

DINÂMICA DE VERTENTES E RISCOS GEOMORFOLÓGICOS

PROGRAMA



JOSÉ LUÍS ZÊZERE

CENTRO DE ESTUDOS GEOGRÁFICOS
ÁREA DE GEOGRAFIA FÍSICA E AMBIENTE

Relatório nº 41

Lisboa - 2005

**DINÂMICA DE VERTENTES E RISCOS
GEOMORFOLÓGICOS
PROGRAMA**

JOSÉ LUÍS ZÊZERE

CENTRO DE ESTUDOS GEOGRÁFICOS
ÁREA DE GEOGRAFIA FÍSICA E AMBIENTE

Relatório nº 41

Lisboa - 2005

FICHA TÉCNICA

TÍTULO: Dinâmica de vertentes e riscos geomorfológicos. Programa
AUTOR: José Luís Zêzere
UNIDADE DE INVESTIGAÇÃO: Centro de Estudos Geográficos – Universidade de Lisboa
ÁREA DE INVESTIGAÇÃO: Geografia Física e Ambiente
EDIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO: Centro de Estudos Geográficos – Universidade de Lisboa

ISBN: 972-636-157-5

Is this the real life?
Is this just fantasy?
Caught in a landslide...
No escape from reality...

Freddie Mercury, 1975



Las Colinas, S. Salvador, 2001 (USGS)

Communities will always face natural hazards. But hazards only become disasters when lives and livelihoods are swept away, mainly as a result of human activities. The challenge of a disaster reduction strategy (...) is to find a way to live with these phenomena, rather than die from them.

Prefácio de *Living with Risk: A global review of disaster reduction initiatives*
O Secretário-Geral das Nações Unidas, Agosto 2003

Índice

Preâmbulo	7
Introdução	11
Objectivos gerais, Métodos de ensino, Objectivos específicos e Avaliação da Disciplina	15
A. Objectivos Gerais e Métodos de Ensino	17
B. Objectivos Específicos	18
C. Avaliação	20
Programa	21
Plano do Programa	23
Planificação das Aulas	26
Desenvolvimento do Programa	29
I - Dinâmica de Vertentes: Aspectos Introdutórios	31
II - Tipologia e Actividade dos Movimentos de Vertente	37
III - A Mecânica de Solos e a Estabilidade das Vertentes	53
IV - As Causas dos Movimentos de Vertente	61
V - Metodologias de Análise dos Movimentos de Vertente	69
VI - A Avaliação de Riscos Geomorfológicos	81
VII - Trabalho Prático: Dinâmica de Vertentes e Susceptibilidade Geomorfológica na Região a Norte de Lisboa	97
Bibliografia	103
A. Bibliografia Essencial	106
B. Bibliografia Complementar Geral	111
C. Bibliografia Complementar Temática	113
D. <i>Sites</i> na Internet	127

Preâmbulo

O Programa de disciplina de opção de Dinâmica de Vertentes e Riscos Geomorfológicos que agora se publica constitui um relatório apresentado em Junho de 2004 ao concurso de Professor Associado, 5º Grupo – Geografia, da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa.

O texto agora editado segue a mesma estrutura do relatório então apresentado e não sofreu alterações significativas no conteúdo. As principais modificações dizem respeito à selecção e melhoria de apresentação da componente gráfica do trabalho e à referência a algumas obras de edição muito recente (por exemplo, Glade, T.; Anderson, M.G.; Crozier, M.J. (Eds.), 2005, *Landslide Hazard and Risk*. John Wiley & Sons Ltd., London) que, pela importância de que se revestem, passam a integrar a bibliografia de referência da disciplina.

Dinâmica de Vertentes e Riscos Geomorfológicos é uma disciplina de opção dirigida a alunos dos anos mais avançados (3º e 4º) de qualquer das cinco especializações da actual licenciatura em Geografia da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa.

Como seria inevitável, o programa apresentado reflecte os interesses e as preocupações científicas do seu autor, que decorrem de uma investigação desenvolvida em torno dos assuntos da instabilidade das vertentes e dos riscos geomorfológicos nas últimas duas décadas. No entanto, o programa foi também desenvolvido tendo presentes as potencialidades de aplicação das matérias leccionadas e pretende contribuir para o reforço das competências dos futuros geógrafos para uma intervenção profissional eficaz e de qualidade, particularmente nos domínios do ordenamento do território e da protecção civil.

Lisboa, 19 de Setembro de 2005

José Luís Zêzere

Introdução

O estudo da dinâmica de vertente e dos perigos e riscos que lhes estão associados tem sido partilhado, ao nível internacional, pela Geomorfologia, Geologia, Engenharia Geológica e Geotecnia. As abordagens geomorfológica e geológica tradicionais preocupam-se, no essencial, com as causas, evolução e distribuição das manifestações de instabilidade nas vertentes, no espaço e no tempo. Por seu turno, a atenção da Engenharia Geológica e da Geotecnia foi sempre mais orientada para o estudo detalhado de situações particulares, quase sempre “casos de obra”, suportado pelas técnicas quantitativas das Mecânicas de Solos e de Rochas.

A cooperação interdisciplinar entre geomorfólogos, geólogos e engenheiros, e o enriquecimento conceptual e metodológico resultante das experiências partilhadas, verificados desde a década de 1950, justificaram o desenvolvimento quantitativo e qualitativo dos estudos sobre dinâmicas de vertente um pouco por todo o mundo. A tomada de consciência da importância do tema, nas suas relações com o ordenamento e gestão do território, conduziu à inclusão da instabilidade de vertentes, quase sempre em posição de destaque, nos Congressos Internacionais de Geografia, Geologia, Geomorfologia e Engenharia Geológica, e à realização de reuniões temáticas muito participadas, das quais se destaca o Simpósio Internacional sobre movimentos de vertente, realizado a cada quatro anos, e que completou em 2004 a sua nona edição.

O interesse pela dinâmica de vertentes em Portugal é relativamente recente, sendo praticamente nulas as referências ao tema anteriores a 1965. Destaca-se o trabalho pioneiro de F. Rebelo (1967) dedicado à evolução das vertentes do vale do baixo Dueça, e, principalmente, os trabalhos de A.B. Ferreira e colaboradores desenvolvidos na Região a Norte de Lisboa, a partir de meados da década de 1980. Por essa altura, A.B. Ferreira foi responsável pela introdução do tema da dinâmica de vertentes e, principalmente, dos riscos naturais, no plano curricular do curso de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, no âmbito da disciplina de Seminário de Geomorfologia.

Nos últimos 20 anos, a dinâmica de vertentes e os riscos geomorfológicos consolidaram-se na Geografia Física investigada e ensinada na “Escola de Geografia

de Lisboa”. No actual plano curricular estes temas aparecem, com maior ou menor desenvolvimento, explícita ou implicitamente, nas disciplinas obrigatórias de Geomorfologia Geral, Geomorfologia Dinâmica, Geografia de Portugal, Análise Biofísica do Território e Seminário de Geografia Física e Ordenamento do Território.

Sempre sob a responsabilidade do autor deste programa, a disciplina de opção de Dinâmica de Vertentes e Riscos Geomorfológicos funcionou inicialmente em regime anual, nos anos lectivos de 1995-96 e 1997-98. Nos anos lectivos de 2000-01 e 2002-03 a disciplina voltou a funcionar, agora em regime semestral, integrada na actual organização curricular da licenciatura em Geografia da FLUL.

No seu formato anual, a disciplina incluía três grandes temas teóricos: funcionamento hidrológico e erosão hídrica dos solos; movimentos de vertente; e avaliação de riscos geomorfológicos. O programa actual, limitado a um semestre, sacrificou o primeiro daqueles tópicos. Espera-se que este facto venha a ser compensado pela criação de uma nova disciplina de opção que confira ao funcionamento hidrológico dos terrenos e à erosão hídrica dos solos o destaque merecido no contexto da Geografia Física da Escola de Lisboa.

**Objectivos gerais, Métodos de ensino,
Objectivos específicos e Avaliação da Disciplina**

A. Objectivos Gerais e Métodos de Ensino

A disciplina de Dinâmica de Vertentes e Riscos Geomorfológicos tem três objectivos principais:

- (i) O estudo da tipologia, actividade e causas dos movimentos de vertente, sustentado em metodologias de análise que incluem a cartografia geomorfológica de pormenor, a inventariação sistemática de movimentos de vertente e modelos físicos de mecânica de solos e estabilidade de vertentes.
- (ii) O reconhecimento dos vários componentes do risco geomorfológico – susceptibilidade, perigosidade, elementos em risco, vulnerabilidade, risco específico, risco total – e a apreensão de diferentes métodos e técnicas de avaliação e validação.
- (iii) A aplicação concreta dos conhecimentos adquiridos num trabalho prático, centrado numa pequena área-amostra, que inclui levantamentos geomorfológicos de campo de grande pormenor e que culmina numa avaliação da susceptibilidade do território aos movimentos de vertente, através da aplicação de métodos de cartografia directa e indirecta.

A articulação das matérias decorre com o recurso a abordagens empíricas e racionais, a métodos quer dedutivos quer indutivos, consoante a natureza dos assuntos.

A caracterização da tipologia e das causas dos movimentos de vertente é efectuada com recurso à análise sistémica, salientando a dinâmica das relações entre fenómenos, a importância dos limiares e os efeitos de retroacção no funcionamento do sistema “vertente”.

No ensino da Dinâmica de Vertentes e Riscos Geomorfológicos recorre-se a modelos, esquemas, imagens e quadros-síntese, utilizando-se os meios audiovisuais, nomeadamente *powerpoint* e *data* vídeo, em todas as aulas expositivas, de modo a estimular a atenção e o interesse dos alunos pelos assuntos leccionados.

A dificuldade de acesso a alguns livros da bibliografia tem justificado a elaboração de um caderno de documentos de apoio, com textos seleccionados, esquemas, quadros e figuras ilustrativas dos temas discutidos nas aulas. Muita da

informação contida neste caderno de documentos é extraída de obras que não fazem parte da bibliografia essencial; deste modo, o caderno acaba por desempenhar o papel suplementar de orientar as leituras complementares dos alunos.

O trabalho prático em grupo, com uma componente de campo fundamental, é bastante valorizado nesta disciplina. A observação, a análise e a explicação dos factos são estimulados no trabalho de campo realizado de forma autónoma. A visita e a discussão das observações efectuadas em cada uma das áreas-amostra em estudo, sob orientação do respectivo grupo de trabalho, e a apresentação mais estruturada e formal dos resultados do trabalho prático na sala de aula, devem ser entendidos como estímulos ao envolvimento e à responsabilização dos alunos no trabalho de iniciação à investigação que desenvolvem.

A capacidade de mobilizar os conceitos fundamentais da dinâmica de vertentes e dos riscos geomorfológicos, e de aplicar os métodos e as técnicas para a resolução das questões que se colocam no terreno, constituem as competências fundamentais que se pretende serem atingidas pelos alunos no final da disciplina.

B. Objectivos Específicos

A disciplina de Dinâmica de Vertentes e Riscos Geomorfológicos está organizada em 7 blocos temáticos:

O Bloco Temático I – **Dinâmica de Vertentes: Aspectos Introdutórios** tem como objectivos: a revisão de conceitos básicos fundamentais de Geomorfologia Dinâmica; o entendimento das manifestações de instabilidade geomorfológica nas vertentes nas perspectivas da Geomorfologia e da Engenharia e os tipos de abordagem empírica e racional; a compreensão do significado sócio-económico dos movimentos de vertente ao nível mundial.

O Bloco Temático II - **Tipologia e Actividade dos Movimentos de Vertente** tem como objectivos: o reconhecimento dos critérios e da variedade de classificações de movimentos de vertente; a caracterização geomorfológica dos grandes tipos (desabamento, balançamento, deslizamento, expansão lateral e escoada) e subtipos de movimentos; o entendimento do estilo, distribuição e estado de actividade dos movimentos de vertente; a compreensão dos elementos morfológicos dos movimentos de vertente e o conhecimento operacional da avaliação das respectivas dimensões.

O Bloco Temático III - **A Mecânica de Solos e a Estabilidade das Vertentes** tem como objectivos: a compreensão de conceitos fundamentais de Mecânica de Solos para o entendimento mecânico e dinâmico dos movimentos de vertente; a caracterização das forças gravíticas nas vertentes; o entendimento da noção fundamental de resistência ao corte e das suas duas componentes: coesão e fricção; o reconhecimento dos conceitos de tensão normal efectiva e de pressão intersticial; a associação do conceito de resistência ao corte residual com as reactivações dos movimentos de vertente.

O Bloco Temático IV - **As Causas dos Movimentos de Vertente** tem como objectivos: a identificação das causas dos movimentos caracterizadas em função do Factor de Segurança das vertentes: factores responsáveis pela diminuição da resistência ao corte e factores responsáveis pelo aumento da tensão tangencial; a discriminação dos factores condicionantes e factores desencadeantes da instabilidade; a análise mais pormenorizada dos papéis da precipitação e da actividade sísmica no desencadeamento dos movimentos de vertente.

O Bloco Temático V - **Metodologias de Análise dos Movimentos de Vertente** tem como objectivos: a compreensão da importância da cartografia geomorfológica de grande escala enquanto ferramenta privilegiada para o estudo dos movimentos de vertente; a construção de uma legenda gráfica para a cartografia geomorfológica a realizar no terreno; a apreensão dos critérios para o reconhecimento de campo de diferentes tipos de movimentos de vertente; a estruturação de uma ficha-tipo para a inventariação sistemática dos movimentos de vertente; a caracterização dos modelos

de equilíbrio limite para avaliação da estabilidade das vertentes: exemplificação com o modelo da vertente infinita.

O Bloco Temático VI - **A Avaliação de Riscos Geomorfológicos** tem como objectivos: a discussão da terminologia e a compreensão do modelo conceptual do risco geomorfológico; a caracterização dos métodos de avaliação da susceptibilidade e da perigosidade geomorfológica; a identificação dos elementos em risco e a discussão da avaliação da vulnerabilidade; o entendimento dos conceitos e do processo de avaliação do risco específico e risco total; a identificação das grandes opções de gestão do risco geomorfológico.

O Bloco Temático VII - **Trabalho Prático: Dinâmica de Vertentes e Susceptibilidade Geomorfológica na Região a Norte de Lisboa** tem como objectivos: a preparação de um trabalho de grupo, onde os alunos aplicam e desenvolvem os conhecimentos adquiridos nos restantes blocos temáticos da disciplina; a exploração da documentação cartográfica e fotográfica disponível; a realização de levantamentos geomorfológicos de campo de grande pormenor; a avaliação da susceptibilidade do território aos movimentos de vertente, utilizando métodos de cartografia directa e indirecta.

C. Avaliação

A disciplina de Dinâmica de Vertentes e Riscos Geomorfológicos contempla dois elementos de avaliação que, por princípio, deverão ter um peso equivalente na definição da classificação final dos alunos: trabalho prático realizado em grupo (3 a 4 elementos), com apresentação oral; teste final teórico-prático.

O trabalho prático decorre durante um período relativamente longo (cerca de 70% da duração do semestre lectivo) e a sua conclusão coincide com a finalização das actividades lectivas da disciplina.

O teste teórico-prático enquadra-se nas normas actualmente em vigor no Departamento de Geografia; realiza-se no final do semestre e contempla duas chamadas alternativas.

A participação dos alunos, nas aulas de gabinete mas também nas sessões no campo, é igualmente tida em consideração na definição da sua classificação final.

Programa

**Plano do Programa de
DINÂMICA DE VERTENTES E RISCOS GEOMORFOLÓGICOS**

I - DINÂMICA DE VERTENTES: ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

1. Os conceitos de base: vertente, forma de relevo. Os processos morfogenéticos e a sua actividade – noções de magnitude e frequência. A importância dos limiares em Geomorfologia. Equilíbrio e evolução
2. Os tipos de abordagem: estudos empíricos e estudos racionais
3. O estudo das vertentes no contexto da Geomorfologia Dinâmica e da Geomorfologia Aplicada
4. As manifestações de instabilidade geomorfológica nas vertentes nas perspectivas da Geomorfologia e da Engenharia
5. O significado sócio-económico dos movimentos de vertente

II - TIPOLOGIA E ACTIVIDADE DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE

1. A terminologia: movimento de massa, movimento de terreno, *landslide*, movimento de vertente
2. A classificação dos movimentos de vertente
 - 2.1. Variedade de classificações
 - 2.2. Os critérios de classificação
 - 2.3. Os tipos de movimentos de acordo com a classificação da *Working Party on World Landslide Inventory*
 - 2.3.1. desabamento
 - 2.3.2. balançamento
 - 2.3.3. deslizamento
 - 2.3.4. expansão lateral
 - 2.3.5. escoada
3. A actividade dos movimentos de vertente
 - 3.1. Estilo de actividade
 - 3.2. Distribuição da actividade
 - 3.3. Estado de actividade
4. A morfologia e as dimensões dos movimentos de vertente
 - 4.1. Morfologia
 - 4.2. Dimensões

III – A MECÂNICA DE SOLOS E A ESTABILIDADE DAS VERTENTES

1. Noções de base: os estados físicos dos solos
2. Força: fonte de energia para o transporte de detritos
3. As forças gravíticas nas vertentes
4. A resistência ao corte dos solos
 - 4.1. Ângulo de atrito interno

- 4.2 Coesão
- 4.3 A Lei de Coulomb
- 5. Tensão normal total, tensão normal efectiva e pressão intersticial
- 6. Importância da pressão intersticial na resistência ao corte
- 7. Resistência ao corte de pico e resistência ao corte residual

IV - AS CAUSAS DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE

- 1. As causas dos movimentos de vertente caracterizadas em função do Factor de Segurança
 - 1.1. Factores responsáveis pela diminuição da resistência ao corte
 - 1.2. Factores responsáveis pelo aumento da tensão tangencial
- 2. Factores condicionantes e factores desencadeantes da instabilidade
 - 2.1. Características do terreno
 - 2.2. Processos geomorfológicos
 - 2.3. Processos físicos
 - 2.4. Processos antrópicos
- 3. O papel da precipitação no desencadeamento dos movimentos de vertente
 - 3.1. Desencadeamento de escoadas de detritos em ambiente montanhoso
 - 3.2. Desencadeamento de deslizamentos superficiais (< 2m)
 - 3.3. Desencadeamento de deslizamentos profundos (5-20 m)
- 4. O papel da actividade sísmica no desencadeamento dos movimentos de vertente

V - METODOLOGIAS DE ANÁLISE DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE

- 1. A cartografia geomorfológica de grande escala
 - 1.1. A cartografia geomorfológica e a investigação em Geomorfologia
 - 1.2. A classificação dos mapas geomorfológicos
 - 1.3. Proposta de legenda para a cartografia geomorfológica na Região a Norte de Lisboa
- 2. Identificação e classificação de movimentos de vertente no terreno
 - 2.1. Critérios para o reconhecimento de campo de movimentos de vertente
 - 2.2. Reconhecimento de movimentos de vertente activos e dormentes a partir das características morfológicas, pedológicas e do coberto vegetal
 - 2.3. Reconhecimento dos tipos de fendas e fissuras nos movimentos de vertente
- 3. A inventariação sistemática dos movimentos de vertente
- 4. Os modelos físicos de avaliação da estabilidade das vertentes - modelos de equilíbrio limite. Exemplificação com o modelo da vertente infinita
 - 4.1. Classificação dos métodos de cálculo
 - 4.2. Princípios comuns aos métodos de equilíbrio limite
 - 4.3. O modelo da vertente infinita

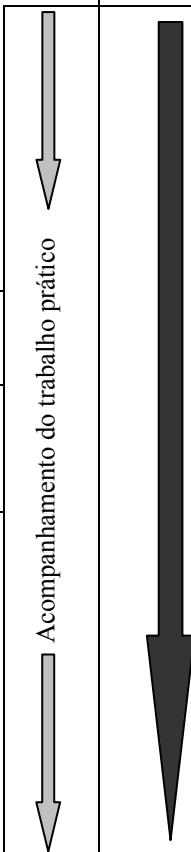
VI - A AVALIAÇÃO DE RISCOS GEOMORFOLÓGICOS


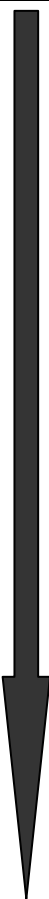
1. Os conceitos e a terminologia: a perigosidade e a susceptibilidade geomorfológicas, a vulnerabilidade do território e o risco geomorfológico
2. Esquema conceptual do risco
3. Avaliação da susceptibilidade e da perigosidade geomorfológica
 - 3.1. Métodos de avaliação da susceptibilidade geomorfológica
 - 3.1.1. Métodos de avaliação absoluta
 - 3.1.2. Métodos de avaliação relativa
 - 3.1.3. Validação das avaliações da susceptibilidade geomorfológica
 - 3.2. Avaliação da componente temporal da perigosidade geomorfológica
4. Identificação dos elementos em risco e avaliação da vulnerabilidade
5. Avaliação do risco específico e do risco total
6. Da análise à gestão do risco
 - 6.1. Análise do risco
 - 6.2. Avaliação do risco
 - 6.3. Gestão do risco
7. As grandes opções na gestão do risco geomorfológico

VII – TRABALHO PRÁTICO: DINÂMICA DE VERTENTES E SUSCEPTIBILIDADE GEOMORFOLÓGICA NA REGIÃO A NORTE DE LISBOA

1. Enquadramento geomorfológico da Região a Norte de Lisboa
2. Organização e desenvolvimento do trabalho
 - 2.1. Trabalho de gabinete
 - 2.2. Trabalho de campo
 - 2.3. Avaliação da susceptibilidade geomorfológica
 - 2.4. Verificação dos resultados no terreno e apresentação dos trabalhos práticos

PLANIFICAÇÃO DAS AULAS

Sessão n°	Matérias teóricas	Metodologias de análise - Apoio ao trabalho prático	Trabalho de campo
1	Os conceitos de base e os tipos de abordagem: estudos empíricos e estudos racionais.		
2	O estudo das vertentes no contexto da Geomorfologia Dinâmica e da Geo-morfologia Aplicada. A perspectiva da Engenharia. O significado sócio-económico dos movimentos de vertente.		
3	Os movimentos de vertente: Problemas de terminologia. Variedade e critérios de classificação.		
4		A instabilidade geomorfológica na Região a Norte de Lisboa. Selecção das áreas a estudar em pormenor no trabalho prático dedicado à Região a Norte de Lisboa.	
5		A cartografia geomorfológica de grande escala como método de análise de movimentos de vertente.	
6			
7	Os tipos de movimentos de vertente: desabamentos, balançamentos e deslizamentos.		Saída de campo à Região a Norte de Lisboa.
8	Os tipos de movimentos de vertente: expansões laterais e escoadas.		
9	A actividade dos movimentos de vertente: estado, distribuição e estilo da actividade. A morfologia e as dimensões dos movimentos de vertente.		
10		Identificação e classificação de movimentos de vertente no terreno.	
11		A inventariação sistemática dos movimentos de vertente: estruturação de ficha-tipo para utilização no trabalho prático.	
12	A Mecânica de Solos e a estabilidade de vertentes: noções de base. As forças gravíticas nas vertentes: forças normais e tangenciais. A resistência ao corte dos solos: ângulo de atrito interno, coesão e a Lei de Coulomb.		
13	Tensão normal total, pressão intersticial e tensão normal efectiva. Importância da pressão intersticial na resistência ao corte. Resistências ao corte de pico e residual.		

14	As causas dos movimentos de vertente: factores responsáveis pela diminuição da resistência ao corte e pelo aumento da tensão tangencial. Factores condicionantes e factores desencadeantes da instabilidade. Os casos particulares da precipitação e da actividade sísmica.		 <p>Acompanhamento do trabalho prático</p>		
15		Os modelos físicos da avaliação da estabilidade das vertentes. Os modelos de equilíbrio limite.			
16		O modelo da vertente infinita: Aplicações directas e com análise inversa (<i>back analysis</i>).			
17	A avaliação de riscos geomorfológicos. Conceitos e terminologia: perigosidade, susceptibilidade, vulnerabilidade e risco. Esquema conceptual do risco.				
18		Avaliação da susceptibilidade geomorfológica: métodos de avaliação absoluta e relativa. Cartografia directa e indirecta. A validação dos resultados.			
19		Avaliação da componente temporal da perigosidade geomorfológica. Avaliação da vulnerabilidade e do risco específico.			
20					2 dias de trabalho de campo(*)
21	Análise e avaliação do risco. As grandes opções na gestão do risco geomorfológico.				
22		Apresentações dos trabalhos práticos.			
23	Teste teórico-prático				

(*) Acompanhamento e verificação dos resultados do trabalho prático no terreno.

Desenvolvimento do Programa

I - DINÂMICA DE VERTENTES: ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

1. Os conceitos de base: vertente, forma de relevo. Os processos morfogenéticos e a sua actividade – noções de magnitude e frequência. A importância dos limiares em Geomorfologia. Evolução e equilíbrio

A definição geométrica de vertente: superfície inclinada, cujo gradiente (declive) corresponde à inclinação relativamente ao plano horizontal; cujo comprimento corresponde à distância entre o seu topo e a sua base; e cujo comando corresponde à diferença de altitude entre o seu topo e a sua base (*Penguin Dictionary of Physical Geography*).

A actividade dos processos morfogenéticos e a sua capacidade para modelar e fazer evoluir as formas de relevo.

A magnitude e a frequência no funcionamento dos processos geomorfológicos: carácter raro de eventos extremos de grande magnitude e predomínio de eventos de baixa a média magnitude.

A importância dos limiares em Geomorfologia, entendidos como o limite superior de um processo cumulativo, que marca o final de uma sequência particular e a introdução de uma nova sequência.

A evolução da maior parte dos sistemas naturais tem tendência a procurar um estado de equilíbrio, que é alcançado quando o somatório das forças em presença no sistema é igual a zero.

