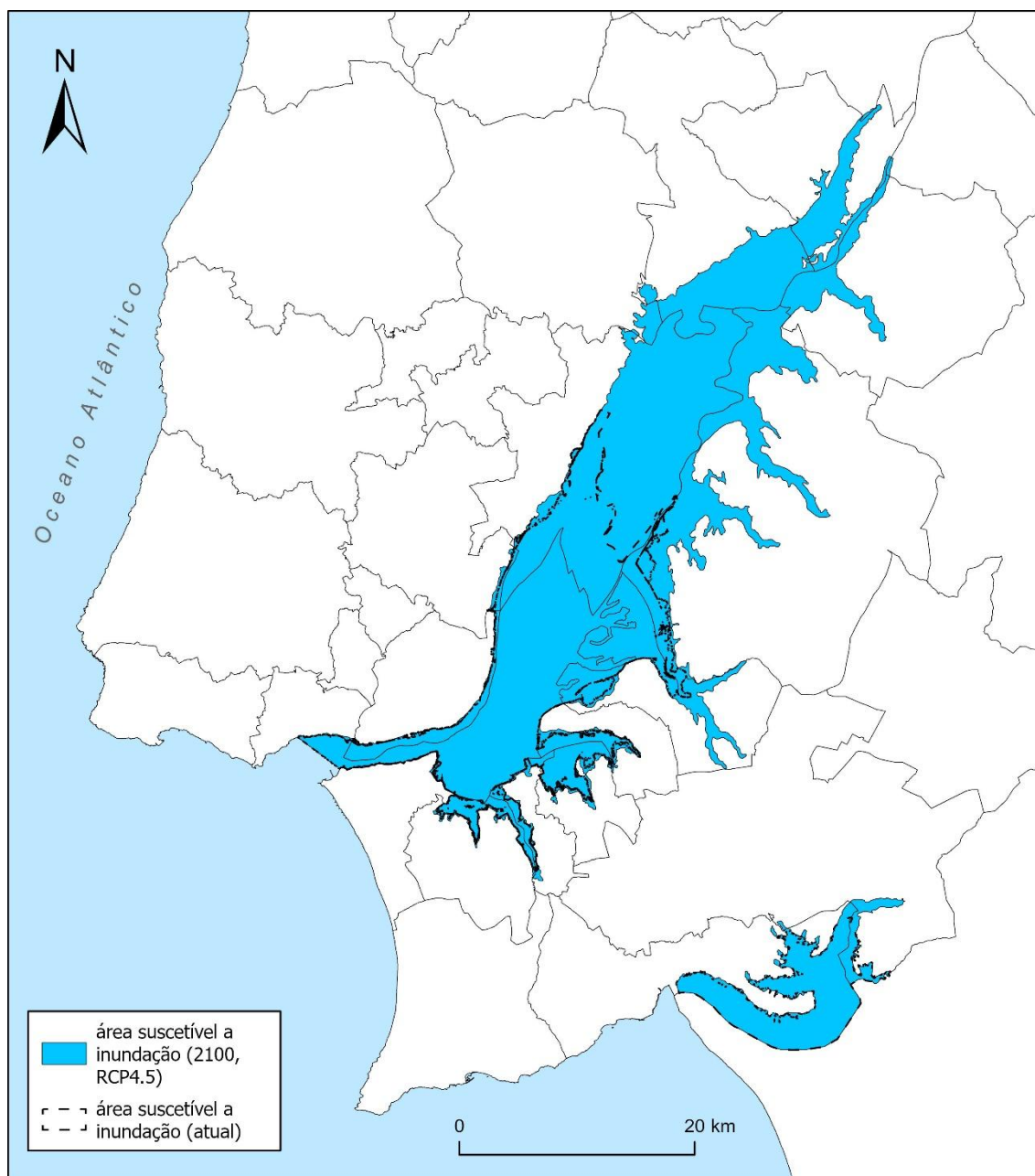


Figura 17 – Suscetibilidade à ocorrência de inundação estuarina na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2100 (cenário RCP 4.5)

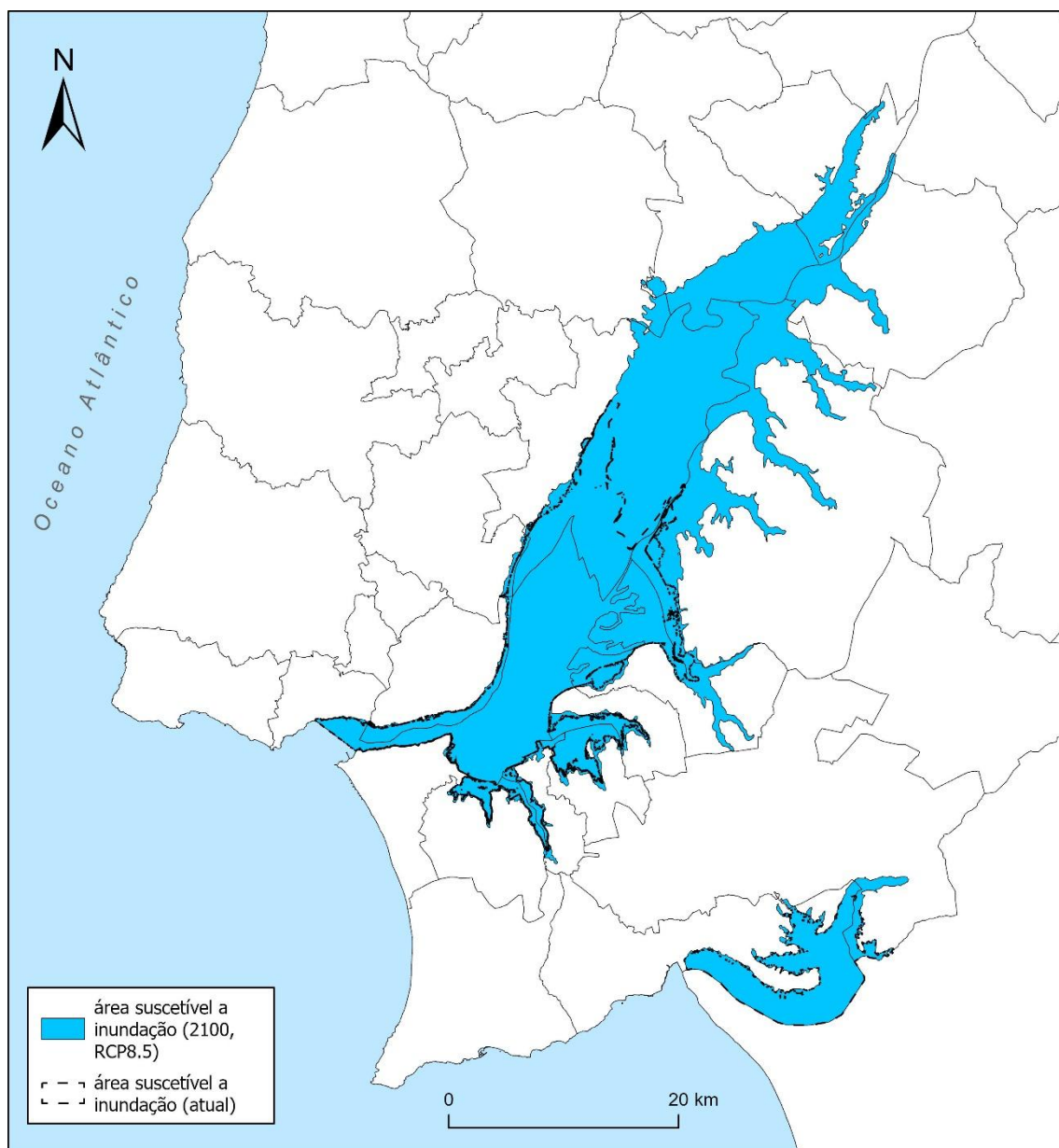


Figura 18 – Suscetibilidade   ocorrência de inundação estuarina na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2100 (cenário RCP 8.5)

Tabela 13 – Áreas suscetíveis a inundação estuarina, expressas em % da superfície dos municípios da região de LVT

MUNICÍPIOS	Atual (2011)	2050		2100	
		RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
ABRANTES	-	-	-	-	-
ALCANENA	-	-	-	-	-
ALCOBAÇA	-	-	-	-	-
ALCOCHETE	31,3	42,5	42,5	42,5	42,9
ALENQUER	0,0	1,7	1,7	1,7	1,9
ALMADA	0,2	1,7	1,7	1,7	1,9
ALMEIRIM	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2
ALPIARÇA	-	-	-	-	-
AMADORA	-	-	-	-	-
ARRUDA DOS VINHOS	-	-	-	-	-
AZAMBUJA	0,0	22,2	22,2	22,4	22,6
BARREIRO	15,4	22,0	22,0	22,0	23,6
BENAVENTE	3,6	20,9	20,9	21,2	22,8
BOMBARRAL	-	-	-	-	-
CADAVAL	-	-	-	-	-
CALDAS DA RAINHA	-	-	-	-	-
CARTAXO	0,0	15,7	15,8	19,0	20,5
CASCAIS	-	-	-	-	-
CHAMUSCA	-	-	-	-	-
CONSTÂNCIA	-	-	-	-	-
CORUCHE	-	-	-	-	-
ENTRONCAMENTO	-	-	-	-	-
FERREIRA DO ZÊZERE	-	-	-	-	-
GOLEGÃ	-	-	-	-	-
LISBOA	14,4	15,8	15,8	15,8	16,3
LOURES	1,1	1,9	1,9	1,9	2,0
LOURINHÃ	-	-	-	-	-
MAÇÃO	-	-	-	-	-
MAFRA	-	-	-	-	-
MOITA	26,5	32,5	32,6	32,6	33,9
MONTIJO	2,4	3,4	3,4	3,4	3,7
NAZARÉ	-	-	-	-	-
ÓBIDOS	-	-	-	-	-
ODIVELAS	-	-	-	-	-
OEIRAS	0,2	0,9	0,9	0,9	0,9
OURÉM	-	-	-	-	-
PALMELA	1,3	2,3	2,3	2,4	2,5
PENICHE	-	-	-	-	-
RIO MAIOR	-	-	-	-	-
SALVATERRA DE MAGOS	0,0	9,4	9,4	9,8	9,9
SANTARÉM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SARDOAL	-	-	-	-	-
SEIXAL	10,6	13,2	13,3	13,3	13,7
SESIMBRA	-	-	-	-	-
SETÚBAL	30,5	32,7	32,7	33,0	33,4
SINTRA	-	-	-	-	-
SOBRAL DE MONTE	-	-	-	-	-
TOMAR	-	-	-	-	-
TORRES NOVAS	-	-	-	-	-
TORRES VEDRAS	-	-	-	-	-
VILA FRANCA DE XIRA	21,7	68,0	68,0	68,0	68,2
VILA NOVA DA	-	-	-	-	-
LVT	2,1	5,3	5,3	5,4	5,5

2.2.6 Inundações e galgamentos costeiros

A metodologia utilizada para a delimitação de áreas sujeitas a inundações marítimas e galgamentos costeiros, em contexto de alterações climáticas e subida do nível do mar, tem em consideração os trabalhos promovidos pela APA que sustentaram os Programas de Orla Costeira de Alcobaça – Cabo Espichel e Espichel – Odeceixe. Paralelamente, são utilizados os resultados do projeto High Waters – Avaliação de cenários de exposição e vulnerabilidade social à subida do nível do mar para o uso sustentável do território (Trindade et al., 2022, 2023), obtidos numa abordagem realizada em 3 etapas:

- (i) Identificação e delimitação dos sistemas costeiros no litoral exposto da região de Lisboa e Vale do Tejo. A linha de 0 m ortométrico foi utilizada como referência para uma delimitação linear e longilitoral de 3 tipos de sistemas litorais (arenosos, rochosos e artificializados), recorrendo a critérios biofísicos e de ocupação do solo. Os critérios biofísicos incluem: a presença/ausência de morfologias de praia/duna e presença de espécies vegetais características deste ambiente costeiro; e a presença de morfologias de arriba ou plataforma rochosa com evidências de contacto com o espraio das ondas. O critério de ocupação do solo aplicou-se sempre que o segmento de litoral está ocupado por estruturas antrópicas urbanas e de proteção costeira.
- (ii) Delimitação da linha de máxima preia-mar de águas-vivas equinociais (LMPAVE), reportada ao ano de 2011, de acordo com os critérios altimétricos e biofísicos (e.g., presença ou ausência de vegetação ou depósito de vertente) estabelecidos no Despacho nº. 12/2010, de 25 de janeiro. A partir deste referencial, nos sistemas arenosos, a posição da LMPAVE foi projetada para 2050 e 2100, tendo como referência as taxas de erosão registadas localmente, entre 1953 e 2010 (Ponte-Lira et al., 2016).
- (iii) Tendo em conta a LMPAVE projetada, consideram-se, para cenarização futura das áreas sujeitas a inundações marítimas e galgamentos costeiros, as alturas associadas à sobre-elevação meteorológica (*storm surge*), ao espraio de ondas de temporal e à subida do nível do mar. A sobre-elevação meteorológica foi calculada a partir dos dados de

reconstrução de séries maregráficas entre 1979 e 2019 (Vigo, Cascais e Lagos) usados como referências para o litoral norte, centro e sul, respetivamente (Tadesse & Wahl, 2021). O espraio das ondas de temporal foi assumido de acordo com estimativas locais baseadas na literatura, excluindo os litorais rochosos onde a LMPAVE contacta diretamente com a base da arriba. A subida do nível do mar esperada para 2050 e 2100 nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 assume os valores previstos pelo modelo global *Nasa Sea Level Projection Tool*, de acordo com o relatório do IPCC (IPCC, 2021; Garner et al., 2021). No final, os resultados obtidos nas duas abordagens (APA-POC e projeto High Waters) foram intercetados e aglutinados, adotando uma perspetiva preventiva.

A **Figura 19** representa a suscetibilidade atual à inundação e galgamento costeiro, que abrange cerca de 894 hectares na região de LVT, com destaque para os municípios de Peniche, Sesimbra e Nazaré.

As **Figuras 15 e 16** ilustram a suscetibilidade   inunda o e galgamento costeiro projetada para 2050, considerando os cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5. As **Figuras 17 e 18** mostram essa mesma suscetibilidade projetada para 2100, nos mesmos cenários climáticos. A **Tabela 14** resume a distribui o territorial das áreas potencialmente inundáveis em cada município da Região de Lisboa e Vale do Tejo (LVT), para os períodos e cenários climáticos analisados.

O incremento da área suscetível   inunda o e galgamento costeiro, da atualidade para 2050, é muito significativo (81,7%), sendo insensível ao cenário climático. O aumento da área afetada verifica-se sobretudo nos municípios de Alcobaça, Almada, Nazaré, Peniche, Sesimbra e Torres Vedras.

Até ao final do século, o aumento da área suscetível   inunda o e galgamento costeiro continuará a verificar-se, mas a uma taxa mais reduzida: 43,8 % ou 44,7 %, respetivamente para os cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5. Em 2100,  m dos municípios destacados nas projeções para meados do século, Cascais passa a integrar a lista dos municípios com maior área afetada.

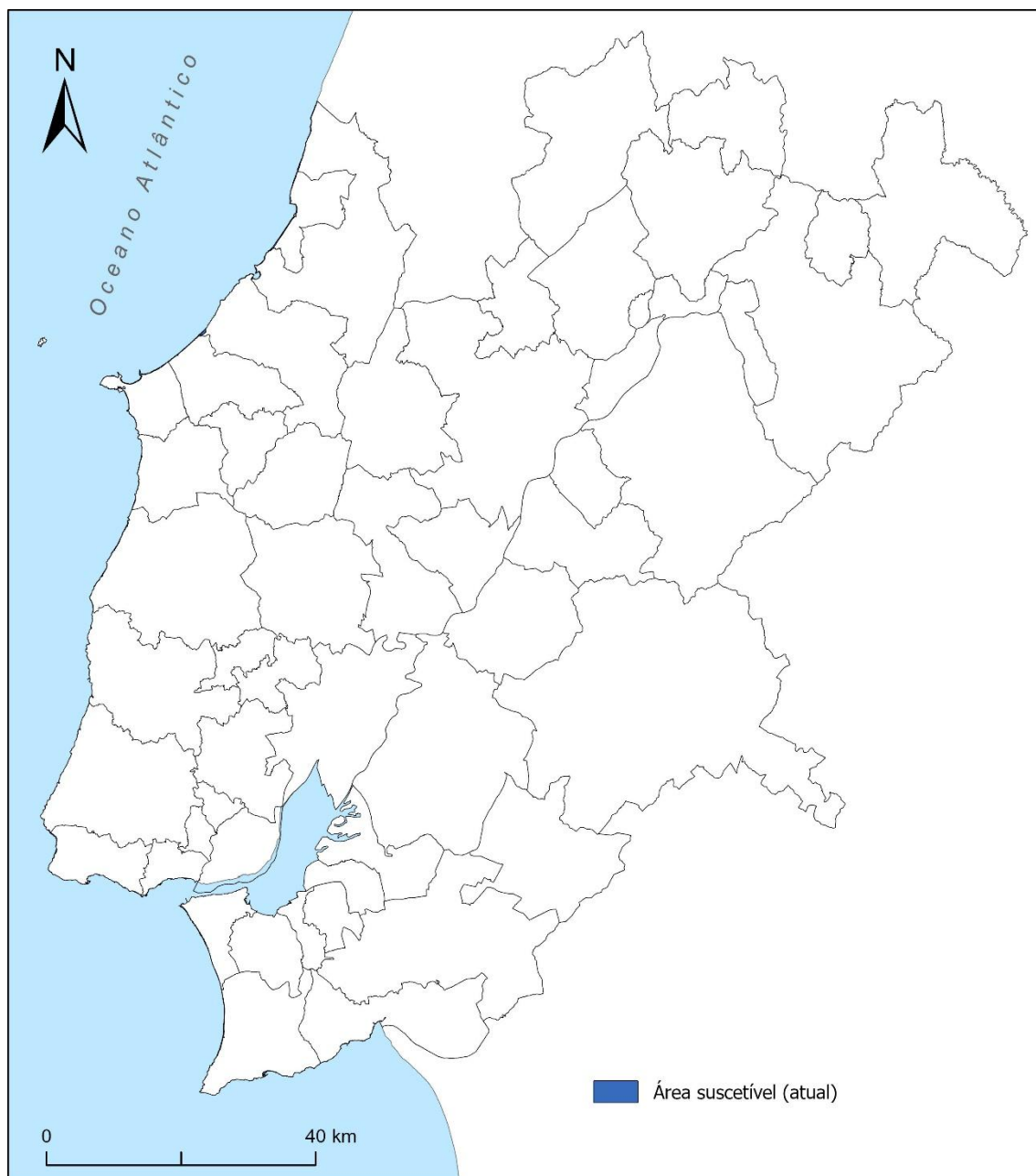


Figura 19 – Suscetibilidade atual (2011) à ocorrência de inundação e galgamento costeiro na Região de as.Lisboa e Vale do Tejo

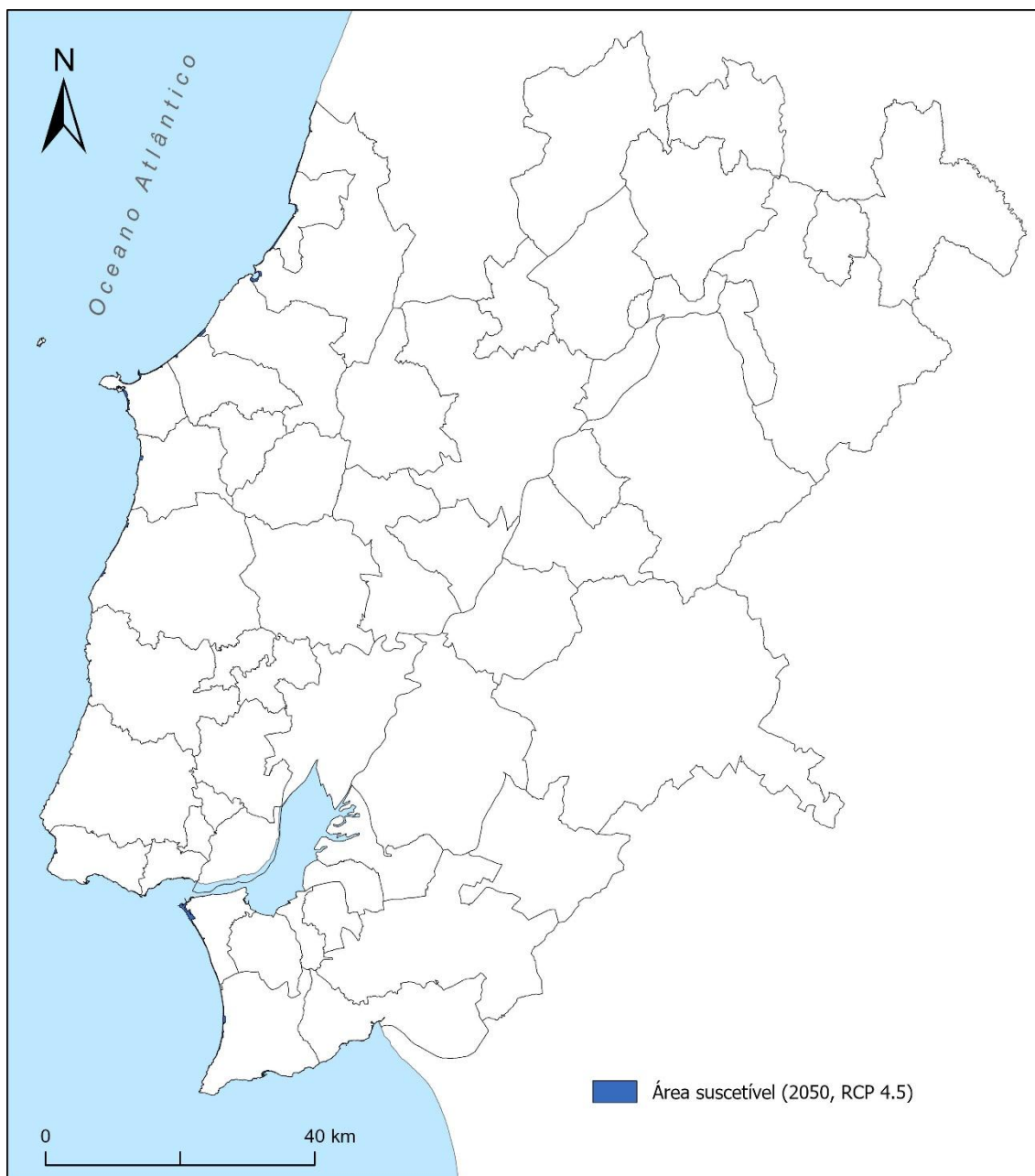


Figura 20 – Suscetibilidade à ocorrência de inundação e galgamento costeiro na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2050 (cenário RCP 4.5)

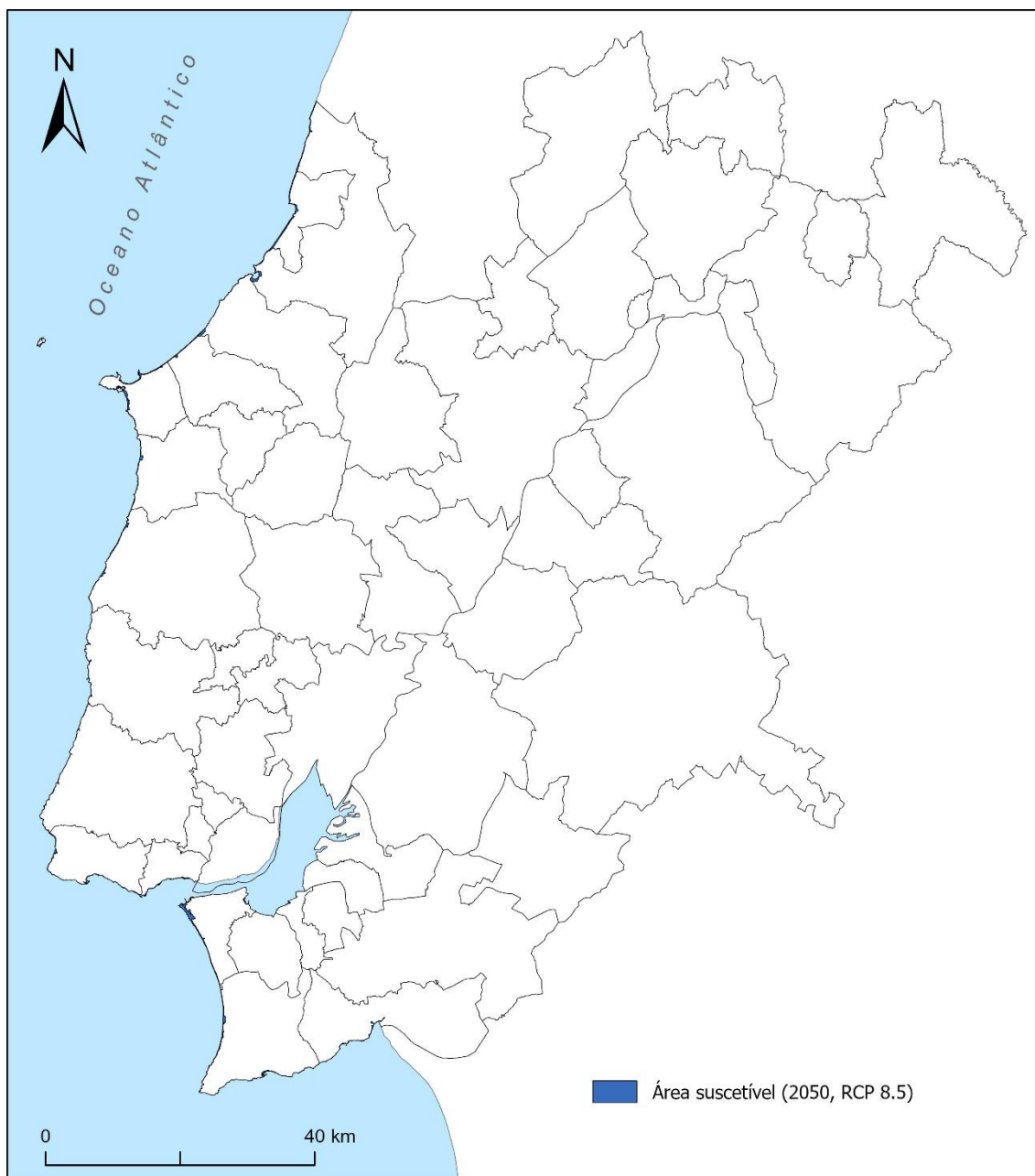


Figura 21 – Suscetibilidade à ocorrência de inundação e galgamento costeiro na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2050 (cenário RCP 8.5)

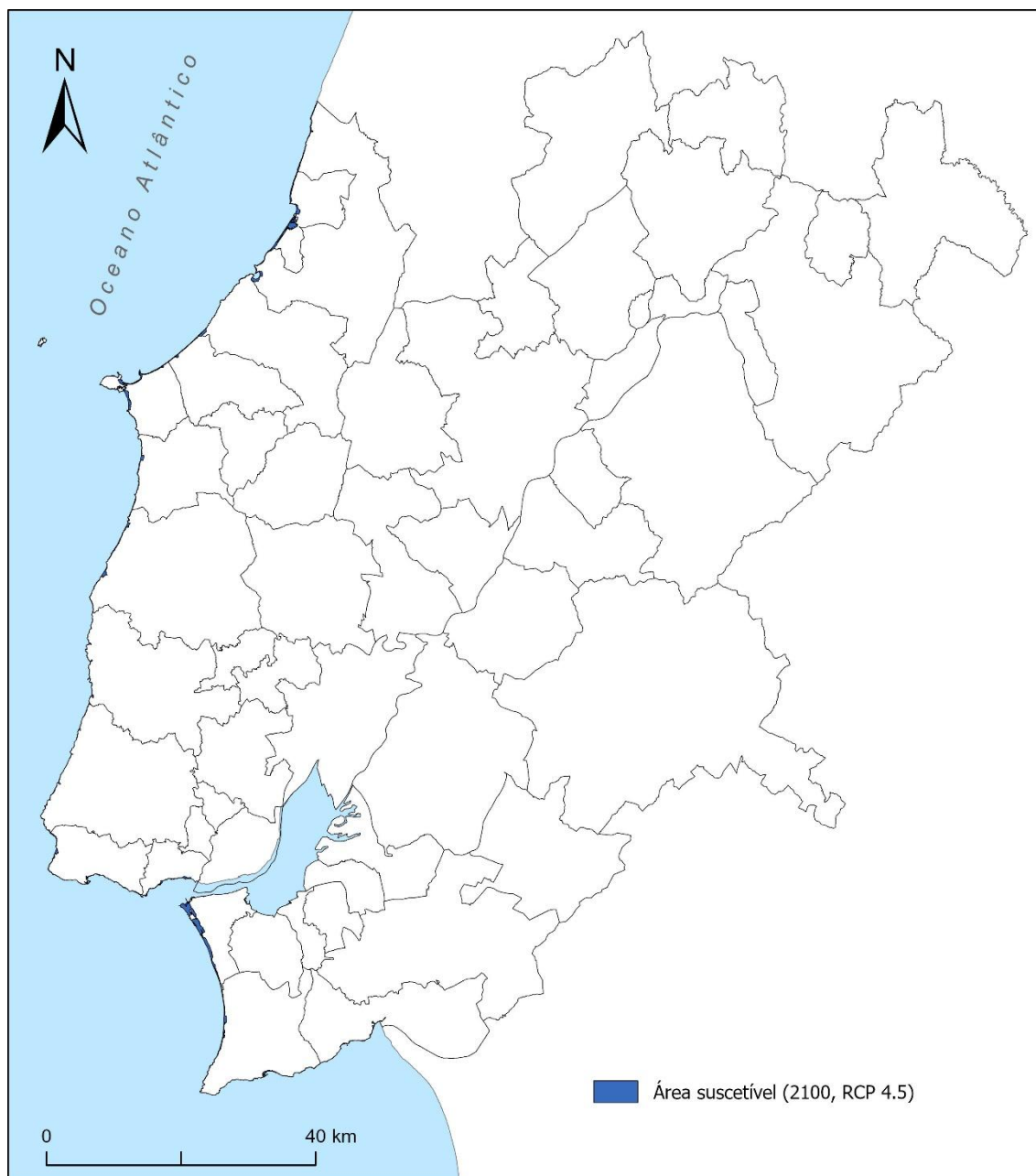


Figura 22 – Suscetibilidade à ocorrência de inundação e galgamento costeiro na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2100 (cenário RCP 4.5)

