

**Avaliação das opções estratégicas para o
aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa**

Anexo 4

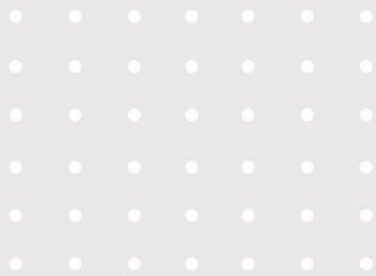
**Estudos técnicos sobre os condicionalismos nos domínios dos
riscos naturais e tecnológicos**



PT 4 – Ambiente

Coordenação: Teresa Fidélis

Março de 2024

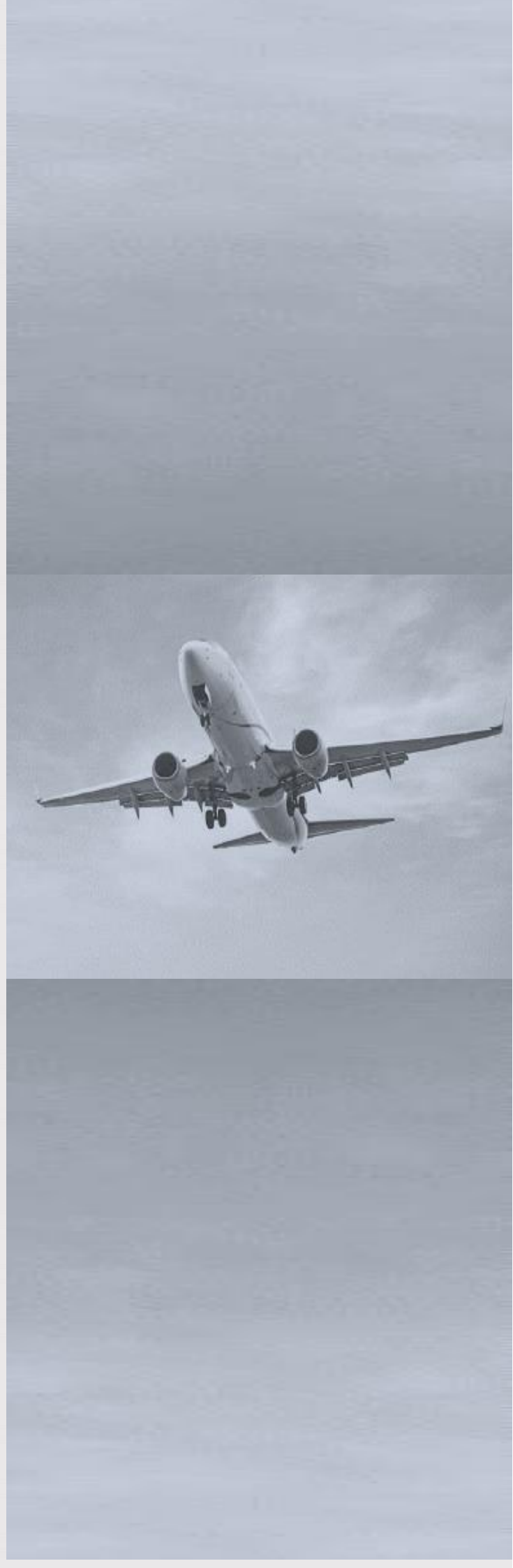


Anexo IV.

Estudos técnicos sobre os condicionalismos nos domínios dos riscos naturais e tecnológicos

//José Luís Zêzere

//Alexandre Domingos



FICHA TÉCNICA

Equipa:

José Luís Zêzere (Coordenação)

Alexandre Domingos

Centro de Estudos Geográficos

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território

Universidade de Lisboa



| | |
|---|----|
| ABREVIATURAS | 6 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 7 |
| 2. QUADRO DE REFERÊNCIA ESTRATÉGICO | 8 |
| 3. LEGISLAÇÃO NACIONAL RELEVANTE..... | 9 |
| 4. PERIGOS E RISCOS CONSIDERADOS NO PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE OPÇÕES ESTRATÉGICAS | 11 |
| 5. METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCOS E VULNERABILIDADES | 15 |
| 5.1 ZONAMENTO DOS PERIGOS | 15 |
| 5.2 ESTABELECIMENTO DE ÍNDICES DE RISCO..... | 20 |
| 6. RESULTADOS..... | 22 |
| 6.1 INTERSEÇÃO DAS ÁREAS DE IMPLANTAÇÃO COM OS MAPAS DE ZONAMENTO | 22 |
| 6.2 VULNERABILIDADES TERRITORIAIS AO PERIGO SÍSMICO | 35 |
| 6.3 VULNERABILIDADES TERRITORIAIS AO PERIGO DE INUNDAÇÃO E DE SUBIDA DO NÍVEL DO MAR | 36 |
| 6.4 VULNERABILIDADES TERRITORIAIS AO PERIGO DE INCÊNDIO RURAL..... | 38 |
| 6.5 VULNERABILIDADES TERRITORIAIS AO PERIGO DE ACIDENTE INDUSTRIAL | 39 |
| 7. CONCLUSÕES | 42 |
| REFERÊNCIAS | 44 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Critérios associados à definição das classes de perigosidade sísmica na região de Lisboa e Vale do Tejo | 16 |
| Tabela 2. Propriedades das classes de perigosidade do mapa de perigosidade de incêndio rural (dados de referência nacionais)..... | 19 |
| Tabela 3. Zonas de perigosidade consideradas para a quantificação de vulnerabilidades territoriais | 20 |
| Tabela 4. Vulnerabilidades territoriais ao perigo sísmico das áreas de implantação associadas às 8 opções estratégicas para o aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa | 35 |
| Tabela 5. Índices de risco das opções estratégicas face ao perigo sísmico..... | 36 |
| Tabela 6. Vulnerabilidades territoriais ao perigo de inundação e de subida do nível do mar das áreas de implantação associadas às 8 opções estratégicas para o aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa..... | 36 |
| Tabela 7. Índices de risco das opções estratégicas face ao perigo de inundação e de subida do nível do mar | 37 |
| Tabela 8. Vulnerabilidades territoriais ao perigo de incêndio rural das áreas de implantação associadas às 8 opções estratégicas para o aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa..... | 38 |
| Tabela 9. Índices de risco das opções estratégicas face ao perigo de incêndio rural | 39 |
| Tabela 10. Vulnerabilidades territoriais ao perigo de acidente industrial das áreas de implantação associadas às 8 opções estratégicas para o aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa..... | 40 |
| Tabela 11. Índices de risco das opções estratégicas face ao perigo de acidente industrial..... | 41 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Exposição ao perigo sísmico das áreas de implantação associadas às opções estratégicas | 23 |
| Figura 2. Exposição ao perigo de inundação e subida do nível do mar das áreas de implantação associadas às opções estratégicas | 24 |
| Figura 3. Exposição ao perigo de incêndio rural das áreas de implantação associadas às opções estratégicas | 25 |
| Figura 4. Exposição ao perigo de acidente industrial das áreas de implantação associadas às opções estratégicas | 26 |
| Figura 5. Exposição da opção estratégica 1 (AHD + Montijo) aos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, de incêndio rural e de acidente industrial | 27 |
| Figura 6. Exposição da opção estratégica 2 (Montijo HUB) aos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, de incêndio rural e de acidente industrial | 28 |
| Figura 7. Exposição da opção estratégica 3 (CTA) aos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, de incêndio rural e de acidente industrial | 29 |
| Figura 8. Exposição da opção estratégica 4 (AHD + Santarém) aos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, de incêndio rural e de acidente industrial | 30 |
| Figura 9. Exposição da opção estratégica 5 (Santarém) aos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, de incêndio rural e de acidente industrial | 31 |
| Figura 10. Exposição da opção estratégica 6 (AHD + CTA) aos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, de incêndio rural e de acidente industrial | 32 |
| Figura 11. Exposição da opção estratégica 7 (Vendas Novas) aos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, de incêndio rural e de acidente industrial | 33 |
| Figura 12. Exposição da opção estratégica 8 (AHD + Vendas Novas) aos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, de incêndio rural e de acidente industrial | 34 |

ABREVIATURAS

AHD – Aeroporto Humberto Delgado

CTA – Campo de Tiro de Alcochete

MTJ - Montijo

OE - Opção Estratégica

OE 1 – Opção Estratégica 1: Dual com AHD principal + Montijo complementar

OE 2 – Opção Estratégica 2: Dual com Montijo principal + AHD complementar, com evolução para Montijo substituir integralmente o AHD

OE 3 – Opção Estratégica 3: Novo aeroporto no CTAlcochete, que substitua integralmente o AHD

OE 4 – Opção Estratégica 4: Dual com AHD principal + Santarém complementar

OE 5 – Opção Estratégica 5: Novo aeroporto em Santarém, que substitua integralmente o AHD

OE 6 – Opção Estratégica 6: Dual com AHD principal + CTAlcochete complementar

OE 7 – Opção Estratégica 7: Novo aeroporto em Vendas Novas, que substitua integralmente o AHD

OE 8 – Opção Estratégica 8: Dual com AHD principal + Vendas Novas complementar

STR – Santarém

VNP – Vendas Novas/Pegões

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho surge na sequência do contrato para aquisição de serviços de consultoria para identificação e análise da informação relevante para a ponderação dos riscos naturais e tecnológicos no âmbito da avaliação ambiental estratégica da nova localização do aeroporto de Lisboa (CO/23/274), estabelecido entre o Laboratório Nacional de Engenharia Civil e o Instituto de Geografia e Ordenamento do Território.

No âmbito deste contrato, a prestação de serviço a realizar pelo CEG-IGOT-ULisboa teve os seguintes objetivos:

- contribuir, analisar e pronunciar-se, para cada uma das localizações aeroportuárias em avaliação, e soluções de infraestruturas associadas, sobre os principais tipos de riscos naturais e tecnológicos relevantes e da interligação destes com os restantes pacotes de trabalho quando necessário;
- contribuir para a elaboração dos relatórios para o procedimento de avaliação ambiental estratégica;
- apoiar técnica e cientificamente a coordenação geral em matéria de riscos naturais e em tudo o que diga respeito às interdependências entre os riscos naturais e tecnológicos, as dimensões ambientais e os restantes pacotes de trabalho no âmbito da Comissão Técnica Independente.

2. QUADRO DE REFERÊNCIA ESTRATÉGICO

A abordagem efetuada neste trabalho vai ao encontro das metas e objetivos apresentados no Quadro de Sendai para a Redução do Risco de Desastre 2015-2030, cujo foco centra-se na redução de catástrofes e preservação da saúde humana e ambiental.

O quadro de referência estratégico apresenta como prioridades de ação ao nível local, regional e global:

- I. Compreensão do risco de catástrofes;
- II. Fortalecer a governança na gestão do risco de catástrofes;
- III. Investir na redução do risco de catástrofes em prol da resiliência;
- IV. Melhorar a preparação face a catástrofes para uma resposta efetiva, e "reconstruir melhor" (*Build Back Better*) na fase de recuperação, reabilitação e reconstrução.

O estabelecimento de prioridades de ação visa estabelecer uma linha orientadora clara para atingir as metas propostas para o horizonte temporal 2030. Estas são:

- I. Reduzir substancialmente ao nível global, a mortalidade provocada por catástrofes no período 2020-2030, por comparação com o período 2005-2015;
- II. Reduzir substancialmente ao nível global, o número de pessoas afetadas por catástrofes no período 2020-2030, por comparação com o período 2005-2015;
- III. Reduzir as perdas económicas diretas causadas por catástrofes em relação ao Produto Interno Bruto mundial;
- IV. Reduzir substancialmente os danos de catástrofes em infraestruturas críticas e a interrupção de serviços básicos, incluindo equipamentos de saúde e de educação, através do aumento da sua resiliência;
- V. Aumentar substancialmente, até 2030, a disponibilidade de acesso à população a sistemas de alerta precoce, multirrisco, e a informação sobre risco e avaliação de risco.

3. LEGISLAÇÃO NACIONAL RELEVANTE

| Legislação Nacional Relevante: Riscos e Vulnerabilidades Territoriais | | |
|---|--|--|
| Vulnerabilidade sísmica | Decreto-Lei n.º 235/83, Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, na sua redação atual (https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/1983-123279870). | Artigo 28º- Zonamento do território Artigo 29º- Quantificação da ação dos sismos |
| | Despacho Normativo n.º 21/2019 de 17 de Setembro, Condições para a utilização dos Eurocódigos Estruturais nos projetos de estruturas de edifícios (https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/despacho-normativo/21-2019-124750394) | Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos. Norma Portuguesa NA 2.3 Princípios e Regras de Aplicação com prescrições a nível nacional |
| Vulnerabilidade ao perigo de inundação | Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de Outubro, Quadro de avaliação e gestão dos riscos de inundações (https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/dcreto-lei/115-2010-307873) | Artigo 5.º- Avaliação preliminar dos riscos de inundações Artigo 7.º- Cartas de zonas inundáveis para áreas de risco Artigo 9.º- Planos de gestão dos riscos de inundações |
| Vulnerabilidade à subida de nível do mar | | |
| Vulnerabilidade a incêndios rurais | Resolução do Conselho de Ministros nº45-A/2020, que aprova o Plano Nacional de Gestão Integrada de Fogos Rurais (https://www.agif.pt/app/uploads/2019/05/DR_PNGIFR.pdf) | PL1. Diretrizes estratégicas e planeamento integrado PS1. Análise de Risco |
| | Resolução do Conselho de Ministros n.º 71-A/2021, que aprova o Programa Nacional de Ação (PNA) (https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/71-a-2021-164798802) | OE2- Cuidar os Espaços Rurais OE4- Gerir Eficientemente o Risco |
| | Estratégia Nacional das Florestas 2030 (ENF2030) https://dre.pt/dre/detalhe/resolucao-conselho-ministros/6-b-2015-66432466 | 4.2.A. Minimização dos riscos de incêndios e agentes bióticos |
| Vulnerabilidade a perigos industriais | Decreto-Lei n.º 150/2015, de 5 de Agosto, relativo à prevenção de acidentes graves envolvendo substâncias perigosas (https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/dcreto-lei/150-2015-69951097) | Artigo 7.º- Ocupação das zonas de perigosidade Artigo 8.º- Avaliação de compatibilidade de localização |

4. PERIGOS E RISCOS CONSIDERADOS NO PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE OPÇÕES ESTRATÉGICAS

De entre os riscos naturais e tecnológicos com expressão territorial relevante nas possíveis áreas de implantação da(s) infraestrutura(s) aeroportuária(s) há 5 que devem ser considerados enquanto critérios críticos de apoio à decisão, pela sua relevância no que respeita à segurança de pessoas e de bens: sismos, inundações estuarinas, inundações fluviais, incêndios rurais e acidentes industriais. Os processos perigosos em questão podem implicar a implementação de soluções de engenharia muito complexas e onerosas, mas não constituem, necessariamente, fatores eliminatórios.

