

CARLOS VALDIR de MENESES BATEIRA

**MOVIMENTOS DE VERTENTE NO NW DE PORTUGAL,
SUSCEPTIBILIDADE GEOMORFOLÓGICA E
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.**

Dissertação de Doutoramento em
Geografia Física, apresentada na
Faculdade de Letras da Universidade
do Porto

Trabalho financiado por PRODEP

Porto
2001

Resumo

Desde a antiguidade que os sistemas de informação têm muita importância para a organização das sociedades e para a gestão do território. Na segunda metade do século XX generalizaram-se os registos (bases de dados e gráficas) e desenvolveram-se os diversos suportes em que a informação é registada, organizada e objecto de consulta ou tratamento. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitiram alargar as capacidades de registo e as funcionalidades disponíveis para o tratamento da informação.

Neste trabalho utilizou-se este tipo de tecnologia na elaboração da cartografia da susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente. Nele discute-se o conjunto de problemas que resultam da elaboração e da utilização da cartografia relacionada com o meio físico em ambiente SIG, nomeadamente a cartografia geomorfológica e a cartografia dos declives produzida automaticamente.

O trabalho desenvolveu-se tendo por referência geográfica o NW de Portugal em dois aspectos de base. Em primeiro lugar, o estudo e a definição das condições geográficas de ocorrência de movimentos de vertente foi desenvolvido nesta área. Em segundo lugar, a elaboração da cartografia da susceptibilidade geomorfológica na área de Guimarães. Devido a estes aspectos procedeu-se, previamente, ao seu enquadramento geomorfológico.

O primeiro aspecto ajuda a definir quais as variáveis do meio físico que são determinantes para a ocorrência de movimentos de vertente, o que permitiu seleccionar a informação que serviu de base à construção do SIG da susceptibilidade geomorfológica. Para isso desenvolveu-se o estudo de vários movimentos de vertente ocorridos no NW de Portugal e sistematizaram-se o conjunto de condições geográficas em que ocorreram esses movimentos.

O segundo aspecto permitiu concretizar numa área amostra do NW de Portugal (área de Guimarães) a construção da cartografia da susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente, discutindo os problemas derivados da utilização da cartografia indirecta elaborada com recurso a Sistemas de Informação Geográfica. De igual forma, ensaiou-se uma cartografia das restrições ao uso do território.

Abstract

Since the Antiquity, Information Systems (IS) are of the utmost importance in the organization of societies and territorial management. During the second half of the 20th century the use of databases and graphic representations became more frequent, and several types of supports were developed on which Information was recorded and organized, consulted and handled. Geographical Information Systems (GIS) allowed that registration capacities be enlarged and increased the number of functions available for the treatment of information.

The present work made use of this technology in the production of the cartography of the geomorphologic susceptibility to hillslope movements. This paper will discuss a numbers of problems resulting from the production and use of cartography of physical environment in GIS, namely geomorphologic cartography and the automatic slope cartography.

The main geographic reference of this research is NW of Portugal and focuses two basic aspects. Firstly, the study and definition of geographic conditions leading to the occurrence of hillslope movements was developed in this area. Secondly, the case study on the cartography of geomorphological susceptibility to hillslope movements was developed in Guimarães area. A geomorphological description was previously carried out in order to duly frame these aspects.

The first aspect allowed us to define the geographic variables that determine the occurrence of hillslope movements. Consequently, a selection of the relevant GIS input information was carried out. The data collect was based on a study of several hillslope movements occurring in NW Portugal, from which we are able to systematically establish the geographic conditions in which they took place.

The Guimarães area served a sample area in NW Portugal to construct the cartography of geomorphologic susceptibility to hillslope movements. This reveled several problems, discussed in this paper, related with the use of indirect cartography made in GIS environment. Furthermore, experimental cartography was made of restrictions on the use of the territory.

Résumé

Depuis l'Antiquité, les systèmes d'information ont été très utiles dans l'organisation et la gestion du territoire. Surtout dans la deuxième moitié du XX siècle, on a généralisé l'utilisation de divers types de bases de données et de bases graphiques sur plusieurs types de supports, ce qui a permis une organisation et un traitement plus facile de l'information. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) en support digital élargissent les fonctions disponibles pour l'usage de l'information.

Ce travail utilise ce type de technologie dans l'élaboration de la cartographie de la susceptibilité géomorphologique aux mouvements de terrains. On discute l'ensemble des problèmes concernant de l'élaboration et l'utilisation de la cartographie du milieu physique en SIG, surtout si on travaille avec la cartographie géomorphologique et la cartographie automatique des pentes.

La référence géographique principale de ce travail est le NW du Portugal. D'une part, l'étude et la définition des conditions géographiques de l'existence des mouvements de terrains se fait dans cette partie du Portugal avec l'étude de plusieurs exemples. D'autre part, la cartographie de la susceptibilité géomorphologique aux mouvements de terrains a été esquissée dans l'aire de Guimarães. Ces deux aspects sont les raisons qui justifient la réalisation d'une caractérisation géomorphologique du NW du Portugal.

Le premier aspect a permis la définition de l'information sur le milieu physique, qui est importante pour l'occurrence des mouvements de terrains. C'est essentiel pour choisir l'information qui doit servir de base aux SIG. Pour accomplir cet objectif, on a étudié plusieurs mouvements de terrain au NW du Portugal et on a systématisé l'ensemble des conditions géographiques de leurs occurrences.

Le deuxième aspect essaie de matérialiser dans une aire du NW du Portugal (Guimarães) la construction de la cartographie de la susceptibilité géomorphologique aux mouvements de terrains, ce qui met en discussion les problèmes de l'utilisation de la cartographie indirecte, qui a été élaborée par le SIG.