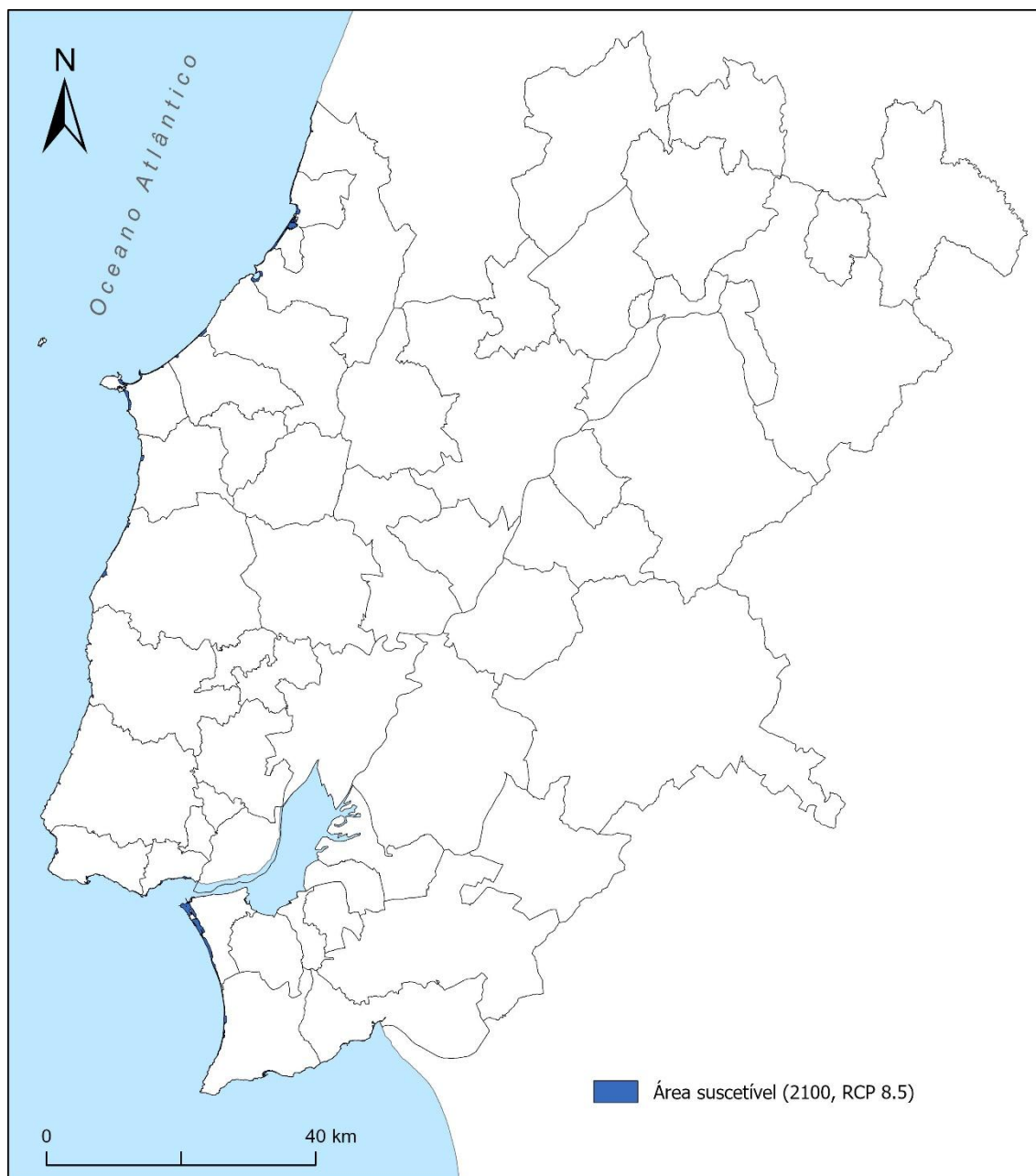


Figura 23 – Suscetibilidade à ocorrência de inundação e galgamento costeiro na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2100 (cenário RCP 8.5)

Tabela 14 – Áreas suscetíveis a inundação e galgamento costeiro (em hectares) nos municípios da região de LVT

MUNICÍPIOS	Atual (2011)	2050		2100	
		RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
ABRANTES	-	-	-	-	-
ALCANENA	-	-	-	-	-
ALCOBAÇA	92,52	171,19	171,31	177,79	178,12
ALCOCHETE	-	-	-	-	-
ALENQUER	-	-	-	-	-
ALMADA	73,12	275,00	275,00	616,48	625,73
ALMEIRIM	-	-	-	-	-
ALPIARÇA	-	-	-	-	-
AMADORA	-	-	-	-	-
ARRUDA DOS VINHOS	-	-	-	-	-
AZAMBUJA	-	-	-	-	-
BARREIRO	-	-	-	-	-
BENAVENTE	-	-	-	-	-
BOMBARRAL	-	-	-	-	-
CADAVAL	-	-	-	-	-
CALDAS DA RAINHA	53,24	66,62	66,62	67,90	67,93
CARTAXO	-	-	-	-	-
CASCAIS	55,13	90,71	90,71	107,90	108,04
CHAMUSCA	-	-	-	-	-
CONSTÂNCIA	-	-	-	-	-
CORUCHE	-	-	-	-	-
ENTRONCAMENTO	-	-	-	-	-
FERREIRA DO ZÊZERE	-	-	-	-	-
GOLEGÃ	-	-	-	-	-
LISBOA	-	-	-	-	-
LOURES	-	-	-	-	-
LOURINHÃ	41,50	74,68	74,68	79,04	79,97
MAÇÃO	-	-	-	-	-
MAFRA	32,49	53,46	53,46	62,80	62,80
MOITA	-	-	-	-	-
MONTIJO	-	-	-	-	-
NAZARÉ	109,42	170,90	170,90	361,44	361,65
ÓBIDOS	40,63	58,24	58,24	60,67	60,70
ODIVELAS	-	-	-	-	-
OEIRAS	24,26	45,37	45,35	68,33	68,33
OURÉM	-	-	-	-	-
PALMELA	-	-	-	-	-
PENICHE	118,22	218,00	218,04	289,61	291,59
RIO MAIOR	-	-	-	-	-
SALVATERRA DE MAGOS	-	-	-	-	-
SANTARÉM	-	-	-	-	-
SARDOAL	-	-	-	-	-
SEIXAL	-	-	-	-	-
SESIMBRA	117,14	178,02	178,05	195,30	195,37
SETÚBAL	31,53	51,25	51,25	54,67	54,67
SINTRA	33,95	58,40	58,40	61,02	61,02
SOBRAL DE MONTE AGRADO	-	-	-	-	-
TOMAR	-	-	-	-	-
TORRES NOVAS	-	-	-	-	-
TORRES VEDRAS	71,06	113,33	113,41	134,65	135,31
VILA FRANCA DE XIRA	-	-	-	-	-
VILA NOVA DA BARQUINHA	-	-	-	-	-
LVT	894,21	1625,17	1625,42	2337,60	2351,23

2.2.7 Erosão costeira e recuo de arribas

A caracterização e delimitação das zonas de instabilidade e recuo de arribas usam como referência os trabalhos promovidos pela APA que sustentaram os Programas de Orla Costeira de Alcobaça – Cabo Espichel e Espichel – Odeceixe.

A avaliação da perigosidade das zonas com litoral de arriba foi efetuada para a APA por uma equipa da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, cujo trabalho e resultados estão sistematizados em Penacho et al. (2013a, 2013b) e Marques et al. (2013). O trabalho foi sustentado por um inventário sistemático de instabilidades em arribas, entre a Nazaré e o Cabo Espichel. Foram utilizadas técnicas de fotointerpretação aplicadas a duas séries de referência de fotografias aéreas verticais, incluindo um dos voos mais antigos existentes que cobrem o troço litoral em estudo (final dos anos 40) e outro realizado em 2010. Foram ainda utilizadas séries de fotografias aéreas de idade intermédia disponíveis para a caracterização da distribuição temporal das instabilidades em arribas (Penacho et al., 2013a).

Do estudo sistemático da totalidade dos troços de arriba da área referida (Nazaré – Cabo Espichel) resultou a identificação de 1049 movimentos de massa em vertentes ou grupos de movimentos que não puderam ser individualizados por falta de resolução temporal das coberturas aéreas disponíveis (Penacho et al., 2013a). Na área entre o Cabo Espichel e Setúbal foram ainda inventariados 86 movimentos de massa em vertentes dos tipos desabamento e deslizamento, com base na interpretação de ortofotomapas digitais e trabalho de campo extensivo.

No estudo original foram delimitadas faixas de risco adjacentes à crista da arriba e faixas de proteção adicional. As faixas de risco adjacentes à crista das arribas foram definidas tendo em conta, em cada sector de arribas com comportamento razoavelmente homogéneo em termos de instabilidade, a dimensão máxima dos movimentos inventariados em estudos comparativos de fotografias aéreas antigas (1947 ou 1958) com as mais recentes disponíveis à época da elaboração dos estudos para os POC (voo

INAG de 1996), mas também as características geomorfológicas e geológicas das arribas que condicionam a ocorrência de instabilidades.

A zona de suscetibilidade atual à erosão costeira e recuo de arribas na região de LVT corresponde à faixa de risco adjacente à crista das arribas, proposta por Marques et al. (2013), na sequência da avaliação efetuada à adequabilidade das referidas faixas no POOC original. Adicionalmente, foram integradas na zona de suscetibilidade atual as áreas de instabilidade potencial associadas às arribas e sinalizadas nos novos Programas de Orla Costeira. A faixa de proteção à base das arribas, igualmente delimitada nos POC, é também integrada na zona de suscetibilidade atual à erosão costeira e recuo de arribas, uma vez que corresponde à área que pode ser atingida pela propagação das instabilidades com origem na crista da arriba.

Com a subida do nível do mar projetada para o final do século XXI (0,59 m e 0,79 m, respetivamente para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5), é de esperar o agravamento da erosão costeira e o recuo mais acentuado das arribas na área de estudo. Neste contexto, a faixa de proteção adicional à crista da arriba, prevista nos POOC, é adicionada à zona de suscetibilidade atual para estabelecer a zona de suscetibilidade projetada para o final do século XXI. Os dados disponíveis não permitem uma diferenciação sustentada da erosão costeira e recuo de arribas associadas às subidas do nível do mar correspondentes aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, pelo que a cartografia apresentada para a suscetibilidade futura à erosão costeira e recuo de arribas na Região de LVT é válida para os dois cenários climáticos considerados.

A **Figura 24** representa a suscetibilidade atual à erosão costeira e recuo de arribas, que se estende ao longo de uma área de 2321 hectares, com maior expressão territorial em Sesimbra, Setúbal, Sintra e Alcobaça.

A **Figura 25** ilustra a projeção do mesmo processo para o final do século XXI, indiferentemente do cenário climático. A extensão das áreas suscetíveis à erosão costeira e recuo de arribas em cada um dos municípios da região de LVT, na atualidade e no futuro, está sistematizada na **Tabela 15**.

O incremento da área suscetível à erosão costeira e recuo de arribas é estimado em 36,4 % até ao final do século XXI, com destaque para os municípios de Cascais, Mafra,

Óbidos, Peniche, Sintra e Sesimbra, onde o aumento ultrapassará os valores atuais em mais de 40 %.



Figura 24 – Suscetibilidade atual (2011) à erosão costeira e recuo de arribas na Região de Lisboa e Vale do Tejo



Figura 25 – Suscetibilidade à erosão costeira e recuo de arribas na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2100 (RCP 4.5, RCP 8.5)

Tabela 15 – Áreas suscetíveis a erosão costeira e recuo de arribas (em hectares) nos municípios da região de LVT em 2100 (RCP 4.5, RCP 8.5)

MUNICÍPIOS	Atual (2011)	2100
ABRANTES	-	-
ALCANENA	-	-
ALCOBAÇA	284,88	345,02
ALCOCHETE	-	-
ALENQUER	-	-
ALMADA	95,15	103,08
ALMEIRIM	-	-
ALPIARÇA	-	-
AMADORA	-	-
ARRUDA DOS VINHOS	-	-
AZAMBUJA	-	-
BARREIRO	-	-
BENAVENTE	-	-
BOMBARRAL	-	-
CADAVAL	-	-
CALDAS DA RAINHA	197,26	253,82
CARTAXO	-	-
CASCAIS	82,01	132,77
CHAMUSCA	-	-
CONSTÂNCIA	-	-
CORUCHE	-	-
ENTRONCAMENTO	-	-
FERREIRA DO ZÊZERE	-	-
GOLEGÃ	-	-
LISBOA	-	-
LOURES	-	-
LOURINHÃ	91,57	121,8
MAÇÃO	-	-
MAFRA	77,64	114,07
MOITA	-	-
MONTIJO	-	-
NAZARÉ	46,88	53,01
ÓBIDOS	50,96	73,25
ODIVELAS	-	-
OEIRAS	-	-
OURÉM	-	-
PALMELA	-	-
PENICHE	83,31	116,94
RIO MAIOR	-	-
SALVATERRA DE MAGOS	-	-
SANTARÉM	-	-
SARDOAL	-	-
SEIXAL	-	-
SESIMBRA	540,13	848,14
SETÚBAL	421,71	472,38
SINTRA	228,83	366,9
SOBRAL DE MONTE AGRÃO	-	-
TOMAR	-	-
TORRES NOVAS	-	-
TORRES VEDRAS	120,76	164,8
VILA FRANCA DE XIRA	-	-
VILA NOVA DA BARQUINHA	-	-
LVT	2321,09	3165,98

2.2.8 Calor excessivo

Para a caracterização das situações atuais de calor excessivo, considera-se a distribuição espacial dos dias muito quentes (com temperatura máxima ≥ 35 °C) obtida por modelação para o período de referência de 1970-2000, a partir de dados disponíveis no Portal do Clima (<http://portaldoclima.pt/pt/>).

A análise das projeções climáticas até ao final do século compreende a espacialização das anomalias projetadas e a caracterização da sua diversidade espaço-temporal. Na caracterização do clima futuro utiliza-se o ensemble dos modelos climáticos regionais, a partir do ensemble dos modelos globais, disponíveis no Portal do Clima, projetados para meados (2041-70) e o final do século XXI (2071-2100) e considerando dois cenários globais de emissões de gases com efeitos de estufa: RCP 4.5 e RCP 8.5.

Os dados originais, com uma resolução espacial de 0,11° (aproximadamente 11 km de espaçamento entre pontos da grelha), são convertidos em pontos e interpolados espacialmente com o método *EBK Regression Prediction* (EBKRP), que é um método de regressão-krigagem que utiliza variáveis explicativas (no caso, o modelo digital do terreno) para melhorar a interpolação.

A suscetibilidade atual e futura, nos dois cenários considerados, é classificada numa escala única que contempla 6 classes de suscetibilidade, estabelecidas em função do número de dias muito quentes (aqueles com temperatura máxima ≥ 35 °C) registados por ano: muito baixa (< 1 dia); baixa (1 a 5 dias); moderada (5 a 15 dias); elevada (15 a 30 dias); muito elevada (30 a 45 dias); extrema (>45 dias).

A **Figura 26** representa a suscetibilidade atual ao calor excessivo na Região de Lisboa e Vale do Tejo e engloba 4 classes com uma distribuição tendencialmente meridiana. A suscetibilidade muito baixa restringe-se à faixa litoral entre Alcobaça e Torres Vedras e à Serra de Sintra, enquanto a suscetibilidade baixa acompanha toda a faixa litoral, a uma distância ao mar tipicamente inferior a 30 km. A suscetibilidade moderada é a classe com maior extensão territorial, abrangendo mais de 57% do território de LVT. A

suscetibilidade elevada ocorre apenas em 12% do território, mas abrange a totalidade do município de Coruche. Registe-se ainda que as duas classes de suscetibilidade mais elevada (muito elevada e extrema) não têm expressão territorial na atualidade.

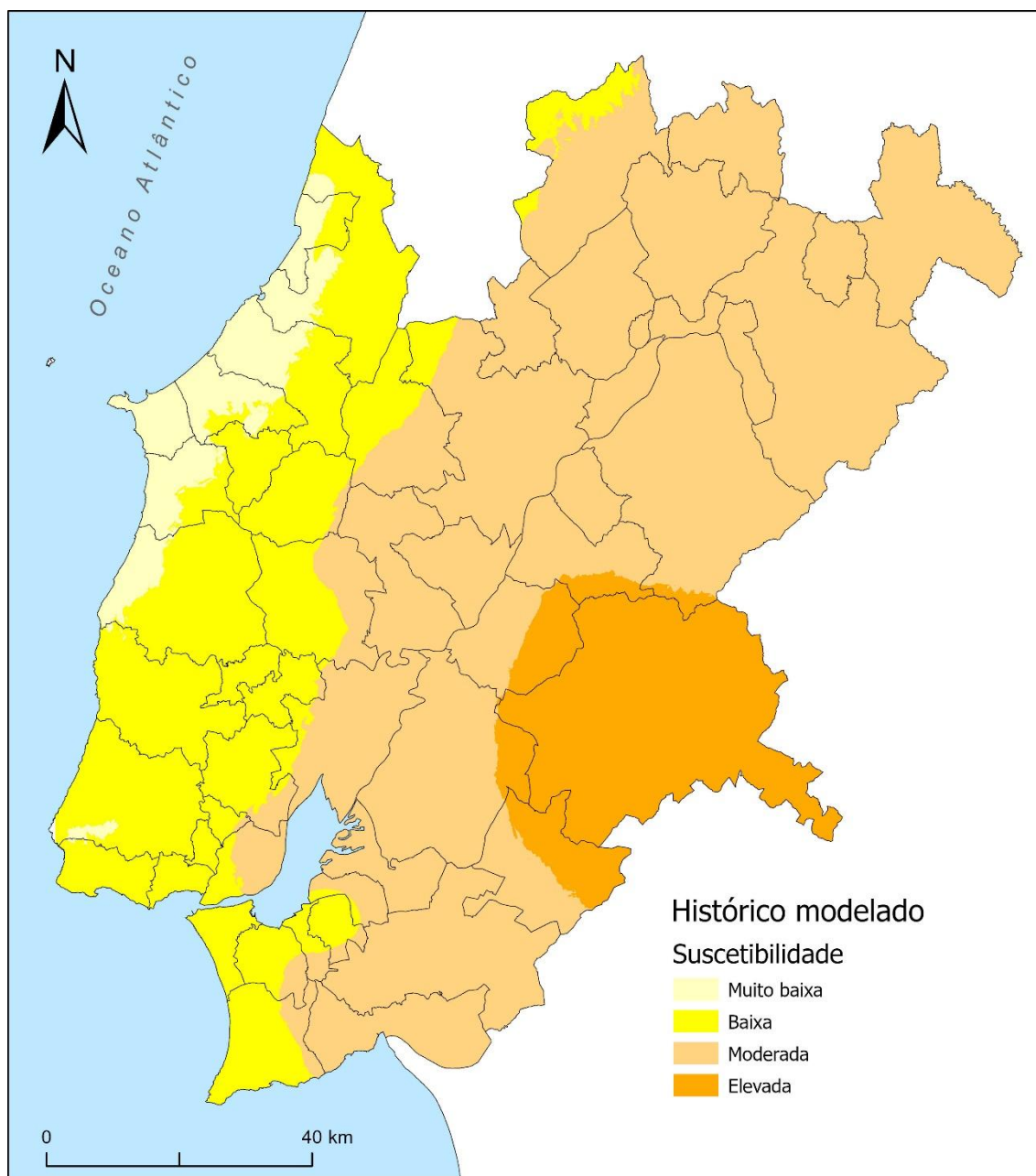


Figura 26 – Suscetibilidade à ocorrência de calor excessivo na Região de Lisboa e Vale do Tejo - Histórico Modelado (1971-2000)

As **Figuras 27 e 28** representam a suscetibilidade ao calor excessivo em meados do século XXI para os cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5, enquanto as **Figuras 29 e 30** apresentam essa suscetibilidade no final do século XXI para os mesmos cenários.

A **Tabela 16** sintetiza a percentagem de área ocupada por cada classe de suscetibilidade ao calor excessivo na Região de LVT, na atualidade, em meados e no final do século XXI, nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. Para os mesmos períodos e cenários climáticos, a **Tabela 17** sistematiza a expressão territorial das classes de suscetibilidade muito elevada e/ou extrema, em cada um dos municípios da Região de LVT.

Tabela 16 – Percentagem de área ocupada por classe de suscetibilidade ao calor excessivo

	Histórico modelado	RCP 4.5		RCP 8.5	
Classe de suscetibilidade	1971-2000	2041 - 2070	2071 - 2100	2041 - 2070	2071 - 2100
Extrema	0,0	0,0	0,0	0,0	40,3
Muito elevada	0,0	6,6	24,3	4,8	23,5
Elevada	12,1	54,2	39,5	59,8	16,0
Moderada	57,2	23,8	21,0	20,9	16,5
Baixa	25,5	15,3	15,0	14,5	3,7
Muito baixa	5,2	0,0	0,1	0,0	0,0

A suscetibilidade ao calor excessivo acentua-se em meados do século, com resultados muito semelhantes entre os cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5. A classe de suscetibilidade muito baixa quase desaparece, enquanto a classe de suscetibilidade baixa reduz-se a cerca de 15% do território, na faixa litoral a norte do estuário do rio Tejo. A classe de suscetibilidade elevada passará a ser dominante territorialmente, ocupando entre 54% e 60% da superfície total da Região de LVT. A classe de suscetibilidade muito elevada ocorrerá essencialmente no município de Coruche.

No final do século a suscetibilidade ao calor excessivo agrava-se substancialmente, principalmente no caso do RCP 8.5. As classes de suscetibilidade muito elevada e extrema abrangerão 24% ou 64% do território de LVT, respetivamente nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. No caso do cenário climático mais gravoso (RCP 8.5), a expressão territorial destas classes será superior a 75% da área de 24 municípios da Região de LVT: Abrantes, Alcanena, Alcochete, Almeirim, Alpiarça, Azambuja, Benavente, Cartaxo, Chamusca,

Constância, Coruche, Entroncamento, Ferreira do Zêzere, Golegã, Mação, Montijo, Ourém, Palmela, Salvaterra de Magos, Santarém, Sardoal, Tomar, Torres Novas e Vila Nova da Barquinha.

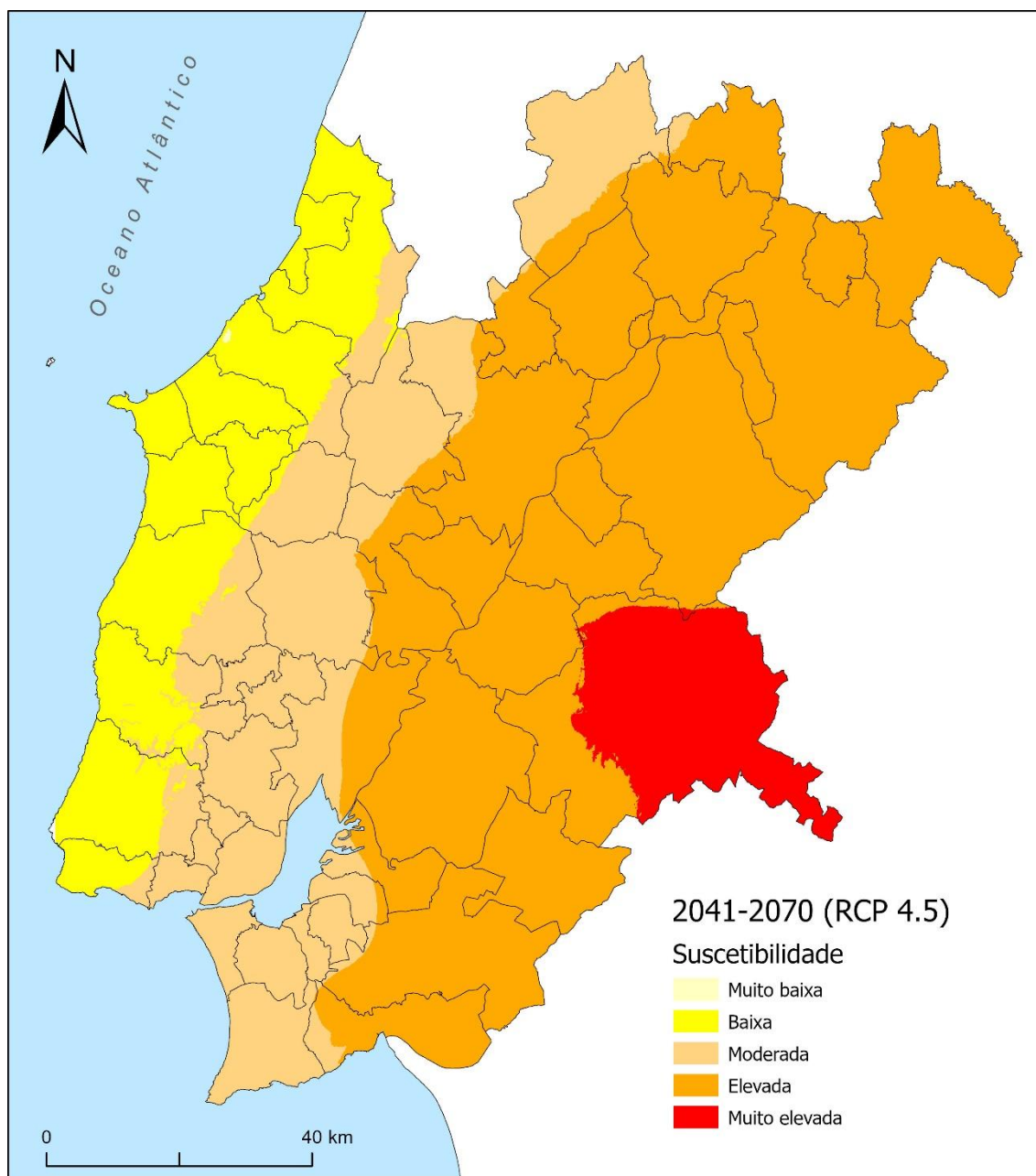


Figura 27 – Suscetibilidade à ocorrência de calor excessivo na Região de Lisboa e Vale do Tejo em meados do século XXI (2041-2070) (cenário RCP 4.5)

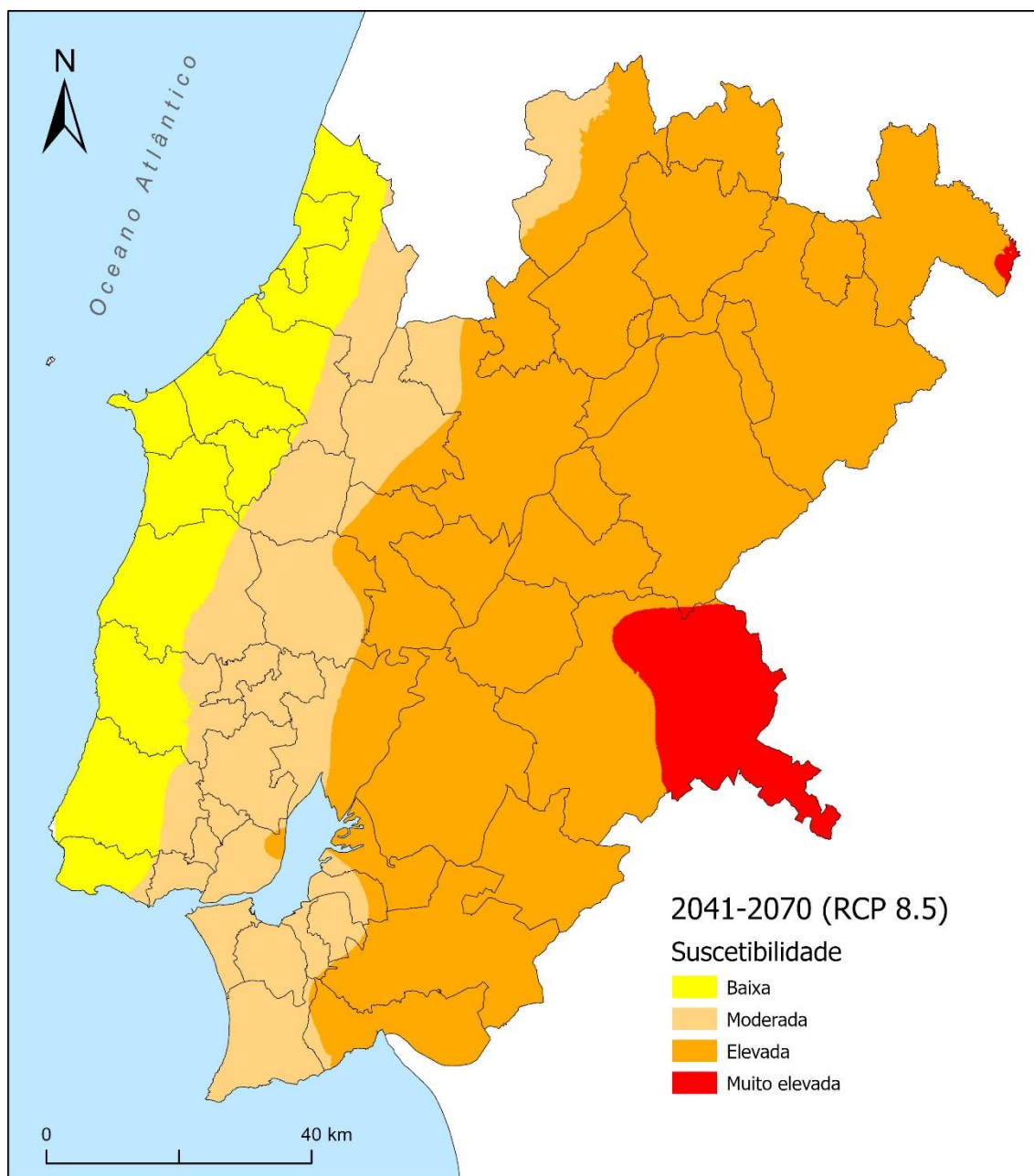


Figura 28 – Suscetibilidade à ocorrência de calor excessivo na Região de Lisboa e Vale do Tejo em meados do século XXI (2041-2070) (cenário RCP 8.5)