SISMOS

O ambiente tectónico desempenha um papel significativo na atividade neotectónica e sísmica em Portugal (Cabral, 1995). Portugal continental situa-se a norte do contacto entre as placas Euroasiática e Africana. Localmente, a convergência entre estas duas placas ocorre obliquamente a uma taxa de aproximadamente 5 mm/ano (Fernandes *et al.*, 2007) e o ajustamento a esta convergência tectónica ocorre predominantemente na região de fronteira de placas, localizada offshore a sul de Portugal Continental (Castilho *et al.*, 2021).

A perigosidade sísmica na Região de Lisboa e Vale do Tejo é tipicamente elevada devido, não só à proximidade das estruturas ativas submarinas que marginam o território continental português a SW e a S, que têm o potencial de gerar os sismos máximos regionais (Grácia *et al.*, 2003), mas também à zona de falhas do vale inferior do Tejo (Carvalho *et al.*, 2006).

O Vale do Baixo Tejo é a mais importante zona sísmica intraplaca em Portugal e tem sido a fonte de vários sismos com magnitude entre 6 e 7, como em 1344, 1531 e 1909 (Cabral *et al.* 2013).

Apesar da reconhecida atividade sísmica, falta uma relação consistente entre os sismos e as falhas ativas reconhecidas à superfície no Baixo Tejo, o que é explicado pelas baixas taxas de deslocação estimadas para as falhas ativas regionais (0,05 - 0,1 mm/ano), juntamente com a espessa cobertura sedimentar quaternária que dificulta a evidência de ruturas superficiais (Cabral *et al.*, 2013).

De acordo com Canora *et al.* (2021) a falha do Baixo Vale do Tejo apresenta dois segmentos quase paralelos, ao longo de ambos os lados da planície aluvial do Tejo. Com base em dados

geomorfológicos, paleossismológicos e de reflexão sísmica, a zona oriental da Falha do Baixo Vale do Tejo foi caracterizada como uma área sísmica capaz de gerar sismos com magnitude máxima até 7,3 Mw, com taxa de deslocação de 0,14-0,24 mm/ano, e intervalo de recorrência de 1,7 mil anos para rutura de superfície (Canora *et al.*, 2015).

O Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes, aprovado pelo Decreto-Lei nº235/83 de 31 de maio, estabeleceu um zonamento de risco sísmico em Portugal Continental e definiu os coeficientes de segurança a aplicar nas construções de edifícios e pontes em cada uma das 4 zonas identificadas. A Região de Lisboa e Vale do Tejo enquadra-se nas zonas A e B do referido zonamento, que correspondem às zonas de maior risco.

Mais recentemente, o Eurocódigo 8 atualizou as regras gerais, ações sísmicas e regras para os edifícios, no quadro de projetos de estruturas para resistência aos sismos. De acordo com o Eurocódigo 8, a Região de Lisboa e Vale do Tejo integra-se nas zonas 1.3, 1.4 e 1.5 para ação sísmica Tipo 1 (sismo distante), e nas zonas 2.3 e 2.4 para ação sísmica Tipo 2 (sismo próximo).

CHEIAS E INUNDAÇÕES FLUVIAIS

As cheias são fenómenos naturais extremos e temporários, quase sempre provocados por precipitações excessivas que fazem aumentar o caudal dos cursos de água, originando o transbordo do leito ordinário e a inundação das margens e áreas circunvizinhas, que se encontram frequentemente ocupadas por atividades humanas.

Na região de Lisboa e Vale do Tejo, as cheias podem ser desencadeadas por: (i) períodos chuvosos que se prolongam por várias semanas, diminuindo drasticamente o efeito regularizador das barragens, que podem potenciar picos de cheia com as respetivas descargas; (ii) episódios de precipitação muito intensa e concentrada em algumas horas.

No primeiro caso, as cheias são do tipo progressivo e verificam-se no Rio Tejo que, durante as cheias de maior magnitude, invade os fundos de vale dos seus afluentes originando o fenómeno das “cheias de jusante”. O carácter progressivo destas cheias permite acionar, em devido tempo, os sistemas de alerta, possibilitando à população salvaguardar os seus bens e diminuir o grau de risco. Tipicamente, estas cheias originam cortes de diversas estradas nacionais e municipais, interrupção da circulação ferroviária, alagamento de campos agrícolas e isolamento de populações. No entanto, a cheia do Tejo é um fenómeno conhecido das populações ribeirinhas, que desenvolveram estratégias de adaptação bem conseguidas às inundações de baixa-média magnitude.

No segundo caso, ocorrem cheias rápidas, que afetam bacias hidrográficas com pequena e média dimensão e com reduzido tempo de concentração. As cheias rápidas podem ser mortíferas, especialmente nas áreas densamente urbanizadas e com ocupação indevida dos leitos de cheia. Este tipo de cheia pode interromper períodos secos, sendo de difícil previsão e, como aparece de forma repentina, torna muito difícil o acionamento de sistemas de alerta, pelo que é

particularmente importante o correto ordenamento das áreas ribeirinhas no sentido de minimizar a exposição ao processo perigoso.

A base de dados DISASTER (Zêzere *et al.*, 2014), que regista os desastres hidrogeomorfológicos que geraram consequências humanas em Portugal continental, no período 1865-2010 contém 696 ocorrências de cheias na região hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste, o que representa 43% do total de ocorrências identificados no país. Estes eventos hidrológicos foram responsáveis por quase 700 mortos, cerca de 8600 evacuados e 24 mil desalojados. De entre os eventos hidrológicos catastróficos, destaca-se a cheia rápida que atingiu a região de Lisboa em 25-26 de novembro de 1967, que causou, pelo menos, 522 vítimas mortais documentadas (Zêzere *et al.* 2014; Trigo *et al.*, 2016).

INUNDAÇÃO ESTUARINA ASSOCIADA À SUBIDA DO NÍVEL DO MAR

Os estuários são ambientes sedimentares costeiros que se situam entre as zonas terminais de cursos de água doce e o mar, e que são sujeitos ao efeito das marés. A evolução e comportamento destes ambientes depende da interação complexa entre parâmetros hidráulicos, sedimentares, morfológicos e biológicos (Freire, 1993).

As inundações estuarinas são influenciadas por uma variedade de fatores naturais, que podem variar em intensidade dentro do próprio estuário. Esses fatores incluem as marés, a agitação marítima, a pressão atmosférica, o vento, a precipitação e os caudais fluviais. A ação antrópica pode contribuir também para o processo de inundação estuarina, pela elevada ocupação da bacia hidrográfica a montante do estuário e a insuficiente rede de escoamento de águas pluviais.

No caso específico do estuário do rio Tejo, os níveis de água são influenciados pelas particularidades da morfologia estuarina, que promovem amplificação da amplitude de maré por ressonância (Guerreiro *et al.*, 2015). O estuário tem um canal de entrada profundo e estreito e um domínio interior extenso e pouco profundo. A existência de um canal de entrada estreito condiciona a propagação das ondas para o estuário, mas a geometria do domínio interior favorece a geração local de ondas (Freire e Andrade, 1999).

O *storm surge* também contribui para o aumento do nível da água, tendo sido estimados valores de 0,46m e 0,58m em Cascais, para períodos de retorno de 5 e 100 anos, respetivamente (Andrade *et al.*, 2006). Em contrapartida, a influência do escoamento fluvial do Rio Tejo e seus afluentes no nível da água a montante do estuário é bastante limitada e verifica-se apenas na parte montante, mais estreita, do estuário (Vargas *et al.*, 2008).

INCÊNDIOS RURAIS

Os incêndios rurais são muito frequentes e causam grandes danos ambientais, económicos e sociais em Portugal. Fustigam o território especialmente no verão mas, como se verificou por

exemplo em 2017, podem ocorrer em qualquer época do ano. O ano de 2017 foi, até agora, o mais trágico, devido aos elevados danos materiais, à elevada extensão de área ardida, de cerca de 500.000 hectares e, principalmente, pelas perdas humanas que se ocorreram.

A consideração do perigo de incêndio rural no processo de avaliação das opções estratégicas para o aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa justifica-se pela ameaça direta do fogo a pessoas, estruturas e infraestruturas, mas também pela eventual perturbação da atividade aeronáutica, decorrente do fumo e dos movimentos dos meios aéreos envolvidos nos trabalhos de supressão.

O mapa de perigosidade de incêndio em Portugal continental, disponibilizado pelo ICNF, mostra que a Região de Lisboa e Vale do Tejo apresenta fortes contrastes espaciais, por se encontrar na transição entre o Norte (de maior perigosidade) e o Sul do país (de menor perigosidade).

PERIGOS TECNOLÓGICOS: ACIDENTES QUE ENVOLVAM SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS (DIRETIVA SEVESO III)

O Decreto-Lei 150/2015, de 5 de agosto estabelece o regime de prevenção de acidentes graves que envolvem substâncias perigosas e de limitação das suas consequências para a saúde humana e para o ambiente, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2012/18/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de julho de 2012, relativa ao controlo dos perigos associados a acidentes graves que envolvem substâncias perigosas.

De acordo com o referido Decreto-Lei, considera-se “Acidente grave”, um acontecimento, designadamente uma emissão, um incêndio ou uma explosão, de graves proporções, resultante de desenvolvimentos não controlados durante o funcionamento de um estabelecimento abrangido pelo presente decreto-lei, e que provoque um perigo grave, imediato ou retardado, para a saúde humana, no interior ou no exterior do estabelecimento, ou para o ambiente, e que envolva uma ou mais substâncias perigosas.

Em termos de ocupação das zonas de perigosidade, o artigo 7º estabelece que devem ser mantidas distâncias de segurança adequadas entre os estabelecimentos abrangidos pelo presente decreto-lei e as zonas residenciais, locais de utilização pública, vias de comunicação e, quando aplicável, as zonas ambientalmente sensíveis.

5. METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCOS E VULNERABILIDADES

5.1 ZONAMENTO DOS PERIGOS

A análise dos perigos considerados sustenta-se na literatura científica existente e os zonamentos utilizados correspondem a documentos oficiais, sempre que estes se encontram disponíveis.

SISMOS

A perigosidade sísmica foi avaliada de acordo com os critérios seguidos pela CCDR LVT (2021), que cruzam a carta de isossistas de intensidades sísmicas máximas (Fonte: IPMA) com a carta da distribuição das acelerações máximas (PGA – *Peak Ground Acceleration*), para um período de retorno de 475 anos, produzida por Peláez Montilla e Casado (2002). Adicionalmente, os efeitos de sítio, passíveis de produzir uma amplificação da suscetibilidade sísmica, foram definidos a partir da distribuição das formações geológicas sedimentares não consolidadas, representadas na Carta Geológica de Portugal à escala 1:500 000 (Fonte: LNEG), e, também, a partir de faixas de zonamento de 100 metros em torno das falhas ativas ou provavelmente ativas (extraídas da Carta Neotectónica de Portugal).

O cruzamento da informação suprarreferida em Sistemas de Informação Geográfica permitiu criar quatro classes de perigosidade (baixa, moderada, elevada e muito elevada) para a região de Lisboa e Vale do Tejo, onde se situam as localizações de todas as opções estratégicas para o aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa.

A tabela seguinte sistematiza as combinações de fatores associadas a cada uma das classes de perigosidade sísmica.

