

**UNIVERSIDADE DE LISBOA**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA E DO ORDENAMENTO DO**  
**TERRITÓRIO**



**IGOT**  
UNIVERSIDADE DE LISBOA

**O Risco de Ocorrência de Movimentos de Vertente para a Via-Férrea**  
**- O Caso da Rede Ferroviária da AML –**

**JORGE MIGUEL PEREIRA GRAZINA**

**MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E**  
**MODELAÇÃO TERRITORIAL APLICADOS AO ORDENAMENTO**

**Lisboa, 2011**



**UNIVERSIDADE DE LISBOA**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA E DO ORDENAMENTO DO**  
**TERRITÓRIO**



**O Risco de Ocorrência de Movimentos de Vertente para a Via-Férrea**  
**- O Caso da Rede Ferroviária da AML –**

**JORGE MIGUEL PEREIRA GRAZINA**

**MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E**  
**MODELAÇÃO TERRITORIAL APLICADOS AO ORDENAMENTO**

**Dissertação orientada pelo Professor Doutor José Luís Zêzere e pelo**  
**Professor Doutor Nuno Marques da Costa**

**Lisboa, 2011**



*“...slope failures are generally not so spectacular or so costly as earthquakes, major floods, hurricanes, or some other natural catastrophes. Yet they are more widespread, and over the years may cause more property loss than any other geological hazard...”*

*David J. Varnes, 1984.*

## **RESUMO**

Os episódios de precipitação intensa ocorridos durante os meses de Inverno encontram-se associados ao desencadear de movimentos de vertente, causando muitas vezes a obstrução das redes viárias, a destruição de edifícios e em certos casos até à perda de vidas. Através da avaliação da susceptibilidade e do recurso à análise geomorfológica da Área Metropolitana de Lisboa (AML) pretende-se identificar as áreas sensíveis à ocorrência de movimentos de vertente, contribuindo assim para uma melhor gestão do território, diminuindo desta forma o grau de exposição que o caracteriza. Recorrendo aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), constitui objectivo inicial deste trabalho, criar um inventário de movimentos de vertente baseado em foto-interpretação, construindo em seguida um modelo de avaliação da susceptibilidade da AML.

O método estatístico utilizado foi o Valor Informativo (VI), método indirecto bivariado, que utiliza diversos factores de predisposição. Posteriormente foi feita a validação do modelo, o que permitiu aferir a sua qualidade e robustez e foi testada a sua capacidade preditiva. Constitui objectivo final deste trabalho criar um modelo de Risco da rede ferroviária da AML à ocorrência de movimentos de vertente, a partir do qual serão calculados os Custos Directos e Indirectos resultantes, para a totalidade da rede ferroviária, bem como para cada uma das linhas suburbanas da AML. A construção destes modelos tem por base o estipulado no “Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a Criação de Informação Geográfica de Base Municipal” (2009).

**PALAVRAS-CHAVE:** Susceptibilidade, Risco, Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Movimentos de vertente, Rede Ferroviária, Área Metropolitana de Lisboa (AML), Valor Informativo (VI), Custos Directos e Indirectos.



## **ABSTRACT**

The episodes of intense precipitation that occur during the winter months are associated with the triggering of landslides, often causing obstruction of road networks, the destruction of buildings and in some cases even the loss of lives. By assessing the susceptibility and the use of geomorphological analysis of the Lisbon Metropolitan Area (LMA) it is intended to identify the areas sensitive to the occurrence of landslides, thus contributing to a more accurate planning, and thereby decreasing the degree of exposition within the study area.

The use of Geographic Information Systems (GIS) provides the initial objective for this work, allowing the creation of an inventory of landslides based on photo-interpretation, followed then by the buildup of a model to evaluate the landslide susceptibility in the LMA. The statistical method used was the information value (IV), a bivariate statistic indirect method, which uses several landslide predisposing factors. Later this inventory was used to validate the model, thus allowing the assessment of model quality and robustness as well as constituting a test to its predictive capacity. An ultimate objective of this work is the creation of a risk model for the LMA, from which it was calculated the risk of occurrence of landslides for the railway network within the LMA, and the direct and indirect costs accruing to the entire rail network, as well as for each of the suburban lines within the LMA. The construction of these models is based on the stipulations of the "Methodological Guide for the Production of Municipal Mapping and Risk for Developing Geographic Information Base City" (2009).

**KEYWORDS:** Susceptibility, Risk, Geographic Information Systems (GIS), Landslides, Railway Network, Lisbon Metropolitan Area (LMA), Information Value (IV), Direct and Indirect Costs.





## AGRADECIMENTOS

A ideia de analisar o Risco da rede ferroviária da Área Metropolitana de Lisboa (AML) face à ocorrência de movimentos de vertente surgiu durante uma conversa com o Eng.º Rui Velez, do departamento de sistemas de informação da REFER. Constatámos que não existia cartografia representativa do Risco de ocorrência de movimentos de vertente para a rede ferroviária da AML, que a existir, permitiria a aplicação de medidas preventivas nas áreas da via-férrea com Risco elevado.

Desta forma, pude contribuir enquanto geógrafo e enquanto ferroviário, para o aumento da segurança da rede ferroviária, produzindo a referida cartografia de Risco para a rede ferroviária da AML. Para o Rui Velez, deixo o meu obrigado por me ter direccionado para esta temática e, por numa fase inicial, me ter cedido alguns dados que permitiram arrancar com esta ideia, em “marcha à vista”.

Esta ideia foi posteriormente apresentada ao professor Doutor Nuno Marques da Costa e ao professor Doutor José Luís Zêzere que aceitaram dar-me a orientação científica necessária à realização da presente dissertação. É mais que justo referir o papel fundamental que ambos tiveram na conclusão da presente dissertação, uma vez que a orientação dada por ambos foi sempre extremamente motivadora. Deparei com diversos obstáculos durante a realização da mesma, e foram eles acima de todos, que me mantiveram nos “carris”. Muitas vezes bastou aquela pequena conversa para que os níveis de confiança e motivação subissem novamente e os problemas ultrapassados.

Aos meus orientadores deixo assim o meu mais sincero obrigado pelo seu apoio e paciência. A minha gratidão é indescritível e foi um privilégio poder trabalhar de perto com ambos, porque, sem dúvida que a motivação transmitida foi determinante para a conclusão do mestrado. Sentir que se está a aprender e a construir algo de novo, é por si só motivação suficiente, mas receber palavras motivadoras cada vez que nos reunimos foi sem dúvida fundamental para chegar à “estação terminal” desta linha que me propus percorrer.

Gostaria de deixar um agradecimento especial ao professor Jorge Rocha pelo seu apoio incondicional, nomeadamente na resolução de alguns problemas de *software* que surgiram no decurso da dissertação e pela sua amizade. Sem a sua ajuda não teria

conseguido ultrapassar inúmeros problemas técnicos que surgiram durante a criação dos modelos, devido ao peso extremamente elevado do processamento dos dados.

Ao Jorge um muito obrigado especial, ele sabe bem o tempo que perdeu comigo e o contributo que teve em períodos desesperantes.

Gostaria de agradecer ainda ao Ricardo Garcia, ao Ricardo Brasil, ao José Pedro e ao João Covas pela disponibilidade e pelo companheirismo com que sempre me apoiaram durante a realização do mestrado. A vocês deixo aqui o meu profundo agradecimento pela vossa amizade.

A todos os elementos do CEG, destacando o João Ribeiro, o Sérgio Oliveira e o Paulo Morgado, gostaria de deixar igualmente o meu agradecimento pela disponibilidade e amizade.

Gostaria ainda de agradecer ao Eng.º Brás Coelho e ao Eng.º Simões, da REFER, ao António Vieira, da CP, e ao João Parente da Fertagus, pela partilha de alguns dados essenciais, sem os quais teria sido impossível concluir com sucesso a dissertação.

Dada a especificidade da linguagem ferroviária, bem como da estrutura dos dados associados a toda operação ferroviária, o apoio prestado por estas pessoas foi fundamental, nomeadamente na determinação dos custos. Agradeço-lhes igualmente o apoio prestado, uma vez que sem ele não teria sido possível calcular os custos associados às classes de Risco.

Em último lugar, gostaria de agradecer à minha família por toda a compreensão e apoio que me deram ao longo destes dois difíceis anos. Sem a compreensão e o apoio da minha família teria sido impossível levar a cabo esta tarefa que assumi em 2009, uma vez que durante este tempo acumulei a minha profissão com a realização da dissertação, sobrando pouco tempo para dedicar à família.

Este trabalho é assim dedicado à minha família, aos meus pais, ao meu irmão, à minha esposa e ao meu filho Tiago, que nos seus 5 anos sofreu particularmente a minha ausência. Se muitas vezes não me encontrava em casa devido à actividade profissional, outras estava, mas dedicado à dissertação, o que me levava a não poder dar-lhe a atenção que ele precisava. Gostava que esta dissertação pudesse ser para ele um motivo

de orgulho e que funcionasse como um farol para a sua vida futura, na procura do estudo e do conhecimento. Foi o que idealizei quando decidi realizar o Mestrado.

Para todos aqueles que consultarem futuramente esta dissertação, gostaria de ressaltar que os sacrifícios compensam quando se faz algo de que se gosta e em que se acredita, mas é necessário ter sempre uma base que sustente a nossa dedicação e a nossa vontade. Essa base de sustentação encontrei-a na minha família, nos meus amigos, colegas e nos meus orientadores, que em conjunto me deram força para não desistir e continuar até ao fim. Todas as pessoas que referi contribuíram para a realização da presente dissertação e é um prazer poder concluir a mesma e partilha-la com todos.

Em último lugar, duas pessoas que merecem uma referência pelo contributo que no passado deram à minha formação enquanto Homem e estudante. A minha avó Antónia, pela forma e pela força como viveu a sua vida, transmitindo-nos valores que ainda hoje perduram tais como a persistência e o sacrifício e o meu professor de Geografia do secundário, o professor Paulo André que, pela sua amizade e pela forma como encarava este País geográfico me influenciou a abraçar o mundo da Geografia. A eles também o meu obrigado.



## ÍNDICE

RESUMO .....	i
PALAVRAS-CHAVE: .....	i
ABSTRACT .....	iii
KEYWORDS: .....	iii
AGRADECIMENTOS .....	v
ÍNDICE DE QUADROS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
INTRODUÇÃO .....	1
CAPITULO I – A INSTABILIDADE DE VERTENTES <i>VERSUS</i> ACIDENTES FERROVIÁRIOS .....	5
1.1. CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS DE VERTENTE .....	5
1.2. FACTORES DA INSTABILIDADE DE VERTENTES .....	7
1.3. MODELO CONCEPTUAL DO RISCO .....	8
1.4. AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE .....	12
1.5. INSTABILIDADE DE VERTENTES NA AML .....	13
1.6. A PRECIPITAÇÃO E O DESENCADEAMENTO DE VERTENTES NA REGIÃO DE LISBOA .....	14
1.7. MOVIMENTOS DE VERTENTE <i>VERSUS</i> A VIA-FÉRREA - CUSTOS ASSOCIADOS .....	15
CAPITULO II - ENQUADRAMENTO GERAL DA AML .....	23
2.1. ESTRUTURA GEOLÓGICA E RELEVO DA AML .....	23
2.2. MOBILIDADE NA AML .....	25
2.3. TRANSPORTE FERROVIÁRIO NA AML .....	30
2.4. GESTORA DA REDE FERROVIÁRIA, A REFER .....	32
CAPITULO III – SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) E OS INSTRUMENTOS DO ORDENAMENTO E DE ANÁLISE DE RISCO .....	35
3.1. OS SIG E O PLANO NACIONAL DA POLITICA DE ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO (PNPOT) .....	35
3.2. O GUIA METODOLÓGICO PARA A PRODUÇÃO DE CARTOGRAFIA DE BASE MUNICIPAL DE RISCO E PARA A CRIAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) DE BASE MUNICIPAL .....	37
CAPITULO IV – METODOLOGIA E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO .....	41
4.1. INVENTARIAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE NA AML .....	41
4.2. MODELO CONCEPTUAL DO TRABALHO .....	45
4.3. TRATAMENTO DAS VARIÁVEIS .....	47
4.3.1. DECLIVES DAS VERTENTES .....	50

4.3.2. EXPOSIÇÃO DAS VERTENTES.....	51
4.3.3. CURVATURA DAS VERTENTES .....	53
4.3.4. USO DO SOLO.....	54
4.3.5. LITOLOGIA .....	56
4.4. CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SUSCEPTIBILIDADE .....	57
4.5. CONVERSÃO DO MODELO DE SUSCEPTIBILIDADE PARA MODELO DE PERIGOSIDADE.....	61
4.6. CONSTRUÇÃO DO MODELO DE RISCO .....	62
4.7. DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS.....	64
4.7.1. CUSTOS DIRECTOS .....	64
4.7.2. CUSTOS INDIRECTOS.....	65
4.7.3. 1ª FASE DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS INDIRECTOS .....	68
4.7.4. 2ª FASE DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS INDIRECTOS .....	69
4.7.5. 3ª FASE DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS INDIRECTOS .....	70
CAPITULO V – SUSCEPTIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE VERTENTE NA AML .....	71
5.1. IMPORTÂNCIA DAS VARIÁVEIS DE PREDISPOSIÇÃO.....	71
5.1.1. DECLIVE DAS VERTENTES.....	71
5.1.2. EXPOSIÇÃO DAS VERTENTES.....	72
5.1.3. CURVATURA DAS VERTENTES .....	72
5.1.4. OCUPAÇÃO E USO DO SOLO .....	73
5.1.5. LITOLOGIA .....	74
5.2. MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE VERTENTE DA AML .....	74
5.6. VALIDAÇÃO DO MODELO DE SUSCEPTIBILIDADE.....	76
5.7. DISTRIBUIÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE POR CONCELHO DA AML.....	78
CAPITULO VI – RISCO DE OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE VERTENTE, NA REDE FERROVIÁRIA DA AML.....	81
6.1. ANÁLISE DA PERIGOSIDADE.....	81
6.2. RISCO NA REDE FERROVIÁRIA DA AML .....	83
6.2.1. CUSTOS DIRECTOS .....	85
6.2.2. DISTRIBUIÇÃO DO RISCO (CUSTOS DIRECTOS).....	85
6.2.3. CUSTOS INDIRECTOS.....	94
6.2.4. DISTRIBUIÇÃO DOS CUSTOS INDIRECTOS.....	97
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	103
BIBLIOGRAFIA.....	107
SÍTIOS DIGITAIS .....	111

## ÍNDICE DE QUADROS

1.1-CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE.....	6
1.2-ACÇÕES PROGRAMADAS DE CONSERVAÇÃO DE TALUDES.....	20
2.1-HABITANTES POR CONCELHO FONTE: ATLAS DIGITAL AML (2001).....	27
4.1-RESUMO DO INVENTÁRIO DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE.....	44
4.2-RESUMO DAS VARIÁVEIS.....	49
4.3-RESUMO DA DISTRIBUIÇÃO DO DECLIVE.....	50
4.4-RESUMO DA DISTRIBUIÇÃO DA EXPOSIÇÃO DA AML.....	52
4.5-RESUMO DA DISTRIBUIÇÃO DA CURVATURA DA AML.....	53
4.6-RESUMO DO USO E DA OCUPAÇÃO DO SOLO DA AML.....	55
4.7- RESUMO DA LITOLOGIA DA AML.....	56
4.8-VALORES UTILIZADOS NO CÁLCULO DA PERIGOSIDADE DA AML.....	62
4.9-DETERMINAÇÃO DO CUSTO DE REPARAÇÃO DA VIA-FÉRREA, COM BASE NO CASO DO RAMAL DA SIDERURGIA NACIONAL.....	65
4.10-DETERMINAÇÃO DA DURAÇÃO DA REPARAÇÃO DA VIA-FÉRREA, COM BASE NO CASO DO RAMAL DA SIDERURGIA.....	66
4.11-NUMERO MÉDIO DE COMPOSIÇÕES A CIRCULAR DIARIAMENTE NA AML.....	69
5.1-RESUMO DOS SCORES DO DECLIVE.....	71
5.2-RESUMO DOS SCORES DA EXPOSIÇÃO.....	72
5.3-RESUMO DOS SCORES DA CURVATURA.....	73
5.4-RESUMO DOS SCORES DA OCUPAÇÃO E USO DO SOLO.....	73
5.5-RESUMO DOS SCORES DA LITOLOGIA.....	74
5.6-RESUMO DAS CLASSES DE SUSCEPTIBILIDADE À INSTABILIDADE DE VERTENTES NA AML.....	76
5.7-AAC DO MODELO DE SUSCEPTIBILIDADE E DOS MODELOS DE VALIDAÇÃO, COM AMBOS GRUPOS.....	76
6.1-VALORES DE PREDIÇÃO DAS CLASSES DE SUSCEPTIBILIDADE.....	81
6.2-VALORES DE PROBABILIDADE DO CENÁRIO 1 E DO CENÁRIO 2.....	82
6.3-RISCO DA VIA-FÉRREA DA AML REFERENTE AO CENÁRIO 1 E CENÁRIO 2.....	84
6.4-VALORES FINAIS DO RISCO DA VIA-FÉRREA DA AML CALCULADOS PARA OS CENÁRIOS 1 E 2.....	85
6.5-CUSTOS DIRECTOS DA LINHA DE SINTRA.....	86
6.6-CUSTOS DIRECTOS DA LINHA DO OESTE.....	87
6.7-CUSTOS DIRECTOS DA LINHA DE CASCAIS.....	89
6.8-CUSTOS DIRECTOS DA LINHA DA AZAMBUJA.....	90
6.9-CUSTOS DIRECTOS DO EIXO NORTE/SUL.....	92

6.10-CUSTOS DIRECTOS DA LINHA DO SADO.....	92
6.11-1ª FASE DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS INDIRECTOS DAS LINHAS SUBURBANAS DA AML.....	95
6.12-2ª FASE DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS INDIRECTOS DAS LINHAS SUBURBANAS DA AML.....	95
6.13-3ª FASE DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS INDIRECTOS DAS LINHAS SUBURBANAS DA AML.....	96
6.14-ANÁLISE DAS 3 FASES DE DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS INDIRECTOS.....	97



## ÍNDICE DE FIGURAS

1.1-CUSTOS SOCIOECONÓMICOS DOS MOVIMENTOS DE VERTENTES.....	11
1.2-CAPA DO DIÁRIO DE NOTÍCIAS, 1 DE ABRIL DE 1952, NOTICIANDO A TRAGÉDIA DA GIBALTA.....	16
1.3-ACÇÕES DE CONSERVAÇÃO DA VIA-FÉRREA, DEVIDO À INSTABILIZAÇÃO DE TALUDES.....	18
1.4-ACÇÕES DE CONSERVAÇÃO DA VIA-FÉRREA, DEVIDO À INSTABILIZAÇÃO DE TALUDES.....	18
1.5-ACÇÕES DE CONSERVAÇÃO DA VIA-FÉRREA, DEVIDO À INSTABILIZAÇÃO DE TALUDES.....	19
2.1-LITOLOGIA DA AML.....	24
2.2-CONCELHOS DA AML.....	28
2.3-REDE FERROVIÁRIA DA AML.....	31
4.1-INVENTÁRIO DE MOVIMENTOS DE VERTENTE.....	42
4.2-CARACTERÍSTICAS INDISPENSÁVEIS E ACESSÓRIAS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE UM DESLIZAMENTO ATRAVÉS DE FOTO-INTERPRETAÇÃO.....	43
4.3-INVENTÁRIO DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE DA AML.....	44
4.4-MODELO CONCEPTUAL DO TRABALHO.....	45
4.5-MAPA DE DECLIVES DA AML.....	51
4.6-MAPA DE EXPOSIÇÃO DAS VERTENTES DA AML.....	52
4.7-MAPA DE CURVATURA DA AML.....	54
4.8-MAPA DO USO E DA OCUPAÇÃO DO SOLO DA AML.....	55
4.9-MAPA DA LITOLOGIA DA AML.....	57
4.10-ESQUEMA CONCEPTUAL DO RISCO NATURAL.....	63
5.1-MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE À INSTABILIDADE DE VERTENTES NA AML...	75
5.2-CURVA DE SUCESSO DO MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE.....	77
5.3-CURVA DE PREDIÇÃO DO GRUPO 1.....	77
5.4-CURVA DE PREDIÇÃO DO GRUPO 2.....	78
5.5-DISTRIBUIÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE “MUITO BAIXA” POR CONCELHOS....	79
5.6- DISTRIBUIÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE “BAIXA” POR CONCELHOS.....	79
5.7- DISTRIBUIÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE “MODERADA” POR CONCELHOS.....	80
5.8- DISTRIBUIÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE “ELEVADA” POR CONCELHOS.....	80
6.1-MAPA DE PERIGOSIDADE DE INSTABILIDADE DE VERTENTES NA AML.....	83
6.2-MAPA DE RISCO DA REDE FERROVIÁRIA DA AML INDUZIDO POR MOVIMENTOS DE VERTENTE.....	84

6.3-MAPA DE RISCO DA LINHA DO SINTRA INDUZIDO POR MOVIMENTOS DE VERTENTE.....	86
6.4-MAPA DE RISCO DA LINHA DO OESTE INDUZIDO POR MOVIMENTOS DE VERTENTE.....	88
6.5-MAPA DE RISCO DA LINHA DE CASCAIS INDUZIDO POR MOVIMENTOS DE VERTENTE.....	89
6.6-MAPA DE RISCO DA LINHA DE AZAMBUJA INDUZIDO POR MOVIMENTOS DE VERTENTE.....	90
6.7-MAPA DE RISCO DO EIXO NORTE/SUL INDUZIDO POR MOVIMENTOS DE VERTENTE.....	91
6.8-MAPA DE RISCO DA LINHA DO SADO INDUZIDO POR MOVIMENTOS DE VERTENTE.....	93
6.9-CENÁRIO DE OCORRÊNCIA DE UM MOVIMENTO DE VERTENTE NA LINHA DE SINTRA, COM 200 M DE LARGURA.....	98
6.10-CENÁRIO DE OCORRÊNCIA DE UM MOVIMENTO DE VERTENTE NO EIXO NORTE/SUL, COM 200 M DE LARGURA.....	99
6.11-CENÁRIO DE OCORRÊNCIA DE UM MOVIMENTO DE VERTENTE NA LINHA DA AZAMBUJA, COM 200 M DE LARGURA.....	100
6.12-CENÁRIO DE OCORRÊNCIA DE UM MOVIMENTO DE VERTENTE NA LINHA DE CASCAIS, COM 200 M DE LARGURA.....	101
6.13-CENÁRIO DE OCORRÊNCIA DE UM MOVIMENTO DE VERTENTE NA LINHA DE OESTE, COM 200 M DE LARGURA.....	102

## INTRODUÇÃO

A presente dissertação tem como ponto de partida a referência ao acidente de dia 31 de Março de 1952 na linha do Estoril, envolvendo uma composição ferroviária que circulava entre Caxias e Cruz Quebrada. Esta foi atingida por um deslizamento junto ao farol da “Gibalta”, causando o descarrilamento de uma das carruagens, ceifando a vida a 10 passageiros e ferindo outros 38, entre os 150 que circulavam na composição.

É obrigatória a referência a este acidente, pelo facto de ter sido o maior acidente ferroviário ocorrido em Portugal, causado por um movimento de vertente, tornando-se um exemplo claro da capacidade destruidora dos fenómenos de instabilidade de vertentes, envolvendo transportes de passageiros, neste caso um transporte ferroviário.

Embora em Portugal o estudo destes fenómenos se tenha desenvolvido de forma mais intensa na década de 60 do século XX (ZÊZERE, 1997, p. 14), só recentemente os responsáveis pelo planeamento e ordenamento do território passaram a olhar com preocupação para o potencial destruidor destes fenómenos, tendo sido publicação no Decreto-Lei nº 58/2007 de 4 Setembro as orientações estratégicas para o âmbito Nacional e programa de políticas, onde na alínea *a*, do artigo 5.1 é feita referência á prevenção de riscos, passando a ser obrigatória a criação de cartografia de risco de âmbito municipal (Diário da República nº, 1ª série nº170-4/9/2007, p. 6126).

Neste contexto, a cartografia de risco consiste numa forma simples, clara e eficaz de representar a exposição que um determinado território possui à ocorrência de um determinado fenómeno perigoso, numa escala apropriada, constituindo um bom ponto de partida para a implementação de medidas de política preventivas, na óptica do Ordenamento e Planeamento do Território.

Recorrendo aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), pretende-se com este trabalho alcançar dois objectivos, que levaram à formulação de duas questões de partida.

O primeiro objectivo da presente dissertação consistiu na criação de um inventário de movimentos de vertente, especificamente direccionado para este trabalho, através da observação de orto-fotomapas digitais da AML.

A partir deste inventário criou-se um modelo de Susceptibilidade, classificado em 4 classes, baseado no método estatístico do “Valor Informativo” (Yin e Yan, 1988).

Posteriormente foram calculadas as respectivas taxas de sucesso e taxas de validação, aferindo a qualidade e a capacidade preditiva do modelo de Susceptibilidade.

A primeira questão surgiu nesta fase do trabalho, uma vez que o inventário poderia não ter qualidade suficiente para criar o modelo de susceptibilidade, e é apresentada da seguinte forma:

- 1ª Questão: Utilizando um inventário de movimentos de vertente, obtido através da foto-interpretação, sem recurso a trabalho de campo, é possível realizar um modelo de susceptibilidade com boas taxas de sucesso?

O segundo objectivo consistiu na criação de um modelo de avaliação do “Risco de Ocorrência de Movimentos de Vertente na Rede Ferroviária da Área Metropolitana de Lisboa” (AML), a partir do modelo de susceptibilidade anteriormente referido. Posteriormente, este modelo foi classificado em 4 classes de risco, permitindo calcular os Custos Directos e Indirectos resultantes da ocorrência de movimentos de vertente na rede ferroviária da AML. Os custos Directos foram calculados tendo em conta dois cenários diferentes. Já os custos indirectos foram calculados em duas escalas distintas. Em primeiro lugar foram calculados os Custos para a totalidade da rede ferroviária da AML e em segundo lugar para cada uma das linhas suburbanas da AML.

Neste contexto, foi colocada uma segunda questão.

- 2ª Questão: Através da modelação em ambiente SIG, é possível identificar as áreas de Risco da rede ferroviária da AML, calculando em seguida os Custos Directos e Indirectos *associados ao risco* para cada uma das linhas suburbanas da AML?

De modo a responder às duas questões, o trabalho foi estruturado em 6 capítulos.

No 1º capítulo são descritos alguns conceitos relativamente à instabilidade de vertentes, relacionados com a classificação e os factores condicionantes da instabilidade de vertentes. Discute-se ainda o inventário de movimentos de vertente, assim como alguns tipos de modelos estatísticos utilizados no cálculo da Susceptibilidade e do Risco.

Descrevem-se alguns acidentes ferroviários resultantes da acção dos movimentos de vertente a nível nacional e internacional, de forma a entender como a dinâmica de vertentes e a via-férrea se tem cruzado ao longo dos tempos e quais os custos resultantes.

No 2º capítulo realiza-se um breve enquadramento geográfico da Área Metropolitana de Lisboa e descreve-se a mobilidade da população, recorrendo para isso a alguns dados estatísticos. É feita menção à estrutura geológica e ao relevo da área de estudo. É ainda apresentada uma breve descrição da rede ferroviária e dos seus operadores.

No 3º capítulo descreve-se a aplicação dos SIG no ordenamento do território, pretendendo-se demonstrar que tipo de relação existe entre os SIG e o PNPT, traçando um breve cenário da sua utilização relativamente ao que vem expresso no “Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a Criação de Sistemas de Informação Geográfica de Base Municipal” (GM), bem como a sua aplicação no presente estudo.

No 4º capítulo, por sinal o mais extenso da dissertação, é explicado todo o processo metodológico de tratamento e integração das variáveis, assim como o processo de construção do MNT.

São apresentados dois modelos conceptuais que pretendem dar uma visão abrangente da construção metodológica do trabalho e explicar como foi realizado o inventário de movimentos de vertente, referindo as fontes e os dados utilizados.

A construção do modelo de Susceptibilidade e do modelo de Risco são explicadas pormenorizadamente, assim como as fontes a partir das quais se calcularam os Custos Directo e Indirectos.

O 5º capítulo é reservado à apresentação e análise dos resultados da modelação de susceptibilidade. São ainda apresentadas as tabelas resultantes do cálculo do VI, bem como o mapa de susceptibilidade resultante. A taxa de sucesso e as taxas de predição são aqui discutidas, seguidas de uma análise da distribuição da susceptibilidade por concelho.

O 6º capítulo é dedicado à apresentação e análise dos resultados do cálculo do Risco, incluindo os Custos Directos e Indirectos. Esta análise é efectuada para a totalidade da AML e para cada uma das linhas suburbanas individualmente.

O trabalho finaliza com a apresentação das Considerações Finais. São retomados os objectivos da dissertação e é referida ainda a forma como foram dadas respostas às

questões colocadas na fase inicial do trabalho. Os obstáculos sentidos no decorrer da dissertação são aqui referidos e são feitas algumas sugestões para continuação dos trabalhos, partindo dos resultados desta dissertação.

# **CAPITULO I – A INSTABILIDADE DE VERTENTES *VERSUS* ACIDENTES FERROVIÁRIOS**

Alguns conceitos associados aos movimentos de vertente, tais como a Susceptibilidade e o Risco possuem diversas interpretações (ZÊZERE, 2005, p. 37), sendo referidos brevemente alguns trabalhos de referência, de modo a permitir a sua clarificação.

Neste capítulo são ainda analisados alguns acidentes ferroviários causados por movimentos de vertente, tanto no panorama nacional como a nível internacional, de forma a perceber os constrangimentos causados á normal circulação de comboios, a proporção dos danos causados às infra-estruturas e os custos resultantes desses mesmos acidentes.

## **1.1. CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS DE VERTENTE**

Grande parte dos estudos desenvolvidos sobre movimentos de vertente é de origem anglo-saxónica, não sendo por isso de estranhar que a maioria dos métodos e terminologia sejam provenientes de países como o Reino Unido ou Estados Unidos (ZÊZERE, 1997, p. 39).

Neste contexto, o termo “*Landslide*” foi definindo pelo WORKING PARTY ON WORLD LANDSLIDE INVENTORY (WP/WLI) como “movimento de descida, numa vertente, de uma massa de rocha, terra ou detritos”, excluindo-se desta definição movimentos verticais de abatimento e assentamento (subsidência), as avalanchas de neve e os efeitos da expansão-retração dos solos argilosos (ZÊZERE, 2000, p. 3). Distinguem-se 5 tipos de movimentos de vertente - desabamento, balançamento, deslizamento, expansão lateral e escoada (CRUDEN e VARNES, 1996). Posteriormente, ZÊZERE (2004, p. 4) organizou a classificação de movimentos de vertente em 3 termos (Quadro 1.1), movimentos de vertente, movimentos de terreno e movimentos de massa (ZÊZERE, 2004, p. 4), importando para o presente trabalho os movimentos de vertente, cuja abrangência se descreve em seguida.

O desabamento é definido como “deslocação de solo ou rocha a partir de um abrupto, ao longo de uma superfície onde os movimentos tangenciais são nulos, ou reduzidos, em que o material se desloca predominantemente pelo ar, por queda, saltação ou rolamento” (WP/WLI, 1993, p. 6-2, citado por ZÊZERE, 2000, p. 8-9).

**Quadro 1.1 – Classificação dos Movimentos de Vertente. Extraído de Zêzere, 2000, p. 4**

TERMO	ABRANGÊNCIA
Movimentos de Vertente (landslides)	Desabamento; Balançamento; Deslizamento; Expansão Lateral; Escocada; Movimentos Complexos
Movimentos de Terreno	Movimentos de vertente Subsidência (abatimentos; assentamentos); Expansão- Retracção em solos argilosos
Movimentos de Massa	Movimentos de terreno Movimentos Associados ao gelo e neve

O balançamento é descrito como uma rotação de uma massa de solo ou rocha, a partir de um ponto ou eixo situado abaixo do centro de gravidade da massa afectada (WP/WLI, 1993, p. 6-2, citado por ZÊZERE, 2000, p. 9);

O deslizamento, define-se como um movimento de solo ou de rocha, que ocorre predominantemente ao longo de planos de ruptura ou de zonas relativamente estreitas, alvo de intensa transformação tangencial (WP/WLI, 1993, p. 6-2, referido por ZÊZERE (2000), p. 9), dividindo-se em 2 tipos fundamentais, devido às características do material transportado e ao tipo de ruptura tangencial, rotacionais e translacionais.

Os deslizamentos rotacionais ocorrem ao longo de superfícies de ruptura curvas, em meios geralmente homogêneos e isotrópicos (SIRIEYS, 1984, citado por ZÊZERE, 2000, p. 11). Este tipo de deslizamento é identificado pela existência de um abatimento na parte superior da vertente, que posteriormente gerará uma rotação do material afectado, formando um levantamento na parte inferior da vertente. Os deslizamentos rotacionais subdividem-se em simples, múltiplo e sucessivo de acordo com a classificação proposta por HUTCHINSON (1968), sendo esta, segundo ZÊZERE (2000, p. 11), a mais utilizada.

Os deslizamentos translacionais dividem-se em dois tipos: deslizamentos translacionais com ruptura compósita, e deslizamentos translacionais com ruptura planar.



Os primeiros, são descritos por ZÊZERE (2000) como sendo uma transição entre os deslizamentos rotacionais e os translacionais planares, dado que o plano de ruptura apresenta duas secções, uma com forma circular ou planar, possuindo uma forte inclinação a montante, e outra, a jusante apresentando um estilo marcadamente translacional, com uma inclinação mais reduzida (ZÊZERE, 2000, p. 12).

No segundo tipo, o plano de ruptura desenvolve-se ao longo de superfícies de fraqueza, marcadas por uma resistência ao corte reduzida como falhas, planos de estratificação, diáclases ou contacto entre uma cobertura detrítica e o substrato rochoso (NEMCOK, 1977; VARNES, 1978; BELL e PETTINGA, 1988, citados por ZÊZERE, 2000, p. 12).

A expansão lateral (...) *pode resultar da liquefacção ou escoada de material brando subjacente (...) podendo dar-se a extensão de massas coesivas de solo ou rocha* (WLI, 1993, p. 6-2, referido por ZÊZERE, (2000), p. 13), comportando-se em rocha de forma lenta, estando dependente de deformações visco-plásticas profundas ligadas á tensão gravítica (PASUTO e SOLDATI, 1996, citado por ZÊZERE, (2000), p. 13) e em solos de uma forma extremamente rápida, levando a situações muito perigosas (ZÊZERE, 2000, p. 13-14).

A escoada é definida como um “movimento espacialmente contínuo onde as superfícies de tensão tangencial são efémeras e frequentemente não preservadas. A distribuição das velocidades na massa deslocada assemelha-se à de um fluido viscoso” (WLI, 1993, p. 6-2, referido por ZÊZERE, 2000, p. 14).

As tensões distribuem-se por toda a massa afectada, conduzindo por norma a uma grande deformação interna dos materiais e à existência de velocidades diferenciadas, quase sempre maiores junto á superfície (CARSON e KIRBY, 1975; BROMHEAD, 1992, citados por ZÊZERE, 2000, p. 14).