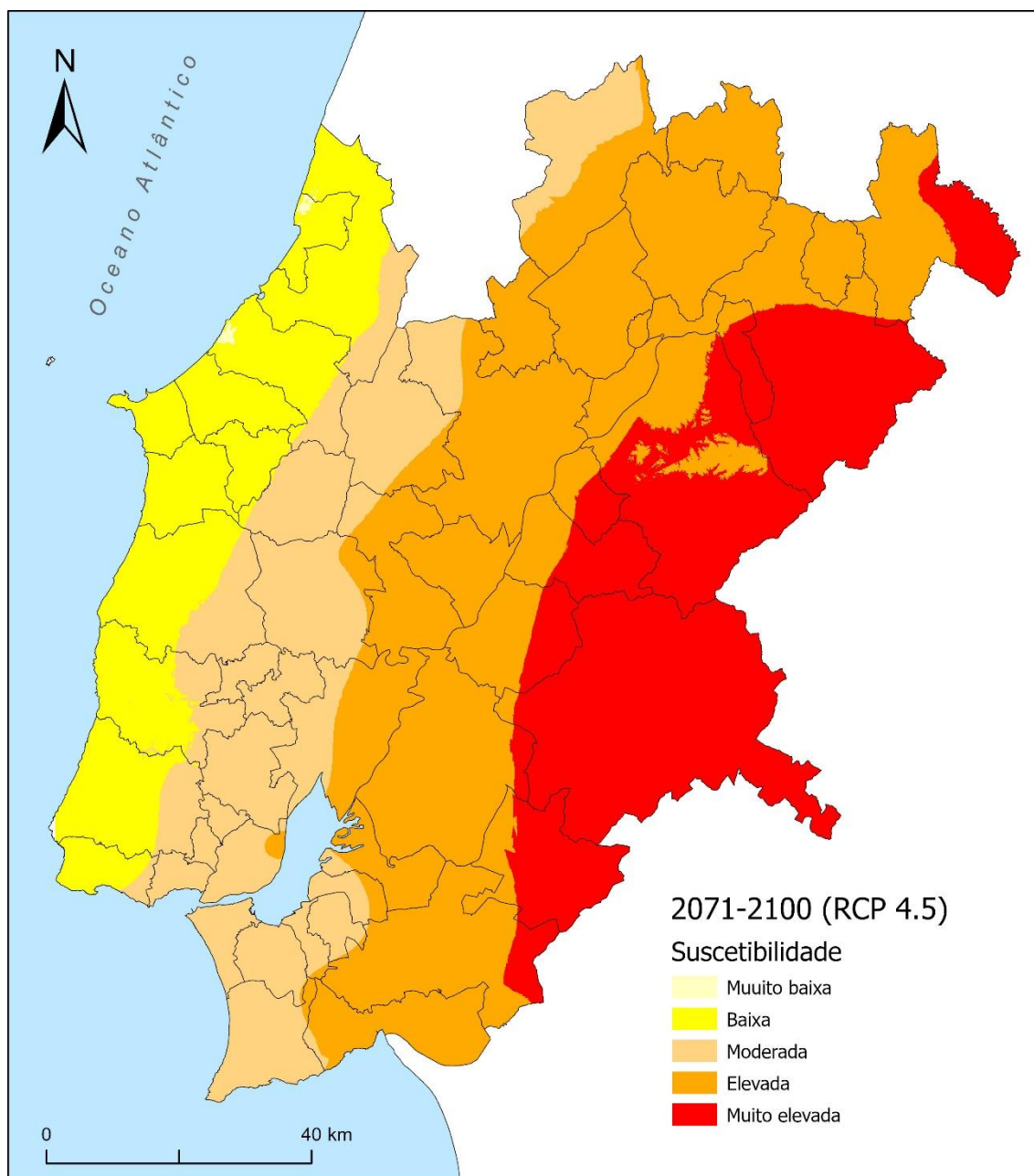


Figura 29 – Suscetibilidade à ocorrência de calor excessivo na Região de Lisboa e Vale do Tejo no final do século XXI (2071-2100) (cenário RCP 4.5)

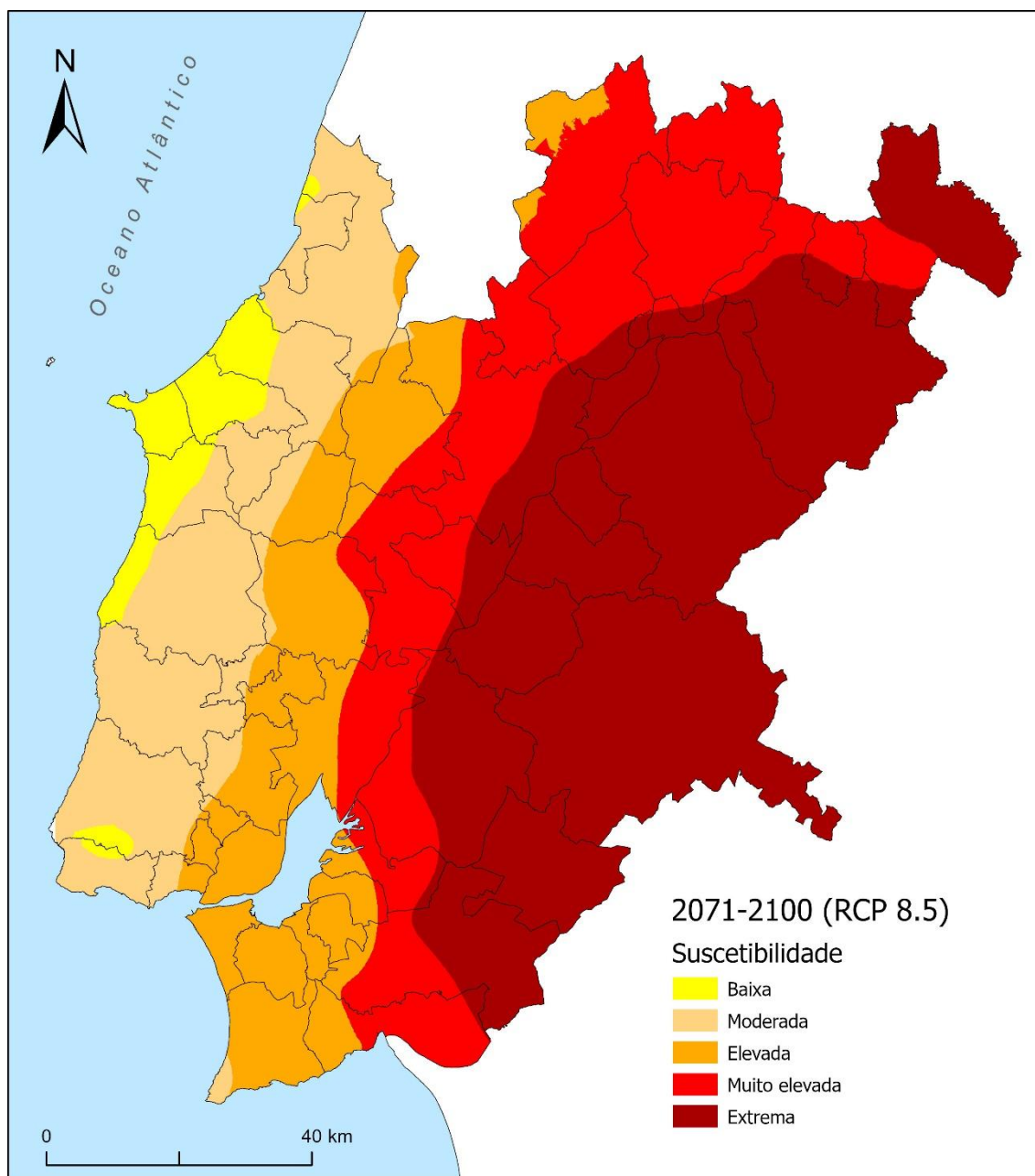


Figura 30 – Suscetibilidade à ocorrência de calor excessivo na Região de Lisboa e Vale do Tejo no final do século XXI (2071-2100) (cenário RCP 8.5)

**Tabela 17 – Áreas com suscetibilidade muito elevada e/ou extrema ao calor excessivo, expressa em %
da superfície dos municípios da região de LVT**

	1971-2000	2041-2070		2071-2100	
MUNICIPIOS	Atual	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
ABRANTES	0,0	0,0	0,0	75,4	100,0
ALCANENA	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
ALCOBAÇA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ALCOCHETE	0,0	0,0	0,0	0,0	78,6
ALENQUER	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0
ALMADA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ALMEIRIM	0,0	0,0	0,0	60,2	100,0
ALPIARÇA	0,0	0,0	0,0	52,5	100,0
AMADORA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ARRUDA DOS VINHOS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AZAMBUJA	0,0	0,0	0,0	0,0	91,0
BARREIRO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BENAVENTE	0,0	0,0	0,0	5,3	100,0
BOMBARRAL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CADAVAL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CALDAS DA RAINHA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CARTAXO	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
CASCAIS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CHAMUSCA	0,0	0,3	0,3	72,2	100,0
CONSTÂNCIA	0,0	0,0	0,0	79,2	100,0
CORUCHE	0,0	72,3	51,0	98,9	100,0
ENTRONCAMENTO	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
FERREIRA DO ZÊZERE	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
GOLEGÃ	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
LISBOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LOURES	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LOURINHÃ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MAÇÃO	0,0	0,0	3,1	35,1	100,0
MAFRA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MOITA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MONTIJO	0,0	0,0	0,0	64,9	86,1
NAZARÉ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ÓBIDOS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ODIVELAS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OEIRAS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OURÉM	0,0	0,0	0,0	0,0	80,1
PALMELA	0,0	0,0	0,0	12,7	92,5
PENICHE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RIO MAIOR	0,0	0,0	0,0	0,0	24,4
SALVATERRA DE MAGOS	0,0	0,3	0,0	37,1	100,0
SANTARÉM	0,0	0,0	0,0	0,0	83,1
SARDOAL	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
SEIXAL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SESIMBRA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SETÚBAL	0,0	0,0	0,0	0,0	70,8
SINTRA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SOBRAL DE MONTE AGRAÇO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOMAR	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
TORRES NOVAS	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
TORRES VEDRAS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
VILA FRANCA DE XIRA	0,0	0,0	0,0	0,0	55,6
VILA NOVA DA BARQUINHA	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
LVT	0,0	6,6	4,8	24,3	63,8

2.2.9 Seca

Seguindo as recomendações da Organização Meteorológica Mundial, a identificação e caracterização dos eventos de seca meteorológica foi feita através da aplicação do índice SPI (*Standardized Precipitation Index*), que permite analisar a sua frequência e intensidade. A suscetibilidade atual à ocorrência de seca foi determinada a partir da variação dos valores de SPI obtidos para o período de referência simulado de 1971-2000, a partir de dados disponíveis no Portal do Clima (<http://portaldoclima.pt/pt/>).

Para a cenarização da seca no futuro utilizou-se o ensemble dos modelos climáticos regionais, a partir do ensemble dos modelos globais, disponíveis no Portal do Clima, projetados para o final do século XXI e considerando dois cenários globais de emissões de gases com efeitos de estufa: RCP 4.5 e RCP 8.5.

A suscetibilidade à seca meteorológica atual e futura, nos dois cenários considerados, foi classificada numa escala única que contempla 4 classes de suscetibilidade, estabelecidas em função dos valores do índice SPI: Baixa (0,1 – 0); Moderada (0 a -0,29); Elevada (-0,30 a -0,99); Muito elevada (-1,00 a -1,02).

A **Tabela 18** sintetiza a percentagem de área ocupada por cada classe de suscetibilidade à seca na Região de LVT, na atualidade, em meados e no final do século XXI, nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.

Tabela 18 – Percentagem de área ocupada por classe de suscetibilidade à seca

Classe de suscetibilidade	Histórico modelado	RCP 4.5		RCP 8.5	
	1971-2000	2041 - 2070	2071 - 2100	2041 - 2070	2071 - 2100
Muito elevada	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3
Elevada	0,0	24,2	0,0	86,4	94,7
Moderada	16,9	75,8	100,0	13,6	0,0
Baixa	83,1	0,0	0,0	0,0	0,0

A suscetibilidade à ocorrência de seca na Região de Lisboa e Vale do Tejo no período histórico modelado (1971-2000) está representada na **Figura 31** e mostra que, na atualidade, a suscetibilidade é baixa na maior parte do território (83,1 %), com a exceção de uma área que corresponde grosseiramente à Área Metropolitana de Lisboa, onde a suscetibilidade é moderada.

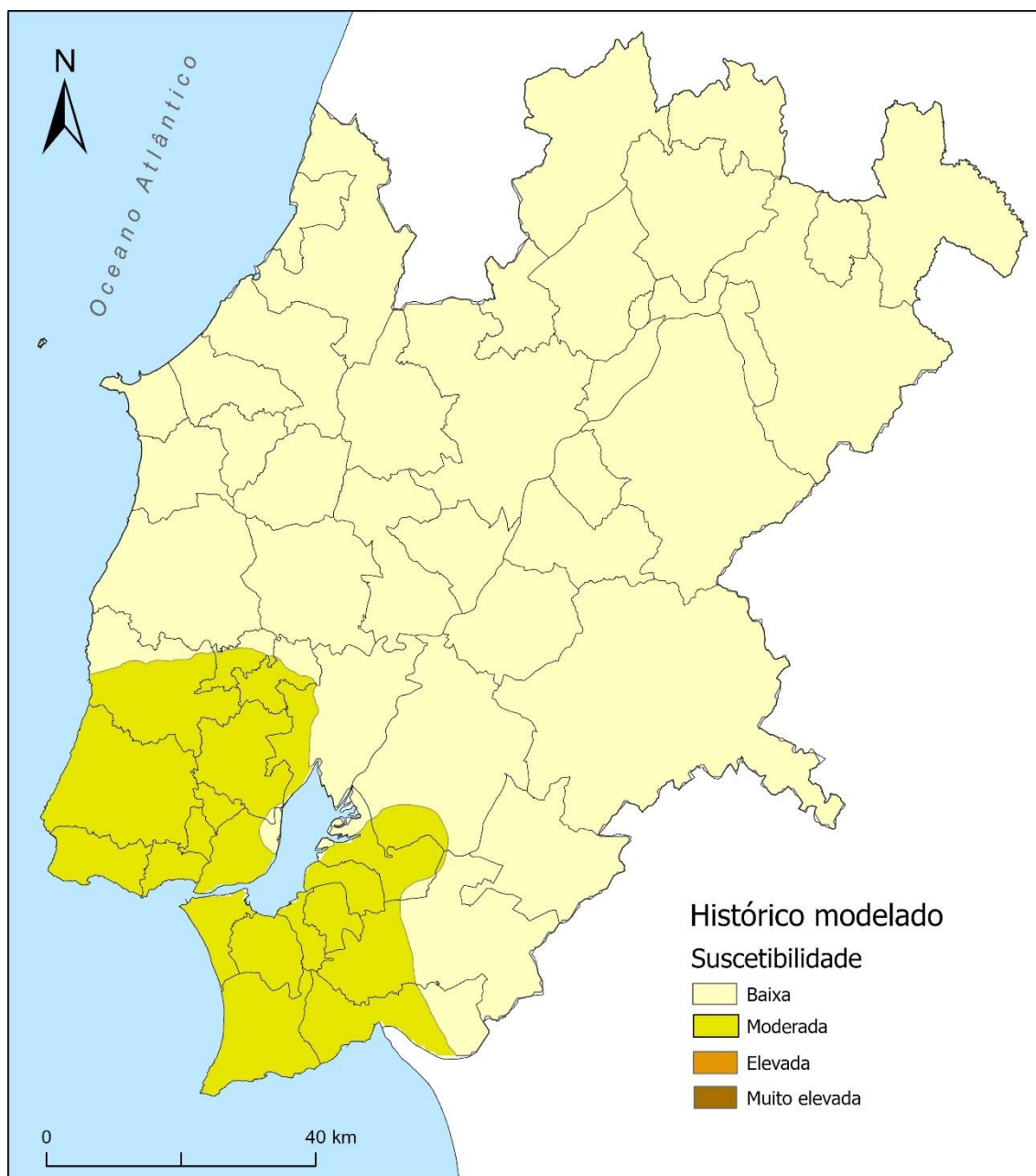


Figura 31 – Suscetibilidade à ocorrência de seca na Região de Lisboa e Vale do Tejo - Histórico Modelado (1971-2000)

As **Figuras 32 e 33** representam a suscetibilidade à seca em meados do século (2041-2070) nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. No primeiro cenário, a suscetibilidade moderada é dominante no território (75,8%) e a suscetibilidade elevada adquire maior expressão na fachada litoral (Alcobça, Nazaré, Caldas da Rainha, Óbidos, Peniche, Lourinhã, Bombarral, Mafra, Sintra, Cascais, Sesimbra) e em Coruche. No segundo cenário, a suscetibilidade à seca acentua-se significativamente e a maior parte do território (86,4 %) apresenta uma suscetibilidade elevada. A suscetibilidade moderada restringe-se a áreas relativamente baixas, na envolvente do vale e estuário do Tejo, assim como na região do Oeste, na depressão diapírica de Caldas da Rainha.

As **Figuras 34 e 35** ilustram a suscetibilidade à seca no final do século XXI (2071-2100) e mostram resultados contrastados nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. No caso do cenário climático RCP 4.5 verifica-se uma redução da suscetibilidade à seca, que passará a ser moderada na totalidade do território de LVT. Este facto está relacionado com a estabilização do forçamento radiativo assumida para os últimos 30 anos do século neste cenário climático, que se deverá materializar num ligeiro incremento da precipitação, por comparação com os 30 anos precedentes. Pelo contrário, no cenário climático RCP 8.5 ocorre um agravamento da suscetibilidade à seca, em virtude do incremento do forçamento radiativo. Neste contexto, a seca que será predominantemente elevada (94,7 %), sendo muito elevada na Arrábida e na região a norte de Lisboa, que engloba os municípios de Loures, Arruda dos Vinhos, Sobral de Monte Agraço, Vila Franca de Xira, Mafra, Torres Vedras e Alenquer.

A **Tabela 19** sistematiza a expressão territorial das classes de suscetibilidade elevada e/ou muito elevada, em cada um dos municípios da Região de LVT, na atualidade, em meados e no final do século XXI, nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. As classes de suscetibilidade mais gravosas não estão presentes na atualidade nem, no final do século, no caso do cenário RCP 4.5. Pelo contrário, as mesmas classes abrangerão a totalidade da área de todos os municípios no final do século, no cenário RCP 8.5. A meio do século, a classe de suscetibilidade elevada abrangerá a totalidade do território de 27 municípios, no cenário RCP 8.5: Abrantes, Alenquer, Amadora, Arruda dos Vinhos, Benavente, Bombarral, Cadaval, Cascais, Constância, Coruche, Loures, Lourinhã, Mação, Mafra,

Óbidos, Odivelas, Oeiras, Ourém, Palmela, Peniche, Sardoal, Sesimbra, Setúbal, Sintra, Sobral de Monte Agraço, Torres Vedras e Vila Franca de Xira.

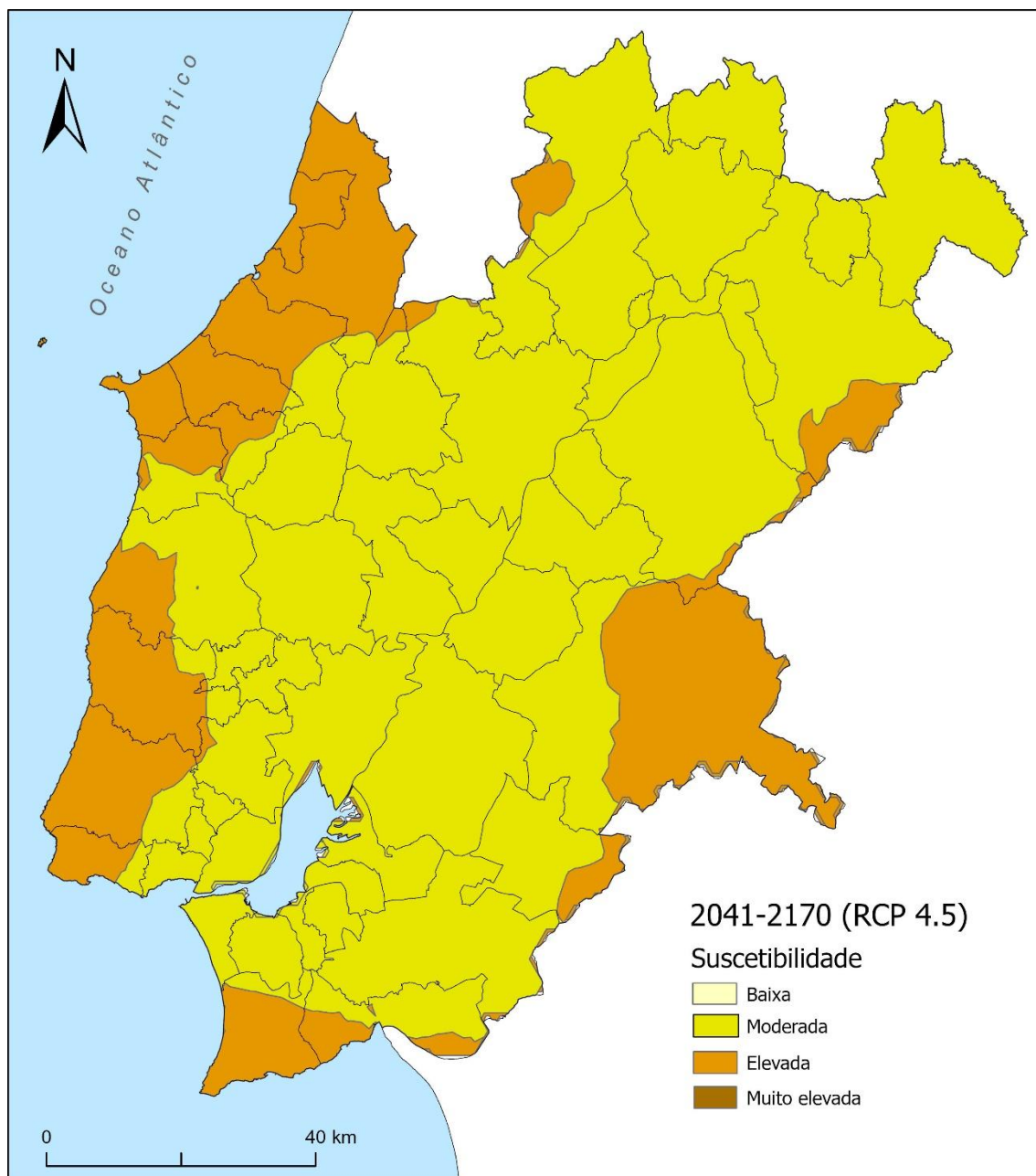


Figura 32 – Suscetibilidade à ocorrência de seca na Região de Lisboa e Vale do Tejo em meados do século XXI (2041-2070) (cenário RCP 4.5)

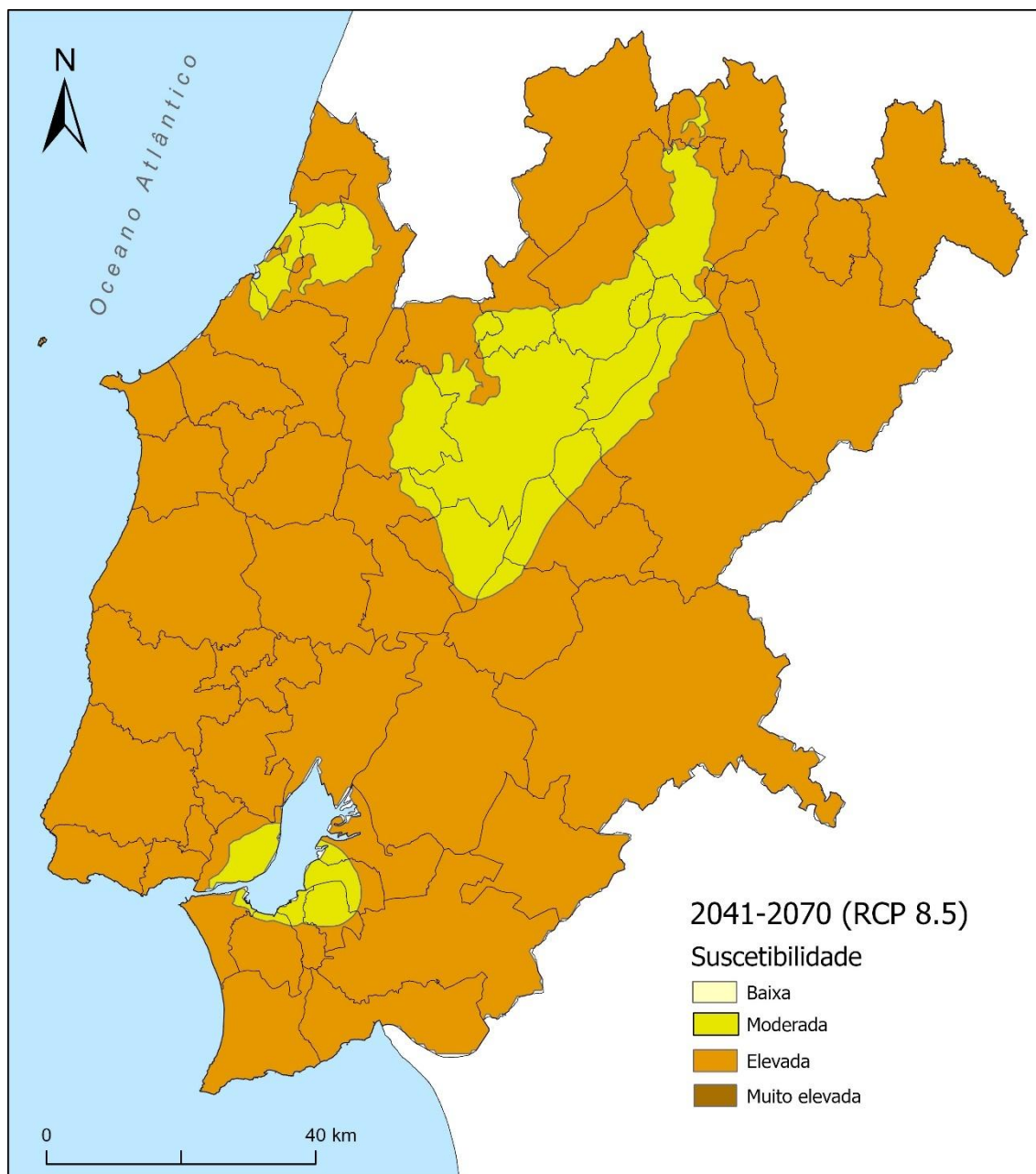


Figura 33 – Suscetibilidade à ocorrência de seca na Região de Lisboa e Vale do Tejo em meados do século XXI (2041-2070) (cenário RCP 8.5)

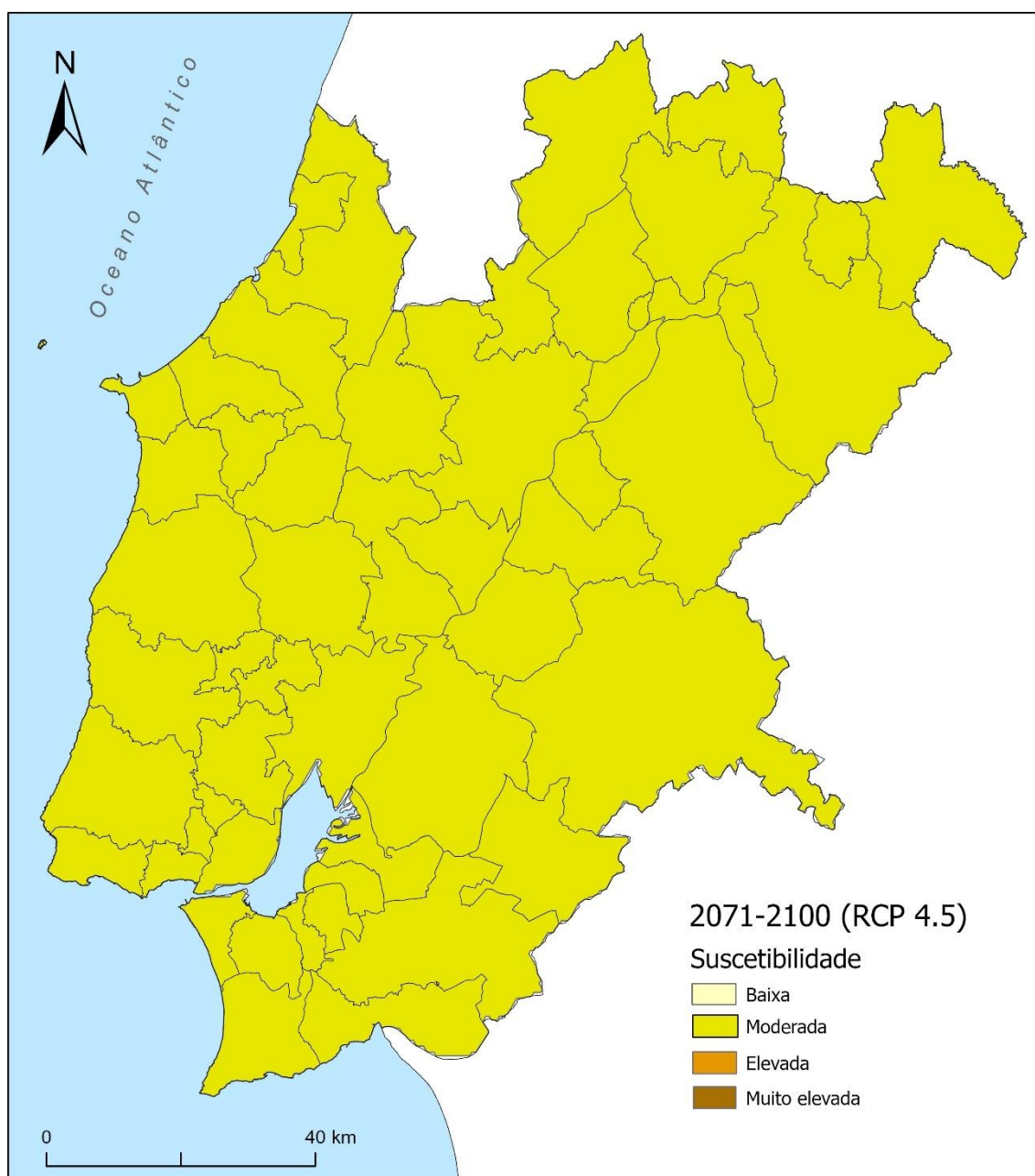


Figura 34 – Suscetibilidade à ocorrência de seca na Região de Lisboa e Vale do Tejo no final do século XXI (2071-2100) (cenário RCP 4.5)