ÍNDICE GERAL

<i>Introdução</i>	9
<i>Objectivos e Metodologia</i>	13
<i>Agradecimentos</i>	17
Parte A - Os Sistemas de Informação Geográfica e a cartografia dos riscos naturais.	21
Capítulo A1 - Considerações gerais, breve história e definição de Sistema de Informação Geográfica.	23
1. <i>Considerações gerais.</i>	23
2. <i>Breve história.</i>	24
3. <i>O que é um SIG?</i>	29
4. <i>A componente tecnológica.</i>	31
5. <i>A componente informativa.</i>	32
6. <i>A componente analítica.</i>	33
Capítulo A2 - Cartografia automática e cartografia do meio físico.	37
1. <i>A cartografia dos declives como suporte ao planeamento físico e ordenamento de território.</i>	37
2. <i>Métodos de elaboração das cartas de declives.</i>	38
2.1. <i>Métodos manuais, com base em suporte analógico.</i>	38
2.2. <i>Cartografia automática dos declives e modelos digitais de elevação (DEM).</i>	44
2.3. <i>Síntese.</i>	49
3. <i>Questões suscitadas pela análise de alguns exemplos de mapas de declives feitos automaticamente.</i>	49
3.1. <i>A utilização de diferentes escalas com a mesma informação. O problema da digitalização.</i>	50
3.2. <i>A utilização de diferentes escalas com informação diferente.</i>	54
3.3. <i>Diferentes metodologias do cálculo dos declives em SIG: os modelos GRID e TIN.</i>	56
4. <i>Síntese e conclusões.</i>	59
Capítulo A3 – Os Sistemas de Informação Geográfica e a cartografia geomorfológica.	63
1. <i>Considerações gerais.</i>	63

2. <i>As entradas em SIG – os elementos gráficos.</i>	67
3. <i>As entradas em SIG – dados não espaciais.</i>	69
4. <i>Funcionalidade em SIG.</i>	70
5. <i>Cartografia geomorfológica e entidades gráficas em SIG. Os símbolos das legendas geomorfológicas e as bases de dados relacionais.</i>	76

Parte B - Caracterização regional do NW de Portugal e da área experimental (Guimarães). **83**

Capítulo B1 – Caracterização estrutural do NW Português. **85**

1. <i>Características estruturais da Zona Centro Ibérica.</i>	85
2. <i>As diversas fases tectónicas na Zona Centro Ibérica e a instalação dos granitóides</i>	91
3. <i>Principais granitóides da Zona Centro Ibérica no Norte de Portugal.</i>	93
3.1. <i>Sin-orogénicos biotíticos Sin F3.</i>	93
3.2. <i>Sin-orogénicos biotíticos tardi F3.</i>	94
3.3. <i>Sin-orogénicos biotíticos tardi a pós F3.</i>	94
3.4. <i>Sin-orogénicos de duas micas sin a tardi F3.</i>	94
3.5. <i>Tardi a pós-orogénicos.</i>	95
4. <i>Os granitóides da área de Guimarães</i>	95
4.1. <i>Características mineralógicas</i>	96
4.2. <i>Composição química dos granitóides</i>	99
4.3. <i>Textura</i>	101
5. <i>Principais características da alteração dos granitóides</i>	102
6. <i>O papel da textura e da fracturação.</i>	109
7. <i>Conclusão</i>	111

Capítulo B2 - Caracterização geomorfológica do NW português. **113**

1. <i>Aspectos morfológicos.</i>	113
2. <i>A rede hidrográfica e a fracturação.</i>	116
3. <i>O papel da tectónica no relevo do NW.</i>	118
4. <i>Importância das oscilações climáticas na morfologia do NW português.</i>	122
5. <i>Considerações gerais sobre a evolução geomorfológica do NW e a dinâmica actual das vertentes.</i>	125

Capítulo B3 - Características da área experimental: Área de Guimarães.	129
1. <i>A estrutura.</i>	131
1.1. <i>Litologia.</i>	131
1.2. <i>Formações superficiais.</i>	136
1.3. <i>Tectónica.</i>	143
2. <i>A morfologia.</i>	147
2.1. <i>As superfícies planas .</i>	147
2.2. <i>Gargantas e vales amplos do Vizela, Ferro, Bugio e Selho.</i>	151
2.3. <i>Vertentes com forte declives.</i>	155
3. <i>O encaixe da rede hidrográfica e a fracturação.</i>	162
Parte C – A dinâmica de vertentes no NW de Portugal.	167
Capítulo C1 - Os problemas do estudo dos movimentos de vertente na constituição de um sistema de informação geográfica.	169
1. <i>Riscos naturais e movimentos de vertente no contexto geomorfológico do maciço antigo Português.</i>	169
2. <i>O estudo das condições geográficas de ocorrência dos movimentos de vertente no N. de Portugal.</i>	175
3. <i>A importância do estudo da dinâmica dos movimentos de vertente para a definição dos factores de risco.</i>	182
Capítulo C2 - Apresentação monográfica de movimentos de vertente no NW de Portugal.	189
1. <i>O depósito da S^a da Graça.</i>	189
1.1 - <i>Estrutura.</i>	189
1.2 - <i>Morfologia.</i>	190
2. <i>O depósito do Ermelo.</i>	194
2.1 - <i>Contexto morfológico.</i>	194
2.2 - <i>Contexto estrutural</i>	195
2.3 - <i>A dinâmica de vertentes.</i>	195
3. <i>O fluxo de detritos de Cotorinho.</i>	203
3.1- <i>Contexto morfo-estrutural.</i>	203
3.2- <i>Descrição do fluxo de detritos de Cotorinho.</i>	204