No presente estudo optou-se pela utilização do termo mais generalista “movimentos de vertente”, dada a impossibilidade de realizar trabalho de campo e de diferenciar os tipos de movimentos inventariados com recurso à foto-interpretação.

## **1.2. FACTORES DA INSTABILIDADE DE VERTENTES**

De acordo com ZÊZERE (1997), os casos de instabilidade frequentemente ficam a dever-se a múltiplas causas, que quando conjugadas em simultâneo e no mesmo local, geram movimentos de vertente, logo (...) *o factor final não é mais do que um*

*mecanismo desencadeante (triggering factor) que coloca em movimento uma massa que se encontrava já no limiar da ruptura (...)* tornando assim qualquer tentativa de atribuir a responsabilidade directa pela ruptura a apenas uma causa, uma tarefa difícil e até mesmo incorrecta (ZÊZERE, 2005, p. 62).

De acordo com GLADE e CROZIER (2005, referido por ZÊZERE, (2005), p. 62), as causas da instabilidade das vertentes podem dividir-se em factores de predisposição, factores preparatórios e factores desencadeantes.

Os **factores de predisposição** são estáticos e reflectem as condições do terreno, influenciando fortemente a instabilidade da vertente através, por exemplo, do declive, exposição e curvatura das vertentes, da litologia e do uso e ocupação do solo.

Quanto aos **factores preparatórios**, estes são dinâmicos contribuindo para a instabilização das vertentes, sem contudo serem responsáveis pelo iniciar do movimento.

Por último, os **factores desencadeantes** são responsáveis pela instabilização das vertentes, determinando o desencadear dos movimentos de vertente, destacando-se neste factor a precipitação intensa e/ou prolongada (PIEIDADE, 2006, p. 26). Assim, um factor desencadeante pode ser considerado um agente externo, que influencia o equilíbrio existente nas vertentes por incremento das tensões tangenciais, ou redução da resistência ao corte dos terrenos (ZÊZERE, 1997, p. 101).

### **1.3. MODELO CONCEPTUAL DO RISCO**

O modelo conceptual do Risco integra várias componentes cujo significado deve ser esclarecido.

ZÊZERE (2005, p. 81) refere o conceito de **Susceptibilidade** como a probabilidade espacial de ocorrência de um determinado fenómeno, numa dada área tendo em conta os factores condicionantes existentes no terreno, independentemente do seu período de recorrência, ou seja, a susceptibilidade reflecte uma probabilidade espacial, mas não temporal.

De acordo com o expresso no Guia Metodológico para Produção de Cartografia Municipal de Risco (GM), entende-se o conceito de Susceptibilidade como a *“incidência espacial do perigo, representando a propensão para uma área ser afectada*

*por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos factores de predisposição para a ocorrência dos processos ou acções, não contemplando o seu período de retorno ou de probabilidade de ocorrência”*, (JULIÃO et al., 2009, p. 20-23).

O GM refere ainda que a criação de cartografia de Susceptibilidade deve ser realizada com o auxílio de métodos estatísticos (baseados em funções paramétricas empíricas que correlacionam espacialmente os movimentos de vertente passados e presentes com os factores que condicionam a instabilidade (JULIÃO et al., 2009, p. 65).

O **Perigo ou Perigosidade** é descrito por ZÊZERE (2005) como a probabilidade de ocorrência de um fenómeno potencialmente destruidor, num determinado período de tempo e numa dada área, verificando-se, ao contrário da susceptibilidade, que a perigosidade já incorpora uma probabilidade temporal (ZÊZERE, 2005, p. 81).

O GM refere que a Perigosidade é a *“probabilidade de ocorrência de um processo ou acção (natural, tecnológico ou misto) com potencial destruidor (ou para provocar danos) com uma determinada severidade, numa dada área e num dado período de tempo*. Tal como a Susceptibilidade, é representável cartograficamente como mapas de zonamento, pelo menos nos casos dos processos naturais e mistos. A fundamentação científica e a quantificação são imprescindíveis para realizar os cálculos referentes á sua probabilidade de ocorrência” (JULIÃO et al., 2009, p. 21).

A **Vulnerabilidade** entende-se como o grau de perda associado aos elementos em risco, resultantes da ocorrência de determinado episódio natural ou antrópico, gerador de instabilidade (VARNES, 1984, citado por HENRIQUES, 2009)

O **Risco**, segundo o GM, é classificado como a *“probabilidade de ocorrência de um processo (ou acção) perigoso e respectiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou ambiente, expressas em danos corporais e/ou prejuízos materiais e funcionais, directos ou indirectos* (JULIÃO et al., 2009, p. 21).

Segundo ZÊZERE (2005, p. 82) o Risco específico (Re) é o produto da Perigosidade pela Vulnerabilidade de um elemento ou conjunto de elementos em risco, e o Risco total (Rt) é o número de mortos e feridos expectáveis, bem como os prejuízos materiais directos e indirectos devidos a um fenómeno natural particular, exprimindo a possibilidade da ocorrência de consequências gravosas, económicas ou mesmo da segurança das pessoas, em resultado da ocorrência de um fenómeno natural ou induzido

pela actividade antrópica. O Risco exprime-se matematicamente pela seguinte expressão (1.1):

$$\text{Expressão matemática do Risco Total: } R_t = (E) (Re) = (E) (P \times V) \quad \mathbf{1.1}$$

Fonte: (Varnes, 1984)

Uma vez que os Instrumentos de Gestão Territorial (IGT) passaram a contemplar a cartografia de riscos, estabeleceu-se uma grelha, que separa os riscos em conjuntos: Riscos Naturais, Riscos Tecnológicos e Riscos Mistos (JULIÃO et al., 2009, p. 24)

Neste contexto os Riscos Naturais foram descritos da seguinte forma:

*“Riscos naturais são aqueles que resultam do funcionamento dos sistemas naturais (e.g., sismos, movimentos de massa em vertentes, erosão do litoral, cheias e inundações) (JULIÃO et al., 2009, p. 24).*

No âmbito do GM, os movimentos de vertente englobam-se no grupo de riscos naturais, na categoria de geodinâmica externa, estando sujeitos á legislação aplicável (DL nº 166/2008 - RJREN /Anexo I secção I, Portaria nº1356/2008 - revisão da RJREN) sendo obrigatoriamente considerados nos Planos Directores Municipais (PDM) e nos Planos Municipais de Emergência (PME), (JULIÃO et al., 2009, p. 24).

A criação do GM (2009) reflecte a crescente importância que a avaliação do risco sofreu nos últimos anos, passando a sua gestão preventiva a constituir uma prioridade nas políticas de ordenamento do território, através do PNPO, sendo a criação do guia um exemplo do aumento da sua importância (JULIÃO et al., 2009, p. 14). Conforme já foi referido, a elaboração de cartografia de risco faz parte dos objectivos estratégicos do PNPO, possuindo agora carácter obrigatório, tendo em conta uma correcta utilização dos diversos conceitos associados a esta temática.

No presente trabalho, a rede ferroviária da AML<sup>1</sup> (412.153 km) constitui o elemento exposto que se pretende analisar, quantificando o Risco através da determinação de Custos Directos e Indirectos.

Segundo SCHUSTER (1996), os movimentos de vertente são responsáveis por gerar custos socioeconómicos directos ou indirectos, afectando a propriedade indiscriminadamente, seja esta pública ou privada (Figura 1.1).

---

<sup>1</sup> A informação relativa á rede foi obtida a partir da vectorização dos orto-fotomapas da AML, a mesma fonte utilizada na realização do inventário de movimentos de vertente.

São considerados custos directos, a reparação, substituição ou manutenção dos estragos ocorridos em propriedades ou instalações que se encontrem na área afectada pela acção dos movimentos de vertente.

Consideram-se custos indirectos, os derivados da interrupção das redes de transportes, desvalorização das áreas afectadas por movimentos de vertente, pela sua perda de produtividade (SCHUSTER, 1996, p. 14).

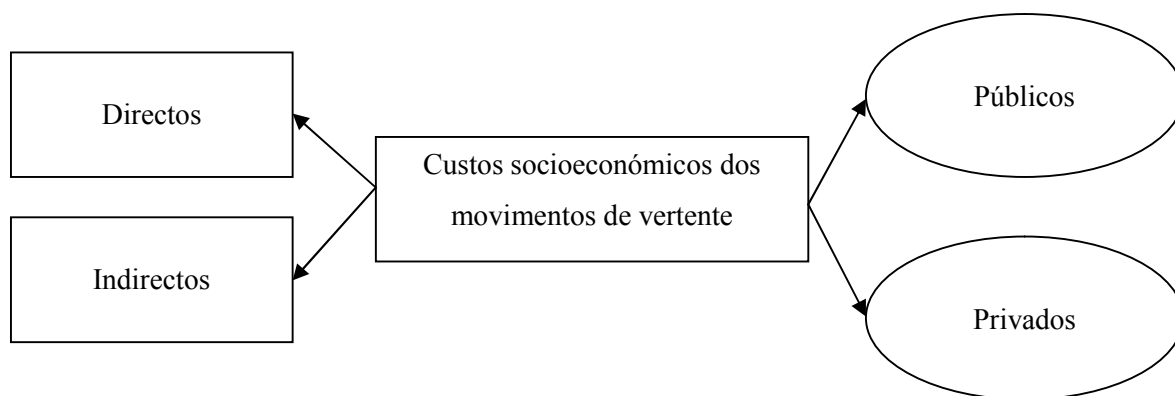


Figura 1.1 – Custos sócio económicos dos movimentos de vertentes (Schuster 1996)

Os custos resultantes da acção dos movimentos de vertente podem ser públicos e privados. Podem ser considerados custos directos públicos a reconstrução de infraestruturas públicas, tais como redes rodoviárias, redes ferroviárias, estruturas fixas, pontes, passeios e redes de drenagem de águas superficiais, mais frequentemente afectadas pela acção dos movimentos de vertente. São igualmente públicos, embora ocorram com menor frequência (SHUSTER, 1996, p. 15) os custos na reparação de edifícios públicos, barragens e reservatórios, canais e portos, bem como em centrais de telecomunicações e de energia.

Consideram-se custos indirectos, públicos e privados, todos aqueles que constituem perda de uma receita que no passado se obtinha a partir da área afectada.

Segundo SCHUSTER (1996), o primeiro método utilizado nos Estados Unidos da América para calcular os custos dos movimentos de vertente foi realizado por SMITH (1958). Este verificou que os prejuízos anuais médios atingiam as centenas de milhões de dólares. Posteriormente, SCHUSTER (1978) estimou que nos Estados Unidos os custos directos e indirectos resultantes da acção de movimentos de vertente podiam ultrapassar o bilião de dólares anual. Mais recentemente, SCHUSTER e FLEMING

(1986) actualizaram este valor para 1,8 biliões de dólares, fortemente influenciado pelo aumento da inflação (SCHUSTER, 1996, p. 16).

Outros países têm revelado interesse na determinação destes custos, dada a quantidade de fenómenos aí ocorridos.

Na Europa o cenário não é particularmente mais risonho, tendo a UNESCO referido num relatório não publicado de 1976, que as percas anuais associadas aos movimentos de vertente em Itália rondariam os 2,6 biliões de dólares (SCHUSTER, 1996, p. 19).

A Índia não escapa a estes fenómenos, tendo sido registadas percas anuais na ordem dos 1,4 biliões de dólares, segundo MATHUR (1992), (referido por SCHUSTER, 1996, p. 19).

O Japão será talvez o campeão mundial nos custos resultantes da acção dos movimentos de vertente, tendo registado em 1982 um valor equivalente ao observado nos Estados Unidos, 1,5 biliões de dólares. Posteriormente, em 1989, o ministro da construção japonesa afirmou terem sido investidos 4,4 biliões por ano, entre 1987 e 1988, na prevenção de movimentos de vertente (SCHUSTER, 1996, p. 18).

#### **1.4. AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE**

Segundo VARNES (1984), “*o passado e o presente são a chave para o futuro*”, sendo possível prever a ocorrência de fenómenos futuros, desde que se consiga identificar os factores que os condicionam. De modo a alcançar este objectivo, desenvolveram-se vários métodos e técnicas com o objectivo de avaliar a susceptibilidade.

A construção de uma base de dados com registos de movimentos, comportando informação relativa á localização e dimensão dos movimentos, constitui um dos passos mais importantes no processo de realização da avaliação da Susceptibilidade geomorfológica.

Com efeito, a precisão do modelo final será tanto maior, quanto maior for a qualidade do inventário realizado, estando os resultados finais fortemente dependentes da sua robustez, bem como da consistência da base de dados cartográfica que serve de base á construção do mesmo (HENRIQUES, 2009, p. 70).

A avaliação da Susceptibilidade geomorfológica na escala regional pode ser realizada com recurso a métodos directos, ou indirectos.

Os métodos directos, ou geomorfológicos, baseiam-se nos efeitos da instabilidade observados no terreno, possuindo como pontos negativos a sua elevada subjectividade, dado depender da observação *in situ* dos fenómenos e da sua interpretação (PIEDADE, 2009, p. 42).

Os métodos indirectos baseiam-se essencialmente nos factores que condicionam a instabilidade das vertentes. Podem ser dos tipos determinísticos, heurísticos e estatísticos. A validação destes métodos, ao contrário dos métodos directos, é possível com base na partição dos inventários.

## 1.5. INSTABILIDADE DE VERTENTES NA AML

A instabilidade de vertentes tem sido um fenómeno estudado em Portugal por diversos investigadores, com especial incidência na parte norte da AML, de onde se destaca o trabalho de ZÊZERE (1997) “Movimentos de Vertente e Perigosidade Geomorfológica na Região a Norte de Lisboa” onde é feita uma síntese sobre a classificação e as características genéricas dos movimentos de vertente.

ZÊZERE (1997) apresenta ainda um conjunto de métodos e técnicas utilizadas no estudo dos movimentos de vertente na região a norte de Lisboa, destacando-se a cartografia geomorfológica de pormenor, a avaliação da estabilidade das vertentes e a determinação dos parâmetros físicos dos terrenos por análise inversa (ZÊZERE, 1997, p. 17). Posteriormente GARCIA (2002) seguindo a mesma linha de investigação, propôs-se avaliar a susceptibilidade aos movimentos de vertente na área da Depressão da Abadia (Torres Vedras), utilizando para esse efeito o método de cartografia directa ou geomorfológica e dois métodos de cartografia indirecta de base estatística: valor informativo (VI) e análise discriminante.

Já mais recentemente, HENRIQUES (2009) realizou um estudo cujo objectivo consistiu na avaliação da dinâmica de vertentes, no contexto da delimitação da área referente à Reserva Ecológica Nacional (REN) do concelho das Caldas da Rainha, efectuando uma comparação entre o antigo regime jurídico da REN<sup>2</sup> e o estabelecido pelo Decreto-Lei nº 166/2008 de 22 de Agosto, actualmente em vigor. A avaliação da dinâmica de vertentes, através da modelação da susceptibilidade geomorfológica para integração na

---

<sup>2</sup> Decreto-Lei nº 321/1983 de 5 de Junho e Decreto-Lei nº 93/1990 de 19 de Março.

REN, realizou-se em ambiente SIG, construindo 2 modelos preditivos distintos baseados na regressão logística (RL) e no valor informativo (VI). Esta avaliação foi realizada recorrendo a um mesmo inventário de movimentos de vertente obtido através de foto-interpretação, de modo a poder realizar uma comparação entre os dois métodos (HENRIQUES, 2009, p. 90). A autora entendeu ainda ser pertinente testar a aplicação do modelo heurístico utilizado no Plano de Ordenamento do Território da Região do Oeste e Vale do Tejo (PROT-OVT), comparando-o com o método estatístico que obteve melhores resultados (RL), apurando as desvantagens da aplicação do modelo heurístico. PIEDADE (2009) determinou a susceptibilidade de ocorrência de deslizamentos na Área de Lousa-Loures, utilizando na validação do modelo *scores* de uma outra área de estudo, Fanhões-Trancão. Na avaliação da susceptibilidade foi utilizado o método estatístico valor informativo (VI) e foi concluído que é possível realizar um modelo usando informação sobre a instabilidade de outra área, desde que possuam condições de predisposição semelhantes. A autora utilizou como factores de predisposição o declive, a exposição das vertentes, o perfil transversal das vertentes, unidades litológicas e uso de solo, entre outras, que foram igualmente utilizados na presente dissertação, pelo que foi útil analisar a forma como trabalhou estas mesmas variáveis. Outro contributo importante para a realização do presente trabalho foi o processo de construção e análise dos modelos preditivos (PIEADADE, 2009, p. 98-99).

## **1.6. A PRECIPITAÇÃO E O DESENCADEAMENTO DE VERTENTES NA REGIÃO DE LISBOA**

Grande parte dos deslizamentos ocorridos recentemente na região de Lisboa reflecte um claro sinal climático, uma vez que a actividade geomorfológica se tem restringido aos anos mais chuvosos (ZÊZERE, 1996, citado por REIS et al., (2003), p. 8).

Nos fins da década de 60, AMARAL (1968) analisou as cheias de Novembro de 1967, reforçando que as cheias rápidas e as inundações ocorridas na região norte de Lisboa estavam relacionadas com os deslizamentos pela existência de um mesmo mecanismo desencadeador: a precipitação.



Coelho (1979) apresentou uma classificação com base nos movimentos de vertente corridos na zona de Vila Franca, dedicando especial atenção ao deslizamento de Calhandriz, desencadeado por chuvas muito abundantes no inverno de 1978-79.

FERREIRA (1984) viria a confirmar a existência de uma relação entre a precipitação e a instabilidade das vertentes, iniciando os primeiros estudos que permitiriam distinguir episódios de deslizamentos desencadeados por chuvas intensas e concentradas, e episódios de deslizamentos associados a chuvas abundantes e persistentes (ZÊZERE, 1997, p. 430).

Posteriormente, ZÊZERE (2005), numa análise efectuada às causas dos movimentos de vertente, faz referência de forma mais detalhada às causas que contribuem para o enfraquecimento das vertentes, referindo que a diminuição da resistência ao corte se deve à infiltração da água nos solos que conduz à sua saturação, levando a uma diminuição da tensão normal efectiva e a uma quebra de coesão nos solos granulares.

### **1.7. MOVIMENTOS DE VERTENTE VERSUS A VIA-FÉRREA - CUSTOS ASSOCIADOS**

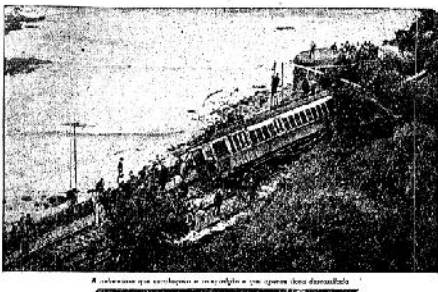
Segundo SHUSTER (1996, p. 15) é possível efectuar uma análise económica dos custos resultantes da instabilidade de vertentes.

Com efeito, os movimentos de vertente, apesar de serem um fenómeno físico, possuem uma componente económica, interferindo no normal desenvolvimento das actividades económicas, bem como na segurança das populações, causando frequentemente prejuízos elevados.

De acordo com ZÊZERE (2005), esta tem sido a principal razão que tem levado a uma consciencialização crescente por parte da população, bem como das entidades responsáveis pela gestão do território, apesar de nos últimos 50 anos não se ter conseguido inverter o elevado crescimento das catástrofes associadas aos movimentos de vertente (ZÊZERE, 2005, p. 35).

Em Portugal, “A tragédia da Gibalta” (Figura 1.2), conforme ficou conhecida no meio ferroviário português, é o maior acidente ferroviário causado por movimentos de vertente.

**UMA HORRIVEL TRAGEDIA NA LINHA DE CASCAIS**



## 7 MORTOS JÁ RETIRADOS DOS ESCOMBROS

### 50 FERIDOS

## HÁ AINDA CADAVERES ESPERADOS

Os trabalhos de salvamento continuam a ser realizados com urgência. Há ainda esperanças de encontrar mais corpos entre os escombros. Os feridos são tratados em hospitais locais e alguns são transferidos para Lisboa.



## UMA CARRUAGEM ESMAGADA NA CURVA DA GIBALTA

### POR UM DESPRENDIMENTO DE TERRAS E ROCHAS

Uma carruagem do comboio de Cascais foi esmagada por um deslizamento de terras e rochas na curva da Gibalta. O acidente ocorreu durante a viagem de regresso a Lisboa. A carruagem foi completamente destruída e os passageiros foram resgatados com dificuldade.



**Declaração de uma reunião do Conselho de Ministros**  
 O Conselho de Ministros reuniu-se esta manhã para discutir o acidente de Cascais. O primeiro-ministro afirmou que o governo está a tomar todas as medidas necessárias para garantir a segurança dos comboios e para apoiar as famílias das vítimas.

**O PAÍS SOB TEMPORAL VIOLENTO**  
 Chuva torrencial em Lisboa causou inundações que chegaram a atingir um metro de altura. As ruas da cidade ficaram alagadas e houve danos materiais em algumas zonas. A situação é preocupante devido ao risco de deslizamentos de terras.

**A VIAGEM MINISTERIAL AO ORIENTE**  
**PARTE PARA A INDIA NA QUINTA-FEIRA**  
**O MINISTRO DO ULTRAMAR**  
 O ministro do Ultramar vai viajar para a Índia na quinta-feira. A viagem é parte de uma série de visitas diplomáticas ao Oriente Médio e à Ásia. O ministro irá visitar a Índia, o Paquistão e o Irão.

**O "VERA CRUZ" NO BRASIL**  
**GETULIO VARGAS**  
**ALMOÇOU A BORDO DO PAQUETE**  
**TENDO SIDO EXALTADO O ESTRATIMENTAMENTO DAS BELIÇÕES**  
 O presidente Getúlio Vargas almoçou a bordo do paquete Vera Cruz. Durante o jantar, o presidente fez um discurso em homenagem às forças armadas e à marinha. Ele destacou o papel crucial das forças armadas na defesa do país e na manutenção da ordem interna.

**O TEJO SOBE DE MINUTO A MINUTO EM VILA VELHA DE RÓDÃO**  
**E AMEAÇA CORTAR AS COMUNICAÇÕES**  
 O rio Tejo sobe rapidamente em Vila Velha de Ródão, ameaçando cortar as comunicações. As autoridades locais estão a tomar medidas para evitar danos maiores. Há preocupação com a segurança das populações que vivem nas margens do rio.

**OS DIAMANTES DA RAINHA**  
**A "ESTRELA DE AFÍCA"**  
**PORTADORA DE FIMCIBARE**  
 A rainha de África do Sul possui uma coleção de diamantes valiosos, incluindo a famosa "Estrela de África". A rainha está a preparar-se para a sua viagem a Portugal. A presença da rainha é considerada uma honra para o país.



Figura 1.2 - Capa do Diário de Notícias, 1 de Abril de 1952, noticiando a tragédia da Gibalta. Fonte: Arquivo do DN.

No dia 31 de Março de 1952 uma composição circulava no sentido Cascais - Cais do Sodré, e foi atingida, pelas 11.45 h da manhã por um movimento de terras, entre Caxias e a Cruz Quebrada. O movimento de vertente atingiu uma das carruagens, resultando na

morte de 10 passageiros e ferindo outros 38, atestando a imprevisibilidade deste tipo de fenómenos.

Segundo os relatos que a gazeta recolheu junto das entidades envolvidas, a forte precipitação que se fazia sentir na altura (referido na capa do Diário de Notícias nº 1544 apresentada na figura 1.2) terá levado à infiltração das águas na vertente, enfraquecendo o talude que sustentava o farol, instabilizando os terrenos que mais tarde viriam a atingir a composição (GAZETA DOS CAMINHOS DE FERRO, nº1544, 1952, p. 67).

De acordo com o Diário de Notícias de 1 de Abril de 1952, um forte temporal terá causado inundações, que chegaram a atingir o metro de altura na cidade de Lisboa.

O farol da Gibalta apesar de não ter sido directamente afectado, viu a sua base sofrer danos estruturais, pelo que após posterior reavaliação viria a ser demolido.

Devido à necessidade de estabilização do talude e à remoção dos detritos resultantes do deslizamento que obstruíram a via-férrea, a circulação de comboios naquele troço da linha de Cascais foi interrompida temporariamente, tendo sido reatada apenas 11 dias após o acidente. Durante esse período de tempo o transporte alternativo foi assegurado por meios rodoviários entre a estação de Caxias e Cruz Quebrada.

Mais a norte do país, a linha do Tua (via-férrea centenária inaugurada em 1887) tem sido alvo de acesos debates sobre uma possível desactivação, devido aos episódios frequentes de instabilidade<sup>3</sup>. Este episódios tem sido amplamente divulgados pelos *média*, destacando-se os acidentes de 12 de Fevereiro de 2007 e 10 de Abril de 2008, que causaram a morte a 3 funcionários e ferimentos em dois passageiros, causados por um desabamento no primeiro caso e pela queda do muro de sustentação da via no segundo caso, o que originou a queda de blocos na plataforma.

Apesar de não terem sido registadas vítimas, no dia 15 de Julho de 2001 ocorreu um deslizamento na linha de cintura, junto á estação do Areeiro, condicionando a circulação ferroviária a uma das vias durante 16 dias. De forma a ultrapassar esta situação rapidamente, devido aos constrangimentos causados, foi construída uma via alternativa com 700 m de extensão, com o custo de 12 milhões de Euros<sup>4</sup>.

Através de uma consulta ao site da empresa FERGRUPO<sup>5</sup> percebe-se rapidamente que existem intervenções frequentes de estabilização de vertentes, nomeadamente na zona

---

<sup>3</sup> Outra razão apontada para o fecho da linha deve-se á instalação de uma barragem, que irá cobrir parte da via-férrea.

<sup>4</sup> [http://www.tsf.pt/PaginaInicial/Interior.aspx?content\\_id=858337&page=-1](http://www.tsf.pt/PaginaInicial/Interior.aspx?content_id=858337&page=-1)

<sup>5</sup> <http://www.fergrupo.pt/projectos/principais-obras-realizadas/linha-do-norte-subtrocos-1-2-1-3-aza>

de Santarém. Nesta mesma área, e na perspectiva de contribuírem para a resolução deste tipo de problemas, GAMA e DELGADO (2009, p. 1) desenvolveram uma metodologia relacionada com a previsão em tempo real de instabilização de taludes, tendo em vista a minimização dos danos que poderão ocorrer para a circulação ferroviária, assim como estabelecer prioridades nas acções de manutenção, permitindo a implementação de medidas de carácter preventivo. O resultado deste trabalho determinou 4 níveis de risco, baseados nas probabilidades de instabilização dos taludes em função da precipitação registada, baseado nos princípios da Telegestão. Este projecto de investigação foi realizado pelo CENTRO DE GEOTECNIA DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO (IST) em conjunto com a REFER, dando origem a mapas de risco geotécnico para uma zona sensível da linha do norte, o vale de Santarém, que ao longo do tempo tem vindo a revelar diversos problemas no campo da instabilidade, chegando a ser equacionada a substituição deste segmento da linha do norte por uma nova variante, denominada variante de Santarém. Contudo, os actuais constrangimentos financeiros acabaram por deixar cair essa opção<sup>6</sup>.

A REFER refere no “Relatório de contas 2006 ” a existência de “acções de conservação e manutenção da rede ferroviária” resultantes de danos nas infra-estruturas, causadas pelas fortes chuvadas ocorridas nos meses de inverno (casos das Figuras 1.3, 1.4 e 1.5).



Figuras 1.3 e 1.4 - Acções de conservação da via-férrea, devido à instabilização de taludes. (Fonte: REFER).

<sup>6</sup> [http://issuu.com/oribatejo/docs/jornal\\_o\\_ribatejo\\_-\\_edicao\\_1323\\_de\\_11\\_marco\\_2011](http://issuu.com/oribatejo/docs/jornal_o_ribatejo_-_edicao_1323_de_11_marco_2011)

Estas acções consistem na reparação dos taludes afectados (Directório da Rede, REFER, 2006, p. 36/37), encontrando-se referidas no “Directório da Rede”. Este é um documento publicado pela REFER (Decreto-Lei 270/2003, revisto e alterado pelo Decreto-Lei 231/2007) que se destina a apresentar as características da rede, bem como fornecer aos potenciais operadores as mais diversas informações sobre a utilização da rede ferroviária nacional.

Para o presente trabalho importa analisar especialmente o Anexo-17 (Principais intervenções programadas) onde se encontram programadas (anualmente) diversas intervenções na via-férrea, demonstrativas da existência de incidentes na via-férrea, causados pela instabilidade de vertentes.

Analisando os Directórios da Rede existentes entre 2009 a 2012<sup>7</sup>, encontraram-se 24 acções programadas de estabilização de taludes, fazendo parte das acções de planeamento anual das acções de reabilitação de via, no âmbito das medidas de manutenção preventiva.



Figura 1.5 - Acção de conservação da via-férrea, devido há à instabilização de vertentes (Fonte: REFER).

No Quadro 1.2 constata-se que desde 2009 este tipo de intervenções têm vindo a aumentar, estando previstos para 2012 três vezes mais intervenções de estabilização de taludes na via-férrea do que em 2009.

---

<sup>7</sup> Os directórios da Rede reportam-se às actividades a desenvolver futuramente, daí existir já um Directório da Rede para 2012;

Nos Directórios da Rede entre 2003 e 2008 a informação não se encontra estruturada de forma a poder identificar a natureza das acções programadas, ou não estão disponíveis;

Quadro 1.2 - Acções de conservação de taludes (programadas)

<b>Directório da Rede</b>	<b>Nº de Acções programadas</b>
2009	3
2010	4
2011	8
2012	9
<b>Total</b>	24

(Fonte: REFER, Directório da rede, 2012)

Este aumento de intervenções não significa necessariamente um aumento dos movimentos de vertente ao longo da via-férrea, podendo ser o reflexo de uma maior consciencialização e consequente monitorização por parte da REFER, com uma maior aposta na aplicação de medidas preventivas em vez de medidas correctivas.

Segundo SHUSTER (1996, p. 15) as empresas de transporte costumam “encaixar” os custos referentes à reparação dos danos resultantes de movimentos de vertente nos custos anuais de manutenção, retirando a possibilidade de perceber realmente quais são os custos envolvidos na estabilização de vertentes.

SCHUSTER (1996, p. 16) refere, a título de exemplo, o caso dos Estados Unidos da América, em que a contabilização dos custos é dificultada pela reparação de pequenos movimentos de vertente pelas equipas de manutenção, dispersando-se estes custos, pelos custos habituais de manutenção e pela não contabilização das ocorrências em áreas privadas, devido ao interesse de não divulgar ocorrências que possam levar à perda de confiança dos clientes nos serviços aí existentes.

Existem outros países em que a tomada de conhecimento dos acidentes ferroviários originados por movimentos de vertente assume grande importância, uma vez que estes dão-se com alguma frequência e são geradores de enormes prejuízos materiais e muitas vezes humanos.

Os serviços de Recursos Naturais Canadianos realizam a inventariação das ocorrências que envolvam a instabilidade de vertentes e a circulação de comboios um pouco por

todo o mundo, tendo o cuidado de registar a data e hora do acidente, a localização pormenorizada bem como os estragos resultantes<sup>8</sup>.

Consultando os registos mais recentes no site oficial, e a título de exemplo, refere-se um movimento de vertente ocorrido dia 1 de Março que interrompeu a ligação entre Portland e Seattle durante 48 horas<sup>9</sup>.

Dia 12 de Março de 2011 foi registada a ocorrência de um grande movimento de vertente que cobriu a via-férrea perto da estação de Echigotanaka (Japão), desta vez devido a um sismo<sup>10</sup>.

Dia 14 de Março de 2011 ocorreram uma série de movimentos de vertente nos Estados Unidos levando ao corte da via-férrea. É referido ainda como informação complementar que esta via foi assolada por mais de 100 deslizamentos devido à forte precipitação verificada no último ano e que um número tão elevado de movimentos só fora verificado em 1996/1997.

Na China, no dia 18 de Junho de 2011, um movimento de vertente desencadeado pela forte precipitação que se fazia sentir, reteve cerca de 5.000 pessoas dentro de 4 composições ferroviárias. A superfície deslizada cobriu a via-férrea, impossibilitando as composições de prosseguir viagem. Os passageiros tiveram de ser socorridos, tendo sido afectados de forma directa, no entanto cerca de 20.000 passageiros foram afectados indirectamente, uma vez que as 14 composições em que deveriam embarcar não puderam partir da estação de CHENGDU, tendo sido necessários dois dias para resolver a situação<sup>11</sup>.

A 12 de Abril de 2010 ocorreu um acidente ferroviário no norte de Itália, na zona de Merano. Este acidente, que segundo as autoridades se deveu a infiltrações de água da chuva, tirou a vida a 9 passageiros e feriu outros 30<sup>12</sup>.

Em síntese, pode dizer-se que os movimentos de vertente causam enormes prejuízos, que muitas vezes não se conseguem contabilizar, seja pela sua dimensão, seja pela forma como as entidades responsáveis, sejam elas públicas ou privadas, agregam e divulgam a informação.

---

<sup>8</sup> [http://gsc.nrcan.gc.ca/landslides/in\\_the\\_news\\_e.php](http://gsc.nrcan.gc.ca/landslides/in_the_news_e.php)

<sup>9</sup> <http://blog.thenewstribune.com/crime/2011/03/01/landslide-near-vancouver-wash-closes-bnsf-mainline/#ixzz1Fa1MFCY4>

<sup>10</sup> [http://www.washingtonpost.com/retransmission-with-/2011/03/12/ABzXbNS\\_photo.html](http://www.washingtonpost.com/retransmission-with-/2011/03/12/ABzXbNS_photo.html)

<sup>11</sup> [http://www.china.org.cn/china/2011-06/18/content\\_22811102.htm](http://www.china.org.cn/china/2011-06/18/content_22811102.htm)

<sup>12</sup> <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/8615002.stm>





## CAPITULO II - ENQUADRAMENTO GERAL DA AML

### 2.1. ESTRUTURA GEOLÓGICA E RELEVO DA AML

Segundo DIAS e PAIS (2009), a AML localiza-se na Bacia Lusitânica e na Bacia do baixo Tejo. A primeira possui uma evolução mesozóica e é constituída essencialmente por rochas sedimentares. Estas rochas encontram-se cortadas por filões de rochas básicas e ácidas, existindo ainda alguns afloramentos de rochas ígneas relevantes, de entre os quais se destacam o Complexo Vulcânico de Lisboa e o diapiro magmático de Sintra. A Bacia do baixo Tejo diferenciou-se no Eocénico, tendo vindo a evoluir durante o Cenozóico até a actualidade. Corresponde à extensa unidade estrutural, que se estende desde o litoral ocidental da Península de Setúbal até à área de *Placência*, em Espanha, com direcção NE-SW (DIAS e PAIS, 2009, p. 39).