Tabela 1. Critérios associados à definição das classes de perigosidade sísmica na região de Lisboa e Vale do Tejo

| Classes de perigosidade | Condições |
|-------------------------|---|
| Muito elevada | ➤ intensidade sísmica de grau IX ou X + PGA de 3,2 a 4,0 m/s ² + presença de depósitos não consolidados ou falhas ativas. |
| Elevada | ➤ intensidade sísmica de grau IX ou X + PGA de 3,2 a 4,0 m/s ² ; ➤ intensidade sísmica de grau IX ou X + PGA de 2,4 a 3,2 m/s ² + presença de depósitos sedimentares pouco consolidados ou falhas ativas; ➤ intensidades sísmicas de grau VII ou VIII + PGA de 3,2 a 4,0 m/s ² + presença de depósitos sedimentares pouco consolidados ou falhas ativas. |
| Moderada | ➤ intensidade sísmica de grau IX ou X + PGA de 2,4 a 3,2 m/s ² ; ➤ intensidade sísmica de grau VII ou VIII + PGA de 3,2 a 4,0 m/s ² ; ➤ intensidade sísmica de grau VII ou VIII, PGA de 1,6 a 3,2 m/s ² + presença de depósitos sedimentares pouco consolidados ou falhas ativas. |
| Baixa | ➤ intensidade sísmica de grau VII ou VIII + PGA de 1,6 a 2,4 m/s ² ; ➤ intensidade sísmica de grau VII ou VIII + PGA de 2,4 a 3,2 m/s ² . |

CHEIAS E INUNDAÇÕES FLUVIAIS

A suscetibilidade à ocorrência de inundações fluviais, marítimas e galgamentos costeiros foi estimada através da agregação de fontes de informação complementares, onde se inclui a documentação disponível de trabalhos anteriores. A modelação da área inundável tem como informação de base:

- i. zonas inundáveis definidas nos Planos de Gestão do Risco das Inundações, disponibilizadas pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA);
- ii. zonas sob ameaça de cheia, delimitadas no âmbito do Quadro Regional da Reserva Ecológica Nacional da AML;
- iii. a delimitação da inundação associada à cheia de 1979 no rio Tejo e a delimitação da cheia centenária na zona do estuário do Sado, produzidas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC);
- iv. zonas ameaçadas pelas cheias traçadas ao nível municipal, 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.* (2018, 2019, 2020). De acordo com este método, as variáveis condicionantes descritivas - área de drenagem acumulada, declive e permeabilidade relativa - foram recolhidas em estrutura matricial para a totalidade das bacias hidrográficas 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.

INUNDAÇÃO ESTUARINA ASSOCIADA À SUBIDA DO NÍVEL DO MAR

A extensão da inundação no estuário do Tejo foi avaliada a partir do exercício de modelação hidrodinâmica realizado por Guerreiro *et al.* (2015), num estudo dedicado à evolução hidrodinâmica do estuário do Tejo no século XXI. 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. Foi considerada 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. Adicionalmente, foram efetuados ajustamentos em toda a área do estuário com topografia mais detalhada (1:25.000) e ortofotomapas digitais e foram efetuadas correções nas frentes urbanas, assumidas como sistematicamente defendidas no estudo original.

Complementarmente, foi ainda considerada a modelação da inundação no estuário do Tejo para o ano de 2050 no cenário climático RCP 4.5, com inclusão da subida do nível médio do mar e cheia com período de retorno de 10 anos, disponibilizada pelo *Climate Central* na plataforma *Coastal Risk Screening Tool* [<https://coastal.climatecentral.org/>] (Kulp e Strauss, 2019).

Em termos de representação cartográfica, a zona de inundação estuarina é apresentada de modo agregado às zonas sujeitas a inundação fluvial. No mesmo sentido, devido à relação que existe entre os processos, a quantificação do risco é feita de modo agregado para as inundações fluviais e estuarinas.

INCÊNDIOS RURAIS

Neste trabalho foi utilizado o mapa de perigosidade estrutural de incêndio rural, realizado para a totalidade do território de Portugal continental e disponibilizado pelo ICNF. A metodologia utilizada na produção deste documento está descrita em detalhe em Oliveira *et al.* (2021).

A suscetibilidade à ocorrência de incêndios rurais foi calculada através do *Likelihood Ratio* (LR), método estatístico bivariado de base *Bayesiana*. Foram utilizados como fatores condicionantes o uso e ocupação do solo, o declive e a altitude. As áreas ardidadas entre 1975 e 2018 constituem a variável dependente.

O Cálculo do LR para cada variável (classe x do fator de predisposição y) é efetuado com recurso à seguinte equação:

$$Lri = \frac{Si/S}{Ni/N}$$

Em que:

Lri – *Likelihood Ratio* da variável i (classe x do fator de predisposição y);

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

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

S – total de unidades de terreno com área ardida;

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

A avaliação da suscetibilidade para cada unidade de terreno (célula com 25 metros de lado), obtém-se através do somatório dos Lri de cada fator de predisposição presente na unidade de terreno, utilizando a equação seguinte:

$$Lrj = \sum_{i=0}^n Xij Lri$$

Em que:

Lrj – *Likelihood Ratio* total na unidade de terreno (célula);

n – número de variáveis;

Xij - 1 se a classe da variável está presente; 0 se a classe da variável está ausente.

A avaliação da perigosidade foi efetuada para cada unidade de terreno através do produto da suscetibilidade pela probabilidade simples de ocorrência de incêndio, obtida pela razão entre o número de vezes ardido e o número total de anos na base de dados das áreas ardidas em Portugal Continental (44 anos), conforme explicitado na seguinte equação:

$$Hj = Lrj \times P$$

Em que:

Hj – Perigosidade na unidade de terreno (célula);

Lrj - *Likelihood Ratio* total na unidade de terreno (célula);

P – Probabilidade de ocorrência de incêndio na unidade de terreno (célula).

A carta de perigosidade contempla 5 classes (muito elevada, elevada, moderada, reduzida e muito reduzida), definidas com base nas quebras de declive na curva de sucesso do modelo preditivo. As propriedades das classes de perigosidade na escala nacional estão sintetizadas na tabela seguinte. Por adição, foi acrescentada uma sexta classe - nula - representativa das áreas onde é impossível a ocorrências de incêndios rurais/florestais (e.g. corpos de água e territórios impermeabilizados).

Tabela 2. Propriedades das classes de perigosidade do mapa de perigosidade de incêndio rural (dados de referência nacionais)

| Classes de perigosidade | Scores de perigosidade | Área da classe (% do total) | Área ardida validada (% do total) |
|-------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Muito elevada | 0,142 – 2,841 | 15,5 | 50,0 |
| Elevada | 0,050 – 0,142 | 17,9 | 40,6 |
| Moderada | 0,028 – 0,050 | 18,0 | 6,6 |
| Reduzida | 0,015 – 0,028 | 21,2 | 2,8 |
| Muito reduzida | 0,007 – 0,015 | 27,4 | 0,0 |

PERIGOS TECNOLÓGICOS: ACIDENTES QUE ENVOLVAM SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS (DIRETIVA SEVESO III)

A análise de acidentes que envolvam substâncias perigosas considerou a lista de estabelecimentos com classificação Seveso III (Níveis Superior e Inferior de Perigosidade), disponibilizada pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Os estabelecimentos abrangidos pela Diretiva SEVESO III, apresentam diferentes níveis de perigosidade em função da quantidade e da perigosidade das substâncias processadas e/ou armazenadas, e a inventariação detalhada das mesmas não é um processo expedito. Adicionalmente, estes estabelecimentos devem manter distâncias de segurança adequadas para as zonas residenciais, locais de utilização pública, vias de comunicação e, quando aplicável, as zonas ambientalmente sensíveis. As respetivas distâncias de segurança a cada um dos estabelecimentos ainda não se encontram reguladas em portaria específica, prevista no nº 3 do artigo 7º do Dec. Lei 150/2015.

Neste contexto, a análise da exposição a acidentes industriais graves, no processo de avaliação das opções estratégicas para o aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa, baseou-se na distância máxima recomendada para o ordenamento do território sem conhecimento técnico detalhado, aplicada às indústrias SEVESO na Alemanha (ver KAS-18 em www.kas-bmu.de), e tendo em conta as melhores práticas do setor a nível europeu. Assim, foi aplicada uma área de influência de 1500 m em torno dos estabelecimentos abrangidos pela Diretiva SEVESO III.

5.2 ESTABELECIMENTO DE ÍNDICES DE RISCO

A avaliação do risco potencial no processo de avaliação das opções estratégicas para o aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa foi realizada determinando vulnerabilidades territoriais, pela interseção das áreas de implantação com os mapas de zonamento associados a cada perigo. A tabela seguinte sistematiza as zonas de perigosidade consideradas e as unidades de medida adotadas para cada tipo de vulnerabilidade territorial.

Tabela 3. Zonas de perigosidade consideradas para a quantificação de vulnerabilidades territoriais

| Vulnerabilidades territoriais | Zonas de perigosidade consideradas | Unidade de medida |
|---|--|--|
| Vulnerabilidade sísmica | Classes de perigosidade elevada e muito elevada | Fração da área incluída na zona perigosa (%) |
| Vulnerabilidade a inundações e subida do nível do mar | Áreas sujeitas a inundação | Fração da área incluída na zona perigosa (%) |
| Vulnerabilidade a incêndios rurais | Classes de perigosidade elevada e muito elevada | Fração da área incluída na zona perigosa (%) |
| Vulnerabilidade a perigos industriais | Faixa de 1,5km envolvente a cada estabelecimento industrial perigoso | Número de estabelecimentos |

O processo de interseção entre os mapas de zonamento dos processos perigosos considerados com as opções estratégicas para o aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa foi efetuado individualmente para cada área de intervenção (i.e., AHD, Montijo, CTA, Santarém e Vendas Novas), considerando 3 escalas de abordagem: (i) polígono que limite a área de implantação da infraestrutura aeroportuária; (ii) faixa de 3km que circunda a área (i); e (iii) círculo com raio de 25km, centrado no centroide da área (i), que exclui as áreas consideradas em (i) e (ii).

Adicionalmente, as acessibilidades rodoviárias e ferroviárias associadas a cada área de intervenção foram também cruzadas com as zonas de perigosidade, sendo determinadas as respetivas frações incluídas em zonas perigosas. No caso da rodovia, foram considerados os novos troços associados a cada opção estratégica, em toda a sua extensão. Quanto à ferrovia, foram considerados os traçados estabelecidos no Plano Ferroviário Nacional, intersetados pelas zonas de intervenção e respetivas faixas envolventes de 3 km.

No final, foi determinado um índice de risco para cada vulnerabilidade territorial e cada área de intervenção, por aplicação da seguinte fórmula:

$$Ir_x = A_{zi} + (0,66.A_{3km}) + (0,33.A_{25km}) + A_{Ac}$$

Em que:

I_{r_x} – índice de risco da vulnerabilidade territorial x ;

A_{zi} – fração da zona de intervenção que intersesta a zona de perigosidade considerada para a vulnerabilidade territorial x ;

A_{3km} – fração da faixa de 3km que circunda a área de intervenção que intersesta a zona de perigosidade considerada para a vulnerabilidade territorial x ;

A_{25km} – fração do círculo com raio de 25 km centrado na zona de intervenção (excluindo A_{zi} e A_{3km}) que intersesta a zona de perigosidade considerada para a vulnerabilidade territorial x ;

A_{Ac} – fração das acessibilidades rodoviárias e ferroviárias que intersestam a zona de perigosidade considerada para a vulnerabilidade territorial x .

Nas opções estratégicas em modelo único, o índice de risco de cada vulnerabilidade territorial resulta diretamente da aplicação da equação anterior. Nas opções estratégicas em modelo dual, o índice de risco de cada vulnerabilidade territorial é estabelecido pelo somatório dos índices de risco correspondentes às duas zonas de implantação envolvidas.

Em algumas opções duais com localização próxima (e.g. AHD + Montijo; AHD + CTA) os círculos com 25 km de raio sobrepõem-se parcialmente. Nestes casos, a zona de sobreposição foi assimilada a uma única zona de implantação, para evitar a sobrestimação da área exposta a risco.

No caso da vulnerabilidade aos incêndios rurais, assume-se que a vegetação eventualmente combustível será completamente eliminada nas zonas de implantação da infraestrutura aeroportuária, pelo que, no caso desta vulnerabilidade, $A_{zi} = 0$.

Para facilitar as comparações, os índices de risco das opções estratégicas consideradas foram normalizados (I_{rn}) numa escala de 0 a 1, para cada vulnerabilidade territorial.

6. RESULTADOS

6.1 INTERSEÇÃO DAS ÁREAS DE IMPLANTAÇÃO COM OS MAPAS DE ZONAMENTO

A distribuição territorial dos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, de incêndio rural e de acidente industrial encontra-se representada nas figuras 1, 2, 3 e 4, abrangendo a totalidade das áreas de implantação associadas às 8 opções estratégicas para o aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa.