3.3- <i>A dinâmica dos fluxos de detritos de Cotorinho (Marão).</i>	211
4. <i>Os deslizamentos no vale de Fervença</i>	212
4.1 - <i>Contexto morfo-estrutural.</i>	212
4.2 - <i>Os deslizamentos no vale da ribeira de Fervença, a dinâmica de vertentes e o depósito de fundo de vale.</i>	214
5. <i>O fluxo de detritos de S. João.</i>	219
5.1 - <i>Características morfológicas do vale do rio Trancoso.</i>	221
5.2 - <i>Condicionantes estruturais.</i>	222
5.3 - <i>Características geomorfológicas.</i>	228
5.4 - <i>Características morfo-sedimentares.</i>	231
5.5 - <i>Evolução geomorfológica do vale do rio Trancoso.</i>	233
5.6 - <i>Conclusão</i>	235
6. <i>O fluxo-deslizamento de Lobiô.</i>	237
6.1 - <i>Contexto estrutural.</i>	237
6.2 - <i>Contexto morfológico.</i>	238
6.3 - <i>Características morfológicas dos depósitos de vertente.</i>	238
7. <i>O movimento complexo do Covelo do Gerês.</i>	245
7.1 - <i>Ocorrência e fases de evolução.</i>	246
7.2 - <i>Aspectos morfológicos.</i>	247
7.3 - <i>Factores de ordem geológica.</i>	249
7.4 - <i>Condições geomorfológicas.</i>	256
7.5 - <i>Condições hidro-climáticas.</i>	257
7.6 - <i>Conclusões.</i>	260
8. <i>Deslizamento do Fojo (Mondim de Basto).</i>	262
8.1 - <i>Contexto estrutural.</i>	263
8.2 - <i>Morfologia e encaixe do curso de água.</i>	264
8.3 - <i>Morfologia do deslizamento.</i>	265
9. <i>Fluxo de detritos de Cavez.</i>	266
9.1 - <i>Litologia e depósitos de vertente.</i>	270
9.2 - <i>Morfologia.</i>	270
9.3 - <i>Acção humana.</i>	272
9.4 - <i>Factores climáticos.</i>	272
9.5 - <i>Factores hidricos.</i>	276
9.6 - <i>Conclusão.</i>	279
10. <i>O Fluxo de Detritos de Vila de Muros (Cinfães)</i>	281
10.1 - <i>Contexto morfológico.</i>	282

10.2 - Contexto estrutural.	283
10.3 - Dinâmica do movimento de vertente.	289
10.4 - Condições hidro-climáticas.	290
10.5 - Aspectos morfológicos e estruturais do movimento do fluxo.	294
10.6 - Dinâmica de vertente e acção humana.	298
Capítulo C3 –Factores geográficos de ocorrência de movimentos de vertente. Síntese final.	301
1. Factores de ordem hidroclimática.	305
2. Factores de ordem estrutural.	312
3. Factores de ordem geomorfológica.	318
4. Factores de ordem antrópica.	321
Parte D - Riscos naturais e SIG. A área experimental de Guimarães.	327
Capítulo D1 - Conceitos relacionados com os riscos naturais.	329
1. Introdução.	329
2. A noção de risco natural: discussão em torno de alguns conceitos.	331
3. Métodos de cartografia directa e indirecta.	345
4. Variabilidade dos fenómenos naturais e vulnerabilidade das sociedades.	347
5. A consciência e a gestão do risco. A previsão e a predibilidade dos processos naturais. Modelos deterministas e probabilistas da gestão do risco.	350
6. Geografia e geoficalidade do risco.	356
7. Os SIG como instrumento de gestão dos riscos naturais.	358
7.1. As entradas em SIG	361
7.2. Funcionamento do SIG.	362
7.3. As saídas do sistema.	363
Capítulo D2 –As condições de ocorrência de movimentos de vertente e unidades territoriais na área experimental de Guimarães.	365
1. Os sistemas territoriais aplicados à análise geomorfológica.	365
2. Sistemas e unidades territoriais na área de Guimarães.	369
2.1. As unidades morfológicas na área de Guimarães.	369

2.1.1. <i>As superfícies planas degradadas.</i>	371
2.1.2. <i>Os vales.</i>	375
2.1.3. <i>Os interflúvios.</i>	376
2.1.4. <i>Os fundos dos vales.</i>	377
2.1.5. <i>As vertentes.</i>	377
2.2. <i>As unidades territoriais e a litologia de Guimarães.</i>	379
2.3. <i>As unidades territoriais e as formações superficiais na área experimental de Guimarães.</i>	381
2.3.1. <i>Afloramentos rochosos, áreas desprovidas ou quase desprovidas de formações superficiais.</i>	382
2.3.2. <i>Manto de alteração pouco espesso.</i>	383
2.3.3. <i>Manto de alteração espesso.</i>	383
2.3.4. <i>Depósitos de vertente e depósitos coluvionares.</i>	384
2.3.5. <i>Aluviões.</i>	385
2.4. <i>Os declives da área experimental de Guimarães.</i>	386
3. <i>Susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente, em unidades e elementos territoriais na área de Guimarães.</i>	387
3.1. <i>Forte a muito forte susceptibilidade geomorfológica.</i>	388
3.2. <i>Média susceptibilidade geomorfológica.</i>	393
3.3. <i>Fraca ou nula susceptibilidade geomorfológica.</i>	395
Capítulo D3 – A elaboração de um SIG sobre a susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente.	399
1. <i>As tabelas da base de dados do SIG e os elementos territoriais.</i>	399
1.1. <i>A litologia.</i>	401
1.2. <i>A tectónica.</i>	402
1.3. <i>A espessura das formações superficiais.</i>	403
1.4. <i>A morfologia.</i>	404
1.5. <i>Os declives.</i>	406
1.6. <i>A rede hidrográfica.</i>	407
2. <i>As questões lógicas em SIG, na definição da susceptibilidade geomorfológica na área de Guimarães.</i>	408
2.1. <i>Questões lógicas para definição da forte a muito forte susceptibilidade geomorfológica.</i>	409
2.2. <i>Questões lógicas para definição da média susceptibilidade geomorfológica.</i>	410
2.3. <i>Questões lógicas para definição da fraca ou nula susceptibilidade geomorfológica.</i>	412

3. <i>Intervenção humana e susceptibilidade geomorfológica de movimentos de vertente.</i>	413
3.1. <i>Estruturas de carga.</i>	414
3.2. <i>Áreas de descompressão.</i>	415
3.3. <i>Desflorestação.</i>	415
3.4. <i>Concentração artificial da drenagem.</i>	416
3.5. <i>Desagregação de materiais.</i>	417
3.6. <i>Abandono ou deficiente manutenção de estruturas de protecção dos solos e mantos de alteração nas vertentes.</i>	417
4. <i>A acção humana e o fluxo de trabalho em ambiente SIG na definição da susceptibilidade geomorfológica.</i>	418
Conclusão e perspectivas de investigação.	425
1. <i>Conclusões em torno do trabalho desenvolvido em SIG.</i>	426
1.1. <i>A escala de análise e a informação geográfica disponível.</i>	426
1.2. <i>A importância da cartografia geomorfológica na análise da susceptibilidade geomorfológica.</i>	430
1.3. <i>O trabalho em ambiente SIG e as limitações à produção cartográfica.</i>	432
2. <i>Principais ideias sobre áreas de susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente.</i>	435
2.1. <i>Os declives</i>	435
2.2. <i>A precipitação</i>	436
2.3. <i>A geomorfologia das vertentes</i>	437
2.4. <i>Litologia, mantos de alteração e depósitos de vertente</i>	438
2.5. <i>A intervenção humana como factor de agravamento.</i>	445
3. <i>Perspectivas de investigação sobre susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertentes.</i>	448
Bibliografia	451
Índice de figuras	469
Índice de fotografias	473
Índice de quadros	475