A AML situa-se especialmente em dois dos sectores desta bacia:

- O sector distal, integrando a região de Lisboa e a Península de Setúbal, com fácies marinhas, intercaladas com fácies continentais e salobras, devido á sua ligação ao Oceano Atlântico (DIAS e PAIS, 2009, p. 39).
- O sector intermédio, com o Ribatejo e parte do alto Alentejo, onde continuam a identificar-se fácies marinhas e alguns casos de ambientes salobros (DIAS e PAIS, 2009, p. 39).

Observando o mapa litológico da AML (Figura 2.1), verifica-se que existem diferenças significativas na AML, a norte e a sul do Tejo, predominando a Norte rochas graníticas, vulcânicas e rochas sedimentares plásticas, e a Sul depósitos superficiais e rochas sedimentares detríticas.

A superfície topográfica caracteriza-se por possuir uma baixa rugosidade, sendo descrita como um “...promontório que avança pelo Atlântico...constituído por duas penínsulas, a de Lisboa e a de Setúbal...” (PEREIRA, 2003, p. 47).

Segundo PEREIRA (2003), as unidades morfo-estruturais da AML Norte fazem parte da Orla Mesocenozóica. A AML Sul faz parte, na sua quase totalidade, da Bacia Cenozóica do Tejo-Sado. As formas de relevo existentes são moderadas, encontrando-se os pontos mais elevados nas serras de Sintra e Arrábida (528 metros na Pena e 501 metros no Formosinho, respectivamente).

A AML é marcada pela presença destas duas formas de relevo, que condicionam fortemente a geomorfologia regional.

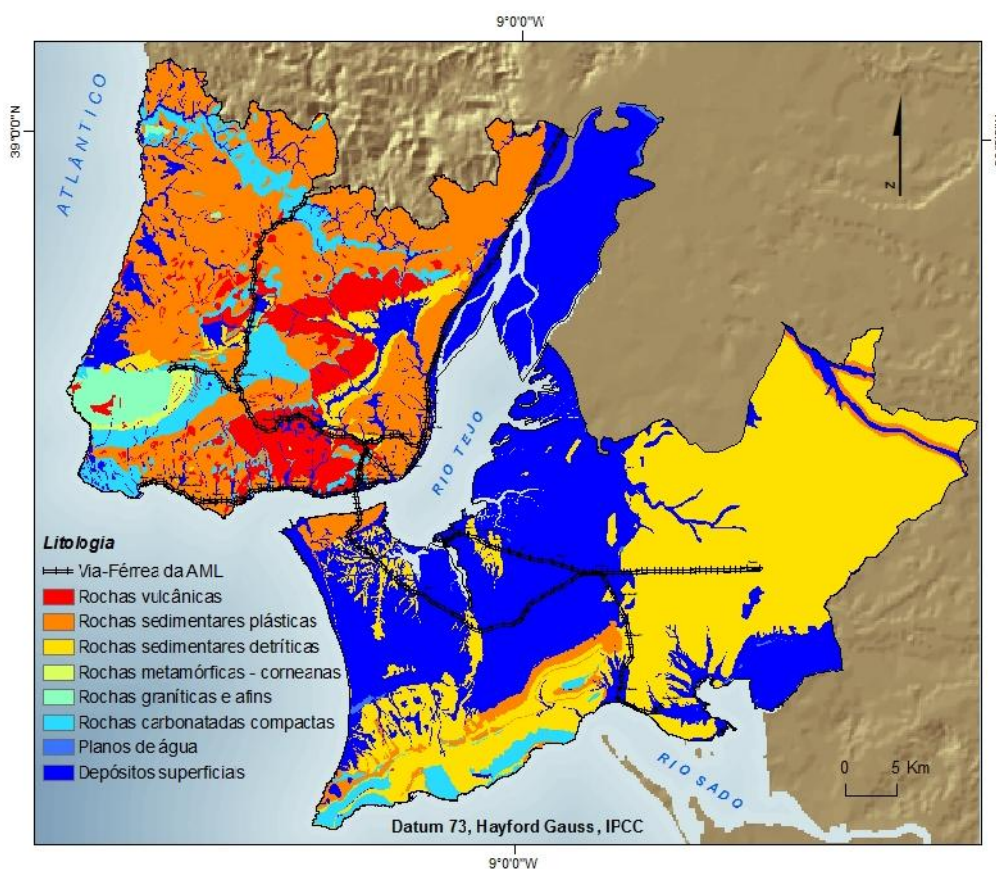


Figura 2.1- Litologia da AML

A serra de Sintra situa-se na AML Norte e é o resultado da ascensão continuada de um maciço magmático, que viria a empolar a cobertura sedimentar existente. Este movimento que já dura há 82 milhões de anos é responsável pela sua actual forma elíptica com 10 km por 5 km (50 km<sup>2</sup>) e pela orientação Este-Oeste em “Doma” dissimétrico, com vertentes suaves no lado Sul, e mais abruptas a Norte (PEREIRA, 2003, p. 47).

Quanto á Serra da Arrábida, ORLANDO RIBEIRO descreve-a em “A Arrábida, esboço geográfico” (RIBEIRO, 2004, p. 11), como uma “...pequena região montanhosa situada na parte meridional da península de Setúbal; limitada a Sul e Oeste pelo Oceano, confina a Norte e a Oriente com as terras baixas e arenosas que ocupam a maior parte dessa península...”. Ainda segundo RIBEIRO (2004, p. 19), a serra da Arrábida teve a sua origem durante a era Terciária devido à acção de fortes movimentos orogénicos, aos quais viria a juntar-se-lhes posteriormente uma acção erosiva nos diversos anticlinais

existentes, acabando por lhe conferir as suas formas actuais, com os relevos principais orientados de ENE para OSO, que se estendem desde Setúbal até 5 km para Oeste do cabo Espichel, ocupando uma área de cerca de 210 km<sup>2</sup>.

## **2.2. MOBILIDADE NA AML**

A AML situa-se no Sudoeste de Portugal Continental e é a área metropolitana mais ocidental da União Europeia. Possuindo uma faixa ocidental atlântica com 150 km de comprimento é banhada por uma frente ribeirinha que atinge os 200 km de comprimento, sendo atravessada por dois grandes estuários, o Tejo e o Sado, destacando-se o primeiro, por ser considerado o maior estuário da Europa, com cerca de 320 km<sup>2</sup>, onde desagua o maior rio da Península Ibérica.

Segundo COSTA (referindo GASPAR, 1997), este mesmo Tejo possui condições privilegiadas para o tráfego fluvial que, ao separar a área metropolitana em dois, criou um efeito de barreira, que apenas perdeu expressão com a introdução dos modos de transportes motorizados, primeiro os ferroviários, o comboio ao nível regional e o eléctrico ao nível da cidade de Lisboa, e mais tarde o transporte rodoviário (COSTA, 2007, p. 343).

O Tejo funcionou no passado como um interface das relações ao longo da margem norte, nomeadamente entre Lisboa e Santarém. A ligação entre a margem norte e a margem sul permitiu a constituição de um arco ribeirinho de desenvolvimento urbano a sul e um eixo urbano que se estende de Lisboa a Vila Franca de Xira, que ainda hoje marcam o território metropolitano (COSTA, 2007, p. 343).

A cidade de Lisboa destaca-se como pólo central das deslocações pendulares de toda a periferia, o que levou COSTA (2007) a considerar que o território metropolitano se divide em 3 unidades distintas para efeitos de análise da mobilidade:

- Lisboa;
- Concelhos da margem norte (excepto Lisboa);
- Concelhos da margem sul;

Contudo, esta centralidade tem vindo a escamotear-se ao longo das últimas décadas, uma vez que tem havido uma reconfiguração do espaço metropolitano, dispersando-se a

função residencial, assistindo-se igualmente a uma desconcentração das actividades económicas bem como à deslocalização do emprego. (COSTA, 2007, p. 344).

Ainda segundo COSTA (2007, p. 346), durante a década de 40 a AML teve um crescimento de cerca de 200 mil habitantes, duplicando mais tarde este valor entre 1950 e 2001. A margem norte, sem a cidade de Lisboa, cresceu quase 4,5 vezes e a margem sul três vezes, enquanto a cidade de Lisboa perdeu mais de um de quarto da população que detinha em 1950. Este crescimento tenderia a estabilizar a partir da década de 80 ao atingir os 2,5 milhões de habitantes, apesar de entre concelhos continuarem a dar-se alterações significativas.

Verificando-se a existência de uma relação entre a desconcentração residencial e o crescimento dos diferentes tipos de transporte, COSTA (2007) analisou 3 momentos distintos:

- O primeiro momento, 1950, marca o início da expansão do crescimento dos subúrbios.
- No segundo momento, 1970, inicia-se o declínio da cidade de Lisboa como centro residencial.
- O terceiro momento, 2001, corresponde ao período mais recente, marcado pela manutenção das tendências dos períodos anteriores.

Percebe-se que a cidade cresceu, ultrapassando os limites administrativos, dando continuidade ao tecido urbano, com densidades de procura equivalentes, suficientes para a operação do transporte público e para a definição de novas centralidades, proporcionando condições para uma maior diferenciação funcional e gerando procura de transporte para deslocações que não terão apenas como destino o centro de Lisboa (COSTA, 2007, p. 370).

A estrutura etária da população sofreu alterações devido a este crescimento, verificando-se um aumento da população mais idosa, acompanhado de um crescimento da população adulta. Inversamente, deu-se uma redução da população mais jovem (Costa, 2007). Em 1981 existiam cerca de quarenta e dois idosos por cada cem jovens, tendo, vinte anos depois, passado para os cento e quatro idosos por cada cem jovens, o que demonstra o rápido aumento do índice de envelhecimento da AML (COSTA, 2007, p. 355).

Segundo COSTA (2007), a mobilidade relaciona-se com a capacidade que cada um possui de se deslocar entre dois pontos recorrendo aos diferentes modos de transporte

disponíveis. Os obstáculos comuns à mobilidade são a distância, a rede hidrográfica, o relevo e as condições meteorológicas, elementos que constituem normalmente o que se considera como o “*atrito*” natural do espaço (COSTA, 2007, p. 24).

No seu interior, destaca-se a cidade de Lisboa, que funciona como elemento central e polarizador (JULIÃO, 2003, p. 229) onde residem habitualmente cerca de 2,7 milhões de habitantes (INE, 2001; Quadro 2.1) equivalendo a uma densidade populacional de 859 hab/km<sup>2</sup>, é considerada a região do território nacional com maior dinamismo económico e social. (COSTA, 2007, p. 344).

**Quadro 2.1 – Habitantes por Concelho Fonte: Atlas Digital AML (2001)**

<b>Concelhos AML</b>	<b>Habitantes (1000)</b>
Alcochete	12.831
Almada	159.55
Amadora	174.788
Barreiro	78.146
Cascais	168.827
Lisboa	556.797
Loures	198.685
Mafra	54.285
Moita	67.064
Montijo	38.541
Odivelas	132.971
Oeiras	160.147
Palmela	53.258
Seixal	150.095
Sesimbra	36.839
Setúbal	113.48
Sintra	363.556
Vila Franca de Xira	143.089
<b>Total Hab.</b>	<b>2.662.949</b>

Actualmente a AML ocupa cerca de 3,3 % do território nacional, e concentra ¼ da população portuguesa (SOARES e DOMINGUES, 2003, p. 121) mas já na década de 70 a região onde hoje se insere a AML representava cerca de 30 % do valor bruto de produção industrial nacional, além de aglomerar várias das funções mais importantes do País (COSTA, 2007, p. 345). A AML, com uma área 3.122 km<sup>2</sup>, é composta 18 Concelhos (Figura 2.2).

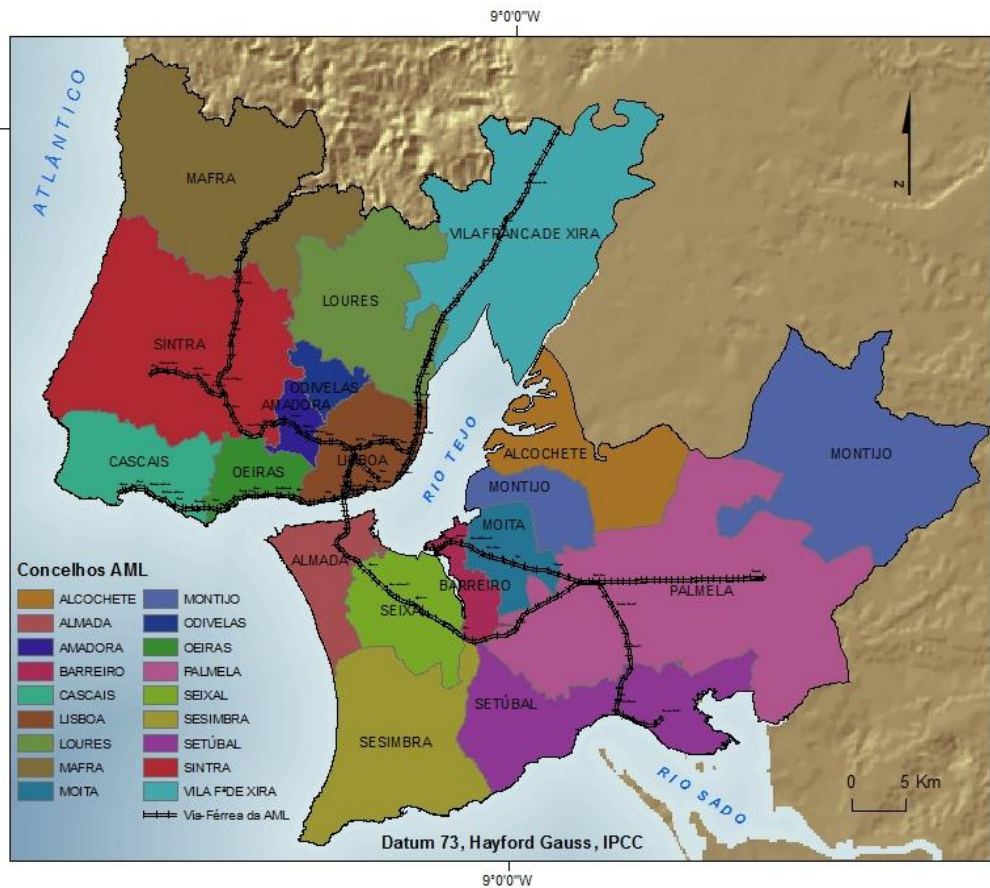


Figura 2.2- Concelhos da AML

Hoje em dia esta região é responsável pela criação de 33% do emprego existente no País, dado que aqui que se encontram cerca de 30% das empresas nacionais, acabando por contribuir com mais de 36% do PIB nacional, o que permite aferir da importância que esta área têm para Portugal.<sup>13</sup>

Segundo o “Relatório do Estado do Ordenamento do Território” de 20 de Janeiro de 2009 (REOT, MOBILIDADE e TRANSPORTES, 2009, p. 320), existem cerca de 1 milhão e 381 mil activos (empregados e estudantes com 15 anos ou mais) que utilizam diariamente o espaço da AML para realizarem as suas actividades, seja para efeitos de trabalho, estudo ou lazer. A mobilidade depende da forma como estes activos se movimentam através dos vários tipos de transporte existentes na AML.

Dados do INE (2001) referem que foram realizadas em 2001 cerca de 265.000 deslocações diárias a partir de outros destinos para a cidade de Lisboa, a grande maioria proveniente dos outros concelhos metropolitanos da margem Norte do Tejo.

<sup>13</sup> <http://www.aml.pt/index.php?&iLevel1=gaml&iLevel2=territorio&iContent=index.html>

Segundo COSTA (2007) o sistema de transportes colectivos de passageiros da área metropolitana foi responsável pelo transporte de mais de oitocentos e vinte milhões de passageiros, um pouco mais de metade na cidade de Lisboa (52%), cerca de um quinto na margem sul (19%) e o restante na margem norte (29%), em 2005.

COSTA refere ainda que nas últimas três décadas a procura de transporte aumentou significativamente, em especial a partir da década de setenta, ultrapassando-se os mil e cem milhões de passageiros no final da década de oitenta e no início dos anos noventa (COSTA, 2007, p. 379).

A procura individual de transporte caracteriza-se pela tentativa de maximizar a utilidade da deslocação de acordo com as características socioeconómicas do utilizador e com as diferentes alternativas que se colocam para a sua realização, tendo em atenção um conjunto mais ou menos alargado de restrições como o custo monetário associado à deslocação, o tempo de deslocação, o conforto proporcionado na deslocação, a oportunidade da sua realização, a disponibilidade de transporte individual ou público, entre outras, sendo a procura de transporte no fundo determinada pela utilidade da realização de uma deslocação (COSTA, 2007, p. 58).

No entanto, e apesar do forte investimento em políticas de incentivo à utilização do transporte colectivo de passageiros em detrimento do transporte individual, as grandes obras de melhoramento das infra-estruturas rodoviárias realizadas ao longo dos últimos dez anos causaram um efeito contrário ao pretendido, potenciando a estrutura da rede viária da AML, levando ao aumento da utilização do transporte individual motorizado em detrimento do transporte colectivo (JULIÃO, 2003, p. 231).

A criação de condicionalismos ao trânsito, através da interdição da circulação automóvel nas zonas mais movimentadas da cidade ou através da reorganização do estacionamento e do aumento das taxas de estacionamento, não foi suficiente para contrariar a tendência de utilização do transporte individual nas deslocações diárias entre a periferia e o centro da cidade, continuando a registar-se congestionamentos no acesso à capital, sobretudo durante as chamadas “horas de ponta” (JULIÃO, 2003, p. 231). Esta realidade é corroborada pelo aumento da taxa de motorização em 6%, de 391 para 471 veículos/1000 Habitantes/Ano, de 2003 para 2004 (REOT, MOBILIDADE e TRANSPORTES, 2009, p. 235).

O fracasso das medidas de incentivo à utilização dos transportes colectivos de passageiros explica-se, em certa medida, pela deficiente integração dos tarifários nos

sistemas de transportes, sendo este um dos pontos fracos apontado pelo REOT na sua análise ao sistema de transportes existente na AML (REOT, Análise SWOT, 2009).

Pelas razões cima apontadas, a mobilidade no interior da AML tem vindo a ser fortemente condicionada nos últimos anos, existindo uma procura de transportes públicos bastante diversificada, uma vez que dentro da cidade de Lisboa as necessidades de mobilidade são diferentes das do seu exterior.

### **2.3. TRANSPORTE FERROVIÁRIO NA AML**

A primeira ligação ferroviária da AML, entre Lisboa e Santarém, foi inaugurada, a 17 de Setembro de 1835. No dia 30 de Setembro de 1889 foi inaugurado o primeiro troço de Cascais a Pedrouços, dando início à actual linha de Cascais.

Em 1856 foi inaugurado o troço Lisboa – Carregado, o que consistiu na primeira ligação ferroviária da AML ao longo da margem direita do rio Tejo, aumentando a mobilidade da população de Lisboa, entre Lisboa e Azambuja (COSTA, 2007, p. 385).

Em 1887 foi criada a Linha do Oeste passando a circulação de comboios a realizar-se entre Lisboa, Cacém e o ramal de Sintra. Numa primeira fase (1887) este serviço realizou-se a partir de Alcântara, mais tarde (1888), passaria a realizar-se a partir de Benfica. Por fim, em meados de 1891, este serviço estendeu-se a partir do centro da cidade de Lisboa, mais propriamente da estação do Rossio (COSTA, 2007, p. 384).

Actualmente, o transporte ferroviário a norte do Tejo é garantido pela CP que, enquanto empresa pública, é responsável pela exploração do serviço urbano de passageiros nas linhas de Sintra, Cascais e Azambuja. A sul, a FERTAGUS, sociedade anónima de capitais privados, é a concessionária da exploração do serviço entre Lisboa e Setúbal, através da ponte 25 de Abril, depois de ter vencido o concurso internacional para a concessão do serviço, primeiro entre Lisboa e o Fogueteiro, depois até Setúbal, por aditamento ao contrato de concessão assinado em 2004 (COSTA, 2007, p. 386)

Actualmente a rede ferroviária da AML (Figura 2.3) possui uma extensão de 412 km, onde operam diversos operadores ferroviários (CP, FERTAGUS, CP CARGA, TAKARGO e COMSA) tanto de passageiros como de mercadorias.



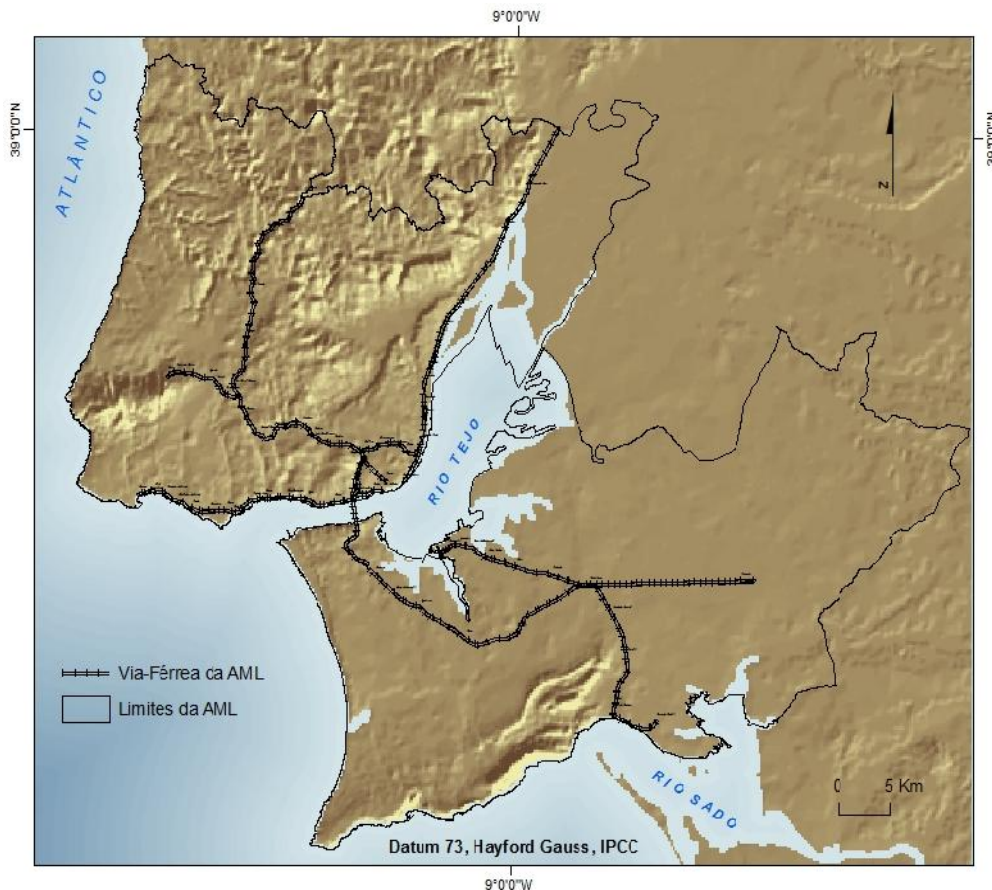


Figura 2.3- Rede ferroviária da AML

Nos últimos anos foram realizados alguns investimentos nas infra-estruturas ferroviárias da AML, com o objectivo de aumentar a oferta deste modo de transporte, existindo hoje uma rede ferroviária bastante moderna, que cobre os principais eixos de desenvolvimento urbano da região.

Apesar destes investimentos, continuam a observar-se assimetrias face à oferta do serviço suburbano ferroviário de passageiros entre a AML Norte (que possui várias ligações entre a zona Oriental e a zona Ocidental), e a AML Sul, onde apenas existem duas ligações, ligação praias do Sado - Barreiro e a ligação entre Setúbal e a estação de Roma/Areeiro, através do Eixo Norte/Sul.

Apesar dos indicadores estatísticos darem conta que o meio de transporte colectivo rodoviário de passageiros possui uma maior importância nas deslocações diárias (64%), o transporte ferroviário de passageiros tem vindo a afirmar-se nos últimos anos como uma verdadeira alternativa ao transporte rodoviário de passageiros (19%).

Exemplo disso mesmo tem sido o crescimento da procura da utilização da CP na linha de Sintra, Cascais, Azambuja e Sado, assim como o contínuo crescimento da procura da FERTAGUS no eixo Norte/Sul desde a sua inauguração (INE, 2001).

Diariamente, na linha de Sintra, circulam em média 272 composições, deslocando cerca de 161.580 passageiros. A partir desta linha existe a ligação Regional entre a Agualva-Cacém e a Figueira da Foz, (linha do Oeste), que transporta em média 1.677 passageiros (20 circulações diárias).

A linha da Azambuja tem a circular entre as estações Azambuja/Alcântara ou Azambuja/Santa Apolónia 157 circulações diárias, que transportam em média 112.023 passageiros.

Na linha de Cascais deslocam-se em média 73.177 passageiros, entre as estações Cascais/Cais do Sodré, distribuídos pelas 221 circulações diárias.

Na linha do Sado, a ligação entre as estações de Praias do Sado/Barreiro<sup>14</sup> é realizada diariamente por 61 circulações, transportando em média 9.315 passageiros por dia.

A FERTAGUS realiza diariamente a ligação entre a AML Sul e a AML Norte (Setúbal e Roma/Areeiro), transportando cerca de 85 mil passageiros, realizando cerca de 127 circulações<sup>15</sup>.

Em síntese, diariamente são transportados cerca de 410 mil passageiros na rede ferroviária da AML, distribuindo-se por 735 circulações diárias e ocupando cerca de 63 estações (AMORIM, 2007)<sup>16</sup>. Este movimento representa, segundo o GPERI<sup>17</sup>, 77,6 milhões de passageiros, segundo dados do primeiro semestre de 2009, o que permite aferir da importância deste modo de transporte.

## **2.4. GESTORA DA REDE FERROVIÁRIA, A REFER**

A REFER E.P. surgiu em 1997, concretizando-se a separação das responsabilidades, pela construção, renovação, conservação e gestão da infra-estrutura ferroviária, que

---

<sup>14</sup> <http://www.cp.pt/cp/displayPage.do?vgnextoid=3836d5abe2a74010VgnVCM1000007b01a8c0RCRD>

<sup>15</sup> <http://www.rostos.pt/inicio2.asp?cronica=41505&mostra=2&seccao=as-empresas&titulo=ALMADA-Fertagus-celebra-11.-aniversar>

<sup>16</sup> <http://www.adfer.pt/sessoes/cp.pdf>

<sup>17</sup> Boletim de conjuntura do modo ferroviário, GPERI, 2009

ficaria a cargo da REFER, e pela exploração do transporte ferroviário, que se manteve na esfera da CP<sup>18</sup>.

Actualmente os principais objectivos da REFER consistem em prestar “... *um serviço público, no qual se engloba a gestão da infra-estrutura integrante da rede ferroviária nacional, a construção e modernização da referida infra-estrutura, oferecendo ao mercado uma rede ferroviária fiável e de qualidade, na perspectiva da optimização do serviço ao cliente. A modernização da Empresa quer ao nível tecnológico, quer ao nível do desenvolvimento dos seus colaboradores e da sua organização, consiste noutro objectivo, sempre salvaguardando a disponibilidade da rede e a integridade do património, de forma a garantir a eficácia social, económica e financeira da empresa, potenciando assim novas oportunidades de negócio...*”<sup>19</sup>.

A produção de cartografia de susceptibilidade enquadra-se nos objectivos definidos pela REFER, sendo esta uma das mais-valias deste trabalho, uma vez que o estudo da Risco de ocorrência de movimentos de vertente na rede ferroviária da AML poderá dar um contributo importante na criação e na aplicação de medidas de carácter preventivo, com vista à protecção da integridade do território que a REFER tem seu cargo.

---

<sup>18</sup>[http://www.cp.pt/StaticFiles/Imagens/PDF/Institucional/orientacoes\\_estrategicas/capitulo1\\_a\\_orientacoes\\_estrategicas\\_sector\\_ferrovuario.pdf](http://www.cp.pt/StaticFiles/Imagens/PDF/Institucional/orientacoes_estrategicas/capitulo1_a_orientacoes_estrategicas_sector_ferrovuario.pdf)

<sup>19</sup> <http://www.refer.pt/>



## **CAPITULO III – SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) E OS INSTRUMENTOS DO ORDENAMENTO E DE ANÁLISE DE RISCO**

A utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), pela possibilidade de manipulação de grandes volumes de dados espaciais, facilita a determinação do comportamento futuro dos diversos fenómenos naturais, através da criação de modelos de avaliação da susceptibilidade. Estes baseiam-se em métodos quantitativos, com graus de complexidade cada vez mais elevados, contribuindo significativamente para a produção de um ordenamento do território mais consciente dos riscos a que se encontra exposto e mais preventivo.

A inclusão dos riscos no ordenamento do território tornou-se obrigatória desde a criação do Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT), o programa direccionado para o território nacional mais ambicioso desde sempre realizado.

### **3.1. OS SIG E O PLANO NACIONAL DA POLITICA DE ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO (PNPOT)**

Os SIG passaram a ter maior participação no processo de ordenamento do território em Portugal, com a entrada em vigor da lei nº 58/2007 a 4 de Setembro, que aprovou o Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT), referindo-se no artigo 5º a “Orientações estratégicas para o âmbito nacional e programa das políticas”, alínea 2, definindo alguns objectivos estratégicos para Portugal, tais como “...*prevenir e minimizar os riscos...*” permitindo a incorporação de cartografia de Risco nos Instrumentos de Gestão Territorial (IGT)<sup>20</sup>.

A política de ordenamento do território, conforme vem descrita na respectiva Lei de Bases<sup>21</sup> tem por objecto a ponderação e harmonização dos distintos interesses que se exprimem no território, assim como a organização espacial das actividades humanas, sempre numa óptica de compatibilização de interesses e de protecção e valorização

---

<sup>20</sup> Diário da República 170/2007, p. 6126

<sup>21</sup> Lei n.º 48/98, de 11 de Agosto

sustentável dos recursos territoriais a médio e longo prazo, podendo ter expressão a nível nacional, regional e nacional (JULIÃO et al., 2009, p. 12).

O PNPOT funcionou face ao ordenamento, como um elemento estratégico, ao realizar um diagnóstico sobre o território nacional identificando 24 grandes problemas que Portugal terá de enfrentar nos próximos anos no domínio do ordenamento do território. Segundo o “Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a Criação de Sistemas de Informação Geográfica de Base Municipal” (GM), três dos problemas inicialmente referidos estão relacionados com situações de risco (JULIÃO et al., 2009, p. 14)., o que atesta a importância que a gestão preventiva de riscos representa no contexto das políticas de ordenamento nacionais, sendo considerado uma condicionante fundamental da organização das várias componentes do modelo, constituindo um objectivo do programa das políticas do PNPOT e um elemento obrigatório dos IGT.

De forma a poder ser dada uma resposta específica para cada um destes 24 problemas, estes foram agrupados em seis grandes domínios:

- Recursos naturais e gestão de riscos;
- Desenvolvimento urbano e rural;
- Transportes, energia e alterações climáticas;
- Competitividade dos territórios;
- Infra-estruturas e serviços colectivos;
- Cultura cívica, planeamento e gestão territorial;

Entre estes importa salientar para efeitos do presente trabalho, o domínio dos recursos naturais e a gestão de riscos, onde foram identificados os seguintes temas:

- Degradação do solo e riscos de desertificação, agravados por fenómenos climáticos (seca e chuvas torrenciais) e pela dimensão dos incêndios florestais;
- Degradação da qualidade da água e deficiente gestão dos recursos hídricos;
- Insuficiente desenvolvimento dos instrumentos de ordenamento e de gestão das áreas classificadas integradas na Rede Fundamental de Conservação da Natureza;
- Insuficiente consideração dos perigos nas acções de ocupação e transformação do território, com particular ênfase para os sismos, os movimentos de massa, os incêndios

florestais, as cheias e inundações e a erosão das zonas costeiras (JULIÃO et al, 2009, p. 13).

O PNPOT foi o primeiro instrumento de gestão territorial moderno que teve em conta os riscos e as vulnerabilidades espaciais, valorizando a utilização dos SIG enquanto ferramenta privilegiada no processo de gestão territorial, constituindo-se como um instrumento de suporte às actividades de planeamento e gestão municipal, acompanhando a as dinâmicas urbanísticas decorrentes das transformações do território (Tenedório et al., 2003, p. 16).

A importância que a cartografia de risco assume no âmbito deste Programa, é reforçada pela obrigatoriedade de criação de cartografia de risco de base municipal nos Planos Directores Municipais (PDM) e nos Planos Municipais de Emergência (PME), (JULIÃO et al, 2009, p. 11) assim como pelo estabelecimento de 4 grandes vectores estruturais de identificação e organização espacial dos recursos territoriais, dos quais importa salientar o Risco.

A análise dos Riscos viu crescer a sua importância nas últimas décadas, devido ao conhecimento gradual da acção dos fenómenos perigosos. Por outro lado, o incremento da exposição do território aos Riscos, cada vez mais complexos, acabou por captar a atenção da sociedade, que é hoje muito mais exigente no que respeita aos níveis de segurança dos territórios.

### **3.2. O GUIA METODOLÓGICO PARA A PRODUÇÃO DE CARTOGRAFIA DE BASE MUNICIPAL DE RISCO E PARA A CRIAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) DE BASE MUNICIPAL**

A obrigatoriedade que o PNPOT introduziu na criação de cartografia de Risco de base municipal nos Planos Directores Municipais (PDM) e nos Planos Municipais de Emergência (PME), consistiu numa oportunidade única para definir e aplicar regras e conceitos, que em conjunto resultassem numa metodologia transversal a todos os municípios, permitindo-lhes estabelecer políticas comuns de ordenamento a uma escala regional (JULIÃO et al, 2009, p. 11).

Através do Despacho n.º 27660/2008, de 29 de Outubro de 2008, dos Secretários de Estado da Protecção Civil e do Ordenamento do Território e das Cidades, foi definida a

criação do “Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal” (JULIÃO et al, 2009, p. 11). O GM foi produzido pela Autoridade Nacional da Protecção Civil (ANPC) em colaboração com a Direcção-Geral de Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano (DGOTDU) e com o Instituto Geográfico Português (IGP), auxiliados por uma equipa de especialistas oriundos do meio académico (JULIÃO et al, 2009, p. 11).

O documento final foi elaborado de acordo com a Directiva INSPIRE<sup>22</sup> cujo objectivo pretende estabelecer um quadro legal para a criação da Infra-estrutura Europeia de Informação Geográfica.

Esta Directiva encontra-se transposta para o quadro jurídico nacional pelo Decreto-Lei n.º 180/2009, de 7 de Agosto, que aprova o regime do Sistema Nacional de Informação Geográfica o que afere a sua regulamentação técnica (JULIÃO et al, 2009, p. 12).

Os objectivos do GM assentam em 3 pontos:

- Identificar e seleccionar os tipos de perigos naturais, tecnológicos e mistos significativos a considerar na dupla vertente orientada para a análise e avaliação de riscos e para a definição das orientações metodológicas particulares na produção da cartografia;
- Definir normas técnicas para a produção de cartografia temática de risco de âmbito municipal, incluindo a harmonização dos conceitos, tipologias, designações e formas de representação gráfica;
- Definir orientações técnicas para a construção dos SIG de base municipal, no que respeita a levantamento, monitorização e validação dos dados sobre os riscos naturais e tecnológicos existentes, com o intuito de reforçar a prevenção e o apoio à decisão dos gestores municipais nas melhores soluções de ordenamento e de planeamento de emergência (JULIÃO et al, 2009, p. 11).