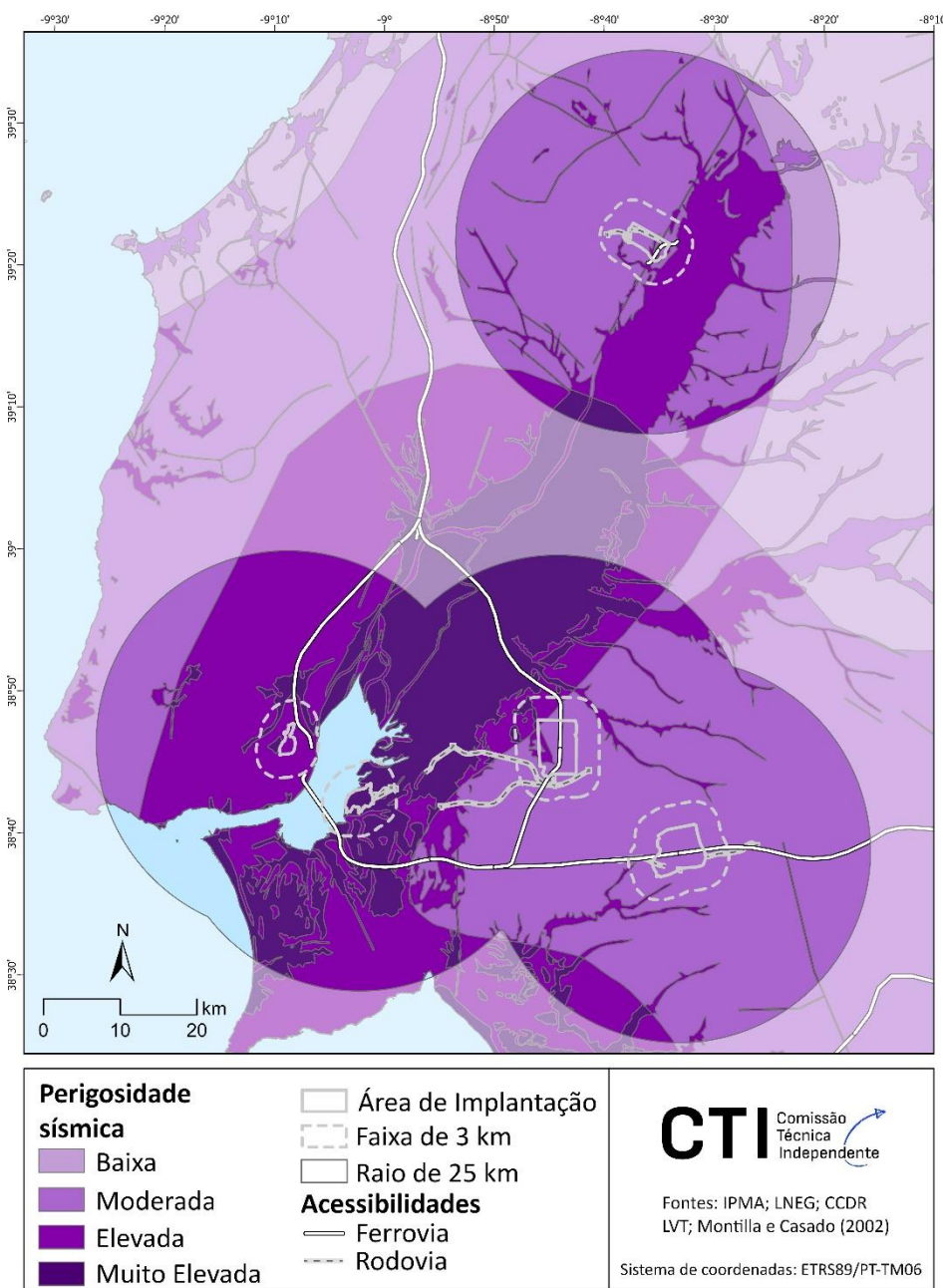


Figura 1. Exposição ao perigo sísmico das áreas de implantação associadas às opções estratégicas

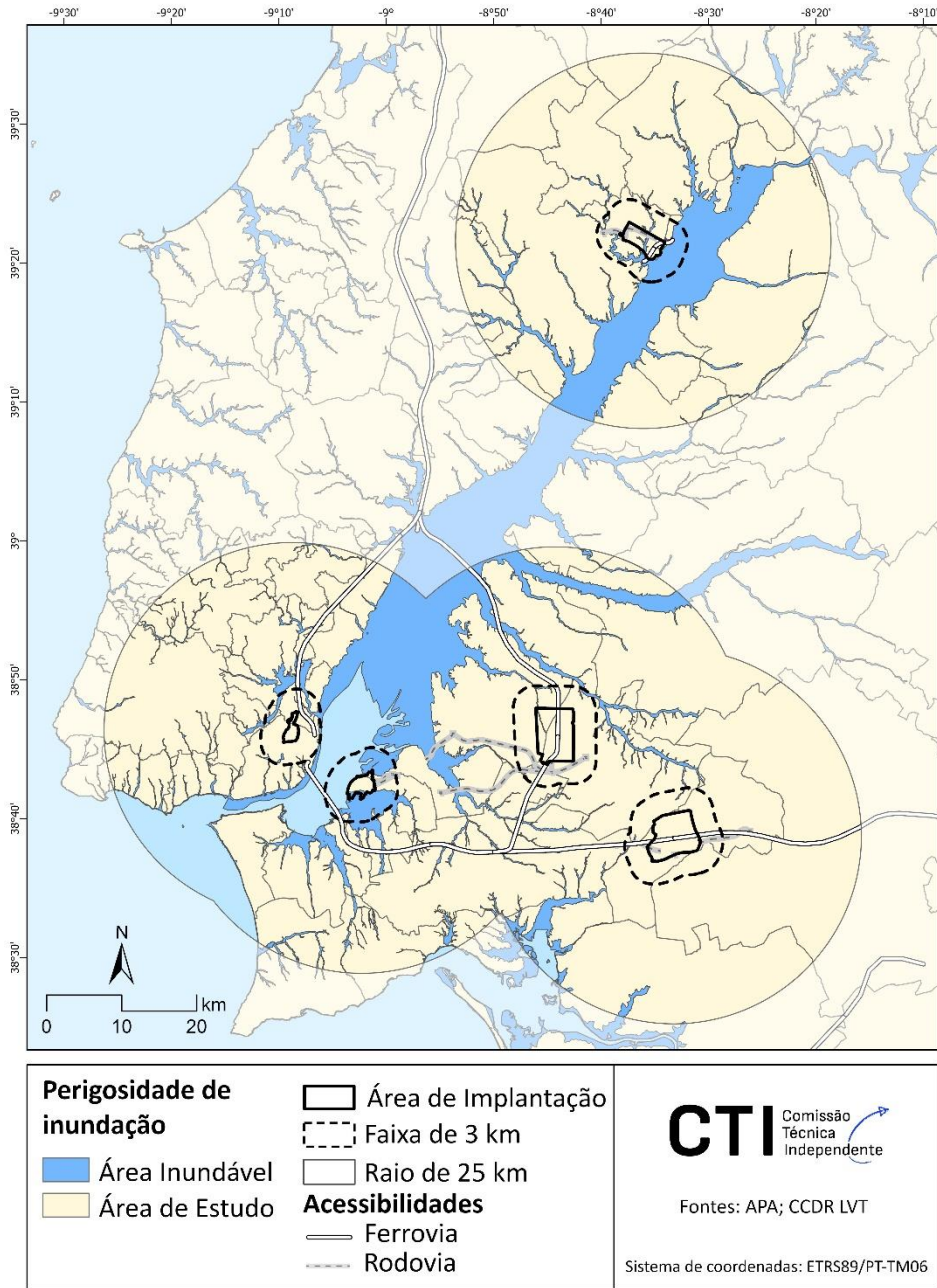


Figura 2. Exposição ao perigo de inundação e subida do nível do mar das áreas de implantação associadas às opções estratégicas

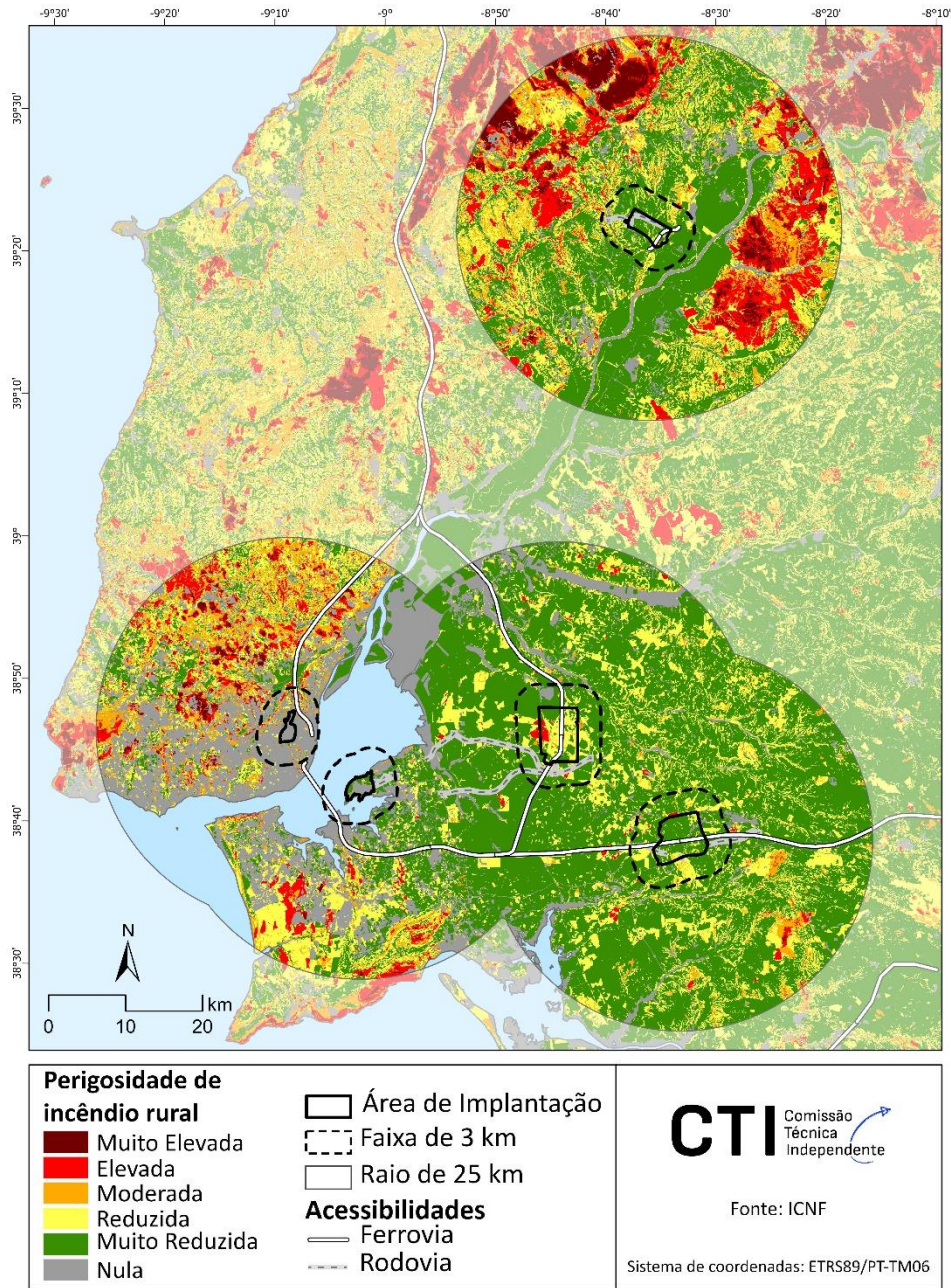


Figura 3. Exposição ao perigo de incêndio rural das áreas de implantação associadas às opções estratégicas

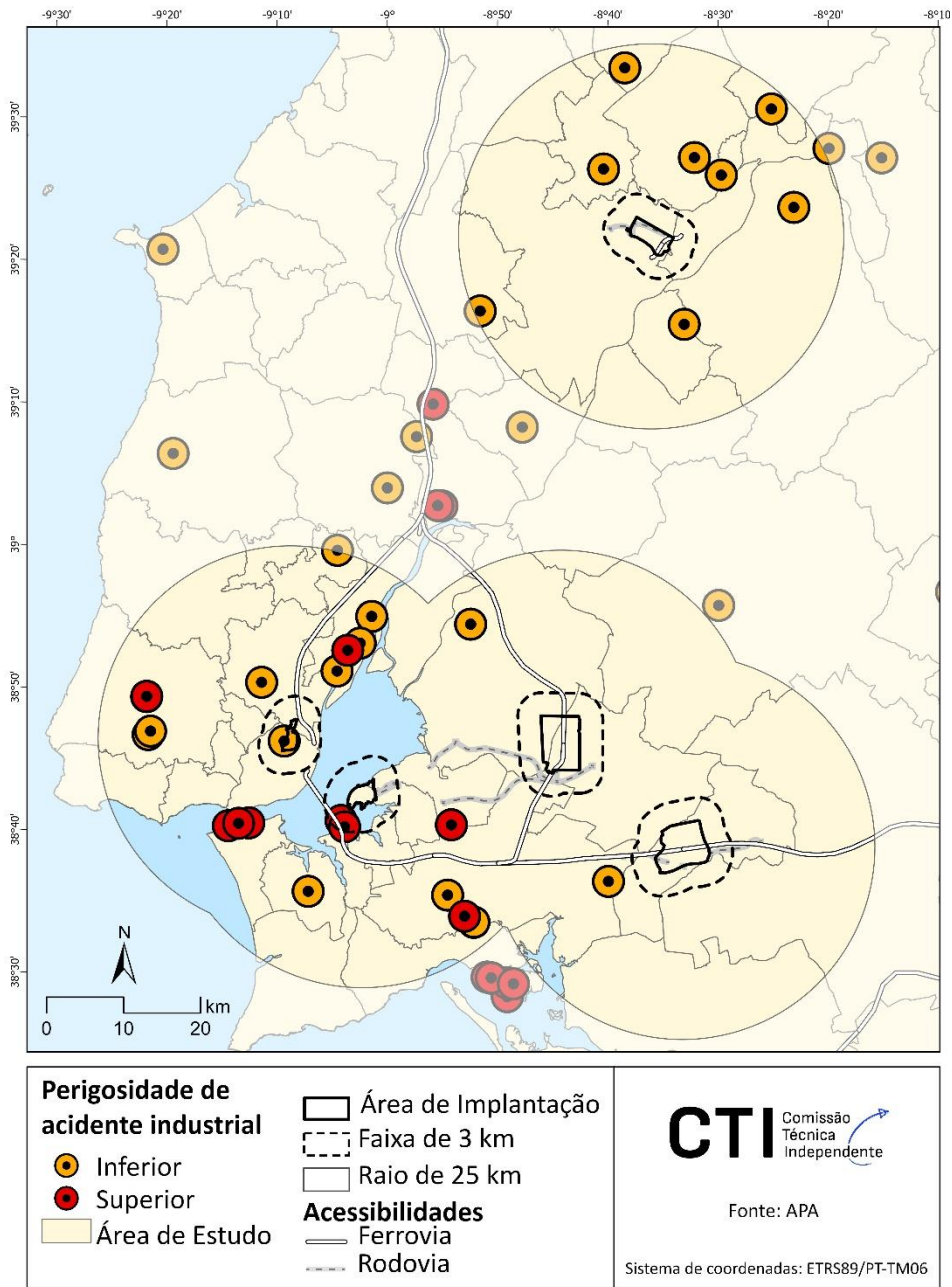


Figura 4. Exposição ao perigo de acidente industrial das áreas de implantação associadas às opções estratégicas

As Figuras 5 a 12 sintetizam a exposição de cada uma das opções estratégicas aos perigos naturais e tecnológicos considerados, nas 3 escalas territoriais utilizadas:

(i) polígono que limite a área de implantação da infraestrutura aeroportuária; (ii) faixa de 3km que circunda a área (i); e (iii) círculo com raio de 25km, centrado no centroide da área (i).