A evolução em Geomorfologia nas perspectivas gradualista ou uniformitarista e catastrofista. O predomínio de situações de evolução lenta e gradual nos sistemas geomorfológicos, interrompidas por fases, geralmente curtas, de aceleração no sistema, motivadas pelo ultrapassar de situações limite (limiar crítico).

2. Os tipos de abordagem: estudos empíricos e estudos racionais

A abordagem empírica no estudo dos processos morfogenéticos. Aplicação de metodologia indutiva, por vezes auxiliada por métodos estatísticos, e generalização a partir dos fenómenos observados.

A abordagem racional no estudo dos processos morfogenéticos. Explicação dos fenómenos observados no quadro das leis fundamentais do comportamento da matéria e da energia. As dificuldades impostas pela complexidade dos fenómenos naturais na modelação física e matemática dos processos de dinâmica de vertentes.

As potencialidades preditivas de modelos desenvolvidos com suporte empírico e racional.

3. O estudo das vertentes no contexto da Geomorfologia Dinâmica e da Geomorfologia Aplicada

As primeiras observações científicas sobre vertentes e processos de erosão em trabalhos clássicos de Geologia (Hutton, 1788, 1795; Playfair, 1802).

A consideração da forma das vertentes na discussão da evolução do relevo (Sorby, 1850).

O “declínio das vertentes” no quadro do Ciclo de Erosão de Davis.

Os primeiros trabalhos sobre vertentes, sustentados por observações de campo, que ultrapassam a formulação redutora de Davis: descrição do mecanismo de solifluxão (Andersson, 1906); estudos sobre escorrência nas vertentes, com descrições da sulcagem (*rill wash*) (Fenneman, 1908) e do processo de *sheet wash* (Lawson, 1915).

A “substituição das vertentes” no quadro do Sistema de Análise Morfológica de W. Penk (1924).

O “recoo paralelo das vertentes” no quadro do Ciclo das Vertentes Montanhosas de L. King (1951-1962).

O advento da Geomorfologia Aplicada e o reconhecimento do estudo das vertentes e dos processos morfogenéticos como parte integrante da Geomorfologia, nos meados do século XX. Introdução na Geomorfologia dos resultados de trabalhos

de Hidrologia e implementação das bases experimentais do conhecimento da erosão hídrica das vertentes, acompanhada pela análise morfométrica (Horton, 1945). Aplicação das técnicas da Mecânica de Solos e das Rochas ao estudo dos movimentos de massa (Ward, 1945; Skempton, 1953). Aplicação exaustiva de métodos estatísticos na análise das vertentes (Strahler, 1950). Implementação de sistemas de monitorização sistemática de processos de evolução de vertentes (Williams, 1957; Rapp, 1960).

As tendências mais recentes da Geomorfologia Aplicada: A utilização da Cartografia Geomorfológica sistemática de grande escala como ferramenta analítica. Os modelos matemáticos e a monitorização. O interesse da opinião pública pelos problemas ambientais, preservação de recursos naturais e ocorrência de catástrofes naturais. Avaliação e zonamento da perigosidade e do risco geomorfológico. O potencial de aplicação da Geomorfologia no Ordenamento do Território, com as actuais possibilidades de integração e tratamento da informação, construção de bases de dados e criação de Sistemas de Informação Geográfica.

4. As manifestações de instabilidade geomorfológica nas vertentes nas perspectivas da Geomorfologia e da Engenharia

Na perspectiva geomorfológica, os movimentos de vertente são estudados enquanto processos naturais que actuam na modelação da superfície topográfica. As causas, modos de desenvolvimento e formas resultantes são interpretados no contexto do funcionamento dos processos de geodinâmica externa.

Na perspectiva da Engenharia e da Engenharia Geológica, as vertentes são estudadas para a determinação da segurança das estruturas que nelas se encontram, ou se prevê venham a ser construídas.

As vantagens da utilização simultânea das abordagens da Geomorfologia e da Engenharia no estudo e controlo técnico dos movimentos de vertente.

A identificação e a interpretação geomorfológica enquanto pressupostos essenciais para a determinação quantitativa da estabilidade das vertentes com recurso aos métodos da Mecânica de Solos e de Rochas.

O papel da Geomorfologia na redução efectiva de riscos e de custos nas intervenções de Engenharia, evitando a implementação de medidas correctivas e preventivas subdimensionadas ou sobredimensionadas.

5. O significado sócio-económico dos movimentos de vertente

A avaliação frequentemente subestimada das consequências dos movimentos de vertente, devido à sua frequente atribuição a outros factores (quase sempre o mecanismo desencadeante), como uma chuvada intensa, um sismo ou uma erupção vulcânica.

Os impactes dos movimentos de vertente na segurança das populações e nas actividades económicas desenvolvidas no território.

O aumento da consciencialização das populações e das entidades responsáveis pelo ordenamento do território nos últimos anos, na sequência da ocorrência cada vez mais frequente de eventos catastróficos.

Exemplos de movimentos de vertente com consequências catastróficas

Data	Região	País	Nº vítimas
1248	Mount Granier	França	1 500-5 000
1515	Biasca	Suiça	600
1618	Piuro	Itália	1 200
1786	Calábria	Itália	50 000
1806	Goldau	Suiça	457
1920	Gansu	China	100 000
1921	Alma-Ata	Cazaquistão	500
1933	Sichuan	China	6 800
1938	Kobe	Japão	505
1949	Khait	Tajiquistão	12 000-20 000
1958	Shizuoka	Japão	1 100
1962	Huascaran	Peru	4 000-5 000
1963	Vaiont	Itália	1 189
1967	Rio de Janeiro	Brasil	1 700
1970	Ancash	Peru	66 794
1973	Choloma	Honduras	2 800
1985	Armero (Nevado del Ruiz)	Colômbia	25 000
1987	Cochancay	Equador	1 000
1999	Cordillera de la Costa	Venezuela	30 000
2001	Las Colinas	El Salvador	944

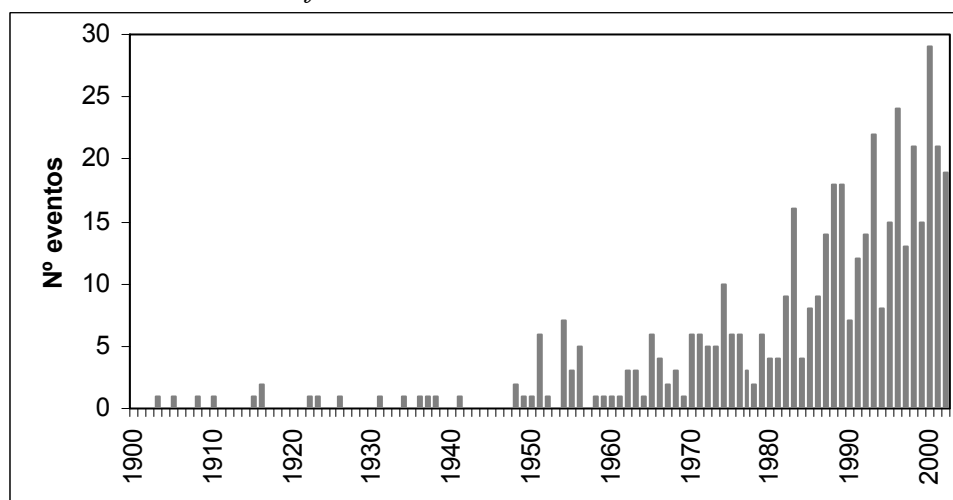
Fontes: Flageollet, 1989; Schuster, 1996; Crozier e Glade, 2005

O crescimento assinalável do número de catástrofes devidas a movimentos de vertente verificado nos últimos 50 anos e as justificações para esse facto: (i) expansão progressiva das actividades humanas para áreas relativamente marginais, naturalmente expostas a perigos naturais; (ii) desflorestação continuada de áreas susceptíveis à instabilidade de vertentes; (iii) incremento da precipitação em algumas regiões, pela modificação global do clima.

A expectativa de manutenção da tendência de crescimento do número de catástrofes devidas a movimentos de vertente no decurso do século XXI (Schuster, 1996).

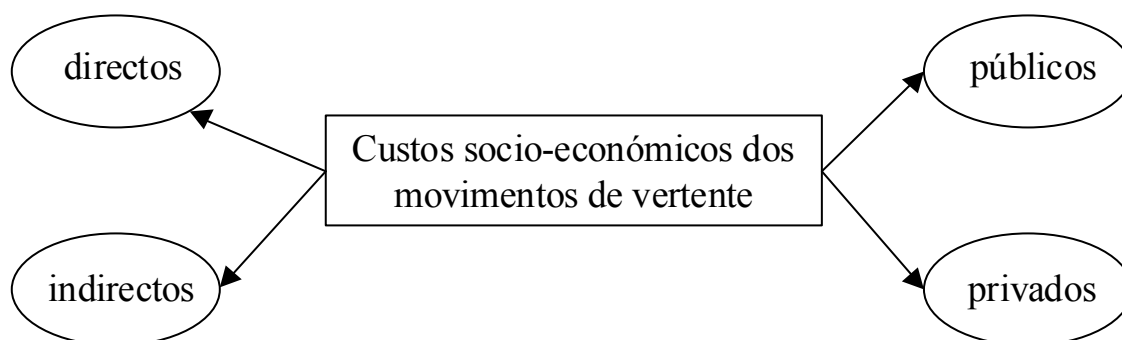
A tipologia e a extensão dos custos sócio-económicos dos movimentos de vertente.

Número de catástrofes devidas a movimentos de vertente no Mundo



Fonte: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database; www.em-dat.net - Université Catholique de Louvain - Brussels (2003)

Tipologia dos custos socio-económicos dos movimentos de vertente



Fonte: Schuster (1996)

Custos anuais (directos e indirectos) resultantes da ocorrência de movimentos de vertente

País	Valor (milhões USD)	Fonte:
Japão	2000-4400	Ohhira, 1982; Oyagi, 1989
Itália	2600	UNESCO, 1976
USA	1800	Schuster e Fleming, 1986
Índia	1350	Mathur, 1982
China	500	Li, 1989
Espanha	220	Ayala e Ferrer, 1989
Canadá	50	Evans, 1989
Nova Zelândia	15	Hawley, 1984
Suécia	13-27	Cato, 1982
Noruega	6	Gregersen e Sandersen, 1989

Fonte: Schuster (1996)

II - TIPOLOGIA E ACTIVIDADE DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE

1. A terminologia: movimento de massa, movimento de terreno, *landslide*, movimento de vertente

Os problemas de terminologia decorrentes da utilização da designação *landslide* na literatura anglo-saxónica:

Utilização com sentido restrito (adoptada pela maior parte dos autores ingleses): “movimento relativamente rápido que envolve uma ruptura. O movimento ocorre ao longo de uma ou várias superfícies individualizadas, que delimitam a massa que está em movimento” (Hutchinson, 1968); logo, **landslide = deslizamento**.

Utilização com sentido lato (adoptada pela *Working Party on World Landslide Inventory*, pela Associação Internacional de Engenharia Geológica, pela UNESCO e pela UNDRO): “Movimento de descida, numa vertente, de uma massa de rocha ou solo. O centro de gravidade do material afectado progride para jusante e para o exterior.” (Terzaghi, 1952; Varnes, 1978; Cruden, 1991); logo, **landslide = movimento de vertente**.

As exclusões do âmbito dos movimentos de vertente: (i) movimentos verticais de abatimento e assentamento (subsidiência); (ii) avalanchas de neve; (iii) efeitos da expansão/retracção dos solos argilosos.

Os **movimentos de terreno** “englobam todas as formas de deslocação que se podem verificar (abatimentos, desabamentos, deslizamentos, escoadas, etc.) e todos os materiais que podem ser colocados em movimento” (Flageollet, 1989). Incluem: (i) movimentos de vertente; (ii) movimentos de subsidiência (abatimentos e assentamentos); e (iii) movimentos associados à expansão/retracção de solos argilosos.

As exclusões do âmbito dos movimentos de terreno: (i) reptação (*creep*); (ii) movimentos associados à neve e ao gelo.

Os **movimentos de massa** incluem “todos os movimentos induzidos pela gravidade, com a exclusão daqueles onde o material é mobilizado por um agente de transporte, como o gelo, neve, água ou ar, designados por transporte em massa” (Hutchinson, 1968). Incluem: (i) movimentos de vertente; (ii) movimentos de subsidência (abatimentos e assentamentos); (iii) reptação (*creep*); e (iv) processos ligados à acção da neve e do gelo.

Abrangência dos termos Movimentos de vertente, Movimentos de terreno e Movimentos de massa

TERMO:	ABRANGÊNCIA:
MOVIMENTOS DE VERTENTE (<i>LANDSLIDES</i>)	Desabamento Balançamento Deslizamento Expansão lateral Escoada
MOVIMENTOS DE TERRENO	Movimentos de vertente Subsidência (abatimentos; assentamentos) Expansão-retracção em solos argilosos
MOVIMENTOS DE MASSA	Movimentos de terreno Reptação (<i>creep</i>) Movimentos associados ao gelo e à neve

2. A classificação dos movimentos de vertente

2.1. Variedade de classificações

A existência de “sujeitos” distintos alvos de classificação (movimentos de vertente, movimentos de terreno, movimentos de massa).

A enorme quantidade de combinações entre materiais e agentes perturbadores nos fenómenos de instabilidade das vertentes e os reflexos nas classificações propostas.

Os problemas de terminologia e os conceitos associados aos termos: integração de movimentos idênticos em classes distintas em diferentes classificações; emprego da mesma designação para tipificar movimentos de vertente com características muito distintas.

As classificações de movimentos de vertente mais divulgadas e adoptadas

Classificação	Objecto da classificação	Critérios principais de discriminação	Critérios secundários de discriminação	Classes principais
Hutchinson (1968)	movimentos de massa	- tipo de mecanismo - morfologia do movimento	- velocidade do movimento - tipo de material	- <i>creep</i> - processos ligados à acção da congelação-degelo - deslizamentos - desabamentos - subsidência
Carson e Kirkby (1972)	movimentos de massa	- tipo de mecanismo	- velocidade do movimento - conteúdo em água no terreno	- escoada - deslizamento - expansão-retracção de solos
Nemcok, Pasek e Rybar (1972)	movimentos de massa	- tipo de mecanismo	- amplitude do movimento - velocidade do movimento	- <i>creep</i> - deslizamento - escoada - desabamento
Flageollet (1989)	movimentos de terreno	- tipo de mecanismo	- amplitude do movimento - gravidade do movimento	- subsidência - expansão-retracção de solos - deformações lentas de vertente - desabamentos - deslizamentos - escoadas
Hutchinson (1988)	movimentos de vertente	- morfologia do movimento	- tipo de mecanismo - tipo de material - amplitude do movimento	- empolamento - <i>creep</i> - <i>sagging</i> em vertentes montanhosas - deslizamentos - movimentos com forma de escoada - balançamentos - desabamentos
Varnes (1978) WP/WLI (1993) Dikau <i>et al.</i> (1996)	movimentos de vertente (<i>landslides</i>)	- tipo de mecanismo	- tipo de material	- desabamento - balançamento - deslizamento - expansão lateral - escoada
Cruden e Varnes (1996)	movimentos de vertente (<i>landslides</i>)	- tipo de mecanismo	- tipo de material - actividade - velocidade - conteúdo em água no terreno	- desabamento - balançamento - deslizamento - expansão lateral - escoada

Os critérios de classificação

- (i) *Tipo ou localização geográfica.* Designação dos movimentos de vertente com base em exemplos clássicos de cada tipo particular e com o recurso a termos locais ou regionais.
- (ii) *Idade dos movimentos.*
- (iii) *Estrutura geológica.* Base de classificação muito usada na Rússia e na Europa de Leste, com distinção de deslizamentos assequentes, consequentes e insequentes (Savarenski, 1939).
- (iv) *Litologia do substrato.*
- (v) *Tipo e dimensão do material deslocado.* Usado com frequência para estabelecer subdivisões nas classificações, com os critérios da Engenharia Geotécnica: rocha - massa dura ou firme que estava intacta e *in situ* antes do movimento; solo - agregado de partícula sólidas + fluidos intersticiais; terra - solo onde as partículas com dimensão <2mm representam pelo menos 80% do total; detritos - solo com 20 a 80% de partículas com dimensão >2mm.
- (vi) *Tipo de movimento.* É o factor discriminante usado com maior frequência nas classificações de movimentos de vertente, particularmente nas mais difundidas.
- (vii) *Velocidade do movimento.* Utilizado como critério secundário por Cruden e Varnes (1996), que estabelecem uma escala quantitativa.

Escala de velocidades para os movimentos de vertente (Cruden e Varnes, 1996)

Classe de velocidade	Descrição	Velocidade (mm/seg)	Velocidade típica
7	Extrem.rápido	5×10^3	5 m/seg
6	Muito rápido	5×10^1	3 m/min
5	Rápido	5×10^{-1}	1.8 m/hor
4	Moderado	5×10^{-3}	13 m/mês
3	Lento	5×10^{-5}	1.6 m/ano
2	Muito lento	5×10^{-7}	16 mm/ano
1	Extrem.lento		

Definição das prováveis consequências destrutivas dos movimentos de vertente em função da respectiva velocidade

Classe de velocidade	Prováveis consequências destrutivas
7	Catástrofe de grande violência. Edifícios destruídos pelo impacto do material deslocado. Muitos mortos.
6	Perda de algumas vidas. Velocidade demasiado elevada para permitir o salvamento de toda a população.
5	Evacuação possível. Estruturas e equipamentos destruídos.
4	É possível manter temporariamente algumas estruturas.
3	Podem implementar-se medidas mitigadoras durante o movimento.
2	Algumas estruturas permanentes permanecem não afectadas pelo movimento.
1	Imperceptível sem instrumentação. A construção é possível com precauções.

Fonte: Cruden e Varnes, 1996

- (viii) *Amplitude das deslocações.* Critério alternativo ao da velocidade do movimento, face ao reduzido número de movimentos monitorizados, passíveis de fornecer a informação indispensável à sua aplicação rigorosa.
- (ix) *Geometria dos planos de ruptura.* Critério útil para estabelecer subdivisões nos deslizamentos.
- (x) *Profundidade dos movimentos:* superficiais (< 1,5m); pouco profundos (1,5 – 5m); profundos (5 - 20m); muito profundos (> 20m).
- (xi) *Índices morfométricos* (ex: Razão Profundidade/Comprimento, Skempton, 1953). Apesar de muito úteis para descrever os movimentos de vertente, têm-se revelado ineficazes para estabelecer uma classificação credível.
- (xii) *Propriedades geotécnicas.* Critério útil para a classificação das causas dos movimentos de vertente. Permitem distinguir os movimentos activados pela primeira vez das reactivações.

2.2. Os tipos de movimentos de acordo com a classificação da *Working Party on World Landslide Inventory*

2.2.1. desabamento

Deslocação de solo ou rocha a partir de um abrupto, ao longo de uma superfície onde os movimentos tangenciais são nulos ou reduzidos. O material desloca-se predominantemente pelo ar, por queda, saltação ou rolamento (WP/WLI, 1993).

Movimento de massa brusco e com velocidade elevada.

Os critérios de classificação dos desabamentos: (i) material afectado (desabamento rochoso, desabamento de detritos, desabamento de terra); (ii) geometria da ruptura (planar, em cunha, em escadaria, vertical); (iii) proveniência do material desabado (desabamentos primários e desabamentos secundários); (iv) volume do material afectado (*debris fall*, $< 10 \text{ m}^3$; *boulder fall*, $10 - 100 \text{ m}^3$; *block fall*, $100 - 10^4 \text{ m}^3$; *cliff fall*, $10^4 - 10^6 \text{ m}^3$; *bergsturz*, $> 10^6 \text{ m}^3$).

O desenvolvimento dos desabamentos em três estádios sucessivos e complementares: (i) criação de fendas com individualização de blocos (acção da pressão associada à congelação-degelo da água nos vazios e fissuras; acção mecânica das raízes; erosão diferencial); (ii) alargamento das fendas e concentração das tensões na secção da rocha competente sem suporte basal; (iii) queda associada a ruptura por flexotraccção.

2.2.2. balançamento

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).

Movimentos condicionado por influência de: (i) força da gravidade; (ii) força lateral exercida por unidades adjacentes; (iii) força lateral exercida pela água presente em diaclases e fracturas da rocha.

Movimentos frequentes em massas rochosas com descontinuidades inclinadas de modo contrário ao declive. Desenvolvem-se lentamente e pode ou não evoluir para desabamento ou deslizamento, em função da geometria da massa afectada e da extensão e orientação dos planos de estratificação e/ou diaclases.

Os critérios de classificação dos balançamentos: (i) número de unidades envolvidas (balançamentos simples e balançamentos múltiplos); (ii) tipo de processo e

materiais envolvidos (balançamento flexural, balançamento em bloco, balançamento em bloco por flexura).

2.2.3. deslizamento

Movimento de solo ou rocha que ocorre predominantemente ao longo de planos de ruptura ou de zonas relativamente estreitas, alvo de intensa deformação tangencial (WP/WLI, 1993).

A massa deslocada durante o movimento apresenta graus de deformação bastante variáveis, consoante o tipo de deslizamento.

Crítérios de subdivisão: tipo de ruptura tangencial; tipo de material afectado.

Classificação dos deslizamentos (adaptada de Dikau et al., 1996)

TIPOS DE DESLIZAMENTOS	TIPO DE MATERIAL		
	ROCHA	DETRITOS	TERRA
ROTACIONAIS	simples múltiplo sucessivo	simples múltiplo sucessivo	simples múltiplo sucessivo
TRANSLACIONAIS	COM RUPTURA	deslizamento de rocha em bloco	deslizamento de detritos em bloco
	COM COMPÓSITA	(<i>block slide</i>)	(<i>block slide</i>)
	COM RUPTURA PLANAR	deslizamento de rocha (<i>rock slide</i>)	deslizamento de detritos (<i>debris slide</i>)
			deslizamento de solo em bloco (<i>slab slide</i>) deslizamento lamacento (<i>mudslide</i>)

Deslizamentos rotacionais (*slumps*)

Ocorrem ao longo de superfícies de ruptura curvas, em meios geralmente homogéneos e isotrópicos.

Subdivisão em função da posição relativa do plano de ruptura: (i) ruptura de vertente (*slope failure*); (ii) ruptura de sopé (*toe failure*); (iii) ruptura de base (*base failure*).

Deslizamentos translacionais com plano de ruptura compósito

Plano de ruptura com duas secções: forma circular ou planar, com forte inclinação, a montante; forma planar, com inclinação reduzida, a jusante.

Desenvolvimento de tensões internas na massa deslocada, acompanhado por deslocamentos diferenciais: forte distorção interna dos materiais instabilizados, formação de fossos e contraescarpados.

Deslizamentos translacionais com plano de ruptura planar

Deslizamentos controlados estruturalmente: o plano de ruptura desenvolve-se ao longo de superfícies de fraqueza marcadas por uma resistência ao corte reduzida, como falhas, planos de estratificação, diaclases, ou o contacto entre uma cobertura detrítica e o substrato rochoso.

A superfície de ruptura planar condiciona, frequentemente, a deslocação do material instabilizado para além dos limites do plano de deslizamento.

Subdivisão em função do material afectado: (i) deslizamentos de rocha (*rockslides*); (ii) deslizamentos de detritos (*debris slides*); (iii) deslizamentos lamacentos (*mudslides*).

(i) Deslizamentos de rocha (*rock slides*)

Contexto montanhoso. Presença de descontinuidades estruturais concordantes com o declive; inclinação dos planos de estratificação inferior ao declive.

Subtipos: deslizamentos com ruptura planar (*planar slides*); deslizamentos com ruptura em cunha (*wedge slides*); deslizamentos com ruptura em escadaria (*stepped slides*).

(ii) Deslizamentos de detritos (translacionais superficiais; laminares; *debris slides*)

Deslizamentos pouco profundos, com planos de ruptura sensivelmente paralelos à superfície topográfica, frequentemente coincidentes com o contacto entre um depósito de vertente e o substrato rochoso.

Manifestações de instabilidade mais comuns nas vertentes naturais.

(iii) Deslizamentos lamacentos (*mudslides*)

Movimentos lentos ao longo de planos de ruptura descontínuos, em terrenos com argilas, siltes e areias finas.

Aspectos morfológicos característicos: área de ruptura; sector de transporte com forma em canal; área de acumulação; forma em língua com frente arredondada; perfil

longitudinal sinusoidal (côncavo a montante, convexo a jusante); orlas laterais a flanquear a área afectada.

2.2.4. expansão lateral

Deslocação lateral de massas coesivas de solo ou rocha, combinada com uma subsidência geral no material brando subjacente, alvo de liquefacção ou escoada (WP/WLI, 1993).

Movimentos de vertente marcados pela ausência de rupturas basais bem definidas.

Subtipos: expansão lateral em rocha (movimento muito lento, resultante de deformações visco-plásticas profundas); expansão lateral em solo (movimento muito rápido, associado ao colapso, por liquefacção, de uma camada de solo a uma certa profundidade, seguida do assentamento ou da ruptura progressiva do material sobrejacente).

2.2.5. escoada

Movimento espacialmente contínuo onde as superfícies de tensão tangencial são efémeras e mal preservadas. A distribuição das velocidades na massa afectada assemelha-se à de um fluido viscoso (WP/WLI, 1993).

As tensões distribuem-se por toda a massa afectada, sendo responsáveis por uma grande deformação interna dos materiais.

Subtipos: (i) escoadas em rocha (*rock flows*); (ii) escoadas lamacentas (*mud flows*; *soil flows*); (iii) escoadas de detritos (*debris flows*).

Escoadas em rocha (*Rock flows*)

Deformações gravíticas profundas de tipo *creep*. Movimentos muito lentos, mais ou menos permanentes no tempo, em massas rochosas muito diaclasadas ou estratificadas, em vertentes montanhosas.