Índice de figuras

Fig. A1.1: Antigo mapa cadastral.	25
Fig. A1.2: Características principais dos elementos que constituem a informação trabalhada em ambiente SIG, adaptado de Burrough, 1986.	35
Fig. A2.1: Declive do ângulo α corresponde ao inverso da tangente de α , que pode ser calculada com a divisão do $\sin \alpha$ pelo $\cos \alpha$.	40
Fig. A2.2: A disposição do traçado das curvas de nível podem influenciar a classe de declives a atribuir a um quadrado. A distância entre as curvas de nível é idêntica, tanto em A, como em B.	41
Fig. A2.3: Cálculo de declives pelo método das áreas homogêneas.	42
Fig. A2.4: As áreas sombreadas representam sectores onde, por falta de curvas de nível, não é possível a utilização de réguas construídas para medir a sua distância.	44
Fig. A2.5: O cálculo dos declives para cada ponto da grelha utilizada no âmbito dos modelos GRID são feitos por interpolação do valor da altitude, já que a grande maioria não coincide com as curvas de nível.	46
Fig. A2.6: Triangulação segundo o modelo TIN.	47
Fig. A2.7: Mapa de declives (Azurém/Guimarães). Hipsometria digitalizada à escala 1:5000.	51
Fig. A2.8: Mapa de declives (Azurém/Guimarães). Hipsometria digitalizada à escala 1:10000.	51
Fig. A2.9: Um erro de digitalização (no exemplo, de 0,5 mm), por pequeno que seja, a diferentes escalas, pode conduzir a variações na classificação dos declives, e portanto, a cartografia diferente.	53
Fig. A2.10: Mapa de declives (Covelo/Gerês). Hipsometria digitalizada à escala 1:10000.	55
Fig. A2.11: Mapa de declives (Covelo/Gerês). Hipsometria digitalizada à escala 1:25000.	55
Fig. A2.12: Mapa de declives (Azurém/Guimarães). Hipsometria digitalizada à escala 1:5000.	58
Fig. A2.13: Mapa de declives (Azurém/Guimarães). Hipsometria digitalizada à escala 1:10000.	58
Fig. A3.1: O sistema de ligação relacional permite o tratamento da informação registada na base de dados com ligação à base gráfica.	64
Fig. A3.2: A ligação relacional entre base gráfica e base de dados é feita pelo sistema de ligação relacional onde se estabelecem os elos entre os elementos gráficos e a informação não espacial.	65
Fig. A3.3: Conjunto de operadores booleanos que estão disponíveis em ambiente SIG.	66

Fig. A3.4:Esquema base onde se seleccionam os elementos, as tabelas e os operadores para a construção das questões lógicas a utilizar em ambiente SIG.	72
Fig. A3.5: Operadores de vizinhança e booleanos podem ser usados para combinar regiões em análise de sobreposição. Estas regiões podem ser consideradas aqui como verdadeiras (sombreado) ou falsas (a branco) no sentido de representar espaço que contém ou não contém algum fenómeno específico.	73
Fig. A3.6: A construção de um novo polígono é o resultado do trabalho em sistema onde são confrontados os elementos da base de dados e da base gráfica, seleccionando os gráficos necessários à construção de um novo polígono e, portanto, à representação de uma nova cartografia.	74
Fig. A3.7: Fluxo de trabalho em ambiente SIG.	75
Fig. A3.8: A representação gráfica das 'células' correspondem a pontos em ambiente SIG. A intercepção com uma entidade de área corresponde a um conjunto de pontos e não a uma área.	78
Fig. A3.9: A representação cartográfica de uma vertente, na legenda geomorfológica, aparece extremamente complexa e com uma multitude de vectores, extremamente difícil de conectar com uma base gráfica.	79
Fig. B1.1: A área de Guimarães abarca a fronteira entre os termos autoctones da Zona Centro-Ibérica e os termos alóctones da Sub-zona Galaico-Transmontana.	86
Fig. B1.2: Modelo do floco tectónico na evolução geodinâmica do NW Peninsular.	87
Fig. B2.1: Esboço geomorfológico do Minho ocidental.	114
Fig. B2.2: Extracto do Mapa de Movimentos verticais no Pliocénico superior e Quaternário.	122
Fig. B3.1: Mapa hipsométricos do N de Portugal.	130
Fig. B3.2: Litologia da área de Guimarães.	133
Fig. B3.3 Formações superficiais na área de Guimarães.	139
Fig. B3.4 Hipsometria e tectónica da área de Guimarães.	145
Fig. B3.5 Esboço morfológico da área de Guimarães.	149
Fig. B3.6 Mapa de declives da área de Guimarães.	155
Fig. B3.7: Corte esquemático da vertente da Penha (Guimarães).	157
Fig. B3.8: Esboço morfológico da vertente da Penha (Guimarães).	157
Fig. B3.9: Esboço morfológico da Costa (Penha – Guimarães).	158
Fig. B3.10: Esboço geomorfológico de Azurém.	160
Fig. B3.11: Corte esquemático da vertente de Azurém.	162
Fig. B3.12 Rede hidrográfica, hipsometria e fracturação na área de Guimarães.	163
Fig. C2.1: Esboço geomorfológico da Sª da Graça.	191
Fig. C2.2: Esboço geomorfológico do Ermelo.	197
Fig. C2.3: Mapa de declives do Ermelo	199
Fig. C2.4: Esboço geomorfológico do Cotorinho.	205
Fig. C2.5: Mapa de declives do Cotorinho.	207