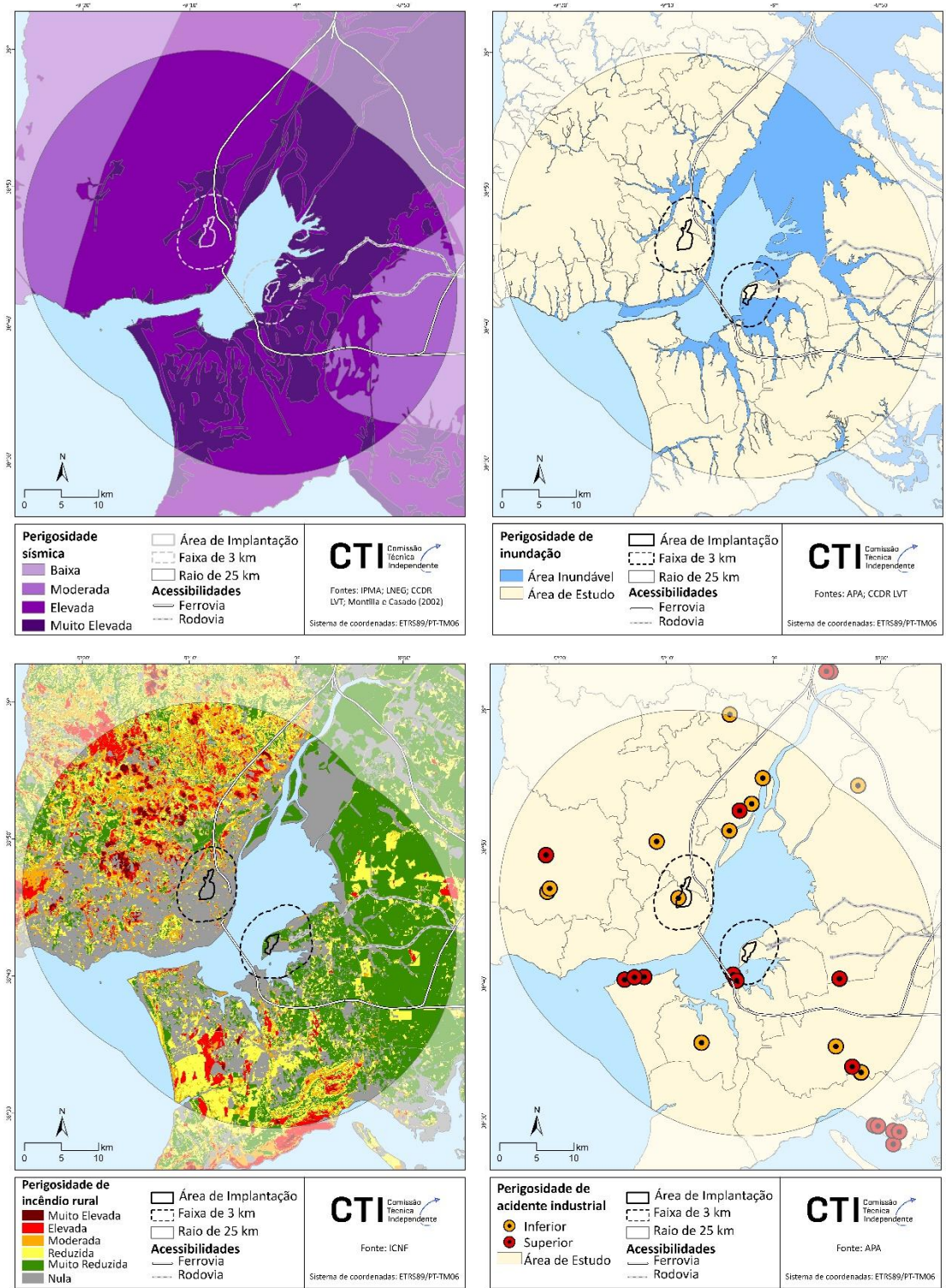


Figura 5. Exposição da opção estratégica 1 (AHD + Montijo) aos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, de incêndio rural e de acidente industrial

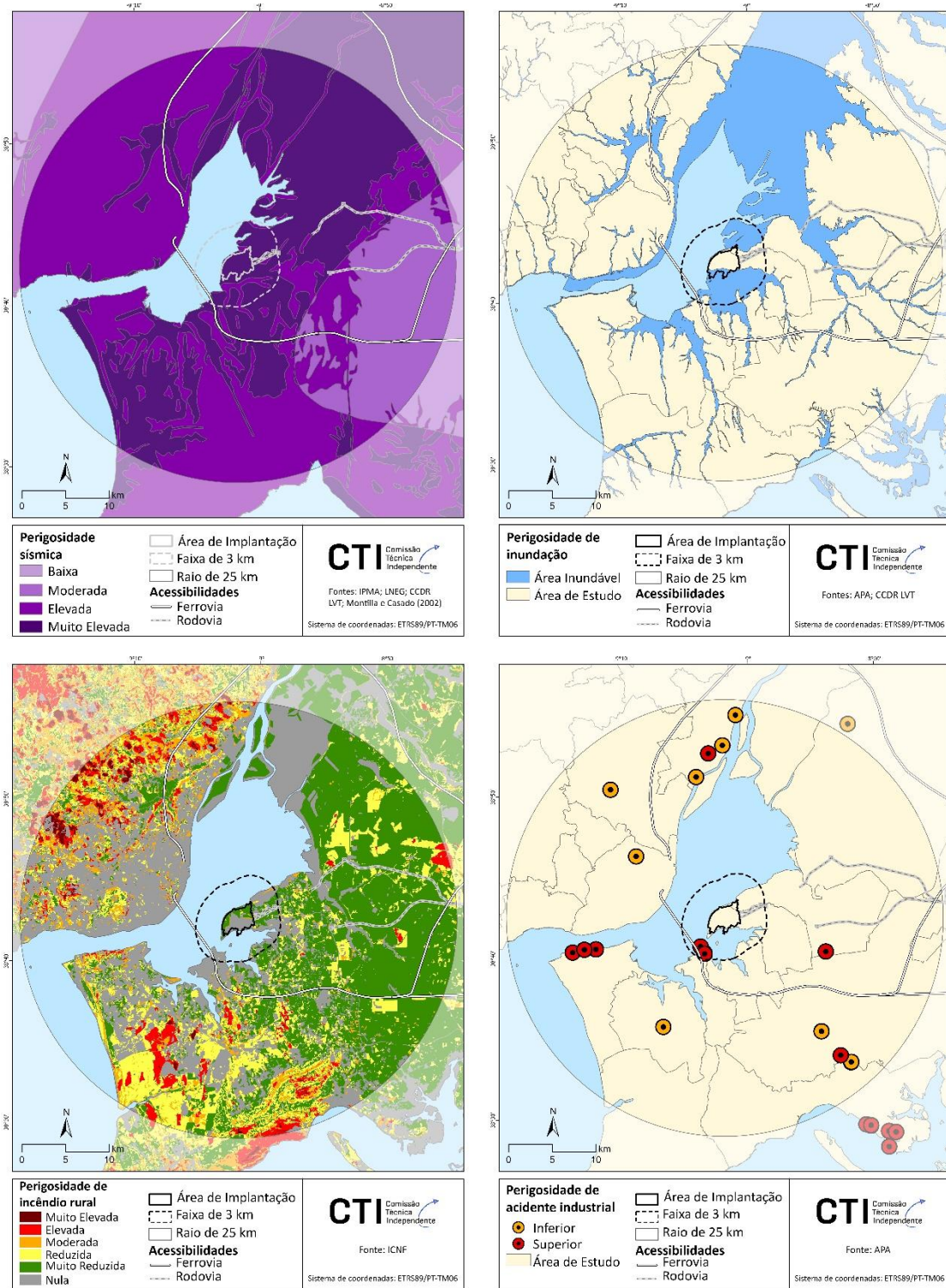


Figura 6. Exposição da opção estratégica 2 (Montijo HUB) aos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, de incêndio rural e de acidente industrial

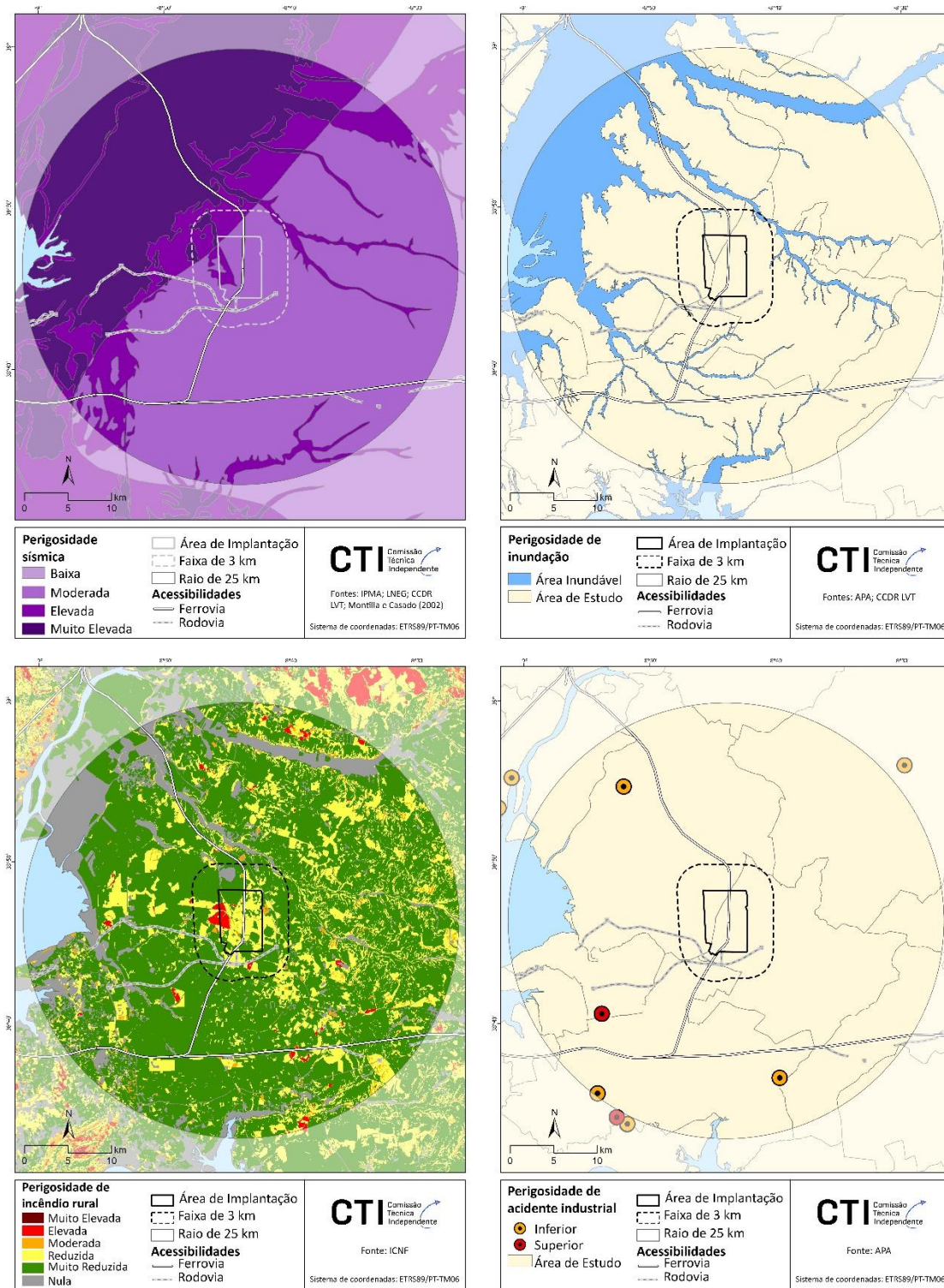


Figura 7. Exposição da opção estratégica 3 (CTA) aos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, de incêndio rural e de acidente industrial