Escoadas lamacentas (*Soil flows*; *Earth flows*)

Movimentos de escoada de massa de água com terrenos que contêm, pelo menos, 50% de partículas da dimensão da areia, silte e argila. A velocidade do movimento pode variar do muito lento a muito rápido.

Escoadas similares, em forma e comportamento, às escoadas de detritos.

Escoadas de detritos (*Debris flows*)

Misturas de material fino (areia, silte, argila) e material grosseiro (calhaus, blocos), com água, formando uma massa que se desloca em função da força gravítica, normalmente por impulsos sucessivos.

A elevada densidade das escoadas de detritos: a carga sólida ultrapassa, frequentemente, 50% da massa total.

O papel fundamental da água no processo de fluidificação.

Os elementos morfológicos de uma escoada de detritos: área de partida; canal principal com perfil em V e diques laterais (*levées*); área de acumulação.

A existência das escoadas de detritos nas áreas alpinas e periglaciárias, nas regiões áridas marcadas por episódios de precipitação intensa e nas áreas com vulcanismo activo.

Os tipos de escoadas de detritos: escoadas de vertente; escoadas canalizadas (seguindo canais fluviais pré-existentes); *lahars*.

As propriedades físicas das escoadas de detritos: conteúdo em argila baixo (geralmente <5%); concentração volumétrica de sólidos (25% - 86%); proporção do peso dos sólidos (35% - 86%); viscosidade (> 1000 *poises*); densidade (2.0 - 2.4 g/cm³); velocidade (0.5 - 20 m/s).

As características dos depósitos das escoadas de detritos: balastros envolvidos por uma matriz de material fino; clastos distribuídos de forma aleatória; leitos individuais geralmente mal calibrados; não graduação de detritos grosseiros para detritos finos; os blocos são suportados estruturalmente pela matriz (*matrix supported*); tendência para a concentração dos blocos na parte superior dos depósitos.

O desenvolvimento das escoadas de detritos: (i) início via deslizamento; (ii) transformação do deslizamento em escoada (fluidificação do material afectado) através de dilatância (aumento do volume da massa instável responsável pela incorporação de água adicional, infiltrada nas fendas abertas no material enquanto ocorre o deslizamento) ou liquefacção (quebra na resistência mecânica provocada por um aumento súbito da pressão da água nos vazios); (iii) escoada através de um canal ou vertente; (iv) deposição dos detritos.

3. A actividade dos movimentos de vertente

3.1. Estilo de actividade

Descrição do modo como diferentes deslocações dentro do movimento de vertente contribuem para as características de conjunto.

Movimento simples: movimento único do material afectado, geralmente sob a forma de um bloco pouco deformado.

Movimento complexo: movimento de vertente que apresenta, pelo menos, dois tipos de mecanismos, em sequência.

Movimento compósito: movimento de vertente que apresenta, pelo menos, dois tipos de mecanismos, em simultâneo, em diferentes partes da massa deslocada.

Movimento múltiplo: movimento com desenvolvimento repetido, com partilha do plano de ruptura.

Movimento sucessivo: movimento com desenvolvimento repetido, sem partilha do plano de ruptura.

3.2. Distribuição da actividade

Descrição da evolução espacial da actividade dos movimentos de vertente.

Retgressão: o plano de ruptura expande-se para montante, na direcção oposta à do movimento do material deslocado.

Avanço: o plano de ruptura expande-se na direcção do movimento do material deslocado.

Alargamento: o plano de ruptura expande-se na direcção de um ou de ambos os flancos do movimento de vertente.

Progressão múltipla: o plano de ruptura expande-se em duas ou mais direcções.

Diminuição: o material mobilizado em cada reactivação tem progressivamente menor volume.

Movimento: as deslocações verificam-se sem qualquer modificação visível no plano de ruptura e no volume do material deslizado.

Confinamento: o movimento apresenta um desenvolvimento incipiente, existindo uma cicatriz mas não um plano de ruptura visível na base da massa afectada. A deslocação

a montante é compensada pela compressão dos materiais envolvidos e não se prolonga muito para jusante.

3.3. Estado de actividade

Descrição do conhecimento acerca das datas de ocorrência dos movimentos de vertente, necessário para a distinção fundamental entre movimentos activos e inactivos.

Movimentos activos: movimentos que apresentam actividade actualmente.

Movimentos suspensos: movimentos que não apresentam actividade actualmente, mas registaram deslocações no último ciclo estacional (ano climatológico).

Movimentos inactivos: movimentos que não sofreram deslocações no último ciclo estacional. Subtipos: *movimentos dormentes* (podem ser reactivados em qualquer altura, já que as causas que os determinaram continuam em presença); *movimentos abandonados* (já não são afectados pelas causas que os originaram); *movimentos estabilizados* (foram alvo de medidas correctivas artificiais que desactivaram os factores de instabilidade) e *movimentos relíquia* (verificados sob condições ambientais diferentes das actuais).

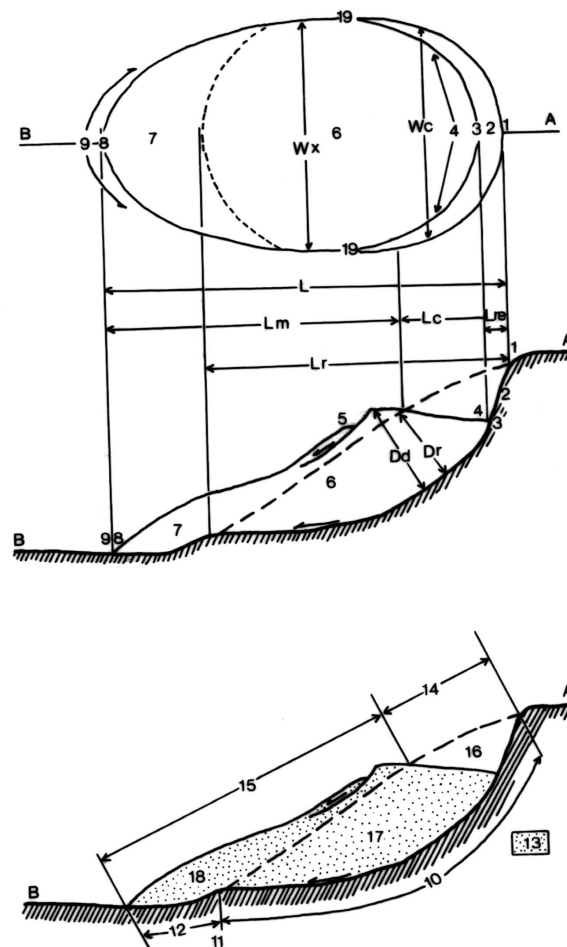
Movimentos reactivados: movimentos activados após um período de inactivação.

4. A morfologia e as dimensões dos movimentos de vertente

4.1. Morfologia

- 1 – *cabeceira*: área adjacente à parte superior da cicatriz principal, praticamente não afectada pelo movimento. A eventual presença de fissuras testemunha o efeito de tracção neste sector.
- 2 - *cicatriz principal*: superfície inclinada ou vertical, frequentemente côncava, que limita o movimento de vertente na sua parte superior.
- 3 – *topo*: ponto mais elevado ao longo do contacto entre o material deslocado e a cicatriz principal.
- 4 – *cabeça*: faixa de contacto entre o material deslocado e a cicatriz principal.

Elementos morfológicos e dimensões dos movimentos de vertente (adaptado de IAEG Commission on Landslides, 1990)



- 5 - *cicatriz secundária*: semelhante à cicatriz principal mas visível no material deslocado. É originada por movimentos diferenciais dentro da massa deslocada.
- 6 - *corpo principal*: parte do material deslocado localizada por cima do plano de ruptura, entre a cicatriz principal e o limite jusante do plano de ruptura.
- 7 - *pé*: parte da massa afectada que se desloca para além do limite jusante do plano de ruptura e se sobrepõe à superfície topográfica original.
- 8 - *extremidade jusante*: ponto que define a extremidade jusante do material deslocado.
- 9 - *frente*: faixa que define o limite jusante da massa afectada, em geral com uma forma convexa.
- 10 - *plano de ruptura*; superfície de deslizamento: superfície ao longo da qual ocorre o movimento tangencial.

- 11 - *limite jusante do plano de ruptura*: intercepção, a jusante, entre o plano de ruptura e a superfície topográfica original.
- 12 - *superfície de separação*: superfície que separa os terrenos não afectados e o material deslocado que constitui o pé do deslizamento, a jusante do plano de ruptura.
- 13 - *material deslocado*: material deslocado da sua posição original por influência de um movimento de vertente.
- 14 - *área de depleção*: área do movimento de vertente em que o material deslocado se encontra abaixo da superfície topográfica original.
- 15 - *área de acumulação*: área do movimento de vertente em que o material deslocado se encontra acima da superfície topográfica original.
- 16 - *depleção*: volume de material perdido, definido pelos limites da cicatriz principal, superfície da massa abatida e superfície topográfica original.
- 17 - *massa abatida*: massa do material deslocado que se sobrepõe ao plano de ruptura e fica abaixo do nível da superfície topográfica original.
- 18 - *acumulação*: volume do material deslizado que se situa acima do nível da superfície topográfica original.
- 19 - *flanco*: limite lateral do movimento de vertente. Quando se usam os termos direito e esquerdo, estes referem-se ao movimento observado de montante.
- 20 - *línguas e orlas de deslizamento*: formas particulares de disposição do material deslocado que, embora mais frequentes nas áreas de acumulação, também se podem observar nas áreas de depleção dos deslizamentos.

4.2. Dimensões

- L* - comprimento total; equivalente horizontal da distância entre o topo da cicatriz principal e a extremidade jusante do movimento.
- L_c* - equivalente horizontal do comprimento da área de depleção.
- L_m* - equivalente horizontal do comprimento da área de acumulação.
- L_r* - comprimento do plano de ruptura; equivalente horizontal da distância entre o topo da cicatriz principal e o limite jusante do plano de ruptura.
- L_{re}* - comprimento da superfície de ruptura exposta; equivalente horizontal da distância entre o topo e a base da cicatriz principal.

-
- W_c* - largura máxima da área de depleção, medida perpendicularmente a Lc.
- W_x* - largura máxima da área de acumulação, medida perpendicularmente a Lm.
- W* - largura máxima do movimento de vertente.
- Dr* - profundidade máxima do plano de ruptura, medida perpendicularmente à superfície topográfica original.
- Dd* - Espessura máxima da massa deslizada, medido perpendicularmente a Lc ou Lm.

III – A MECÂNICA DE SOLOS E A ESTABILIDADE DAS VERTENTES

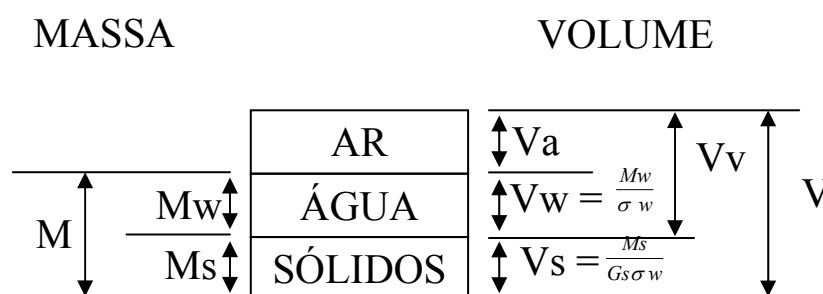
1. Noções de base: os estados físicos dos solos

Os conceitos de massa (relutância de um corpo em iniciar movimento) e de peso (força que actua sobre um objecto, em resultado da acção da gravidade).

A força, medida através da aceleração produzida numa determinada massa (em newton, N).

As três fases naturais (sólidos, água e ar) na constituição dos solos e a sua quantificação.

Massa e volume dos constituintes do solo



G_s – valor médio da gravidade específica dos minerais sólidos = 2.7

σ_w – valor da densidade da água (1 Mg/m³)

g – valor da aceleração gravitacional (9.8 ms⁻²)

O conteúdo em água do solo: razão entre a massa da água e a massa dos sólidos
($W = M_w / M_s$)

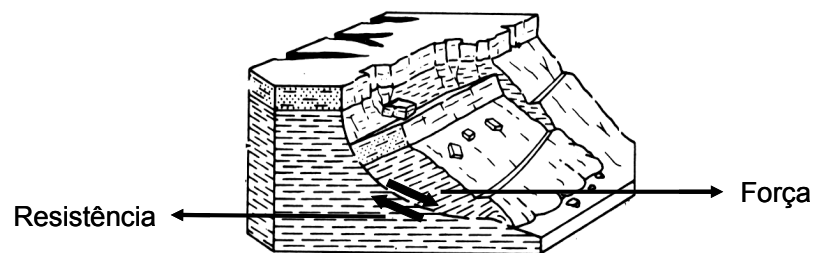
A densidade do solo: razão entre a massa total e o volume do solo ($\rho = M / V$)

O peso específico do solo: razão entre o peso total (força) e o volume total do solo ($\gamma = Mg / V$; $\gamma = \rho g$).

2. Força: fonte de energia para o transporte de detritos

A vertente entendida como um sistema onde a força e a resistência estão continuamente em oposição. O conceito de sistema em equilíbrio, quando as forças que tendem a promover o movimento são exactamente compensadas pela resistência. A aceleração do sistema e o início da instabilidade quando a força se sobrepõe à resistência.

Força e resistência no “sistema vertente”



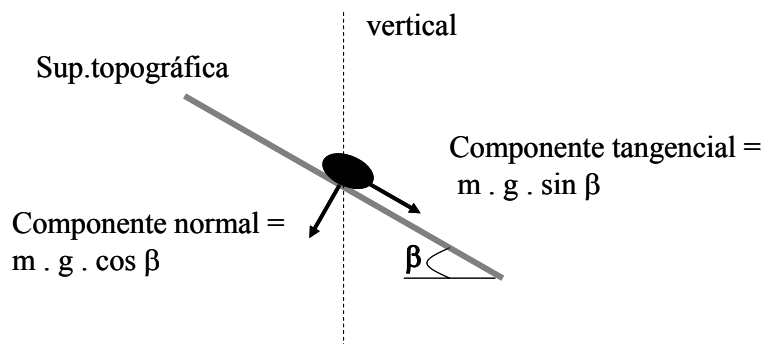
As fontes energéticas das forças no sistema da vertente: papel da gravidade e do clima.

Funcionamento das forças associadas a um bloco assente numa superfície horizontal: força associada ao peso e desenvolvimento de força de reacção; aplicação de força tangencial e desenvolvimento de força de resistência devida à fricção; início do movimento do bloco quando a resistência friccional é ultrapassada.

3. As forças gravíticas nas vertentes

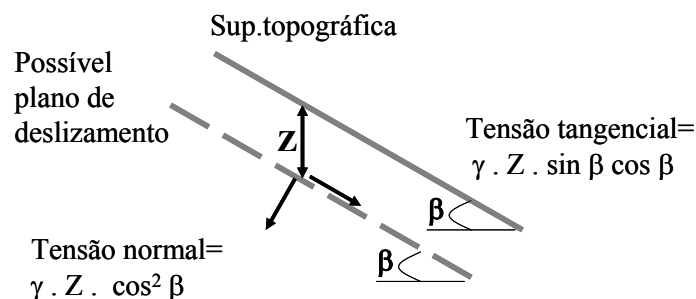
A separação do peso dos objectos nas vertentes em duas componentes e a sua quantificação: força de descida (**tangencial**), que tende a fazer deslocar o objecto, no sentido do declive, paralelamente à superfície; força perpendicular à superfície (**normal**), que actua de modo a manter o material na vertente.

Componentes normal e tangencial do peso de um objecto sobre uma vertente



A quantificação das tensões normal e tangencial ao longo de um possível plano de deslizamento, paralelo à superfície, num solo uniforme (com peso específico γ).

Tensão normal e tensão tangencial num plano de ruptura planar numa vertente



4. A resistência ao corte dos solos

A tensão tangencial e a resistência ao corte dos solos nas vertentes.

A condição de estabilidade: a resistência ao movimento (resistência ao corte) é superior à tensão tangencial. O início do movimento quando a tensão tangencial se torna superior à resistência ao corte. A mobilização da totalidade da resistência ao corte disponível do solo pela tensão tangencial, no momento da ruptura.

A determinação do factor de segurança (F) das vertentes:

$$F = \frac{\text{Resistência ao corte disponível}}{\text{Resistência ao corte mobilizada}} \quad \text{ou} \quad F = \frac{\text{Resistência ao corte disponível}}{\text{Tensão tangencial}}$$

$F > 1,0$ – estabilidade (margem de insegurança até 1,2)

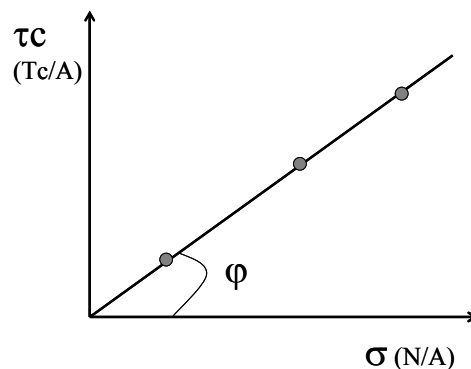
$F \leq 1,0$ – instabilidade (ou a sua iminência)

As componentes da resistência ao corte dos solos: (i) fricção interna entre os sólidos; (ii) coesão do material.

4.1. Ângulo de atrito interno

Expressão da fricção interna através do coeficiente de fricção interna (μ): razão entre a resistência friccional, ao longo de um plano, e a tensão normal (σ) que actua sobre esse plano ($\mu = \tau_c / \sigma$). A experimentação demonstrou que a razão τ_c/σ (tensão tangencial crítica para a ruptura / tensão normal) permanece relativamente constante para diferentes valores de N (ou σ).

Diagrama de Mohr - Coulomb



A expressão usual das propriedades de fricção através do ângulo de atrito interno (φ), sendo que: $\tan \varphi = \mu = \tau_c / \sigma = T_c/N$.

4.2. Coesão

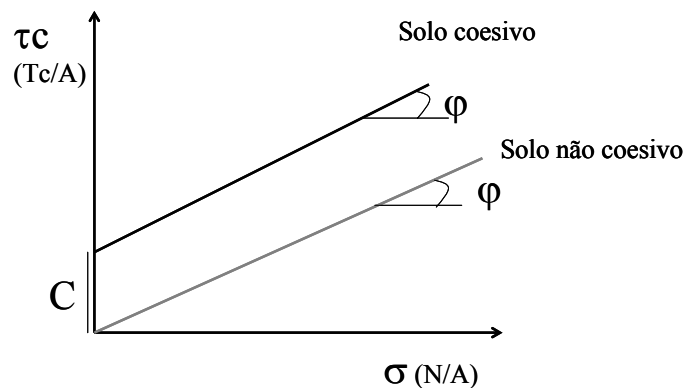
A componente coesiva (C) da resistência existente em alguns terrenos, em resultado das ligações físicas e/ou químicas no contacto entre as partículas do solo.

Os solos coesivos ou coerentes: solos, geralmente argilosos, em que é necessário aplicar uma força para separar os grãos que os constituem.

Os solos não coesivos: solos com textura granular, em que os grãos apenas se agregam quando estão ligeiramente húmidos, graças às forças de tensão superficial da água que ocupa parcialmente os poros (capilaridade). O conceito de coesão aparente.

O carácter independente da coesão relativamente à tensão normal existente.

Representação típica de solos coesivo e não coesivo num diagrama de Mohr - Coulomb



4.3. A Lei de Coulomb

Quantificação da resistência total de um terreno pela equação empírica de Coulomb (1773):

$$S = C + \sigma \cdot \tan \varphi$$

S – resistência ao corte (KN/m² ou KPa)

C – coesão (KPa)

σ - tensão normal (KPa)

φ - ângulo de atrito interno

$\tan \varphi$ - coeficiente de fricção

5. Tensão normal total, tensão normal efectiva e pressão intersticial

A tensão normal total (σ) actua perpendicularmente a um plano tangencial e é absorvida de dois modos diferentes: (i) nos contactos entre os elementos sólidos do solo ao longo da faixa de esforço; (ii) pela água e/ou ar que preenchem os poros ou vazios do solo.

Uma reacção contrastada em relação às forças em presença nas vertentes: os elementos sólidos resistem, quer às forças normais, quer às forças tangenciais, que se manifestam ao longo dos contactos sólido-sólido; os fluidos (ex: água) suportam forças de compressão (normais) mas não resistem às forças tangenciais (os fluidos não suportam esforços cortantes).

Conceito de tensão normal efectiva (σ'): componente da tensão normal total (σ) que é suportada pelas partículas sólidas do solo.

Conceito de pressão intersticial (u): componente da tensão normal total (σ) que é suportada pelo ar e/ou água que ocupam os vazios do solo.

A formulação proposta por Terzaghi (1953):

$$\sigma' = \sigma - u \qquad \sigma = \sigma' + u$$

σ - tensão normal total (KPa)

σ' - tensão normal efectiva (KPa)

u - pressão intersticial (KPa)

No desenvolvimento da resistência friccional (Lei de Coulomb), em situação de drenagem livre, a importância recai, claramente, na tensão normal efectiva e não na tensão normal total, pelo que quando existe nos terrenos uma pressão intersticial positiva (u), a equação de Coulomb deve ser corrigida:

$$S = C' + (\sigma - u) \cdot \tan \varphi'$$

$(\sigma - u)$ = (σ') – tensão normal efectiva

C' – coesão efectiva

φ' - ângulo de atrito interno efectivo

6. Importância da pressão intersticial na resistência ao corte

O caso dos solos secos: os poros estão completamente ocupados por ar. A pressão desse ar, relativamente à atmosfera, é igual a zero. Na equação $\sigma = \sigma' + u$, $u = 0$; $\sigma = \sigma'$ (as tensões normais, efectiva e total são iguais em valor).

O caso dos solos húmidos, mas não saturados: a pressão da água nos poros é negativa, relativamente ao valor da pressão atmosférica. A tensão total é complementada pela sucção por capilaridade (pressão negativa) e há um reforço da resistência do solo.

O caso dos solos saturados, com drenagem livre: a pressão da água nos poros excede o valor da pressão atmosférica (pressão positiva). A tensão efectiva diminui devido à pressão intersticial positiva e há uma diminuição da resistência do solo.

Demonstração quantificada da diminuição da resistência ao corte dos materiais de uma vertente, em virtude da subida da toalha freática local. Explicação

fundamental para a compreensão do significado geomorfológico das chuvadas abundantes nos movimentos de massa rápidos.

7. Resistência ao corte de pico e resistência ao corte residual

As rupturas originais nas vertentes, que se verificam quando a tensão tangencial sofrida pelos terrenos iguala o valor da resistência ao corte.

Conceito de **resistência ao corte de pico**: valor máximo de resistência ao corte de um terreno, mobilizado pela tensão tangencial no momento do desenvolvimento de uma ruptura original.

A redução da resistência ao corte dos terrenos, decorrente da continuação da deformação (deslocação tangencial), até ao atingir de um valor mínimo constante, designado por **resistência ao corte residual** (S_r).

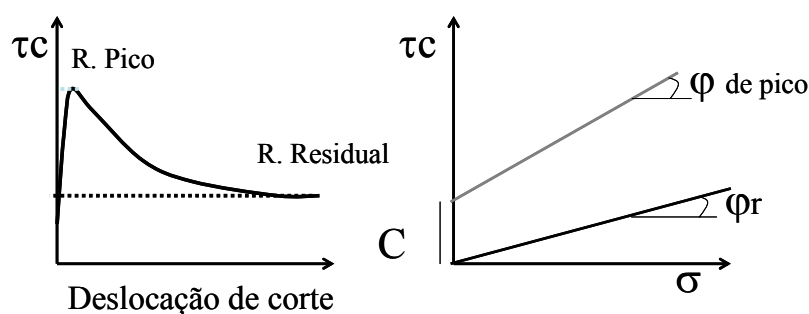
A diferença entre a resistência ao corte de pico (anterior à ruptura) e a resistência de corte residual tem uma amplitude que depende da textura do material afectado; geralmente, aumenta com a quantidade de argila presente no terreno.

O carácter friccional da resistência ao corte residual (a coesão ou não existe em absoluto ou é de tal modo reduzida que se pode ignorar). Deste modo, pode assumir-se que:

$$S_r = \sigma' \cdot \tan \varphi'_r$$

r – condição residual

Resistência ao corte de pico e resistência ao corte residual



Numa vertente deslizada no passado, a resistência ao corte ao longo do plano de ruptura pode estar reduzida a um valor residual, nomeadamente se a deslocação horizontal tiver sido considerável. Deste modo, poder-se-ão verificar movimentos posteriores, ao longo do mesmo plano de ruptura (**reactivações**), induzidos por forças tangenciais de menor importância do que as necessárias à activação do movimento inicial.

IV - AS CAUSAS DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE

1. As causas dos movimentos de vertente caracterizadas em função do Factor de Segurança

A abordagem geotécnica às causas dos movimentos de vertente: a evolução de uma vertente estável (com Factor de Segurança $> 1,0$) para um estado de instabilidade (com Factor de Segurança $\leq 1,0$) implica uma redução da resistência ao corte e/ou um aumento da tensão tangencial. Deste modo, consideram-se, entre as causas dos movimentos de vertente, os factores responsáveis pela diminuição da resistência ao corte (ou factores internos), e os factores responsáveis pelo aumento da tensão tangencial (ou factores externos).

1.1. Factores responsáveis pela diminuição da resistência ao corte

O papel da meteorização física e química das rochas e dos solos na degradação a longo prazo das propriedades de coesão e de atrito dos terrenos.

O papel da infiltração da água e da saturação dos terrenos na redução da resistência ao corte a curto prazo, através da diminuição da tensão normal efectiva e da quebra da coesão aparente nos solos granulares.