Conforme já foi mencionado, os movimentos de vertente estão contemplados no sistema de prevenção de riscos do PNPOT. Adicionalmente, as áreas de instabilidade de vertentes integram também a Reserva Ecológica Nacional (REN), no âmbito de um dos objectivos do regime jurídico relativamente á gestão de riscos naturais (JULIÃO et al, 2009, p. 16). Por último, os movimentos de vertente fazem parte da lista dos riscos

---

<sup>22</sup> Directiva 2007/2/EC do Parlamento Europeu e do Conselho, de 14 de Março de 2007



específicos a considerar nos Planos Especiais de Emergência (PME) (JULIÃO et al., 2009, p. 19).

De modo a proceder á identificação dos perigos relevantes de serem representados cartograficamente, recomenda-se a aplicação das fichas de susceptibilidade (ANEXO I, p. 64) na fase de caracterização e diagnóstico de revisão do PDM (JULIÃO et al, 2009, p. 35).

Importa referir, tendo em conta o objectivo desta dissertação, que o GM refere a existência de elementos expostos que são considerados estratégicos, vitais e ou sensíveis, incluindo aí as infra-estruturas ferroviárias.



## **CAPITULO IV – METODOLOGIA E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO**

Neste capítulo pretende-se explicar as metodologias aplicadas na criação dos modelos utilizados na presente dissertação. É ainda descrito o tratamento dado às variáveis, permitindo um melhor entendimento da construção do trabalho.

A área de trabalho correspondente à AML (2011) é coberta por imagens digitais compostas por 29.347.791 pixéis de 10 m. A rede ferroviária da AML, alvo da análise de risco, é composta por 35.381 pixéis, igualmente de 10 m.

### **4.1. INVENTARIAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE NA AML**

A realização do inventário dos movimentos de vertente (Figura 4.1) constitui uma peça chave na elaboração da cartografia de susceptibilidade geomorfológica da AML, uma vez que a identificação dos movimentos de vertente existentes no terreno é fundamental no processo de modelação (JULIÃO et al, 2009).

A não existência de um inventário de movimentos de vertentes com cobertura total da área de estudo levou à necessidade de criação uma base de dados, contendo informação relativa à localização e dimensão dos movimentos de vertente. O inventário foi baseado na foto-interpretação de 199 ortofotomapas digitais georreferenciados (2004, pixel = 0,5 m), que representam a totalidade da AML.

De modo a realizar o inventário, a área de estudo foi analisada seguindo a metodologia sugerida por GUILLARD (2009). Durante a observação dos ortofotomapas, foi criada uma máscara com base no mapa de declives, assumindo-se que não deverão ocorrer instabilidades em vertentes com declive abaixo de 5°.

De acordo com a Figura 4.2 foram analisadas pormenorizadamente todas as áreas cujas vertentes apresentassem uma deformação das curvas de nível (formato amendoado) e todas as zonas de acumulação de materiais distintos aos das áreas circundantes (diferentes tonalidades), tendo em conta os parâmetros previamente definidos e utilizados por GUILLARD (2009).

Importa referir que o exercício de inventariação, baseado exclusivamente na foto-interpretação, possui uma margem de erro, pelo que uma validação posterior baseada na

observação directa dos fenómenos no campo constituiria um passo fundamental para eliminar essa margem de erro.

No entanto, a dimensão da área estudada neste trabalho, aliada a dificuldades de acesso a alguns locais e o tempo necessário à realização do trabalho de campo, inviabilizaram o procedimento de validação *in situ* do inventário, podendo realizar-se futuramente, no desenvolvimento deste ou de outros trabalhos.

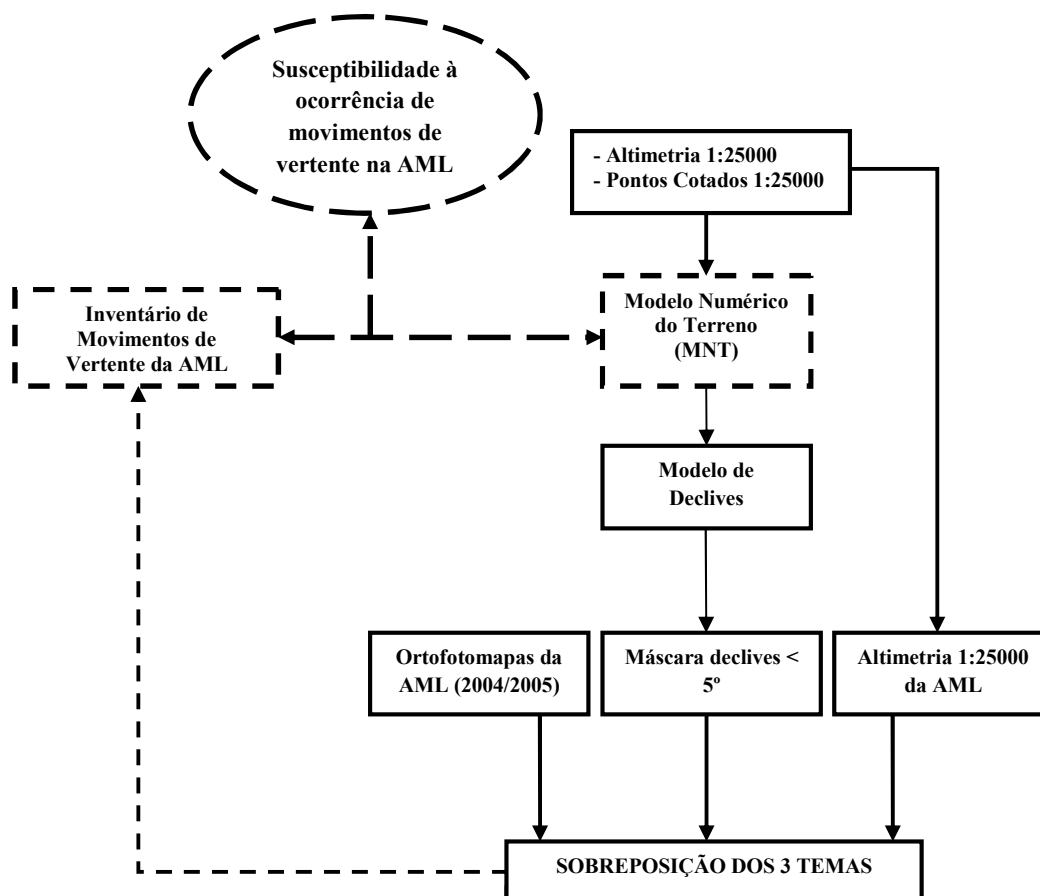
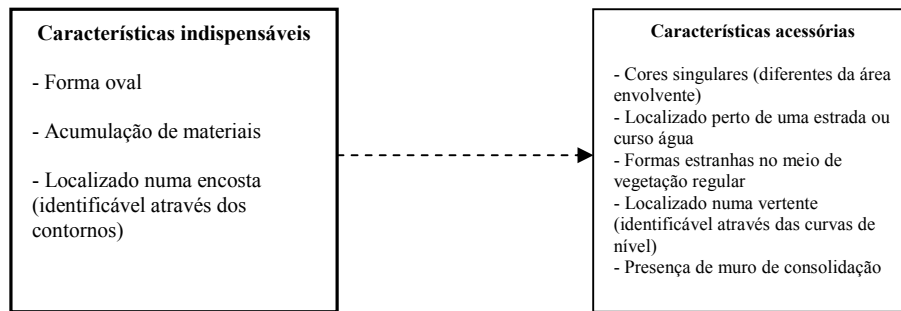


Figura 4.1 – Inventário de Movimentos de Vertente

Relativamente ao inventário realizado durante o presente trabalho, foram excluídos os movimentos de vertentes ocorridos nas áreas costeiras, por possuírem dinâmicas diferentes, devido às características geomorfológicas peculiares do litoral (HENRIQUES, 2009, p. 70). De igual modo, não foram considerados movimentos de vertentes resultantes da acção antrópica (e.g. ao longo de taludes de estrada) uma vez que a acção do Homem não é uma variável analisada neste estudo.



**Figura 4.2 – Características indispensáveis e acessórias para a identificação de um deslizamento através de foto- interpretação (Guillard, 2009, p. 19)**

Numa primeira fase deste processo foram identificados 162 movimentos. No entanto, uma segunda observação mais cuidada e supervisionada por um geomorfólogo experiente (José Luís Zêzere) levou à eliminação de 71 movimentos, incorrectamente assinalados. Foram então assim correctamente validados 91 movimentos de vertente, que integraram a base de dados denominada “Inventário de movimentos”.

Devido à incerteza inerente ao processo de inventariação utilizado neste trabalho, optou-se por não subdividir os movimentos em função da respectiva tipologia.

Esta base de dados, originalmente criada em formato vectorial, foi convertida para o formato matricial, passando a ter 5013 pixéis, ao qual foi atribuído o sistema de coordenadas “Datum 73, Hayford Gauss, IPCC” permitindo assim a sua correcta sobreposição aos restantes temas.

O inventário dos movimentos de vertente (Figura 4.3) foi posteriormente dividido em duas partes, aleatoriamente e de forma homogénea, através do software ArcGis. Esta partição foi efectuada para fins de modelação, nomeadamente para a validação dos modelos de susceptibilidade.

O Quadro 4.1 sistematiza as principais características do inventário total e das suas partições.

Quadro 4.1 – Quadro resumo do Inventário dos Movimentos de Vertente

Movimentos de Vertente	Grupo 1 (G1)	Grupo 2 (G2)	Total (G1+G2)
Tamanho Mínimo (m <sup>2</sup> )	200 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>	300 m <sup>2</sup>
Tamanho Máximo (m <sup>2</sup> )	33.500 m <sup>2</sup>	40.600 m <sup>2</sup>	40.600 m <sup>2</sup>
Média (m <sup>2</sup> )	5.600 m <sup>2</sup>	5.400 m <sup>2</sup>	5.500 m <sup>2</sup>
D.P. (m <sup>2</sup> )	6.600 m <sup>2</sup>	6.300 m <sup>2</sup>	6.500 m <sup>2</sup>
Nº de MV	46	45	91
Área total (m <sup>2</sup> )	260.100 m <sup>2</sup>	241.200 m <sup>2</sup>	501.300 m <sup>2</sup>

A dimensão média e o desvio padrão dos movimentos das duas partições têm valores muito próximos entre si, indicando que estamos perante uma elevada homogeneidade, que é confirmada não só pelo número de movimentos que fazem parte de cada conjunto mas igualmente pela sua área total.

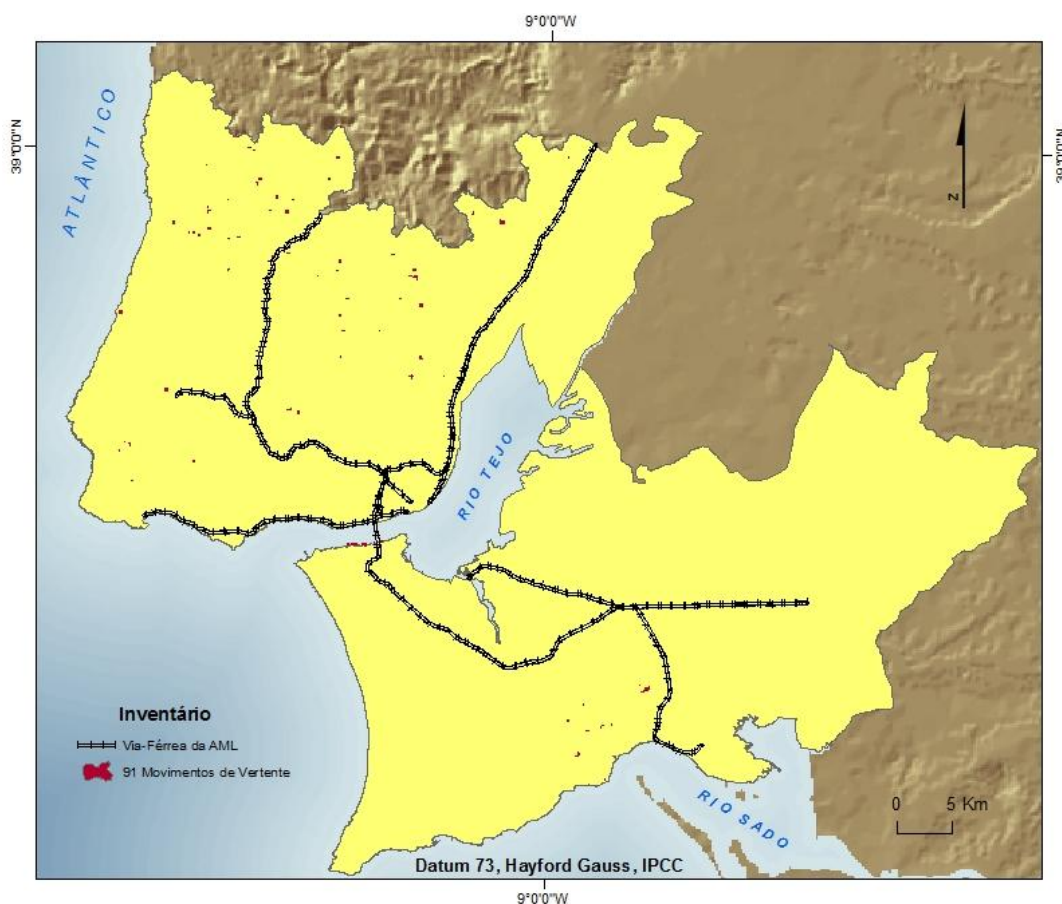


Figura 4.3 – Inventário dos Movimentos de Vertente da AML

## 4.2. MODELO CONCEPTUAL DO TRABALHO

A Figura 4.4 sistematiza o modelo conceptual do trabalho realizado, desde a fase de aquisição de dados até à análise do risco de movimentos de vertente sobre a rede ferroviária da AML.

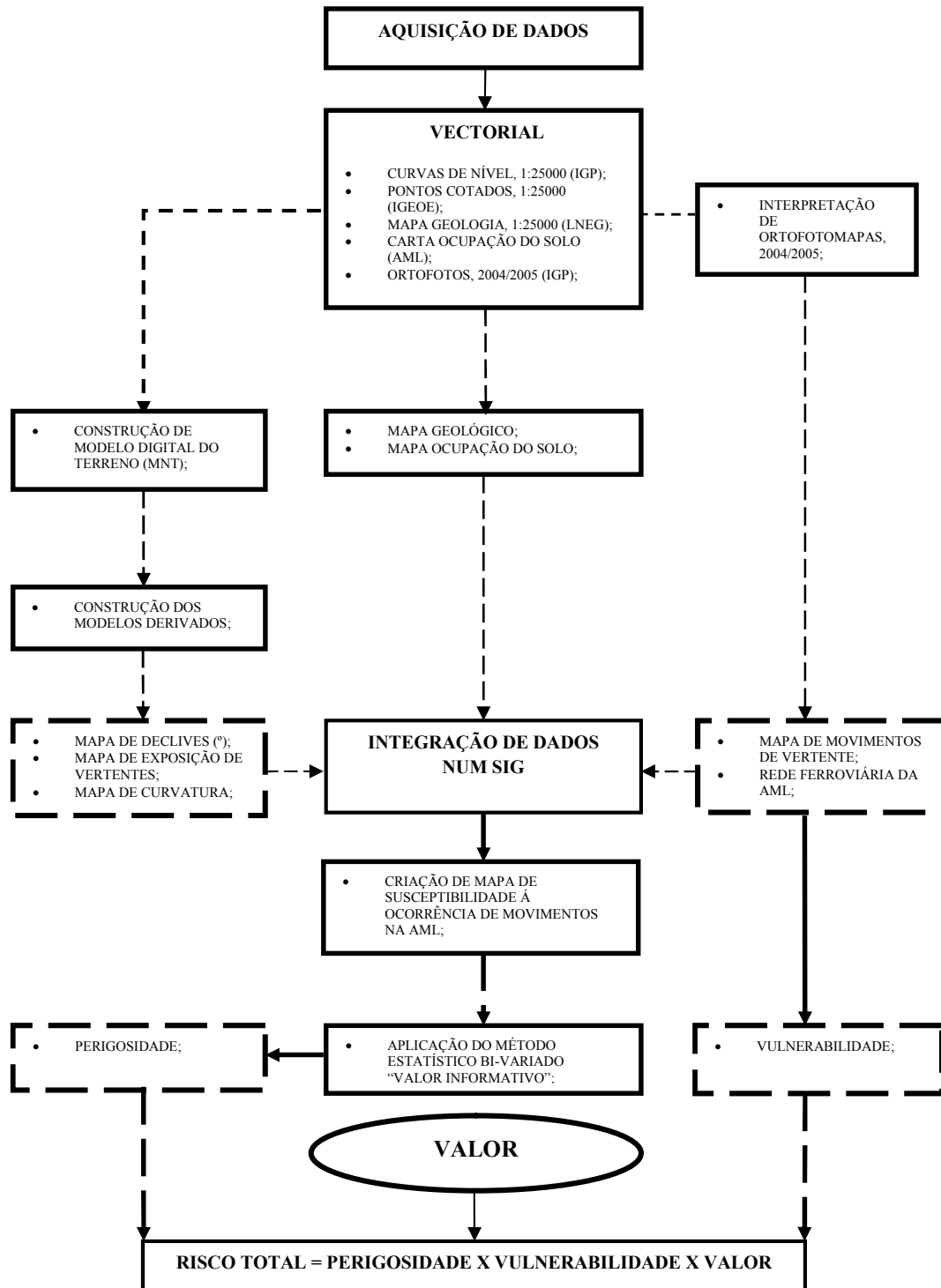


Figura 4.4 - Modelo Conceptual do Trabalho

Numa primeira fase do trabalho, a selecção e a aquisição dos dados necessários à criação do Modelo Numérico do Terreno (MNT) constituiu uma etapa preciosa, uma vez que a partir da construção deste modelo obtiveram-se vários temas derivados.

O MNT foi criado a partir das curvas de nível e dos pontos cotados da AML, tendo sido realizada uma validação posterior da qualidade do mesmo, onde foi detectado apenas um erro de altitude no sector Este, imediatamente corrigido.

Os mapas de declive, exposição e curvatura de vertentes foram gerados a partir do MNT, tendo sofrido posteriormente um processo de reclassificação, num SIG, com recurso ao software *ArcGis 9.3.1*.

O mapa geológico e o mapa da ocupação do solo são produtos concebidos por entidades distintas (LNEG e AML, respectivamente), tendo sido apenas alvo de uma nova reclassificação, de forma a ajustar os dados à restante informação utilizada.

Após a integração das variáveis independentes, foi realizada a integração da variável dependente (o inventário dos movimentos de vertente da AML).

Realizou-se um primeiro modelo em que foi utilizada a totalidade dos movimentos e um segundo modelo, no qual o grupo 1 de movimentos de vertente foi integrado na modelação e o segundo grupo foi utilizado para a validação do modelo.

A integração desta informação num SIG realizou-se através do método estatístico do Valor Informativo (VI), permitindo a criação de um mapa de susceptibilidade de ocorrência de movimentos de vertente e o posterior cálculo das taxas de sucesso e de predição, esta última crucial para validação do modelo preditivo.

O passo seguinte consistiu na conversão do mapa da susceptibilidade da AML num mapa de perigosidade da AML, passando assim a representar uma probabilidade espacial e temporal, baseada em dois cenários com períodos de retorno distintos: 5 e 10 anos.

Após consultar um caso prático (ramal da siderurgia, Seixal) definiu-se um valor médio por km para proceder à reparação da via-férrea na AML. Os valores de referência são provenientes da REFER e referem-se à construção do ramal entre a siderurgia e a estação de Coina, no Eixo Norte-Sul. A estes valores foi acrescido o valor decorrente da actualização para o tipo de via existente na AML.



### 4.3. TRATAMENTO DAS VARIÁVEIS

A rede irregular de triângulos (RIT ou TIN - Triangular Irregular Network) é normalmente utilizada na modelação de superfícies contínuas em estruturas de dados vectoriais, dada a sua facilidade em representar superfícies complexas, podendo além disso ser utilizada para gerar modelos numéricos em estrutura matricial, particularmente adequados para análise e modelação do terreno (REIS, 1996).

Este modelo é geralmente utilizado em estudos de Geografia Física, sustentando a análise da dinâmica das vertentes, a partir da geração de modelos derivados, obtendo-se informação sobre a altitude, o declive, a extensão, a forma e a exposição das vertentes (PIEIDADE, 2006, p. 29, citando REIS, 1996 e 2006).

Os dados utilizados na construção do TIN foram os seguintes:

- Curvas de nível e pontos cotados na escala original de 1:25.000<sup>23</sup>;
- Limite da AML<sup>24</sup>;

Foi realizado um primeiro modelo (TIN), que incluía a rede hidrográfica, contudo o resultado não foi satisfatório, uma vez que as linhas de ruptura acentuaram demasiado os declives no terreno, não reflectindo a realidade. Foi então criado um segundo modelo, sem a rede hidrográfica, tendo sido este, após análise, considerado satisfatório. Durante a validação e a verificação de qualidade do modelo, foi detectado um erro de altitude na zona Oriental. Foi corrigido, rectificando a altitude de acordo com os valores de altitude adjacentes, tendo sido validado através da observação do ortofotomapa da área e da respectiva carta militar.

A criação do TIN, segundo Piedade (2009, p. 30), não se encontra isenta de erros, pelo que é obrigatória a sua validação, dado que erros podem ocorrer tanto no processo de amostragem como na construção do modelo. Os problemas de processamento podem gerar modelos por vezes imprecisos, devendo ser alvo de pré-análise e de tratamento, minimizando as imprecisões. A qualidade ou fidelidade dos MNT é avaliada considerando, por um lado, o nível de aproximação conseguido entre as altitudes

---

<sup>23</sup> Carta Militar de Portugal Série M888 - 1/25 000, IGeoE

<sup>24</sup> 18 Concelhos, CAOP, 2010, IGP

obtidas no modelo e os correspondentes valores reais (dados de referência) e, por outro lado, no caso dos sistemas em quadricula, também pela sua definição espacial (REIS, 1996, p. 114).

Na conversão do TIN para estrutura matricial, foi utilizado um pixel de 10 m (100 m<sup>2</sup>) equivalente á equidistância entre curvas de nível (10 m), embora na maioria dos trabalhos efectuados na região de Lisboa tenham sido utilizados pixéis de 5 m (GARCIA, 2002; REIS, et al., 2003; ZÊZERE et al., 2004; ZÊZERE et al., 2006).

A escala de trabalho utilizada neste trabalho é de 1:25.000, outra alteração face aos trabalhos realizados para esta região que habitualmente utilizam a escala 1:10.000 (PIEIDADE, 2009, p. 30).

O Quadro 4.2 representa as variáveis reclassificadas consideradas como factores de predisposição de instabilidade geomorfológica da AML.

O mapa de declives das vertentes, expresso em graus, foi derivado do MNT e encontra-se classificado em 9 classes.

O mapa de exposição das vertentes, igualmente criado a partir do MNT, representa o ângulo entre o norte geográfico e um plano horizontal de um determinado ponto, encontrando-se classificado pelas orientações (PIEIDADE, 2009, p. 30).

O mapa de curvatura das vertentes, ainda criado a partir do MNT, encontra-se classificado em 3 classes, representando o perfil transversal das vertentes.

O mapa de uso do solo da AML encontra-se classificado em 8 classes, de acordo com os tipos de ocupação existentes e baseado na classificação pré-existente da CARTUS-AML.

O mapa Litológico da AML encontra-se classificado em 8 classes, definidas a partir da pré-classificação existente no mapa geológico da AML.

Quadro 4.2 – Quadro resumo das variáveis

Variáveis	Código	Classes	Nº de Pixéis	Fontes de Informação
	D1	Decl 0-5°	20.722.457	
	D2	Decl 5-10 °	4.411.774	
	D3	Decl 10-15 °	2.120.419	
	D4	Decl 15-20 °	1.044.715	
<b>Declive</b>	D5	Decl 20-25 °	554.771	<b>MNT, Pixel 10 m</b>
	D6	Decl 25-30 °	285.293	
	D7	Decl 30-35 °	122.539	
	D8	Decl 35-40 °	44.226	
	D9	Decl 40-45 °	16.972	
	D10	Decl > 45 °	24.625	
	EXP1	Plano	4.933.047	
	EXP2	Norte	2.813.047	
	EXP3	Nordeste	2.819.945	
<b>Exposição</b>	EXP4	Este	2.903.924	<b>MNT, Pixel 10 m</b>
	EXP5	Sudeste	3.032.171	
	EXP6	Sul	2.994.187	
	EXP7	Sudoeste	3.202.053	
	EXP8	Oeste	3.347.364	
	EXP9	Noroeste	3.302.053	
	CUR1	Convexo	5.025.735	
<b>Curvatura</b>	CUR2	Rectilíneo	17.525.853	<b>MNT, Pixel 10 m</b>
	CUR3	Concavo	5.707.573	
	OUS1	Áreas de loteamentos	331.204	
	OUS2	Áreas de mato	3.324.104	
	OUS3	Áreas agrícolas	9.976.142	
	OUS4	Áreas florestais	6.907.315	
<b>Uso de Solo</b>	OUS5	Áreas húmidas diversas	858.524	<b>CARTUS-AML, 1:25.000</b>
	OUS6	Áreas urbanas diversas		
	OUS7	Áreas verdes urbanas	85.660	
	OUS8	Áreas de incultos	2.691.008	
	OUS9	Áreas de inertes	98.460	
	UGL1	Depósitos superficiais	9.559.387	
	UGL2	Planos de água	66.001	
	UGL3	Rochas carbonatadas compactas	1.867.331	
<b>Litologia</b>	UGL4	Rochas graníticas e afins	428.980	<b>Carta Geológica, 1:50.000</b>
	UGL5	Rochas metamórficas (corneanas)	114.371	
	UGL6	Rochas sedimentares detríticas (grés, conglomerados)	8.354.679	
	UGL7	Rochas sedimentares plásticas (margas e argilas)	6.887.501	
	UGL8	Rochas vulcânicas	1.612.388	

### 4.3.1. DECLIVES DAS VERTENTES

O declive corresponde ao ângulo de inclinação da superfície topográfica em relação ao plano horizontal (PIEDADE, 2006). Esta variável determina directamente as tensões tangenciais existentes nas vertentes, sendo muito importante na análise dos movimentos de vertente (ZÊZERE, 2005).

A Figura 4.5 representa a distribuição do declive pela AML, podendo afirmar-se que o declive da AML é maioritariamente moderado, uma vez que cerca de 41 % da área de estudo se encontra dentro da classe dos 5 a 10 °. Às classes de 0° a 5° e 10° a 15 ° compreendem, respectivamente, 19% e 20% da área total. Estas 3 classes em conjunto representam cerca de 80% do total.

Assim, conclui-se que a AML possui um declive predominantemente fraco e moderado, com apenas 20% da área com declives superiores a 20°.

Do lado da área deslizada, verifica-se que é no intervalo das classes entre 10° a 25° que existe maior percentagem de área instabilizada (Quadro 4.3). Estas 3 classes representam cerca de 70% da área total deslizada, destacando-se a classe dos 15° a 20°, com 21 % do total deslizado.

Quadro 4.3 – Quadro resumo da distribuição do declive

Factores Condicionantes	ID	Classes	N° de Pixéis	(%) Classe	Área Deslizada (m <sup>2</sup> )	Área Deslizada (%)
<b>Declive (°)</b>	D1	Decl 0-5°	20.722.457	19	10.100	2
	D2	Decl 5-10°	4.411.774	41	55.100	11
	D3	Decl 10-15°	2.120.419	20	108.000	22
	D4	Decl 15-20°	1.044.715	10	133.200	27
	D5	Decl 20-25°	554.771	5	103.500	21
	D6	Decl 25-30°	285.293	3	51.900	10
	D7	Decl 30-35°	122.539	1	20.800	4
	D8	Decl 35-40°	44.226	1	9.200	2
	D9	Decl 40-45°	16.972	1	4.900	1
	D10	Decl > 45°	24.625	1	4.600	1
<b>Total</b>			29.347.791	100	501.300	100

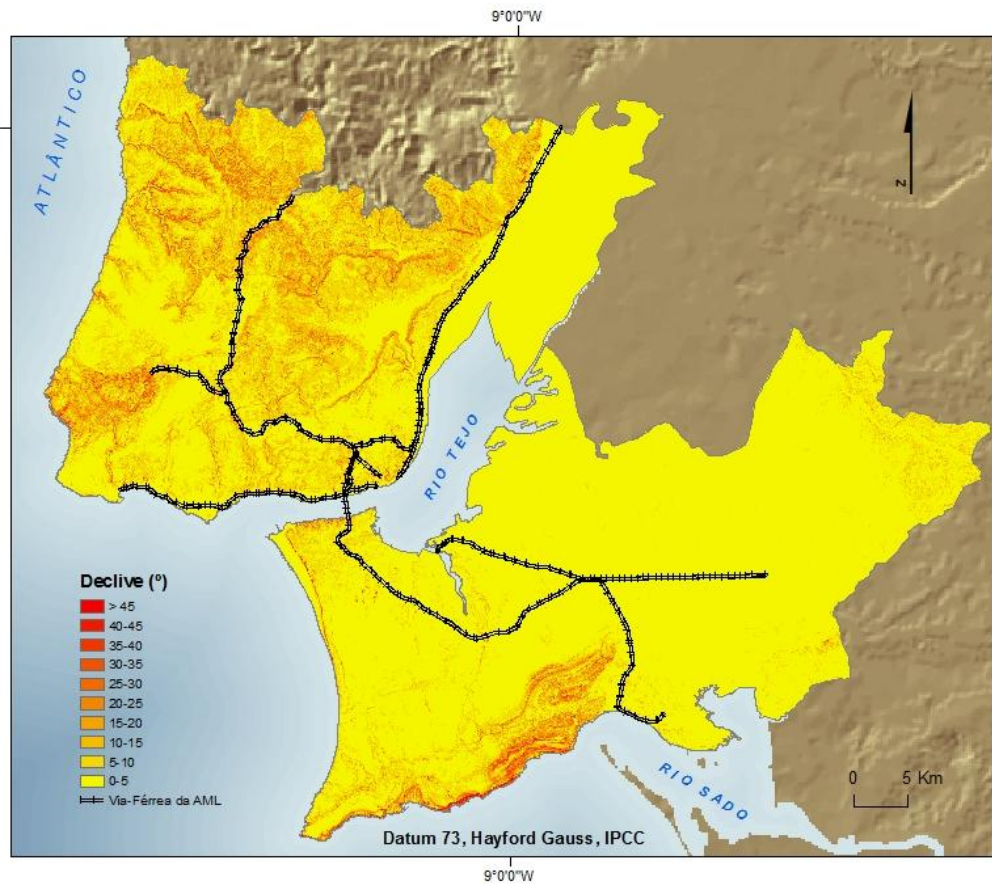


Figura 4.5 – Mapa de Declives da AML

### 4.3.2. EXPOSIÇÃO DAS VERTENTES

A exposição das vertentes indica o nível de insolação a que estas estão sujeitas. Uma maior ou uma menor exposição ao Sol contribui para a estabilização da vertente, dado que no primeiro caso, uma maior exposição equivale a vertentes mais soalheiras, logo mais secas, e uma menor exposição, equivale a vertentes menos soalheiras, logo condicionando a quantidade de humidade presente nos solos (PIEIDADE, 2006, p. 27).

A exposição das vertentes da AML, que se encontra representada na Figura 4.6, distribui-se uniformemente pelas 9 classes em que foi classificada (Quadro 4.4). O valor das áreas “Planas” é ligeiramente superior aos restantes (17 %), que no geral pouco ultrapassam os 10 % de ocupação por classe.

Ao analisar a distribuição dos movimentos de vertente, observa-se que existe uma predominância de área instabilizada na classe “Norte”, seguida pelas classes “Nordeste” e “Noroeste”, que representam no seu conjunto cerca de 59 % do total da área

instabilizada. Estes valores indicam que existe uma relação entre a exposição ao quadrante Norte e a ocorrência de movimentos de vertente.

Quadro 4.4 – Quadro resumo da distribuição da Exposição da AML

Factores Condicionantes	ID	Classes	Nº de Pixéis	(%) Classe	Área Deslizada (m <sup>2</sup> )	Área Deslizada (%)
<b>Exposição</b>	EXP1	Plano	493.305	17	3.500	1
	EXP2	Norte	281.305	10	152.000	30
	EXP3	Nordeste	281.995	10	81.300	16
	EXP4	Este	290.392	10	33.000	7
	EXP5	Sudeste	303.217	10	54.100	11
	EXP6	Sul	299.418	10	59.600	12
	EXP7	Sudoeste	320.205	11	34.600	7
	EXP8	Oeste	334.736	11	20.000	4
	EXP9	Noroeste	330.205	11	63.200	13
<b>Total</b>			2.934.778	100	501.300	100

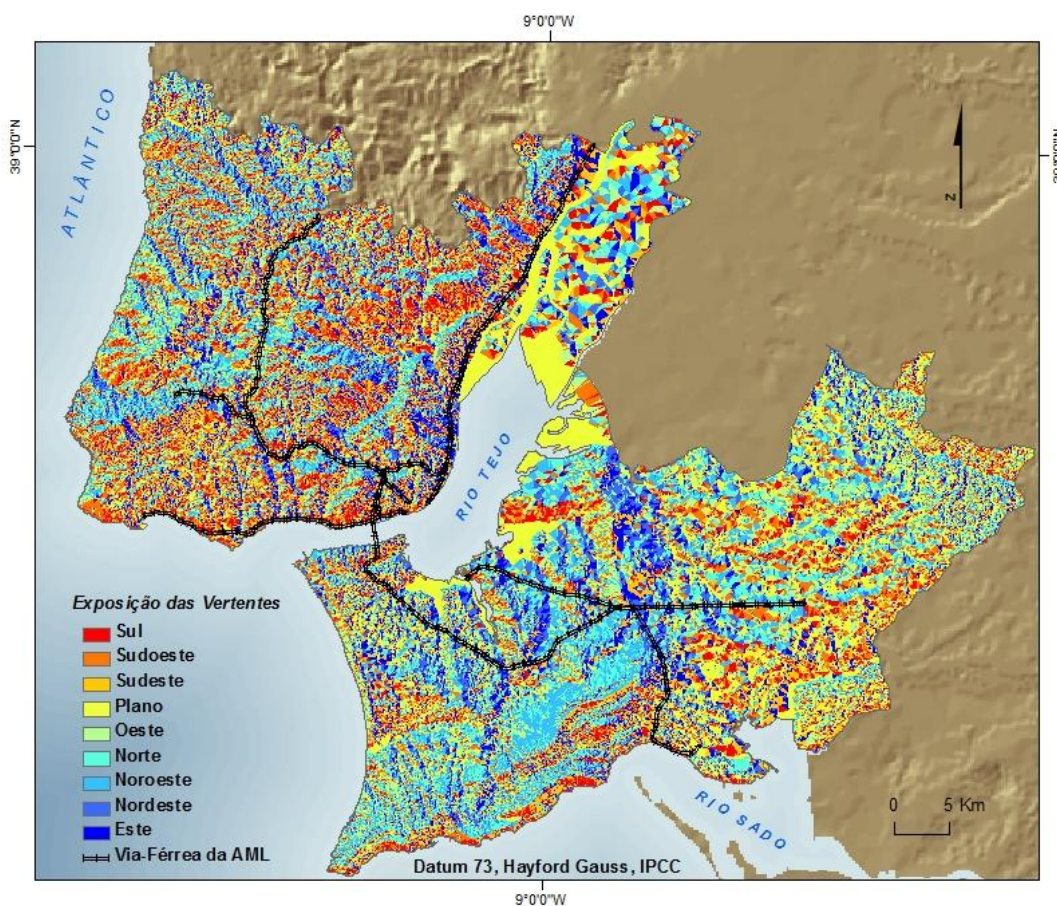


Figura 4.6 – Mapa de Exposição das Vertentes da AML

### 4.3.3. CURVATURA DAS VERTENTES

A forma de uma vertente condiciona a distribuição da água nos solos, assim como a sua retenção, permitindo individualizar as áreas mais passíveis de sofrer saturação.