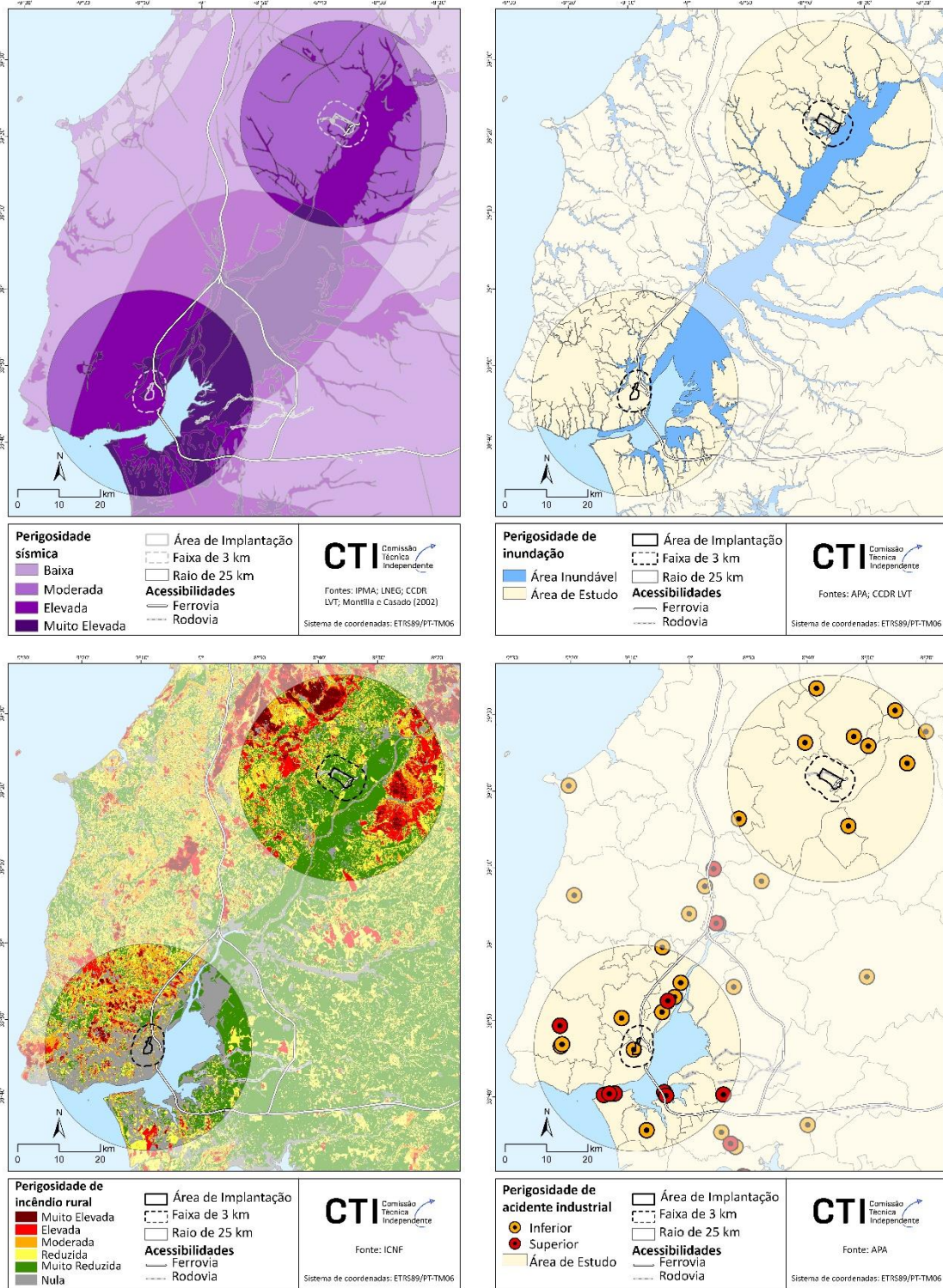


Figura 8. Exposição da opção estratégica 4 (AHD + Santarém) aos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, de incêndio rural e de acidente industrial

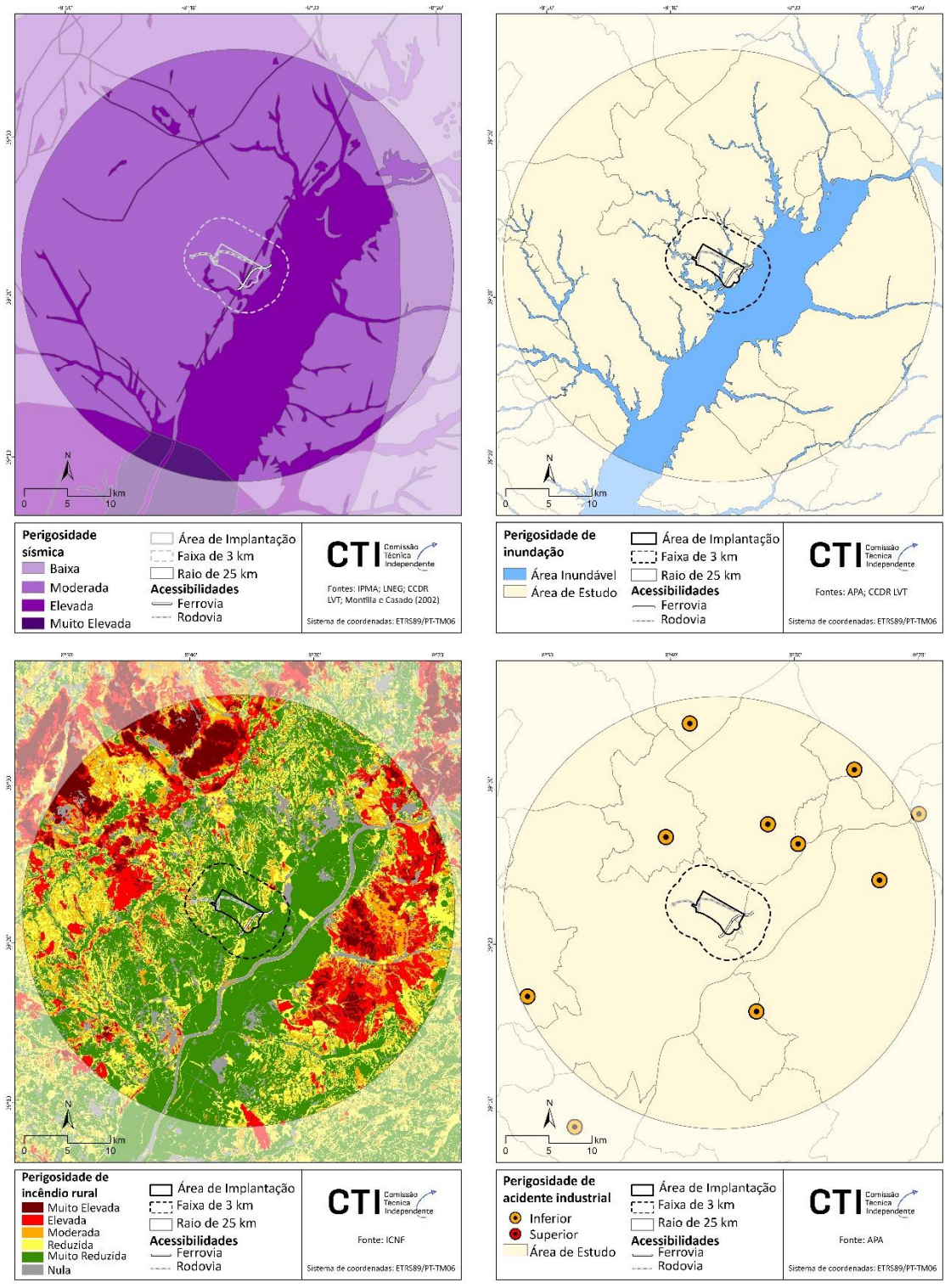


Figura 9. Exposição da opção estratégica 5 (Santarém) aos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, de incêndio rural e de acidente industrial

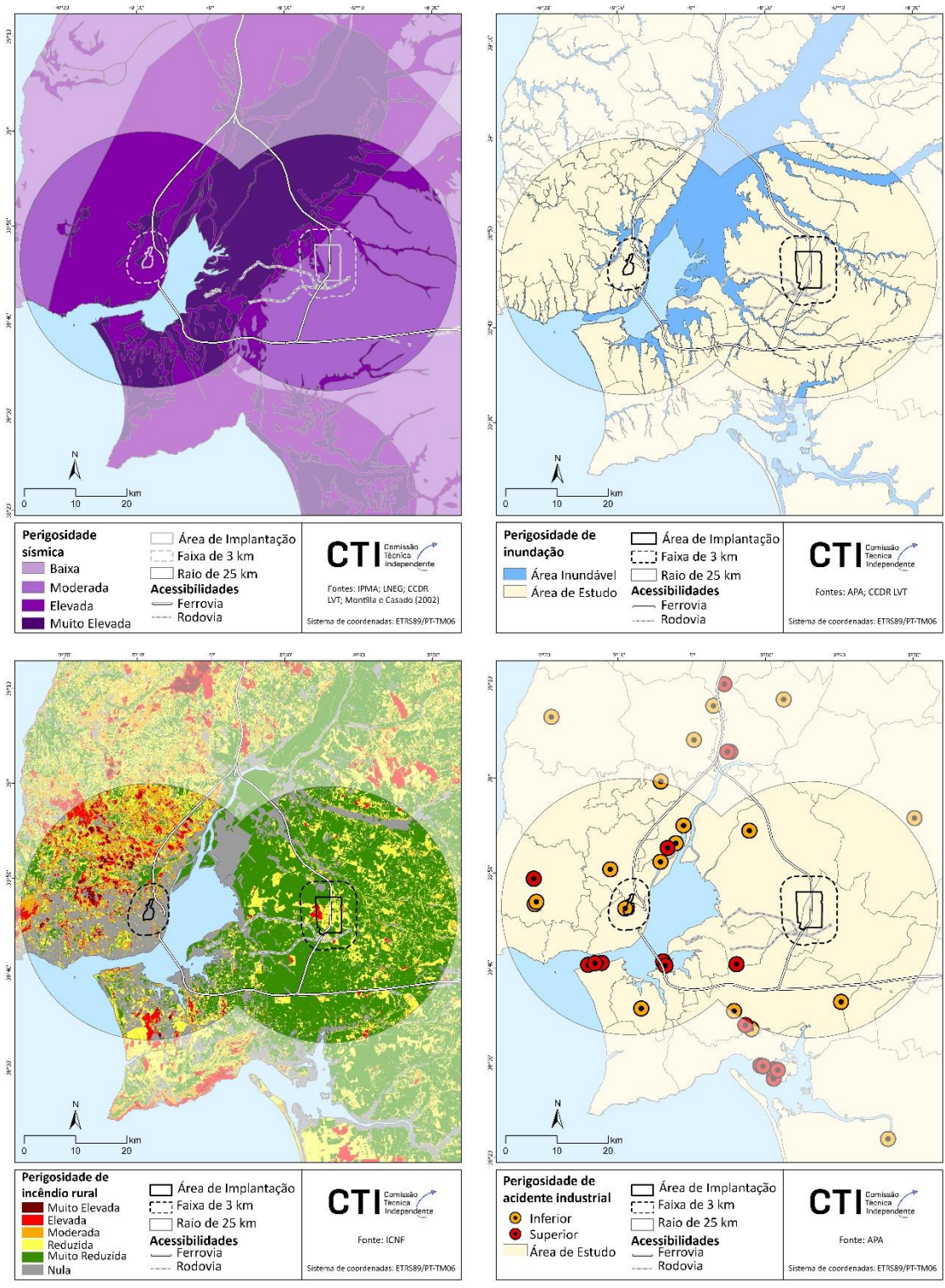


Figura 10. Exposição da opção estratégica 6 (AHD + CTA) aos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, de incêndio rural e de acidente industrial

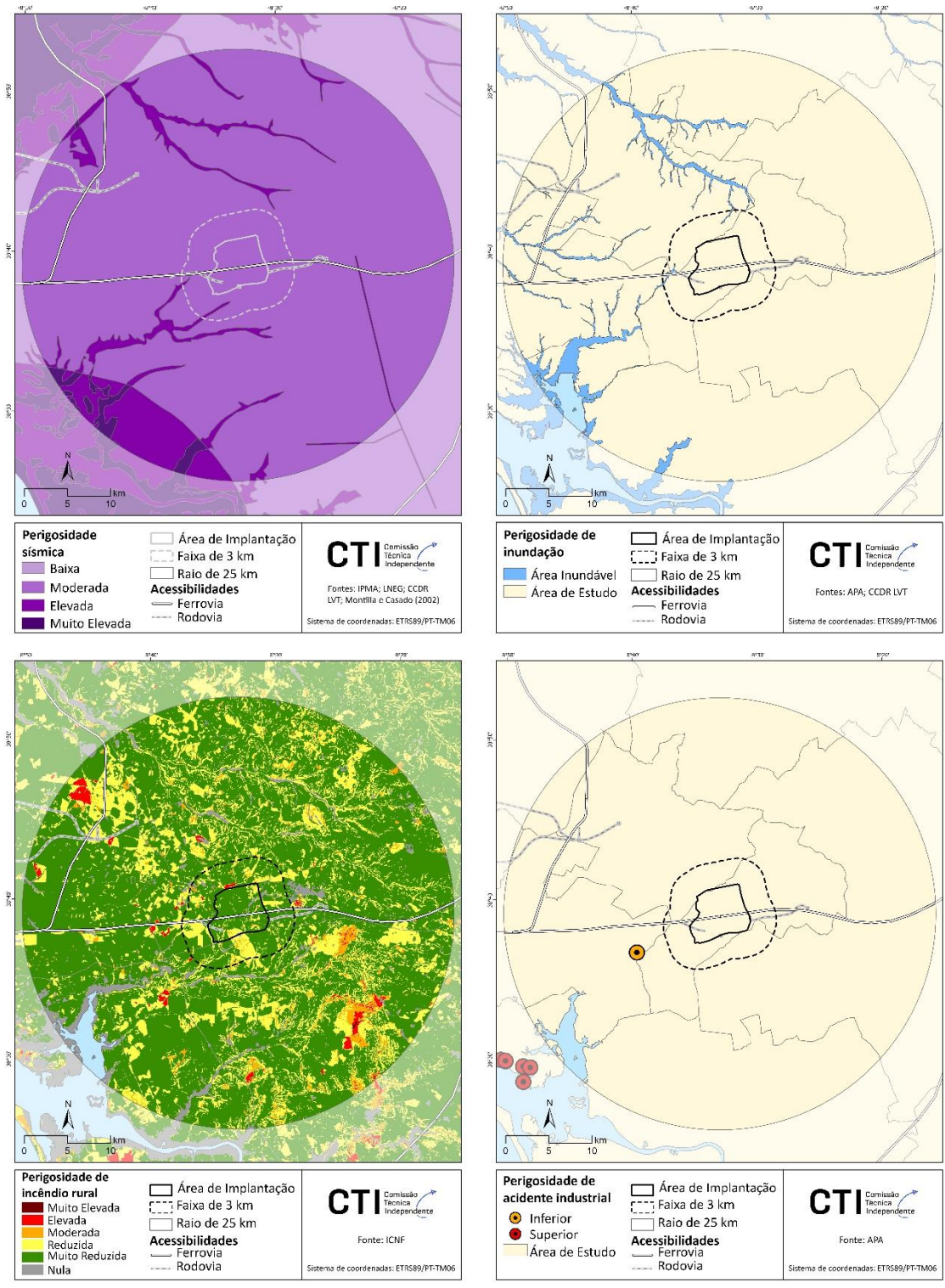


Figura 11. Exposição da opção estratégica 7 (Vendas Novas) aos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, de incêndio rural e de acidente industrial