1.2. Factores responsáveis pelo aumento da tensão tangencial

O papel do levantamento ou basculamento tectónico e o consequente encaixe da rede hidrográfica, com o acentuar do declive.

A importância da remoção do suporte lateral das vertentes, por razões naturais (por exemplo, erosão fluvial, marinha ou glaciária) ou antrópicas (por exemplo, escavações).

O aumento da carga nas vertentes, devido a razões naturais (por exemplo, infiltração da água, crescimento da vegetação, actividade vulcânica) ou antrópicas (por exemplo, construção de aterros).

As tensões transitórias naturais (por exemplo, decorrentes das acelerações sísmicas) ou artificiais (por exemplo, explosões, tráfego rodoviário e ferroviário).

2. Factores condicionantes e factores desencadeantes da instabilidade

Na maior parte dos casos, as causas dos movimentos de vertente são múltiplas e verificam-se em simultâneo. Tentar definir qual delas é responsável pela ruptura pode ser, não só difícil, como incorrecto. Frequentemente, 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.

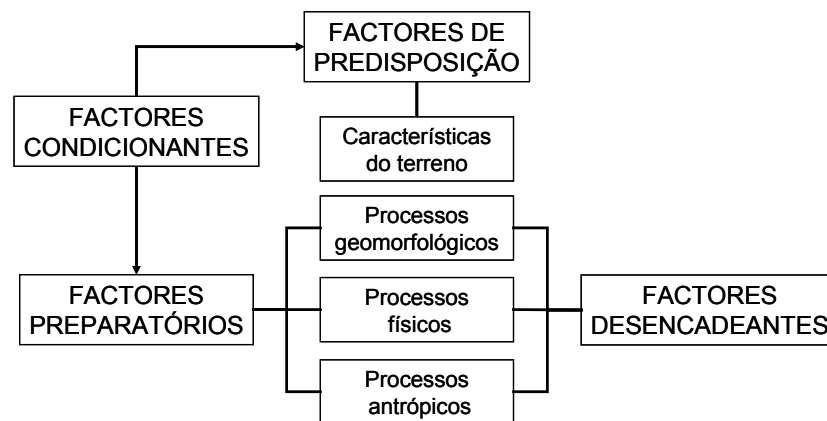
A proposta de Popescu (1994) no âmbito da UNESCO *Working Party on World Landslide Inventory*, retomando uma ideia de Crozier (1986): distinção entre factores condicionantes e factores desencadeantes.

A proposta de Glade e Crozier (2005) baseada na concepção de três estádios de estabilidade (estabilidade, estabilidade marginal e instabilidade activa): factores de predisposição, factores preparatórios e factores desencadeantes.

Os factores de predisposição são estáticos e inerentes ao terreno; condicionam o grau de instabilidade potencial da vertente e determinam a variação espacial do grau de susceptibilidade do território à instabilidade. Os factores preparatórios são dinâmicos e promovem o decréscimo da margem de estabilidade sem iniciar o movimento. Os factores desencadeantes representam a causa imediata da instabilidade e determinam o ritmo temporal dos movimentos de vertente.

A sistematização das causas dos movimentos de vertente sugerida por Popescu (1994): (i) características do terreno; (ii) processos geomorfológicos; (iii) processos físicos; e (iv) processos antrópicos. As características do terreno (geologia, morfologia, morfometria) funcionam sempre como factores de predisposição da instabilidade. Os restantes factores podem funcionar como mecanismo preparatório ou desencadeante da instabilidade, em função da sua intensidade e duração, bem como do estágio de estabilidade prévia da vertente.

Os factores dos movimentos de vertente (adaptado de Popescu, 1994)



2.1. Características do terreno

Factores geológicos:

- (i) Presença de rochas argilosas com comportamento mecânico plástico.
- (ii) Presença de depósitos sedimentares não consolidados ou fracamente consolidados (ex: *loess*, argilas glacio-marinhas, siltes finos).
- (iii) Presença de solos pouco espessos assentes sobre rochas maciças, impermeáveis.
- (iv) Presença de rochas alteradas, esmagadas ou fissuradas.
- (v) Existência de descontinuidades estruturais (planos de estratificação, planos de xistosidade, falhas, diaclases) e sua concordância com o declive.
- (vi) Contrastes na permeabilidade e seus efeitos no regime hidrológico dos terrenos.

Factores morfológicos e morfométricos:

- (i) A forma das vertentes.

A influência da forma da vertente na distribuição da água no solo. As concavidades topográficas são as áreas onde a saturação do solo se atinge mais rapidamente, devido à convergência da escorrência superficial e do escoamento sub-superficial.

(ii) O declive das vertentes.

A importância determinante e sistemática do declive na instabilidade das vertentes, através do controlo sobre as tensões tangenciais.

A dificuldade de determinação de limiares de declive críticos absolutos, devido à interferência de outros factores, como a litologia, estrutura geológica ou uso do solo.

Variação dos limiares mínimos de declive referidos na literatura científica para vários movimentos de vertente (Sidle *et al.*, 1985).

2.2. Processos geomorfológicos

(i) Levantamento tectónico e encaixe da rede hidrográfica.

(ii) Descompressão e expansão volumétrica por recuo dos glaciares.

(iii) Erosão fluvial, marinha ou glaciária na base das vertentes.

(iv) Erosão subterrânea (solução, sofusão).

(v) Deposição de sedimentos e aumento da carga nas vertentes.

2.3. Processos físicos

(i) Meteorização física (por exemplo, crioclastia).

(ii) Precipitação: chuvas intensas e concentradas; chuvas abundantes e prolongadas.

(iii) Fusão da neve e do gelo.

(iv) Abaixamento súbito do nível da água, na sequência de picos de cheia, marés elevadas ou ruptura de barragens naturais.

(v) Expansão-retracção em solos argilosos.

(vi) Actividade sísmica.

(vii) Erupções vulcânicas.

2.4. Processos antrópicos

(i) Escavação a meia vertente ou na base da vertente.

(ii) Sobrecargas no topo da vertente (por exemplo, aterros).

- (iii) Irrigação.
- (iv) Manutenção deficiente dos sistemas de drenagem.
- (v) Remoção da vegetação.
- (vi) Actividade mineira e pedreiras.
- (vii) Vibrações artificiais: tráfego rodoviário e ferroviário, maquinaria pesada, etc.

3. O papel da precipitação no desencadeamento dos movimentos de vertente

A complexidade das relações entre o clima e o sistema da instabilidade das vertentes e a dificuldade em estabelecer limiares pluviométricos com validade universal para o desencadeamento dos movimentos de vertente.

O trabalho pioneiro de Caine (1980) na definição de limiares para o desencadeamento de deslizamentos translacionais superficiais e escoadas de detritos:

$$I = 14.84 D^{-0.39}$$

Sendo:

I, mm/h

D, horas

A associação de diferentes tipos de movimentos de vertente a diferentes mecanismos hidrológicos desencadeantes.

3.1. Desencadeamento de escoadas de detritos em ambiente montanhoso

A importância do desenvolvimento de escorrência superficial com caudal elevadíssimo em sub-bacias de 1ª ordem, responsável pelo fornecimento de água às massas de detritos acumulados nos canais.

A mobilização da massa de sólidos, água e ar.

Situação pluviométrica crítica: chuvada muito intensa de curta duração (algumas horas).

3.2. Desencadeamento de deslizamentos superficiais (< 2m)

A importância da diminuição da resistência ao corte do terreno pelo aumento temporário da pressão intersticial e pela redução drástica da coesão aparente dos horizontes superiores do solo, decorrente do aumento do teor em água, que progride em frente de percolação.

Os factores condicionantes da profundidade crítica da ruptura: coesão do solo e declive da vertente.

Situação pluviométrica crítica: chuvas intensas em períodos de duração de 1 a 15 dias.

3.3. Desencadeamento de deslizamentos profundos (5-20 m)

O papel determinante da diminuição da resistência ao corte ao nível do plano de ruptura, por desenvolvimento de pressões intersticiais da água positivas, determinadas pela subida da toalha freática local ou regional.

Situação pluviométrica crítica: chuvas abundantes em períodos de duração de vários dias a vários meses.

4. O papel da actividade sísmica no desencadeamento dos movimentos de vertente

A aceleração horizontal nos terrenos como efeito directo da propagação das ondas sísmicas.

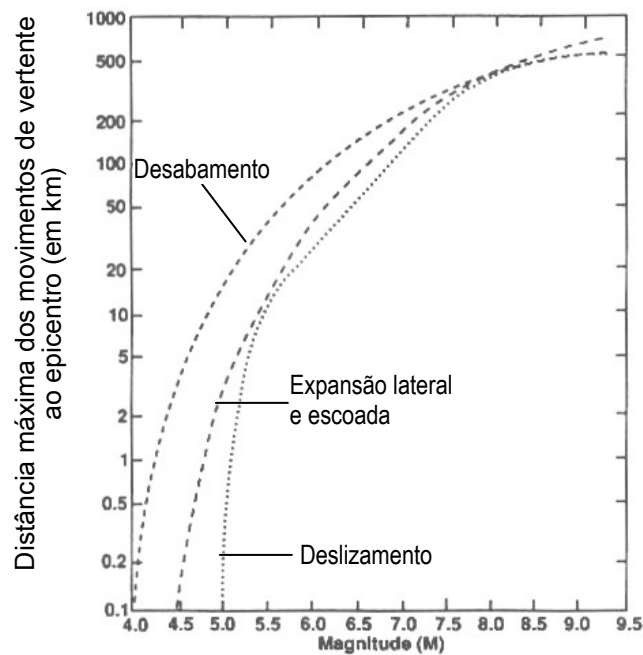
Os efeitos da aceleração horizontal na instabilidade das vertentes: (i) modificação das forças de um modo equivalente ao de um aumento súbito e temporário do declive; (ii) sujeição dos solos a ciclos alternados de carga e descompressão, que podem produzir mudanças irreversíveis na pressão intersticial e na resistência ao corte dos solos.

As condições do terreno que propiciam a ocorrência de movimentos de vertente de grande magnitude, na sequência de sismos: (i) existência de uma camada saturada

na estrutura geológica do terreno; (ii) presença de solos susceptíveis à liquefacção, generalizada ou localizada ao longo do plano de ruptura.

A determinação das distâncias máximas de diferentes tipos de movimentos de vertente (desabamentos, deslizamentos, expansões laterais e escoadas) aos epicentros, em função da magnitude sísmica.

Distância máxima dos movimentos de vertente ao epicentro, em função da magnitude sísmica



Fonte: Keefer, 1984.

V - METODOLOGIAS DE ANÁLISE DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE

1. A cartografia geomorfológica de grande escala

1.1. A cartografia geomorfológica e a investigação em Geomorfologia

A cartografia geomorfológica como ferramenta analítica na Geomorfologia teórica e aplicada e como expressão final dos resultados obtidos através da investigação geomorfológica.

O mapa geomorfológico enquanto mapa temático que representa graficamente as formas de relevo e o leque de influências, passadas e presentes, que contribuíram para a sua formação e evolução.

A importância da cartografia geomorfológica sistemática na renovação da investigação em Geomorfologia, tornando os estudos mais rigorosos e menos especulativos.

A utilização da cartografia geomorfológica de pormenor no inventário sistemático das formas de relevo e dos processos morfodinâmicos de um território.

Os princípios para a construção de mapas geomorfológicos de pormenor (Klimaszewski, 1968): (i) levantamento de campo e transcrição da informação sobre fundo topográfico; (ii) inclusão de informação morfográfica, morfométrica, morfocronológica e morfodinâmica; (iii) utilização de simbologia gráfica, figurativa e/ou abstracta; recurso a diferentes tipos de implantação (pontual, linear e em mancha); emprego da cor; (iv) integração da litologia do terreno; (v) organização genético-cronológica da legenda.

1.2. A classificação dos mapas geomorfológicos

A classificação dos mapas geomorfológicos, em função do conteúdo (gerais e parciais), dos objectivos e da utilização (básicos, aplicados e especiais), e da escala.

A classificação dos mapas geomorfológicos aplicados: mapas analíticos, mapas sintéticos e mapas pragmáticos. Os mapas geomorfológicos simplificados e os mapas derivados.

1.3. Proposta de legenda para a cartografia geomorfológica na região a norte de Lisboa

A inspiração na “escola de cartografia geomorfológica francesa”, implementada por J. Tricart e colaboradores na década de 1970. O sistema de cartografia francês inclui uma legenda gráfica pormenorizada (265 símbolos) e confere um claro destaque à génese das formas de relevo.

Incorporação de elementos da legenda da cartografia geomorfológica italiana, que privilegia a dinâmica das formas de relevo, nomeadamente, através de: (i) distinção entre formas de relevo activas e herdadas; (ii) classificação das manifestações de instabilidade quanto ao grau de actividade; (iii) destaque à representação dos processos de dinâmica das vertentes e morfologia associada, com recurso a cores fortes (vermelho-laranja).

Utilização da legenda da *École Polytechnique Fédérale de Lausanne* (Noverraz, 1984) para a representação da morfologia interna dos movimentos de vertente, a grande escala.

2. Identificação e classificação de movimentos de vertente no terreno

2.1. Critérios para o reconhecimento de campo de movimentos de vertente

As formas em cicatriz com aspecto mais ou menos fresco; a existência de uma topografia irregular, frequentemente com depressões e aclives; a presença de uma topografia frontal lobada; o reconhecimento de evidências de distorção em árvores, postes, muros, etc.

A obliteração das topografias instabilizadas com o decurso do tempo e a dificuldade de delimitação rigorosa de movimentos de vertente antigos, nomeadamente em áreas sujeitas a intensa actividade antrópica.

2.2. Reconhecimento de movimentos de vertente activos e dormentes a partir das características morfológicas, pedológicas e do coberto vegetal

Os critérios para a identificação de movimentos de vertente activos: (i) cicatrizes e fendas com limites nítidos; (ii) fendas e orlas secundárias; (iii) planos polidos e estriados com aspecto fresco; (iv) drenagem desorganizada e charcos; (v) solo não desenvolvido; (vi) vegetação deformada; (vii) vegetação de crescimento rápido; (viii) distinção clara, na forma e textura, entre área instabilizada e as áreas limítrofes.

Os critérios para a identificação de movimentos de vertente dormentes: (i) cicatrizes e fendas pouco nítidas e com sinais de meteorização; (ii) inexistência de fendas e orlas secundárias; (iii) drenagem organizada; (iv) solo com coberto vegetal desenvolvido; (v) presença de árvores sem sinais de deformação, com desenvolvimento posterior ao período de instabilidade.

2.3. Reconhecimento dos tipos de fendas e fissuras nos movimentos de vertente

A tipologia característica das fendas e fissuras nos movimentos de vertente é distinta nas suas diferentes secções: (i) parte superior e corpo principal; (ii) flancos e parte central; (iii) pé do movimento.

A abertura de fendas e fissuras transversais, de tracção e de cisalhamento, na parte superior e no corpo principal.

A formação de fendas e fissuras longitudinais junto aos flancos e na parte central do movimento de vertente por: (i) cisalhamento; (ii) compressão oblíqua; (iii) cisalhamento e torção; e (iv) cisalhamento e fricção.

As fendas e fissuras transversais típicas do pé dos movimentos de vertente: (i) fendas de tracção; (ii) fendas de compressão; (iii) fendas fechadas de orla de deslizamento.

3. A inventariação sistemática dos movimentos de vertente

Apresentação e discussão de uma ficha-tipo para a inventariação sistemática de movimentos de vertente no terreno.

G – CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO		28-Estilo da actividade	
25-Movimento	25.1-certo <input type="checkbox"/> 25.2-provável <input type="checkbox"/>	28.1-simples <input type="checkbox"/> 28.2-múltiplo <input type="checkbox"/> 28.3-sucessivo <input type="checkbox"/> 28.4-complexo <input type="checkbox"/> 28.5-compósito <input type="checkbox"/>	
26-Datas	26.1-primeiro movimento <input type="checkbox"/> 26.2-último movimento <input type="checkbox"/>	29-Distribuição da actividade	29.1-retrogressão <input type="checkbox"/> 29.2-avanço <input type="checkbox"/> 29.3-alargamento <input type="checkbox"/> 29.4-progressão múltipla <input type="checkbox"/> 29.5-diminuição <input type="checkbox"/> 29.6-confinamento <input type="checkbox"/>
27-Estado de actividade	27.1-activo <input type="checkbox"/> 27.2-dormente <input type="checkbox"/> 27.3-estabilizado <input type="checkbox"/>		
30-Morfologia	30.1-cicatriz <input type="checkbox"/> 30.1.1-simples <input type="checkbox"/> 30.1.2-múltipla <input type="checkbox"/> 30.1.3-altura <input type="checkbox"/> m 30.1.4-extensão <input type="checkbox"/> m	31-Morfometria	31.1-compr. área depleção (Lc) <input type="checkbox"/> m 31.2-compr. área acumulação (Lm) <input type="checkbox"/> m 31.3-comprimento total (L) <input type="checkbox"/> m 31.4-compr. área ruptura exposta (Lr) <input type="checkbox"/> m 31.5-largura área depleção (Wc) <input type="checkbox"/> m 31.6-largura área acumulação (Wx) <input type="checkbox"/> m 31.7-largura máxima área afectada (W) <input type="checkbox"/> m 31.8-extensão da deslocação <input type="checkbox"/> m 31.9-profund. máxima plano ruptura <input type="checkbox"/> m 31.10-área do sector afectado <input type="checkbox"/> m2 31.11-volume material afectado <input type="checkbox"/> m3
32.1-desnível cicatriz/limite jusante movimento	<input type="checkbox"/> m	C S C-certo; S-suposto	
32.2-distância topo vertente/cicatriz principal	<input type="checkbox"/> m		
32.3-distância extremidade jusante/base da vertente	<input type="checkbox"/> m		
33.1-declive original	<input type="checkbox"/>	33.1.1-limite esquerdo	<input type="checkbox"/>
33.2-declive final	<input type="checkbox"/>	33.1.2-limite direito	<input type="checkbox"/>
H – CAUSAS PROVÁVEIS			
36-Permeabilidade	<input type="checkbox"/>	34-Litologia	<input type="checkbox"/>
39-Características vertente	<input type="checkbox"/>	35-Estrutura	<input type="checkbox"/>
41-Actividade humana	<input type="checkbox"/>	35.1-estratificação	<input type="checkbox"/>
41.1-desflorestação	<input type="checkbox"/>	35.2-falhas	<input type="checkbox"/>
41.2-cultivo	<input type="checkbox"/>	37-Obstrução drenagem	<input type="checkbox"/>
41.3-área abandonada	<input type="checkbox"/>	38-Precipitação	<input type="checkbox"/>
41.4-aterro	<input type="checkbox"/>	40-Outro processo	<input type="checkbox"/>
41.5-desaterro	<input type="checkbox"/>	40.1-a montante	<input type="checkbox"/>
41.6-estrada	<input type="checkbox"/>	40.2-a jusante	<input type="checkbox"/>
41.7-outros taludes	<input type="checkbox"/>	42-Outras	<input type="checkbox"/>
I – INFORMAÇÃO COMPLEMENTAR			
46-Danos	<input type="checkbox"/>	43-Registo de campo	<input type="checkbox"/>
		44-Fotografia	<input type="checkbox"/>
		45-Diapositivo	<input type="checkbox"/>
	tipologia		custos aproximados

A avaliação do volume de terrenos afectados por movimentos de vertente, com base na adaptação de modelos geométricos:

(i) Movimentos de desabamentos – superfície da área de partida * profundidade da ruptura.

(ii) Movimentos associados à erosão lateral dos cursos de água - $V = 0,785 l h (b - a)$
sendo:

V - volume, em metros cúbicos;

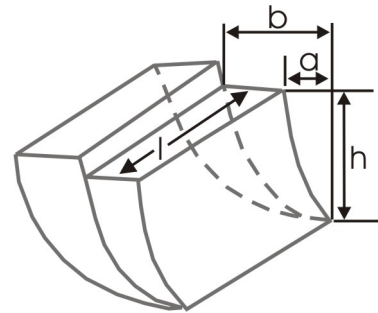
l - largura da área afectada;

h - altura da área afectada;

b - distância do canal fluvial à cicatriz do movimento;

a - distância do canal fluvial à margem do leito menor original;

$(b - a)$ - comprimento da área afectada.



(iii) Movimentos de deslizamento translacional - $V = 0,785 a b h$

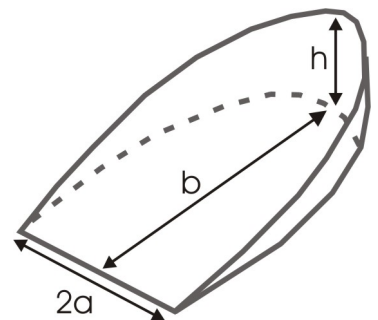
sendo:

V - volume, em metros cúbicos;

a - metade da largura máxima da área afectada;

b - comprimento do plano de ruptura;

h - altura da cicatriz.



(iv) Movimentos de deslizamento rotacional - $V = 1/6 \pi L W Dd$

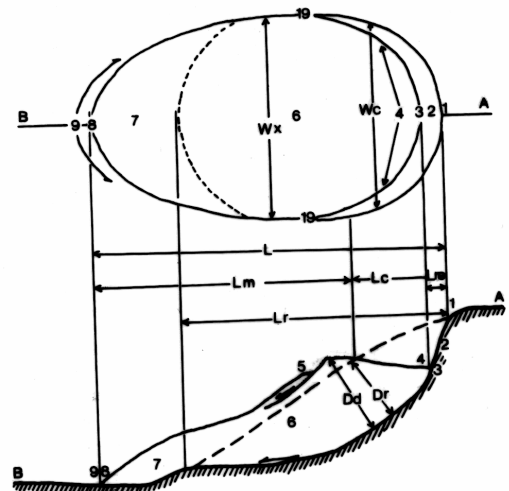
sendo:

V - volume, em metros cúbicos;

L - comprimento total da área afectada;

W - largura máxima da área afectada;

Dd - espessura máxima da massa deslizada, por vezes substituída pela profundidade máxima do plano de ruptura.



4. Os modelos físicos de avaliação da estabilidade das vertentes - modelos de equilíbrio limite. Exemplificação com o Modelo da vertente infinita

4.1. Classificação dos métodos de cálculo

Os métodos de cálculo de avaliação da estabilidade das vertentes a duas dimensões incluem os Métodos de Cálculo com Deformações (por exemplo, elementos finitos) e os Métodos de Equilíbrio Limite, baseados nas Leis da Estática. A subdivisão dos Métodos de Equilíbrio Limite em métodos exactos (propiciam uma solução exacta para o problema e aplicam-se a movimentos de vertente com geometria simples) e métodos não exactos (a obtenção da solução do problema somente é possível com a assunção de valores para algumas variáveis, devido à complexidade da geometria dos movimentos de vertente).

4.2. Princípios comuns aos métodos de equilíbrio limite

Os métodos de equilíbrio limite são sustentados por alguns teoremas da Teoria da Plasticidade e aplicam-se ao mecanismo de deslizamento (rotacional e translacional).

A resistência ao corte necessária para equilibrar o mecanismo de deslizamento é obtida através da aplicação de princípios de estática. A este respeito, são utilizados dois conceitos físicos fundamentais: (i) a massa potencialmente deslizável encontra-se num estágio de equilíbrio limite; (ii) a situação de ruptura iminente verifica-se simultaneamente em todos os pontos do plano de ruptura considerado.

A resistência ao corte necessária para manter a situação de equilíbrio é comparada com a resistência ao corte disponível, através da determinação do **Factor de Segurança (F)** ao longo do plano de ruptura considerado.

O mecanismo correspondente ao Factor de Segurança mais baixo é determinado por um processo de iteração de cálculos.

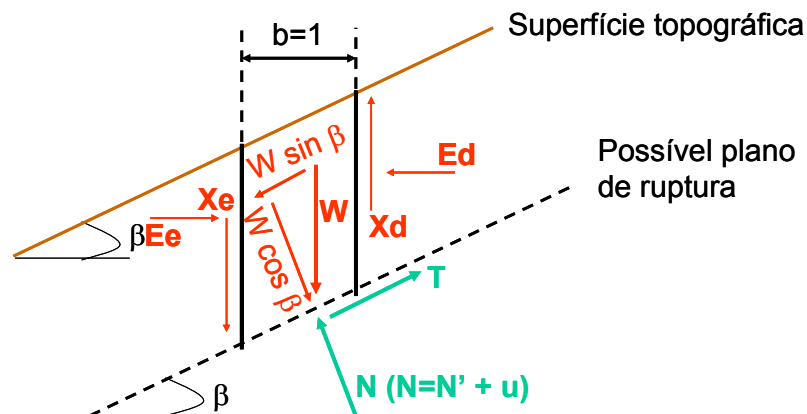
4.3. O modelo da vertente infinita

A adaptabilidade do modelo da vertente infinita aos deslizamentos translacionais pouco profundos.

As suposições do modelo da vertente infinita: (i) o plano de ruptura é paralelo à superfície topográfica, localizando-se a uma profundidade constante e pequena quando comparada com o comprimento da vertente; (ii) a vertente é considerada como tendo um comprimento infinito e os efeitos terminais e laterais na área deslizada são ignorados; (iii) as propriedades físicas do solo e a pressão intersticial da água abaixo da superfície topográfica são consideradas constantes.

Aplicação do modelo da vertente infinita: a avaliação da estabilidade de uma coluna de solo, com dimensão lateral igual à unidade (1), indica, com um rigor aceitável, o valor da estabilidade do conjunto da vertente.

Forças em presença num modelo de vertente infinita (adaptado de Graham, 1984)



Sendo:

W – Peso da coluna de solo;

$W \sin \beta$ - componente tangencial do peso;

$W \cos \beta$ - componente normal do peso;

N – reacção à força normal;

T – reacção à força tangencial;

$E_e; E_d$ – forças normais *interslice*;

$X_e; X_d$ – forças tangenciais *interslice*.