Fig. C2.6: Esboço geomorfológico de Fervença.	215
Fig. C2.7: Mapa de declives do Fervença.	217
Fig. C2.8: Esboço geomorfológico do Vale do Trancoso.	224
Fig. C2.9: Esboço lito-estrutural, na margem esquerda do rio Trancoso.	225
Fig. C2.10: Esboço geomorfológico de pormenor de Porto Carreiro	229
Fig. C2.11: Esboço geomorfológico de Lobiô.	241
Fig. C2.12: Mapa de declives de Lobiô	243
Fig. C2.13: Esboço geomorfológico do fluxo de detritos do Covelo do Gerês.	247
Fig. C2.14: Mapa de declives do Covelo do Geres.	250
Fig. C2.15: Esboço litológico do Covelo do Gerês.	252
Fig. C2.16: Curvas granulométricas de amostras do manto de alteração do granito do Gerês, na cicatriz.	257
Fig. C2.17: Precipitações diárias em Paradela do Rio em Dezembro, Janeiro e Fevereiro de 1965/6.	261
Fig. C2.18: Esboço geomorfológico de Cavez.	270
Fig. C2.19: Mapa de declives da bacia hidrográfica da ravina onde ocorreu o fluxo de detritos (Cavez).	271
Fig. C2.20: Precipitação e caudais médios diários, em Cavez..	275
Fig. C2.21: Balanço hídrico sequencial mensal de Cavez (1981).	279
Fig. C2.22: Mapa de declives de Vila de Muros (Cinfães).	287
Fig. C2.23: Esboço geomorfológico de Vila de Muros (Cinfães).	289
Fig. C2.-24: Valores da precipitação registada na Aboboreira.	295
Fig. D1.1: Relações teóricas entre a severidade dos riscos naturais, probabilidade e risco.	334
Fig. D1.2: Esquema interpretativo da relação entre homem e ambiente.	335
Fig. D1.3: Esquema interpretativo da dimensão temporal e espacial do risco.	338
Fig. D1.4: Importância da dimensão espacial e temporal na expressão geográfica do risco.	342
Fig. D1.5: A sensibilidade para com a eventualidade geomorfológica é expressa em função da variabilidade dos elementos geofísicos e do grau de tolerância socio-económica.	352
Fig. D1.6: Fluxo de trabalho para a constituição de um Sistema de Informação Geográfica da Susceptibilidade Geomorfológica.	357
Fig. D2.1: Os sistemas, unidades e elementos territoriais...	367
Fig. D2.2: Esboço das unidades morfológicas, na área de Guimarães (folha 85).	373
Fig. D2.3: Mapa da susceptibilidade geomorfológica na área de Guimarães (folha 85).	389
Fig. D3.1: Tabela da base de dados de um sistema de informação geográfica da susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente.	400
Fig. D3.3: Carta das condicionantes ao uso do território.	423

Índice de Fotografias

Fot. B3.1: Manto de alteração pelicular e bola graníticas sem alteração.	159
Fot. B3.2: Manto de alteração na vertente da Penha sobreposto por depósito de vertente constituído por matriz argilosa e bolas de granito escorregadas ao longo da vertente.	159
Fot. B3.3: Manto de alteração com espessura superior a 3m, próximo do sopé da vertente da Penha.	160
Fot. B3.4: A construção de patamares antrópicos retira o manto de alteração que suporta as bolas graníticas, permitindo a criação de situações propícias à ocorrência de movimentos de vertente.	161
Fot. C2.1: Depósito da S ^a da Graça.	190
Fot. C2.2 : Depósito do Ermelo. Aspecto do leito do ribeiro do Sião.	196
Fot. C2.3 : Depósito do Ermelo. Vista em perfil no leito do ribeiro do Sião.	202
Fot. C2. 4: Corredor de erosão do fluxo de detritos do Cotorinho (Marão).	209
Fot. C2.5: Depósito do Cotorinho, a 300 m da cicatriz.	210
Fot. C2.6: Depósito do Cotorinho (Marão), a 2000 m da cicatriz.	210
Fot. C2.7: Vestígios do fluxo de detritos, próximo de Cotorinho.	211
Fot. C2.8: Deslizamento pelicular na vertente sul da rib ^a de Fervença.	214
Fot. C2.9: Barranco próximo de Porto Carreiro.	230
Fot. C2.10: Porto Carreiro, a jusante da área de arranque do fluxo de S. João.	232
Fot. C2.11: Muro construído com blocos e calhaus recolhidos da superfície do depósito resultante do fluxo de detritos.	233
Fot. C2.12: Cicatriz principal do fluxo de detritos de Covelo do Gerês.	245
Fot. C2.13: Bloco de granito deslocado pelo fluxo de detritos, em Covelo do Geres, em 1966.	246
Fot. C2.14: Fenda de grande profundidade a montante da cicatriz principal do fluxo de detritos.	254
Fot. C2.15: Fendas superficiais, a montante da cicatriz principal do fluxo de detritos.	255
Fot. C2.16: Cicatriz do deslizamento do Fojo (Mondim de Basto).	266
Fot. C2.17: Materiais movimentados pelo deslizamento do Fojo.	266
Fot. C2.18: Casa destruída pelo fluxo de detritos de Cavez, vista de jusante.	269
Fot. C2.19: Casa destruída pelo fluxo de detritos de Cavez, vista de montante.	271

Fot. C2.20: Cicatriz do fluxo de detritos de Cavez, vista geral.	271
Fot. C2.21: Cicatriz do fluxo de detritos de Cavez, vista de pormenor.	271
Fot. C2.22: Canal de erosão escavado pelo movimento dos materiais do fluxo de detritos de Cavez.	273
Fot. C2.23: Área de acumulação do fluxo de detritos de Cavez, a jusante da estrada nacional.	273
Fot. C2.24: Cicatriz lateral secundária do fluxo de detritos de Vila de Muros (Cinfães).	298
Fot. C2.25: Área de acumulação intermédia, na secção intermédia da vertente de Vila de Muros.	298
Fot. C2.26: Canal de erosão do fluxo de detritos de Vila de Muros, Cinfães.	298
Fot. C2.27: Casa semi-destruída pelo fluxo de detritos de Vila de Muros (Cinfães).	298