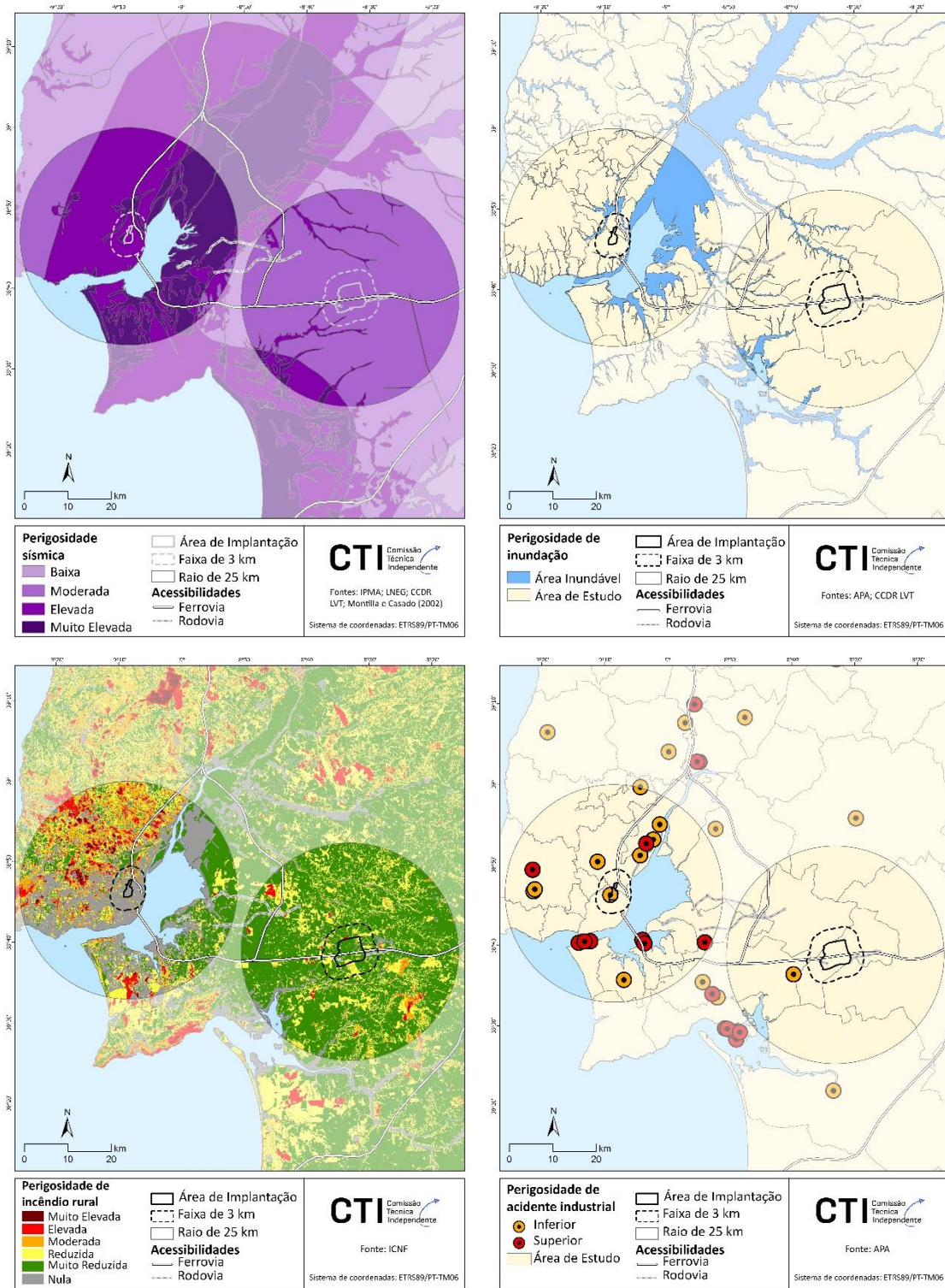


Figura 12. Exposição da opção estratégica 8 (AHD + Vendas Novas) aos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, de incêndio rural e de acidente industrial

6.2 VULNERABILIDADES TERRITORIAIS AO PERIGO SÍSMICO

A tabela 4 sintetiza os resultados da avaliação das vulnerabilidades territoriais ao perigo sísmico, para cada uma das áreas de implantação associadas às 8 opções estratégicas para o aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa. A tabela 5 apresenta os índices de risco face ao perigo sísmico, para cada uma das opções estratégicas consideradas.

Tabela 4. Vulnerabilidades territoriais ao perigo sísmico das áreas de implantação associadas às 8 opções estratégicas para o aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa

| | Classes de perigosidade | Zona de implantação (%) | Faixa de 3 km (%) | Raio de 25 km (%) | Acessibilidades (%) |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| AHD | Elevada | 100,00 | 86,64 | 50,09 | 100,00 |
| | Muito elevada | 0,00 | 13,36 | 33,53 | 0,00 |
| Montijo (OE 1) | Elevada | 0,00 | 17,94 | 50,53 | 8,00 |
| | Muito elevada | 100,00 | 82,06 | 34,89 | 92,00 |
| Montijo (OE 2) | Elevada | 0,10 | 19,56 | 49,79 | 8,00 |
| | Muito elevada | 99,90 | 80,44 | 34,64 | 92,00 |
| CTA | Elevada | 15,01 | 20,48 | 15,69 | 11,44 |
| | Muito elevada | 0,00 | 5,01 | 31,70 | 16,67 |
| Santarém | Elevada | 15,49 | 32,19 | 25,06 | 8,28 |
| | Muito elevada | 0,00 | 0,00 | 1,61 | 0,00 |
| Vendas Novas | Elevada | 0,00 | 1,47 | 9,40 | 0,00 |
| | Muito elevada | 0,00 | 0,00 | 1,23 | 0,00 |

A opção estratégica que combina o Aeroporto Humberto Delgado com o Montijo (OE 1) é a que apresenta a vulnerabilidade sísmica mais elevada, uma vez que a totalidade das zonas de implantação das infraestruturas, bem como das faixas de 3 km circundantes, se encontram integralmente incluídas nas classes de perigosidade sísmica elevada ou muito elevada. Adicionalmente, as novas acessibilidades rodoviárias e ferroviárias associadas à zona de implantação do Montijo e do Aeroporto Humberto Delgado cruzam também zonas de perigosidade sísmica elevada ou muito elevada. O índice de risco sísmico normalizado é máximo ($I_{rn} = 1,00$) na OE 1.

A situação desfavorável do Aeroporto Humberto Delgado, no que respeita à perigosidade sísmica, traduz-se igualmente nos índices de risco sísmico relativamente elevados das restantes opções estratégicas duais que envolvem o atual aeroporto de Lisboa: OE 6 ($I_{rn} = 0,64$), OE 4 ($I_{rn} = 0,60$), e OE 8 ($I_{rn} = 0,52$).

Por comparação, a vulnerabilidade face ao perigo sísmico é bastante mais reduzida na maioria das opções estratégicas que pressupõem um aeroporto único (OE 3, OE 5 e OE 7), sendo mínima na OE 7 ($I_{rn} = 0,01$), seguida pela OE 5 ($I_{rn} = 0,09$) e pela OE 3 ($I_{rn} = 0,13$). A exceção verifica-se

na OE 2, que apresenta um índice normalizado de risco comparável ao das soluções duais (Irn = 0,51).

Tabela 5. Índices de risco das opções estratégicas face ao perigo sísmico

| | Índice de risco (Ir) | Índice de risco normalizado (Irn) |
|--------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| Opção 1 AHD + Montijo | 5,75 | 1,00 |
| Opção 2 Montijo HUB | 2,94 | 0,51 |
| Opção 3 CTA | 0,76 | 0,13 |
| Opção 4 AHD + Santarém | 3,47 | 0,60 |
| Opção 5 Santarém | 0,54 | 0,09 |
| Opção 6 AHD + CTA | 3,68 | 0,64 |
| Opção 7 Vendas Novas | 0,04 | 0,01 |
| Opção 8 AHD + Vendas Novas | 2,98 | 0,52 |

6.3 VULNERABILIDADES TERRITORIAIS AO PERIGO DE INUNDAÇÃO E DE SUBIDA DO NÍVEL DO MAR

Os resultados da avaliação das vulnerabilidades territoriais ao perigo de inundação e de subida do nível do mar estão sistematizados na tabela 6. A tabela 7 apresenta os índices de risco face ao perigo de inundação e de subida do nível do mar, para cada uma das opções estratégicas consideradas.

Tabela 6. Vulnerabilidades territoriais ao perigo de inundação e de subida do nível do mar das áreas de implantação associadas às 8 opções estratégicas para o aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa

| | Classes de perigosidade | Zona de implantação (%) | Faixa de 3 km (%) | Raio de 25 km (%) | Acessibilidades (%) |
|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| AHD | Zona inundável | 0,00 | 9,95 | 19,36 | 0,57 |
| Montijo (OE 1) | Zona inundável | 21,05 | 40,58 | 18,70 | 4,97 |
| Montijo (OE 2) | Zona inundável | 20,41 | 47,92 | 18,40 | 4,97 |
| CTA | Zona inundável | 0,82 | 1,71 | 18,51 | 5,41 |
| Santarém | Zona inundável | 8,95 | 36,53 | 14,81 | 12,44 |
| Vendas Novas | Zona inundável | 0,00 | 0,84 | 3,23 | 1,76 |

Tabela 7. Índices de risco das opções estratégicas face ao perigo de inundação e de subida do nível do mar

| | Índice de risco (Ir) | Índice de risco normalizado (Irn) |
|---|-------------------------|--------------------------------------|
| Opção 1 AHD + Montijo | 0,68 | 1,00 |
| Opção 2 Montijo HUB | 0,63 | 0,93 |
| Opção 3 CTA | 0,13 | 0,20 |
| Opção 4 AHD + Santarém | 0,64 | 0,94 |
| Opção 5 Santarém | 0,50 | 0,74 |
| Opção 6 AHD + CTA | 0,25 | 0,36 |
| Opção 7 Vendas Novas | 0,03 | 0,05 |
| Opção 8 AHD + Vendas Novas | 0,17 | 0,25 |

A opção estratégica dual que combina o Aeroporto Humberto Delgado com Montijo (OE 1) é a que apresenta maior vulnerabilidade territorial, com um índice de risco de inundação normalizado máximo (Irn = 1,00), principalmente em resultado das elevadas frações da zona de implantação do Montijo e da faixa de 3 km circundante sujeitas a inundação estuarina.

A opção estratégica Montijo HUB (OE 2) e a opção estratégica dual que combina o AHD com Santarém (OE 4) apresentam, igualmente, vulnerabilidade elevadas, traduzidas nos correspondentes índices de risco de inundação (Irn = 0,93 e Irn = 0,94, respetivamente). As razões para a OE 2 são sensivelmente as mesmas apontadas para a OE 1. No caso da OE 4 (AHD + Santarém) o índice de risco normalizado é bastante influenciado pela interseção, na área de Santarém, com fundos de vale sujeitos a inundação da Vala da Rimeira, Rio Alviela e Rio Tejo.

De entre as opções estratégicas que pressupõem um aeroporto único, a OE 5 é a que apresenta situação mais desfavorável (Irn = 0,74) pelas mesmas razões apontadas no parágrafo anterior. A OE 3 tem uma exposição ao perigo de inundação comparativamente mais baixa (Irn = 0,20), enquanto a OE 7 é aquela que apresenta um índice de risco mais baixo (Irn = 0,05).

6.4 VULNERABILIDADES TERRITORIAIS AO PERIGO DE INCÊNDIO RURAL

A tabela 8 sintetiza os resultados da avaliação das vulnerabilidades territoriais ao perigo de incêndio rural, para cada uma das áreas de implantação associadas às 8 opções estratégicas para o aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa. Como foi referido na secção 2.2, não foi considerada a exposição a este perigo em qualquer das possíveis zonas de implantação da(s) futura(s) infraestruturas aeroportuárias, uma vez que se considera a remoção total da vegetação eventualmente combustível.

A tabela 9 apresenta os índices de risco face ao perigo de incêndio rural, para cada uma das opções estratégicas consideradas.