Dado haver uma forte relação entre a precipitação e os deslizamentos, é importante saber de que forma se irá distribuir a água ao longo das vertentes, devido à influência das águas subterrâneas na ocorrência de movimentos (PIEDADE, 2006, p. 27).

A classificação da curvatura das vertentes considerou 3 classes (Figura 4.7): côncavo, rectilíneo (ou plano) e convexo.

Como se verifica no Quadro 4.5, apesar de as vertentes apresentarem maioritariamente um perfil “Rectilíneo” (63% do total), é nas áreas com perfil “Côncavo” que existe maior percentagem de área instabilizada (53 %). As vertentes com perfil “Convexo” possuem 36 % da área deslizada e as vertentes com perfil rectilíneo registam apenas 12% da área instabilizada.

Quadro 4.5 – Quadro resumo da distribuição da Curvatura da AML

Factores Condicionantes	ID	Classes	Nº de Pixéis	(%) Classe	Área Deslizada (m <sup>2</sup> )	Área Deslizada (%)
<b>Curvatura</b>	CUR1	Convexo	201.706	17	177.900	36
	CUR2	Rectilíneo	742.111	63	58.400	12
	CUR3	Concavo	230.083	20	264.300	53
<b>Total</b>			1.173.900	100	500.600	100

De acordo com Zêzere (2005), é nas concavidades topográficas que a saturação do solo ocorre mais rapidamente, devido à convergência da escorrência superficial e do escoamento sub-superficial. Deste modo, parte-se do princípio que as vertentes côncavas são potencialmente mais propícias á acumulação de água.



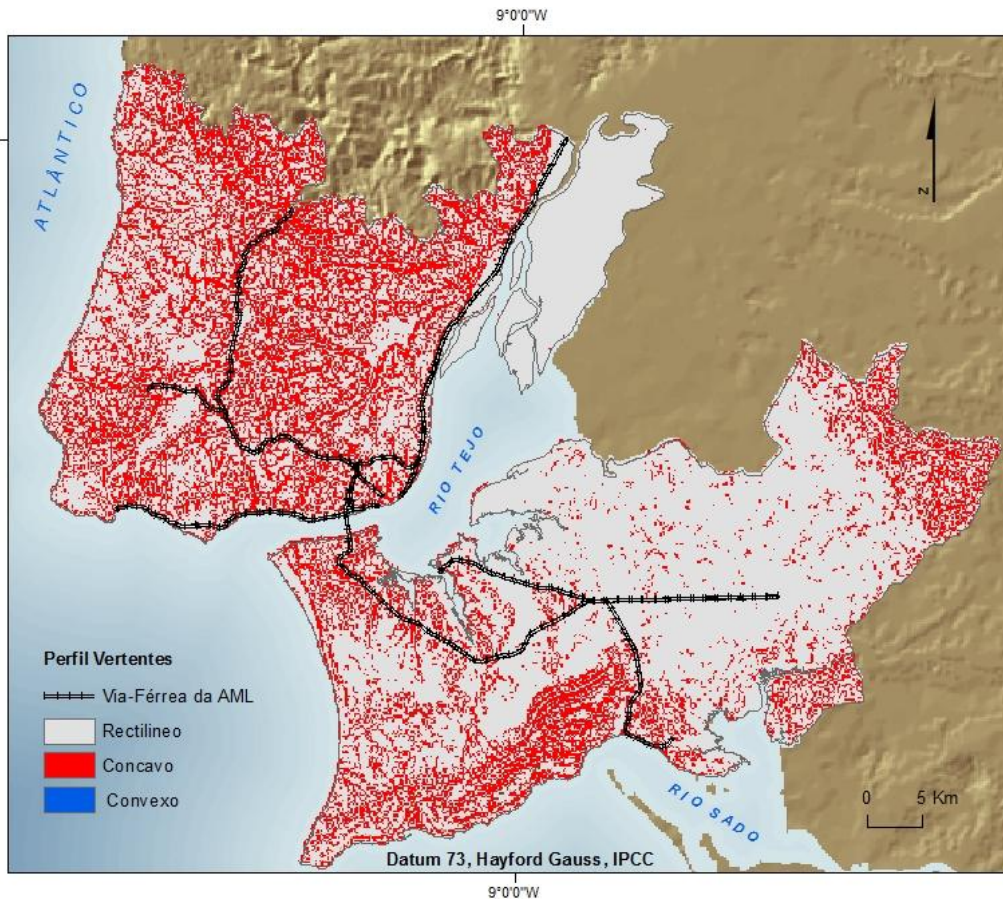


Figura 4.7 – Mapa de Curvatura da AML

#### 4.3.4. USO DO SOLO

O uso do solo (Figura 4.8) é importante no estudo dos movimentos de vertente, uma vez que diferentes tipos de ocupação do solo podem condicionar ou mesmo desencadear diferentes processos geomorfológicos (PIEDADE, 2006, p. 28).

Pese embora a AML seja a região de Portugal com maior concentração de habitantes (3 milhões), 63 % da sua área é ocupada por “Áreas Agrícolas”, “Áreas Florestais” e “Áreas Húmidas diversas”, representando as áreas urbanas apenas 10 % da superfície total (Quadro 4.6).

Quanto à distribuição dos movimentos pelas diferentes classes, as “Áreas de Mato” integram 55 % da área total instabilizada, sendo seguida pelas “Áreas Florestais” e pelas “Áreas de Incultos” com 21 % e 12 % respectivamente.



Quadro 4.6 – Quadro resumo do Uso e da ocupação do solo da AML

Factores Condicionantes	ID	Classes	Nº de Pixéis	(%) Classe	Área Deslizada (m <sup>2</sup> )	Área Deslizada (%)
<b>Uso do Solo</b>	OUS1	Áreas de loteamentos	331.204	8	1.200	0
	OUS2	Áreas de mato	332.410	8	275.700	55
	OUS3	Áreas agrícolas	997.614	25	49.300	10
	OUS4	Áreas florestais	690.731	17	104.600	21
	OUS5	Áreas húmidas diversas	858.524	21	6.900	1
	OUS6	Áreas urbanas diversas	401.045	10	1.600	0
	OUS7	Áreas verdes urbanas	85.660	2	0	0
	OUS8	Áreas de incultos	269.100	7	60.700	12
	OUS9	Áreas de inertes	98.460	2	1.300	0
<b>Total</b>			4.064.748	100	501.300	100

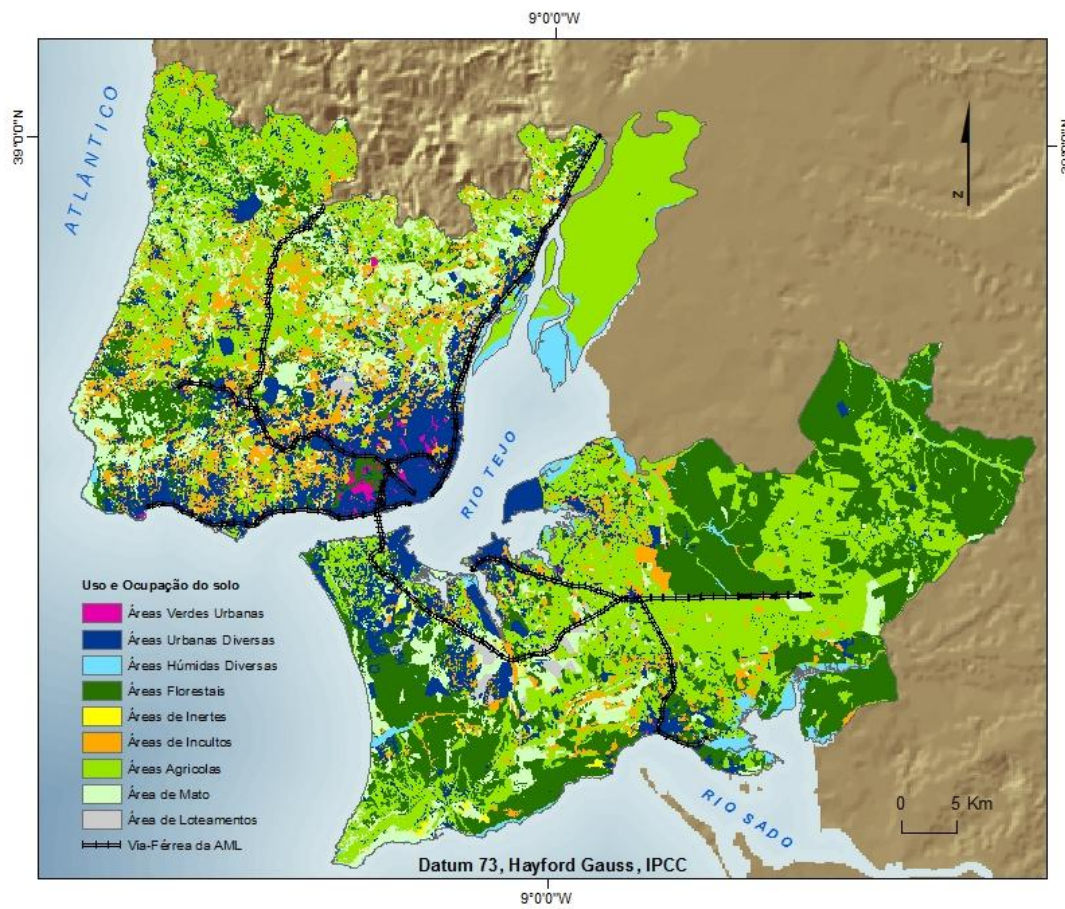


Figura 4.8 – Mapa do Uso e da Ocupação do Solo da AML

### 4.3.5. LITOLOGIA

A litologia contém informação sobre a resistência friccional e coesiva dos terrenos, sendo que o comportamento mecânico das rochas e solos condiciona a ocorrência de movimentos de vertente (ZÊZERE, 2005, PIEDADE, 2009).

A AML caracteriza-se predominantemente pelos “Depósitos superficiais”, “Rochas sedimentares detríticas (grés, conglomerados)” e “Rochas sedimentares plásticas (margas e argilas)” que representam 72 % da área estudada (Figura 4.9).

Os movimentos registados concentram-se principalmente na classe “Rochas sedimentares plásticas (margas e argilas)” com 61 %, e nas classes “Rochas sedimentares detríticas (grés, conglomerados)” e “Rochas carbonatadas compactas” com 12 % e 16 % respectivamente.

Estas 3 classes totalizam em conjunto 89 % da área total instabilizada (Quadro 4.7).

A classe de “Depósitos superficiais” é a que ocupa maior área (28% do total), apresentando no entanto uma área deslizada baixa, de apenas 1%. Este facto fica a dever-se à sua localização, maioritariamente em áreas planas ou com declives muito baixos, o que contrasta com a classe de “Rochas carbonatadas compactas” que, apesar de ser uma das que ocupa menos área, é uma das classes que possui maior área instabilizada, fruto da sua localização em zonas com declives acentuados.

Quadro 4.7 – Quadro resumo da Litologia da AML

Factores Condicionantes	ID	Classes	Nº de Pixéis	(%) Classe	Área Deslizada (m <sup>2</sup> )	Área Deslizada (%)
<b>Litologia</b>	UGL1	Depósitos superficiais	955.938	28	5.300	1
	UGL2	Planos de água	66.001	2	0	0
	UGL3	Rochas carbonatadas compactas	186.733	5	81.300	16
	UGL4	Rochas graníticas e afins	428.980	12	26.800	5
	UGL5	Rochas metamórficas (corneanas)	114.371	3	0	0
	UGL6	Rochas sedimentares detríticas (grés, conglomerados)	835.467	24	58.200	12
	UGL7	Rochas sedimentares plásticas (margas e argilas)	688.750	20	306.000	61
	UGL8	Rochas vulcánicas	161.238	5	23.400	5
<b>Total</b>			3.437.478	100	501.000	100

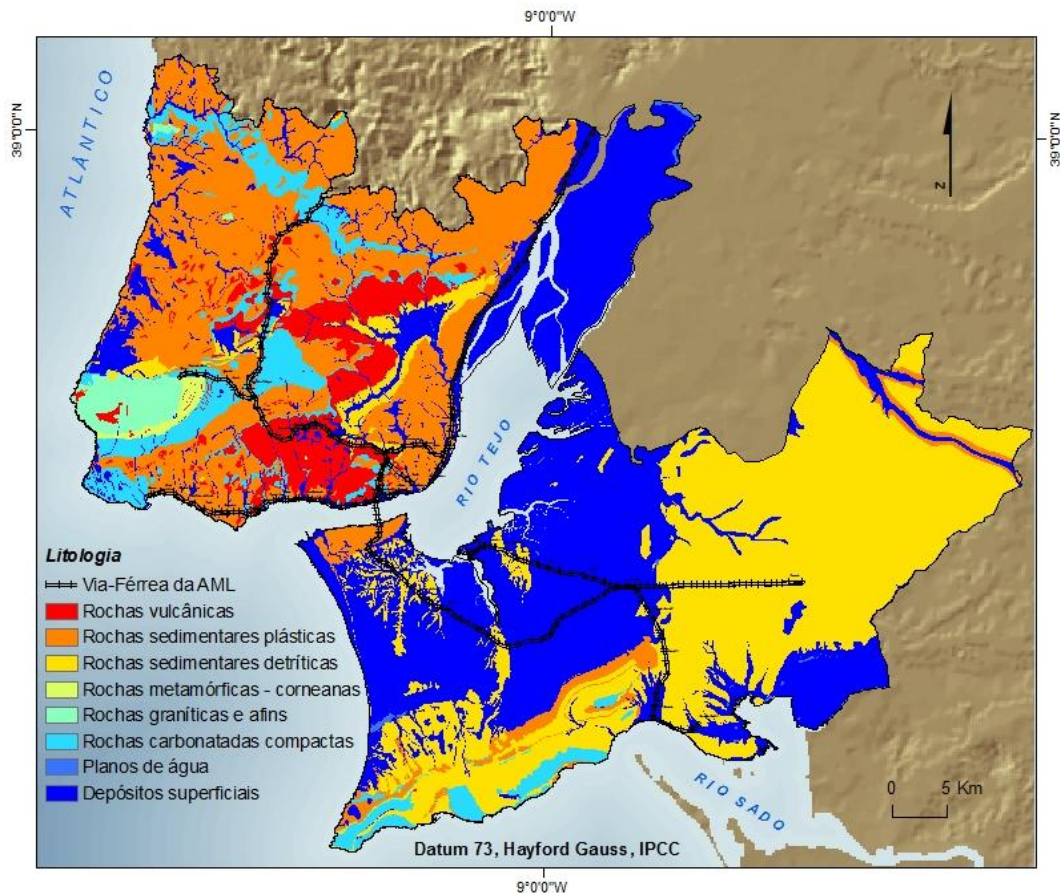


Figura 4.9 – Mapa da Litologia da AML

#### 4.4. CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SUSCEPTIBILIDADE

O presente trabalho utiliza um modelo indirecto estatístico bivariado, uma vez que os factores condicionadores da instabilidade são cruzados individualmente com um inventário de movimentos, calculando assim a densidade de movimentos de vertente por cada classe de cada variável (HENRIQUES, 2009, p. 78).

O modelo de susceptibilidade utilizado neste trabalho baseia-se no método do Valor Informativo (VI), (YIN e YAN, 1988). O VI passou a ser aplicado nos estudos sobre susceptibilidade por autores chineses na década de 80 (PIEIDADE, 2009, p. 43), tendo por objectivo avaliar as relações entre variáveis independentes e variável dependente (GARCIA 2002; PIEIDADE, 2009; HENRIQUES, 2009), introduzindo objectividade no processo de avaliação da susceptibilidade e permitindo igualmente a validação dos

resultados finais (FABBRI et al., 2002; CHUNG e FABBRI, 2003; GUZZETI et al., 2006, referido por HENRIQUES, 2009, p. 78).

A utilização do VI permite avaliar as relações estatísticas bi-variadas entre movimentos existentes no terreno (variável dependente) e conjuntos de dados espaciais biofísicos do terreno (variáveis independentes) Na construção deste modelo o inventário de movimentos de vertente funciona como variável dependente, pelo que a sua consistência é determinante para os resultados do estudo (ZÊZERE et al., 2006, p. 4).

Este método tem sido utilizado em diversos trabalhos recentemente realizados na região Norte de Lisboa e no Oeste (GARCIA, 2002; GUILLARD, 2009; HENRIQUES, 2009; PIEDADE, 2009) com bons resultados. No entanto, o método do VI tem o inconveniente de não levar em conta as possíveis correlações entre variáveis preditivas (GARCIA, 2002, p. 73).

O método do VI (YIN e YAN, 1988) tem por base a seguinte fórmula (4.1):

4.1

$$I_i = \log \frac{S_i/N_i}{S/N}$$

Em que:

$I_i$  = Valor Informativo da Variável  $X_i$ ;

$S_i$  = Número de *pixéis* com movimentos de vertente na variável  $X_i$ ;

$N_i$  = Número de *pixéis* com a variável  $X_i$ ;

$S$  = Número total de *pixéis* com movimentos de vertente;

$N$  = Número total de *pixéis* da área de estudo;

O Valor Informativo de uma unidade de terreno  $j$ , indispensável para a cartografia, é determinado através da fórmula (4.2).

4.2

$$I_j = \sum_{i=1}^n X_{ji} \cdot I_i$$

Em que:

$I_j$  = Valor Informativo do pixel;

$n$  = Número de variáveis;

$X_{ji}$  = 1 ou 0, consoante a variável  $X_i$  está ou não presente no *pixel*  $j$ , respectivamente;

Quanto mais baixo for o valor do VI, menor é a associação espacial dessa variável aos movimentos de vertente. Pelo contrário, quanto maior for o valor de VI, maior será a influência desta variável na ocorrência da instabilidade nas vertentes.

Quando o valor de VI é igual a zero, considera-se que a variável não apresenta uma relação óbvia como os movimentos de vertente, não oferecendo por isso informação sobre a estabilidade das vertentes.

Foi efectuado o cruzamento entre os 29.347.791 pixéis da AML e os 5.013 pixéis do inventário de instabilidades no ArcGis, de forma a verificar a ausência/presença por cada classe das variáveis condicionantes, tornando-se possível assim determinar os *scores* de VI para cada classe de cada variável, permitindo aferir a sua influência na ocorrência de movimentos.

A validação do modelo de susceptibilidade efectua-se através do cruzamento entre os mapas de susceptibilidade e o inventário de movimentos, tendo sido calculado para este efeito a taxa de sucesso e a taxa de predição, aferindo a qualidade do modelo, o que representa uma das vantagens da cartografia de susceptibilidade geomorfológica com métodos estatísticos (PIEDADE, 2009, p. 47/76).

Através da determinação da taxa sucesso, pretendeu-se avaliar o ajuste do modelo aos dados de entrada utilizados para criação do modelo (inventário), tendo-se utilizado a totalidade dos movimentos inventariados (Figura 4.2).

A taxa de predição foi calculada com o objectivo de perceber qual a capacidade preditiva do modelo de susceptibilidade, tendo sido calculadas duas taxas de predição com objectivo de aferir a robustez do modelo. Uma primeira onde se utilizou o Grupo 1 na modelação e o Grupo 2 na validação, e uma segunda onde se inverteu a utilização dos grupos, ou seja, utilizou-se o Grupo 2 na modelação e Grupo 1 na validação. As taxas de sucesso e de predição representam-se através de uma curva, que é obtida através das seguintes fórmulas (4.3):

4.3

$$RáCIO1 = \frac{US}{UT} \cdot 100 \quad RáCIO2 = \frac{UMS}{UM} \cdot 100$$

Em que:

*US* = Unidades de terreno seleccionadas;

*UT* = Número de unidades de terreno em estudo;

*UMS* = Número de unidades seleccionadas com movimentos;

*UM* = Número total de unidades de terreno instabilizadas da área estudada;

A análise dos gráficos respeitantes às curvas de sucesso e de predição permitirá calcular qual a percentagem da área de estudo que consegue justificar determinada percentagem dos movimentos, predizendo a localização de movimentos futuros, baseando-se esta predição numa base probabilística, partindo do pressuposto que os futuros movimentos terão um comportamento semelhante aos anteriores, se os factores de predisposição se mantiverem (PIEDADE, 2009, p. 48).

A determinação da Área Abaixo da Curva (AAC) permite aferir a qualidade preditiva do modelo criado, através da seguinte fórmula (4.4) (PIEDADE, 2009, p. 48).

4.4

$$AAC = \sum_{i=1}^n [(LSI - LI) \cdot \frac{ai + bi}{2}]$$

Em que:

$(LSI-LI)$  = Amplitude da classe;

$ai$  = Valor da ordenada correspondente a  $Li$ ;

$bi$  = Valor da ordenada correspondente a  $Lsi$ ;

#### **4.5. CONVERSÃO DO MODELO DE SUSCEPTIBILIDADE PARA MODELO DE PERIGOSIDADE**

Zêzere (1997) referiu que o principal problema observado nos levantamentos de campo prende-se com a rápida obliteração da topografia das áreas deslizadas, muitas vezes causada por intervenção antrópica. Neste contexto, tendo presente a experiência observada desde há largos anos na região de Lisboa (Garcia e Oliveira, informação oral), considera-se que os movimentos de vertente identificados por interpretação dos ortofotomapas não deverão ser mais antigos do que 5 anos, tendo como referência a data a que estes se reportam (2004-2005). Esta assunção significa que os movimentos deslizados ocorridos em cinco anos na AML, determinaram uma área total instabilizada de 501.300 m<sup>2</sup>.

Admitindo que a actividade futura dos movimentos de vertente na AML vai replicar a verificada no passado (i.e., cerca de 500.000 m<sup>2</sup> por cada 5 anos), são definidos dois Cenários: um para os próximos 5 anos (Cenário 1) com uma área deslizada de 501.300 m<sup>2</sup> (5.013 pixéis); e outro para os próximos 10 anos (Cenário 2) com uma área deslizada de 1.002.600 m<sup>2</sup> (10.026 pixéis).

Os dados utilizados para definir a probabilidade temporal do mapa de Perigosidade, encontram-se representados no Quadro 4.8.



Quadro 4.8 - Valores utilizados no cálculo da Perigosidade da AML

Classes de Predição	Pixéis por classe	Cenário 1	Prob/Pixel Cenário 1	Cenário 2	Prob/Pixel Cenário 2
0,893	3.999.780	4.477	0,0011	8.953	0,0022
0,033	1.108.646	165	0,0001	331	0,0003
0,031	1.035.017	155	0,0002	311	0,0003
0,043	22.085.100	216	0,0000	431	0,0000

Cruzando as classes de predição pelas áreas totais a instabilizar em cada cenário (5.013 pixéis para o Cenário 1 e 10.026 pixéis para Cenário 2), obteve-se o número de pixéis que futuramente deverão ser instabilizados em cada classe. A consideração da área total de cada classe permitiu o cálculo da probabilidade de instabilidade por pixel, dentro de cada classe, para cada cenário considerado. Desta forma, foi possível converter o modelo de Susceptibilidade em modelo de Perigosidade.

#### 4.6. CONSTRUÇÃO DO MODELO DE RISCO

O risco calcula-se através do produto da perigosidade pela vulnerabilidade existente na área de estudo, determinando-se assim o risco específico associado a cada elemento exposto.

O risco total calcula-se a partir do risco específico e da atribuição de valor aos elementos em risco. Deve-se ter em consideração a existência de custos directos assim como indirectos, identificando não só as consequências económicas, mas igualmente de que forma a segurança das pessoas virá a ser afectada devido à ocorrência destes tipos de fenómenos (HENRIQUES, 2009, p. 21).

A fórmula seguinte (4.5), já apresentada no capítulo 1, representa os 3 parâmetros que permitiram calcular o Risco neste trabalho.

4.5

$$R = P \times V \times E$$

Em que:



**R** = Risco

**P** = Perigosidade

**V** = Vulnerabilidade

**E** = Valor dos elementos em perigo

A Figura 4.10 representa o esquema conceptual do Risco aplicável aos diferentes tipos de fenómenos naturais perigosos que podem afectar um dado território (HENRIQUES, 2009, p. 21).

Os elementos expostos considerados nesta dissertação correspondem à rede ferroviária da AML, sendo excluídas as estações e demais dependências. O ficheiro que compõe a via-férrea da AML, o elemento em risco, é composto por 35.381 pixéis, cada um com 100 m<sup>2</sup>.

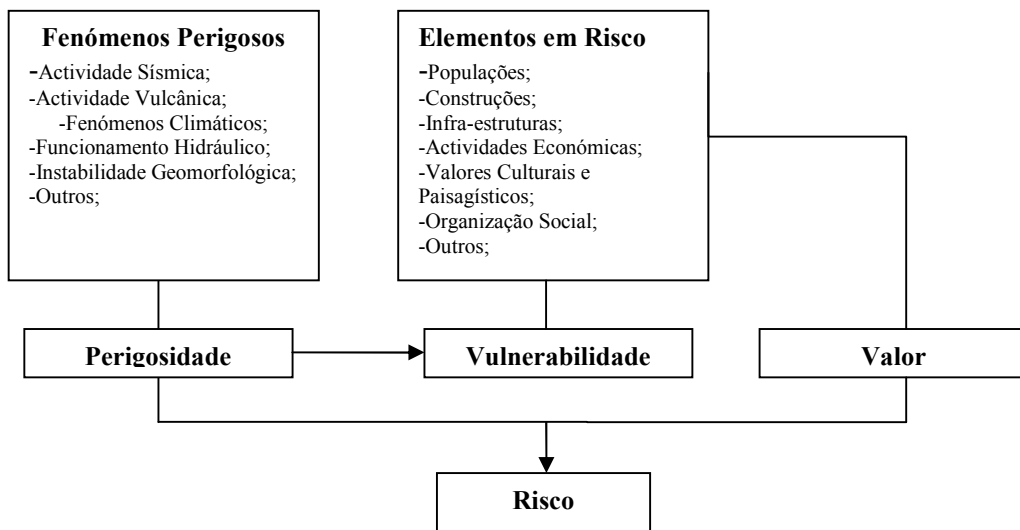


Figura 4.10 - Esquema conceptual do Risco Natural, extraído de Zêzere, 2007, (adaptado de Leroi 1996, 1997)

Quanto à vulnerabilidade, foi considerado um grau de perda de total (1) para cada pixel da via-férrea, considerando-se que um movimento de vertente de grande dimensão que afecte a via-férrea, comprometerá totalmente a sua operacionalidade.

## **4.7. DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS**

No estudo do Risco sobre a via-férrea na AML resultante da ocorrência de movimentos de vertente, importa referir os custos associados. A determinação destes não é um passo metodológico trivial, dividindo-se em Custos Directos ou Indirectos, implicando processos metodológicos distintos para os calcular.

Frequentemente, os Custos Indirectos resultantes da acção de movimentos de vertente nas redes ferroviárias, ultrapassam os Custos Directos, contudo o facto de serem mais difíceis de apurar, levam a que os seus resultados tenham uma menor visibilidade junto da população, logo menor impacto (ZÊZERE et al., 2006, p. 123).

Para determinar os Custos Directos, é fundamental conhecer o valor (em Euros) necessário à recuperação da via-férrea. Os Custos Indirectos são calculados a partir da duração média das intervenções de recuperação da via-férrea na AML. Conhecendo a duração média destas intervenções, é possível calcular o período de interrupção que irá afectar o normal serviço de passageiros e a circulação de comboios, causado pela acção dos movimentos de vertente na rede ferroviária da AML.

Os Custos Directos e Indirectos resultantes do Risco encontrado para a rede ferroviária da AML, basearem-se na construção do ramal da Siderurgia (Seixal). Este troço, com uma extensão de 4.583 m de comprimento e aproximadamente 5 m de largura, teve um custo global de 15 milhões de euros<sup>25</sup> tendo sido realizado em 13 meses (396 dias).

De acordo com técnicos da REFER, a construção de via dupla (10 m de largura) representaria um incremento na ordem dos 75 % relativamente aos custos (passaria a custar 26.250.000 €) e de 50% relativamente à duração da construção (passaria a durar 594 dias, ou seja, 20 meses).

### **4.7.1. CUSTOS DIRECTOS**

Inicialmente foi analisada a totalidade da rede ferroviária da AML, de forma a determinar os Custos Directos totais. Posteriormente foram calculados os Custos

---

<sup>25</sup> <http://www.refer.pt/MenuPrincipal/REFER/Investimentos/Apresentacao.aspx?ArticleID=145#Artigo>

Directos de cada uma das linhas suburbanas, permitindo a sua hierarquização, de acordo com os respectivos custos.

Para ambos os casos os resultados são apresentados em 4 classes de Risco / Custo Directo: Muito Baixo, Baixo, Moderado e Elevado - seguindo as classificações anteriormente aplicadas no mapa de Susceptibilidade e de acordo com os dois Cenários resultantes da modelação da Perigosidade (Cenários 1 e 2).

Para efeito do cálculo dos Custos Directos, assumiu-se que a reparação de 1 m linear de via-férrea teria um custo de 5.728,00 € (Quadro 4.9), o que equivale a 572.769 € por pixel (100 m<sup>2</sup>).

Este valor foi calculado a partir da construção do ramal da Siderurgia (Seixal), após terem sido realizadas as correcções já referidas.

**Quadro 4.9 - Determinação do custo de reparação da via-férrea, com base no caso do ramal da Siderurgia Nacional**

<b>Custo da reparação da via-férrea</b>
<b>Custo da Obra</b> - 26.250.000,00 €
<b>Distancia Total</b> - 4.583 metros
<b>Total</b> - 26.250.000,00 € / 4.583 m = <u>5.728 € / metro</u>

Deste modo, é possível calcular os Custos Directos para a totalidade da rede ferroviária numa primeira fase e numa segunda fase, para cada uma das linhas suburbanas da AML.

#### **4.7.2. CUSTOS INDIRECTOS**

Os resultados dos Custos Indirectos serão apresentados no VI, através da criação de 6 cenários (um para cada uma das linhas suburbanas da AML) que visam representar uma hipotética interrupção do transporte de passageiros, nas zonas com maior probabilidade de ocorrência de movimentos de terras (i.e. troços de via situados na classe de Risco Muito Elevado) ao longo de 200 metros, sendo necessária estabelecer temporariamente um transporte rodoviário alternativo de passageiros

Após determinar o período de interrupção da circulação ferroviária, o cálculo dos Custos Indirectos dividiu-se em três etapas: (i) avaliação do número de passageiros

afectados pela interrupção do serviço ferroviário; (ii) identificação do número de composições impedidas de cumprir a totalidade do serviço ferroviário de passageiros; (iii) determinação da valorização resultante da monitorização do Regime de Melhoria de Desempenho.

No primeiro caso, a avaliação do número de passageiros afectados permite determinar os custos inerentes à contratação de serviços alternativos de passageiros (rodoviários) entre as duas estações adjacentes. No segundo caso, pretende-se quantificar os custos inerentes à interrupção da exploração ferroviária, face à “renda” que cada operador paga à REFER pela utilização da via-férrea. O terceiro caso resulta da implementação do sistema de monitorização do desempenho das circulações ferroviárias. Este obriga ao pagamento de uma indemnização por cada atraso sofrido pelas circulações ferroviárias.

No final, foram somados os valores obtidos para cada uma das linhas suburbanas, quantificando-se os custos indirectos para cada uma delas, bem como para a totalidade da via-férrea da AML.

Conforme já foi referido, os valores utilizados para determinar os Custos Indirectos, basearam-se no caso do Ramal da Siderurgia, (Seixal), tendo sido definida uma duração média, necessária para proceder à reparação de um troço de via-férrea, de 3,1 horas / metro, conforme se pode observar no quadro 4.10.

**Quadro 4.10 - Determinação da duração da reparação da via-férrea, com base no caso do ramal da Siderurgia**

<b>Duração da reparação da via-férrea</b>
Duração da Obra - 594 dias (14.256 horas)
Distancia Total - 4.583 metros
<b>Total</b> – 14.256 horas / 4.583 metros = <u>3,1 h / metro</u>

De forma a criar um cenário de interrupções pontuais na via-férrea, partiu-se da assunção de que em cada uma das linhas suburbanas irá ocorrer uma interrupção de um troço de via-férrea com 200 metros de comprimento que afecte a ligação entre duas estações ferroviárias.

Esta assumpção baseou-se na análise do “inventário de movimentos de vertente” utilizado na criação do modelo de Susceptibilidade, onde se observou que o maior movimento de vertente existente na área de estudo ocupa uma área de 40.600 m<sup>2</sup>, equivalendo a uma largura máxima de 200 metros.

De acordo com a duração do tempo de reparação da via-férrea (3,1 h/metro), calculou-se em 26 dias o período de interrupção para a rede ferroviária da AML (4.6).

$$200 \text{ metros} * 14.256 \text{ horas} / 4.583 \text{ metros} / 24 \text{ horas} = 26 \text{ dias de interrupção da via-férrea} \quad 4.6$$

Após definir o número de dias de interrupção das linhas suburbanas (26 dias), foram calculados os constrangimentos causados à circulação ferroviária, conforme já foi referido anteriormente, em três fases.

Numa primeira fase, foi realizada a avaliação do número de passageiros que seriam afectados pela interrupção do serviço ferroviário entre duas estações, na classe de “Risco Elevado”. Numa segunda fase determinou-se o número de composições impedidas de cumprir a totalidade do serviço ferroviário de passageiros. Na terceira fase foram calculados os atrasos resultantes das circulações e a valorização destes atrasos de acordo com o estipulado no Regime de Melhoria de Desempenho (RMD) (DIRECTÓRIO DA REDE, REFER, 2011, p. 46).

Pretendeu-se desta forma, determinar quais os custos resultantes da contratação de transportes alternativos e a perda de receita de utilização da via-férrea por parte da REFER, seja pela falta de pagamento do tarifário de utilização, seja pelo pagamento de indemnizações aos operadores ferroviários, pelos atrasos causados pela interrupção da via.