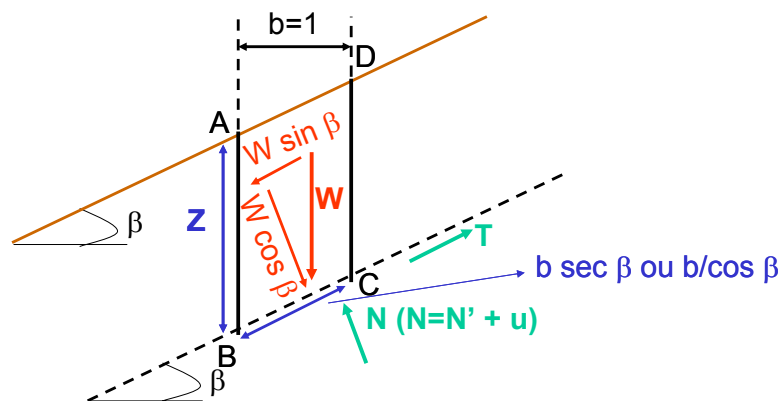
As forças *interslice* (E_e , E_d ; X_e , X_d) equivalem-se, pelo que podem ser ignoradas.

Assumindo que o sistema está em equilíbrio, o somatório das forças em presença é igual a zero:

$$N' + u - W \cos \beta = 0 ; N' = W \cos \beta - u$$

$$T - W \sin \beta = 0 ; T = W \sin \beta$$

Análise da estabilidade de uma coluna de solo (slice), com profundidade Z e largura b , limitado pelas verticais AB e DC .



Sendo:

γ - peso específico do solo (kN/m^3);

b - largura da coluna de solo (=1 metro);

Z - espessura da coluna de solo (metros);

β - declive da vertente.

Decomposição do peso total W nas suas componentes normal (N) e tangencial (T):

$$W = \gamma bZ$$

$$N = \gamma bZ \cos \beta$$

$$T = \gamma bZ \sin \beta$$

Considerando que o comprimento da base do *slice* (BC) é igual a $b/\cos \beta$, da transformação das forças em tensões obtém-se:

$$\text{Tensão normal } (\sigma) = \gamma Z \cos^2 \beta;$$

$$\text{Tensão tangencial } (\tau) = \gamma Z \sin \beta \cos \beta$$

Determinação do Factor de Segurança (F) da vertente:

$$F = \frac{\text{Resistência ao corte disponível}}{\text{Tensão tangencial}}$$

$$F = \frac{c' + (\gamma Z \cos^2 \beta - u) \tan \varphi'}{\gamma Z \sin \beta \cos \beta}$$

Sendo:

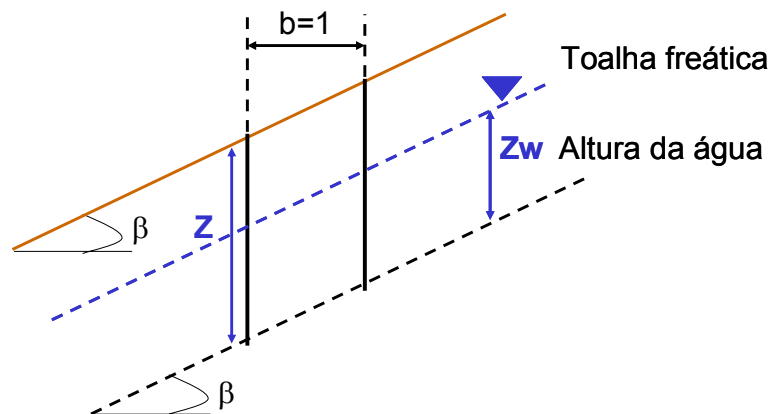
c' – coesão efectiva;

φ' – ângulo de atrito interno efectivo;

u – pressão intersticial.

Modelação de uma vertente natural com escoamento sub-superficial paralelo à vertente e com o nível da toalha freática a uma distância Z_w acima da superfície de ruptura potencial.

Modelo de vertente infinita com toalha freática acima do plano de ruptura potencial



Cálculo da pressão intersticial:

$$u = \gamma_w Z_w \cos^2 \beta$$

sendo:

γ_w – peso específico da água;

Z_w – altura da toalha freática acima do plano de ruptura potencial.

Cálculo do Factor de segurança:

$$F = \frac{c' + (\gamma - m \gamma w) Z \cos^2 \beta \tan \phi'}{\gamma Z \sin \beta \cos \beta}$$

Sendo m - parâmetro indicador da posição da toalha freática, que varia entre 0 (ausência de toalha freática) e 1 (toalha freática ao nível da superfície topográfica).

Exercícios de análise inversa (*back analysis*) das condições de estabilidade de movimentos de vertente.

VI - A AVALIAÇÃO DE RISCOS GEOMORFOLÓGICOS

1. Os conceitos e a terminologia: a perigosidade e a susceptibilidade geomorfológicas, a vulnerabilidade do território e o risco geomorfológico

As dificuldades de consolidação e estabilização de uma terminologia de riscos em português.

O consenso relativo em torno de dois conceitos fundamentais: (i) probabilidade de ocorrência de um fenómeno natural indesejado; e (ii) probabilidade de ocorrência de consequências indesejadas decorrentes da actividade de um fenómeno natural particular.

A terminologia internacional sistematizada por Varnes e pela *International Association of Engineering Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes*, no âmbito do Programa de Ciências da Terra da UNESCO:

(i) **Perigosidade natural (P)** (*natural hazard*) - probabilidade de ocorrência de um fenómeno potencialmente destruidor, num determinado período de tempo e numa dada área. As dificuldades de incorporação da componente temporal da perigosidade e a introdução do conceito de **Susceptibilidade (S)** (*susceptibility*), entendido como a probabilidade espacial de ocorrência de um determinado fenómeno num dada área com base nos factores condicionantes do terreno, independentemente do seu período de recorrência;

(ii) **Elementos em risco ou elementos vulneráveis (E)** (*elements at risk*) - população, equipamentos, propriedades, actividades económicas, etc., em risco num determinado território;

(iii) **Vulnerabilidade (V)** (*vulnerability*) - grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos em risco, em resultado da ocorrência de um fenómeno natural de determinada magnitude. Expressa numa escala de 0 (sem perda) a 1 (perda total);

(iv) **Risco específico (Re)** (*specific risk*) – produto da perigosidade pela vulnerabilidade de um elemento ou conjunto de elementos em risco;

(v) **Risco total (Rt)** (*total risk*) - número de mortos e feridos expectáveis e prejuízos materiais directos e indirectos devidos a um fenómeno natural particular; por outras palavras, o **Risco total** exprime a possibilidade da ocorrência de consequências gravosas, económicas ou mesmo para a segurança das pessoas, em resultado da ocorrência de um fenómeno natural ou induzido pela actividade antrópica (Varnes, 1984; Hansen, 1984; Einstein, 1988; Hartlén e Viberg, 1988; Fell e Hartford, 1997; Leroi, 1997).

A expressão matemática do Risco total: $Rt = (E) (Re) = (E) (P \times V)$

2. Esquema conceptual do risco

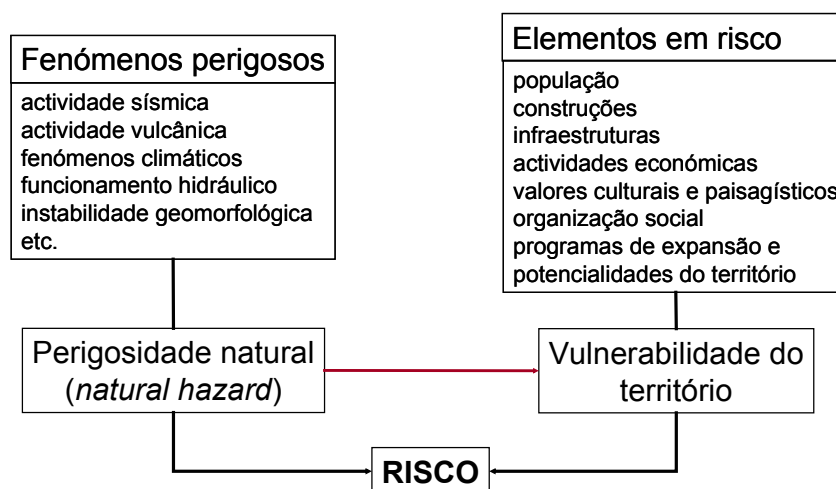
Tipologia dos fenómenos perigosos enquadrados no conceito de perigosidade natural: actividade sísmica, actividade vulcânica, fenómenos climáticos extremos, funcionamento hidráulico, instabilidade geomorfológica, etc.

Tipologia dos elementos em risco ou elementos vulneráveis: população, património construído, infra-estruturas, actividades económicas, valores culturais e paisagísticos, programas de expansão e potencialidades do território.

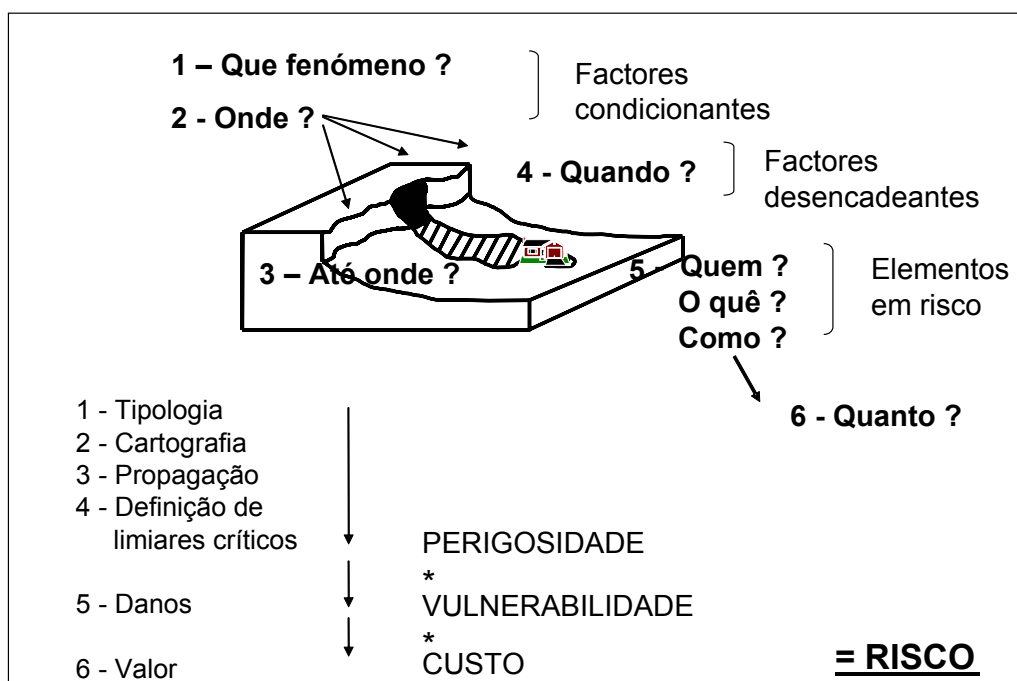
A vulnerabilidade do território, na dependência directa das características intrínsecas dos elementos em risco, mas também da magnitude ou intensidade dos fenómenos naturais perigosos que com eles interagem.

O Risco enquanto produto da perigosidade natural pela vulnerabilidade do território.

Esquema conceptual do risco geomorfológico (adaptado de Panizza, 1990)



Questões fundamentais na avaliação do risco geomorfológico (adaptado de Leroi, 1996; 1997)



As questões fundamentais num processo de avaliação de risco geomorfológico de um território:

(1) Que fenómenos naturais (tipos de movimentos de vertente), com potencial para gerar danos, podem ocorrer no futuro?

- (2) Onde vão ocorrer esses movimentos de vertente?
- (3) Até onde se vão propagar?
- (4) Quando vão ocorrer os movimentos de vertente?
- (5) Qual é a tipologia dos elementos em risco e qual é o seu grau de exposição aos futuros movimentos de vertente? Quais são os graus de perda expectáveis?
- (6) Quais são os custos decorrentes da situação de risco?

3. Avaliação da susceptibilidade e da perigosidade geomorfológica

Os princípios fundamentais subjacentes à avaliação da susceptibilidade e da perigosidade geomorfológicas (Varnes, 1984; Carrara *et al.*, 1991; Hutchinson, 1995; Turner e Schuster, 1996): (i) “o passado e o presente são as chaves para o futuro”; (ii) os movimentos de vertente podem ser reconhecidos, classificados e cartografados; (iii) as condições que causam os movimentos (factores de instabilidade) podem ser identificadas, registadas e utilizadas para construir modelos preditivos; (iv) a ocorrência de movimentos de vertente pode ser inferida, no espaço e no tempo. Deste modo, é possível o zonamento de um território em classes de susceptibilidade ou de perigosidade, hierarquizadas com diferentes valores de probabilidade.

As etapas do processo de avaliação da susceptibilidade e da perigosidade geomorfológicas (Gueremy, 1984; Asté, 1991; Soeters & Van Westen, 1996): (i) inventário e análise das manifestações de instabilidade já verificadas; (ii) identificação dos factores condicionantes (para a avaliação da susceptibilidade) e desencadeantes (para a avaliação da perigosidade) responsáveis pelo aparecimento ou aceleração dos movimentos; (iii) interpretação dos factores com recurso a modelos de relação espacial, directa ou indirecta.

3.1. Métodos de avaliação da susceptibilidade geomorfológica

3.1.1. Métodos de avaliação absoluta

Os métodos de avaliação absoluta classificam a susceptibilidade com um valor mensurável, como um factor de segurança ou uma probabilidade de ocorrência.

Tipos de métodos de avaliação absoluta:

(i) **Investigações geotécnicas locais** - permitem a determinação do factor de segurança da vertente estudada em pormenor, a partir da análise detalhada das características geométricas, físicas e hidrogeológicas dos terrenos.

A escala de análise não é compatível com uma representação cartográfica regional. Os resultados obtidos não são facilmente extrapoláveis para áreas mais vastas.

(ii) **Modelos determinísticos** - baseiam-se em leis físicas e mecânicas, como a conservação da massa e energia ou o equilíbrio das forças. Podem ser utilizados para extrapolação espacial, desde que seja conhecida a variação espacial dos parâmetros necessários ao seu funcionamento.

Os principais inconvenientes dos modelos determinísticos residem na limitação de aplicação a terrenos homogêneos e a movimentos de vertente simples.

(iii) **Modelos probabilísticos** – idênticos aos modelos determinísticos, com selecção dos parâmetros físicos e hidrológicos dos terrenos através de funções probabilísticas. O cálculo da susceptibilidade toma em consideração a variância dos factores de segurança, que decorre da variância dos elementos que condicionam a resistência ao corte e a tensão tangencial.

Os modelos probabilísticos têm os mesmos inconvenientes dos modelos determinísticos.

3.1.2. Métodos de avaliação relativa

Os métodos de avaliação relativa estabelecem uma diferenciação espacial da possibilidade de ocorrência de movimentos, fortemente baseada na análise comparativa das vertentes que integram o território em estudo.

Tipos de métodos de avaliação relativa:

(i) **Métodos de cartografia directa** – baseiam-se na análise dos efeitos da instabilidade e permitem a avaliação qualitativa da susceptibilidade. Os resultados são

subjectivos, dependendo da experiência individual do geomorfólogo (ou equipa) que efectuou o levantamento de campo, e que seleccionou, ponderou e determinou as combinações mais relevantes entre os factores de instabilidade, para definir as situações de perigo.

Apresentação e discussão de exemplos.

(ii) **Métodos de cartografia indirecta** – baseiam-se na análise das causas da instabilidade e na procura de relações espaciais entre variáveis.

A ponderação dos factores que condicionam a instabilidade é obtida a partir da sua representação cartográfica e da análise das relações com a distribuição espacial das manifestações de instabilidade, numa base geométrica ou em polígonos pré-definidos (unidades cartográficas).

A aplicação de métodos de cartografia indirecta implica a definição prévia de unidades cartográficas no território, que podem ser: unidades matriciais, unidades de condição única (domínios homogéneos), unidades geológico-geomorfológicas, unidades morfo-hidrológicas, ou unidades topográficas.

Subtipos de métodos de cartografia indirecta:

- **Indexação** – atribuição subjectiva de *scores* a um conjunto de factores de instabilidade passíveis de representação cartográfica. Os *scores* relativos a cada unidade de terreno são somados ou multiplicados, conduzindo a valores de susceptibilidade que, depois, podem ser divididos em classes.

- **Análise estatística** - os factores que condicionaram a instabilidade passada e presente são relacionados através de uma função paramétrica empírica, possibilitando a predição quantificada da susceptibilidade nas áreas ainda não estabilizadas.

Aplicações com métodos estatísticos bivariado (Método do Valor Informativo) e multivariado (Análise Discriminante).

3.1.3. Validação das avaliações da susceptibilidade geomorfológica

A impossibilidade de validação imediata dos mapas de avaliação da susceptibilidade geomorfológica realizados por método directo. Estes mapas apenas são validados aquando da ocorrência de movimentos de vertente em períodos subsequentes à sua realização.

Processos de validação imediata dos mapas de avaliação da susceptibilidade geomorfológica realizados por método indirecto: determinação de taxas de sucesso e taxas de predição.

Na determinação de uma taxa de sucesso, o mapa de susceptibilidade é “validado” a partir do cruzamento com os mesmos movimentos de vertente que foram utilizados para a sua realização. A taxa de sucesso permite a determinação do ajuste do modelo preditivo da susceptibilidade aos dados que lhe deram origem.

A determinação de uma taxa de predição implica a partição inicial da base de dados de movimentos de vertente, com base num critério temporal, espacial ou aleatório. O primeiro sub-conjunto de movimentos de vertente é utilizado para construir um modelo de predição da susceptibilidade, que é validado a partir do cruzamento com os movimentos de vertente do segundo sub-conjunto.

3.2. Avaliação da componente temporal da perigosidade geomorfológica

A maior parte dos movimentos de vertente ocorridos recentemente em Portugal apresenta um sinal climático evidente, comprovado pela estreita relação existente entre as manifestações de instabilidade e situações particulares do regime da precipitação. Deste modo, o estado de actividade dos diferentes tipos de movimentos, mais do que condicionado pelas respectivas características mecânicas e dinâmicas, depende fundamentalmente do período de retorno das precipitações responsáveis pelo seu desencadeamento.

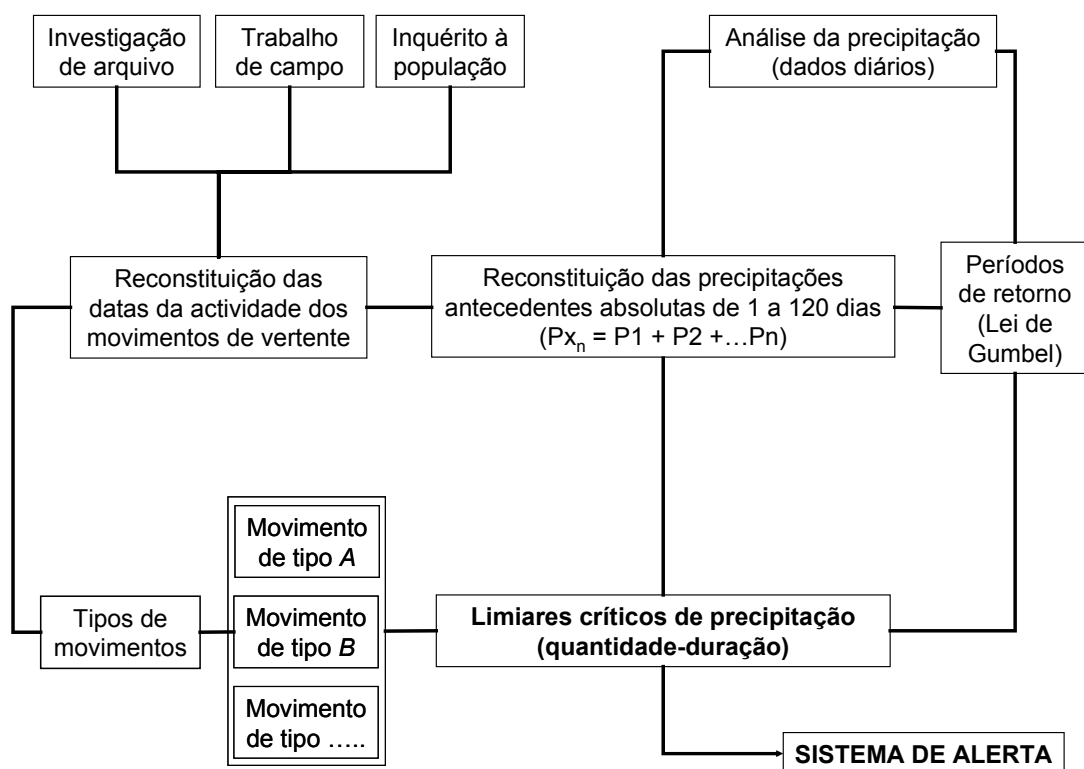
Apresentação e discussão de uma metodologia para a avaliação temporal da perigosidade geomorfológica:

- (i) reconstituição das datas da actividade dos movimentos de vertente ocorridos no passado, a partir de investigação de arquivo, trabalho de campo e inquérito às populações locais;
- (ii) discriminação das datas de actividade, tendo em consideração a tipologia das manifestações de instabilidade;
- (iii) análise dos dados da precipitação diária, referentes a postos udométricos representativos do território em estudo, com vista à reconstrução das precipitações antecedentes que estiveram na origem do desencadeamento das manifestações de instabilidade atrás referidas;

- (iv) reconstrução das chuvas acumuladas absolutas para diferentes durações e determinação dos respectivos períodos de retorno;
- (v) definição dos limiares críticos de quantidade/duração de precipitação, responsáveis pelo desencadeamento dos diferentes tipos de movimentos de vertente cuja data de ocorrência é conhecida, considerando que as combinações de quantidade de chuva acumulada / duração do período chuvoso que apresentam períodos de recorrência mais elevados são as mais significativas, do ponto de vista estatístico, para justificar a ocorrência dos movimentos de vertente. Determinação do “período eficaz da precipitação”.

As potencialidades dos resultados da aplicação da metodologia para a implementação de um sistema de alerta no âmbito da Protecção Civil.

Metodologia para a avaliação temporal da perigosidade geomorfológica, aplicável a movimentos de vertente desencadeados pela precipitação



4. Identificação dos elementos em risco e avaliação da vulnerabilidade

A existência de populações, bens ou actividades que possam ser prejudicados, destruídos ou interrompidos pela ocorrência de um fenómeno de instabilidade geomorfológica, enquanto condição imprescindível para a definição e classificação do risco geomorfológico.

A avaliação da vulnerabilidade enquanto estimativa do nível provável dos estragos, para cada elemento ou conjunto de elementos em risco no território.

A vulnerabilidade dos elementos expostos depende das suas características intrínsecas, mas também das propriedades dinâmicas dos movimentos de vertente, assim como das solicitações mecânicas por eles produzidas (Hong *et al.*, 1997). Estes dois últimos aspectos condicionam a intensidade dos movimentos de vertente, cuja definição permanece pouco clara no domínio da instabilidade geomorfológica, ao contrário do que acontece, por exemplo, na avaliação do risco sísmico (Leone *et al.*, 1996).

Escala convencional da severidade dos danos decorrentes dos movimentos de vertente (DRM, 1990, in Canuti & Casagli, 1994)

Grau de perda	% do valor da construção	Tipo de dano
1	< 10	Danos ligeiros não estruturais. A estabilidade não é prejudicada
2	10-30	Fissuração de muros e paredes
3	30-60	Deformação importante. Fendas bastante abertas nos muros e paredes. Evacuação necessária
4	60-90	Cedência parcial do pavimento. Desarticulação das paredes. Evacuação imediata
5	>90	Destruição total ou quase total. Recuperação impossível

A avaliação rigorosa da vulnerabilidade implica a articulação de dados relativos à perigosidade e aos elementos vulneráveis, dos quais se destacam: (i) características dinâmicas, mecânicas e geométricas do movimento de vertente (tipo, volume, velocidade e energia); (ii) propriedades intrínsecas dos elementos (tipo, dimensão, construção e estado de conservação); e (iii) capacidade da estrutura ou infra-estrutura para resistir ao fenómeno perigoso.

Avaliação relativa dos danos provocados por movimentos de vertente com diferentes intensidades, em função das características do edificado (adaptado de Canuti & Casagli, 1994). Os graus de perda (de 1 a 5) correspondem aos descritos no quadro anterior

Intensidade	Tipo de movimento	A	B	C ₁	C ₂
Baixa	Deslizamento	5	3-4	2	1-2
	Escoada	2-5	1-3	1-2	1
	Desabamento	4-5	3-5	3-5	2-3
Moderada	Deslizamento	5	5	3-5	3-5
	Escoada	3-5	1-4	1-3	1
	Desabamento	5	5	5	4-5
Elevada	Deslizamento	5	5	4-5	4-5
	Escoada	5	3-5	1-5	1-5
	Desabamento	5	5	5	5
Muito elevada	Deslizamento	5	5	5	5
	Escoada	5	5	5	5
	Desabamento	5	5	5	5

A – construções de qualidade medíocre, sem fundações e elementos estruturais de reforço.

B – edifícios tradicionais de alvenaria, sem estrutura em cimento armado.

C₁ – edifícios singulares em cimento armado, de dimensão modesta.

C₂ – prédios de habitação em cimento armado com pelo menos 3 pisos.