Tabela 8. Vulnerabilidades territoriais ao perigo de incêndio rural das áreas de implantação associadas às 8 opções estratégicas para o aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa

| | Classes de perigosidade | Zona de implantação (%) | Faixa de 3 km (%) | Raio de 25 km (%) | Acessibilidades (%) |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| AHD | Elevada | - | 2,46 | 5,85 | 3,55 |
| | Muito elevada | - | 0,04 | 1,18 | 0,00 |
| Montijo (OE 1) | Elevada | - | 0,00 | 4,12 | 0,00 |
| | Muito elevada | - | 0,00 | 0,70 | 0,00 |
| Montijo (OE 2) | Elevada | - | 0,00 | 4,14 | 0,00 |
| | Muito elevada | - | 0,00 | 0,68 | 0,00 |
| CTA | Elevada | - | 2,34 | 0,54 | 1,18 |
| | Muito elevada | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Santarém | Elevada | - | 0,69 | 14,80 | 0,75 |
| | Muito elevada | - | 0,01 | 6,18 | 0,00 |
| Vendas Novas | Elevada | - | 0,54 | 0,87 | 0,00 |
| | Muito elevada | - | 0,00 | 0,01 | 0,00 |

A opção estratégica dual com Aeroporto Humberto Delgado principal + Santarém complementar (OE 4) é aquela que apresenta maior vulnerabilidade territorial, atestada pelo índice de risco de incêndio rural normalizado mais elevado ($I_{rn} = 1,0$). Este valor é justificado pelas elevadas frações de território exposto a este perigo num raio de 25 km (essencialmente em Santarém), a que se junta um valor de exposição significativo na faixa de 3 km envolvente à zona de implantação do Aeroporto Humberto Delgado. Seguem-se as opções estratégicas duais OE 6 e OE 1, com índice de risco normalizado ($I_{rn} = 0,69$), muito determinado pelos valores de exposição verificados no Aeroporto Humberto Delgado.

A exposição aos incêndios rurais num raio de 25 km justifica o índice de risco normalizado relativamente elevado da OE 5 ($I_{rn} = 0,51$).

O peso dos valores do atual aeroporto de Lisboa também se faz sentir na OE 8 ($I_{rn} = 0,51$), embora o índice de risco seja atenuado pelos valores de exposição reduzidos associados à localização da implantação de Vendas Novas.

A OE 7 destaca-se como aquela que apresenta um índice de risco de incêndio rural mais baixo ($I_{rn} = 0,04$), seguida pela OE 2 e OE 3 ($I_{rn} = 0,10$ e $I_{rn} = 0,18$, respetivamente).

Tabela 9. Índices de risco das opções estratégicas face ao perigo de incêndio rural

| | Índice de risco (Ir) | Índice de risco normalizado (Irn) |
|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Opção 1 AHD + Montijo | 0,11 | 0,69 |
| Opção 2 Montijo HUB | 0,02 | 0,10 |
| Opção 3 CTA | 0,03 | 0,18 |
| Opção 4 AHD + Santarém | 0,16 | 1,00 |
| Opção 5 Santarém | 0,08 | 0,51 |
| Opção 6 AHD + CTA | 0,11 | 0,69 |
| Opção 7 Vendas Novas | 0,01 | 0,04 |
| Opção 8 AHD + Vendas Novas | 0,08 | 0,51 |

6.5 VULNERABILIDADES TERRITORIAIS AO PERIGO DE ACIDENTE INDUSTRIAL

Os resultados da avaliação das vulnerabilidades territoriais ao perigo de acidente industrial estão sistematizados na tabela 10. A tabela 11 apresenta os índices de risco face ao perigo de acidente industrial, para cada uma das opções estratégicas consideradas.

Tabela 10. Vulnerabilidades territoriais ao perigo de acidente industrial das áreas de implantação associadas às 8 opções estratégicas para o aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa

| | Classes de perigosidade | Zona de implantação (n) | Faixa de 3 km (n) | Raio de 25 km (n) | Acessibilidades (n) |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| AHD | Inferior | 1 | 1 | 9 | 0 |
| | Superior | 0 | 0 | 8 | 0 |
| Montijo (OE 1) | Inferior | 0 | 0 | 10 | 0 |
| | Superior | 0 | 3 | 9 | 3 |
| Montijo (OE 2) | Inferior | 0 | 0 | 10 | 0 |
| | Superior | 0 | 3 | 9 | 3 |
| CTA | Inferior | 0 | 0 | 6 | 0 |
| | Superior | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Santarém | Inferior | 0 | 0 | 9 | 0 |
| | Superior | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Vendas Novas | Inferior | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | Superior | 0 | 0 | 0 | 0 |

A opção estratégica que combina o Aeroporto Humberto Delgado com o Montijo (OE 1) apresenta valores máximos de vulnerabilidade territorial aos acidentes industriais ($I_{rn} = 1,0$), pela elevada concentração de estabelecimentos industriais que manuseiam ou armazenam substâncias perigosas, nas envolventes aos aeroportos Humberto Delgado e do Montijo. Este facto justifica igualmente o elevado valor do índice de risco na opção estratégica 2 ($I_{rn} = 0,83$).

As restantes opções estratégicas duais, que envolvem o Aeroporto Humberto Delgado apresentam índices de risco de acidente industrial relativamente elevados, muito por efeito da exposição verificada no atual aeroporto de Lisboa. O índice de risco normalizado é semelhante na OE 4 ($I_{rn} = 0,75$) e OE 6 ($I_{rn} = 0,71$), sendo relativamente mais baixo na OE 8 ($I_{rn} = 0,56$).

As opções estratégicas que pressupõem um aeroporto único, com a exceção do Montijo HUB (OE 2) apresentam vulnerabilidade territorial ao perigo de acidente industrial mais reduzida. Os valores do índice de risco normalizado são semelhantes nas OE 3 e OE 5 ($I_{rn} = 0,19$ e $I_{rn} = 0,22$, respetivamente) e a OE 7 destaca-se como a opção estratégica com vulnerabilidade territorial mais baixa ($I_{rn} = 0,02$).

Tabela 11. Índices de risco das opções estratégicas face ao perigo de acidente industrial

| | Índice de risco (Ir) | Índice de risco normalizado (Irn) |
|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Opção 1 AHD + Montijo | 13,57 | 1,00 |
| Opção 2 Montijo HUB | 11,25 | 0,83 |
| Opção 3 CTA | 2,64 | 0,19 |
| Opção 4 AHD + Santarém | 10,24 | 0,75 |
| Opção 5 Santarém | 2,97 | 0,22 |
| Opção 6 AHD + CTA | 9,58 | 0,71 |
| Opção 7 Vendas Novas | 0,33 | 0,02 |
| Opção 8 AHD + Vendas Novas | 7,60 | 0,56 |

7. CONCLUSÕES

A análise efetuada baseou-se no zonamento de um conjunto de perigos naturais e tecnológicos e contemplou a avaliação de vulnerabilidade territoriais, quantificadas com recurso a índices de risco, que foram normalizados para facilitar as comparações entre Opções Estratégicas para o aumento da capacidade aeroportuária da região de Lisboa.

Os resultados obtidos permitem retirar as seguintes conclusões:

- a) As opções estratégicas em modelo dual apresentam, sistematicamente, índices de risco mais elevados e uma situação de vulnerabilidade territorial mais desfavorável, pelo facto de implicarem uma área de intervenção territorial mais extensa e, por essa via, uma maior exposição aos perigos considerados.
- b) A opção estratégica dual que combina o Aeroporto Humberto Delgado e o Montijo (OE 1) regista a vulnerabilidade territorial mais elevada em 3 dos 4 perigos considerados: sismos, inundações e subida do nível do mar, e acidentes industriais.
- c) A opção dual que combina o Aeroporto Humberto Delgado com Santarém regista a vulnerabilidade territorial mais elevada no que respeita aos incêndios rurais.
- d) A opção Montijo HUB (OE 2) regista índices de risco elevados, comparáveis aos das soluções duais, no que respeita aos perigos sísmico, de inundação e subida do nível do mar, e acidentes industriais.
- e) Todas as restantes opções estratégicas que pressupõem um aeroporto único têm vulnerabilidades territoriais mais reduzidas, com destaque para a OE 7, que apresenta o índice de risco normalizado mais baixo nos 4 perigos considerados na análise.

As características de cada localização, no que respeita às respetivas vulnerabilidades territoriais face aos riscos considerados são as seguintes:

- f) Aeroporto Humberto Delgado: Vulnerabilidade territorial elevada aos perigos sísmico e de acidentes industriais, na zona de implantação e na zona envolvente.
- g) Montijo: Vulnerabilidade territorial elevada aos perigos de inundação por subida do nível do mar, sismos e acidentes industriais, na zona de implantação e na zona envolvente.

- h) CTAlcochete: Vulnerabilidade territorial moderada face a qualquer dos 4 perigos considerados.
- i) Santarém: Vulnerabilidade territorial elevada ao perigo de inundação fluvial na zona de implantação e zona contígua. Vulnerabilidade territorial elevada ao perigo de incêndio rural no raio de 25 km.
- j) Vendas Novas: Vulnerabilidade territorial reduzida face a qualquer dos 4 perigos considerados.

REFERÊNCIAS

- Andrade, C.; Pires, H.O.; Silva, P.; Taborda, R.; Freitas, M.C. (2006). Zonas Costeiras, in: Alterações climáticas em Portugal. Cenários, impactes e medidas de adaptação. Projecto SIAMII 169–208, Lisboa: Gradiva.
- Cabral, J. (1995). A Neotectónica em Portugal Continental, Instituto Geológico e Mineiro, Memória 31, Lisboa.
- Cabral, J.; Moniz, C.; Batlló, J.; Figueiredo, P.; Carvalho, J.; Matias, L.; ... Simão, N. (2013). The 1909 Benavente (Portugal) earthquake: Search for the source. *Natural Hazards*, 69(2), 1211–1227.
- Canora, C.; Vilanova, S.P.; Besana-Ostman, G.M.; Carvalho, J.; Heleno, S.; Fonseca, J. (2015). The Eastern Lower Tagus Valley Fault Zone in central Portugal: Active faulting in a low-deformation region within a major river environment. *Tectonophysics*, 660, 117–131.
- Canora, C.; Vilanova, S.P.; De Pro-Diáz, Y.; Pina, P.; Heleno, S. (2021). Evidence of Surface Rupture Associated With Historical Earthquakes in the Lower Tagus Valley, Portugal. Implications for Seismic Hazard in the Greater Lisbon Area. *Frontiers in Earth Science*, 9(March), 1–17.
- Carrilho, F.; Custódio, S.; Bezzeghoud, M.; Oliveira, C.S.; Marreiros, C.; Vales, D.; ... Fontiela, J. (2021). The Portuguese national seismic network products and services. *Seismological Research Letters*, 92(3), 1541–1570.
- Carvalho, J.; Cabral, J.; Gonçalves, R.; Torres, L.; Mendes-Victor, L. (2006). Geophysical methods applied to fault characterization and earthquake potential assessment in the Lower Tagus Valley, Portugal. *Tectonophysics*, 418, 277-297.
- CCDR LVT (2021). Identificação, caracterização e mapeamento das situações de vulnerabilidade no território face aos riscos da Região de Lisboa e Vale do Tejo. Relatório Final.
- Fernandes, R.; Miranda, J.M.; Meijninger, B.; Bos, M.S.; Noomen, R.; Bastos, L.; Ambrosius, B.; Riva, R. (2007). Surface velocity field of the Ibero-Maghrebian segment of the Eurasia-Nubia plate boundary, *Geophys. J. Int.* 169, no. 1, 315–324.
- Freire, P (1993). Caracterização e dinâmica de sedimentos em sistemas de canais do estuário do Tejo. Cala do Norte (Portugal). Dissertação de Mestrado. LNEC, Lisboa.
- Freire, P.; Andrade, C. (1999). Wind-induced sand transport in Tagus estuarine beaches—First results. *Aquatic Ecology*, 33, 225-233.
- Grácia, E.; Donabeitia, J.; Vergés, J.; PARSIFAL Team (2003). Mapping active faults offshore Portugal (36°N-38°N): Implications for seismic hazard assessment along the southwest Iberian margin. *Geology*, 31, 1: 83-86.
- Guerreiro, M.; Fortunato, A. B.; Freire, P.; Rilo, A.; Taborda, R.; Freitas, M.C.; Andrade, C.; Silva, M.; Rodrigues, M. (2015). Evolution of the hydrodynamics of the Tagus estuary (Portugal) in the

- 21st century. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 15(1), 65-80.
- 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).
- Oliveira, S., Gonçalves, A., & Zêzere, J. L. (2021). Reassessing wildfire susceptibility and hazard for mainland Portugal. *Science of the Total Environment*, 762(143121).
- Peláez Montilla, J. A.; López Casado, C. (2002). Seismic hazard estimate at the Iberian Peninsula. *Pure and Applied Geophysics*, 159(11), 2699-2713.
- 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.; Oliveira, S.C. (2020). A comprehensive approach to understanding flood risk drivers at the municipal level. *Journal of environmental management*, 260, 110127.
- Santos, P.P.; Reis, E. (2018). Assessment of stream flood susceptibility: a cross-analysis between model results and flood losses. *Journal of Flood Risk Management*, 11, S1038-S1050.
- 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.
- Trigo, R.; Ramos, C.; Pereira, S.; Ramos, A.; Zêzere, J.L. (2016). The deadliest storm of the 20th century striking Portugal: flood impacts and atmospheric circulation. *J Hydrol* 541(A):597–610.
- Vargas, C.I.; Oliveira, F.S.; Oliveira, A.; Charneca, N. (2008). Análise da vulnerabilidade de uma praia estuarina à inundação: aplicação à restinga do Alfeite (estuário do Tejo). *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 8(1), 25-43.
- Zêzere, J.L.; Pereira, S.; Tavares, A.O.; Bateira, C.; Trigo, R.M.; Quaresma, I.; Santos, P.P.; Santos, M.; Verde, J. (2014) DISASTER: a GIS database on hydro-geomorphologic disasters in Portugal. *Nat Hazards* 72:503–532.