Os dados referentes ao número de passageiros foram cedidos pela REFER (2008/2009), pela FERTAGUS (2010) e pela CP (2011). Quanto ao número de comboios que diariamente realizam o serviço suburbano de passageiros na AML, foram utilizados dados oficiais da CP e da FERTAGUS.

Foi feita ainda uma consulta aos Transportes Sul do Tejo (TST), no sentido de obter o valor correspondente ao aluguer diário de um autocarro de passageiros (habitualmente utilizado em situações de interrupção do transporte ferroviário). O custo deste tipo de serviços ocasionais é de 307,00 € diários, correspondendo a um veículo de passageiros com uma lotação de aproximadamente 60 passageiros.

### **4.7.3. 1ª FASE DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS INDIRECTOS**

Numa primeira fase de determinação dos Custos Indirectos, pretendeu-se determinar o número de passageiros que poderão vir a ser afectados em cada uma das linhas suburbanas da AML, bem como o número de transportes rodoviários necessários para realizar o transporte alternativo nos 26 dias de interrupção da circulação ferroviária, causados pela interrupção de 200 metros de via-férrea.

Nos troços de “Risco Elevado” de cada uma das linhas suburbanas, foram identificados os segmentos onde existia maior concentração de risco elevado, tendo sido identificadas as estações adjacentes.

Calcularam-se os passageiros afectados através dos dados de entradas das estações (REFER/FERTAGUS) dessas mesmas estações, o que permitiu calcular em seguida o número de alternativos necessários para assegurar a ligação rodoviária.

Tendo em conta que Lisboa funciona como pólo atractivo da AML (JULIÃO, 2003, p. 229), e assumindo-se que os passageiros se deslocam ao centro da cidade para desenvolver aí as suas actividades económicas (REOT, MOBILIDADE e TRANSPORTES, 2009, p. 320), foram contabilizadas as entradas em cada estação, a partir da estação de início do percurso, tendo em conta o sentido periferia - centro da AML (por exemplo no caso da linha de Sintra foram somadas todas as entradas entre Sintra e Entrecampos) partindo-se do pressuposto que cerca de 90% dos passageiros pretende deslocar-se ao centro de Lisboa, existindo uma perca de 10 % dos passageiros ao longo do percurso, que se distribuem pelas estações intermédias. No sentido inverso e partindo princípio de que o movimento do tráfego é pendular, irão observar-se os mesmos resultados.

Os custos relativos ao aluguer dos autocarros necessários à realização do transbordo rodoviário, foram calculados a partir da distribuição do número de passageiros afectados, pela capacidade de cada autocarro (50/60 Passageiros), calculando-se em seguida o custo através do valor fornecido pelos TST (307 €/autocarro).

#### 4.7.4. 2ª FASE DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS INDIRECTOS

Na segunda fase do cálculo dos Custos Indirectos pretendeu-se identificar o número de composições afectadas pela interrupção da circulação ferroviária, de forma a determinar o volume de receita perdida pela REFER.

Cada operador paga à REFER uma tarifa pela utilização da via, segundo o definido na secção VI do Capítulo IV do Decreto-lei 270/2003, alterado pelo Decreto-lei 231/2003, e no Regulamento 21/2005. Esta tarifa é calculada de acordo com alguns parâmetros, tais como a área geográfica em que cada operador desenvolve a sua operação comercial, o tipo de comboio (mercadorias ou passageiros) e o tipo de tracção utilizada (eléctrica ou diesel). A rede ferroviária da AML situa-se no Grupo Homogeneo-1 (GH-1), sendo o tarifário previsto para este grupo de 1,50 €, acrescido de IVA, somando um total de 1,85 € por cada km percorrido. As tarifas baseiam-se no publicado no “Directório da Rede”, na Secção 6 – Tarifas, onde se estão definidos os valores a pagar pelos operadores pela utilização da via-férrea (DIRECTÓRIO DA REDE, REFER, 2011, p. 46). Devido à interrupção da via-férrea, a REFER deixará de receber em cada uma das linhas suburbanas o valor correspondente ao número médio de composições diárias, que serão afectadas pela interrupção dos 200 metros de via-férrea. O quadro 4.11 mostra os números médios de circulações diárias da AML, sujeitas ao pagamento do referido tarifário. Parte-se do princípio que a totalidade das composições será afectada diariamente. Uma vez que no cenário apresentado, se considera uma interrupção de 200 metros, ajustou-se o tarifário de 1,85 € por km para os 200 metros, passando a considerar-se um tarifário de 0,37 cêntimos por cada 200 metros.

Quadro 4.11 - Numero médio de composições a circular diariamente na AML (fonte: CP Lisboa e Fertagus)

Rede ferroviária da AML	Dias úteis	Fim-de-semana	Média Diária
Linha de Sintra	307	183	272
Linha do Oeste	20	0	20
Linha de Cascais	268	105	221
Linha da Azambuja	175	113	157
Eixo N/S (Fertagus)	148	75	127
Linha do Sado	70	38	61

Em seguida foi calculado o tarifário que cada composição paga pela utilização de 200 metros de via, multiplicando-se pelo número por 26 dias (duração da reparação da via), obtendo-se assim, para cada uma das linhas suburbanas (dado variar para cada uma o número médio de composições) o tarifário que a REFER deixará de receber dos operadores ferroviários.

#### **4.7.5. 3ª FASE DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS INDIRECTOS**

Numa terceira fase, foi calculado o valor que a REFER deverá pagar a cada operador ferroviário devido aos atrasos resultantes da interrupção da via-férrea. Esta valorização é calculada por um mecanismo denominado Regime de Melhoria de Desempenho (RMD), que foi criado com o objectivo de melhorar o desempenho ferroviário, minimizando as perturbações com interferência na normal circulação ferroviária.

Este regime é de adesão obrigatória para todos os operadores ferroviários, encontrando-se em conformidade com o previsto no artigo 60.º do Decreto-Lei nº270/2003 de 28 de Outubro, revisto e alterado pelo Decreto-Lei nº231/2007, de 14 de Junho e pelo Decreto-Lei nº20/2010, de 24 de Março, nos termos do Regulamento nº473/2010, de 20 de Maio de 2010 (DIRECTÓRIO DA REDE, REFER, 2011, p. 52).

Destina-se à monitorização e ao registo do desempenho da circulação ferroviária, avaliando a pontualidade das circulações ferroviárias através da monitorização dos horários das circulações. Considera-se que circula dentro do horário definido, desde que o seu atraso não seja superior a 3 minutos na categoria de suburbanos de passageiros, 5 minutos na categoria de médio e longo curso de passageiros e 30 minutos para comboios de mercadorias.

Partiu-se do pressuposto que o número médio diário de composições suburbanas de passageiros (quadro 4.13), cuja valorização de atrasos é de 4,00 € por 3 minutos, sofrerá atraso na chegada à estação adjacente ao troço interrompido. Devido à interrupção da via, considera-se que este atraso será de pelo menos 4 minutos, sendo atribuída a respectiva valorização de atrasos durante os 26 dias. Para esse efeito é multiplicado o número médio de composições (diárias) por 4,00€ ao longo de 26 dias, ou seja no prazo estimado para a recuperação da via-férrea.

Os Custos indirectos da AML são assim o produto do somatório dos resultados da 1ª, 2ª e 3ª fase, sendo os resultados resultantes apresentados e discutidos no capítulo VI.



## CAPITULO V – SUSCEPTIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE VERTENTE NA AML

O método do Valor Informativo (VI) permite calcular a susceptibilidade de ocorrência de movimentos de vertente, através do cruzamento entre os factores de predisposição da instabilidade e os movimentos de vertente inventariados, gerando *Scores* que ponderam as classes das variáveis. A integração destas variáveis, através do somatório dos *scores* das classes presentes em cada pixel, permite determinar a probabilidade espacial de ocorrência de futuras instabilidades.

### 5.1. IMPORTÂNCIA DAS VARIÁVEIS DE PREDISPOSIÇÃO

#### 5.1.1. DECLIVE DAS VERTENTES

Analisando o Quadro 5.1, observa-se que as classes D1 e D2 (0°-5° e 5°-10°) possuem *Scores* negativos com -3,5567 e -0,3131 respectivamente, possuindo uma baixa probabilidade de registarem movimentos de vertente, o que se percebe facilmente tendo em conta a influência determinante da gravidade na instabilidade das vertentes.

Quadro 5.1 - Resumo dos *Scores* do Declive

ID	Classes	SI	NI	S	N	(SI/NI)/(S/N)	Ln((SI/NI)/(S/N))
		m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>		
D1	Decl 0-5°	10.100	2.072.245.700	501.300	2.934.779.100	0,000005	-3,5567
D2	Decl 5-10 °	55.100	441.177.400	501.300	2.934.779.100	0,000125	-0,3131
D3	Decl 10-15 °	108.000	212.041.900	501.300	2.934.779.100	0,000509	1,0925
D4	Decl 15-20 °	133.200	104.471.500	501.300	2.934.779.100	0,001275	2,0101
D5	Decl 20-25 °	103.500	55.477.100	501.300	2.934.779.100	0,001866	2,3908
D6	Decl 25-30 °	51.900	28.529.300	501.300	2.934.779.100	0,001819	2,3656
D7	Decl 30-35 °	20.800	12.253.900	501.300	2.934.779.100	0,001697	2,2963
D8	Decl 35-40 °	9.200	4.422.600	501.300	2.934.779.100	0,002080	2,4997
D9	Decl 40-45 °	4.900	1.697.200	501.300	2.934.779.100	0,002887	2,8274
D10	Decl > 45 °	4.600	2.462.500	501.300	2.934.779.100	0,001868	2,3921

As classes de declive que revelam uma maior associação aos movimentos de vertente são as que estão compreendidas entre D5 e D10 (25° a 90°), correspondendo às áreas onde os declives são mais acentuados, com *Scores* entre 2,2963 e 2,8274.

### 5.1.2. EXPOSIÇÃO DAS VERTENTES

De acordo com o Quadro 5.2, as vertentes expostas ao quadrante Norte (EXP2) e a Nordeste (EXP3), possuem *Scores* de 1,1516 e 0,5234 respectivamente, revelando uma maior susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente, o que pode ser devido ao facto de serem mais húmidas, o que favorece a sua instabilização.

As áreas planas (EXP1) possuem um *Score* de -3,1812 o que lhes atribui uma baixa probabilidade de ocorrência de movimentos, tal como era esperado.

Quadro 5.2 - Resumo dos *Scores* da exposição

ID	Classes	SI	NI	S	N	(SI/NI)/(S/N)	Ln((SI/NI)/(S/N))
		m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>		
EXP1	Plano	3.500	493.304.700	501.300	2.934.779.100	0,000007	-3,1812
EXP2	Norte	152.000	281.304.700	501.300	2.934.779.100	0,000540	1,1516
EXP3	Nordeste	81.300	281.994.500	501.300	2.934.779.100	0,000288	0,5234
EXP4	Este	33.000	290.392.400	501.300	2.934.779.100	0,000114	-0,4075
EXP5	Sudeste	54.100	303.217.100	501.300	2.934.779.100	0,000178	0,0436
EXP6	Sul	59.600	299.418.700	501.300	2.934.779.100	0,000199	0,1530
EXP7	Sudoeste	34.600	320.205.300	501.300	2.934.779.100	0,000108	-0,4579
EXP8	Oeste	20.000	334.736.400	501.300	2.934.779.100	0,000060	-1,0504
EXP9	Noroeste	63.200	330.205.300	501.300	2.934.779.100	0,000191	0,1138

### 5.1.3. CURVATURA DAS VERTENTES

O Quadro 5.3 mostra que a classe de vertentes côncavas (CUR3) é aquela que apresenta maior probabilidade de vir a sofrer movimentos de vertente, com um *Score* de 0,9609, facto que é justificável, atendendo à tendência para a concentração da água nestas áreas.

A classe das vertentes rectilíneas/planas (CUR2) é aquela que tem menor probabilidade de registar movimentos de vertente com um *Score* de -1,6708.

Quadro 5.3 - Resumo dos *Scores* da Curvatura

ID	Classes	SI	NI	S	N	(SI/NI)/(S/N)	Ln((SI/NI)/(S/N))
		m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>		
CUR1	Convexo	177.900	502.573.500	500.600	2.825.916.100	0,000354	0,6923
CUR2	Rectilíneo	58.400	1.752.585.300	500.600	2.825.916.100	0,000033	-1,6708
CUR3	Concavo	264.300	570.757.300	500.600	2.825.916.100	0,000463	0,9609

#### 5.1.4. OCUPAÇÃO E USO DO SOLO

As classes OUS2 (áreas de mato) e OUS8 (áreas de incultos) são aquelas que apresentam *Scores* mais elevados, respectivamente 1,5432 e 0,2411 (Quadro 5.4), apresentando uma maior susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente.

Em oposição, encontram-se as classes OUS6 com *Score* de -3,7939 e OUS7 com *Score* de -3,7938, apresentando uma menor probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente. Nesta variável convém ressaltar que a classe OUS7 é um caso em que o resultado de Si/Ni foi 0, tendo-lhe sido atribuído arbitrariamente um VI abaixo dos obtidos para o conjunto das variáveis (-3,7940).

Quadro 5.4 - Resumo dos *Scores* da Ocupação e Uso do Solo

ID	Classes	SI	NI	S	N	(SI/NI)/(S/N)	Ln((SI/NI)/(S/N))
		m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>		
OUS1	Áreas de loteamentos	1.200	33.120.400	501.300	2.828.287.600	0,000036	-1,5876
OUS2	Áreas de mato	275.700	332.410.400	501.300	2.828.287.600	0,000829	1,5432
OUS3	Áreas agrícolas	49.300	997.614.200	501.300	2.828.287.600	0,000049	-1,2772
OUS4	Áreas florestais	104.600	690.731.500	501.300	2.828.287.600	0,000151	-0,1574
OUS5	Áreas húmidas diversas	6.900	85.852.400	501.300	2.828.287.600	0,000080	-0,7909
OUS6	Áreas urbanas diversas	1.600	401.045.900	501.300	2.828.287.600	0,000004	-3,7939
OUS7	Áreas verdes urbanas	0	8.566.000	501.300	2.828.287.600	0,000000	-3,7940
OUS8	Áreas de incultos	60.700	269.100.800	501.300	2.828.287.600	0,000226	0,2411
OUS9	Áreas de inertes	1.300	9.846.000	501.300	2.828.287.600	0,000132	-0,2945

### 5.1.5. LITOLOGIA

O Quadro 5.5 mostra que as classes UGL4 (rochas graníticas e afins) e UGL7 (rochas sedimentares plásticas (margas e argilas) são as que possuem os *Scores* mais elevados com 1,2817 e 0,9498 respectivamente, sendo estas as classes com maior probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente.

Quadro 5.5 - Resumo dos Scores da Litologia

ID	Classes	SI	NI	S	N	(SI/NI)/(S/N)	Ln((SI/NI)/(S/N))
		m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>		
UGL1	Depósitos superficiais	5.300	955.938.700	501.000	2.889.063.800	0,000006	-3,4429
UGL2	Planos de água	0	6.600.100	501.000	2.889.063.800	0,000000	-3,7938
UGL3	Rochas carbonatadas compactas	81.300	186.733.100	501.000	2.889.063.800	0,000435	0,9205
UGL4	Rochas graníticas e afins	26.800	42.898.000	501.000	2.889.063.800	0,000625	1,2817
UGL5	Rochas metamórficas (corneanas)	0	11.437.100	501.000	2.889.063.800	0,000000	-3,7938
UGL6	Rochas sedimentares detríticas (grés, conglomerados)	58.200	83.5467.900	501.000	2.889.063.800	0,000070	-0,9120
UGL7	Rochas sedimentares plásticas (margas e argilas)	306.000	688.750.100	501.000	2.889.063.800	0,000444	0,9408
UGL8	Rochas vulcânicas	23.400	161.238.800	501.000	2.889.063.800	0,000145	-0,1781

Em oposição encontra-se a classe UGL1 (depósitos superficiais) e UGL5 (rochas metamórficas (corneanas) com *Scores* de -3,4429 e de -3,7938 respectivamente, como as classes onde existe menor probabilidade de ocorrerem movimentos de vertente.

### 5.2. MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE VERTENTE DA AML

No presente trabalho a cartografia de susceptibilidade, criada através do software ArcGis seguiu os parâmetros estipulados no Guia Metodológico no respeitante ao número de classes, designações e cores utilizadas, excepção feita à classe Susceptibilidade “Nula ou Não aplicável”, substituída pela classe de susceptibilidade “Muito Baixa” e à cor cinza clara que substituiu a cor branca na legenda (Figura 5.1).

A susceptibilidade elevada foi considerada para as áreas que apresentam Valor Informativo total superior a 1.

A classe de susceptibilidade moderada foi atribuída aos Valores Informativos compreendidos entre 0 e 1. Quando os scores do VI variam entre 0 e -1 a susceptibilidade é baixa, e para valores abaixo de -1 considera-se a susceptibilidade muito baixa.

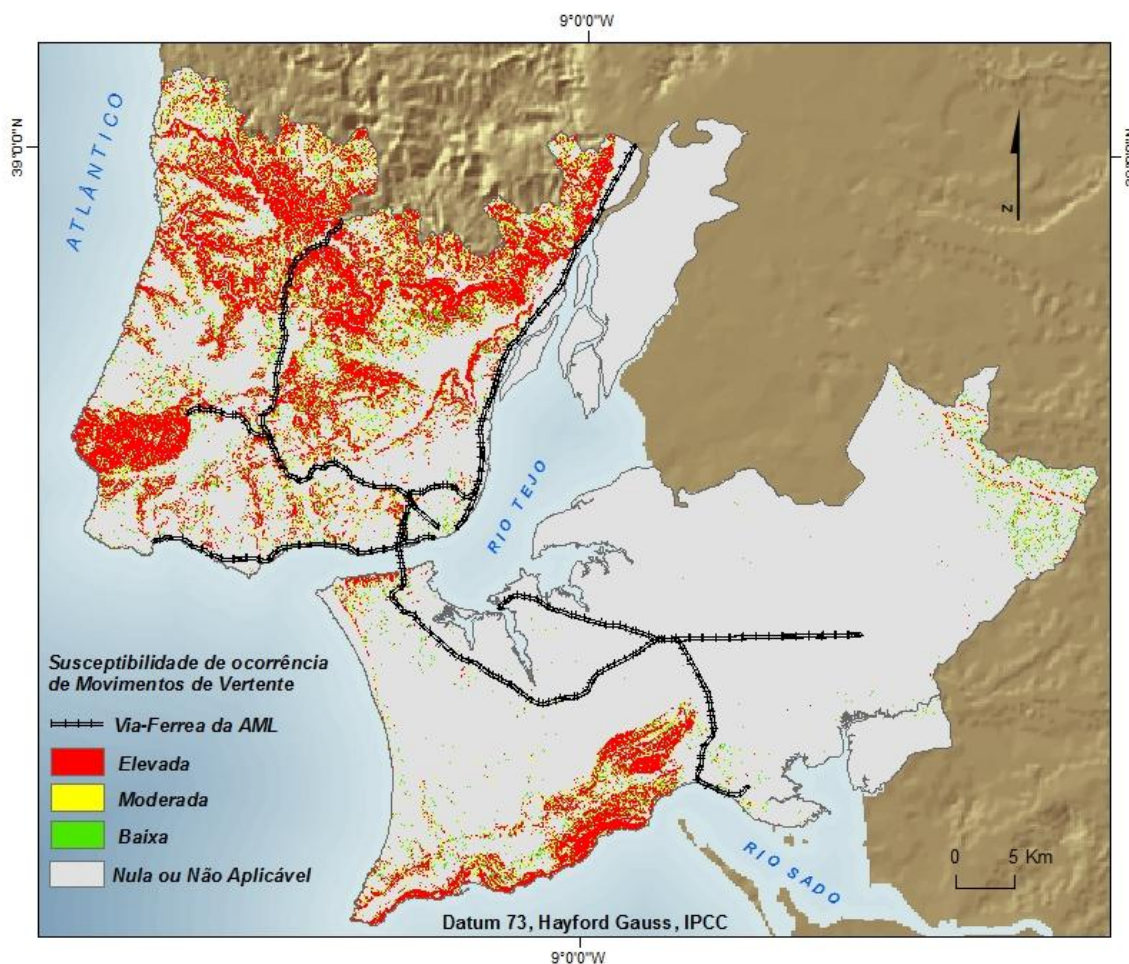


Figura 5.1 – Mapa de Susceptibilidade à instabilidade de vertentes na AML

A classe de susceptibilidade “Elevada” ocupa cerca de 400 km<sup>2</sup> de um total de 2,823 km<sup>2</sup>, o que equivale a dizer que cerca de 14 % da AML possui uma elevada susceptibilidade á ocorrência de movimentos de vertente. Em oposição directa encontra-se a classe de susceptibilidade “Muito Baixa” que ocupa a maioria da AML, com uma área de 2.208 km<sup>2</sup>, representando cerca de 78 % do AML.

As classes de susceptibilidade “Baixa” e “Moderada” ocupam ambas apenas cerca de 4 % da AML, com 104 km<sup>2</sup> e 111 km<sup>2</sup> respectivamente, ficando bastante aquém das anteriores (Quadro 5.6).

Quadro 5.6 – Resumo das Classes de Susceptibilidade à instabilidade de vertentes na AML

Classes de Susceptibilidade	VI	Cor da Classe	Nº de Pixéis	Área km <sup>2</sup>	Área %
<b>Elevada</b>	[1-7,765]	VERMELHO	3.999.780	400	14
<b>Moderada</b>	[0-1]	AMARELO	1.108.646	111	4
<b>Baixa</b>	[(-1)-0]	VERDE	1.035.017	104	4
<b>Muito Baixa</b>	[ (-15,997) – (-1)]	CINZENTO	22.085.100	2.208	78

## 5.6. VALIDAÇÃO DO MODELO DE SUSCEPTIBILIDADE

A área abaixo da curva do modelo de Susceptibilidade gerado para a AML é de 94 % (Quadro 5.7) o que revela um forte ajuste do modelo aos dados e vice-versa.

Quadro 5.7 – AAC do modelo de susceptibilidade e dos modelos de validação, com ambos grupos

Modelos de Susceptibilidade	Taxa de Sucesso	Taxa de Predição (Modelação com Grupo 1)	Taxa de Predição (Modelação com Grupo 2)
AAC	94%	93%	93%

A Figura 5.2 ilustra a curva de sucesso do modelo resultante do cruzamento entre as variáveis de predisposição e a totalidade dos movimentos inventariados. Os resultados mostram que cerca de 80% dos movimentos de vertente se concentram nos 10 % da área da AML classificados como mais susceptíveis.

Por seu lado a totalidade dos movimentos de vertente analisados é explicada em cerca de 65 % da área da AML.

As Figuras 5.3 e 5.4 ilustram as curvas de predição de dois modelos de susceptibilidade, validados com amostras independentes de movimentos de vertente.

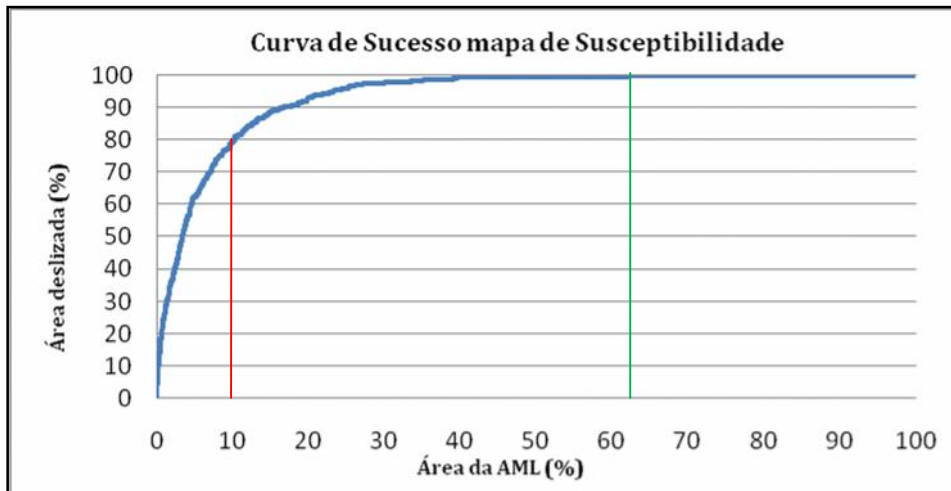


Figura 5.2 – Curva de Sucesso do Mapa de Susceptibilidade

A Figura 5.3 sintetiza o resultado do modelo de susceptibilidade construído com o Grupo de 1 (46 movimentos de vertente) e validado com o Grupo 2 (45 movimentos de vertente), enquanto a Figura 5.4 apresenta os resultados do modelo construído com o Grupo 2 e validado com o Grupo 1.

Na figura 5.3 verifica-se que com apenas 10 % da área da AML é possível explicar cerca de 70 % dos movimentos do grupo de validação, sendo que a totalidade dos mesmos é explicada pouco acima dos 45 % da área total.

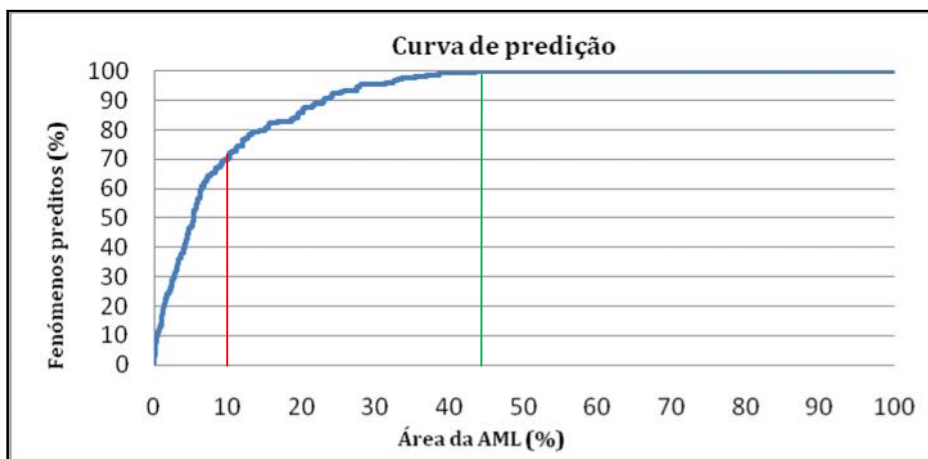


Figura 5.3 – Curva de Predição do Grupo 1

A Figura 5.4 mostra que com 10 % da área da AML é possível explicar cerca de 80 % dos movimentos do grupo de validação, uma subida de 10% face ao modelo anterior.

Esta subida revela uma maior capacidade preditiva por comparação com o modelo anterior, pese embora a explicação total dos movimentos ser atingida apenas acima dos 75 % da área estudada, o que justifica, no final, a mesma área Abaixo da Curva. Como se verifica no Quadro 5.7, os valores da AAC são em ambos os casos de 93%.

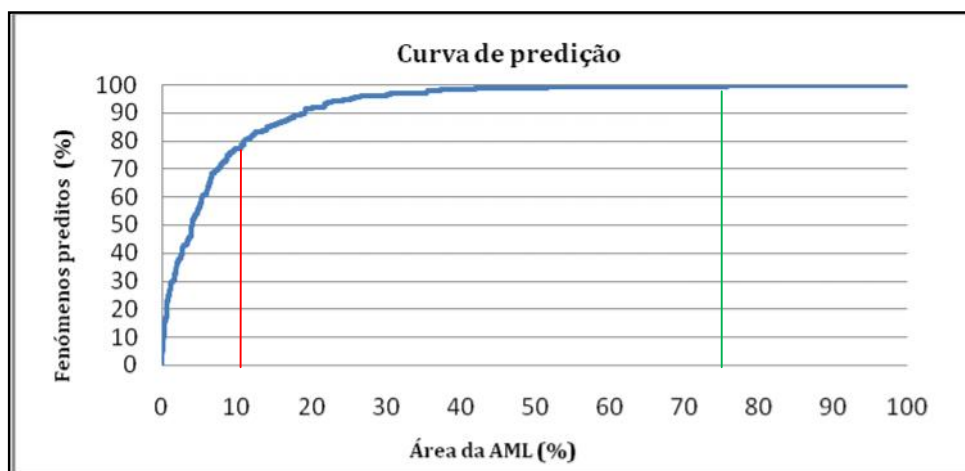


Figura 5.4 – Curva de Predição do Grupo 2

## 5.7. DISTRIBUIÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE POR CONCELHO DA AML

A distribuição da susceptibilidade por concelho foi efectuada tendo em consideração a área de cada Concelho e os resultados estão condensados nas Figuras 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8. Os Concelhos de Alcochete, Barreiro e Moita têm a totalidade do seu território na classe de Susceptibilidade “Muito Baixa” que, como já foi referido, representa cerca de 78% da área total da AML. Em posição contrária, os Concelhos de Loures e Mafra são os que possuem menor área na classe de susceptibilidade “Muito Baixa”.





Figura 5.5 – Distribuição da Susceptibilidade “Muito Baixa” por Concelhos

A classe de Susceptibilidade “Baixa” ocupa apenas 4 % da AML e verifica-se que os Concelhos de Loures e de Mafra são os que têm uma maior fracção do respectivo território nesta classe. Em posição contrária encontram-se os Concelhos de Alcochete, Barreiro, Moita e Palmela.

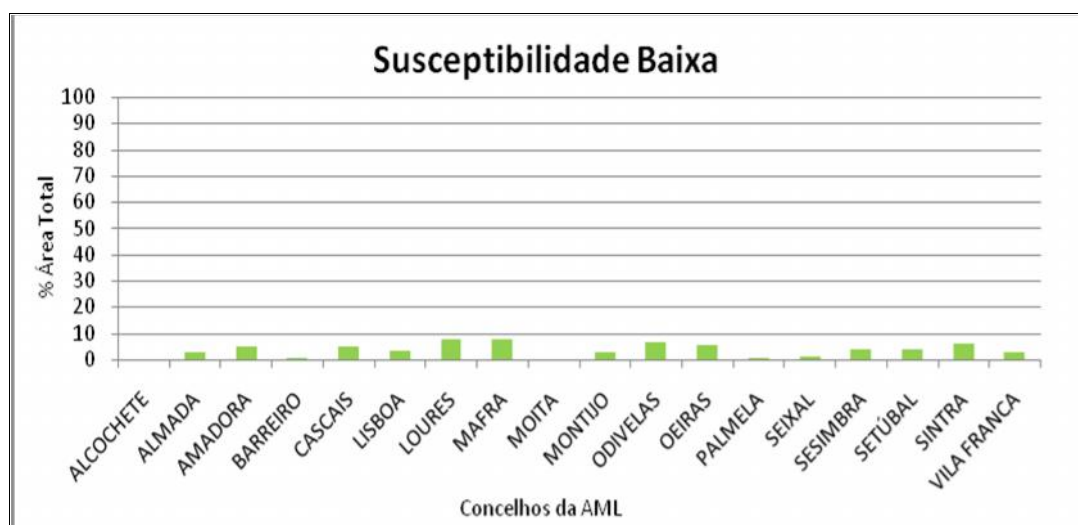


Figura 5.6 – Distribuição da Susceptibilidade Baixa por Concelhos

A classe de Susceptibilidade “Moderada” ocupa igualmente apenas 4 % da AML, e destacam-se, novamente, os Concelhos de Loures e Mafra como aqueles que possuem, em termos relativos, maior área nesta classe. Inversamente, Alcochete, Barreiro, Moita, Palmela e Seixal são aqueles que registam menor área da classe de Susceptibilidade “Moderada”.

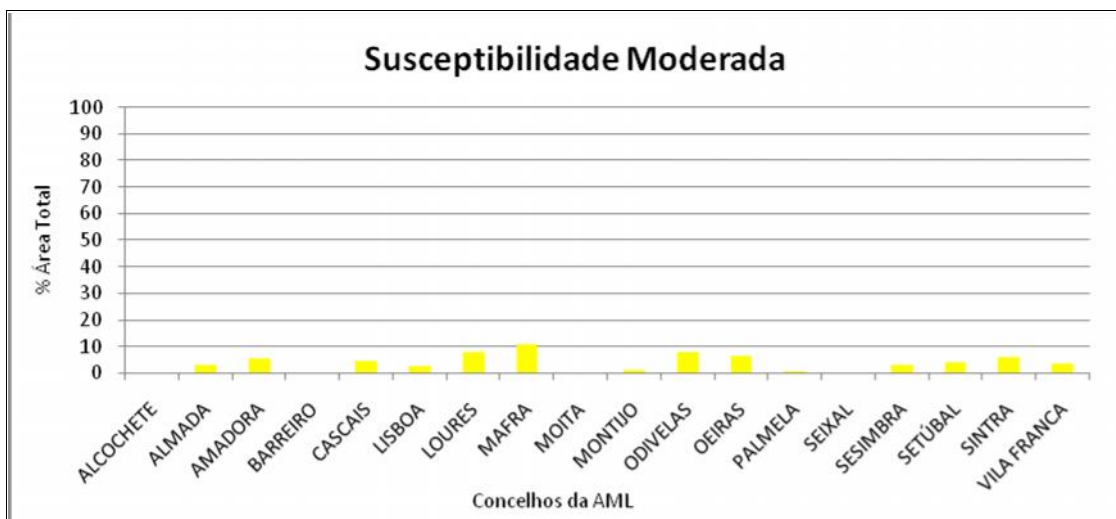


Figura 5.7 – Distribuição da Susceptibilidade Moderada por Concelhos

A classe de Susceptibilidade “Elevada” ocupa 14 % da AML. Loures e Mafra são os concelhos onde esta classe está melhor representada. Em posição contrária encontram-se os concelhos de Alcochete, Barreiro, Moita e Seixal, onde a classe não está presente.

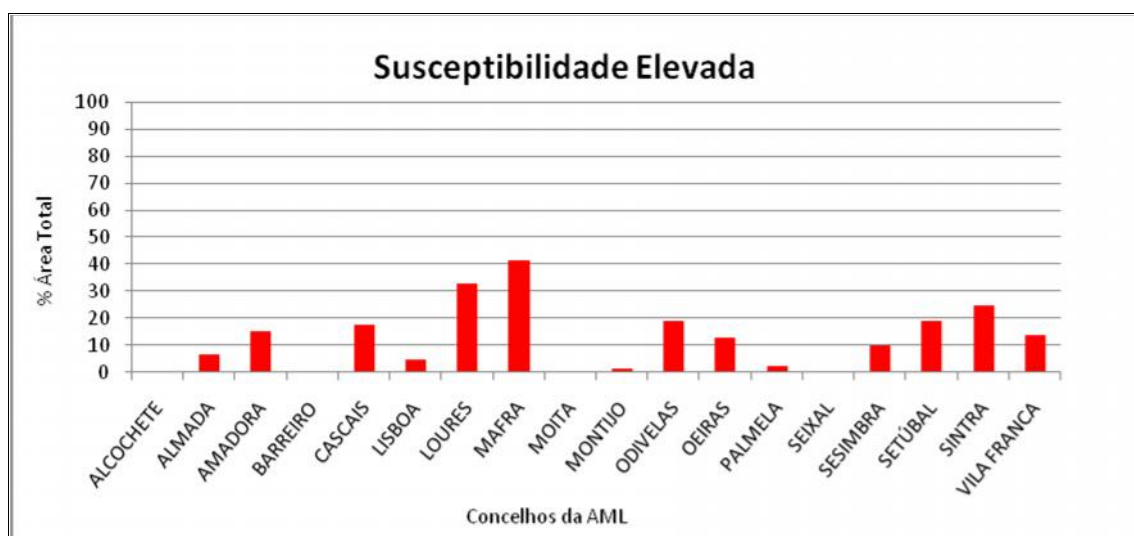


Figura 5.8 – Distribuição da Susceptibilidade Elevada por Concelhos

O relevo e a geologia condicionam claramente a susceptibilidade à instabilidade das vertentes nos Concelhos, sendo evidente a divisão existente entre os Concelhos a norte e a sul do Tejo. Na AML Sul apenas os Concelhos de Sesimbra e de Setúbal tem alguma expressão na classe de Susceptibilidade Elevada, em grande medida devido à presença da Serra da Arrábida. Pelo contrário, na AML Norte, os Concelhos de Mafra, Loures e Sintra destacam-se como os mais susceptíveis à ocorrência de movimentos de vertente.