Índice de quadros

Quadro A2.1: Importância dos erros de digitalização no cálculo dos declives.	52
Quadro B1.1: Relação entre diversos tipos de granitóides e fases tectónicas.	92
Quadro B1.2: Relação entre diversos tipos de granitóides, segundo a sua composição mineralógica e fases tectónicas. Extraído de N. Ferreira (1987).	93
Quadro B1.3: Características dos granitóides dominantes na área de Guimarães.	98
Quadro B1.4: Principais características dos perfis de alteração dos granitóides da área de Guimarães.	103
Quadro C2.1 - Características do granito do Gerês (280±11 M.A).	253
Quadro C3-1: Factores que influem nas condições naturais e antrópicas da dinâmica de vertentes	303

INTRODUÇÃO

O interesse em torno dos temas da geografia física surgiu ao longo da frequência do primeiro ano da licenciatura em Geografia, em 1980. Tendo obtido transferência do curso de economia para o de geografia, foi com o maior interesse que fui progressivamente acolhendo a ideia de orientar a minha licenciatura para os estudos sobre o meio físico, muito por influência das aulas teóricas da Prof. Doutora Celeste Coelho. Esta influência reforçou-se ao longo dos quatro anos do curso, em especial no âmbito da disciplina de Técnicas de Aplicação em Geografia Física.

A frequência do mestrado em Geografia Física e Regional na Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, sob a direcção dos Profs. Doutor A. de Brum Ferreira e S. Daveau permitiu-me alargar a visão sobre a evolução quaternária e actual das vertentes, bem como a importância da cartografia geomorfológica de pormenor e dos riscos naturais.

Desde então, comecei a manifestar o interesse pelo desenho assistido por computador e procurei desenvolver cartografia apoiada em programas de desenho. O Instituto de Geografia do Porto começava a dar os primeiros passos neste contexto, muito por iniciativa do Prof. Doutor Luís Paulo Martins.

Quando terminei o trabalho de provas de aptidão pedagógica e capacidade científica¹ entendi que poderia desenvolver a ligação entre a produção de cartografia assistida por computador e a leitura e interpretação da dinâmica do meio físico. Nessa altura, a divulgação e expansão dos

¹ Dedicado ao estudo dos processos geomorfológicos actuais na Depressão de Ota-Carregado e colinas ocidentais.

Sistemas de Informação Geográfica em Portugal, dava os primeiros passos. Sucediã-m-se as mais diversas conferências com especialistas, que explicavam as várias experiências de utilização dos SIG. Mais uma vez, respondendo a um desafio da Prof^a. Doutora Celeste Coelho, decidi procurar uma forma de desenvolver os estudos sobre Geografia Física em ligação directa com a informática, mais concretamente no âmbito dos SIGs.

Por outro lado, apercebi-me de que a análise sobre a dinâmica do meio físico e, em particular, sobre a evolução actual de vertentes não merecia qualquer preocupação por parte dos responsáveis pelo planeamento e ordenamento do território. A informação sobre o meio físico, nomeadamente no que se refere à evolução actual de vertentes, exige levantamentos de campo morosos e que implicam conhecimentos teóricos e práticos específicos, o que provavelmente contribuiu para o esquecimento a que foi sujeita, por exemplo, na análise e definição da Reserva Ecológica Nacional (REN), no âmbito dos Planos Directores Municipais (PDMs).

Associando esta problemática ao interesse e urgência pela definição de riscos naturais, que não seja feita em gabinete de forma demasiado generalizada e sem contemplar a realidade do meio físico, procurei desenvolver um SIG que se apoie em levantamentos sobre o terreno e que trabalhe a informação com recurso às novas tecnologias. Esta opção exige que se procure resolver os problemas de tratamento da informação sem aligeirar o rigor com que esta deve ser recolhida e analisada. O recurso a novas tecnologias, só por si, não lhe confere maior fiabilidade. Pelo contrário, poderá trazer simplificações, decorrentes do processo de adaptação da informação às técnicas disponíveis nos ambientes de Sistema de Informação Geográfica, o que poderá condicionar negativamente a cartografia

resultante, fazendo com que não reflecta a realidade do meio físico.

Procura-se, portanto, o desenvolvimento de ferramentas para o planeamento e o ordenamento do território, sensíveis à dinâmica actual do meio físico e que representem um olhar crítico sobre a forma como ela vem sendo encarada. O meio físico já não pode ser considerado, unicamente, como suporte à actividade humana. A imponência da sua dinâmica, com o cortejo de prejuízos materiais e perdas de vidas humanas, obriga-nos a um estudo aprofundado sobre essa dinâmica, o que só pode ser feito com recurso a informação produzida com rigor e passível de reflectir essa realidade.

A realização do trabalho atrás referido sobre evolução de vertentes numa região constituída por rochas sedimentares (em Ota/Alenquer) despertou-me a curiosidade sobre a forma como essa evolução se processaria em áreas do maciço antigo, em especial com afloramentos de granitóides. Quais seriam as condições de evolução de vertentes nessas áreas? Que factores seriam determinantes nessa evolução? Que tipo de processos seriam dominantes? Que cartografia de riscos naturais seria possível produzir? Quais as principais diferenças ou semelhanças entre estas áreas e as de litologia dominada por rochas sedimentares? Estas eram algumas das questões que coloquei e que pretendia responder com o presente trabalho.

Cedo percebi que os critérios de levantamento de campo utilizado nas áreas sedimentares, não se ajustava às do maciço antigo. Por exemplo, nem sempre, no terreno eram nítidos os sinais de uma evolução de vertentes recente. Apenas as notícias, esporádicas, de ocorrências de movimentos de vertente, num passado não muito distante, punham em evidência exemplos bem reveladores de uma poderosa dinâmica do meio físico.

Aproveitando essas notícias e procedendo ao estudo de ocorrências várias, verifiquei que os vestígios da dinâmica de vertentes, em áreas de substrato granítico, sobretudo ao nível dos aspectos morfológicos, pareciam experimentar uma evolução posterior muito significativa, mascarando indícios de movimentações. Então, como identificar as áreas onde ocorreram movimentos de vertente? Quais as condições geográficas que os condicionam? As diferentes litologias estarão directamente relacionadas com os vários tipos de movimentos?