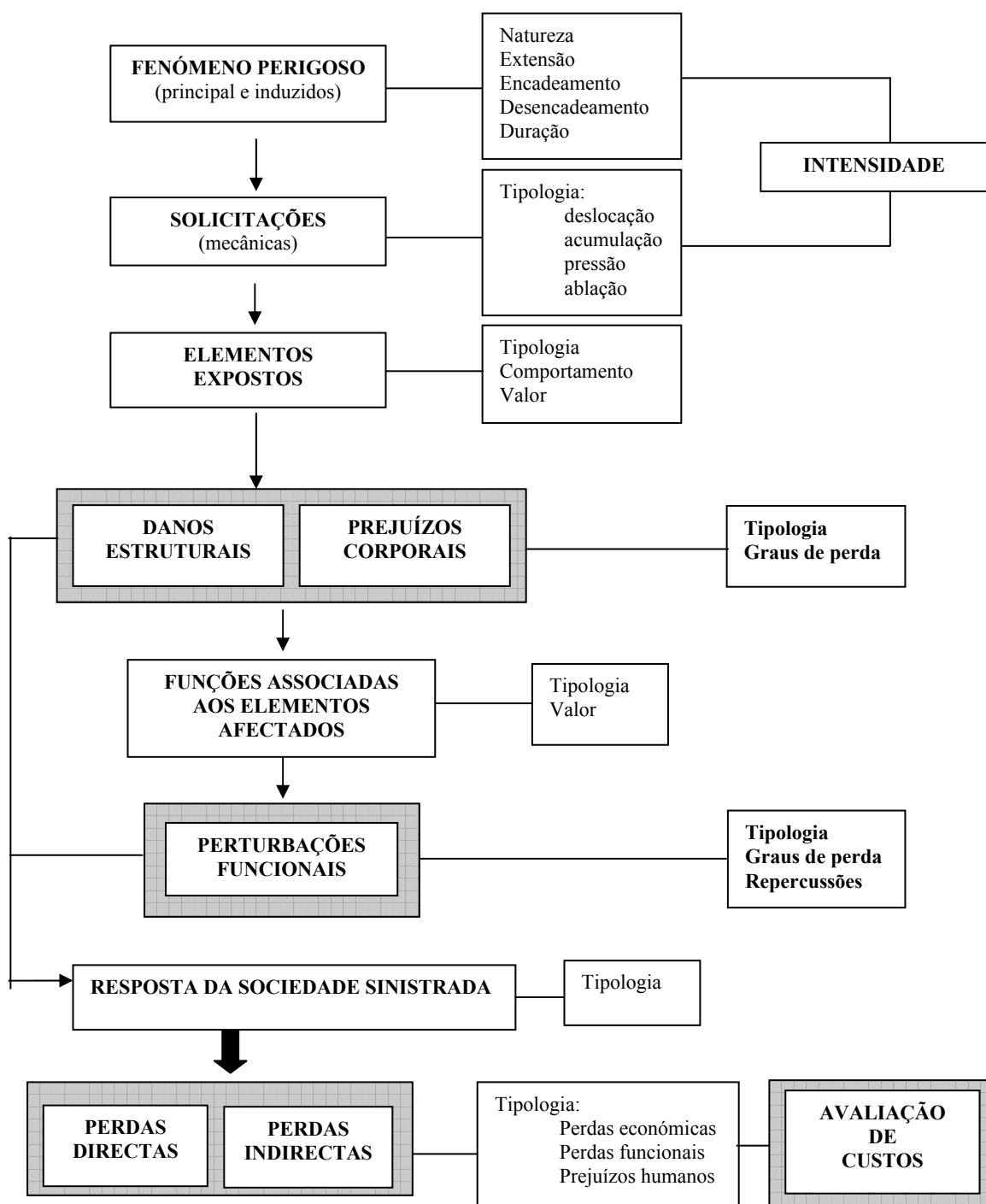
A tipologia dos danos, definida de acordo com o tipo de elementos em riscos: danos corporais (para as pessoas), danos estruturais (para bens ou propriedades, incluindo estruturas e o potencial ambiental dos terrenos) e danos funcionais (para as diversas actividades e funções desenvolvidas no território).

Os danos corporais dependem da intensidade do fenómeno natural e do nível de exposição dos indivíduos, que é determinado por factores intrínsecos (perceptivos, cognitivos e de mobilidade) e extrínsecos (factores físicos de protecção, como estruturas de retenção; circunstâncias técnicas e funcionais, como a existência de sistema de alerta).

Os danos estruturais dependem da intensidade do fenómeno e da capacidade de resistência da estrutura ao *stress* mecânico gerado pelo movimento.

As perturbações funcionais dependem dos danos estruturais e corporais, das funções secundárias que garantam a actividade em questão (factor funcional), bem como da capacidade de restauração dos danos pela sociedade (factores social, económico, institucional e político-administrativo).

Avaliação da vulnerabilidade (adaptado de Léone et al., 1995, 1996)



Os principais métodos de avaliação da vulnerabilidade (Cruden & Fell, 1997):

- (i) Abordagem directa – avaliação directa e qualitativa das consequências, baseada na opinião especializada;
- (ii) Árvore de eventos – definição das hipóteses de combinações de consequências para cada componente do cenário, usando a técnica das árvores de lógica.

Identificação dos cenários mais prováveis e classificação dos danos que lhes estão associados;

(iii) Modelos de consequências – desenvolvimento dos cenários possíveis considerando todos os factores que condicionam o movimento de vertente e as possíveis consequências sobre os elementos expostos. Para cada cenário é calculada a probabilidade de ocorrência.

5. Avaliação do risco específico e do risco total

O Risco entendido como probabilidade e severidade expectável do número de vidas perdidas, pessoas feridas, danos em propriedades ou interrupção de actividades económicas devido a um fenómeno natural particular.

O Risco Específico (R_e) é determinado para cada elemento em risco, através do produto entre a perigosidade e a vulnerabilidade: $R_e = P \times V$.

O Risco Total (R_t) é obtido acrescentando o valor do elemento em risco ao produto anterior, devendo ser determinado para cada elemento em risco: $R_t = R_s \times E$ ou $R_t = P \times V \times E$, onde E corresponde ao valor do elemento em risco.

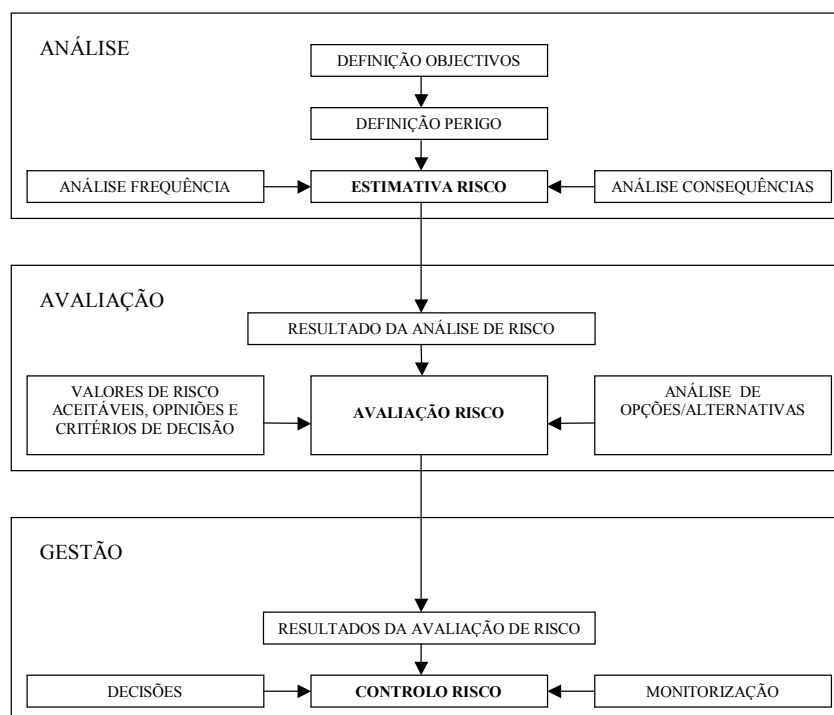
6. Da análise à gestão do risco

A abordagem completa do risco engloba 3 fases: Análise, Avaliação e Gestão.

6.1. Análise do risco

A análise do risco corresponde à etapa em que, com base na informação disponível, se estima o risco a que os diversos elementos vulneráveis estão expostos.

A análise do risco engloba, para lá da definição dos objectivos de estudo, a identificação dos tipos de perigo, a análise da respectiva frequência temporal, e o estudo das suas possíveis consequências sobre os elementos vulneráveis.

Abordagem completa do risco (Fell & Hartford, in Cruden & Fell, 1997)**6.2. Avaliação do risco**

A avaliação do risco implica a classificação da importância do risco estimado para os elementos vulneráveis e a identificação de opções e alternativas para a sua diminuição, a considerar nos processos de decisão.

Os conceitos de Risco Aceitável e de Risco Tolerável. Sempre que se fala em risco está implícito que há um nível de aceitação ou tolerância bem presente que, no entanto, raramente é avaliado.

O Risco Aceitável é o risco que se aceita facilmente, sem preocupações com a sua gestão. Em geral, a população considera que os gastos necessários para o controlo do risco são injustificados.

O Risco Tolerável é o risco com o qual a sociedade aceita viver, por ter alguns benefícios com isso, mas com as condições de que: (i) se está a efectuar um controlo eficiente, constantemente verificado; (ii) o risco é mitigado, sempre que tal seja possível.

A importância da definição dos níveis de risco aceitável e tolerável, e a sua comparação com o risco estimado, em termos sociais, financeiros, ambientais e de perda de vidas humanas.

6.3. Gestão do risco

A gestão do risco implica a tomada de decisões acerca das medidas de prevenção e de mitigação a adoptar. A eficácia das medidas mitigadoras é avaliada ao longo do tempo, através de programas de monitorização, num quadro de controlo do risco.

7. As grandes opções na gestão do risco geomorfológico

A gestão do risco geomorfológico no quadro do Ordenamento do Território implica que haja uma percepção cultural, económica e política dos fenómenos envolvidos, pelo que as opções a tomar devem basear-se num consenso entre técnicos e decisores que defina o nível de protecção desejado.

As soluções de gestão do risco geomorfológico:

(i) Aceitar o Risco

Esta opção implica a manutenção de situação actual e aplica-se quando a situação de risco é considerada aceitável ou tolerável.

(ii) Mitigar o Risco

a) reduzindo a perigosidade

- por intervenção ao nível dos factores condicionantes dos movimentos de vertente, através da racionalização do uso do solo, nomeadamente no que respeita às práticas agrícolas e silvícolas e à sistematização hidrogeológica do território;
- por intervenção directa nas vertentes instáveis, através da implementação de medidas de estabilização, de entre as quais se destacam: modificação da geometria da vertente; drenagem; introdução de elementos resistentes (ancoragem, muros de sustentação, de contenção e de revestimento); e técnicas de correcção superficial para

eliminar os problemas de queda de calhaus e pequenos blocos e aumentar a segurança face a pequenas rupturas superficiais.

b) reduzindo a vulnerabilidade

- por implementação de medidas defensivas de protecção para as estruturas em risco;
- por implementação de sistemas de alerta;
- através da organização de planos de emergência e de socorro, de forma a limitar as consequências produzidas pelos movimentos de vertente.

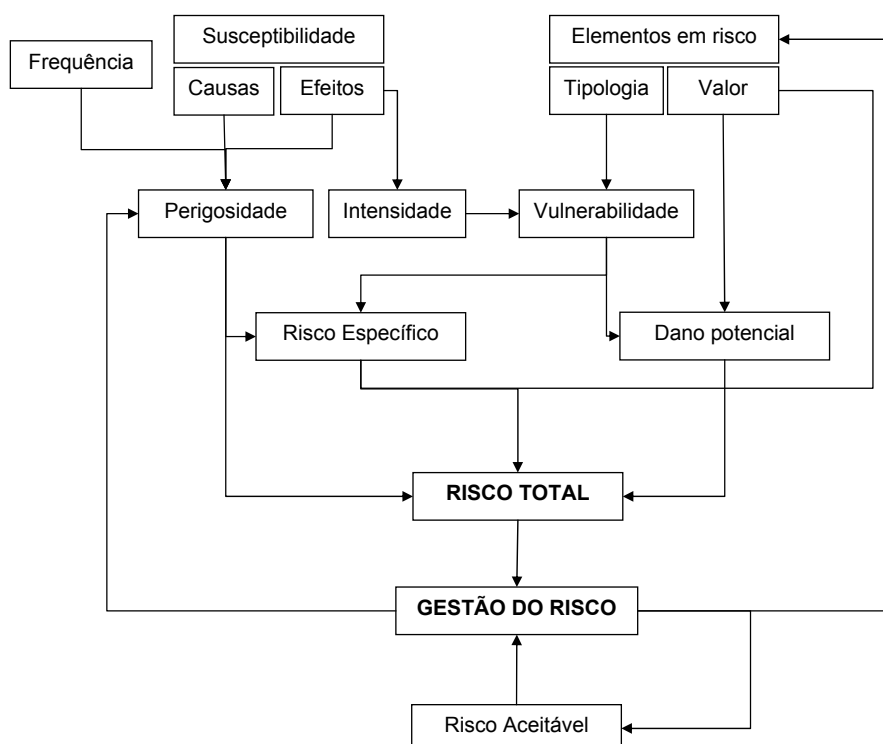
(iii) Evitar o Risco

Esta opção deve ser considerada quando a situação de risco é considerada inaceitável ou intolerável, e quando as medidas de mitigação não são aplicáveis ou se revelam ineficazes.

As acções de gestão incluem:

- evacuação das áreas instáveis e procura de localizações alternativas;
- interdição ou limitação à expansão urbanística nas áreas instáveis;
- definição de utilizações do terreno consentâneas com o grau de perigosidade que o caracteriza.

*Esquema formal da análise completa do risco geomorfológico
(adaptado de Canuti & Casagli, 1994)*



VII - TRABALHO PRÁTICO: DINÂMICA DE VERTENTES E SUSCEPTIBILIDADE GEOMORFOLÓGICA NA REGIÃO A NORTE DE LISBOA

O trabalho prático tem uma importância fundamental na disciplina de Dinâmica de Vertentes e Riscos Geomorfológicos. Embora, por uma questão de arrumação, surja no último ponto do programa, o seu enquadramento é quase completamente transversal no desenvolvimento da disciplina, decorrendo no período compreendido entre as sessões 6 e 22 (ver Planificação das Aulas).

Os alunos desenvolvem, em pequenos grupos (3 a 4 elementos), um trabalho que contempla a exploração da documentação cartográfica e fotográfica disponível, que inclui levantamentos geomorfológicos de campo de grande pormenor (na escala de 1:2000), e que culmina na avaliação da susceptibilidade do território aos movimentos de vertente, utilizando métodos de cartografia directa e indirecta.

O trabalho prático decorre na Região a Norte de Lisboa, onde as condições naturais (estrutura geológica, litologia do substrato e das formações superficiais, topografia, geomorfologia, clima e hidrologia) são bastante favoráveis ao desenvolvimento de manifestações de instabilidade nas vertentes. Em acréscimo, este território tem sido sujeito, nas últimas quatro décadas, a uma intensa pressão urbanística, o que conduziu à utilização de áreas com acentuada perigosidade. Deste modo, a construção em terrenos pouco seguros tem sido responsável pelo agravamento das consequências da instabilidade geomorfológica.

A selecção da área de estudo tem ainda em conta a disponibilidade de uma excelente cartografia de base para a maior parte do território (cartografia aerofotogramétrica na escala 1:2000, com equidistância de 2 metros; cartografia digital na escala 1:1000, com equidistância de 1 metro), e que tem sido disponibilizada pelas Câmaras Municipais da região (nomeadamente Loures e Vila Franca de Xira).

O trabalho de cada grupo desenvolve-se numa pequena área de 1,6 km², correspondente a uma folha de dimensão A0 da cartografia de base na escala de 1:2000.

1. Enquadramento geomorfológico da Região a Norte de Lisboa

A localização da Região a Norte de Lisboa na Orla Mesocenozóica Ocidental, próximo do contacto entre esta unidade morfoestrutural e a Bacia do Tejo.

A disposição estrutural dominante monoclinal, com pendores para Sul e Sueste, entre 5° e 25°, no contexto do flanco sul da deformação em anticlinal com grande raio de curvatura centrada em Arruda dos Vinhos.

A existência de uma fracturação com orientações dominantes NW-SE, N-S e NNE-SSW, sem expressão directa na morfologia.

A constituição litológica do terreno, com rochas de natureza sedimentar e eruptiva, datadas do Jurássico ao Miocénico superior.

O desenvolvimento de relevos de costeira, facilitado pela alternância de rochas com dureza, permeabilidade e plasticidade muito distintas, aliada à disposição monoclinal com pendores fracos a moderados.

A existência de uma deformação tectónica positiva relativamente à Bacia do Tejo e o seu papel na individualização das grandes unidades morfológicas da Região a Norte de Lisboa: o escalonamento de vários níveis de erosão parciais; e o vigoroso encaixe da rede hidrográfica cataclinal.

A instabilidade geomorfológica recente e actual na Região a Norte de Lisboa e os tipos de movimento de vertente dominantes: desabamentos, deslizamentos rotacionais, deslizamentos translacionais, deslizamentos translacionais superficiais, deslizamentos/desabamentos por erosão lateral, movimentos complexos e compósitos.

2. Organização e desenvolvimento do trabalho

2.1. Trabalho de gabinete

O trabalho de gabinete consiste na exploração da documentação cartográfica (topográfica e geológica) e fotográfica (fotografia aérea e ortofotomapa) disponível, acompanhada por investigação bibliográfica. Os alunos desenvolvem esta fase do

trabalho, no essencial, fora da sala de aula, sempre com um acompanhamento próximo do docente.

- Exploração do mapa topográfico aerofotogramétrico na escala de 1:2000: construção de mapa de declives, considerando 6 classes, com recurso ao método dos intervalos móveis; construção de mapa de exposições, considerando 8 quadrantes e as áreas planas; construção de mapa do perfil transversal das vertentes, com a distinção de vertentes côncavas, rectilíneas e convexas.

- Exploração do mapa geológico na escala de 1:50.000: construção de um mapa de unidades litológicas; construção de mapa litoestrutural.

- Cruzamento do mapa litoestrutural com o mapa de exposições para classificação morfoestrutural das vertentes (cataclinal, anaclinal, ortoclinal).

- Exploração de ortofotomapas digitais do IGP, na escala de 1:10.000: classificação do uso do solo.

- Observação estereoscópica de fotografia aérea na escala de 1:15.000: identificação de formas de relevo e de elementos da estrutura geológica; caracterização da rede hidrográfica; identificação de manifestações de instabilidade de vertentes de maior magnitude.

O desenvolvimento e a exploração de Sistemas de Informação Geográfica saem fora do âmbito desta disciplina. No entanto, verifica-se que um número significativo dos actuais alunos apresenta as competências necessárias para manejar esta ferramenta informática. Deste modo, embora tal não seja obrigatório, os alunos são vivamente estimulados a desenvolver os seus trabalhos no âmbito de um SIG, pela possibilidade de normalização da informação e facilidade de cruzamento de dados.

2.2. Trabalho de campo

O trabalho de campo na disciplina tem início com uma visita de estudo conjunta de um dia (sessão 6), que tem três objectivos: (i) enquadramento geológico, geomorfológico e hidrológico da Região a Norte de Lisboa; (ii) observação e discussão de movimentos de vertente exemplificativos da instabilidade geomorfológica regional; (iii) localização e delimitação das áreas-amostra a estudar por cada grupo de alunos.

Na sequência desta sessão, os alunos iniciam e desenvolvem o seu levantamento geomorfológico de terreno, sem o acompanhamento directo do docente. Refira-se que, em muitos casos, é esta a primeira vez que os alunos são confrontados com o trabalho de campo autónomo.

O trabalho de campo é orientado para duas vertentes: (i) a cartografia geomorfológica de pormenor, com aplicação de uma legenda estruturada, apresentada e discutida na sessão 4; e (ii) a inventariação sistemática dos movimentos de vertente observados no campo, com a aplicação da ficha-tipo apresentada no ponto 3 do tópico V do programa.

Com a cartografia geomorfológica de pormenor efectuada no terreno, os alunos complementam e corrigem os documentos cartográficos produzidos no gabinete com informações adicionais (por exemplo, verificação dos limites geológicos, registo sistemático dos valores da estratificação, classificação e delimitação de depósitos superficiais). No entanto, o principal objectivo da cartografia geomorfológica consiste na delimitação rigorosa dos movimentos de vertente identificados no campo. A este respeito, refira-se que a representação da topografia interna dos movimentos se revela, muitas vezes, fundamental para entender a tipologia e a dinâmica das manifestações de instabilidade.

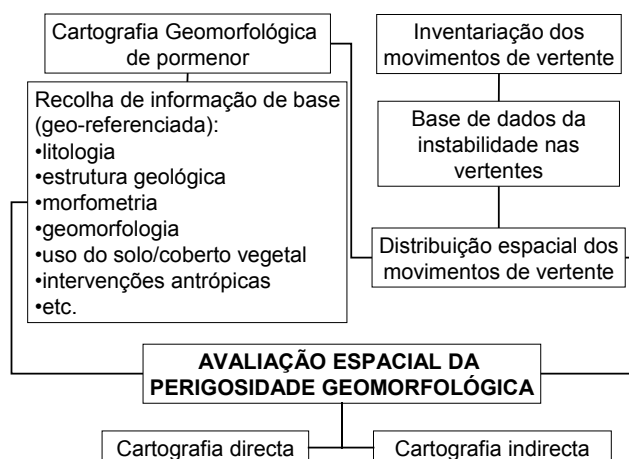
A utilização de uma ficha-tipo para inventariação sistemática dos movimentos de vertente tem várias vantagens: orienta a atenção dos alunos para os aspectos que devem ser registados; facilita a normalização da informação; e permite a criação de uma base de dados que pode ser explorada do ponto de vista estatístico.

2.3. Avaliação da susceptibilidade geomorfológica

Depois de concluídos o trabalho de gabinete e o trabalho de campo, os alunos organizam a informação recolhida e produzem dois mapas de avaliação da susceptibilidade geomorfológica para a sua pequena área de estudo. O primeiro mapa de susceptibilidade é realizado com a aplicação de um método de cartografia directa, que explora, no essencial, a informação contida no mapa geomorfológico de campo. O segundo mapa de susceptibilidade baseia-se no cruzamento do mapa dos movimentos de vertente com os mapas representativos dos factores condicionantes da

instabilidade, através da utilização de um método de cartografia indirecta (indexação, estatística bivariada ou multivariada).

Metodologia geral para o desenvolvimento do trabalho prático



2.4. Verificação dos resultados no terreno e apresentação dos trabalhos práticos

Depois de concluído o trabalho de campo pelos alunos, é realizada uma sessão conjunta no terreno, com dois dias de duração (sessão 20), sendo visitadas todas as áreas-amostra, sob orientação do respectivo grupo de trabalho.

A apresentação e discussão dos resultados obtidos, e a verificação da correcta identificação, classificação e delimitação dos movimentos de vertente, constituem os objectivos essenciais desta sessão. A este respeito, é feita a introdução à utilização do receptor GPS Magellan Meridian Platinum que, com o sistema WAAS/EGNOS activo, tem uma precisão de 3 metros, razoavelmente compatível com a cartografia na escala de 1:2000.

Na sessão 22 (última antes do teste final da disciplina) os alunos apresentam oralmente o seu trabalho e entregam a versão escrita. Esta contempla: (i) um mapa geomorfológico de pormenor na escala de 1:4.000 ou 1:5.000, acompanhado por uma notícia explicativa; (ii) dois mapas de avaliação da susceptibilidade geomorfológica, na mesma escala do anterior, acompanhados por notícias explicativas, com definição dos critérios utilizados e síntese dos resultados obtidos.

Bibliografia

Os títulos que constituem a bibliografia foram seleccionados tendo em atenção que a Dinâmica de Vertentes e Riscos Geomorfológicos é uma disciplina de opção, dirigida a alunos de 3º e 4º de licenciatura, que se pressupõe dominarem já os conceitos básicos da Geomorfologia Dinâmica.

A bibliografia foi organizada em três partes: essencial, complementar geral e complementar temática.

A bibliografia essencial é constituída por um número restrito de títulos, cuja importância de conteúdo e/ou clareza de exposição os torna de consulta obrigatória.

A maior parte destas espécies está disponível para consulta na biblioteca do Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa / Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. Nos casos em que tal não se verifica, o docente disponibiliza directamente aos alunos o seu exemplar da obra em questão.

A relevância destes manuais nos domínios da dinâmica de vertentes e dos riscos geomorfológicos justifica as breves apreciações e descrições que as acompanham, no ponto A.

A bibliografia complementar foi seleccionada para indicação de leituras complementares e está organizada em duas partes: a geral e a temática. Da primeira, fazem parte títulos que abordam todos ou uma parte importante dos conteúdos programáticos da disciplina; da segunda, títulos específicos de cada um dos tópicos e subtópicos temáticos do programa.

Apesar da selecção efectuada, a bibliografia apresentada corre o risco de ser considerada demasiado extensa, para uma disciplina semestral. No entanto, os títulos em questão influenciaram o autor deste programa na estruturação e preparação das suas aulas, pelo que não podiam deixar de ser referidos.

No seguimento da bibliografia é apresentada uma lista de *Sites* na Internet relacionados com os conteúdos programáticos da disciplina. Longe de pretender ser exaustiva, esta lista retrata as preferências do autor do programa no que respeita à vastíssima quantidade de informação que nos é disponibilizada actualmente pela Tecnologias de Informação e Comunicação.

A. Bibliografia Essencial (por ordem cronológica)

Záruba, Q.; Mencl, V. (1982) - *Landslides and their control. Developments in Geotechnical Engineering*, 31, Elsevier, Amsterdam.