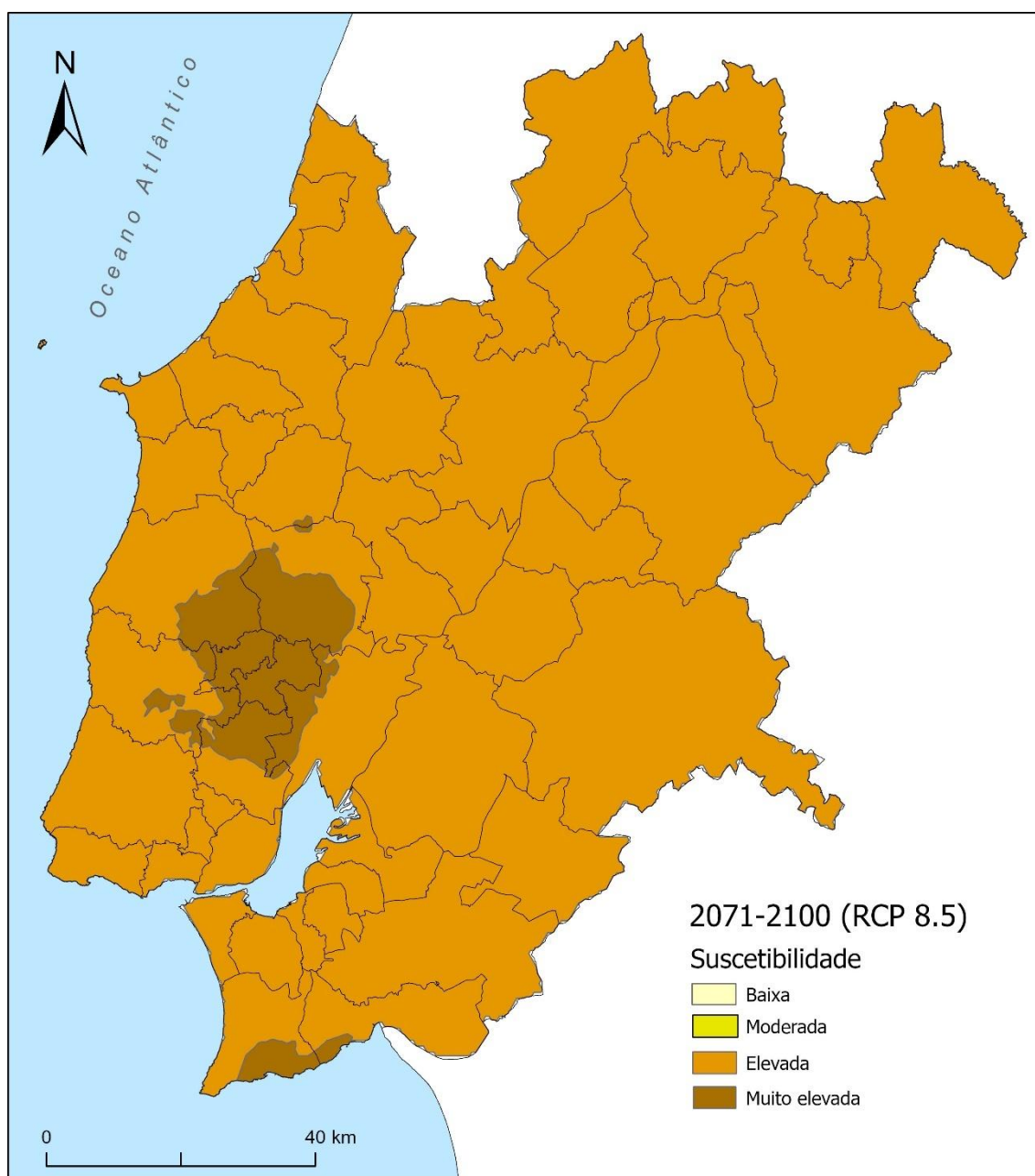


Figura 35 – Suscetibilidade à ocorrência de seca na Região de Lisboa e Vale do Tejo no final do século XXI (2071-2100) (cenário RCP 8.5)

Tabela 19 – Áreas com suscetibilidade elevada e/ou muito elevada à seca, expressa em % da superfície dos municípios da região de LVT

MUNICIPIOS	1971-2000	2041-2070		2071-2100	
	Atual	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
ABRANTES	0,0	15,5	100,0	0,0	100,0
ALCANENA	0,0	0,1	56,0	0,0	100,0
ALCOBAÇA	0,0	94,5	71,3	0,0	100,0
ALCOCHETE	0,0	0,0	92,4	0,0	100,0
ALENQUER	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
ALMADA	0,0	0,2	92,6	0,0	100,0
ALMEIRIM	0,0	0,0	73,5	0,0	100,0
ALPIARÇA	0,0	0,0	48,1	0,0	100,0
AMADORA	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
ARRUDA DOS VINHOS	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
AZAMBUJA	0,0	0,0	92,3	0,0	100,0
BARREIRO	0,0	0,0	63,9	0,0	100,0
BENAVENTE	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
BOMBARRAL	0,0	51,7	100,0	0,0	100,0
CADAVAL	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
CALDAS DA RAINHA	0,0	66,3	96,3	0,0	100,0
CARTAXO	0,0	0,0	33,1	0,0	100,0
CASCAIS	0,0	78,9	100,0	0,0	100,0
CHAMUSCA	0,0	4,3	88,0	0,0	100,0
CONSTÂNCIA	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
CORUCHE	0,0	66,8	100,0	0,0	100,0
ENTRONCAMENTO	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
FERREIRA DO ZÉZERE	0,0	0,0	95,6	0,0	100,0
GOLEGÃ	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
LISBOA	0,0	0,0	46,3	0,0	100,0
LOURES	0,0	5,2	100,0	0,0	100,0
LOURINHÃ	0,0	49,7	100,0	0,0	100,0
MAÇÃO	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
MAFRA	0,0	82,6	100,0	0,0	100,0
MOITA	0,0	0,0	29,8	0,0	100,0
MONTIJO	0,0	15,6	90,6	0,0	100,0
NAZARÉ	0,0	100,0	56,3	0,0	100,0
ÓBIDOS	0,0	96,3	100,0	0,0	100,0
ODIVELAS	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
OEIRAS	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
OURÉM	0,0	14,5	99,9	0,0	100,0
PALMELA	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
PENICHE	0,0	100,0	100,0	0,0	100,0
RIO MAIOR	0,0	4,3	61,6	0,0	100,0
SALVATERRA DE MAGOS	0,0	0,0	92,3	0,0	100,0
SANTARÉM	0,0	2,6	21,9	0,0	100,0
SARDOAL	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
SEIXAL	0,0	0,0	93,6	0,0	100,0
SESIMBRA	0,0	85,8	100,0	0,0	100,0
SETÚBAL	0,0	33,2	100,0	0,0	100,0
SINTRA	0,0	81,4	100,0	0,0	100,0
SOBRAL DE MONTE AGRADO	0,0	3,7	100,0	0,0	100,0
TOMAR	0,0	0,0	57,6	0,0	100,0
TORRES NOVAS	0,0	0,0	57,0	0,0	100,0
TORRES VEDRAS	0,0	30,7	100,0	0,0	100,0
VILA FRANCA DE XIRA	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
VILA NOVA DA BARQUINHA	0,0	0,0	25,8	0,0	100,0
LVT	0,0	24,2	86,4	0,0	100,0

2.2.10 Tempestades de vento

Idealmente, o perigo de tempestades de vento intenso deveria ser avaliado a partir de dados de rajadas máximas do vento, mas esses dados não estão disponíveis. Por esta razão, a probabilidade de ocorrência de vento intenso foi classificada em função da intensidade média do vento, a 10 m de altura acima da superfície topográfica. Assume-se que, quanto mais elevada é a intensidade média do vento, maior será a probabilidade de ocorrência de rajadas de vento forte.

O tema da intensidade do vento foi obtido do Global Wind Atlas (GWA 3.1) [<https://globalwindatlas.info>], que é o resultado de uma parceria entre o departamento de energia eólica da Technical University of Denmark (DTU Wind Energy) e o World Bank Group.

O GWA utiliza um processo de *downscaling*. Os dados climáticos eólicos em pequena escala são obtidos por reanálise atmosférica, recorrendo ao conjunto de dados ERA5 do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), para o período de simulação 2008-2017. Os dados estão condensados numa grelha com um espaçamento de aproximadamente 30 km. Estes dados são utilizados numa segunda etapa para forçar o modelo de mesoscala WRF, usando um espaçamento de grelha de 3 km. Esta grelha é usada para generalizar um conjunto de climas de vento, que são considerados no sistema de modelação em microescala, que consiste num cálculo WASP de climas eólicos locais para cada 250 m a cinco alturas: 10 m; 50 m; 100 m; 150 m e; 200 m.

A modelação WASP entra em consideração com a topografia, orografia, uso do solo e rugosidade do terreno. A variável modelada neste trabalho corresponde à velocidade média do vento, a 10m de altura acima da superfície topográfica.

A suscetibilidade à ocorrência de vento intenso foi classificada em 5 classes em função da intensidade média do vento, conjugando a classificação sugerida pelo IPMA com a escala de Beaufort (**Tabela 20**). Assume-se que a probabilidade de ocorrência de ventos

fortes e muito forte tem uma forte correlação espacial com a distribuição da intensidade média do vento.

Tabela 20 – Classes de intensidade média do vento (Fonte: IPMA e escala de Beaufort)

Classe de suscetibilidade	Velocidade (m/s)
Muito baixa	< 3,3
Baixa	3,3 – 4,2
Moderada	4,2 – 5,0
Elevada	5,0 – 10,8
Muito elevada	> 10,8

Uma vez que as projeções do modelo ensemble para os períodos de 2041-2070 e 2071-2100 antecipam, globalmente, a manutenção das condições que se fazem sentir atualmente, em ambos os cenários climáticos (RCP 4.5 e RCP 8.5), considera-se que o mapa que traduz as condições atuais de suscetibilidade ao vento intenso permanece válido para o futuro.

A **Tabela 21** apresenta a percentagem de área ocupada por cada classe de suscetibilidade à ocorrência de vento intenso na Região de LVT, sendo válida para a atualidade e para o futuro, em qualquer dos cenários climáticos considerados (RCP 4.5 e RCP 8.5). A **Figura 36** espacializa as 5 classes de suscetibilidade consideradas.

Tabela 21 – Percentagem de área ocupada por classe de suscetibilidade à ocorrência de vento intenso

Classe de suscetibilidade	%
Muito elevada	0,00
Elevada	2,65
Moderada	8,91
Baixa	38,34
Muito baixa	50,11

A grande maioria do território (88, 4 %) corresponde às classes de suscetibilidade baixa e muito baixa. As classes de suscetibilidade moderada e elevada abrangem cerca de 11 % do território de LVT e ocorrem nas serras mais altas da região (e.g. Arrábida,

Montejunto, Candeeiros, Aire), nas colinas a norte de Lisboa e ao longo da faixa litoral a norte do Cabo Raso. A classe de suscetibilidade muito elevada tem uma expressão residual e está limitada à Serra do Risco no município de Sesimbra.

A **Tabela 22** sistematiza a expressão territorial das classes de suscetibilidade moderada, elevada e/ou muito elevada, em cada um dos municípios da Região de LVT. Na atualidade e no futuro, em qualquer dos cenários climáticos, há quinze municípios que se destacam, com mais de 20% da respetiva superfície com suscetibilidade moderada, elevada e/ou muito elevada à ocorrência de vento intenso: Alcanena, Alcochete, Alenquer, Arruda dos Vinhos, Caldas da Rainha, Cascais, Loures, Lourinhã, Mafra, Óbidos, Peniche, Setúbal, Sintra, Sobral de Monte Agraço e Vila Franca de Xira.

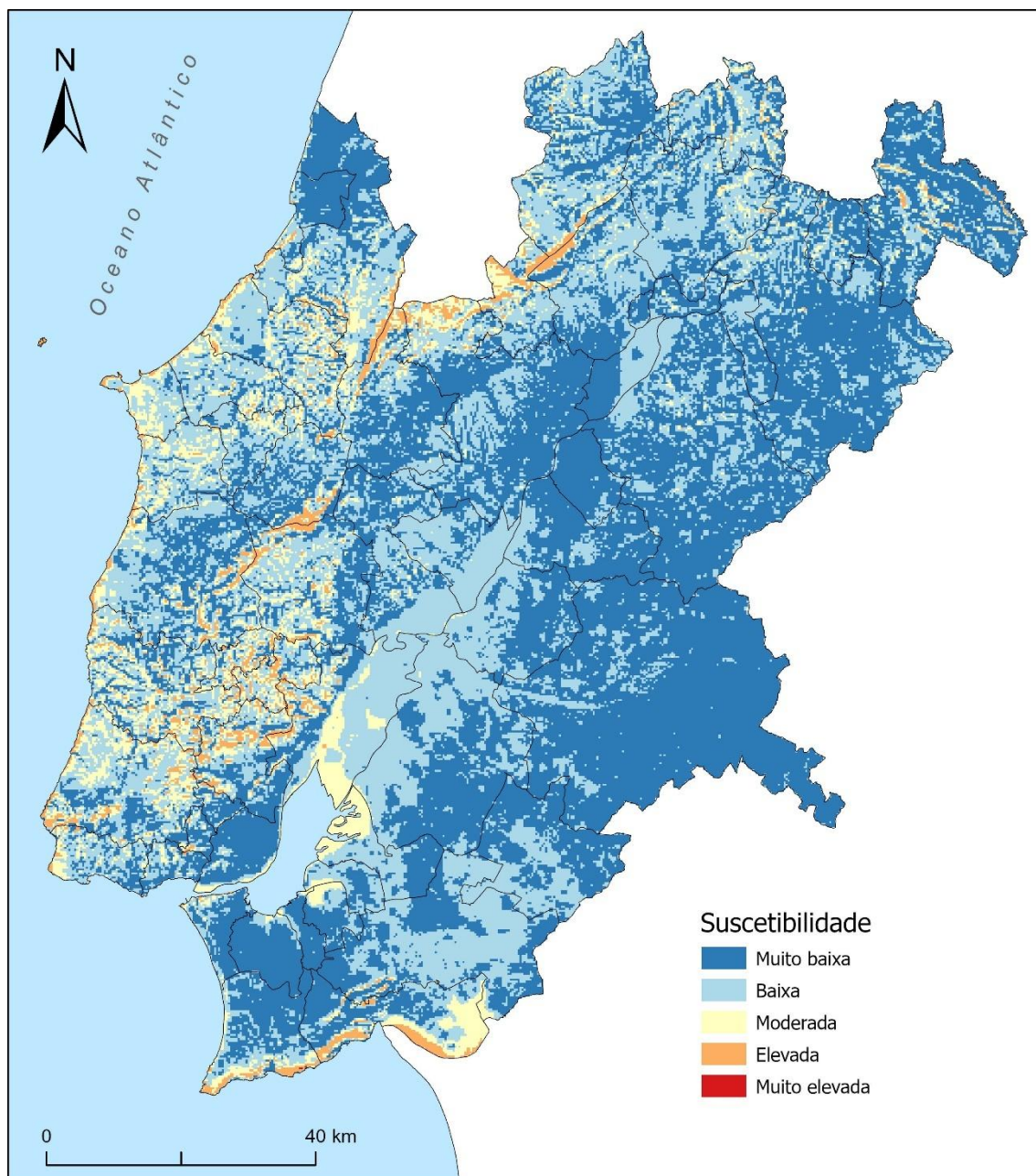


Figura 36 – Suscetibilidade à ocorrência de vento intenso na Região de Lisboa e Vale do Tejo (atual e futuro, RCP 4.5, RCP 8.5)

Tabela 22 – Áreas com suscetibilidade moderada, elevada e/ou muito elevada à ocorrência de vento intenso, expressa em % da superfície dos municípios da região de LVT
(atual e futuro, RCP 4.5, RCP 8.5)

MUNICÍPIO	%
ABRANTES	2,3
ALCANENA	33,6
ALCOBAÇA	17,9
ALCOCHETE	26,0
ALENQUER	22,4
ALMADA	8,3
ALMEIRIM	0,0
ALPIARÇA	0,0
AMADORA	15,5
ARRUDA DOS VINHOS	46,7
AZAMBUJA	3,2
BARREIRO	4,1
BENAVENTE	0,4
BOMBARRAL	16,7
CADAVAL	12,5
CALDAS DA RAINHA	31,8
CARTAXO	0,5
CASCAIS	22,3
CHAMUSCA	0,9
CONSTÂNCIA	1,1
CORUCHE	0,0
ENTRONCAMENTO	0,0
FERREIRA DO ZÊZERE	15,6
GOLEGÃ	0,0
LISBOA	8,6
LOURES	29,6
LOURINHÃ	31,6
MAÇÃO	8,1
MAFRA	37,4
MOITA	15,2
MONTIJO	1,2
NAZARÉ	9,1
ÓBIDOS	24,6
ODIVELAS	11,9
OEIRAS	10,5
OURÉM	11,7
PALMELA	2,2
PENICHE	41,6
RIO MAIOR	12,8
SALVATERRA DE MAGOS	0,3
SANTARÉM	9,2
SARDOAL	7,5
SEIXAL	1,7
SESIMBRA	16,8
SETÚBAL	34,3
SINTRA	33,9
SOBRAL DE MONTE AGRAÇO	49,7
TOMAR	6,5
TORRES NOVAS	8,5
TORRES VEDRAS	16,3
VILA FRANCA DE XIRA	27,3
VILA NOVA DA BARQUINHA	3,6
LVT	11,56

2.3 Avaliação do risco atual e futuro

2.3.1 Introdução

A **Figura 37** sistematiza o esquema metodológico empregue para avaliar os riscos climáticos atuais e futuros, numa abordagem multiperigo aplicada às 355 freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo, utilizadas como unidades territoriais de referência. Os métodos de avaliação da suscetibilidade atual e futura, para os perigos climáticos considerados, foram descritos na secção 2.2. Os edifícios residenciais e a população residente em 2021 constituem a base para a avaliação da exposição. As características da população residente em 2021 são utilizadas para a definição de um índice de vulnerabilidade social.

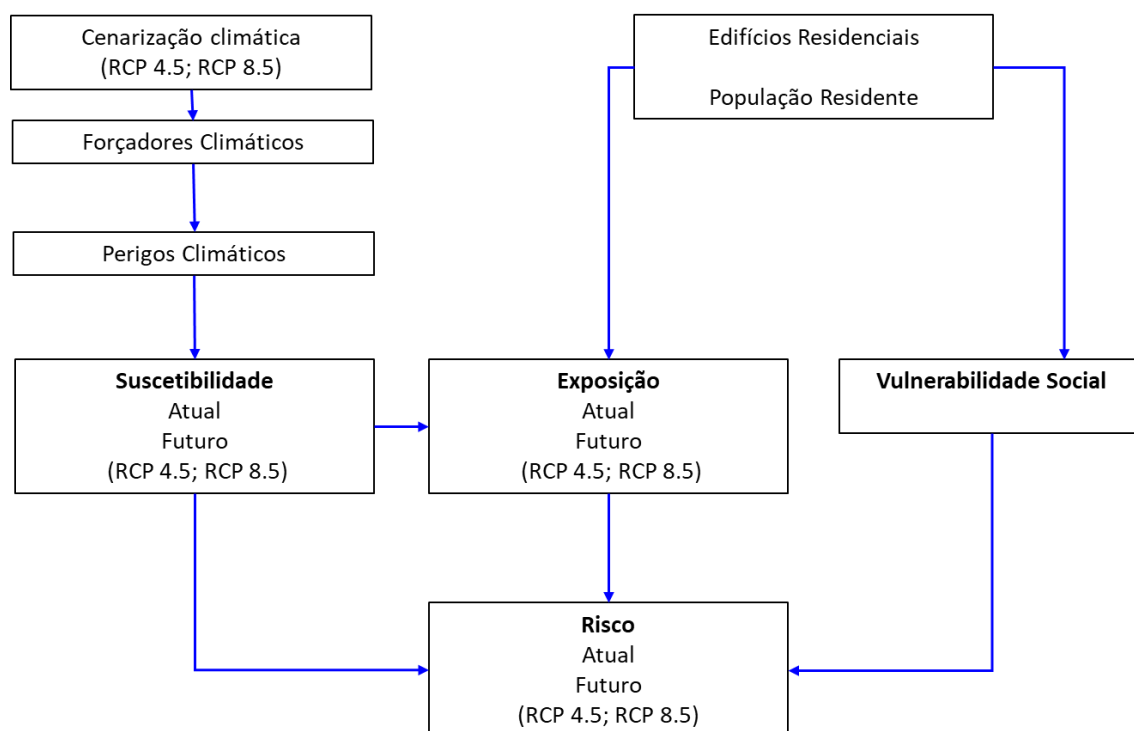


Figura 37 – Metodologia de avaliação de riscos climáticos na região de Lisboa e Vale do Tejo

A análise de risco estabelece um índice de risco multiperigo, que combina os três principais componentes do risco: a suscetibilidade, a exposição e a vulnerabilidade. O Índice de Risco Multiperigo (IRM) é adimensional e resulta do produto da suscetibilidade combinada com a exposição (SE) pela vulnerabilidade (V), com recurso à equação (8):

$$IRM = SE^{\frac{2}{3}} \times V^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

O IRM, considerando as devidas diferenças em relação à escala, componentes de risco e dados de entrada, baseia-se no INFORM, que é um índice de risco de referência internacional, que combina dados de 16 componentes que descrevem perigos, exposição, vulnerabilidade e falta de capacidade de suporte (De Groeve et al., 2014). A formulação adotada neste trabalho é semelhante a outras aplicadas recentemente com sucesso na escala municipal em Portugal, para o risco de cheia (Santos et al., 2020) e de movimentos de massa em vertentes (Pereira et al., 2020). Adicionalmente, o método foi aplicado com sucesso na escala da freguesia para o risco de incêndio rural na região centro de Portugal (Bergonse et al., 2022), revelando-se igualmente eficaz na análise multiperigo, em contexto de alterações climáticas, na escala da secção estatística no território da Arrábida (PLAAC Arrábida, 2022a,b,c).

A análise de risco, com o cálculo do IRM, é efetuada para a atualidade e para o clima de meados e do final do século XXI, considerando os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.

Antes da integração no índice de risco multiperigo, as três componentes do IRM (suscetibilidade, exposição e vulnerabilidade) são escaladas para o intervalo [0, 1] usando o método min-max (equação 9):

$$X_{i,norm}^j = \frac{X_i^j - X_{i,min}}{X_{i,max} - X_{i,min}} \quad (9)$$

onde:

X_i^j – valor da componente i do IRM na freguesia j ;

$X_{i,min}$ - valor mínimo da componente i do IRM;

$X_{i,max}$ - valor máximo da componente i do IRM;

$X_{i,norm}^j$ - valor normalizado da componente i do IRM na freguesia j .

Os valores de $X_{i,max}$ e $X_{i,min}$ são determinados para cada componente do IRM tendo em conta a gama completa de valores obtidos para os cinco cenários considerados, no conjunto das freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo. Com este procedimento, os resultados obtidos para o IRM são diretamente comparáveis, nas suas variações no espaço e no tempo.

Nas subsecções seguintes detalham-se os procedimentos metodológicos associados à avaliação de cada uma das componentes do risco.

2.3.2 Suscetibilidade multiperigo atual e futura

A suscetibilidade multiperigo foi calculada recorrendo à interseção das freguesias com as áreas suscetíveis de serem afetadas por cada um de oito perigos climáticos considerados: incêndios rurais/florestais, instabilidade de vertentes, inundações fluviais, inundações estuarinas, inundações e galgamentos costeiros, erosão costeira e recuo de arribas, tempestades de vento e calor excessivo. A erosão hídrica do solo e a seca meteorológica não foram consideradas neste exercício, por não serem suscetíveis de colocar em risco, direta e imediatamente, a segurança das pessoas e dos bens.

O exercício é realizado para cinco cenários, correspondentes à situação atual (cenário 1), ao clima de meados do século para o RCP 4.5 (cenário 2) e RCP 8.5 (cenário 3), e ao clima do final do século XXI, para o RCP 4.5 (cenário 4) e RCP 8.5 (cenário 5).

Para cada freguesia (UT_j), e para cada cenário, a suscetibilidade multiperigo é calculada de acordo com a equação (10):

$$SUT_j = \sum_{i=1}^n Z_i P_{ci} F(T) P_{ci} \quad (10)$$

onde:

Z_i - fração (%) da freguesia j interseccionada por cada perigo;

P_{ci} - perigo climático i ;

$F(T) P_{ci}$ – ponderador associado à taxa de variação da frequência/magnitude do perigo climático i ao longo do tempo.

Para efeitos de cálculo da suscetibilidade multiperigo, os perigos climáticos considerados agrupam-se em quatro grupos, tendo em conta as respetivas relações espaço-temporais na dependência das alterações climáticas.

O Grupo A inclui 4 perigos: incêndios rurais/florestais, inundações estuarinas, inundações e galgamentos costeiros, e erosão e recuo de arribas. Em qualquer destes perigos, a área geográfica abrangida incrementa com o tempo, em função das alterações climáticas. Nestes casos, na equação (10), $F(T) PCi$ é assumido = 1.

O Grupo B inclui 2 perigos: instabilidade de vertentes e inundações fluviais. Em função da metodologia adotada, a área geográfica abrangida por estes perigos mantém-se invariável no tempo, mas a relação de frequência/magnitude varia, em função das alterações climáticas. Nestes casos, na equação (10), $Zi PCi$ mantém-se em todos os cenários e $F(T) PCi$ é superior ou inferior a 1, na proporção da variação projetada para a probabilidade de ocorrência do respetivo perigo no futuro.

O Grupo C inclui 1 perigo: tempestades de vento. Assume-se que as condições atuais são invariáveis no futuro, espacialmente e na relação de frequência/magnitude, tendo em conta o carácter inconclusivo das projeções climáticas do modelo *ensemble* para os períodos de 2041-2070 e 2071-2100, em ambos os cenários climáticos (RCP 4.5 e RCP 8.5). Assim, na equação (10), $Zi PCi$ mantém-se em todos os cenários e $F(T) PCi$ é assumido = 1.

O Grupo D inclui 1 perigo: calor excessivo. Este perigo climático considera-se distinto de qualquer dos outros, por ser extensivo geograficamente, alargando-se à totalidade do território de LVT. Neste caso, com recurso a *Zonal Statistics*, foi calculado o número médio de dias com calor excessivo ($T \text{ máx.} \geq 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$) por freguesia, nos vários cenários considerados. Os resultados foram normalizados numa escala 0-1, compatível com a utilizada para os restantes perigos climáticos, assumindo 1 para o valor mais elevado calculado (56,3 dias, em 2100, no cenário RCP 8.5). Após normalização, o score do perigo calor excessivo foi integrado com os restantes na equação (10) como equivalente da variável $Zi PCi$, sendo $F(T) PCi$ assumido = 1.

As **Figuras 38, 39, 40, 41 e 42** representam os mapas de suscetibilidade multiperigo na atualidade, em meados do século e final do século XXI, para os cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5.