OBJECTIVOS E METODOLOGIA

De uma forma resumida, poderemos dizer que o trabalho agora apresentado tem três grandes objectivos.

O primeiro consiste em introduzir as novas tecnologias da informação geográfica na análise geomorfológica da evolução actual das vertentes, adaptar a informação ao tratamento no âmbito dessas tecnologias e debater as questões relacionadas com essa adaptação, sem que isso signifique menor qualidade e rigor da informação.

O segundo consiste na caracterização do tipo de movimentos de vertente que ocorrem no maciço antigo, onde genericamente predominam as rochas granitóides.

Por último, pretende-se construir um fluxo de trabalho, utilizável em planeamento físico e ordenamento do território, adaptado às características do NW de Portugal, que seja capaz de responder às questões relacionadas com os riscos naturais em vertentes, o que se tem revelado uma tarefa urgente.

A constituição de um SIG sobre susceptibilidade geomorfológica (Parte B, cap. 1) implica a leitura das áreas que apresentam as condições mais favoráveis ao seu desenvolvimento. No sentido de proceder a essa identificação, iniciou-se o estudo dos movimentos de vertente conhecidos, e procurou-se determinar o conjunto de factores responsáveis pela sua ocorrência. Uma vez definidos esses factores, procuramos identificar as várias condições geográficas (litologia, alteração, aspectos geomorfológicos, hídricos ...) propícias à ocorrência de movimentos. Nesse sentido, não

limitamos o estudo a uma área específica do maciço antigo. Procurando abranger todo o N de Portugal, em especial o NW.

A identificação dos factores e das condições geográficas responsáveis pela ocorrência de movimentos de vertente, permitiria o desenvolvimento de estudos mais localizados, onde seria possível a concretização de uma cartografia produzida em ambiente SIG. A área de Guimarães, limitada à folha 85 da Carta Topográfica de Portugal, constituiu-se como área experimental para a construção do SIG sobre susceptibilidade geomorfológica. Esta área apresenta uma grande variedade de formas de relevo e uma expansão urbana importante, o que significa uma elevada pressão da intervenção humana sobre a dinâmica do meio físico. Serve assim como área exemplificativa da produção da cartografia em SIG e constitui ponto de referência e aferição sobre a fiabilidade do Sistema de Informação Geográfica.

Como veremos, o processo de tratamento da informação com recurso à produção automática da cartografia, implica uma separação entre utilizador e processo de produção da cartografia, que acaba por depender de um conjunto de algoritmos previamente introduzidos no sistema e que, as mais das vezes, ignoramos. Com o conhecimento do terreno é mais fácil aferir da correspondência entre base cartográfica e realidade do meio físico. Ao tentarmos concretizar um SIG numa área conhecida no terreno, é mais fácil a interpretação da informação produzida automaticamente. Desta forma, tornamo-nos mais críticos em relação ao fluxo de trabalho e às funções que poderemos utilizar em ambiente SIG.

Relativamente ao fluxo de trabalho em SIG, este foi objecto de análise e discussão, sobretudo no que se refere à cartografia automática (no

caso dos declives), ao trabalho de sobreposição de níveis e à utilização das questões lógicas. Do mesmo modo, foram debatidos os problemas de adaptação da cartografia geomorfológica ao tratamento da informação em ambiente SIG (Parte A).

À medida que o trabalho ia sendo desenvolvido, fomos percebendo que os SIGs que íamos acompanhando não contemplavam a componente de trabalho de campo: eram elaborados, quase em exclusivo, com base na cartografia digitalizada disponível e na detecção remota. Em contrapartida, os trabalhos de definição e zonagem dos riscos naturais apresentam uma forte componente cartográfica com recurso a registos no campo, utilizando uma simbologia bem definida, mas de difícil transposição para o SIG. Procuramos elaborar a ponte entre estes dois 'mundos', através da produção de cartografia de uma área específica, discutindo problemas e apresentando soluções que, por serem discutíveis, poderão sempre ser melhoradas. Desta forma, procurámos introduzir os levantamentos de campo num trabalho eminentemente de gabinete.

Para responder a estes problemas ensaiamos a definição de unidades e elementos territoriais em geomorfologia, e produzimos a respectiva cartografia para tratamento em ambiente SIG. Se isso é viável a uma escala média, 1:50000, já não nos parece fácil e isenta de problemas a sua utilização a uma escala de pormenor, onde terão que ser procuradas e ensaiadas outras metodologias, que, por ora, deixamos em aberto.

O trabalho está organizado em quatro partes. A parte A corresponde à identificação e história dos Sistemas de Informação Geográfica, englobando ainda uma discussão em torno dos problemas da relação entre cartografia automática e meio físico. A transposição dos

levantamentos feita no terreno e da cartografia geomorfológica para o ambiente SIG ilustra bem as dificuldades de relacionamento entre cartografia automática e representação gráfica da dinâmica do meio físico.

A parte B faz o enquadramento da área experimental no NW de Portugal e define as suas características principais.

A parte C é a mais extensa. Depois de serem equacionados alguns problemas ligados ao estudo dos movimentos de vertente em maciço antigo, são apresentados vários exemplos concretos, analisando-se os factores que provocaram o seu desencadeamento e as condições geográficas da sua ocorrência.

Na parte D, depois de se discutirem os conceitos associados ao risco natural, definem-se as condições de ocorrência de movimentos de vertentes, para a área de Guimarães (folha 85 da Carta Topográfica de Portugal). Finalmente, constrói-se o fluxo de trabalho em ambiente SIG, definem-se e elaboram-se as questões lógicas que permitirão a construção da cartografia de susceptibilidade que apresentamos.

Estas tarefas estão no início do seu desenvolvimento, há ainda muito trabalho a fazer. Com esta dissertação, pretende-se dar um contributo, abrir caminhos que importa explorar e colocar em debate a utilização prática de novas tecnologias, em ligação directa com a investigação científica. Embora tenhamos consciência das dificuldades que teremos pela frente, há, porém, uma atitude que deve estar sempre presente: os resultados do nosso trabalho devem ser sujeitos a uma leitura crítica, com o objectivo de não sacrificar o rigor científico à facilidade funcional da tecnologia utilizada.