Este manual, publicado em 1969 e revisto e reeditado em 1982, ilustra a excelência da investigação desenvolvida na antiga Checoslováquia, ao mesmo tempo que incorpora muita informação relativa a estudos levados a cabo noutros países do leste da Europa e da antiga União Soviética. Divide-se em 13 capítulos: 1 – Introdução; 2 – Factores dos movimentos de massa; 3 – Classificação dos movimentos de vertente; 4 – Mecânica do desenvolvimento de rupturas nas vertentes; 5 – Definição geológica dos grandes tipos de movimentos de vertente; 6 – Métodos de investigação dos movimentos de vertente; 7 – Análise de estabilidade; 8 – Medidas correctivas; 9 – A prevenção de rupturas nas vertentes: considerações gerais; 10 – Movimentos de vertente e construção de barragens; 11 - Movimentos de vertente e construção de estradas; 12 - Movimentos de vertente e planeamento urbano; 13 - Movimentos de vertente e exploração de depósitos minerais.

Brunsdon, D.; Prior, D.B. (Eds.) (1984) - *Slope Instability*, John Wiley and Sons, Chichester.

Apesar de já não se tratar de uma obra recente, este trabalho editado por Brunsdon e Prior constitui uma referência indispensável para quem se interessa por movimentos de vertente. Trata-se de um volume bastante completo, no qual colaboraram 15 autores, onde os movimentos de vertente são abordados, fundamentalmente, nas perspectivas geomorfológica e geológica. Divide-se em 13 capítulos: 1 – Estratégias para a classificação de movimentos de vertente; 2 – Propriedades e comportamento dos solos relevantes para a instabilidade das vertentes; 3 – Investigação de terreno, amostragem e ensaios para o estudo da instabilidade de vertentes; 4 – Avaliação de campo da instabilidade de vertentes; 5 – Instrumentação e monitorização de vertentes; 6 – Métodos de análise de estabilidade; 7 – Desabamentos; 8 - Escoadas de detritos;

9 – Deslizamentos lamacentos; 10 – Instabilidade de vertentes submarinas; 11 – Deslizamentos em argilas sensíveis; 12 – Deslizamentos-escoadas; 13 – Análise da perigosidade associada aos movimentos de vertente.

Varnes, D.J. and the International Association of Engineering Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes (1984) - *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO, Paris.

Este trabalho foi realizado a pedido expresso da UNESCO e representa, seguramente, a obra mais citada em estudos dedicados à perigosidade e risco associado aos movimentos de vertente. Passados 20 anos sobre a sua publicação, o conteúdo mantém plena actualidade, nomeadamente no que respeita à definição do modelo conceptual do risco. Divide-se em 7 capítulos: 1 – Introdução; 2 – Definições e princípios; 3 – Identificação dos factores e dos processos; 4 – Investigações; 5 – Análise de dados com exemplos; 6 – Algumas respostas governamentais e privadas à perigosidade ligada à estabilidade das vertentes; 7 – Sumário e procedimentos operativos.

Anderson, M.G.; Richards, K.S. (Eds.) (1987) - *Slope Stability*, John Wiley and Sons, Chichester.

Este manual representa um contraponto ao volume “Slope Instability”, centrado-se predominantemente nos métodos e técnicas da Mecânica de Solos. O trabalho, no qual colaboraram 22 autores, divide-se em 19 capítulos: 1 – Modelação da estabilidade das vertentes: a natureza complementar das abordagens geotécnica e geomorfológica; 2- Revisão comparativa de métodos de equilíbrio limite para avaliação da estabilidade das vertentes; 3 – Instrumentação da pressão intersticial e da sucção da água no solo; 4 – Análise da estabilidade das vertentes incorporando o efeito da sucção no solo; 5 – Implicações das fendas e estruturas na estabilidade das vertentes; 6 – Vegetação e estabilidade das vertentes; 7 – Modelação da eficácia protectora de uma cobertura “solo-cimento” do solo; 8 – Modelos freáticos para vertentes montanhosas; 9 – Ambientes susceptíveis a sismos; 10 – Erosão basal e movimentos de massa; 11 – Modelos gerais de evolução de vertentes a longo prazo através de movimentos de

massa; 12 – Modelação da inter-relação entre clima, hidrologia e hidrogeologia e o desenvolvimento das vertentes; 13 – Efeitos da meteorização: vertentes em siltitos e argilitos sobreconsolidados; 14 – *Quick clays*; 15 – Vertentes rochosas; 16 – Movimentos de massa em ambientes semi-áridos e a morfologia dos leques aluviais; 17 – Mecanismos dos movimentos de massa em ambientes periglaciários; 18 – Datação de deslizamentos profundos antigos em regiões temperadas; 19 – Limiares de declive e desenvolvimento de vertentes.

Flageollet, J.-C. (1989) - *Les mouvements de terrain et leur prévention*. Masson, Paris.

Este trabalho é, provavelmente, o livro mais interessante sobre movimentos de vertente escrito na língua francesa. Divide-se em duas partes (1ª - Os fenómenos; 2ª - A luta contra os movimentos de terreno) e integra 7 capítulos: 1 – Terminologias e classificações; 2 – Variedade dos movimentos de terreno; 3 – Localização e repartição geográfica; 4 – A cartografia das zonas expostas a movimentos de terreno; 5 – Previsão no tempo e predição; 6 – A protecção; 7 – Organismos, organizações e políticas para a prevenção e o socorro.

Bromhead, E.N. (1994) - *The Stability of Slopes*. 2ª ed., Blackie Academic & Professional, London.

Esta obra constitui, pela clareza da exposição, um trabalho de referência na aplicação das técnicas da Mecânica de Solos no estudo geomorfológico dos movimentos de vertente. Divide-se em 12 capítulos: 1 – Introdução à instabilidade de vertentes; 2 – Vertentes naturais; 3 – Propriedades fundamentais dos solos e das rochas; 4 – Medição da resistência ao corte; 5 – Princípios da análise de estabilidade; 6 – Técnicas utilizadas na análise de estabilidade; 7 – A pressão intersticial nas vertentes; 8 – Medidas correctivas para estabilização de vertentes; 9 – Investigação de movimentos de vertente; 10 – Rupturas em taludes artificiais: casos históricos; 11 – Rupturas em vertentes naturais: casos históricos; 12 – Recomendações técnicas para taludes artificiais.

Dikau, R.; Brunsden, D.; Schrott, L.; Ibsen, M.-L. (Eds.) (1996) - *Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes*. John Wiley & Sons, Chichester.

Este livro foi realizado no âmbito do projecto de investigação europeu TESLEC, “The Temporal Stability and Activity of Landslides in Europe with Respect to Climatic Change (1994-96)”, tendo participado na sua preparação 32 autores de 7 países europeus. O trabalho está estruturado sobre os tipos de movimentos de vertente e inclui 8 capítulos: 1 – Introdução; 2 – Desabamento; 3 – Balançamento; 4 – Deslizamento rotacional; 5 – Deslizamento translacional; 6 – Expansão lateral; 7 – Movimentos complexos.

Turner, A.K.; Schuster, R.L. (Eds.) (1996) - *Landslides. Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C.

As sínteses produzidas no âmbito do Transportation Research Board forneceram as classificações de movimentos de vertente mais utilizadas internacionalmente nos últimos 50 anos. Em 1958, Eckel editou *Landslides and Engineering Practice*; vinte anos depois Schuster e Krizek editaram *Landslides, Analysis and Control*, que constitui uma actualização da obra anterior. Finalmente, em 1996, Turner e Schuster editaram *Landslides, Investigation e Mitigation* que representa, provavelmente, a síntese mais completa alguma vez publicada sobre movimentos de vertente. O trabalho divide-se em 25 capítulos, organizados em 5 partes: 1 – Princípios, Definições e Avaliação; 2 – Investigação; 3 – Resistência e Análise da Estabilidade; 4 – Mitigação; 5 – Casos e Materiais Especiais.

Cruden, D.M.; Fell, R. (Eds.) (1997) – *Landslide Risk Assessment*. A.A. Balkema, Rotterdam.

Este volume inclui um conjunto muito relevante de trabalhos apresentado num *workshop* dedicado à avaliação de riscos associados a movimentos de vertente, realizado em Honolulu, Hawaii. Para além de 21 artigos dedicados ao tema, destacam-se 5 conferências fundamentais: “*Quantitative risk assessment for slopes*

and landslides – The state of the art” (IUGS Working Group on Landslides, Committee on Risk Assessment); “*Towards landslide risk assessment in practice*” (N.R. Morgenstern); “*Landslide risk – Systematic approaches to assessment and management*” (H.H. Einstein); “*Landslide risk management*” (R. Fell & D. Hartford); e “*Assessment of consequences of landslides*” (H.N. Wong, K.K. Ho & Y.C. Chan).

Bell, F.G. (2003) – *Geological Hazards. Their Assessment, Avoidance and Mitigation*. Spon Press, London.

Este manual recente apresenta uma síntese muito desenvolvida, em 12 capítulos, sobre todos os perigos geológicos e geomorfológicos, destacando as componentes de avaliação e mitigação. Destacam-se o capítulo 1 – Perigos geológicos: Avaliação e planeamento; e o capítulo 4 – Movimentos de massa.

Glade, T.; Anderson, M.G.; Crozier, M.J. (Eds.) (2005) – *Landslide Hazard and Risk*. John Wiley & Sons Ltd., London.

Este volume, de edição muito recente, vai constituir, seguramente, uma obra de referência para a futura investigação a desenvolver sobre riscos de movimentos de vertente na escala regional. Trata-se de um trabalho muito completo, para o qual contribuíram 48 investigadores. O manual inclui 26 capítulos, condensados em 824 páginas, organizados em 5 partes: 1 – Modelos conceptuais na abordagem ao risco de movimentos de vertente; 2- Análise do risco; 3 – Gestão do risco; 4 – Soluções práticas na avaliação do risco de movimentos de vertente; 5 – Sinopse.

B. Bibliografia Complementar Geral

- Ayala Carcedo, F.J.; Andreu Posse, F.J. e outros (1991) - *Manual de ingenieria de taludes*. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid.
- Bell, D. (Ed.) (1995) – *Landslides, Proceedings of the 6th International Symposium on Landslides*, Vols. 1, 2 e 3, Balkema, Rotterdam.
- Bell, F.G. (1998) – *Environmental Geology. Principles and Practice*. Blackwell Science, Oxford.
- Bonnard, C. (Ed.) (1988) - *Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, Lausanne, 1988*, Vols. 1, 2 e 3, Balkema, Rotterdam.
- Brabb; Harrod (Eds.) (1989) - *Landslides: Extent and Economic Significance*, Balkema, Rotterdam.
- Bromhead, E.; Dixon, N.; Ibsen, M.-L. (Eds.) (2000) - *Landslides in Research, Theory and Practice*, Vols. 1, 2, e 3, Thomas Telford, London.
- Carson, M.A.; Kirkby, M.J. (1975) - *Hillslope form and processes*. 2^a ed., Cambridge University Press, Malta.
- Coates, D.R.; Vitek, J.D. (1980) - *Thresholds in Geomorphology*. George Allen and Unwin, London.
- Coch, N.K. (1995) – *Geohazards Natural and Human*. Prentice Hall, New Jersey.
- Cooke, R.U.; Doornkamp, J.C. (1990) - *Geomorphology in Environmental Management. A New Introduction*. 2nd Edition, Clarendon Press, Oxford.
- Embleton, C.; Embleton-Hamann, C. (Eds.) (1997) - *Geomorphological Hazards of Europe*, Developments in Earth Surface Processes 5, Elsevier, Amsterdam.
- Flageollet, J.-C. (Dir.) (1984) - *Mouvements de Terrain. Colloque de Caen*, Documents du B.R.G.M., 83, Paris.
- Goudie, A. (Ed.) (1981) - *Geomorphological Techniques*. George Allen and Unwin, London.
- Mc Call, G.J.; Laming, D.J.; Scott, S.C. (1992) - *Geohazards. Natural and Man-made*. Chapman and Hall. London.
- Panizza, M. (1990) - *Geomorfologia applicata. Metodi di applicazione alla Pianificazione territoriale e alla Valutazione d'Impatto Ambientale*. La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- Rahn, P.H. (1996) – *Engineering Geology. An Environmental Approach*. Second Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Rybár, J.; Stemberk, J.; Wagner, P. (2002) – *Landslides*. Proceedings of the First European Conference on Landslides, Prague, A.A. Balkema, Lisse.

- Selby, M.J. (1982) - *Hillslope materials and processes*. Oxford University Press, Oxford.
- Senneset, K. (Ed.) (1996) - *Landslides, Proceedings of the 7th International Symposium on Landslides*, Vols. 1, 2 e 3, Balkema, Rotterdam.
- Sidle, R.C.; Pearce, A.J.; O'Loughin, C.L. (1985) – *Hillslope Stability and Land Use*. Water Resources Monograph 11, American Geophysical Union, Washington D.C.

C. Bibliografia Complementar Temática

I - Dinâmica de vertentes: aspectos introdutórios

- Leighton, F.B. (1976) - Geomorphology and Engineering Control of Landslides. In Coates, D.R. (Ed.), *Geomorphology and Engineering*, London, p.273-287.
- Peck, R.B. (1975) - Landslides and their Prevention. In Yatsu, E.; Ward, A.J.; Adams, F. (Eds.), *Mass Wasting, 4th Guelph Symposium on Geomorphology, 1975*, Geoabstracts, Norwich, p.133-136.
- Summerfield, M.A. (1993) – *Global Geomorphology*. Longman, Essex.
- Tricart, J. (1977) *Précis de Géomorphologie. Tome II - Géomorphologie Dynamique Générale*. Sedes, Paris.
- Young, A. (1972) - *Slopes*. Longman, Londres.

II - Tipologia e actividade dos movimentos de vertente

Classificação de movimentos de vertente

- Cruden, D.M.; Varnes, D.J. (1996) - Landslide Types and Processes. In Turner, A.K.; Schuster, R.L. (Eds.), *Landslides. Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., p.36-75.
- Hansen, M.J. (1984) - Strategies for classification of landslides. In Brunsten, D.; Prior, D.B. (Eds.), *Slope Instability*, John Wiley and Sons, Chichester, p.1-25.
- Hutchinson, J.N. (1968) - Mass Movement. In Fairbridge, R.W. (Ed.), *Encyclopedia of Geomorphology*, Reinhold, New York, p.688-695.
- Hutchinson, J.N. (1988) - General report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. In Bonnard, C. (Ed.), *Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, Lausanne, 1988*, Vol. 1, Balkema, Rotterdam, p.3-35.
- I.A.E.G. Commission on Landslides (1990) - Suggested nomenclature for landslides. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 41, Paris, p.13-16.
- Nemcok, A.; Pasek, J.; Rybar, J. (1972) - Classification of Landslides and Other Mass Movements. *Rock Mechanics*, 4, Wien, p.71-78.

- Pierson, T.; Costa, J.E. (1987) - A rheologic classification of subaerial sediment-water flows. *Reviews in Engineering Geology*, VII, Geological Society of America, p.1-12.
- Ter-Stepanian, G. (1977) - Types of compound and complex landslides. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 16, Krefeld, p.72-74.
- UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (1993) - *Multilingual landslide glossary*. International Geotechnical Societies, Canadian Geotechnical Society, Richmond.
- Varnes, D.J. (1978) - Slope Movement Types and Processes. In Schuster, R.L.; Krizek, R.J. (Eds.), *Landslides, Analysis and Control*, Transportation Research Board Special Report, 176, Washington D.C., p.11-33.
- Zêzere, J.L. (2000) – A classificação dos movimentos de vertente. Tipologia, actividade e morfologia. *Apontamentos de Geografia*, série investigação, nº6, CEG, Lisboa.

Caracterização de movimentos de vertente

- Brunsdon, D. (1984) - Mudslides. In Brunsdon, D.; Prior, D.B. (Eds.), *Slope Instability*, John Wiley and Sons, Chichester, p.363-418.
- Erismann, T.H.; Abele, G. (2001) – *Dynamics of rockslides and rockfalls*, Springer-Verlag, Berlin.
- Gellatly, A.F.; Whalley, W.B.; Douglas, G.R. (1984) - Rockfalls in mountainous regions: establishing a rationale for effective study. *Mouvements de Terrain. Colloque de Caen, Documents du B.R.G.M.*, 83, Paris, p.101-108.
- Johnson, A.M.; Rodine, J.R. (1984) - Debris flow. In Brunsdon, D.; Prior, D.B. (Eds.), *Slope Instability*, John Wiley and Sons, Chichester, p.257-361.
- Keefer, D.K.; Johnson, A.M. (1983) - Earth flows: Morphology, mobilization, and movement. *Geological Survey Professional Paper*, 1264, Washington.
- Sauret, B. (1987) - Coulées de débris canalisées. Compte rendu bibliographique. *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées - Risques Naturels*, 150-151, Paris, p.65-77.
- Whalley, W.B. (1984) - Rockfalls. In Brunsdon, D.; Prior, D.B. (Eds.), *Slope Instability*, John Wiley and Sons, Chichester, p.217-255.

Actividade e morfologia dos movimentos de vertente

- Blong, R.J. (1973) - Relationships between morphometric attributes of landslides. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, Suppl.-Bd. 18, Berlin-Stuttgart, p.66-77.
- Crozier, M.J. (1973) - Techniques for morphometric analysis of landslips. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 17, 1, Berlin-Stuttgart, p.78-101.

- Cruden, D.M. (1980) - The anatomy of landslides. *Canadian Geotechnical Journal*, 17, 2, Ottawa, p.295-300.
- UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (1993) - A suggested method for describing the activity of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 47, Paris, p.53-57.

III – A mecânica de solos e a estabilidade das vertentes

- Craig, R.F (1992) - *Soil Mechanics*. 5th ed., Chapman & Hall, London.
- Gostelow, P. (1991) - Properties of Soils Relevant to Natural Slope Stability. In Almeida-Teixeira, M.E.; Fantechi, R.; Oliveira, R.; Gomes Coelho, A. (Eds.), *Prevention and Control of Landslides and Other Mass Movements*, Commis. European Communities, Brussels, p.37-51.
- He, D.H. (1988) - Back determination of the shear strength parameters in failed slopes. In Bonnard, C. (Ed.), *Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, Lausanne, 1988*, Vol. 1, Balkema, Rotterdam, p.661-666.
- Rouse, C.; Reading, A. (1984) - Soil mechanics and natural slope stability. In Richards, K.S.; Arnett, R.R.; Ellis, S. (Eds.), *Geomorphology and Soils*, London, p.159-179.
- Thompson, R.D.; Manning, A.M.; Mitchell, C.W.; Parry, M.; Townshend, J.R. (1986) - *Processes in Physical Geography*, Longman, London.[cap. 17 – Strength of materials and their stress-strain behaviour; cap. 18 – Sediment transport by mass movements].
- Whalley, W.B. (1976) - *Properties of Materials and Geomorphological Explanation*. Oxford University Press, Oxford.

IV - As causas dos movimentos de vertente

Factores preparatórios

- Pasuto, A., Silvano, S., Soldati, M. (1996) - Preparatory factors of landslide events, in Dikau, R., Schrott, L., Dehn, M., Hennrich, K., Ibsen, M., Rasemann, S. (Eds.), *The temporal stability and activity of landslides in Europe with respect to climatic change (TESLEC), Final Report, Part I – Summary Report*, European Commission, CEC Environmental Programme, p.43-47.
- Popescu, M. (1994) – A suggested method for reporting landslide causes. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 50, p.71-74.

- Popescu, M. (1996) – From landslide causes to landslide remediation. In Senneset (Ed.) *Landslides, Proceedings of the 7th International Symposium on Landslides*, Balkema, Rotterdam, p.75-96.
- Terzaghi, K. (1953) - *Mecanismo dos escorregamentos de terra*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, separata n°467, São Paulo.
- Van Beek, R. (2002) – Assessment of the influence of changes in land use and climate on landslide activity in a Mediterranean environment. *Nederlandse Geografische Studies*, 294, Utrecht.

Factores desencadeantes: precipitação

- Canuti, P.; Focardi, P.; Garzonio, C.A. (1985) - Correlaton between rainfall and landslides. *Bulletin International Association Engineering Geology*, 32, Paris, p.49-54.
- Capechi, F.; Focardi, P. (1988) - Rainfall and landslides: Research into a critical precipitation coefficient in an area of Italy. In Bonnard, C. (Ed.), *Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, Lausanne, 1988*, Vol. 2, Balkema, Rotterdam, p.1131-1136.
- Corominas, J. (2001) - Landslides and climate. *Keynote Lectures from the 8th International Symposium on Landslides*, n° 4, p 1–33.
- Crozier, M.J. (1999) – Prediction of rainfall-triggered landslides: a test of the antecedent water status model. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, John Wiley & Sons, p.825-833.
- D'Ecclesiis, G.; Grassi, D.; Merenda, L.; Polemio, M.; Sdao, F. (1991) - Evoluzione geomorfologica di un'area suburbana di Castronuovo S. Andrea (PZ) ed incidenza delle piogge su alcuni movimenti di massa. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, XXVI, Bari, p.141-163.
- Gostelow, P. (1991) - Rainfall and Landslides. In Almeida-Teixeira, M.E.; Fantechi, R.; Oliveira, R.; Gomes Coelho, A. (Eds.), *Prevention and Control of Landslides and Other Mass Movements*, Commis. European Communities, Brussels, p.139-161.
- Keefer, D.K.; Wilson, R.C.; Mark, R.K.; Brabb, E.E.; Brown, W.M.; Ellen, S.D.; Harp, E.L.; Wieczorek, G.F.; Alger, C.S.; Zatkan, R.S. (1987) - Real-time Landslide Warning During Heavy Rainfall. *Science*, 238, p.921-925.
- Schuster, R.; Wieczorek, G. (2002) – Landslide triggers and types. In Rybar, Stemberk & Wagner (Eds.), *Landslides*, A.A. Balkema, Lisse, p.59-78.
- Terlien, M.T. (1996) - *Modelling spatial and temporal variations in rainfall-triggered landslides*. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), pub. n°32, Enschede.

Factores desencadeantes: sismos

- Jibson, R.W.; Keefer, D.K. (1994) Analysis of the origin of landslides in the New Madrid seismic zone. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 1538-D, Washington.
- Keefer, D. (1984) – Landslides caused by earthquakes. *Geol. Soc. America Bull.*, 95, p.406-421.
- Sassa, K. (1996) – Prediction of earthquake induced landslides. In Senneset (Ed.) *Landslides, Proceedings of the 7th International Symposium on Landslides*, Balkema, Rotterdam, p.115-132.

V - Metodologias de análise dos movimentos de vertente**Cartografia geomorfológica de grande escala**

- AIGI (1976) – *Guide pour la préparation des cartes géotechniques*. Les Presses de l'UNESCO, Paris.
- Demek, J. (Ed.) (1972) – *Manual of Detailed Geomorphological Mapping*. Academia, Praga.
- Dramis, F.; Bisci, C. (1998) – *Cartografia Geomorfológica. Manuale di introduzione al rilevamento ed alla rappresentazione degli aspetti fisici del territorio*. Il Sistema Terra, Pitagora Editrice Bologna.
- Embleton, C. (Ed.) (1988) – *Applied geomorphological mapping: methodology by example. Zeitschrift fur Geomorphologie, Supplementband 68*, Berlin – Stuttgart.
- Griffiths, J.S. (2002) – *Mapping in Engineering Geology*. Key Issues in Earth Sciences, Vol. 1, Geological Society Publishing House, Bath.
- Joly, F. (1997) – *Glossaire de géomorphologie. Base de données sémiologiques pour la cartographie*. Armand Colin, Paris.
- Klimaszewski, M (1988) – On constructing Detailed Geomorphological Maps. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 32 (4), Berlin – Stuttgart, p.457-470.
- Noverraz, F. (1984) - Cartographie des glissements de terrain. Méthode de levé; objectif et fonction des cartes d'instabilité. *Mouvements de Terrain. Colloque de Caen, Documents du B.R.G.M.*, 83, Paris, p.217-223.
- Panizza, M. (1972) – Schema di Legenda per Carte Geomorphologiche di Dittaglio. *Boll. Soc. Geol. It.*, 91 (2) p.207-237.
- Panizza, M.; Piacente, S. (1978) - Messa a punto concettuale per la realizzazione di una cartografia applicata alla "stabilità del territorio". *Geog. Fis. Dinam. Quat.*, I, p.25-27.

- Tricart, J. (1972) – Normes pour l'établissement de la Carte Géomorphologique Détaillée de la France (1:20 000, 1:25 000, 1:50 000). *Cartographie Géomorphologique. Travaux de la RCP 77, Mémoires et Documents*, N.S., 12, CNRS, Paris, p.37-105.
- Zêzere, J.L.; Rodrigues, M.L. (1993) – A aplicação da cartografia geomorfológica de grande escala no ordenamento e gestão do território (um exemplo no Maciço Calcário Estremenho). *Estudos de Geografia Física e Ambiente*, LAGF, CEG, Rel. N°32, p.29-45.

Identificação e classificação de movimentos de vertente no terreno

- Blake, T.F.; Hollingsworth, R.A. ; Stewart, J.P. (2002) - *Recommended Procedures for Implementation of DMG Special Publication 117 Guidelines for Analyzing and Mitigating Landslide Hazards in California*. Southern California Earthquake Center.
- Crozier, M.J. (1984) - Field assessment of slope instability. In Brunsden, D.; Prior, D.B. (Eds.), *Slope Instability*, John Wiley and Sons, Chichester, p.103-142.
- Gardiner, V.; Dackombe, R. (1983) - *Geomorphological Field Manual*. Londres.
- Stapledon, D. (1995) – Keynote paper: Geological modelling in landslide investigation. In Bell (Ed.), *Landslides*, Balkema, Rotterdam, p.1499-1523.