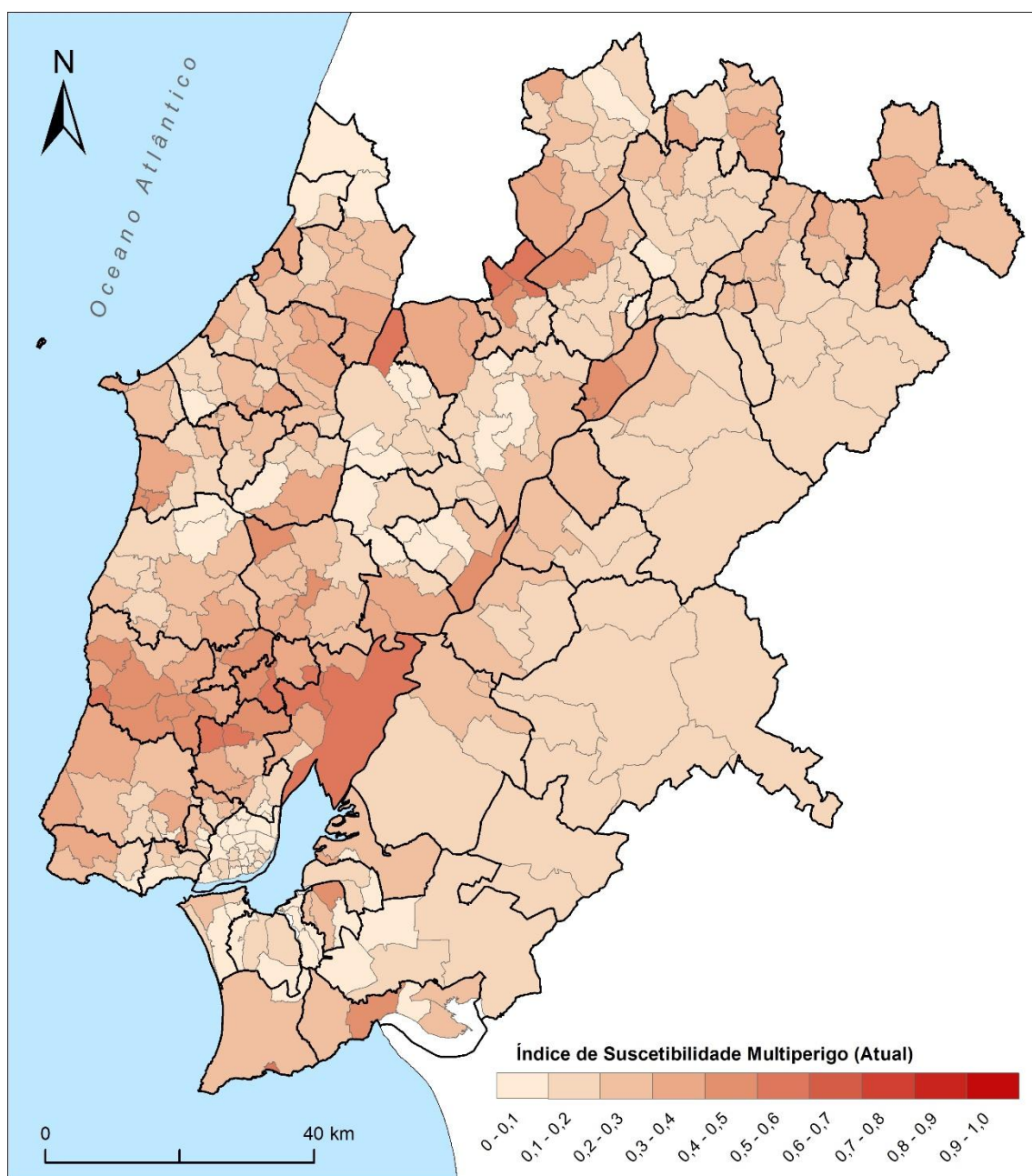


Figura 38 – Suscetibilidade multiperigo atual nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo

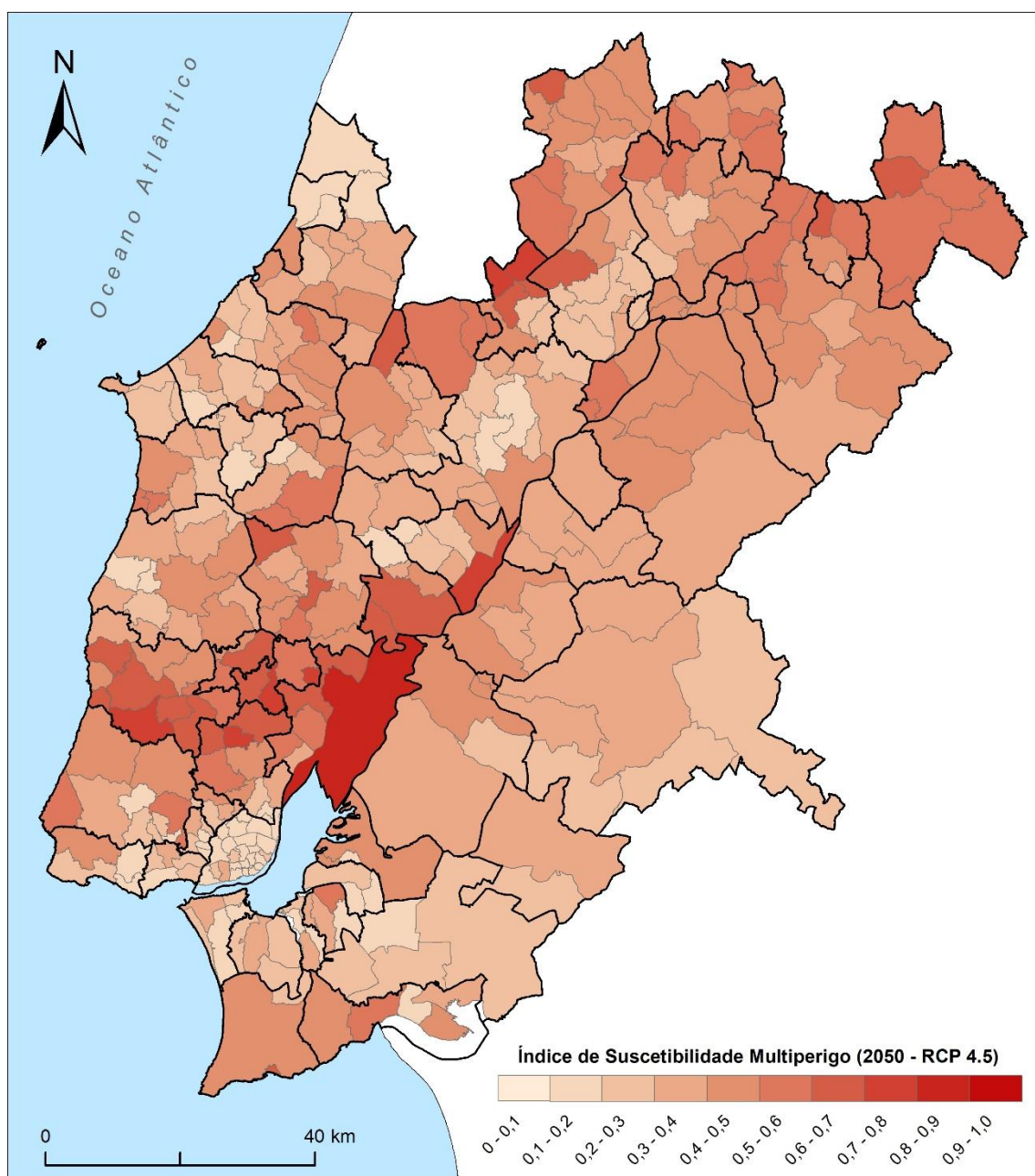


Figura 39 – Suscetibilidade multiperigo em 2050 (RCP 4.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo

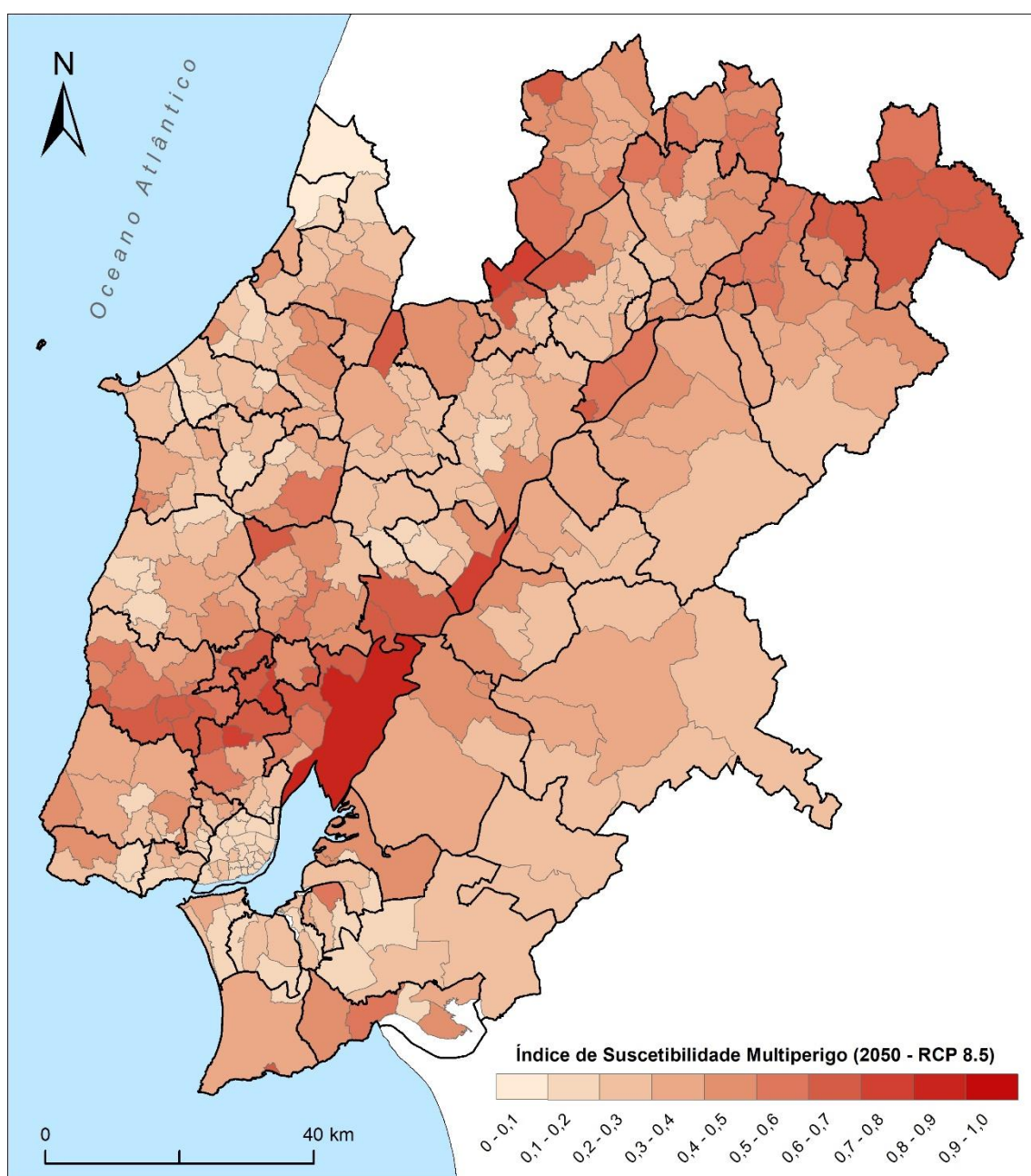


Figura 40 – Suscetibilidade multiperigo em 2050 (RCP 8.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo

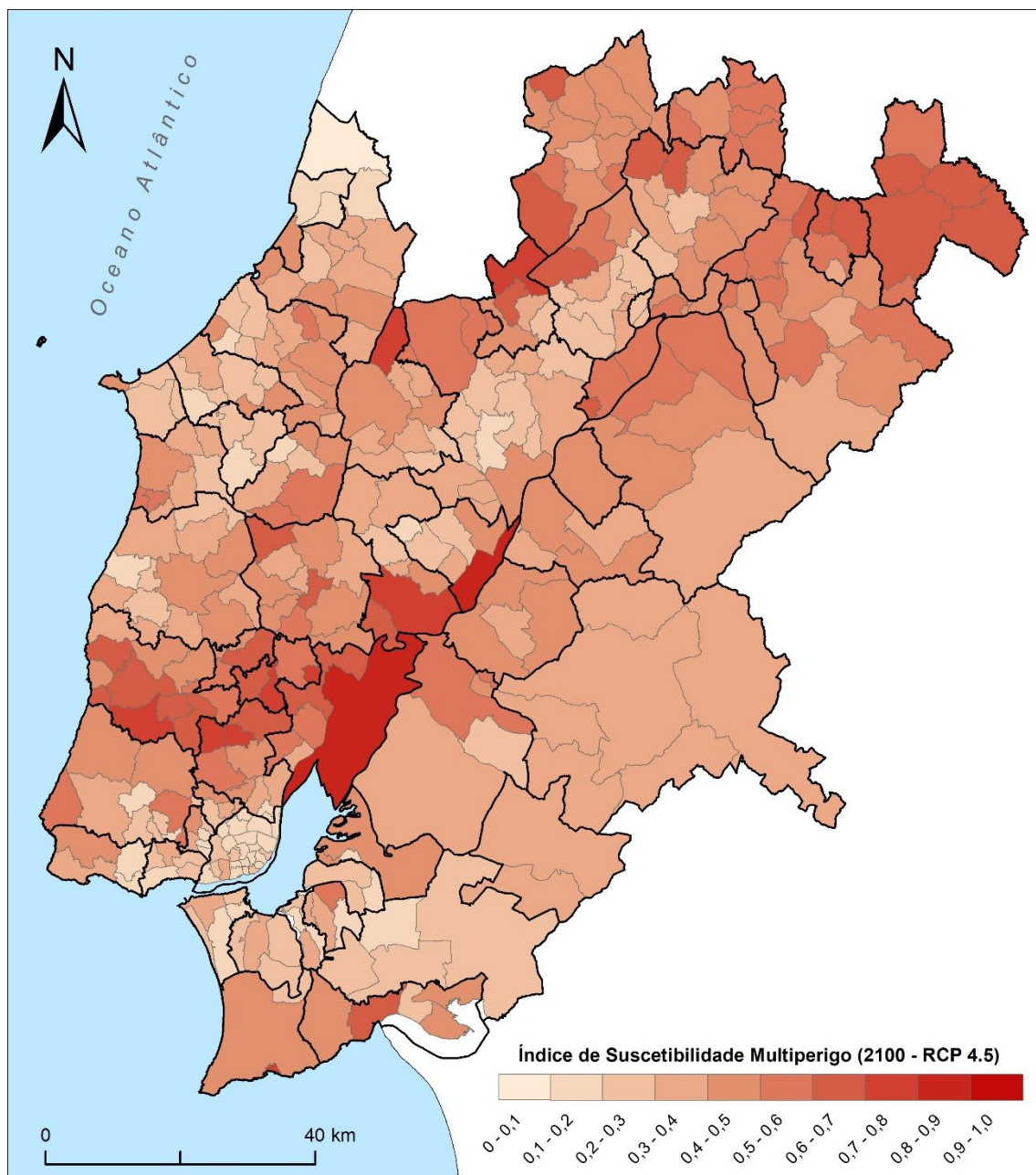


Figura 41 – Suscetibilidade multiperigo em 2100 (RCP 4.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo

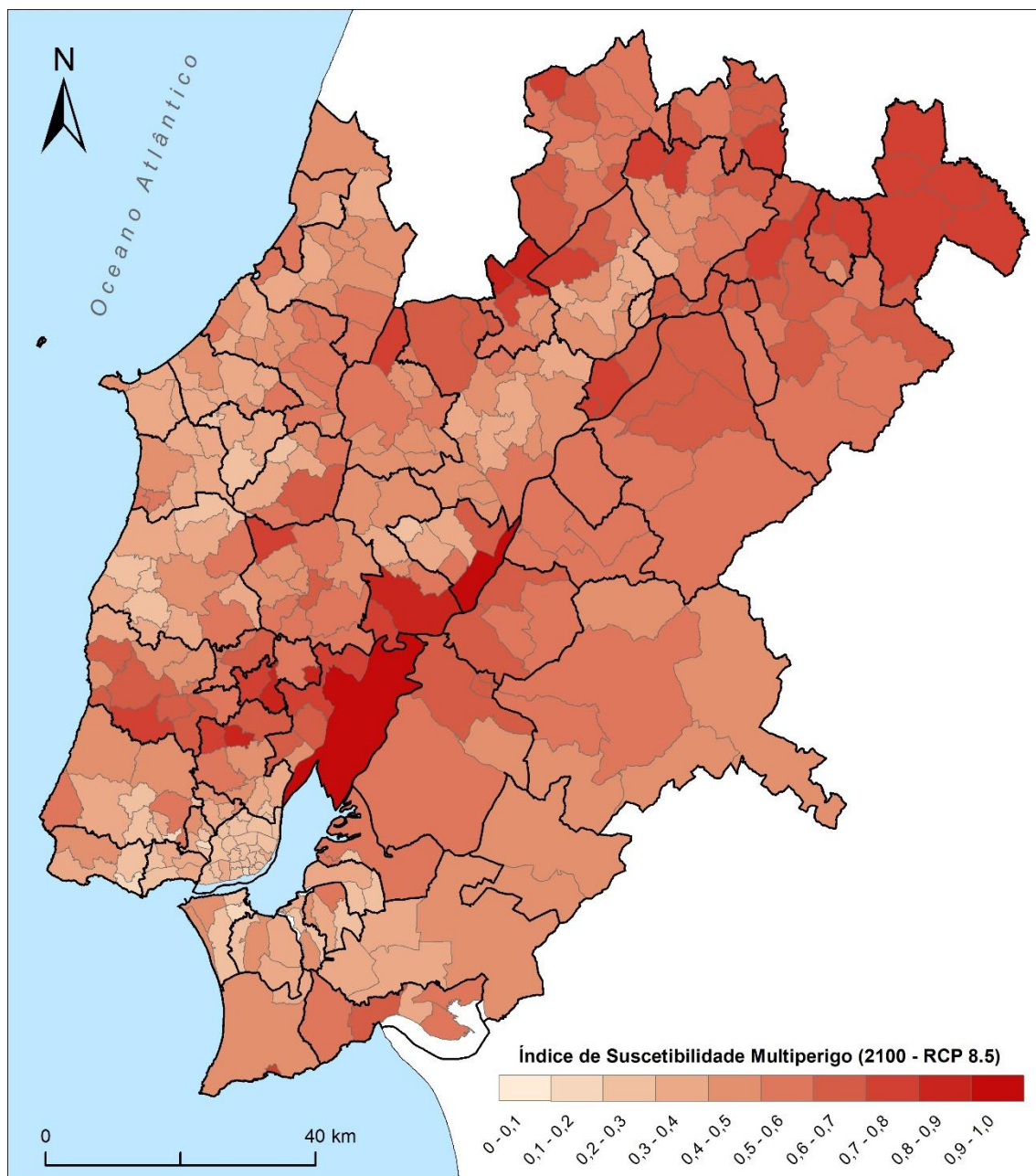


Figura 42 – Suscetibilidade multiperigo em 2100 (RCP 8.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo

2.3.3 Exposição atual e futura

A avaliação da exposição em meados e no final do século XXI é um exercício difícil, principalmente devido à enorme incerteza acerca das dinâmicas sociodemográficas, em particular quanto aos quantitativos de população e sua distribuição. Neste contexto, opta-se por cruzar os elementos expostos presentes (edifícios residenciais e população residente) com as áreas identificadas como perigosas em meados e no final do século XXI, em ambos os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. Os resultados obtidos com esta abordagem traduzem a exposição que os elementos atualmente existentes na área estudada teriam, caso se verificassem hoje os cenários climáticos projetados para 2050 e 2100, com as consequências daí decorrentes para os processos perigosos com forçador climático.

A exposição multiperigo é calculada a partir da interseção das freguesias com os edifícios expostos a cada um dos perigos considerados. A população residente nestes edifícios é estimada por cartografia dasimétrica (Garcia et al., 2016) a partir dos dados dos Censos de 2021. Como no caso da suscetibilidade, o exercício é realizado para cinco cenários, correspondentes à situação atual (cenário 1), ao clima de meados do século para o RCP 4.5 (cenário 2) e RCP 8.5 (cenário 3), e ao clima do final do século XXI, para o RCP 4.5 (cenário 4) e RCP 8.5 (cenário 5).

Para cada freguesia e para cada cenário, a exposição a cada perigo corresponde ao quantitativo de população residente afetada por esse perigo. Este valor é multiplicado pelo respetivo índice de suscetibilidade, e a exposição total combinada com a suscetibilidade é determinada para cada freguesia (UT_j) com recurso à equação (11):

$$SEUT_j = \sum_{i=1}^n (R_i P_{ci})(Z_i P_{ci} F(T) P_{ci}) \quad (11)$$

onde:

R_i - número de residentes em edifícios na freguesia j intersetados por cada perigo climático i .

Da aplicação da equação (11) resultam algumas freguesias *outliers*, essencialmente pelo facto de se considerar toda a população residente como exposta ao calor excessivo. Para não perder contraste, a normalização dos valores de *SEUTj* foi efetuada assumindo 20.000 como valor máximo. Às freguesias com *SEUTj* mais elevado foi atribuído o *score* 1.

As **Figuras 43, 44, 45, 46 e 47** representam os mapas de exposição multiperigo na atualidade, em meados do século e final do século XXI, para os cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5.

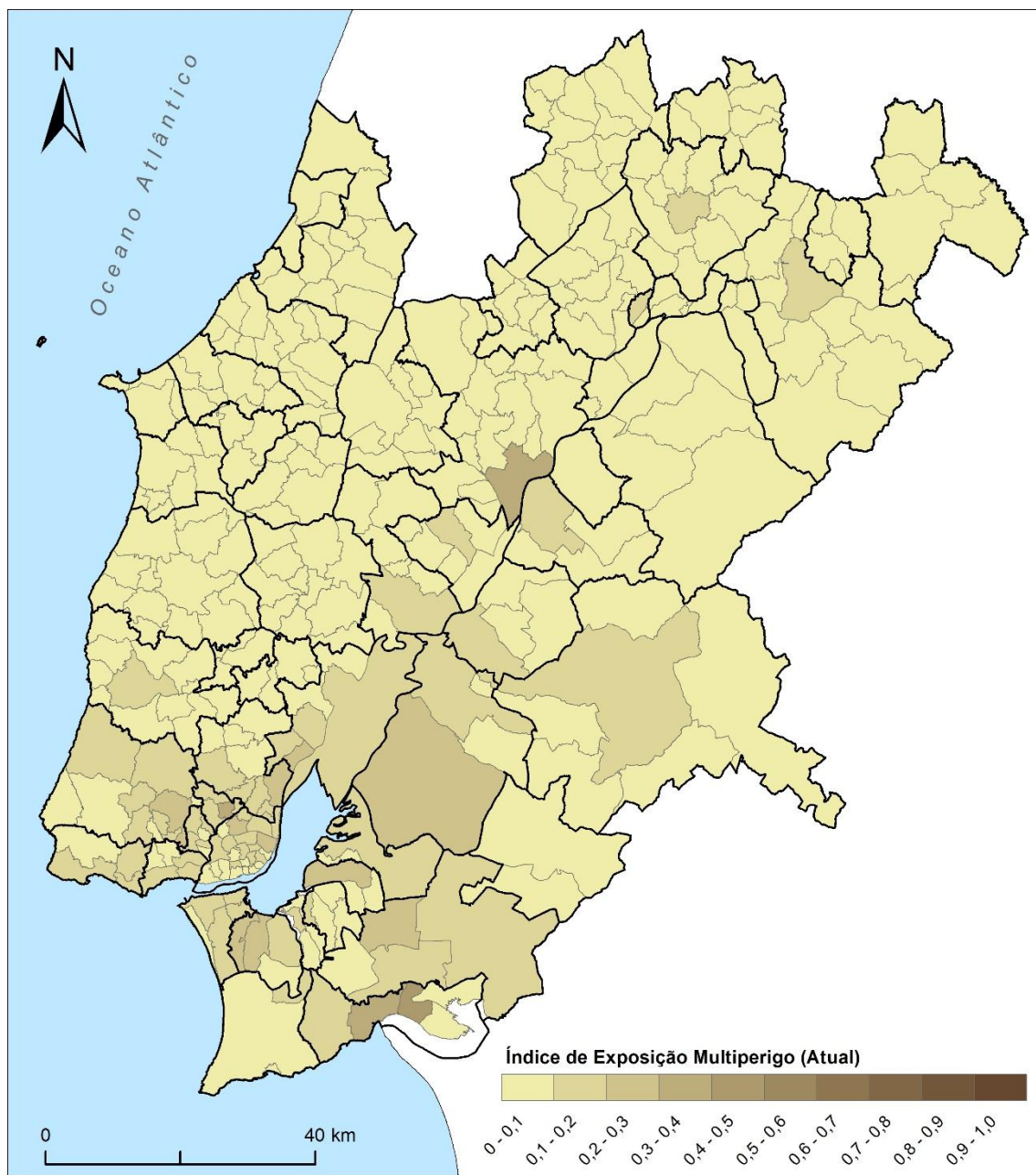


Figura 43 – Exposição multiperigo atual nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo

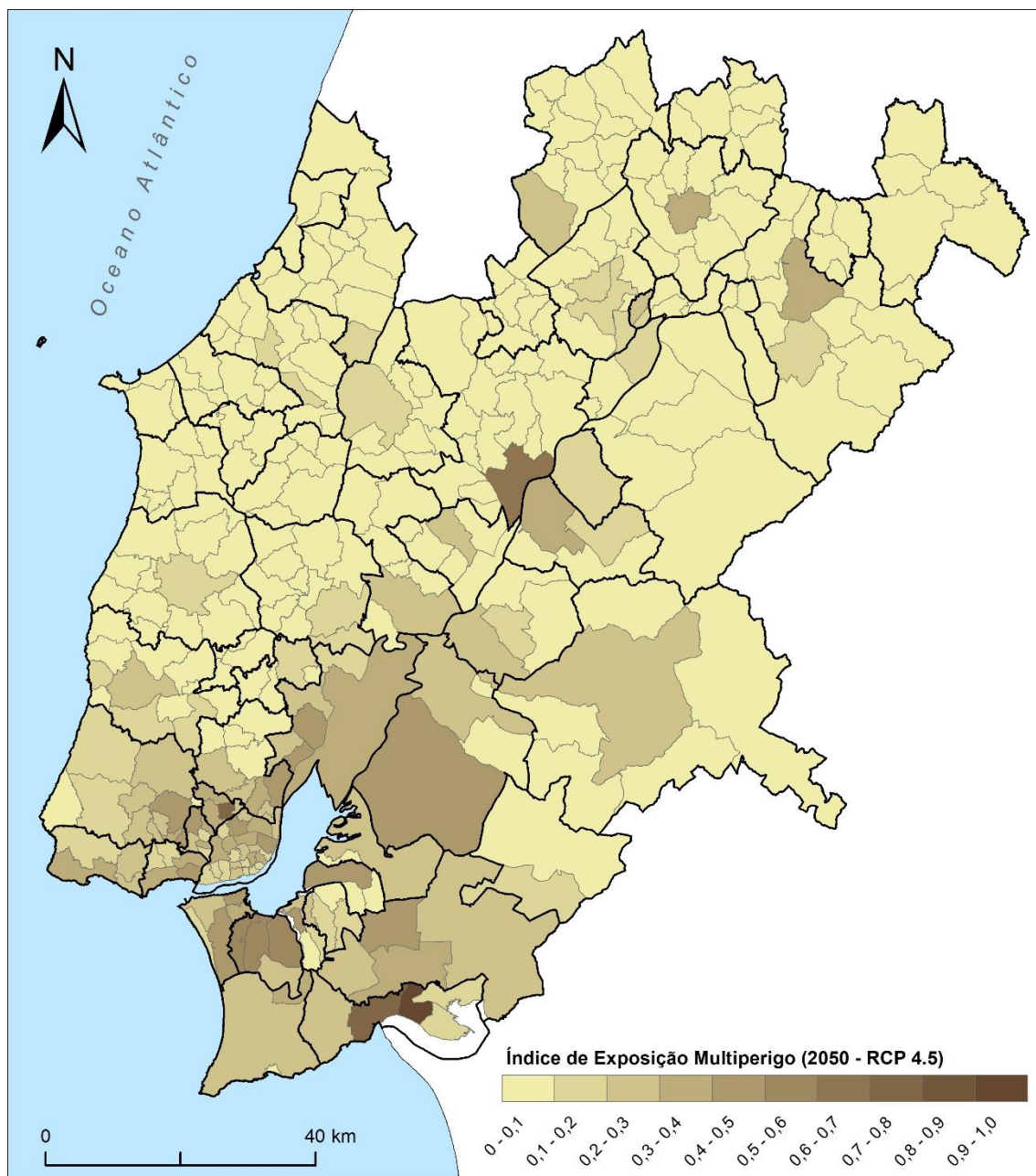


Figura 44 – Exposição multiperigo em 2050 (RCP 4.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo

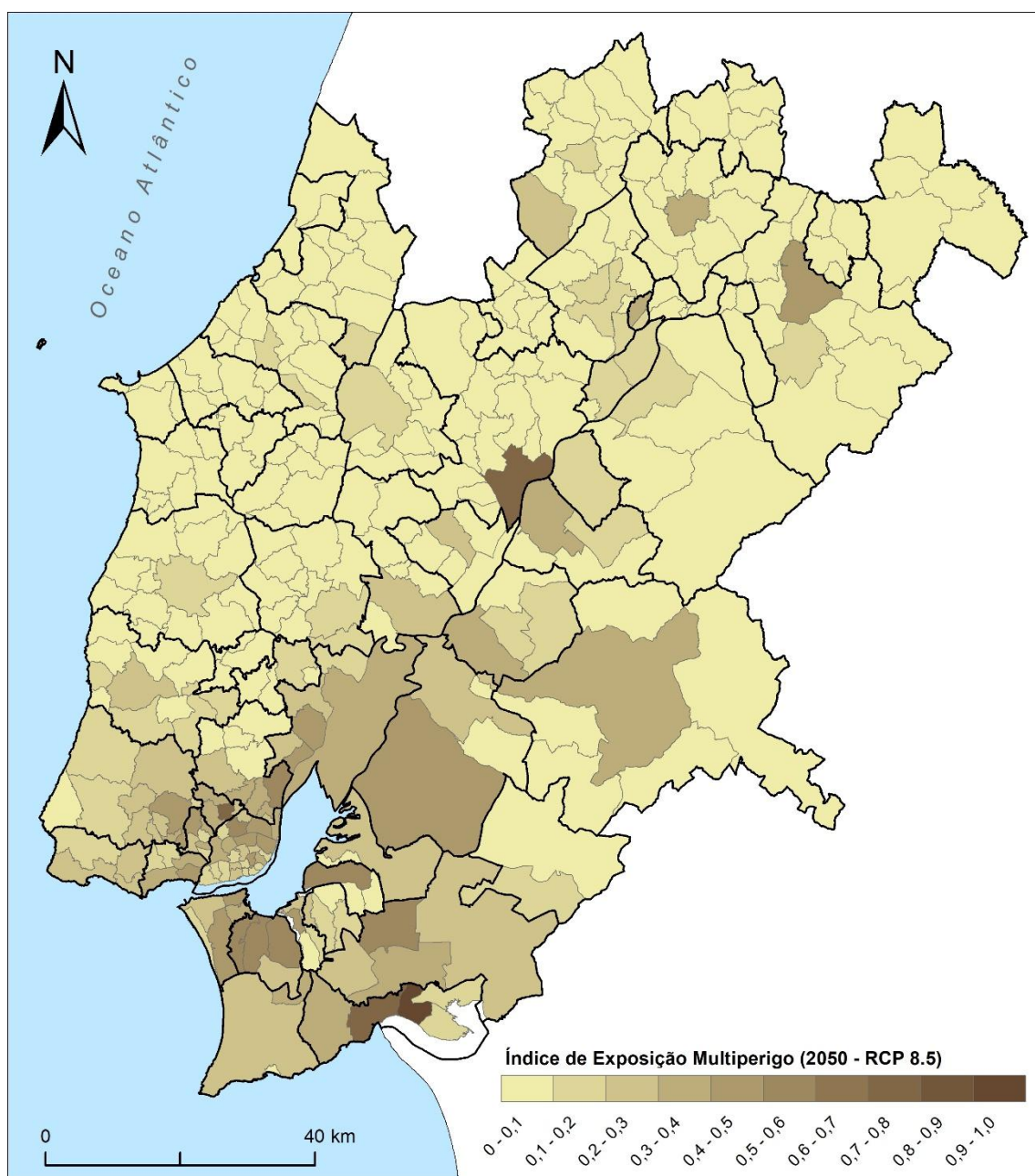


Figura 45 – Exposição multiperigo em 2050 (RCP 8.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo

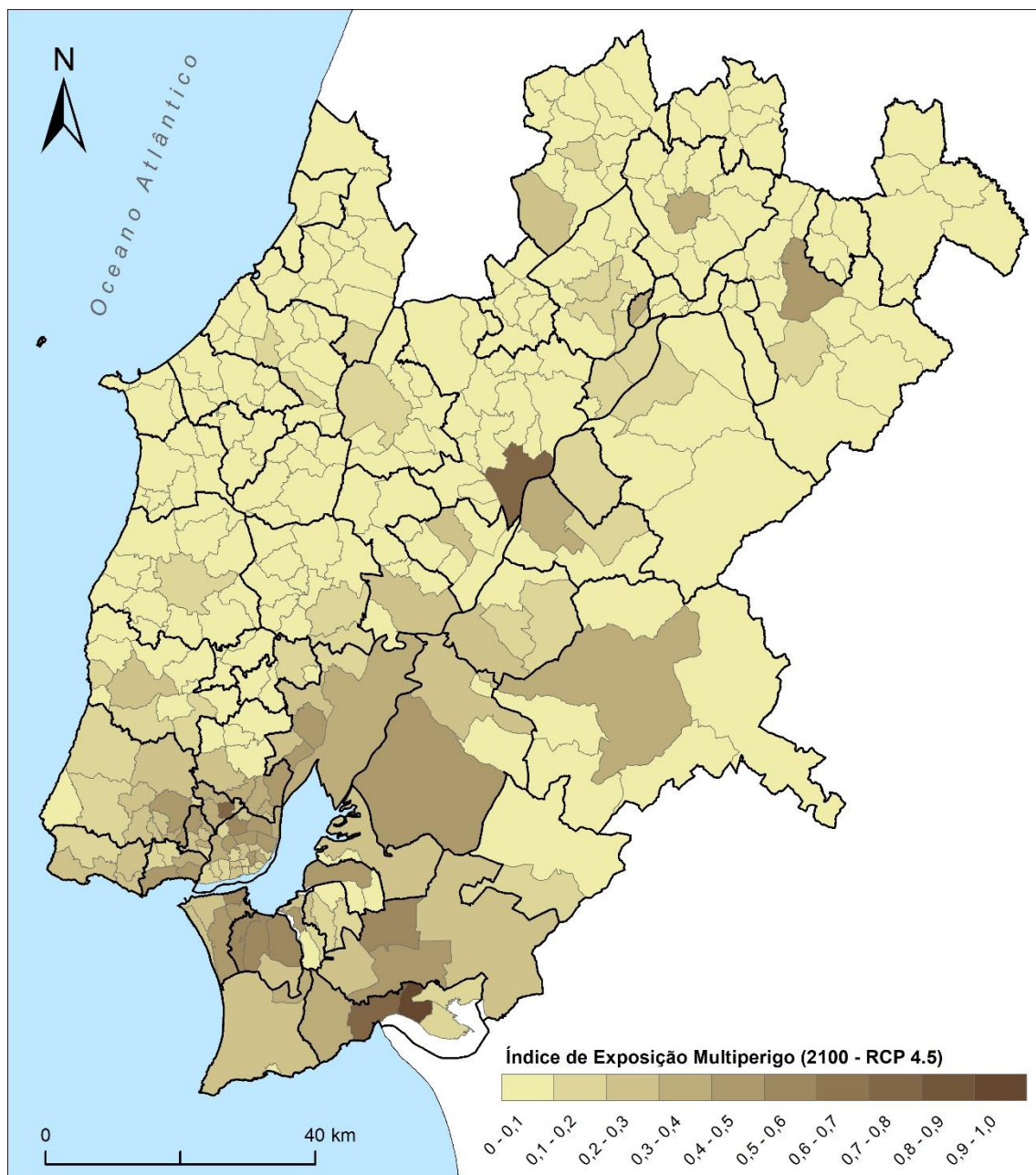


Figura 46 – Exposição multiperigo em 2100 (RCP 4.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo

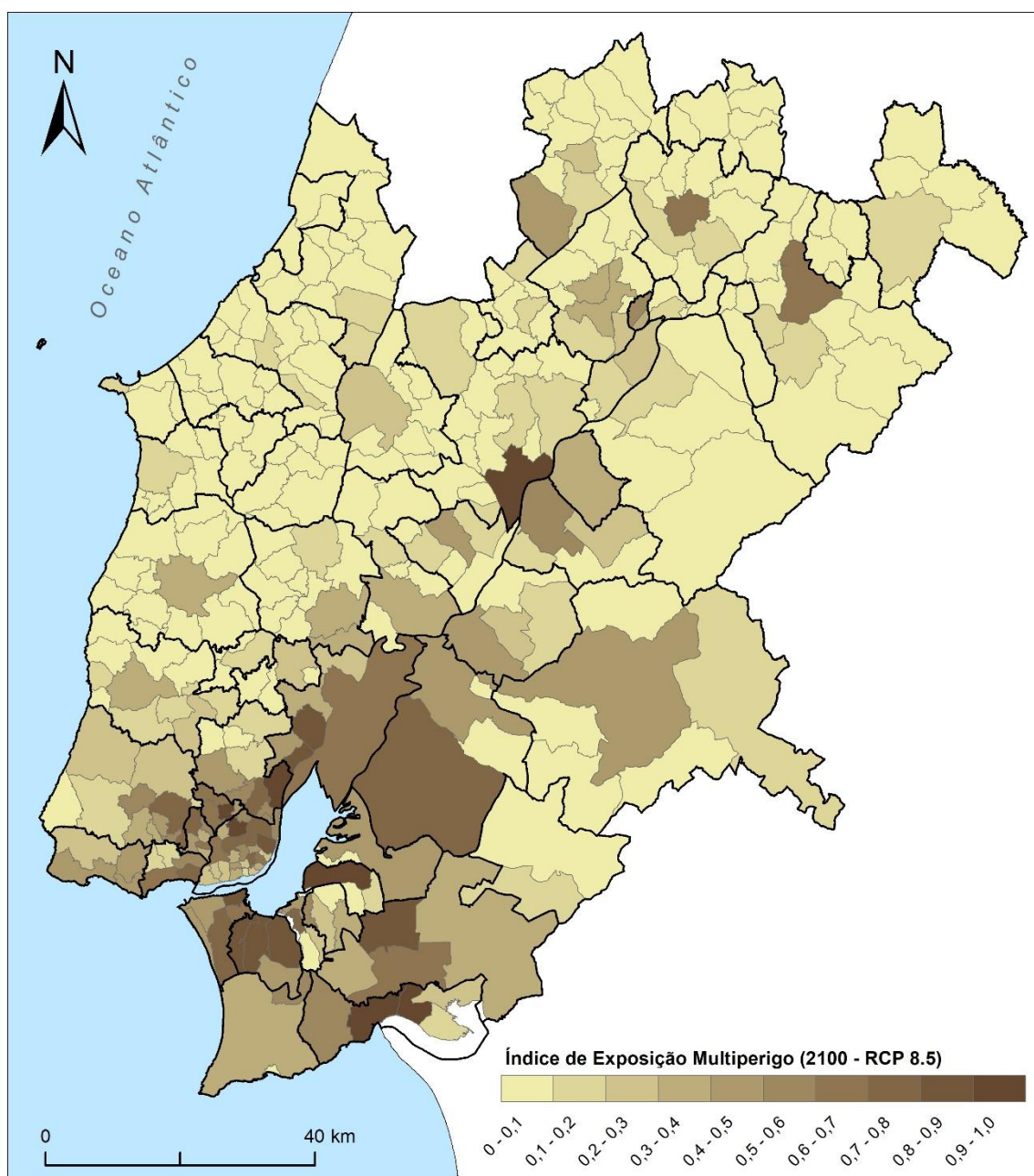


Figura 47 – Exposição multiperigo em 2100 (RCP 8.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo

As **Tabelas 23, 24, 25, 26 e 27** sistematizam os edifícios e população expostos atualmente aos perigos climáticos nos municípios da região de LVT, na atualidade, em meados do século e final do século XXI, para os cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5. Os perigos climáticos calor excessivo e vento não foram considerados, pelo ser carácter territorial extensivo e generalizado.

Tabela 23 – Edifícios e população expostos atualmente aos perigos climáticos nos municípios da região de LVT

	Edifícios						Residentes					
CONCELHO	Incêndios rurais/florestais	Instabilidade de vertentes	Inundações fluviais	Inundações estuarinas	Inundações e galgamentos costeiros	Erosão e recuo de arribas	Incêndios rurais/florestais	Instabilidade de vertentes	Inundações fluviais	Inundações estuarinas	Inundações e galgamentos costeiros	Erosão e recuo de arribas
ABRANTES	46	16	2052				33	10	3749			
ALCANENA	20	56	4				37	80	6			
ALCOBAÇA	101	809	925		19	135	118	1547	2573		12	64
ALCOCHETE	0	0	0	3			0	0	0	3		
ALENQUER	55	1142	1237				97	2112	2931			
ALMADA	40	20	202	3	1	105	269	88	888	4	1	135
ALMEIRIM	0	0	1065				0	0	2051			
ALPIARÇA	0	0	157				0	0	304			
AMADORA	47	372	27				314	5568	235			
ARRUDA DOS VINHOS	61	823	116				122	2609	851			
AZAMBUJA	13	1	371				43	1	2282			
BARREIRO	4	0	84	12			9	0	365	83		
BENAVENTE	0	0	1811				0	0	5637			
BOMBARRAL	15	109	105				22	165	194			
CADAVAL	18	256	171				26	390	264			
CALDAS DA RAINHA	46	571	364			3	85	824	659			2
CARTAXO	3	0	706				4	0	861			
CASCAIS	43	788	806		1	5	89	6144	3734		1	18
CHAMUSCA	3	0	585				4	0	766			
CONSTÂNCIA	0	0	40				0	0	49			
CORUCHE	5	1	702				3	1	1485			
ENTRONCAMENTO	0	0	5				0	0	86			
FERREIRA DO ZÉZERE	60	154	12				40	103	11			
GOLEGÃ	0	0	1886				0	0	3122			
LISBOA	65	166	1592	2			352	2642	17691	3		
LOURES	237	922	1053				843	3283	4139			
LOURINHÃ	25	978	336			8	34	1577	1225			6
MAÇÃO	51	13	65				35	13	53			
MAFRA	135	2613	273			46	282	7843	627			35
MOITA	1	0	114	5			2	0	290	8		
MONTIJO	3	0	29	6			5	0	46	10		
NAZARÉ	30	165	142			123	49	238	399			126
ÓBIDOS	33	182	45				43	261	68			
ODIVELAS	159	913	1303				836	12623	12613			
OEIRAS	52	618	317				214	6899	2728			
OURÉM	70	673	720				124	1100	897			
PALMELA	20	51	348				38	118	957			
PENICHE	21	69	14		136	28	4	123	27		25	24
RIO MAIOR	12	135	469				17	238	3564			
SALVATERRA DE MAGOS	0	0	974				0	0	2045			
SANTARÉM	61	55	609				94	104	922			
SARDOAL	9	38	31				13	46	28			
SEIXAL	1	0	684	4			1	0	7973	8		
SESIMBRA	31	614	6			54	37	1785	6			81
SETÚBAL	13	173	1742	5	5	35	19	516	15799	12	1	11
SINTRA	194	1792	579			57	553	14171	5406			53
SOBRAL DE MONTE AGRADO	38	439	55				55	833	116			
TOMAR	40	220	1188				23	286	2798			
TORRES NOVAS	10	58	404				13	84	841			
TORRES VEDRAS	97	1067	1457			4	186	2280	5877			6
VILA FRANCA DE XIRA	81	1654	1022	68			170	7388	4392	155		
VILA NOVA DA BARQUINHA	3	0	215				4	0	312			
LVT	2072	18726	29219	108	162	603	5360	84094	124941	286	41	560

Tabela 24 – Edifícios e população expostos aos perigos climáticos nos municípios da região de LVT com o clima de 2050 (cenário RCP 4.5)

	Edifícios						Residentes					
CONCELHO	Incêndios rurais/florestais	Instabilidade de vertentes	Inundações fluviais	Inundações estuarinas	Inundações e galgamentos costeiros	Erosão e recuo de arribas	Incêndios rurais/florestais	Instabilidade de vertentes	Inundações fluviais	Inundações estuarinas	Inundações e galgamentos costeiros	Erosão e recuo de arribas
ABRANTES	289	16	2052				231	10	3749			
ALCANENA	88	56	4				148	80	6			
ALCOBAÇA	241	809	925		354	135	312	1547	2573		482	64
ALCOCHETE	19	0	0	147			54	0	0	601		
ALENQUER	382	1142	1237	1			732	2112	2931	2		
ALMADA	135	20	202	66	850	105	537	88	888	174	1854	135
ALMEIRIM	10	0	1065				7	0	2051			
ALPIARÇA	3	0	157				6	0	304			
AMADORA	111	372	27				587	5568	235			
ARRUDA DOS VINHOS	323	823	116				644	2609	851			
AZAMBUJA	88	1	371	33			188	1	2282	43		
BARREIRO	59	0	84	212			233	0	365	661		
BENAVENTE	2	0	1811	147			4	0	5637	280		
BOMBARRAL	26	109	105				39	165	194			
CADAVAL	78	256	171				130	390	264			
CALDAS DA RAINHA	142	571	364			3	227	824	659			2
CARTAXO	27	0	706	124			46	0	861	122		
CASCAIS	189	788	806		4	5	545	6144	3734		3	18
CHAMUSCA	17	0	585				25	0	766			
CONSTÂNCIA	13	0	40				19	0	49			
CORUCHE	31	1	702				40	1	1485			
ENTRONCAMENTO	1	0	5				2	0	86			
FERREIRA DO ZÉZERE	772	154	12				722	103	11			
GOLEGÃ	0	0	1886				0	0	3122			
LISBOA	169	166	1592	2			985	2642	17691	3		
LOURES	736	922	1053				2728	3283	4139			
LOURINHÃ	85	978	336		15	8	125	1577	1225		23	6
MAÇÃO	355	13	65				296	13	53			
MAFRA	793	2613	273		1	46	1696	7843	627		1	35
MOITA	29	0	114	154			228	0	290	371		
MONTIJO	13	0	29	121			120	0	46	356		
NAZARÉ	52	165	142		965	123	82	238	399		979	126
ÓBIDOS	80	182	45		5		119	261	68		1	
ODIVELAS	291	913	1303				1326	12623	12613			
OEIRAS	132	618	317	80	78		430	6899	2728	984	956	
OURÉM	824	673	720				1368	1100	897			
PALMELA	118	51	348	1			216	118	957	1		
PENICHE	80	69	14		24	28	188	123	27		17	24
RIO MAIOR	149	135	469				254	238	3564			
SALVATERRA DE MAGOS	1	0	974	34			3	0	2045	56		
SANTARÉM	252	55	609				479	104	922			
SARDOAL	83	38	31				89	46	28			
SEIXAL	31	0	684	458			226	0	7973	924		
SESIMBRA	120	614	6		21	54	205	1785	6		22	81
SETÚBAL	108	173	1742	72	14	35	143	516	15799	320	3	11
SINTRA	859	1792	579		3	57	2030	14171	5406		9	53
SOBRAL DE MONTE AGRADO	260	439	55				467	833	116			
TOMAR	296	220	1188				288	286	2798			
TORRES NOVAS	70	58	404				121	84	841			
TORRES VEDRAS	435	1067	1457			4	769	2280	5877			6
VILA FRANCA DE XIRA	426	1654	1022	227			1000	7388	4392	646		
VILA NOVA DA BARQUINHA	7	0	215				11	0	312			
LVT	9900	18726	29219	1879	2334	603	21471	84094	124941	5544	4351	560

Tabela 25 – Edifícios e população expostos aos perigos climáticos nos municípios da região de LVT com o clima de 2050 (cenário RCP 8.5)

	Edifícios						Residentes					
CONCELHO	Incêndios rurais/ florestais	Instabilidade de vertentes	Inundações fluviais	Inundações estuarinas	Inundações e galgamentos costeiros	Erosão e recuo de arribas	Incêndios rurais/ florestais	Instabilidade de vertentes	Inundações fluviais	Inundações estuarinas	Inundações e galgamentos costeiros	Erosão e recuo de arribas
ABRANTES	407	16	2052				387	10	3749			
ALCANENA	125	56	4				217	80	6			
ALCOBAÇA	519	809	925		354	135	751	1547	2573		482	64
ALCOCHETE	19	0	0	147			54	0	0	601		
ALENQUER	773	1142	1237	1			1522	2112	2931	2		
ALMADA	415	20	202	66	850	105	1202	88	888	174	1854	135
ALMEIRIM	20	0	1065				22	0	2051			
ALPIARÇA	7	0	157				13	0	304			
AMADORA	113	372	27				593	5568	235			
ARRUDA DOS VINHOS	511	823	116				1050	2609	851			
AZAMBUJA	208	1	371	33			397	1	2282	43		
BARREIRO	88	0	84	214			322	0	365	719		
BENAVENTE	16	0	1811	147			25	0	5637	280		
BOMBARRAL	39	109	105				60	165	194			
CADAVAL	149	256	171				252	390	264			
CALDAS DA RAINHA	411	571	364			3	657	824	659			2
CARTAXO	69	0	706	124			117	0	861	122		
CASCAIS	287	788	806		4	5	783	6144	3734		3	18
CHAMUSCA	55	0	585				72	0	766			
CONSTÂNCIA	19	0	40				84	0	49			
CORUCHE	96	1	702				105	1	1485			
ENTRONCAMENTO	4	0	5				8	0	86			
FERREIRA DO ZÉZERE	1148	154	12				1057	103	11			
GOLEGÃ	0	0	1886				0	0	3122			
LISBOA	181	166	1592	2			1023	2642	17691	3		
LOURES	885	922	1053				3132	3283	4139			
LOURINHÃ	195	978	336		15	8	285	1577	1225		23	6
MAÇÃO	479	13	65				393	13	53			
MAFRA	1158	2613	273		1	46	2519	7843	627		1	35
MOITA	43	0	114	166			265	0	290	395		
MONTIJO	28	0	29	124			142	0	46	381		
NAZARÉ	87	165	142		965	123	182	238	399		979	126
ÓBIDOS	150	182	45		5		220	261	68		1	
ODIVELAS	332	913	1303				1615	12623	12613			
OEIRAS	143	618	317	80	78		519	6899	2728	984	956	
OURÉM	1353	673	720				2036	1100	897			
PALMELA	340	51	348	1			597	118	957	1		
PENICHE	87	69	14		24	28	194	123	27		17	24
RIO MAIOR	313	135	469				537	238	3564			
SALVATERRA DE MAGOS	50	0	974	34			94	0	2045	56		
SANTARÉM	407	55	609				777	104	922			
SARDOAL	131	38	31				134	46	28			
SEIXAL	390	0	684	470			1127	0	7973	943		
SESIMBRA	253	614	6		21	54	423	1785	6		22	81
SETÚBAL	236	173	1742	73	14	35	333	516	15799	323	3	11
SINTRA	1330	1792	579		3	57	2886	14171	5406		9	53
SOBRAL DE MONTE AGRAÇO	379	439	55				699	833	116			
TOMAR	527	220	1188				557	286	2798			
TORRES NOVAS	109	58	404				200	84	841			
TORRES VEDRAS	854	1067	1457			4	1631	2280	5877			6
VILA FRANCA DE XIRA	617	1654	1022	227			1522	7388	4392	646		
VILA NOVA DA BARQUINHA	25	0	215				32	0	312			
LVT	16580	18726	29219	1909	2334	603	33822	84094	124941	5673	4351	560

Tabela 26 – Edifícios e população expostos aos perigos climáticos nos municípios da região de LVT com o clima de 2100 (cenário RCP 4.5)

CONCELHO	Edifícios						Residentes					
	Incêndios rurais/florestais	Instabilidade de vertentes	Inundações fluviais	Inundações estuarinas	Inundações e galgamentos costeiros	Erosão e recuo de arribas	Incêndios rurais/florestais	Instabilidade de vertentes	Inundações fluviais	Inundações estuarinas	Inundações e galgamentos costeiros	Erosão e recuo de arribas
ABRANTES	407	16	2052				387	10	3749			
ALCANENA	125	56	4				217	80	6			
ALCOBAÇA	519	809	925		365	244	751	1547	2573		500	138
ALCOCHETE	19	0	0	147			54	0	0	601		
ALENQUER	773	1142	1237	1			1522	2112	2931	2		
ALMADA	415	20	202	66	2507	105	1202	88	888	174	10530	135
ALMEIRIM	20	0	1065				22	0	2051			
ALPIARÇA	7	0	157				13	0	304			
AMADORA	113	372	27				593	5568	235			
ARRUDA DOS VINHOS	511	823	116				1050	2609	851			
AZAMBUJA	208	1	371	33			397	1	2282	43		
BARREIRO	88	0	84	214			322	0	365	719		
BENAVENTE	16	0	1811	147			25	0	5637	280		
BOMBARRAL	39	109	105				60	165	194			
CADAVAL	149	256	171				252	390	264			
CALDAS DA RAINHA	411	571	364			21	657	824	659			16
CARTAXO	69	0	706	134			117	0	861	135		
CASCAIS	287	788	806		51	23	783	6144	3734		159	52
CHAMUSCA	55	0	585				72	0	766			
CONSTÂNCIA	19	0	40				84	0	49			
CORUCHE	96	1	702				105	1	1485			
ENTRONCAMENTO	4	0	5				8	0	86			
FERREIRA DO ZÉZERE	1148	154	12				1057	103	11			
GOLEGÃ	0	0	1886				0	0	3122			
LISBOA	181	166	1592	2			1023	2642	17691	3		
LOURES	885	922	1053				3132	3283	4139			
LOURINHÃ	195	978	336		35	30	285	1577	1225		42	23
MAÇÃO	479	13	65				393	13	53			
MAFRA	1158	2613	273		7	147	2519	7843	627		6	207
MOITA	43	0	114	166			265	0	290			
MONTIJO	28	0	29	124			142	0	46	381		
NAZARÉ	87	165	142		1091	183	182	238	399		1249	213
ÓBIDOS	150	182	45		5	2	220	261	68		1	1
ODIVELAS	332	913	1303				1615	12623	12613			
OEIRAS	143	618	317	80	254		519	6899	2728	984	2627	
OURÉM	1353	673	720				2036	1100	897			
PALMELA	340	51	348	2			597	118	957	5		
PENICHE	87	69	14		203	98	194	123	27		812	85
RIO MAIOR	313	135	469				537	238	3564			
SALVATERRA DE MAGOS	50	0	974	35			94	0	2045	59		
SANTARÉM	407	55	609				777	104	922			
SARDOAL	131	38	31				134	46	28			
SEIXAL	390	0	684	470			1127	0	7973	943		
SESIMBRA	253	614	6		56	91	423	1785	6		70	138
SETÚBAL	236	173	1742	143	18	41	333	516	15799	476	4	12
SINTRA	1330	1792	579		2	126	2886	14171	5406		9	130
SOBRAL DE MONTE AGRAÇO	379	439	55				699	833	116			
TOMAR	527	220	1188				557	286	2798			
TORRES NOVAS	109	58	404				200	84	841			
TORRES VEDRAS	854	1067	1457		50	28	1631	2280	5877		17	30
VILA FRANCA DE XIRA	617	1654	1022	227			1522	7388	4392	646		
VILA NOVA DA BARQUINHA	25	0	215				32	0	312			
LVT	16580	18726	29219	1991	4644	1139	33822	84094	124941	5845	16026	1180

Tabela 27 – Edifícios e população expostos aos perigos climáticos nos municípios da região de LVT com o clima de 2100 (cenário RCP 8.5)

	Edifícios						Residentes					
CONCELHO	Incêndios rurais/ florestais	Instabilidade de vertentes	Inundações fluviais	Inundações estuarinas	Inundações e galgamentos costeiros	Erosão e recuo de arribas	Incêndios rurais/ florestais	Instabilidade de vertentes	Inundações fluviais	Inundações estuarinas	Inundações e galgamentos costeiros	Erosão e recuo de arribas
ABRANTES	407	16	2052				387	10	3749			
ALCANENA	125	56	4				217	80	6			
ALCOBAÇA	1037	809	925		366	244	1644	1547	2573		534	138
ALCOCHETE	19	0	0	167			54	0	0	633		
ALENQUER	773	1142	1237	1			1522	2112	2931	2		
ALMADA	415	20	202	69	2648	105	1202	88	888	180	10879	135
ALMEIRIM	20	0	1065				22	0	2051			
ALPIARÇA	7	0	157				13	0	304			
AMADORA	113	372	27				593	5568	235			
ARRUDA DOS VINHOS	511	823	116				1050	2609	851			
AZAMBUJA	208	1	371	40			397	1	2282	62		
BARREIRO	88	0	84	230			322	0	365	798		
BENAVENTE	16	0	1811	150			25	0	5637	314		
BOMBARRAL	106	109	105				163	165	194			
CADAVAL	149	256	171				252	390	264			
CALDAS DA RAINHA	898	571	364			21	1439	824	659			16
CARTAXO	69	0	706	247			117	0	861	252		
CASCAIS	287	788	806		51	23	783	6144	3734		159	52
CHAMUSCA	55	0	585				72	0	766			
CONSTÂNCIA	19	0	40				84	0	49			
CORUCHE	96	1	702				105	1	1485			
ENTRONCAMENTO	4	0	5				8	0	86			
FERREIRA DO ZÉZERE	1148	154	12				1057	103	11			
GOLEGÃ	0	0	1886				0	0	3122			
LISBOA	181	166	1592	15			1023	2642	17691	71		
LOURES	885	922	1053				3132	3283	4139			
LOURINHÃ	195	978	336		35	30	285	1577	1225		42	23
MAÇÃO	479	13	65				393	13	53			
MAFRA	1158	2613	273		7	147	2519	7843	627		6	207
MOITA	43	0	114	365			265	0	290	1031		
MONTIJO	28	0	29	237			142	0	46	762		
NAZARÉ	152	165	142		1091	183	275	238	399		1249	213
ÓBIDOS	317	182	45		5	2	435	261	68		1	1
ODIVELAS	332	913	1303				1615	12623	12613			
OEIRAS	143	618	317	80	254		519	6899	2728	984	2627	
OURÉM	1353	673	720				2036	1100	897			
PALMELA	340	51	348	2			597	118	957	5		
PENICHE	101	69	14		203	98	215	123	27		812	85
RIO MAIOR	314	135	469				539	238	3564			
SALVATERRA DE MAGOS	50	0	974	35			94	0	2045	59		
SANTARÉM	407	55	609				777	104	922			
SARDOAL	131	38	31				134	46	28			
SEIXAL	390	0	684	487			1127	0	7973	1010		
SESIMBRA	253	614	6		56	91	423	1785	6		70	138
SETÚBAL	236	173	1742	196	18	41	333	516	15799	773	4	12
SINTRA	1330	1792	579		2	126	2886	14171	5406		9	130
SOBRAL DE MONTE AGRAÇO	379	439	55				699	833	116			
TOMAR	527	220	1188				557	286	2798			
TORRES NOVAS	109	58	404				200	84	841			
TORRES VEDRAS	854	1067	1457		50	28	1631	2280	5877		17	30
VILA FRANCA DE XIRA	617	1654	1022	268			1522	7388	4392	773		
VILA NOVA DA BARQUINHA	25	0	215				32	0	312			
LVT	17899	18726	29219	2589	4786	1139	35932	84094	124941	7707	16409	1180

Na atualidade, os perigos climáticos inundações fluviais e instabilidade de vertentes destacam-se dos restantes, sendo responsáveis, em conjunto, por 94% dos edifícios expostos e 97% da população exposta.