## CAPITULO VI – RISCO DE OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE VERTENTE, NA REDE FERROVIÁRIA DA AML

Neste trabalho pretende-se avaliar o risco na rede ferroviária da AML induzido pela instabilidade geomorfológica. Não foram considerados os danos resultantes da acção de movimentos de vertente tanto no material circulante, como nas estações, devido à não existência de dados. A rede ferroviária da AML é analisada como um todo, numa primeira fase, e por linhas de exploração suburbanas, numa segunda fase.

Relativamente à Vulnerabilidade, e tendo em conta a especificidade da circulação ferroviária, optou-se por considerar sempre o valor máximo (1), partindo da assunção de que qualquer movimento de vertente que interfira com a rede rodoviária afectará a normal circulação ferroviária.

### 6.1. ANÁLISE DA PERIGOSIDADE

O Quadro 6.1. sistematiza a capacidade preditiva das classes de susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente, assumindo que a instabilidade geomorfológica futura vai apresentar um padrão espacial idêntico ao verificado no passado, controlado pelos mesmos factores de predisposição. Deste modo, num futuro não balizado, 89,3% dos movimentos de vertente deverão concentrar-se na classe de susceptibilidade elevada, que corresponde, como já foi referido, a apenas 14% da superfície total da AML. No mesmo sentido, as classes de susceptibilidade moderada e baixa deverão concentrar, respectivamente, 3,3% e 3,1% dos futuros movimentos de vertente. Por último, a classe de susceptibilidade muito baixa, que abrange 78% da área da AML, deverá receber 4,3% das manifestações de instabilidade futuras.

Quadro 6.1 - Valores de predição das classes de susceptibilidade

Classes de Susceptibilidade	Valores de VI	Nº de Pixéis	Capacidade Preditiva
Elevada	> 1	3.999.780	0,893
Moderada	0 – 1	1.108.646	0,033
Baixa	-1 - 0	1.035.017	0,031
Muito Baixa	< -1	22.085.100	0,043

A conversão do modelo de susceptibilidade num modelo de perigosidade implica a consideração de cenários futuros de instabilidade. No Capítulo 4 foi explicada a definição de dois cenários para diferentes realidades temporais. O Cenário 1 (para 5 anos), a que corresponde uma área deslizada de 501.300 m<sup>2</sup> (5.013 pixéis); e o Cenário 2 (para 10 anos) com uma área deslizada de 1.002.600 m<sup>2</sup> (10.026 pixéis).

Fazendo a distribuição das áreas a deslizar nos Cenários 1 e 2 pelas 4 classes de susceptibilidade, de acordo com a respectiva capacidade preditiva, resultam as probabilidades por pixel, representadas no Quadro 6.2.

As probabilidades por pixel são, naturalmente, máximas na classe de susceptibilidade elevada, onde atingem 0,00111 para o Cenário 1 e 0,00223 para o Cenário 2.

**Quadro 6.2 - Valores de probabilidade do Cenário 1 e do Cenário 2**

<b>Classes de Perigosidade (Cenário 1)</b>	<b>Nº de Pixéis a deslizar</b>	<b>Probabilidade por pixel</b>	<b>Classes de Perigosidade (Cenário 2)</b>	<b>Nº de Pixéis a deslizar</b>	<b>Probabilidade por pixel</b>
Elevada	4.477	0,00112	Elevada	8.953	0,00224
Moderada	165	0,00015	Moderada	331	0,00030
Baixa	155	0,00015	Baixa	311	0,00030
Muito Baixa	216	0,00001	Muito Baixa	431	0,00002

A Figura 6.1 ilustra o mapa de perigosidade à instabilidade de vertentes na AML. A distribuição espacial das 4 classes consideradas replica rigorosamente as classes do mapa de susceptibilidade. A diferença encontra-se no significado das classes, que correspondem a probabilidades de ocorrência de movimentos de vertente por pixel, associadas a dois cenários com distinta dimensão temporal.

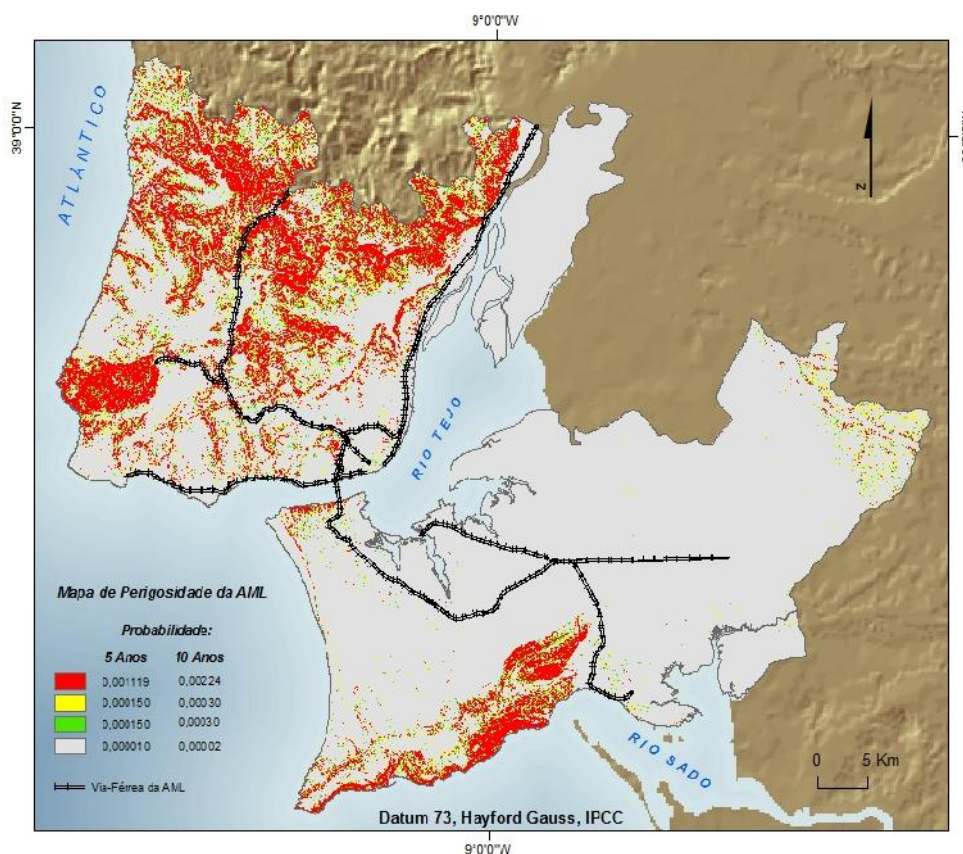


Figura 6.1 - Mapa de Perigosidade de instabilidade de vertentes na AML

## 6.2. RISCO NA REDE FERROVIÁRIA DA AML

As classes de Risco da rede ferroviária da AML foram definidas a partir do cruzamento entre a via-férrea da AML e o mapa de Perigosidade, sendo que o cálculo dos Custos Directos se basearam no Valor expresso no Quadro 4.11 do Capítulo IV (i.e. 5.728 € / metro linear de via férrea).

Inicialmente foram calculados os Custos Directos para a totalidade da rede ferroviária (Figura 6.2), sendo visível que a maior parte das áreas de Risco Elevado situam-se na AML Norte, nomeadamente no sector NO, onde o terreno é mais acidentado.

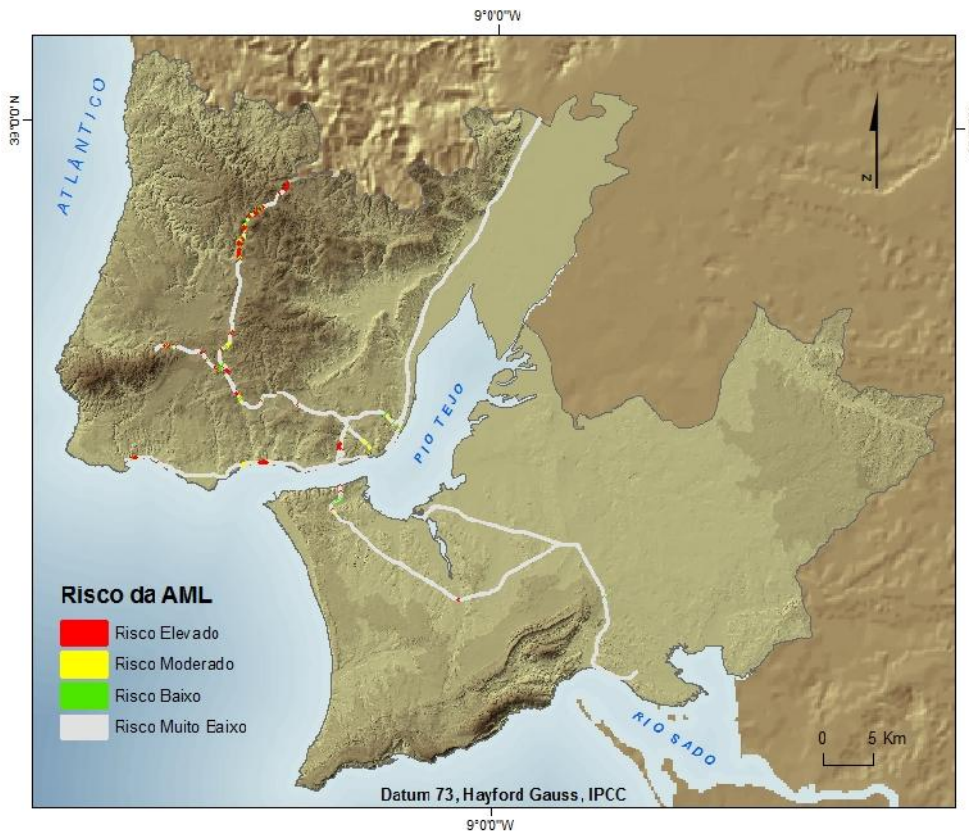


Figura 6.2 - Mapa de Risco da rede ferroviária da AML induzido por movimentos de vertente

O Quadro 6.3 fornece a indicação do número de pixéis existentes em cada classe de Risco da rede ferroviária da AML, assim como o Valor do risco de cada classe expresso em euros, obtido para cada cenário pelo produto da Perigosidade pelo Valor da via-férrea. Verifica-se ainda, pelo número de pixéis existentes em cada classe, que cerca de 95% da rede situa-se nas classes de Risco Baixo e Muito Baixo.

Quadro 6.3 - Risco da via-férrea da AML referente ao Cenário 1 e Cenário 2

Classes	Pixéis	%	Cenário 1 (€)	Cenário 2 (€)
Elevado	1214	3	641,00	1.282,00
Moderado	667	2	86,00	172,00
Baixo	670	2	85,00	171,00
Muito Baixo	32830	93	6,00	11,00

### 6.2.1. CUSTOS DIRECTOS

Os valores do Quadro 6.4 representam os Custos Directos para a totalidade da rede ferroviária, em ambos os Cenários considerados no que respeita à probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente.

A classe de Risco Muito Baixo é a que concentra a maior parte da rede ferroviária da AML, com 93 % do total, possuindo um Custo Directo total de 196.980,00 € para o Cenário 1 e de 361.130,00 € para o Cenário 2.

Quadro 6.4 - Valores finais do Risco da via-férrea da AML calculados para os Cenários 1 e 2.

Classes de Risco	Risco (€) por pixel Cenário 1	Risco (€) por pixel Cenário 2	Pixéis	%	Risco Total (Custos Directos, €) Cenário1/Cenário2
Elevado	641,00	1.282,00	1214	3	778.174,00 / 1.556.384,00
Moderado	86,00	172,00	667	2	57.362,00 / 114.724,00
Baixo	85,00	171,00	670	2	56.950,00 / 114.750,00
Muito Baixo	6,00	11,00	32830	93	196.980,00 / 361.130,00

Quanto às áreas onde os valores são mais expressivos, revelando a necessidade de uma maior monitorização ou implementação de acções preventivas, estas encontram-se na classe de Risco Elevado, cujo valor total, em termos de Custos Directos, varia entre 778.174,00 € no Cenário 1 e 1.556.384,00 € no Cenário 2.

### 6.2.2. DISTRIBUIÇÃO DO RISCO (CUSTOS DIRECTOS)

Como foi referido no Capítulo II, existem 5 linhas suburbanas de passageiros na AML: Linha de Sintra, Linha de Cascais, Linha da Azambuja, Linha do Sado e Eixo Norte/Sul que é explorado pela FERTAGUS. Adicionalmente, existe uma linha regional de passageiros, a Linha do Oeste.

Após terem sido calculados os Custos Directos para a totalidade da rede ferroviária, realizou-se uma análise comparativa entre as linhas suburbanas e regionais da AML.

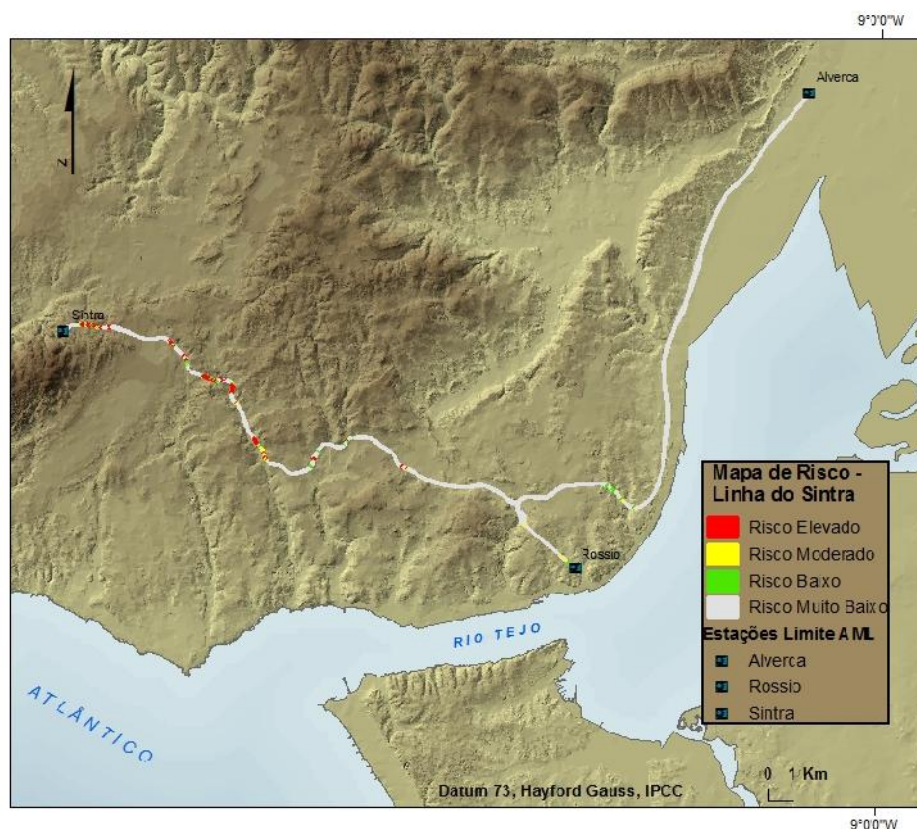


A **Linha de Sintra** possui Custos Directos superiores às restantes linhas suburbanas, totalizando 450.802,00 € para o Cenário 1 e 901.604,00 € para o Cenário 2 (Quadro 6.5).

**Quadro 6.5 - Custos Directos da Linha de Sintra.**

Linha de Sintra - Custos Directos (€)		
Classes de Risco	Cenários 1/2	%
Elevado	314.119,00/628.239,00	3,26
Moderado	29.068,00/58.136,00	2,25
Baixo	30.171,00/60.342,00	2,35
Muito Baixo	77.444,00/154.888,00	92,14
Total	450.802,00/901.604,00	100,00

A Classe de Risco Elevado abrange apenas 3,5% da via-férrea total, apesar de possuir um Custo Directo superior às restantes classes, com 314.119,00 € para o Cenário 1 e de 628.239,00 € para o Cenário 2. Em sentido contrário, a classe de Risco Muito Baixo representa 92 % da área total da linha de Sintra (Figura 6.3), possuindo custos de apenas 77.444,00 € para o Cenário 1 e de 154.888,00 € para o Cenário 2.



**Figura 6.3 - Mapa de Risco da Linha de Sintra induzido por movimentos de vertente**



A **Linha do Oeste** ocupa a segunda posição quanto aos Custos Directos, com 268.356,00 € no Cenário 1 e 536.711,00 € no Cenário 2, conforme se observa no Quadro 6.6. O serviço de passageiros inicia-se na Estação de Mira-Sintra/Meleças, em pleno Concelho de Sintra, evoluindo em seguida para Norte, em direcção à Figueira da Foz, ao longo de um percurso acidentado que atravessa o Concelho de Mafra, encontrando-se a estação da Malveira no limite da AML.

**Quadro 6.6 - Custos Directos da Linha do Oeste**

<b>Linha do Oeste - Custos Directos (€)</b>		
<b>Classes de Risco</b>	<b>Cenários1/2</b>	<b>%</b>
Elevado	240.398,00/480.795,00	21,44
Moderado	11.008,00/22.016,00	7,32
Baixo	10.684,00/21.368,00	7,15
Muito Baixo	6.266,00/12.533,00	64,09
Total	268.356,00/536.711,00	100,00

Cerca de 21 % do troço entre Mira-Sintra/Meleças e Malveira encontra-se na classe de Risco Elevado (Figura 6.4), com um Custo Directo na ordem dos 240.398,00 € e 480.795,00 € para os Cenários 1 e 2, respectivamente.

È na classe de Risco Muito Baixo que se encontra a maior parte da via-férrea (64 %), com Custos Directos na ordem dos 6.266,00 € no Cenário 1 e de 12.533,00 € no Cenário 2.

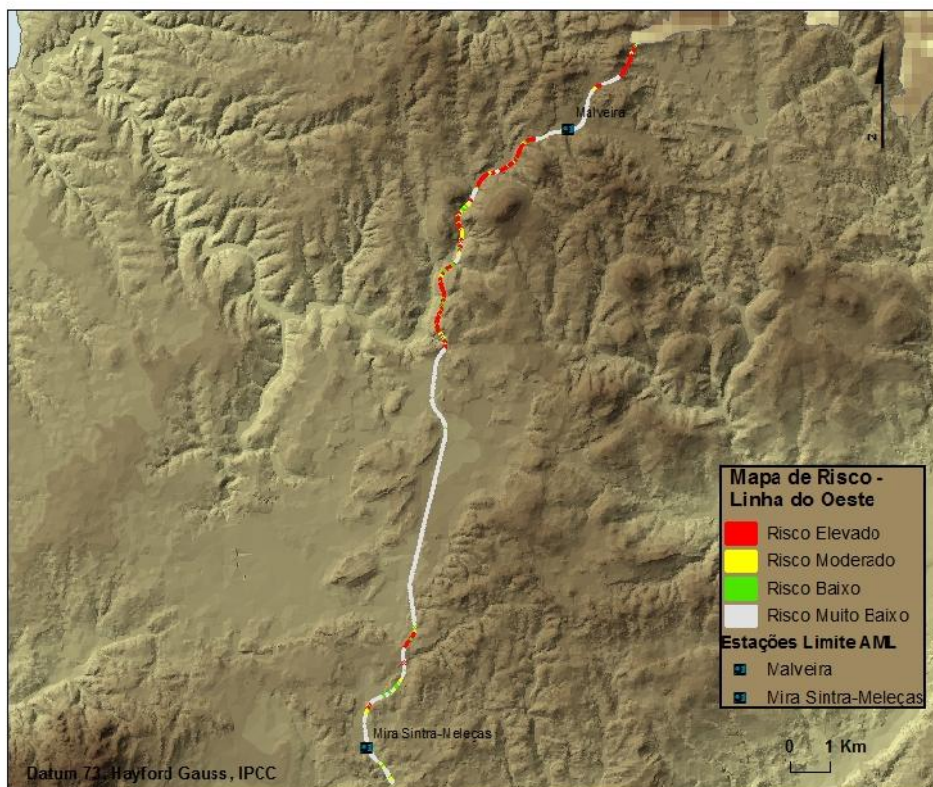


Figura 6.4 - Mapa de Risco da Linha do Oeste induzido por movimentos de vertente

A **linha de Cascais**, palco da tragédia da Gibalta já referida neste trabalho, estende-se ao longo da costa da AML Norte, mais concretamente entre a cidade de Lisboa e a cidade de Cascais.

O Custo Directo total é de 134.420,00 € (Cenário 1) e de 268.841,00 € (Cenário 2) (Quadro 6.7). Analisando a distribuição dos Custos Directos pelas classes de Risco, observa-se que a classe “Elevado” possui um Custo Directo de 105.775,00 € e 211.550,00 €, apesar de representar apenas 5 % do total da linha de Cascais.

O local onde se deu o acidente da Gibalta em 1952 situa-se na classe de Risco Elevado, o que vem de alguma forma validar o mapa de Risco gerado (Figura 6.5).

Já a classe de Risco Muito Baixo, que representa cerca de 91 % da área total da linha de Cascais, possui um Custo Directo de 16.804,00 € no Cenário 1 e de 33.607,00 no Cenário 2 (Quadro 6.7).

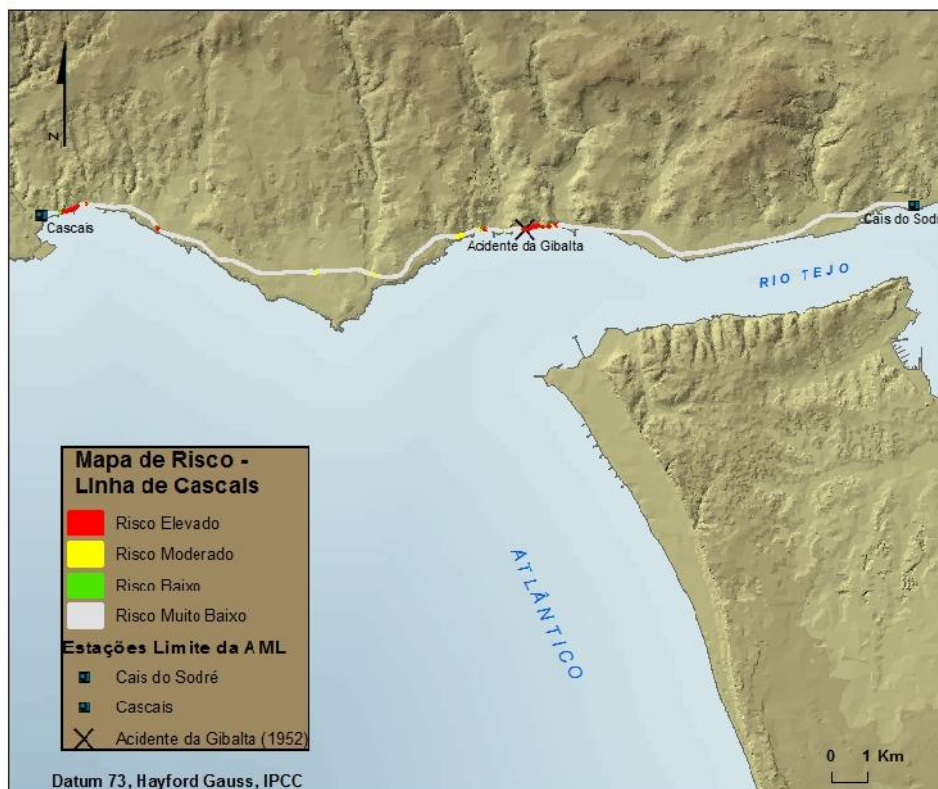


Figura 6.5 - Mapa de Risco da Linha de Cascais induzido por movimentos de vertente

Quadro 6.7 - Custos Directos da Linha de Cascais

Linha de Cascais - Custos Directos (€)		
Classes de Risco	Cenários 1/2	%
Elevada	105.775,00/211.550,00	4,99
Moderada	7.654,00/15.308,00	2,69
Baixa	4.188,00/8.376,00	1,48
Muito Baixa	16.804,00/33.607,00	90,84
Total	134.420,00/268.841,00	100,00

Quanto à **Linha da Azambuja** (Figura 6.6), o serviço de passageiros realiza-se entre a estação de Alcântara e a estação da Azambuja, sendo Vila Franca de Xira a estação limite dentro da AML.

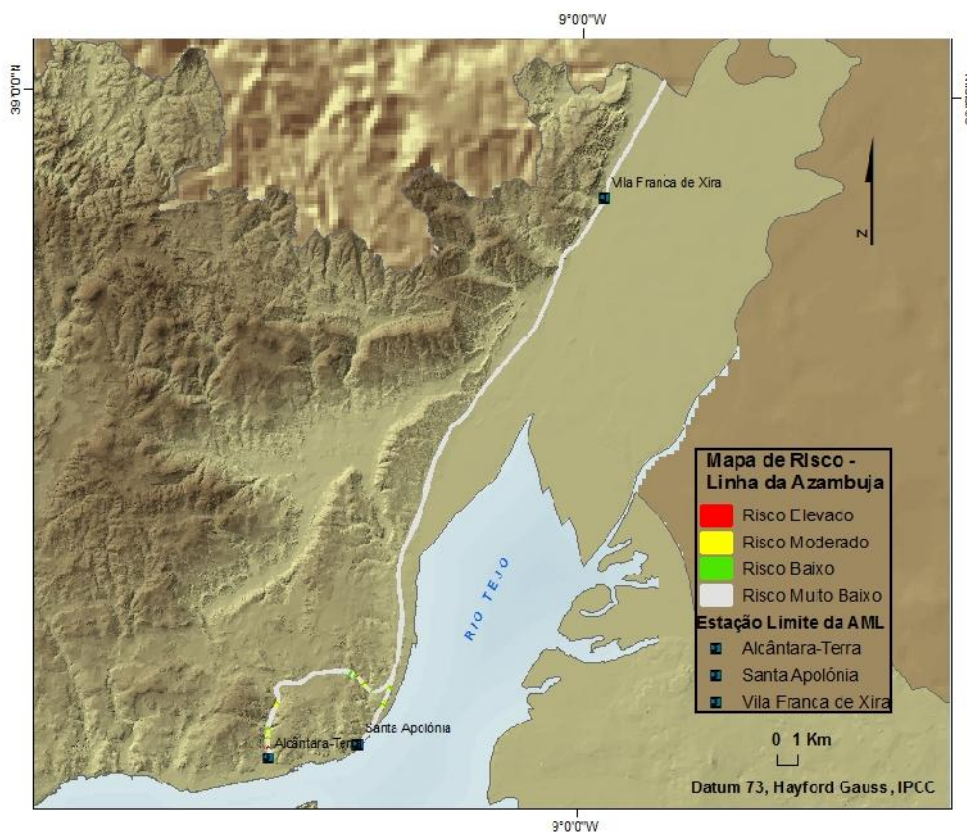


Figura 6.6 - Mapa de Risco da Linha de Azambuja induzido por movimentos de vertente

Os Custos Directos para os Cenários 1 e 2 são de 107.300,00 € e de 214.600,00 €, respectivamente (Quadro 6.8).

A classe de Risco Elevado possui apenas 0,21 % do total da via-férrea, equivalendo a 16.027,00 € e 32.053,00 € de custos directos para os Cenários 1 e 2.

A classe de Risco Muito Baixo representa cerca de 97 % da área total, com Custos Directos de 66.236,00 € e 132.472,00 €, para os Cenários 1 e 2.

Quadro 6.8 - Custos Directos da Linha da Azambuja

Linha da Azambuja - Custos Directos (€)		
Classes de Risco	Cenários 1/2	%
Elevado	16.027,00/32.053,00	0,21
Moderado	13.072,00/26.144,00	1,25
Baixo	11.966,00/23.932,00	1,15
Muito Baixo	66.236,00/132.472,00	97,39
Total	107.300,00/214.600,00	100,00



Um pouco mais a Sul, a linha suburbana da **Fertagus (Eixo Norte/Sul)**, inicia-se em Setúbal, seguindo na direcção de Roma/Areeiro, atravessando a linha de cintura, em plena AML Norte (Figura 6.7).

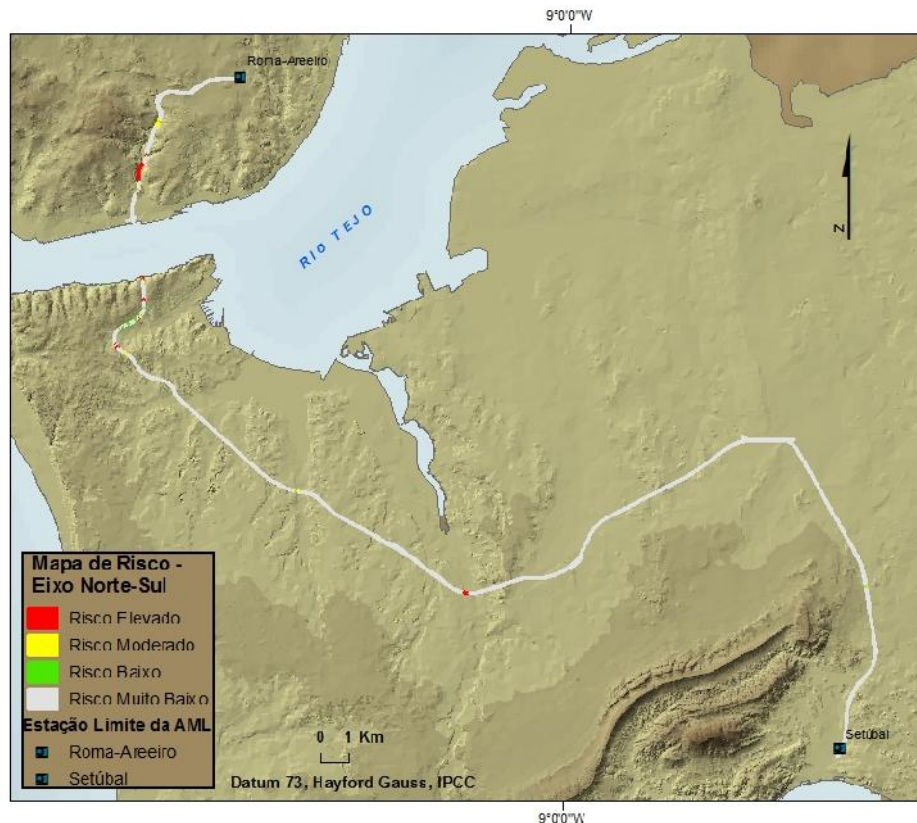


Figura 6.7 - Mapa de Risco Eixo Norte/Sul induzido por movimentos de vertente

Os Custos Directos totais ascendem a 172.265,00 € e 344.531,00 € para os Cenários 1 e 2, respectivamente. É na classe de Risco Elevado que os custos directos são superiores, (109.621,00 € e 219.243,00 € para os Cenários 1 e 2, respectivamente), apesar de esta classe abranger apenas 1,95 % da área total do eixo Norte/Sul (Quadro 6.9).

**Quadro 6.9 - Custos Directos do Eixo Norte/Sul (Fertagus)**

<b>Eixo Norte/Sul (Fertagus) - Custos Directos (€)</b>		
<b>Classes de Risco</b>	<b>Cenários ½</b>	<b>%</b>
Elevado	109.621,00/219.243,00	1,95
Moderado	6.106,00/12.212,00	0,81
Baixo	9.487,00/18.974,00	1,27
Muito Baixo	47.051,00/94.102,00	95,97
Total	172.265,00/344.531,00	100,00

A classe de Risco Muito Baixo abrange 96 % da área total desta linha e possui valores de 47.051,00 € e de 94.102,00 € para os 2 Cenários.

A **linha do Sado** faz a ligação entre a estação do Barreiro e o apeadeiro de Praias do Sado, em Setúbal (Figura 6.8).

Os Custos Directos totais calculados foram relativamente baixos, de 26.706,00 € para o Cenário 1 e de 53.411,00 € para o Cenário 2 (Quadro 6.10), sendo de destacar a inexistência da classe de Risco Elevado. A classe de Risco Muito Baixo, em oposição, representa praticamente a totalidade do Risco da linha do Sado (99,78 %), a que corresponde a um Custo Directo de 25.848,00 % no Cenário 1 e de 51.696,00 no Cenário 2.

**Quadro 6.10 - Custos Directos da Linha do Sado**

<b>Linha do Sado - Custos Directos (€)</b>		
<b>Classes de Risco</b>	<b>Cenários 1/2</b>	<b>%</b>
Elevado	0,00/0,00	0,00
Moderado	430,00/860,00	0,11
Baixo	427,00/855,00	0,11
Muito Baixo	25.848,00/51.696,00	99,78
Total	26.706,00/53.411,00	100,00

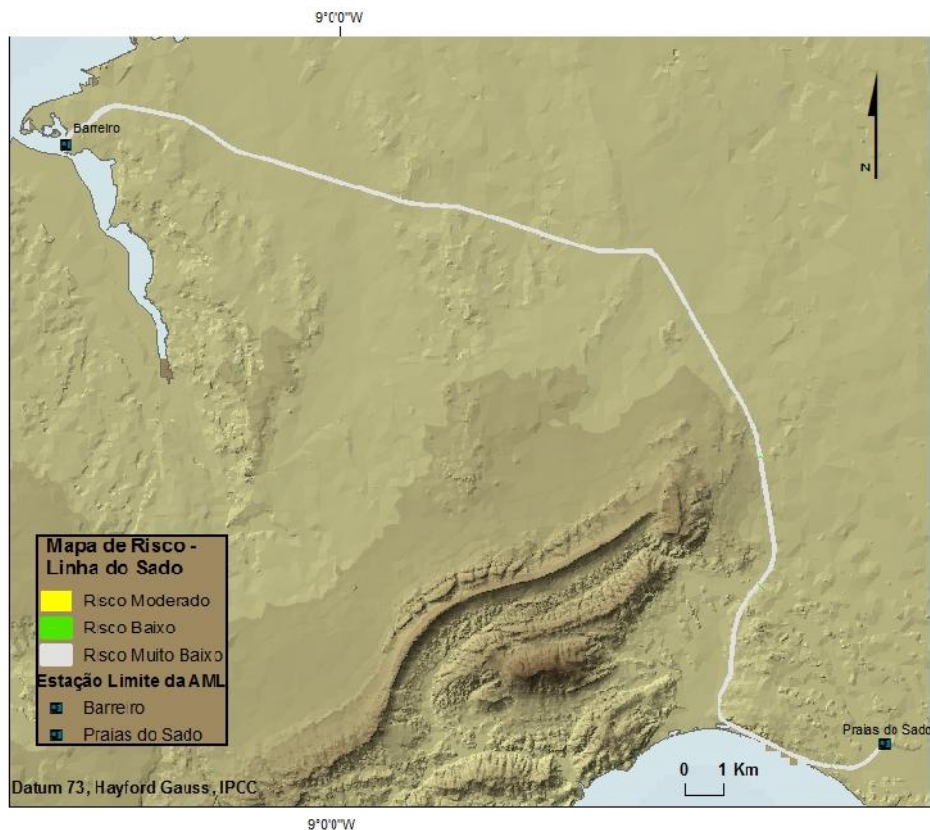


Figura 6.8 - Mapa de Risco da Linha do Sado induzido por movimentos de vertente

Em jeito de síntese, pode-se afirmar que a linha de Sintra caracteriza-se por possuir os custos directos mais elevados da rede ferroviária da AML. Os sectores com risco mais elevado concentram-se espacialmente no quadrante Oeste da rede, na direcção da estação de Sintra.