Inventariação de movimentos de vertente

- Amanti, M.; Casagli, N.; Catani, F.; D'Orefice, M.; Motteran, G. (1996) – *Guida al Censimento dei Fenomeni Franosi ed alla loro Archiviazione*. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- Carrara, A.; Pugliese Carrateli; Merenda, L. (1977) - Computer-based data bank and statistical analysis of slope instability phenomena. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 21, 2, Berlin-Stuttgart, p.187-222.
- Carrara, A.; Sorriso-Valvo, M.; Reali, C. (1982) - Analysis of landslide form and incidence by statistical techniques, Southern Italy. *Catena*, 9, Braunschweig, p.35-62.
- Dikau, R.; Cavallin, A.; Jager, S. (1994) - Databases and GIS for landslide research in Europe. In Casale, R.; Fantechi, R.; Flageollet, J.C. (Eds.), *Temporal Occurrence and Forecasting of Landslides in the European Community*. Final Report, vol.I. European Commission, Science Research Development, Programme Epoch, Contract 90 0025, p.96-116.
- Jibson, R.W.; Keefer, D.K. (1989) - Statistical analysis of factors affecting landslide distribution in the New Madrid seismic zone, Tennessee and Kentucky. *Engineering Geology*, 27, Amsterdam, p.509-542.
- Surdeanu, V. (1986) - Landslides and their role in reservoir silting. In Slaymaker, O.; Balteanu, D. (Eds.), *Geomorphology and Land Management, Zeitschrift fur Geomorphologie*, Suppl.-Bd. 58, Berlin-Stuttgart, p.165-171.

- UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (1990) - A suggested method for reporting a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 41, Paris, p.5-12.
- UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (1991) - A suggested method for a landslide summary. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, Paris, p.101-110.

Modelos físicos de avaliação da estabilidade das vertentes

- Graham, J. (1984) - Methods of stability analysis. In Brunsden, D.; Prior, D.B. (Eds.), *Slope Instability*, John Wiley and Sons, Chichester, p.171-215.
- Greco, V.R. (1991) - Back-analysis procedure for failed slopes. In Bell (Ed.), *Landslides*, Balkema, Rotterdam, p.435-440.
- Kenney, C. (1984) - Properties and behaviours of soils relevant to slope instability. In Brunsden, D.; Prior, D.B. (Eds.), *Slope Instability*, John Wiley and Sons, Chichester, p.27-65.
- Nash, D. (1987) - A comparative review of limit equilibrium methods of stability analysis. In Anderson, M.G.; Richards, K.S. (Eds.), *Slope Stability*, John Wiley and Sons, Chichester, p.11-75.
- Sauer, E.K.; Fredlund, D.G. (1988) - Effective stress, limit equilibrium back-analysis of failed slopes: Guidelines. In Bonnard, C. (Ed.), *Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, Lausanne, 1988*, Vol. 1, Balkema, Rotterdam, p.763-770.
- Van Asch, T. (1984) - Landslides: The deduction of strength parameters of materials from equilibrium analysis. *Catena*, 11, Braunschweig, p.39-49.

VI - A avaliação de riscos geomorfológicos

Conceitos, terminologia e aspectos metodológicos

- Alexander, D. (2000) – *Confronting Catastrophe*. Terra Publishing, Harpenden, Hertfordshire.
- Beer, T.; Ismail-Zadeh (Eds.) (2003) – *Risk Science and Sustainability*. NATO Science Series, II. Mathematics, Physics and Chemistry, Vol.112, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Einstein, H.H. (1988) - Special lecture: Landslide risk assessment procedure. In Bonnard, C. (Ed.), *Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, Lausanne, 1988*, Vol. 2, Balkema, Rotterdam, p.1075-1090.

- Dauphiné, A. (2003) – *Risques et catastrophes. Observer, spatialiser, comprendre, gérer*. Armand Colin, Paris.
- Faugères, L. (1990) - Géographie physique et risques naturels. *Bull. Assoc. Géog. Franç.*, 2, Paris, p.89-98.
- García-Tornel, F.C. (1984) - La Geografía de los riesgos. *Geo-crítica*, 54, Barcelona, p.7-39.
- Haigh, M.J. (1988) - Dynamic systems approaches in landslide hazard research. In Scheidegger, A.E.; Haigh, M.J. (Eds.), *Dynamic system approach to natural hazards, Zeitschrift für Geomorphologie*, Suppl.-Bd. 67, Berlin-Stuttgart, p.79-91.
- Hansen, A. (1984) - Landslide hazard analysis. In Brunsten, D.; Prior, D.B. (Eds.), *Slope Instability*, John Wiley & Sons, Chichester, p. 523-602.
- Hewitt, K. (1997) – *Regions of Risk. A Geographical Introduction to Disasters*. Themes in Resource Management, Longman, Singapore.
- Moriniaux, V. (coord.) (2003) – *Les Risques*. Questions de Géographie, Editions du Temps, Nantes.
- Rebelo, F. (2003) – *Riscos Naturais e Acção Antrópica. Estudos e reflexões*. 2ª edição revista e aumentada, Imprensa da Universidade, Coimbra.
- Reed, S.B. (1997) – *Introduction to Hazards*. 3rd Edition, Disaster Management Training Programme, UNDP, DHA.
- Wisner, B.; Blaikie, P.; Cannon, T.; Davis, I. (2004) – *At Risk. Natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Second Edition, Routledge, Taylor & Francis Group, London.

Avaliação da susceptibilidade geomorfológica

- Baeza, C.; Corominas, J. (2001) - Assessment of Shallow Landslide Susceptibility by means of Multivariate Statistical Techniques. *Earth Surf. Process. Landforms*, 26, p. 1251–1263.
- Avias, J. (1984) - Sur la méthodologie de prévision et de prévention des risques liés aux mouvements de terrain d'origine principalement hydrique. *Mouvements de Terrain. Colloque de Caen, Documents du B.R.G.M.*, 83, Paris, p.299-307.
- Chung, C.-J.; Fabbri, A. (2003) – Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. *Natural Hazards*, 30, Kluwer Academic Publishers, p.451-472.
- Corominas, J. (1993) - Spatial prediction of landslides. In Nemeč, J.; Nigg, J.M.; Siccardi, F. (Eds.), *Prediction and Perception of Natural Hazards*. Advances in Natural and Technological Hazards Research, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p.125-132.
- Soeters; R.; Van Westen, C.J. (1996) - Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation. In Turner, A.K.; Schuster, R.L. (Eds.), *Landslides. Investigation*

and Mitigation. Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., p.129-177.

Van Westen, C.; Rengers, N.; Soeters, R. (2003) – Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assessment. *Natural Hazards*, 30, Kluwer Academic Publishers, p.399-419.

Avaliação da perigosidade geomorfológica

Aleotti, P.; Chowdhury, R. (1999) - Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bull. Eng. Geol. Env*, 58, p. 21-44.

Bonnard, Ch. (1984) - Risques d'instabilité - Approche pluridisciplinaire dans la detection des glissements de terrain. *Mouvements de Terrain. Colloque de Caen, Documents du B.R.G.M.*, 83, Paris, p.309-316.

Carrara, A.; Cardinali, M.; Guzzetti, F.; Reichenbach, P. (1995) - GIS technology in mapping landslide hazard. In Carrara, A.; Guzzetti, F. (Eds.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, Kluwer Academic Publishers, p. 135-175.

Carrara, A.; Guzzetti, F.; Cardinali, M.; Reichenbach, P. (1998) - Current limitations in modeling landslide hazard. In Buccianti, A.; Nardi, G; Potenza, R. (Eds.), *Proceedings of IAMG'98*, p. 195-203.

Chung, C.F.; Fabbri, A. (no prelo) - Systematic procedures of landslide-hazard mapping for risk assessment using spatial prediction models. In Glade, T.; Anderson, M.G.; Crozier, M.J. (Eds.) *Landslide Hazard and Risk*, John Wiley & Sons Ltd., London.

Crozier, M.J. (1995) - Landslide hazard assessment, theme report. In Bell (Ed.), *Landslides, Proceedings of the 6th International Symposium on Landslides*, Balkema, Rotterdam, p. 1843-1848.

Gueremy, P. (1984) - Rapport de présentation - Section II - Cartographie des risques de mouvements de terrain et cartographies intégrées des risques naturels. *Mouvements de Terrain. Colloque de Caen, Documents du B.R.G.M.*, 83, Paris, p.123-129.

Guzzetti, F; Carrara, A.; Cardinali, M.; Reichenbach, P. (1999), Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, Elsevier, p. 181-216.

Hartlén, J.; Viberg, L. (1988) - General report: Evaluation of landslide hazard. In Bonnard, C. (Ed.), *Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, Lausanne, 1988*, Vol. 2, Balkema, Rotterdam, p.1037-1057.

Hutchinson, J.N. (1995) - Landslide hazard assessment, keynote paper. In Bell (Ed.), *Landslides, Proceedings of the 6th International Symposium on Landslides*, Balkema, Rotterdam, p. 1805-1841.

- Kienholz, H. (1984) - Landslide Hazard Assessment for Landslide Zonation. *Mouvements de Terrain. Colloque de Caen, Documents du B.R.G.M.*, 83, Paris, p.317-326.
- Mulder, H. (1991) - Assesment of landslide hazard. *Nederlandse Geografische Studies*, 124, Amsterdam/ Utrecht.
- Mulder, H.; Van Asch, T. (1987) - Quantitative approches in landslide hazard analysis. *Travaux de l'Institute de Géographie de Reims*, 69-70-71-72, Reims, p.43-53.
- Ribes, G.C. (1987) - La cartographie des mouvements de terrain. Des ZERMOS aux PER. *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées - Risques Natures*, 150-151, Paris, p.9-19.
- Robison, R.M.; Lowe, M. (1993) Landslide hazards: A guide for land-use planning, Davis County, Utah. In Gori, P.L. (Ed.), *Applications of Research from the U.S. Geological Survey Program, Assessment of Regional Earthquake Hazards and Risk along the Wasatch Front, Utah. U.S. Geological Survey Professional Paper*, 1519, Washington, p.129-137.
- Rodrigues, M.L.; Zêzere, J.L.; Machado, C.R. (1993) – A aplicação de metodologias na avaliação de riscos naturais (um exemplo na Região a Norte de Lisboa). *Estudos de Geografia Física e Ambiente, LAGF, CEG, Rel. nº 32*, p.11-28.
- Sorriso-Valvo, M. (2002) – Landslides: from inventory to risk. In Rybar, Stemberk & Wagner (Eds.), *Landslides*, A.A. Balkema, Lisse, p.79-93.
- Van Westen, C.J. (1993) - *Application of Geographical Information Systems to Landslide Hazard Zonation*. I.T.C., Enschede.
- Wu, Y.; Yin, K.; Liu, Y. (2000) - Information analysis system for landslide hazard zonation. In Bromhead, E.; Dixon, N.; Ibsen, M.-L. (Eds.), *Landslides in Research, Theory and Practice*, vol. 3, Thomas Telford, London, p. 1593-1598.
- Yan, T.Z. (1988) - Recent advances of quantitative prognoses of landslide in China. In Bonnard, C. (Ed.), *Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, Lausanne, 1988, Vol. 2, Balkema, Rotterdam, p. 1263-1268.
- Zêzere, J.L. (2002) - Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 2, 1/2, European Geophysical Society, p. 73-82.

Avaliação da vulnerabilidade e do risco

- Asté, J.-P. (1991) - Landslide Hazard Analysis - Landslide Risk Mapping. In Almeida-Teixeira, M.E.; Fantechi, R.; Oliveira, R.; Gomes Coelho, A. (Eds.), *Prevention and Control of Landslides and Other Mass Movements*, Commis. European Communities, Brussels, p. 165-170.

- Australian Geomechanics Society Sub-Committee on Landslide Risk Management (2000) - Landslide Risk Management Concepts and Guidelines. *Australian Geomechanics*, vol. 35, 1, p. 49-92.
- Bull, R. (1994) – *Disaster Economics*. 2nd Edition. Disaster Management Training Programme, UNDP, DHA.
- Calow, P (Ed.) (1998) – *Handbook of Environmental Risk Assessment and Management*. Blackwell Science, Oxford.
- Canuti, P.; Casagli, N. (1994) – *Considerazioni sulla Valutazione del Rischio di Frana*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Linea 2 Previsione e Prevenzione di Eventi Franosi a Grande Rischio.
- Cardinali, M.; Reichenback, P.; Guzzetti, F.; Ardizzone, F.; Antonini, F.; Galli, M.; Cacciano, M.; Castellani, M.; Salvati, P. (2002) – A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 2, 1/2, European Geophysical Society, p.57-72.
- Chowdhury, R.N. (1988) - Special lecture: Analysis methods for assessing landslide risk - Recent developments. In Bonnard, C. (Ed.), *Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, Lausanne, 1988*, Vol. 1, Balkema, Rotterdam, p.515-524.
- Coburn, A.W.; Spence, R.J.; Pomonis, A. (1994) – *Disaster Mitigation*. 2nd Edition, Disaster Management Training Programme, UNDP, DHA.
- Coburn, A.W.; Spence, R.J.; Pomonis, A. (1994) – *Vulnerability and Risk Assessment*. 2nd Edition, Disaster Management Training Programme, UNDP, DHA.
- 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, Universidade de Lisboa.
- Glade, T. (2003) – Vulnerability Assessment in Landslide Risk Analysis. *Die Erde*, 134, 2, p.123-146.
- Léone, F. (1996) – *Concept de vulnérabilité appliqué a l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain*. Documents du BRGM 250, Editions BRGM, Orléans.
- Léone, F.; Asté, J.-P.; Velasquez, E. (1995) – Contribution des constats d'endommagement au développement d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité appliquée aux phénomènes de mouvements de terrain. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 1995-4, p.351-371.
- Léone, F.; Asté, J.-P.; Leroi, E. (1996) – Vulnerability assessment of elements exposed to mass-movement : Working towards a better risk preception. In Senneset (Ed.) *Landslides, Proceedings of the 7th International Symposium on Landslides*, Balkema, Rotterdam, p.263-270.
- Leroi, E. (1996) - Landslide hazard - risk maps at different scales: objectives, tools and developments. In Senneset (Ed.) *Landslides, Proceedings of the 7th International Symposium on Landslides*, Balkema, Rotterdam, p. 35-51.

- Mejía-Navarro, M.; Garcia, L. (1996) – Natural Hazard and Risk Assessment Using Decision Support Systems, Application: Glenwood Springs, Colorado. *Environmental & Engineering Geoscience*, Vol. II, nº 3, p.299-324.
- Stephenson, R. (1994) – *Disasters and Development*. 2nd Edition. Disaster Management Training Programme, UNDP, DHA.
- Velasquez, E.; Asté, J.-P.; Leone, F. (1995) – Réflexion sur les besoins de communication entre les divers intervenants dans la prévention de risques générés par les mouvements de terrain. Les apports des scenarii de risque. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 1995-4, p.372-386.

Gestão do risco geomorfológico

- Asté, J.-P. (1991) - Landslide Mitigation: Land Use Legislation and Construction Practices. The French Experience. In Almeida-Teixeira, M.E.; Fantechi, R.; Oliveira, R.; Gomes Coelho, A. (Eds.), *Prevention and Control of Landslides and Other Mass Movements*, Commis. European Communities, Brussels, p.171-178.
- Brook, D. (1992) - Policy in response to geohazards: lessons from the developed world? In Mc Call, G.J.; Laming, D.J.; Scott, S.C. (Eds.), *Geohazards. Natural and Man-made*, Chapman and Hall, London, p.197-208.
- Hervás, J. (Ed.) (2003) – *Lessons Learnt from Landslide Disasters in Europe*. Nadies Project, Report EUR 20558 EN, European Commission, Joint Research Centre, Ispra.
- Hutchinson, J.N. (1977) - Assessment of the effectiveness of corrective measures in relation to geological conditions and types of slope movement. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 16, Krefeld, p.131-155.
- ISDR (2003) – *Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives*. United Nations, Geneva.
- Romana, M. (1991) - Correction Methods for Soil Instability in Natural Slopes. In Almeida-Teixeira, M.E.; Fantechi, R.; Oliveira, R.; Gomes Coelho, A. (Eds.), *Prevention and Control of Landslides and Other Mass Movements*, Commis. European Communities, Brussels, p.181-201.
- Salt, G. (1988) - Landslide mobility and remedial measures. In Bonnard, C. (Ed.), *Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, Lausanne, 1988*, Vol. 1, Balkema, Rotterdam, p.757-762.
- Schuster, R. (1995) – Keynote paper: Recent advances in slope stabilization. In Bell (Ed.), *Landslides*, Balkema, Rotterdam, p.1715-1745.
- Spiker, E.C.; Gori, P.L. (2003) – *National Landslide Hazards Mitigation Strategy – A Framework for Loss Reduction*. Circular 1244, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- White, G.F. (1979) - Natural hazards policy and research issues. In Heathcote, R.L.; Thom, B.G. (Eds.), *Natural Hazards in Australia*, Canberra, p.15-22.

VII - Dinâmica de vertentes e perigosidade geomorfológica na Região a Norte de Lisboa (Trabalho Prático)

- Amaral, I. (1968) - As inundações de 25-26 de Novembro de 1967 na Região de Lisboa. *Finisterra*, III, 5, Lisboa, p.79-84.
- Coelho, A.G. (1979) - Análise cartográfica de estabilidade de taludes para o planeamento urbano. *Geotecnia*, 26, Lisboa, p.75-89.
- Costa, P.C. (1986) - As Cheias Rápidas de 1967 e 1983 na Região de Lisboa. *Estudos em Homenagem a Mariano Feio*, Lisboa, p.601-616.
- Ferreira, A.B. (1984) - Mouvements de terrain dans la Région au Nord de Lisbonne. Conditions morphostructurales et climatiques. *Mouvements de Terrain. Colloque de Caen, Documents du B.R.G.M.*, 83, Paris, p.485-494.
- Ferreira, A.B.; Zêzere, J.L.; Rodrigues, M.L. (1987) - Instabilité des versants dans la région au Nord de Lisbonne. Essai de cartographie géomorphologique. *Finisterra*, XXII, 43, Lisboa: 227-246.
- Ferreira, A.B.; Zêzere, J.L.; Rodrigues, M.L. (1996) - The Calhandriz landslide (Metropolitan area of Lisbon). In Chacon, J.; Irigaray, C.; Fernández, T. (Eds.), *Landslides*, Balkema, Rotterdam, p. 31-38.
- Knapic, D. (1955) - *As costeiras de Lisboa. Elementos para o estudo morfológico da região de Lisboa*. Dissertação de licenciatura em Geografia, Universidade de Lisboa.
- Machado, M.J. (1991) - *Contribuição para o estudo da bacia-vertente do Rio Grande da Pipa*. Univ. de Lisboa.
- Rodrigues, L.F.; Coelho, A.G. (1989) - Landslides in Portugal - Extent and economic significance. In Brabb & Harrod (Eds.), *Landslides: Extent and Economic Significance*, Balkema, Rotterdam, p.179-189.
- Roxo, M. J. (1985) - *Processos actuais de evolução de vertentes (costeira de Lousa-Bucelas)*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Regional, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Sobrinho, A.S. (1980) - Os temporais de Fevereiro de 1979 no Ribatejo e na região de Lisboa. *Finisterra*, XV, 29, Lisboa, p.85-93.
- Zêzere, J.L. (1988) - *As costeiras a Norte de Lisboa. Dinâmica de vertentes e cartografia geomorfológica*. Dissert. Mest. Geog. Física e Regional, Universidade de Lisboa.
- Zêzere, J.L. (1991) - As costeiras a Norte de Lisboa: evolução quaternária e dinâmica actual das vertentes. *Finisterra*, XXVI, 51, Lisboa, p.27-56.
- Zêzere, J.L. (1996) - Landslides in the North of Lisbon Region. In Ferreira, A.B; Vieira, G. (Eds.), *Fifth European Intensive Course on Applied Geomorphology. Mediterranean and Urban Areas*. Universidade de Lisboa, p.79-89.

- Zêzere, J.L. (1996) - Mass movements and geomorphological hazard assessment in the Trancão valley, between Bucelas and Tojal. In Ferreira, A.B; Vieira, G. (Eds.), *Fifth European Intensive Course on Applied Geomorphology. Mediterranean and Urban Areas*. Universidade de Lisboa, p.101-105.
- Zêzere, J.L. (1996) - Mass movements in Fanhões area. In Ferreira, A.B; Vieira, G. (Eds.), *Fifth European Intensive Course on Applied Geomorphology. Mediterranean and Urban Areas*. Universidade de Lisboa, p. 95-99.
- Zêzere, J.L. (1996) - The multiple retrogressive slide of Casal Novo do Brejo. Back analysis of slope stability conditions. In Ferreira, A.B; Vieira, G. (Eds.), *Fifth European Intensive Course on Applied Geomorphology. Mediterranean and Urban Areas*. Universidade de Lisboa, p.115-119.
- Zêzere, J.L. (1996) - The Quinta da Boavista landslide. An example of mass movement in an ill-consolidated fill. In Ferreira, A.B; Vieira, G. (Eds.), *Fifth European Intensive Course on Applied Geomorphology. Mediterranean and Urban Areas*. Universidade de Lisboa, p.91-93.
- Zêzere, J.L. (1997) - *Movimentos de vertente e perigosidade geomorfológica na Região a Norte de Lisboa*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física, Universidade de Lisboa.
- Zêzere, J.L. (2000) - Rainfall triggering of landslides in the Area North of Lisbon. In Bromhead, E.; Dixon, N.; Ibsen, M.-L. (Eds.), *Landslides in Research, Theory and Practice*, vol. 3, Thomas Telford, London, p. 1629-1634.
- Zêzere, J.L. (2001) - *Distribuição e ritmo dos movimentos de vertente na Região a Norte de Lisboa*. C.E.G., Área de Geografia Física e Ambiente, Rel. 38, Lisboa.
- Zêzere, J.L.; Ferreira, A.B.; Rodrigues, M.L. (1999a) - Landslides in the North of Lisbon Region (Portugal): Conditioning and Triggering factors. *Physics and Chemistry of the Earth (Part A)*, 24, 10, p. 925-934.
- Zêzere, J.L.; Ferreira, A.B.; Rodrigues, M.L. (1999b) - The role of conditioning and triggering factors in the occurrence of landslides: a case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Geomorphology*, 30, 1-2, Elsevier, p. 133-146.
- Zêzere, J.L.; Rodrigues, M.L. (2002) - Rainfall Thresholds for Landsliding in Lisbon Area (Portugal). In Rybar, Stemberk & Wagner (Eds.), *Landslides*, A.A. Balkema, Lisse, p. 333-338.
- Zêzere, J.L.; Reis, E.; Garcia, R.; Oliveira, S.; Rodrigues, M.L.; Vieira, G.; Ferreira, A.B. (2004) - Integration of spatial and temporal data for the definition of different landslide hazard scenarios in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 4, European Geosciences Union, p.133-146.

D. Sites na Internet

250 links a páginas dedicadas a movimentos de vertente	http://www.mysteries-megasite.com/main/bigsearch/landslides.html
---	---

Instituições

CERG - Centre Européen sur les Risques Géomorphologiques	http://cerg.u-strasbg.fr/site/cerg_eng/cerg/intro/index.html
Gruppo Nazionale pel la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche	http://www.gndci.pg.cnr.it/welcome_en.htm
International Association of Geomorphologists	http://www.geomorph.org/
International Consortium on Landslides (ICL)	http://icl.dpri.kyoto-u.ac.jp/
International Landslide Research Group	http://ilrg.gndci.cnr.it/
International Strategy for Disaster Reduction	http://www.unisdr.org/
United Nations Development Programme	http://www.undp.org/
United Nations Disaster Management Training Programme	http://undmtp.org/

Movimentos de Vertente

American Planning Association	http://www.planning.org/landslides/docs/whatare.html
Canada Landslide Project	http://landslides.nrcan.gc.ca/landslides_t1/index_e.aspx
Earth Observatory, NASA	http://earthobservatory.nasa.gov/Study/Landslide/
Earth Science Australia	http://earthsci.org/geopro/massmov/massmov.html
Environment Waikato, Regional Council	http://www.ew.govt.nz/enviroinfo/hazards/naturalhazards/landslide/
Idaho State University, Department of Geosciences	http://wapi.isu.edu/EnvGeo/EG4_mass_wasting/landslide2.html
Italian Landslide Photos	http://www.geocities.com/rainforest/8211/
Landslides in Japan, The Japan Landslide Society	http://www.tuat.ac.jp/~sabo/lj/

Energy and Mines, British Columbia	http://www.em.gov.bc.ca/Mining/Geosurv/Surficial/landslide/default.htm
Movimento de vertente de Anaheim	http://anaheim-landslide.com
State of Alabama Geological Survey	http://www.gsa.state.al.us/gsa/landslides.html
The Landslide Slide Show at Kingston University (E. Bromhead)	http://www.kingston.ac.uk/~ku00323/landslide/slides.htm
United States Geological Survey	http://landslides.usgs.gov/
United States Search and Rescue Task Force	http://www.ussartf.org/landslides.htm

Perigosidade e Risco Geomorfológico

Australian Geomechanics Society	http://www.australiangeomechanics.org/
California Geological Survey	http://www.consrv.ca.gov/cgs/geologic_hazards/landslides/
Federal Emergency Management Agency	http://www.fema.gov/hazards/landslides/
Geology, Oxford Brookes University	http://www.brookes.ac.uk/geology/8307/landslide.html
Geoscience Australia, Australian Government	http://www.ga.gov.au/urban/factsheets/risk_modelling.jsp
GIS- Based Techniques for Mapping Landslide Hazard	http://deis158.deis.unibo.it/gis/chapt0.htm
OFDA/CRED International Disasters Data Base	http://www.em-dat.net/
Peninsula Emergency Preparedness Committee	http://www.pep-c.org/landslides/
Puget Sound Landslides, Washington State Department of Ecology	http://www.ecy.wa.gov/programs/sea/landslides/
The Oregon Department of Geology and Mineral Industries	http://www.oregongeology.com/Landslide/Landslidehome.htm
Utah Geological Survey	http://geology.utah.gov/utahgeo/hazards/landslide/