Com o clima projetado para meados do século XXI (2050), verifica-se um incremento nos edifícios expostos de 23% (RCP 4.5) ou 36% (RCP 8.5). No caso da população exposta, o aumento não será tão marcado: 12% ou 18%, no RCP 4.5 e RCP 8.5, respetivamente.

Com o clima projetado para o final do século XXI (2100) o incremento na exposição acentua-se nos edifícios expostos (42% ou 46%, no RCP 4.5 e RCP 8.5, respetivamente), assim como na população exposta (24% ou 26%, no RCP 4.5 e RCP 8.5, respetivamente).

2.3.4 Vulnerabilidade social

No quadro do modelo concetual de risco climático do IPCC AR5 e IPCC AR6, resulta claro que a vulnerabilidade é uma propriedade dos elementos expostos, os quais podem ser pessoas, ecossistemas, edifícios, vias, etc. A preocupação com a dimensão social da vulnerabilidade está clara no IPCC AR6, onde a vulnerabilidade é definida como a “propensão ou predisposição para ser afetado adversamente, abrangendo uma variedade de conceitos e elementos, que incluem a sensibilidade ou suscetibilidade para sofrer danos e a falta de capacidade para suportar e adaptar”.

Na análise de risco preconizada para a região de Lisboa e Vale do Tejo, as pessoas constituem o principal elemento exposto, pelo que se justifica avaliar a vulnerabilidade na sua dimensão social. Com efeito, a definição de vulnerabilidade social, em particular da criticidade, ajusta-se, perfeitamente, à definição de vulnerabilidade do IPCC AR6: “conjunto de características e comportamentos dos indivíduos que condicionam a sua propensão para sofrer danos durante a ocorrência de um evento desastroso [no caso, de origem climática]” (Mendes et al., 2010). Estas características podem contribuir para a rotura do sistema e dos recursos das comunidades que lhes permitem responder ou lidar com cenários catastróficos. Dependendo da maior ou menor disponibilidade de informação, as variáveis a incluir na avaliação da criticidade devem representar os seguintes domínios: demografia, apoio social, condição do património edificado, economia, educação, habitação, estrutura familiar, emprego e saúde.

O procedimento metodológico para avaliação da Vulnerabilidade Social (VS) recorre à técnica estatística de redução da dimensionalidade Análise de Componentes Principais (ACP) e contempla 8 etapas sequenciais:

1. Normalização dos valores das variáveis aos denominados *z-scores*, cuja média é zero e o desvio-padrão é 1;
2. Cálculo e análise da matriz de correlação de Pearson, no sentido de excluir do universo em análise as variáveis que apresentam multicolineariedade.;

3. Execução iterativa da ACP com rotação *varimax* com os valores normalizados e aferição da adequabilidade dos dados através da análise dos parâmetros taxa de variância (deve ser superior a 60 %), score das comunalidades de cada variável, e medida de adequação da amostra de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) (deve ser superior a 0,6), com exclusão de variáveis que reduzam a robustez do conjunto de dados;
4. Seleção do conjunto de dados e do modelo final da ACP;
5. Extração do número de componentes que representam a criticidade;
6. Interpretação da cardinalidade, ou “sinal”, de cada componente. A partir da matriz de componentes rodada, identificam-se as variáveis que apresentam um *loading* superior ao módulo de 0,5. Estas variáveis são interpretadas no sentido de verificar se a cardinalidade interna em cada componente principal resultante da ACP está a contribuir para aumentar ou para diminuir a criticidade. Um sinal positivo é atribuído quando a componente em questão aumenta a criticidade, e um sinal negativo é atribuído na situação inversa;
7. Cálculo do score para cada unidade territorial de análise, i.e., a freguesia. O cálculo é realizado por simples soma algébrica do score extraído em cada componente principal, de acordo com a cardinalidade atribuída, e com atribuição de ponderações segundo a percentagem de variância explicada de cada componente;
8. Aplicação de uma transformação linear pelo método do mínimo-máximo aos scores da criticidade, para que a amplitude de valores se situe entre 0 e 1.

O modelo final de criticidade, na conceção de Mendes et al. (2010), e que noutros quadros teóricos corresponde à própria vulnerabilidade social, baseia-se na interpretação de 25 variáveis, auto-agrupadas em torno de 8 componentes principais representativas de distintos forçadores de vulnerabilidade. Àquele conjunto de dados corresponde um valor de KMO de 0,770 e uma variância total explicada de 67,8 % (Tabela 28).

Tabela 28 – Matriz de componentes rodada do modelo final de Vulnerabilidade Social e o respetivo agrupamento em torno das 8 componentes principais

Variável	Componentes Principais da Vulnerabilidade Social							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pop. com 65 ou mais anos (%)	0,858	-0,240	-0,085	-0,075	-0,007	0,210	-0,070	0,057
Pop. sem nenhum grau de ensino completo (%)	0,646	0,116	0,153	-0,204	-0,102	-0,042	-0,030	0,050
Edifícios construídos até 1980(%)	0,570	0,138	-0,067	0,076	0,156	0,224	0,386	-0,090
Pop. com 15 e mais anos de idade com pelo menos uma dificuldade (%)	0,564	-0,012	-0,070	-0,287	0,081	0,094	-0,184	0,265
Alojamentos com aquecimento (%)	0,499	-0,452	-0,161	-0,135	-0,232	0,401	-0,045	0,041
Proporção de área útil por ocupante inferior a 15 m ² (%)	-0,133	0,856	0,100	-0,140	0,043	0,093	-0,011	-0,015
Proporção de alojamentos com menos de 50 m ² (%)	0,230	0,782	-0,014	0,040	0,082	0,201	0,090	-0,092
Proporção de agregados familiares em alojamentos sobrelotados (%)	-0,460	0,645	0,255	0,098	0,075	-0,212	-0,016	-0,087
Mulheres residentes desempregadas (%)	0,009	0,097	0,870	-0,107	0,075	0,132	-0,020	0,006
Pop. desempregados com o 9º concluído (%)	0,043	0,006	0,809	0,156	0,037	0,153	-0,002	-0,049
Agregados familiares com pessoas desempregadas (%)	-0,550	0,242	0,695	0,058	0,055	-0,040	0,090	0,017
Pop. residente com ensino superior completo como nível de ensino mais elevado concluído (%)	-0,423	-0,001	-0,018	0,767	0,018	-0,065	0,178	0,028
Residentes empregados em trabalhos não qualificados (%)	0,096	0,133	-0,037	-0,726	-0,069	-0,069	0,204	-0,180
Alojamentos arrendados ou subarrendados	-0,493	0,390	0,147	0,520	0,018	-0,037	0,278	-0,037
Pop. residente que trabalha ou estuda noutra município (%)	-0,243	-0,049	0,035	-0,068	0,759	-0,172	0,078	-0,044
Duração média das deslocações pendulares da população residente empregada ou a estudar	0,167	0,261	0,106	0,018	0,720	-0,021	-0,146	0,106
Duração média das deslocações pendulares da população residente empregada ou estudante que utiliza transportes públicos	-0,074	0,167	0,039	0,338	0,665	-0,010	0,018	0,113
Pop. estudantes que estudam no concelho onde residem (%)	-0,223	0,345	0,019	0,187	-0,553	-0,105	0,068	0,255
Proporção de beneficiários do rendimento social de inserção (%)	0,073	0,103	0,285	0,000	0,004	0,687	0,248	-0,023
alojamentos acessíveis a cadeiras de rodas (%)	-0,191	-0,163	-0,095	-0,197	0,056	-0,661	0,140	0,072
Proporção de beneficiários de prestações de inclusão social (%)	0,082	-0,101	0,032	-0,288	-0,094	0,636	-0,220	0,155
Proporção de alojamentos com ar condicionado (%)	-0,320	0,075	0,052	0,020	-0,060	-0,033	0,697	-0,096
Edifícios a necessitar de reparação construídos antes de 1980 (%)	-0,080	0,016	0,014	0,010	0,022	0,058	-0,636	-0,091
População residente do sexo feminino (%)	0,224	-0,047	0,001	0,229	0,027	-0,041	0,067	0,791
População residente de nacionalidade estrangeira (%)	0,127	0,314	0,128	0,482	-0,034	-0,336	0,098	-0,544
Cardinalidade	+	+	+	-	+	+	-	abs
% de variância explicada	21,205	11,178	7,992	7,129	6,851	5,050	4,302	4,056

Nota: Os tons de azul assinalam as variáveis explicativas de cada componente principal. A amarelo estão assinaladas as variáveis não explicativas, mas ainda consideradas para interpretação do forçador de VS em cada componente.

Os forçadores ou dimensões da vulnerabilidade social evidenciadas pela classificação, quantificação e redução da dimensionalidade permitidas pela ACP foram interpretadas do seguinte modo.

A componente principal (CP) 1 exprime e quantifica a VS na sua dimensão de “Idade e contexto urbano antigo”. A **Tabela 28** mostra que as variáveis mais explicativas (com *loading* superior ao módulo de 0,5) são relativas à idade da população, à prevalência de analfabetismo e à residência em edifícios anteriores a 1980. As freguesias na região em que coexistem valores elevados nestas variáveis são marcadas por elevada vulnerabilidade social.

Na CP 2, as três variáveis explicativas relacionam-se com a sobrelotação dos alojamentos e a sua reduzida área (< a 50 m²), a que se junta a característica de serem freguesias com menor proporção de alojamentos com aquecimento - atente-se que o *loading* desta variável é negativo (-0,452), em oposição com os *loadings* das variáveis relativas à área útil por ocupante (0,856), à dimensão do alojamento (0,782) e à sobrelotação (0,645). A leitura conjunta das variáveis desta CP 2 conduziu à sua designação como “Alojamentos sobrelotados”.

A dimensão de VS expressa pela 3.ª componente principal (CP 3) é muito clara: “Desemprego”. Com efeito, as variáveis explicativas que se autoagrupam em torno da CP 3 significam que *scores* elevados nesta componente estão associados a elevada VS pelo lado do desemprego feminino (*loading* de 0,870), desemprego de baixas qualificações (0,809) e agregados familiares com pessoas desempregadas (0,695).

As variáveis explicativas na 4.ª componente principal (CP 4) permitem inferir sobre a “Condição socioeconómica” da população residente. Esta dimensão da VS é dificilmente avaliada por indicadores diretos, dada a ausência de variáveis à escala da freguesia. Indiretamente, infere-se a condição socioeconómica pela proporção de pessoas com formação superior (0,767), associada a reduzido número de pessoas empregadas em trabalhos não qualificados (-0,726). A 3.ª variável explicativa pode ter um papel dual (% de alojamentos arrendados ou subarrendados, *loading* de 0,520) e, pelo sinal do *loading*, parece estar associado a pessoas com formação superior.

A 5.ª CP, “Mobilidade”, tem uma leitura muito clara a partir das variáveis explicativas. A cardinalidade positiva é dada pelo sinal positivo nos *loadings* das seguintes variáveis: pessoas que estudam ou trabalham noutro município (0,759), duração média das deslocações pendulares, em minutos (0,720) e duração média das mesmas deslocações utilizando transportes públicos (0,665). Com interpretação lógica, a variável que exprime a população estudantil a estudar no próprio município de residência surge com *loading* de sinal negativo (-0,553).

Na componente principal 6 autoagrupam-se duas variáveis muito evidentes quanto à sua interpretação no sentido da VS: beneficiários de RSI (0,687) e beneficiários de prestações de inclusão social (0,636), ambas com sinal positivo no *loading*. Por oposição, a variável que exprime edifícios de melhor qualidade, mais recentes, pois proporcionam acesso por cadeira de rodas, tem um sinal negativo (-0,661). No conjunto, esta CP 6 representa “Grupos sociais de risco” e valores de score elevados representam elevada vulnerabilidade.

Na 7.ª CP também se associam duas variáveis interpretáveis no seu conjunto, exprimindo as “Condições de alojamento”: alojamento com ar condicionado (0,697) e edifícios a necessitar de reparação e construídos antes de 1980 (-0,636). Como se pretende que scores positivos e elevados (recorde-se que nos valores normalizados pelo *z-score* a média é 0) exprimam elevada VS, houve que proceder à sua inversão por multiplicação por -1.

Finalmente, na CP 8, “Mulheres e população estrangeira em empregos não qualificados”, agregaram-se variáveis representativas da presença de população feminina e população de nacionalidade estrangeira, em oposição dos sinais dos respetivos *loadings* (0,791 e -0,544, respetivamente). Neste caso, e como teoricamente reconhecido na literatura científica, nomeadamente no trabalho de Cutter et al. (2003), quando se autoagrupam variáveis com sinais distintos, mas que ambas em elevado valor exprimem elevada vulnerabilidade social, o mais razoável é adotar o valor absoluto (ou o módulo) dos respetivos scores. Deste modo, valores elevados em ambas as variáveis (população feminina e estrangeira) significam freguesias com maior vulnerabilidade, algo que tem suporte teórico na literatura científica.

Como referido anteriormente, a soma algébrica dos scores em cada CP, ponderada pela percentagem de variância total explicada, conduziu à obtenção do valor final de vulnerabilidade social, para cada freguesia da região de LVT, que se encontra representada na **Figura 48**.

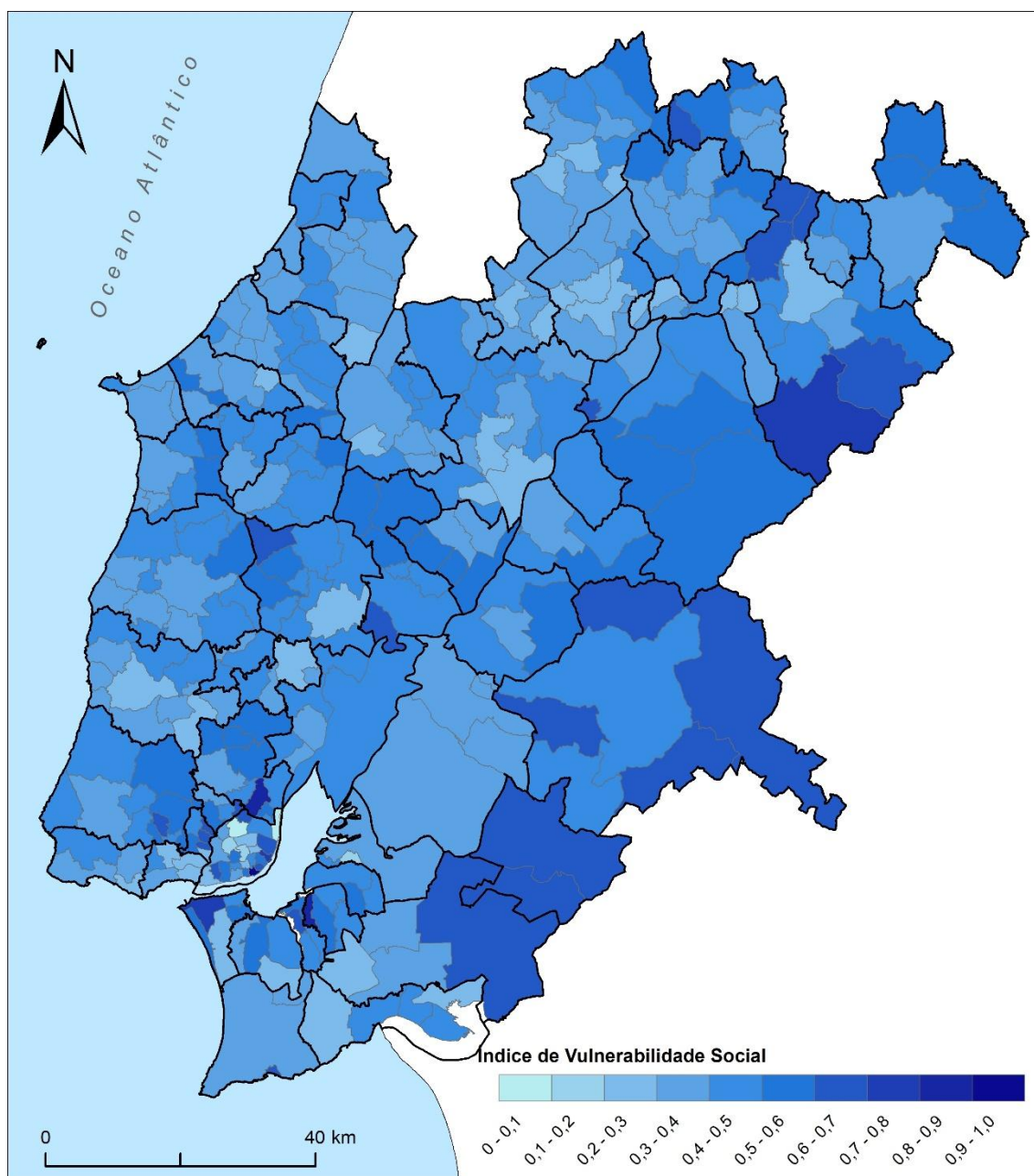


Figura 48 – Vulnerabilidade social em 2021 nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo

2.3.5 Índice de risco climático mutiperigo

As **Figuras 49, 50, 51, 52 e 53** representam os mapas de risco mutiperigo na atualidade, em meados do século e final do século XXI, para os cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5.

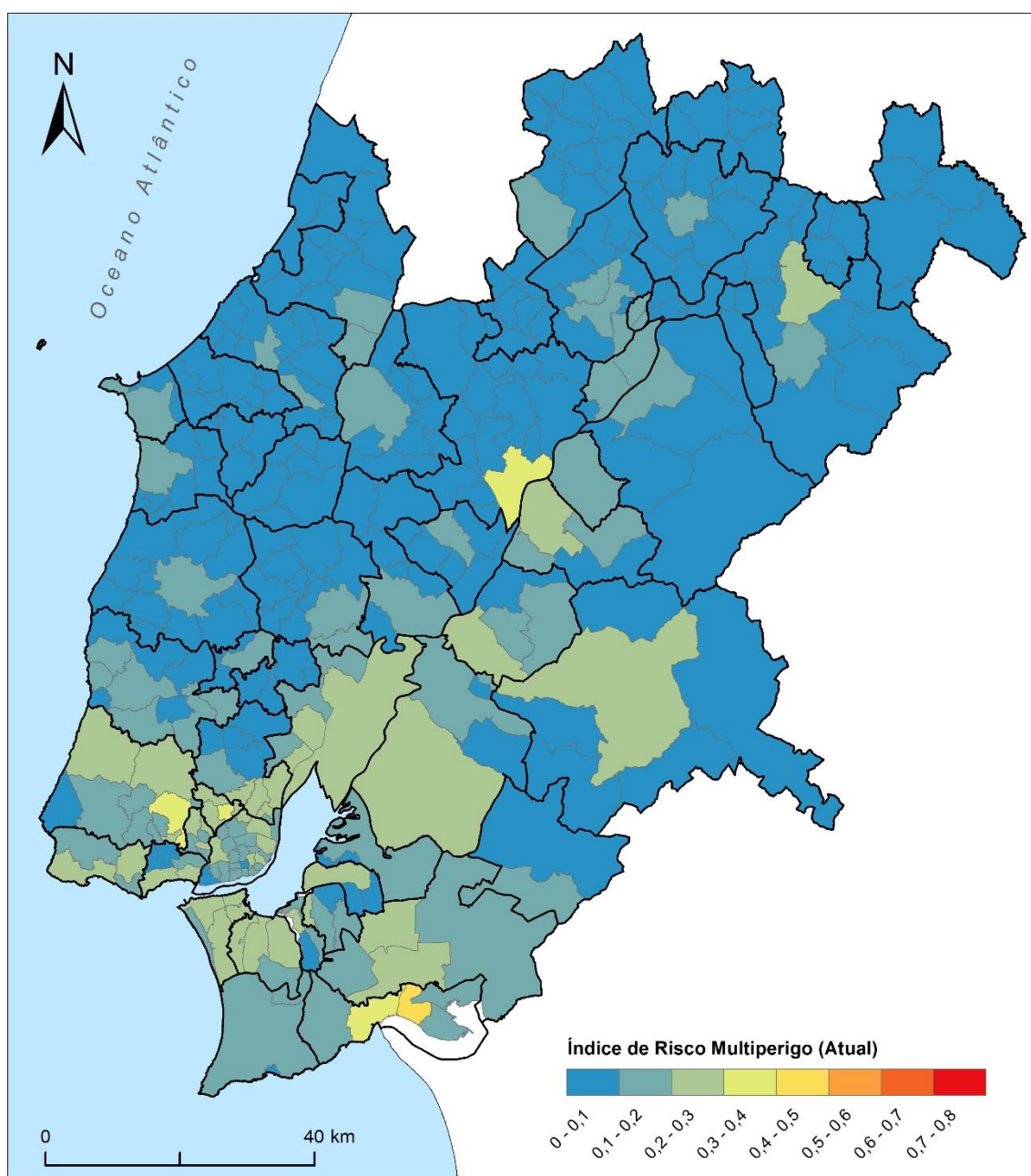


Figura 49 – Risco mutiperigo atual nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo

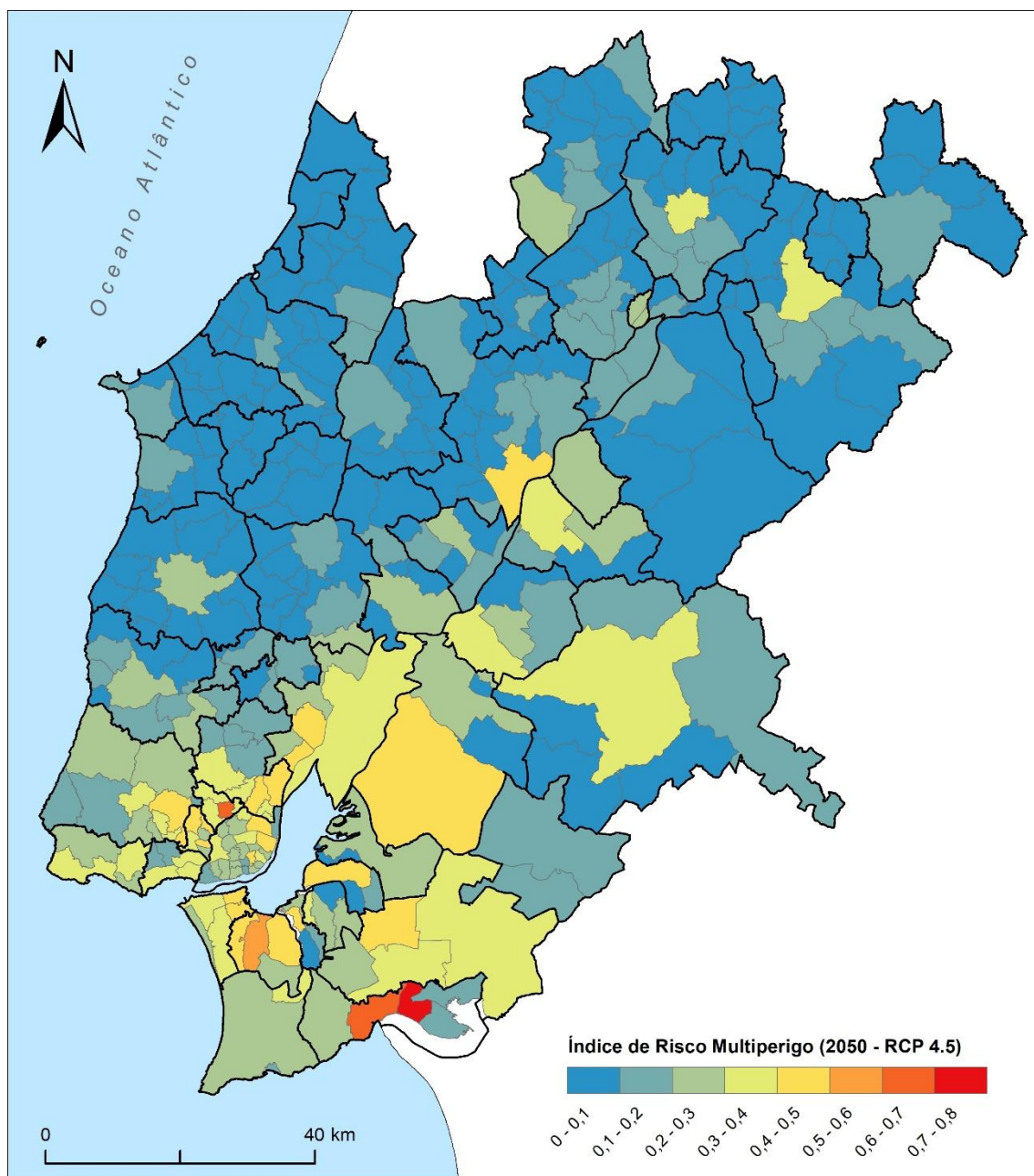


Figura 50 – Risco multiperigo em 2050 (RCP 4.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo

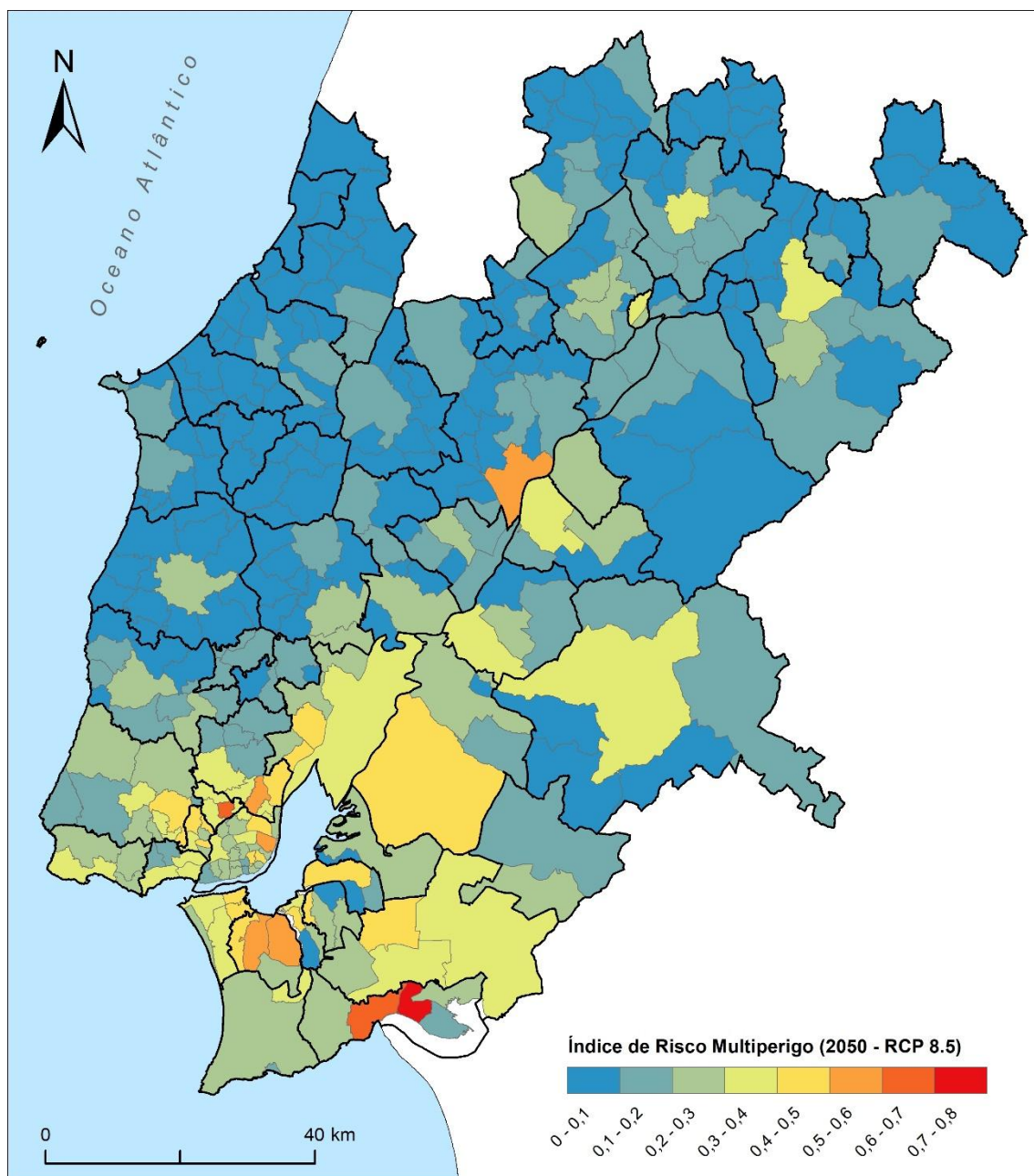


Figura 51 – Risco multiperigo em 2050 (RCP 8.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo

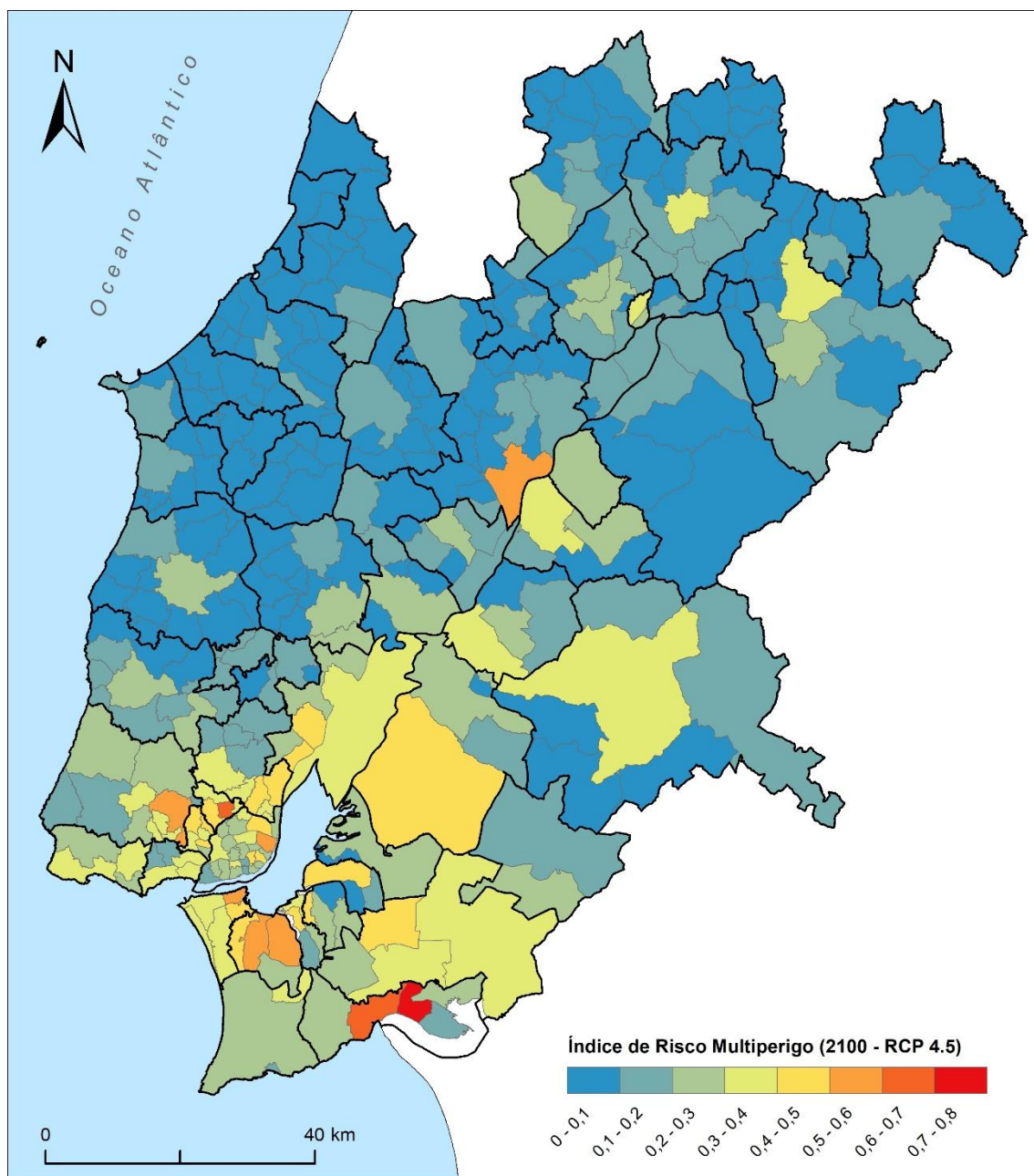


Figura 52 – Risco multiperigo em 2100 (RCP 4.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo

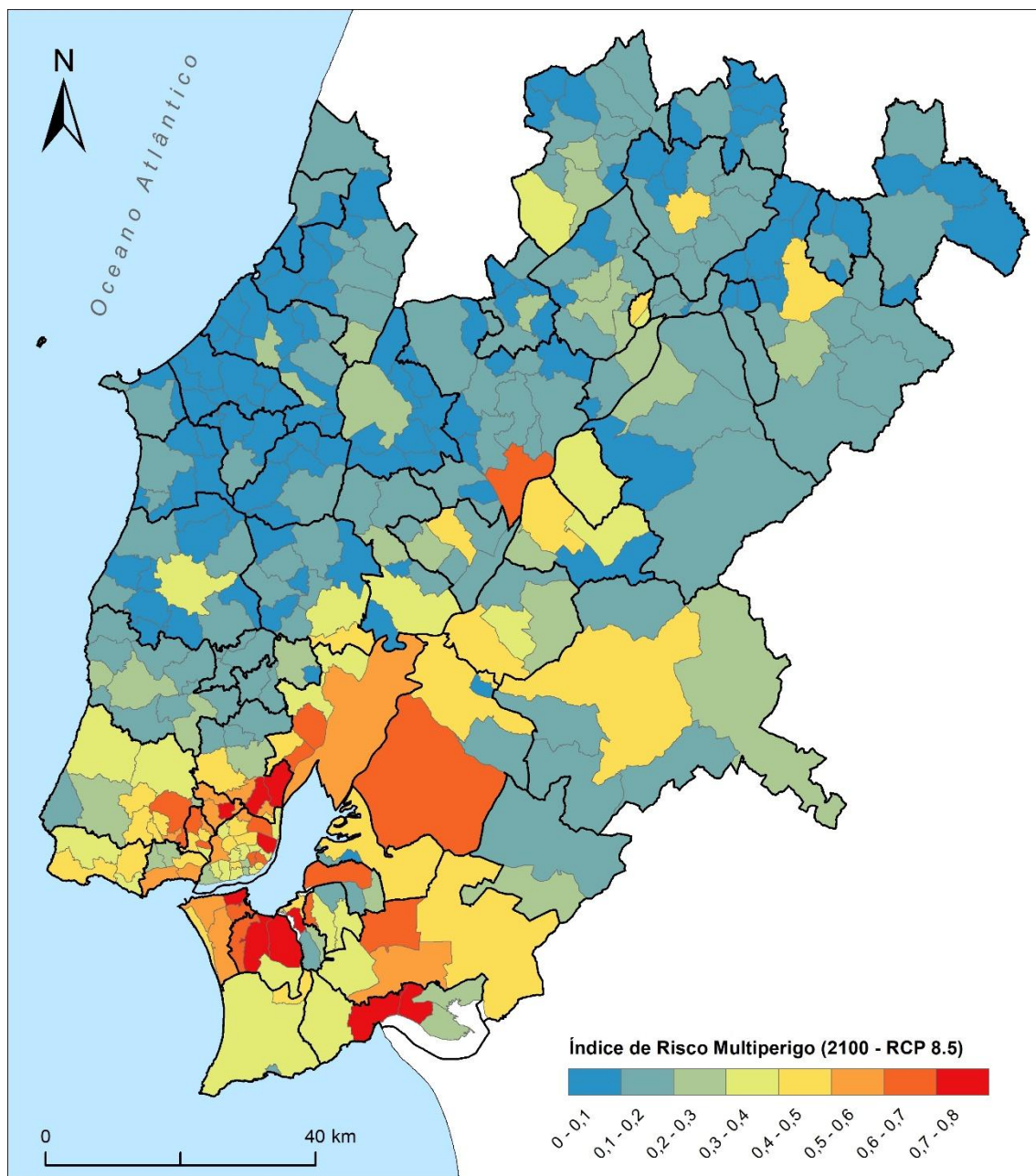


Figura 53 – Risco multiperigo em 2100 (RCP 8.5) nas freguesias da região de Lisboa e Vale do Tejo

Da análise de risco multiperigo atual (**Figura 49**) resulta um IRM médio de 0,097 e a existência de 223 freguesias, num total de 355, integradas na classe de risco mais baixo ($IRM < 0,1$). Adicionalmente, identificam-se 5 freguesias com risco moderado ($IRM = 0,3 - 0,5$), em Odivelas, Sintra, Santarém e Setúbal (2 freguesias).

A análise de risco multiperigo para 2050, com as condições climáticas definidas pelo cenário RCP 4.5 e considerando os elementos expostos atualmente no território da região LVT, mostra um incremento do risco, traduzido num IRM médio de 0,155 e na redução para 182 no número de freguesias na classe de risco mais baixo (**Figura 50**). Adicionalmente, observam-se 52 freguesias com risco moderado ($IRM = 0,3 - 0,5$) e 4 freguesias com risco elevado ($IRM > 0,5$). Estas últimas situam-se nos municípios de Setúbal (2 freguesias), Odivelas e Seixal. O risco projetado agrava-se em meados do século XXI, no caso do cenário RCP 8.5 (**Figura 51**), traduzindo-se num IRM médio = 0,162 e em 170 freguesias integradas na classe de risco mais baixo. O número de freguesias com risco moderado reduz-se a 49, mas passam a existir 8 freguesias com risco elevado, nos municípios de Setúbal (2 freguesias), Seixal (2 freguesias), Odivelas, Santarém, Lisboa e Loures.

A análise de risco multiperigo para 2100, com as condições climáticas definidas pelo cenário RCP 4.5 e considerando os elementos expostos atualmente no território da região de LVT (**Figura 52**), mostra um cenário semelhante ao obtido para 2050 com o RCP 8.5. O IRM médio corresponde a 0,163 e existem 164 freguesias na classe de risco mais baixo. Observam-se ainda 53 freguesias com risco moderado ($IRM = 0,3 - 0,5$) e 9 freguesias com risco elevado ($IRM > 0,5$). Estas últimas situam-se nos municípios de Setúbal (2 freguesias), Seixal (2 freguesias), Odivelas, Santarém, Lisboa, Almada e Sintra.

No caso do cenário RCP 8.5, o risco aumenta significativamente (**Figura 53**), com IRM médio = 0,229 e apenas 25 freguesias na classe de risco mais baixo. Em contrapartida, existem 62 freguesias com risco moderado e 40 com risco elevado. As situações mais problemáticas ($IRM > 0,7$) identificam-se nos municípios de Setúbal (2 freguesias), Lisboa, Loures (2 freguesias), Odivelas, Seixal (2 freguesias), Almada e Barreiro.

Referências

- Alcoforado, M. J., & Matzarakis, A. (2010). Planning with urban climate in different climatic zones. *Geographica*, 57, 5–39. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.201057808
- Amatulli, G., Camia, A., & San-Miguel-Ayanz, J. (2013). Estimating future burned areas under changing climate in the EU-Mediterranean countries. *Science of the Total Environment*, 450–451, 209–222.
- APA (2023a). Plano de Gestão dos Riscos de Inundações da RH5A- Tejo e das Ribeiras do Oeste. Julho de 2023.
- APA (2023b). Plano de Gestão dos Riscos de Inundações da RH6- Sado e Mira. Julho de 2023.
- Araújo, J.R.; Ramos, A.M.; Soares, P.M.M.; Melo, R.; Oliveira, S.C.; Trigo, R.M. (2022). Impact of extreme rainfall events on landslide activity in Portugal under climate change scenarios. *Landslides*. <https://doi.org/10.1007/S10346-022-01895-7>
- Ballabio, C., Lugato, E., Fernández-Ugalde, O., Orgiazzi, A., Jones, A., Borrelli, P., Montanarella, L., & Panagos, P. (2019). Mapping LUCAS topsoil chemical properties at European scale using Gaussian process regression. *Geoderma*, 355, 113912. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113912>
- Ballabio, C., Panagos, P., & Monatanarella, L. (2016). Mapping topsoil physical properties at European scale using the LUCAS database. *Geoderma*, 261, 110–123. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.07.006>
- Ballabio, C., Panagos, P., Lugato, E., Huang, J.-H., Orgiazzi, A., Jones, A., Fernández-Ugalde, O., Borrelli, P., & Montanarella, L. (2018). Copper distribution in European topsoils: An assessment based on LUCAS soil survey. *Science of The Total Environment*, 636, 282–298. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.268>
- Bergonse, R., Oliveira, S., Santos, P., & Zêzere, J. L. (2022). Wildfire risk levels at the local scale: assessing the relative influence of hazard, exposure, and social vulnerability. *Fire*, 5(5), 166.
- Brogniez, D. de, Ballabio, C., van Wesemael, B., Jones, R.J., Stevens, A., Montanarella, L. (2014) Topsoil Organic Carbon Map of Europe In Conference Proceedings: Alfred E. Hartemink, Kevin McSweeney, editors. Soil Carbon. Vol. Progress in Soil Science. London (UK): Springer; 2014. p. 393 - 405. JRC90442
- Bunce, R. G. H., Watkins, J. W., Brignall, P., & Orr, J. (1996). A comparison of the environmental variability within the European Union. *Ecological and Landscape Consequences of Land Use Change in Europe*, 82–90.
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Flesskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W., & Brussaard, L.

(2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105–125. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>

Davatgar, N., Neishabouri, M. R., & Sepaskhah, A. R. (2012). Delineation of site specific nutrient management zones for a paddy cultivated area based on soil fertility using fuzzy clustering. *Geoderma*, 173–174, 111–118. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.12.005>

De Groeve, T., Polansek, K., Vernaccini, L. (2016). Index for Risk Management -INFORM. Publication. ed. Publications Office of the European Union, European Union, Luxembourg.

de Oliveira, J. F., Mayi, S., Marchão, R. L., Corazza, E. J., Hurtado, S. C., Malaquias, J. V., Tavares Filho, J., Brossard, M., & Guimarães, M. de F. (2019). Spatial variability of the physical quality of soil from management zones. *Precision Agriculture*, 20(6), 1251–1273. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09639-9>

Directorate-General for Environment. (2023). Proposal for a Directive on Soil Monitoring and Resilience. https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-directive-soil-monitoring-and-resilience_en

Dornik, A., Chet, an, M.-A., Dragut, L., Iliut, a, A., & Dicu, D. D. (2022). Importance of the mapping unit on the land suitability assessment for agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 201, Article 107305.

Dupuy, J. luc, Fargeon, H., Martin-StPaul, N., Pimont, F., Ruffault, J., Guijarro, M., Hernando, C., Madrigal, J., & Fernandes, P. (2020). Climate change impact on future wildfire danger and activity in southern Europe: a review. *Annals of Forest Science*, 77(2). <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00933-5>

European Union. (2023). European Data: Soil Regions of the European Union and Adjacent Countries 1:5000000 (WMS). Disponível em:

Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR). (s.d). Soil information system FISBo BGR. Disponível em:

Florea, N., Balaceanu, V., Raut, a, C., & Canarache, A. (1987a). Metodologia elaborarii studiilor pedologice, partea II - elaborarea studiilor pedologice in diferite scopuri. Bucureș, ti: Institutul de cercetari pentru pedologie ș, i agrochimie.

Fridgen, J. J., Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Drummond, S. T., Wiebold, W. J., & Fraisse, C. W. (2004). Management Zone Analyst (MZA): Software for Subfield Management Zone Delineation. *Agronomy Journal*, 96(1), 100–108. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0742319974&partnerID=40&md5=d490d2e15310d5910f097e6e954f9ae5>

Garcia, R.A.C., Oliveira, S.C., Zêzere, J.L. (2016). Assessing population exposure for landslide risk analysis using dasymetric cartography. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16 (12), p. 2769-2782.

Garner, G.G.; Hermans, T.; Kopp, R.E. ... Pearson, B. (2021). IPCC AR6 Sea-Level Rise Projections. Version 20210809. PO.DAAC, CA, USA.

Guerreiro, M., Fortunato, A. B., Freire, P., Rilo, A., Taborda, R., Freitas, M. C., Andrade, C., Silva, T., Rodrigues, M., Bertin, X., & Azevedo, A. (2015). Evolution of the hydrodynamics of the Tagus estuary (Portugal) in the 21st century. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 15 (1): 65–80.

ICNF, Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (2012). Plano Municipal de Defesa da Floresta contra Incêndios (PMDFCI) – Guia Técnico. Direção de Unidade de Defesa da Floresta, abril 2012 (antes Autoridade Florestal Nacional). Disponível em <https://fogos.icnf.pt/sgif2010/InformacaoPublicaDados/guia-tecnico-pmdfci-afn-abril2012.pdf>

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*. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.), Cambridge University Press.

IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, B. Zhou (eds.), Cambridge University Press.

Jiang, H.-L., Liu, G.-S., Wang, R., Liu, S.-D., Han, F.-G., Yang, Y.-F., Ye, X.-F., Zhang, Q.-J., Wang, X.-J., Wang, Z.-H., & Hu, H.-C. (2011). Delineating Site-Specific Quality-Based Management Zones for a Tobacco Field. *Soil Science*, 176(4). https://journals.lww.com/soilsci/fulltext/2011/04000/delineating_site_specific_quality_based_management.8.aspx

Jobbagy, E.G., Jackson, R.B., 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecol. Appl* 10, 423–436.

Kerry, R., Ingram, B., & Oliver, M. (2021). Sampling needs to establish effective management zones for plant nutrients in precision agriculture. *Precision Agriculture'21*, 653–660. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-916-9_78

Keshavarzi, A., Kumar, V., Bottega, E. L., & Rodrigo-Comino, J. (2019). Determining Land Management Zones Using Pedo-Geomorphological Factors in Potential Degraded Regions to Achieve Land Degradation Neutrality. In *Land* (Vol. 8, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/land8060092>

Khosla, R., Inman, D., Westfall, D. G., Reich, R. M., Frasier, M., Mzuku, M., Koch, B., & Hornung, A. (2008). A synthesis of multi-disciplinary research in precision agriculture: site-specific management zones in the semi-arid western Great Plains of the USA. *Precision Agriculture*, 9(1–2), 85–100. <https://doi.org/10.1007/s11119-008-9057-1>

Köninger, J., Ballabio, C., Panagos, P., Jones, A., Schmid, M. W., Orgiazzi, A., & Briones, M. J. I. (2023). Ecosystem type drives soil eukaryotic diversity and composition in Europe. *Global Change Biology*, 29(19), 5706–5719. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gcb.16871>

- Kulp, S.A.; Strauss, B.H. (2019). New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nature Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/S41467-019-12808-Z>
- Lamb, A., Green, R., Bateman, I., Broadmeadow, M., Bruce, T., Burney, J., Carey, P., Chadwick, D., 1044 Crane, E., Field, R., et al. (2016). The potential for land sparing to offset greenhouse gas emissions 1045 from agriculture. *Nature Climate Change*, 6(5):488–492.
- Lawrence, P. G., Roper, W., Morris, T. F., & Guillard, K. (2020). Guiding soil sampling strategies using classical and spatial statistics: A review. *Agronomy Journal*, 112(1), 493–510. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/agj2.20048>
- Marques, F.; Penacho, N.; Queiroz, S.; Gouveia, L.; Matildes, R.; Redweik, P. (2013). Estudo da adequabilidade das faixas de risco/salvaguarda definidas no POOC em vigor, Entregável 1.3.3.a, Estudo do litoral na área de intervenção da APA, I.P. /ARH do Tejo, Agência Portuguesa do Ambiente.
- McBratney, A. B., Minasny, B., Cattle, S. R., & Vervoort, R. W. (2002). From pedotransfer functions to soil inference systems. *Geoderma*, 109(1), 41–73. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00139-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00139-8)
- Mendes, J.M.; Tavares, A.O.; Cunha, L.; Freiria, S. (2010) Social vulnerability to natural and technological hazards: the relevance of scale. In R. Briš, C. Guedes Soares & S. Martorell (Org.) *Reliability, Risk and Safety. Vol. 1, Theory and Applications*, CRC Press, Leiden, pp. 445-451.
- Metzger, M. J., Bunce, R. G. H., Jongman, R. H. G., Múcher, C. A., & Watkins, J. W. (2005). A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecology and Biogeography*, 14(6), 549–563. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2005.00190.x>
- Metzger, M. J., Shkaruba, A. D., Jongman, R. H. G., & Bunce, R. G. H. (2012). Descriptions of the European environmental zones and strata (No. 2281). *Alterra*.
- Metzger, M.J., Rounsevell, M.D.A., Acosta-Michlik, L., Leemans, R., Schröter, D., 2006. The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 114, 69e85.
- Mitchell, T. D., Carter, T. R., Jones, P. D., Hulme, M., & New, M. (2004). A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901–2000) and 16 scenarios (2001–2100). *Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper*, 55(0), 25.
- Muis, S.; Verlaan, M.; Winsemius, H.C.; Aerts, J.C.; Ward, P.J. (2016). A global reanalysis of storm surges and extreme sea levels. *Nature communications*, 7(1), 1-12.
- Oldoni, H., Silva Terra, V. S., Timm, L. C., Júnior, C. R., & Monteiro, A. B. (2019). Delineation of management zones in a peach orchard using multivariate and geostatistical analyses. *Soil and Tillage Research*, 191, 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.still.2019.03.008>
- Oliveira, S., Gonçalves, A., & Zêzere, J. L. (2021). Reassessing wildfire susceptibility and hazard for mainland Portugal. *Science of the Total Environment*, 762, 143121.
- Padilla, F., Vidal, B., Sánchez, J., & Pugnaire, F. (2010). Land-use changes and carbon sequestration through the twentieth century in a Mediterranean mountain ecosystem: Implications for land

management. *Journal of Environmental Management*, 91(12), 2688-2695.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.07.031>

Panagos P., Van Liedekerke M., Jones A., Montanarella L. (2012). European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements. *Land Use Policy*, 29 (2): 329-338.

Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rouseva, S., Tadic, M.P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Begueria, S., Alewell, C. (2015). Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment* 511: 801-814.

Panagos, P., Ballabio, C., Himics, M., Scarpa, S., Matthews, F., Bogonos, M., Poesen, J., Borrelli, P., (2021). Projections of soil loss by water erosion in Europe by 2050. *Environmental Science & Policy*, 124: 380-392.

Panagos, P., Ballabio, C., Lugato, E., Jones, A., Borrelli, P., Scarpa, S., Orgiazzi, A., & Montanarella, L. (2018). Potential Sources of Anthropogenic Copper Inputs to European Agricultural Soils. In *Sustainability* (Vol. 10, Issue 7). <https://doi.org/10.3390/su10072380>

Panagos, P., Ballabio, C., Meusburger, K., Spinoni, J., Alewell, C., Borrelli, P. (2017). Towards estimates of future rainfall erosivity in Europe based on REDES and WorldClim datasets. *Journal of Hydrology*, 548: 251-262.

Panagos, P., Jiskra, M., Borrelli, P., Liakos, L., & Ballabio, C. (2021). Mercury in European topsoils: Anthropogenic sources, stocks and fluxes. *Environmental Research*, 201, 111556.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111556>

Panagos, P.; Meusburger, K.; Ballabio, C.; Borrelli, P.; Alewell, C. (2014). Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. *Science of the Total Environment*, 479-480: 189-200.

Penacho, N.; Marques, F.; Queiroz, S.; Gouveia, L.; Matildes, R.; Redweik, P.; Garzón, V. (2013a). Inventário de instabilidades nas arribas obtido por fotointerpretação, Entregável 1.2.2.1.a, Estudo do litoral na área de intervenção da APA, I.P. /ARH do Tejo, Agência Portuguesa do Ambiente.

Penacho, N.; Marques, F.; Queiroz, S.; Gouveia, L.; Matildes, R.; Redweik, P.; Garzón, V. (2013b). Determinação e cartografia da perigosidade associada à ocorrência de fenómenos de instabilidade em arribas à escala regional, Entregável 1.3.1.a, Estudo do litoral na área de intervenção da APA, I.P. /ARH do Tejo, Agência Portuguesa do Ambiente.

Pereira, S., Santos, P.P., Zêzere, J.L., Tavares, A.O., Garcia, R.A.C., Oliveira, S.C. (2020). A landslide risk index for municipal land use planning in Portugal. *Science of the Total Environment*, 735, 139463.

Pimenta, M. T. (1999). Diretrizes para a aplicação da Equação Universal de Perda dos Solos em SIG. Fator de Cultura C e Fator de Erodibilidade do Solo K. <http://snirh.pt>.

PLAAC Arrábida (2022a). Planos Locais de Adaptação às Alterações Climáticas. Setúbal – Avaliação de Impactes e de Vulnerabilidades Climáticas Atuais e Futuras. EEA Grants.

PLAAC Arrábida (2022b). Planos Locais de Adaptação às Alterações Climáticas. Palmela – Avaliação de Impactes e de Vulnerabilidades Climáticas Atuais e Futuras. EEA Grants.

PLAAC Arrábida (2022c). Planos Locais de Adaptação às Alterações Climáticas. Sesimbra – Avaliação de Impactes e de Vulnerabilidades Climáticas Atuais e Futuras. EEA Grants.

Ponte Lira, C.; Silva, A.N.; Taborda, R.; Andrade, C.F. (2016). Coastline evolution of Portuguese low-lying sandy coast in the last 50 years: An integrated approach. *Earth Syst. Sci. Data* 8, 265–278

Prasad, R., & Power, J. F. (1997). *Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture*. Lewis Publishers.

Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on Soil Monitoring and Resilience (Soil Monitoring Law). (2023). European Commission, 2023/0232. Disponível em: https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-directive-soil-monitoring-and-resilience_en

Reis, E. (2011). Análise de bacias hidrográficas, susceptibilidade à ocorrências de cheias e sistemas de informação geográfica: da definição do quadro conceptual até à proposta de um modelo de avaliação. VIII Congresso da Geografia Portuguesa (p. 1–6). Associação Portuguesa de Geógrafos, Lisboa.

Santos, P.P., Pereira, S., Zêzere, J.L., Tavares, A.O., Reis, E., Garcia, R.A.C., Oliveira, S.C. (2020). A comprehensive approach to understanding flood risk drivers at the municipal level. *J. Environ. Manag.* 260

Santos, P.P.; Reis, E.; Pereira, S.; Santos, M. (2019). A flood susceptibility model at the national scale based on multicriteria analysis. *Science of The Total Environment*, 667, 325–337.

Schulp, C.J.E., Nabuurs, G.-J., Verburg, P.H., 2008. Future carbon sequestration in Europe e effect of land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 127, 251e264.

Smith, P., Soussana, J.-F., Angers, D., Schipper, L., Chenu, C., Rasse, D. P., Batjes, N. H., van Egmond, 1136 F., McNeill, S., Kuhnert, M., et al. (2020). How to measure, report and verify soil carbon change 1137 to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. *Global 1138 Change Biology*, 26(1):219–241

Sousa, P. M., Trigo, R. M., Pereira, M. G., Bedia, J., & Gutiérrez, J. M. (2015). Different approaches to model future burnt area in the Iberian Peninsula. *Agricultural and Forest Meteorology*, 202, 11–25. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2014.11.018>

Tadesse, M.G.; Wahl, T. (2021). A database of global storm surge reconstructions. *Sci Data* 8, 125 <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00906-x>

Taghizadeh-Mehrjardi, R., Nabiollahi, K., Rasoli, L., Kerry, R., & Scholten, T. (2020). Land Suitability Assessment and Agricultural Production Sustainability Using Machine Learning Models. *Agronomy*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy10040573>

Trindade, J., Reis, E., Rocha, J., Santos, P.P., Garcia, R., Oliveira, S.C., Silva, A., Pinheiro, S., Cuervas-Mons, J. (2023). Methodology for sea level rise hazard assessment in the exposed coastal zone of the Portuguese mainland. *Geogaceta* 74, 59–62.

Trindade, J., Zêzere, J.L., Reis, E., Santos, P.P., Garcia, R.A.C., Oliveira, S.C., Pereira, S., Silva, A. (2022). Metodologia para a definição de áreas inundáveis pela subida do nível do mar em litorais expostos,

na costa Portuguesa, in: Fortunato, A.B., Coelho, C., Ferreira, Ó., Freire, P., Freitas, M.C., Matias, A., Oliveira, F., Pinto, F.T., Portela, L., Rilo, A., Silva, P., Taborda, R. (Eds.), &a Conferência Da Morfodinâmica Estuarina e Costeira. LNEC, Lisboa, pp. 81–82.

Turco, M., Rosa-Cánovas, J. J., Bedia, J., Jerez, S., Montávez, J. P., Llasat, M. C., & Provenzale, A. (2018). Exacerbated fires in Mediterranean Europe due to anthropogenic warming projected with non-stationary climate-fire models. *Nature Communications*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/S41467-018-06358-Z>

Van Eynde, E., Fendrich, A. N., Ballabio, C., & Panagos, P. (2023). Spatial assessment of topsoil zinc concentrations in Europe. *Science of the Total Environment*, 892(February), 164512. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164512>

Van Genuchten, M.T. (1980) A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, pp. 892-898

Vaz, T., Zêzere, J. L., Pereira, S., Oliveira, S. C., Garcia, R. A., & Quaresma, I. (2018). Regional rainfall thresholds for landslide occurrence using a centenary database. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(4), 1037-1054.

Viana, C. M., Santos, M., Freire, D., Abrantes, P., & Rocha, J. (2021). Evaluation of the factors explaining the use of agricultural land: A machine learning and model-agnostic approach. *Ecological Indicators*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108200>

Vitharana, U. W. A., Saey, T., Cockx, L., Simpson, D., Vermeersch, H., & Van Meirvenne, M. (2008). Upgrading a 1/20,000 soil map with an apparent electrical conductivity survey. *Geoderma*, 148(1), 107–112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.09.013>

Weninger, T., Ramler, D., Bondi, G., Asins, S., O’Sullivan, L., Assennato, F., Astover, A., Bispo, A., Borůvka, L., Buttafuoco, G., Calzolari, C., Castanheira, N., Cousin, I., van den Elsen, E., Foldal, C., Hessel, R., Kadžiulienė, Ž., Kukk, L., Molina, M. J., ... Klimkowicz-Pawlas, A. (2024). Do we speak one language on the way to sustainable soil management in Europe? A terminology check via an EU-wide survey. *European Journal of Soil Science*, 75(2), e13476. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ejss.13476>

Wösten, J.H.M., Pachepsky, Y.A., Rawls, W.J. (2001) Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics *J. Hydrol.*, 251, pp. 123-150, 10.1016/S0022-1694(01)00464-4

Yin, K.L.; Yan, T.Z. (1988). Statistical prediction models for instability of metamorphosed rocks. *International symposium on landslides*. 5, 1269-1272.

Zeraatpisheh, M, Bottega, E. L., Bakhshandeh, E., Owliaie, H. R., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kerry, R., Scholten, T., & Xu, M. (2022). Spatial variability of soil quality within management zones: Homogeneity and purity of delineated zones. *Catena*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105835>

Zeraatpisheh, Mojtaba, Bakhshandeh, E., Emadi, M., Li, T., & Xu, M. (2020). Integration of PCA and Fuzzy Clustering for Delineation of Soil Management Zones and Cost-Efficiency Analysis in a Citrus Plantation. *Sustainability*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/su12145809>

Zêzere, J.L. (2002). Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 2, 1/2, p.73-82.

Zhao, S., Tang, Y., & Chen, A. (2016). Carbon Storage and Sequestration of Urban Street Trees in Beijing, China. *Frontiers In Ecology And Evolution*, 4.<https://doi.org/10.3389/fevo.2016.00053>