A linha do Oeste ocupa a 2ª posição, relativamente aos Custos Directos. A classe de Risco Elevado abrange 21% do total da linha na AML, nomeadamente na sua parte Norte, em associação com o acidentado do terreno.

A linha de Cascais ocupa a terceira posição relativamente aos Custos Directos resultantes, com uma incidência da classe de Risco Elevada na área onde se deu a tragédia da Gibalta em 1952 (entre as estações de Caxias e Cruz Quebrada) e junto à estação de Cascais, vindo a confirmar que na zona referida ainda existe um elevado Risco para a via-férrea.

O eixo Norte/Sul (Fertagus) posiciona-se na quarta posição no que respeita aos custos directos. No entanto, as situações de risco elevado ocorrem apenas em zonas pontuais.

A linha da Azambuja possui apenas 0,20% de sua área na classe de Risco Elevado, o que está associado certamente aos baixos declives do terreno na zona da sua implantação.

Por último, a Linha do Sado é a que apresenta valores mais baixos de risco, sendo que a classe de Risco Elevado não está presente e as classes de Risco Baixo e Moderado abrangem, em conjunto, apenas 0,2% do total da linha.

### **6.2.3. CUSTOS INDIRECTOS**

Tendo em conta que a rede ferroviária da AML possui um Risco reduzido, com cerca de 95% da rede ferroviária nas classes de Risco Baixo e Muito Baixo, calcularam-se os Custos Indirectos apenas para a classe de Risco Elevado, uma vez que é aí que existe maior probabilidade de ocorrerem movimentos de vertente, com influência na circulação ferroviária (Cenário 1 - probabilidade por pixel de 0,00112 e Cenário 2 - probabilidade por pixel de 0,00224).

Na linha do Sado, devido à ausência da classe de Risco Elevado, não foram calculados os Custos Indirectos.

Esta análise realizou-se em três fases distintas, tendo em conta um hipotético cenário de ocorrência de um deslizamento com 200 metros de largura num dado troço, causando uma interrupção da circulação ferroviária durante 26 dias.

**Numa primeira fase**, em cada uma das linhas identificou-se um local na zona de Risco Elevado onde é plausível a interrupção da linha pela ocorrência de um movimento de vertente de maior dimensão (200 m de largura). Apuraram-se, em seguida, os números diários de passageiros afectados pela interrupção do serviço ferroviária, calculando-se posteriormente o número e os custos dos autocarros necessários para realização do transporte de passageiros entre as estações afectadas.

Esta interrupção da via-férrea nos troços referidos no Quadro 6.11 causará à REFER os custos na contratação de transportes alternativos rodoviários variáveis entre cerca de 200 mil euros e quase 18,5 milhões de euros.



**Quadro 6.11 - 1ª Fase determinação dos Custos Indirectos das Linhas suburbanas da AML**

<b>Linhas Suburbanas da AML</b>	<b>Troços Afectados</b>	<b>Totais Passageiros Afectados</b>	<b>Alternativos (26 Dias, €)</b>
Linha de Sintra	Rio de Mouro - Cacem	138.878	18.478.330,00
Linha do Oeste	Mafra - Pedra Furada	1.509	199.550,00
Linha de Cascais	Caxias - Cruz Quebrada	65.859	8.764.236,00
Linha da Azambuja	Chelas - Roma/Areeiro	69.249	9.211.228,00
Eixo Norte/Sul (Fertagus)	Pragal - Campolide	76.454	10.169.068,00
Linha do Sado	----	8.376	0,00
Total Via-Férrea AML			47.054.789,00

As linhas de Sintra, Azambuja, Cascais e o Eixo Norte/Sul (Fertagus), são aquelas onde maior quantidade de passageiros será afectada devido à interrupção da via-férrea, gerando elevados custos resultantes da contratação de alternativos rodoviários. A linha de Sintra destaca-se das restantes, com um Custo Indirecto de 18.710.707,00 €, pelo elevado número de passageiros que diariamente ali são transportados.

**Numa segunda fase** pretendeu-se determinar a perda de receita sofrida pela REFER, devido à interdição dos troços afectados. Os cálculos foram efectuados tendo em conta os números médios diários de comboios e o tarifário definido pela REFER para a utilização da via-férrea da AML (Quadro 6.12). Este tarifário foi igualmente adaptado ao cenário escolhido para representar os Custos Indirectos (0,37 cêntimos por cada 200 metros de via percorridos).

**Quadro 6.12 - 2ª Fase determinação dos Custos Indirectos das Linhas suburbanas da AML**

<b>Linhas suburbanas da AML</b>	<b>Troços afectados</b>	<b>Número de composições médias diárias</b>	<b>Tarifário (26 Dias, €)</b>
Linha de Sintra	Rio de Mouro - Cacém	272	2.617,00
Linha do Oeste	Mafra - Pedra Furada	20	192,00
Linha de Cascais	Caxias - Cruz Quebrada	221	2.126,00
Linha da Azambuja	Chelas - Roma/Areeiro	157	1.510,00
Eixo Norte/Sul (Fertagus)	Pragal - Campolide	127	1.222,00
Linha do Sado	----	61	0.00
Total Via-Férrea AML			7.667,00

A linha de Sintra com 2.617,00 € e a linha de Cascais com 2.126,00 € são as que mais irão ser afectadas com esta situação, relativamente ao pagamento da tarifa de utilização da via-férrea. Este pagamento está directamente relacionado com o número de composições que circulam em cada uma das linhas, pelo que quanto maior for o número de composições, maior será o valor que cada operador receberá da REFER relativamente à interrupção da circulação, uma vez que mais comboios serão prejudicados. É nas linhas de Sintra e de Cascais que diariamente circula o maior número de comboios, contribuindo para os resultados finais desta fase.

**Numa terceira fase**, para calcular os quantitativos da indemnização que a REFER terá de pagar a cada operador ferroviário pelos atrasos resultantes da acção do movimento de vertentes (durante 26 dias), partiu-se do pressuposto que cada comboio sofrerá um atraso de 4 minutos na chegada à estação mais próxima do local da interrupção de via. Este atraso poderá dever-se a duas razões: constrangimentos na circulação resultantes das acções de transbordo rodoviário; constrangimentos resultantes de acções de reparação levadas a cabo pela REFER no local do deslizamento.

Uma vez mais, constata-se que os resultados são condicionados pelo número de composições que circulam em cada uma das linhas, sendo evidente novamente que é na linha de Sintra (CP) que o operador terá direito a receber a maior indemnização, fruto de maior número de composições afectadas (Quadro 6.13).

**Quadro 6.13 – 3ª Fase determinação dos Custos Indirectos das Linhas suburbanas da AML**

Linhas Suburbanas da AML	Troços Afectados	Número de Composições Médias Diárias	Valorização (26 Dias, €)
Linha de Sintra	Rio de Mouro - Cacém	272	28.288,00
Linha do Oeste	Mafra - Pedra Furada	20	2.080,00
Linha de Cascais	Caxias - Cruz Quebrada	221	22.984,00
Linha da Azambuja	Chelas - Roma/Areeiro	157	16.328,00
Eixo Norte/Sul (Fertagus)	Pragal - Campolide	127	13.208,00
Linha do Sado	----	61	0,00
Total Via-Férrea AML			82.888,00

## 6.2.4. DISTRIBUIÇÃO DOS CUSTOS INDIRECTOS

Foram analisadas as três fases dos cálculos dos Custos Indirectos para as 6 linhas suburbanas da AML, as quais surgem hierarquizadas no Quadro 6.14, de acordo com a magnitude dos custos indirectos.

Quadro 6.14 – Análise das 3 fases de determinação dos custos indirectos

Linhas Suburbanas da AML	Troços Afectados	Alternativos (26 Dias, €)	Tarifário (26 Dias, €)	Valorização (26 Dias, €)	Total (26 dias, €)
Linha de Sintra	Rio de Mouro - Cacém	18.710.707,00	2.617,00	28.288,00	18.741.612,00
Eixo Norte/Sul (Fertagus)	Pragal - Campolide	10.169.068,00	1.222,00	13.208,00	10.183.498,00
Linha da Azambuja	Chelas - Roma/Areeiro	9.211.228,00	1.510,00	16.328,00	9.229.066,00
Linha de Cascais	Caxias - Cruz Quebrada	8.764.236,00	2.126,00	22.984,00	8.789.346,00
Linha do Oeste	Mafra - Pedra Furada	199.550,00	192,00	2.080,00	201.822,00
Linha do Sado	----	----	----	----	0,00
Total Via-Férrea AML	----	47.054.789,00	7.667,00	47.062.456,00	47.145.344,00

A linha de Sintra, entre todas as linhas suburbanas da AML, é aquela que possui maiores Custos Indirectos. No cenário escolhido para determinar os Custos Indirectos, de uma hipotética interrupção de 200 metros entre as estações de Rio de Mouro e Cacém (Figura 6.9), estima-se que sejam afectados diariamente 138.878 passageiros, e o Custo Indirecto total ascende a 18.741.612,00 €.

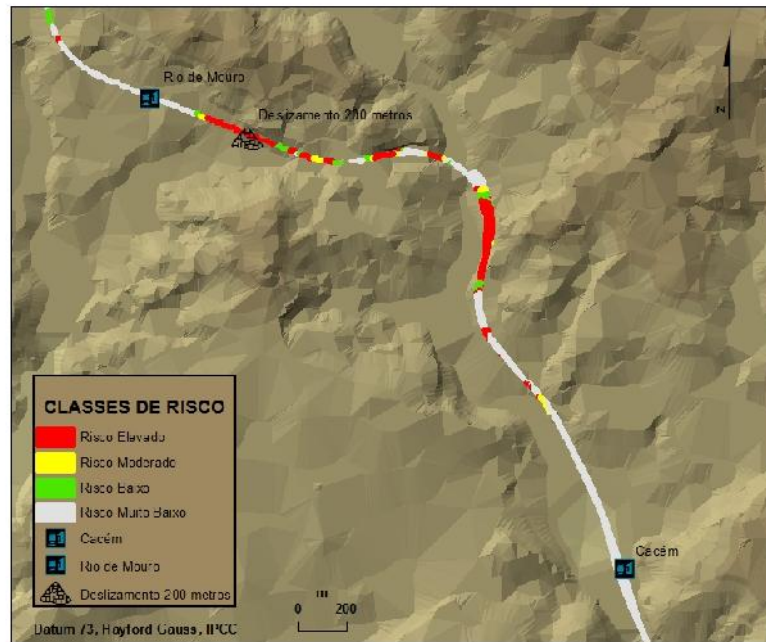


Figura 6.9 – Cenário de ocorrência de um movimento de vertente na linha de Sintra, com 200 m de largura

O eixo Norte/Sul (FERTAGUS) ocupa a segunda posição na determinação dos Custos Indirectos, devido ao elevado número de passageiros que transporta diariamente. Apesar de existir apenas desde 1999, actualmente a FERTAGUS já transporta 76.454 passageiros que se dispersam pelas 127 composições diárias. O cenário escolhido contempla a interrupção entre as estações do Pragal e de Campolide (Figura 6.10) e os Custos Indirectos totais ascendem a 10.183.498,00 €.

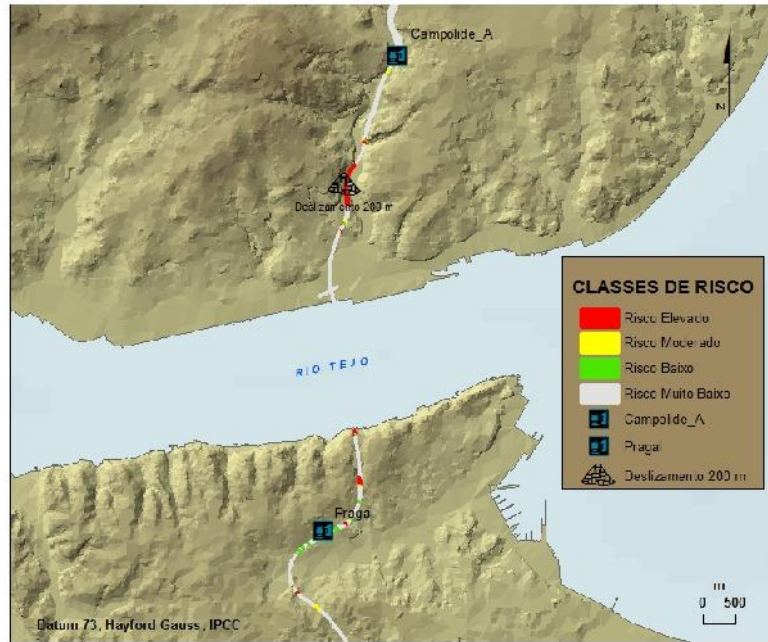


Figura 6.10 – Cenário de ocorrência de um movimento de vertente no Eixo Norte/Sul, com 200 m de largura

A linha da Azambuja (Figura 6.11) ocupa a terceira posição, relativamente aos Custos Indirectos, com um valor de 9.229.066,00 €, admitindo a ocorrência de um deslizamento a afectar a via entre as estações de Roma/Areeiro e Chelas. Os passageiros transportados são em menor número que na linha de Sintra e no eixo Norte/Sul mas, em contra-partida, existem mais comboios a circular que no eixo Norte/Sul. A linha da Azambuja transporta diariamente perto de 69 mil passageiros que se distribuem por 157 composições.

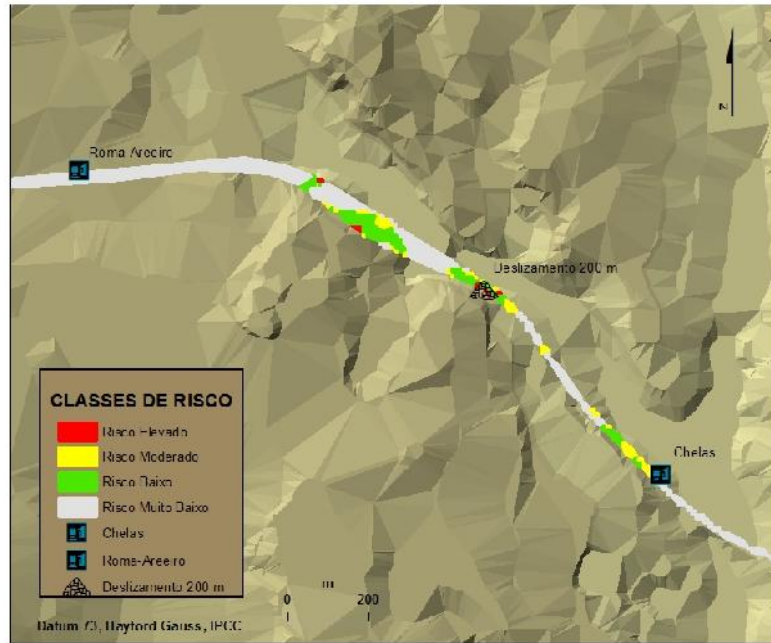


Figura 6.11 – Cenário de ocorrência de um movimento de vertente na linha da Azambuja, com 200 m de largura

Ao nível da AML a linha de Cascais é a segunda linha onde mais composições circulam. Esta transporta em média cerca de 65.859 passageiros nas suas 221 composições.

A linha de Cascais possui Custos Indirectos totais de 8.789.346,00 €, que dependem dos números de utilizadores e de circulações existentes, admitindo a ocorrência de um movimento de vertente entre as estações de Caxias e Cruz Quebrada (Figura 6.12).



Figura 6.12 – Cenário de ocorrência de um movimento de vertente na linha de Cascais, com 200 m de largura

Os valores da linha do Oeste reflectem a sua condição de cariz regional, embora esta seja uma das linhas da AML com maior margem de crescimento, uma vez que existe uma crescente faixa de população que se tem fixado na zona Oeste.

O certo é que os números de utilizadores e de circulações não são relevantes no contexto dos Custos Indirectos, admitindo uma interrupção entre a Pedra Furada e Mafra (Figura 6.13). Este resultado contrasta com o facto de esta linha ocupar a segunda posição no que respeita aos custos directos, apenas ultrapassada pela linha de Sintra.

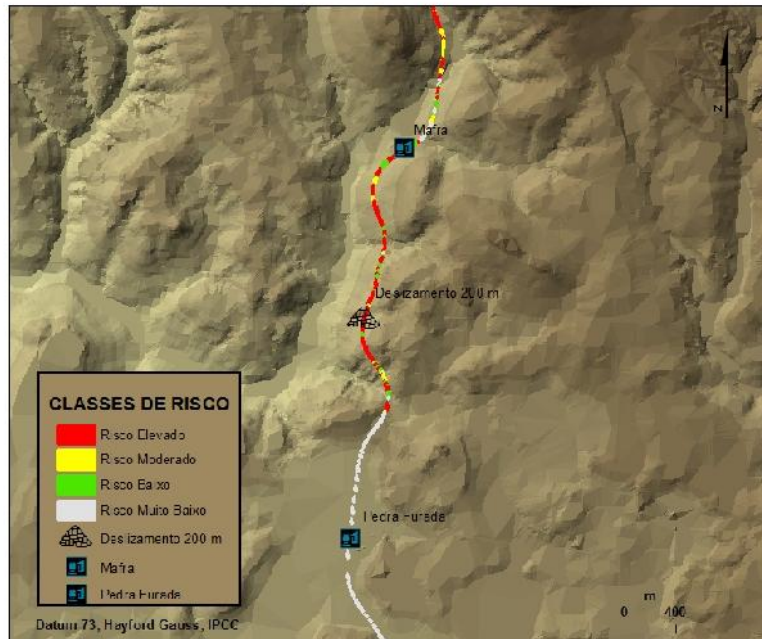


Figura 6.13 – Cenário de ocorrência de um movimento de vertente na linha de Oeste, com 200 m de largura

Importa não esquecer que os valores apresentados não têm em conta possíveis danos no material circulante, dependências ou em passageiros, uma vez que existe uma grande dificuldade em determinar estes custos, seja pela dificuldade existente na obtenção de dados, seja na dificuldade de quantificar a vida humana. Se estas variáveis pudessem entrar na determinação dos Riscos Directos e Indirectos, certamente que os valores apurados seriam muito superiores.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentam-se em seguida as considerações finais, relativas à conclusão da presente dissertação, tendo em conta que inicialmente foram definidos dois objectivos para este trabalho, aos quais se encontravam associadas duas questões de partida.

Ambos objectivos foram cumpridos com sucesso, o que pode ser confirmado através dos resultados apresentados nos capítulos V e VI.

Pretendia-se que as questões de partida funcionassem como um fio condutor, orientando cada uma das metodologias na direcção pretendida.

A primeira questão de partida - “Utilizando um inventário de movimentos de vertente, obtido através da foto-interpretação, sem recurso a trabalho de campo, é possível realizar um modelo de susceptibilidade com boas taxas de sucesso?” obteve uma resposta positiva, tendo ficado provado que é possível criar modelos de Susceptibilidade usando um inventário produzido apenas a partir de foto-interpretação. Não teria sido possível realizar este mesmo trabalho, se houvesse a necessidade de obter o inventário directamente no terreno, uma vez que seria impossível realizar o trabalho de campo em toda a área da AML em tempo útil. O objectivo inicial foi cumprido totalmente, uma vez que o modelo de Susceptibilidade obteve excelentes resultados, possuindo uma taxa de sucesso de 94%, revelando uma excelente qualidade estatística. As taxas de predição, possuem valores na ordem dos 93 %, o que, para além de permitirem a validação do modelo, aferem a sua robustez e fiabilidade, revelando um bom ajuste entre as variáveis independentes e a variável dependente (Inventário de Movimentos). Importa salientar que a construção do inventário de movimentos, baseado única e exclusivamente na interpretação de orto-fotomapas, constituiu uma das tarefas mais melindrosas de todo o projecto, uma vez que foram visualizados 199 orto-fotomapas, registando-se numa primeira fase 162 possíveis movimentos de vertente. Posteriormente, a partir do inventário original, foram validados 91 desses movimentos, com recurso a um conhecimento geomorfológico mais especializado.

Relativamente à segunda questão de partida, se “Através da modelação em ambiente SIG, é possível identificar as áreas de Risco da rede ferroviária da AML, calculando em seguida os Custos Directos e Indirectos associados ao risco nessas mesmas áreas?”, esta obteve igualmente uma resposta positiva, demonstrada no capítulo VI da

dissertação, para a totalidade da rede ferroviária da AML e para cada uma das linhas suburbanas.

Durante o processo metodológico, foi possível calcular a Susceptibilidade e a Perigosidade de ocorrência de movimentos de vertente na AML. No caso da perigosidade, consideraram-se dois cenários de actividade futura de instabilidade geomorfológica, para 5 e 10 anos de horizonte temporal. Este procedimento permitiu em seguida determinar e classificar o Risco existente na rede ferroviária, quantificando-se os custos inerentes, Directos e Indirectos. Estes custos foram calculados para a totalidade da rede e de cada uma das linhas suburbanas da AML. Neste contexto ficou claro que a rede ferroviária da AML possui um custo Directo total de 778.174,00 € para o cenário 1 e de 1.556.384,00 € para o cenário 2.

Relativamente aos Custos Indirectos, e aplicando um cenário hipotético em que numa das linhas ocorreria um movimento de vertente com 200 metros de largura, as perdas podem ascender a 18.741.612,00 €, na linha de Sintra que tem os custos mais elevados. Face aos resultados apresentados, e apesar da baixa probabilidade de ocorrência, sugere-se a implementação de monitorizações periódicas nas áreas classificadas com Risco elevado, complementadas pela implementação de “Sistemas de Detecção de Taludes”, funcionando como medida preventiva, com o objectivo de evitar futuros acidentes<sup>26</sup>. Este sistema tem sido utilizado entre as estações de Belver e Barca da Amieira e entre as estações de Fratel e de Rodão, e é composto por um conjunto de postes ligados entre si através de circuitos eléctricos, que ao serem interrompidos fornecem informação imediatamente ao posto de controlo, que fecha imediatamente os sinais e informa as equipas de manutenção para se deslocarem ao local, impedindo que as composições possam ser atingidas por deslizamentos (Instrução de Sinalização nº5, anexo 3, REFER, 2005, p. 16).

Importa ainda referir que, durante a realização da presente dissertação, foram muitas as dificuldades sentidas e os obstáculos ultrapassados, seja do ponto de vista técnico, seja do ponto de vista teórico. As dificuldades mais frequentes relacionaram-se com o processamento da informação de base, durante o processo de modelação e na fase de determinação do Valor Informativo. Outra das dificuldades sentidas ao longo da

---

<sup>26</sup> <http://adfer.cp.pt/ferxxi/ed31/PDF/028.pdf>

dissertação foi sem dúvida o acesso a dados e outra informação sobre a ferrovia em Portugal. Foi notória a existência de uma enorme dificuldade na obtenção de informação ferroviária junto dos organismos oficiais, nomeadamente toda aquela que envolvesse custos e/ou receitas, dados sobre passageiros e estações, bem como dados sobre acidentes ferroviários que resultassem da acção de movimentos de vertente, devido ao modo como a REFER classifica internamente a informação. Em muitos casos, foi necessário recorrer a contactos não oficiais para obter dados que permitissem essa análise, ou na melhor das hipóteses, publicações oficiais, onde constassem dados com os quais se pudesse estabelecer paralelismos. Muitos dos dados necessitaram de ser adaptados, para que pudessem ser utilizados.

Outra dificuldade que complicou o processo de modelação teve a ver com a selecção da área de estudo. Esta veio a verificar-se muito “pesada” ao nível do processamento, dada a sua dimensão e o tamanho do pixel escolhido. Relativamente ao tamanho do pixel, a utilização de um pixel menor poderia ter produzido melhores resultados gráficos e de análise espacial, mas iria tornar o processamento desta informação ainda mais pesado, devido ao enorme incremento do número de pixéis.



## BIBLIOGRAFIA

Bateira, C. (2001) – Movimentos de Vertente no NW de Portugal, Susceptibilidade Geomorfológica e Sistemas de Informação Geográfica, Dissertação de Doutoramento em Geografia Física, Porto;

Brardinoni, F. e Church, m. (2003) – Representing the Landslide Magnitude-Frequency Relation: Capilano River Basin, British Columbia, University of British Columbia, Canada;

Costa, N. M. (2007) - Mobilidade e Transporte em Áreas Urbanas. O Caso da Área Metropolitana de Lisboa, Dissertação de Doutoramento em Geografia Humana, Lisboa, p. 11-400;

Costa, N. e Mileu, N. (2006) – Sistemas de Informação Geográfica, Departamento de Geografia da Universidade de Lisboa.

Cruden, D.M. and Varnes, D.J. (1996) – Landslides Types and Processes, in Landslides, investigation and Mitigation, special report 247, Transportation Research Council;

Dias, R. e Pais, J. (2009) – Homegeinização da Cartografia Geológica do Cenozóico da Área Metropolitana de Lisboa (AML), Comunicações Geológicas, p. 39-50;

Diario de Noticias, 1 de Abril de 1952;

Directório da Rede de 2009, 2010, 2011 e 2012, Refer EPE;

Fernandes, S. (2006) – Ocupação e Uso do Solo: Aplicação com base num SIG para o parque Peneda Gerês, Instituto politécnico de Viana do Castelo, Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, p. 33-41;

Gama, C. Delgado, J. (2009) - Caso de Estudo sobre a Telegestão de Tráfego Ferroviário Baseada em Mapas de Risco Geotécnico, IST/Refer, Lisboa, p. 1;

Garcia, R.A.C. (2002) - Avaliação do Risco de Movimentos de Vertente na Depressão da Abadia (Torres Vedras), Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ambiente, Lisboa, p. 70-80;

Gazeta dos Caminhos de Ferro, nº1544, 1952, p. 67;

Geografia de Portugal – O Ambiente Físico, Vol. 1 e 4. (2005), Coordenado por Carlos Alberto Medeiros, Circulo de leitores;

Guillard, C. (2009) - Evaluation et cartographie du risque glissement de terrain d'une zone située au nord de Lisbonne, Dissertação de Mestrado, p. 19;

Henriques, C. (2009) – Dinâmica de Vertentes no Contexto da Reserva Ecológica Nacional: O Caso de Estudo do Concelho de Caldas da Rainha, Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento, Lisboa, p. 21-78;

Julião, R. (coordenador) et al (2009) - Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a Criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de Base Municipal, Autoridade Nacional de Protecção Civil e Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano/ Instituto Geográfico Português;

Lopes, P. (2008) – Avaliação Regional da Susceptibilidade a Deslizamentos no Concelho de Santarém, Dissertação de Mestrado em Geografia Física, Recursos e Riscos Ambientais, Lisboa;

Matos, J. (2008) - Fundamentos da Informação Geográfica, 5ª Edição, Lidel Lda;

Ministério da Administração Interna, Autoridade Nacional da Protecção Civil, Compilação Legislativa. 2ª Edição (2009);

Movimentos Pendulares e Organização do Território Metropolitano da AML e AMP, 1991-2001 (2003) INE, destaque do INE;

Orientações Estratégicas para o Sector Ferroviário, (2006), Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Secretaria de Estado dos Transportes.

Piedade A. (2009) – Modelação Espacial em Sistemas de Informação Geográfica da Susceptibilidade a Deslizamentos na Área de Lousa-Loures, Dissertação de Mestrado em Gestão do Território, área de especialização em Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, Lisboa;

Queiroz, M., Vaz, T. e Palma, P. (2007) – Uma reflexão a Propósito de Risco, VI Congresso de Geografia Portuguesa, Lisboa, 26-76;

Quaresma I, (2008) – Inventariação e Análise de Eventos Hidro-Geomorfológicos com Carácter Danoso em Portugal Continental, Dissertação de Mestrado em Geografia Física, Recursos e Riscos Ambientais, Lisboa;

Relatório do Estado do Ordenamento do Território (REOT), Departamento de Planeamento Urbano, Câmara Municipal de Lisboa, 2009;

REFER, Relatório de Contas 2006, 2008 e 2009;

REFER, (2005) Instrução de Sinalização nº5, Anexo 3, p. 16;

Ribeiro, O. (2004) - A Arrábida – Esboço Geográfico (3ª Edição), Fundação Oriente e Câmara Municipal de Sesimbra;

Ribeiro, F. (2009) - PROT-AML, Cenários de Desenvolvimento para a Área Metropolitana de Lisboa no Horizonte de 2020, p. 4;

Reis, Zêzere, Vieira e Rodrigues, (2003) – Integração de dados espaciais em SIG para avaliação de susceptibilidade ocorrência de deslizamentos (finisterra XXXVIII, 76. 2003, p. 3-34, Lisboa;

Reis, E.J.M. (1996) - Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica na Análise Morfológica de Bacias Hidrográficas, Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos, Lisboa;

Schuster (1996) – Landslides Types and Processes, in Landslides, investigation and Mitigation, special report 247, Transportation Research Council, 14-19;

Tenedório, J., Henriques, C., Silva, C. (2003) – Municípios, Ordenamento do Território e Sistemas de Informação Geográfica, Geoinova, projecto GEOCOMP;

Vasconcelos, J., Benedito, F. e Ferreira, P. (2002) – Avaliação da Susceptibilidade aos Deslizamentos no Distrito de Santarém, Publicações da Associação de Geomorfólogos, Vol. 1, APGeom, p. 63-65;

Varnes, D. et al, (1984) – Landslide Hazard Zonation, United Nations Educational, Cientific and Cultural Organization;

Verde, J. (2008) – Avaliação da Perigosidade de Incêndio Florestal, Dissertação de Mestrado em Geografia Física, especialização em Geografia Física, Recursos e Riscos Ambientais, Lisboa;

Zêzere, J.L. (1997) - Movimentos de vertente e perigosidade geomorfológica na Região a Norte de Lisboa. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física, Lisboa, p. 14-430;

Zêzere, J.L. (2000) - A Classificação dos Movimentos de Vertente: Tipologia, Actividade e Morfologia, Centro de Estudos Geográficos, Apontamentos de Geografia – Serie Investigação nº 6, Lisboa. P. 3-14;

Zêzere, J.L. (2001) - Dinâmica de vertentes e perigosidade geomorfológica na Área Metropolitana de Lisboa. II Seminário sobre Geologia Ambiental: Desprendimentos de Terra e Estabilidade de Vertentes, Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho;

Zêzere, J.L., Garcia, R.A.C., Oliveira, S.C., Reis, E. (2006) - Análise sensitiva na avaliação da susceptibilidade a deslizamentos na Região a Norte de Lisboa. Actas do X Colóquio Ibérico de Geografia “A Geografia Ibérica no contexto europeu”, p. 26-42;

Zêzere, J.L. (2005) - Dinâmica de vertentes e Riscos Geomorfológicos, Centro de Estudos Geográficos, Área de Geografia Física e Ambiente, relatório nº 41, Lisboa, p. 35-81;

Zêzere, J.L. (2001) – Distribuição e Ritmo dos Movimentos de Vertentes na Região a Norte de Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, Área de Geografia Física e Ambiente, relatório nº 38, Lisboa;

Zêzere, J.L., Pereira, A.R., Morgado, P. (2006) – Perigos Naturais e Tecnológicos no Território de Portugal Continental, Centro de Estudos Geográficos, Apontamentos de Geografia – Serie Investigação nº 19, Lisboa;

Zêzere, J.L., Garcia, R.A.C., Oliveira, (2007) – A importância do Processo de Classificação de Dados na cartografia – Um exemplo na Cartografia de Susceptibilidade a Movimentos de Vertente, Publicações na Associação Portuguesa de Geomorfólogos;

Zêzere, J.L., Pereira, A.R., Morgado, P. (2006) – Recursos Naturais em Portugal: Da Inventariação á Avaliação das Potencialidade do Território, Centro de Estudos Geográficos, Apontamentos de Geografia – Serie Investigação nº 18, Lisboa;

Zêzere, J.L., Garcia, R.A.C., Oliveira, S.C., Reis, E. (2006) – Probabilistic Landslide Risk Analysis Considering Direct Costs in the Area North of Lisbon (Portugal), Elsevier, p. 468-480;

Zêzere, J.L., Garcia, R.A.C., Oliveira, S.C., Reis, E. (2006) – Landslide Risk Analysis in the Area North of Lisbon (Portugal): Evaluation of Direct and Indirect Costs Resulting from a Motorway Disruption by Slope Movements, Springer-Verlag, p. 123-36;



## SÍTIOS DIGITAIS

<http://www.ceeeta.pt/energia/files/09/06-Transportes.pdf>  
(consultado dia 01-0-2010, ás 17:12);

<http://www.aml.pt/index.php?&iLevel1=gaml&iLevel2=territorio&iContent=index.htm>  
(consultado dia 16-01-2011, ás 17:07);

<http://www.adfer.pt/sessoes/cp.pdf>  
(consultado dia 30-01-2011, ás 11:50);

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Trag%C3%A9dia\\_da\\_Gibalta#O\\_acidente](http://pt.wikipedia.org/wiki/Trag%C3%A9dia_da_Gibalta#O_acidente)  
(consultado dia 19-04-2011, ás 14:33);

[http://alinhaetua.blogspot.com/2008\\_08\\_01\\_archive.html](http://alinhaetua.blogspot.com/2008_08_01_archive.html)  
(consultado dia 21-04-2011, ás 20:00);

[http://www.tsf.pt/PaginaInicial/Interior.aspx?content\\_id=858413](http://www.tsf.pt/PaginaInicial/Interior.aspx?content_id=858413)  
(consultado dia 11-05-2011, ás 18:00);

<http://www.refer.pt/MenuPrincipal/REFER/Investimentos/Apresentacao.aspx?ArticleID=141#Artigo>;  
(consultado dia 15-05-2011, ás 18:00);

<http://www.refer.pt/MenuPrincipal/REFER/Investimentos/Apresentacao.aspx?ArticleID=145#Artigo>  
(consultado dia 15-05-2011, ás 18:00);

<http://adfer.cp.pt/ferxxi/ed31/PDF/028.pdf>  
(consultado dia 13-06-2011)