AGRADECIMENTOS

O trabalho foi realizado com o contributo de várias instituições e pessoas que importa recordar e a quem devo um agradecimento.

Ao Professor Doutor Fernando Rebelo agradeço a receptividade em relação ao tema de tese, ao acompanhamento paciente ao longo do trabalho e à leitura crítica e sempre pronta dos textos que lhe apresentei. Uma dissertação de doutoramento é uma tarefa a longo prazo que soube acompanhar de forma cuidada mas aberta, aceitando com ponderação as minhas propostas.

Ao Departamento de Geologia da Universidade de Oviedo devo a calorosa recepção, apoio bibliográfico e a total disponibilidade para o estudo de técnicas de detecção remota e trabalho no terreno em áreas de maciço antigo. Devo recordar o Prof. Pedro Fárias e, de uma forma geral, os técnicos do INDUROT (organismo do governo regional das Astúrias e do referido departamento, com competências na produção cartográfica sobre o meio físico). Tive oportunidade de verificar a forma como se procedia ao tratamento da informação sobre movimentos de vertente, preparada em gabinete e confirmada no terreno. Vários foram os estágios sobre o terreno que permitiram apurar os métodos de trabalho de campo, em áreas com alguns pontos comuns com o NW Português.

No Centro de Estudos Geográficos da Faculdade de Letras de Lisboa sempre fui bem acolhido. A informação que solicitei sempre me foi prontamente cedida. Devo realçar a ajuda e disponibilidade do Luís Zêzere e da Luísa Rodrigues, e a enorme solicitude do Carlos Sirgado.

Ao Instituto Geológico e Mineiro do Porto, agradeço o apoio bibliográfico e as ajudas na identificação dos diversos tipos litológicos representados na folha 9-B, já que a notícia explicativa ainda não está disponível. Nessa tarefa há que realçar o papel do Dr. Narciso Ferreira que, em virtude dos contactos realizados, se transformou num colaborador em estudos sobre movimentos de vertente, ainda em fase de execução.

À Fundação para a Ciência e a Tecnologia devo o apoio a este trabalho, no âmbito do projecto de investigação intitulado "Processos erosivos no N de Portugal: definição de áreas de risco".

A ajuda financeira do PRODEP permitiu a realização de parte do trabalho de campo, bem como a aquisição de equipamento informático.

Já no final, quando encetamos as tarefas de executar tecnicamente o fluxo de trabalho em SIG, beneficiamos do apoio técnico de Delfim Fernandes. O seu empenho na execução de um trabalho, em si bastante moroso, foi precioso e permitiu a antecipação em vários meses da apresentação deste texto.

Aos colegas do Departamento de Geografia do Porto, reconheço a paciência que tiveram em momentos mais difíceis. Não posso, porém, deixar de referir a Professora Doutora Rosa Fernanda no empenho que demonstrou na aquisição da estação gráfica e respectivos programas, num período em que os custos do equipamento tornavam quase proibitivo o trabalho em Sistemas de Informação Geográfica.

Ao António Pedrosa devo várias indicações de campo, localizando movimentos de vertente, na área de trabalho da sua dissertação de doutoramento, que não tinham sido noticiados publicamente, ou não tinham

sido objecto da sua investigação. A ele devo várias deslocações ao terreno, bem como importantes discussões de carácter científico.

À Prof^a. Assunção Araújo agradeço a cedência de diapositivos que documentam os estudos sobre Cavez.

Uma palavra de apreço muito especial em relação à Laura Soares. Passamos muitos dias em trabalho de campo e discutimos perspectivas científicas. No que se refere aos estudos e identificação dos granitóides e respectivos mantos de alteração, a sua ajuda foi preciosa. Para além das ajudas de carácter científico devo-lhe o apoio amigo, desinteressado, que ela, com empenho, tão bem sabe cultivar entre amigos e colegas de trabalho, prejudicando, frequentemente, o seu trabalho pessoal.

Ao Marco Silvério, técnico de investigação do projecto sobre processos erosivos no N de Portugal, devo o trabalho de recolha de informação no terreno, respectivo tratamento estatístico e assistência ao equipamento instalado no terreno, libertando-me de muitas tarefas que não concorriam directamente para este trabalho, mas que eram necessárias para o desenvolvimento do referido projecto.

Sempre procurei que a investigação desenvolvida no âmbito da dissertação que agora apresento não tivesse interferência na minha vida familiar. Foi tarefa inglória. Muitas férias foram encurtadas, ou não existiram, vários fins-de-semana não foram passados em conjunto e, por alguns períodos, a vida familiar não teve a minha presença. Nunca me responsabilizaram por isso e sempre manifestaram a sua compreensão. Tenho a intenção de poder, de alguma forma, compensá-los, num futuro próximo.

Parte A - Os Sistemas de Informação Geográfica e a cartografia dos riscos naturais.

Capítulo A1 - Considerações gerais, breve história e definição de Sistema de Informação Geográfica.

1. Considerações gerais.

Ao longo das últimas décadas, a expressão Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem sido utilizada cada vez com mais frequência, e, nem sempre, com um significado claro. Este facto resulta, em parte, da grande diversidade de utilizadores e de objectivos a atingir. Com efeito, as áreas de trabalho e investigação que têm utilizado os SIG são muito díspares, tendo em comum o facto de necessitarem de manipular informação com uma importante componente espacial.

Este facto promoveu o interesse pela representação cartográfica como forma privilegiada de estudo e divulgação da informação geográfica. Por outro lado, o planeamento da vida económica das sociedades tem manifestado interesse crescente pelo ordenamento do território, já que, as actividades económicas e sociais têm influência determinante sobre a ocupação do território. De igual forma, entendeu-se que o tipo de desenvolvimento e ocupação do território pode conduzir a uma influência muito importante sobre o tipo de vida social e económica das sociedades, havendo mesmo alguns sectores económico-sociais muito sensíveis a este tipo de problemas (por exemplo: o turismo e a saúde). Este tipo de problemática tornou evidente a necessidade de tratar grandes quantidades de informação

directamente ligada à organização espacial das sociedades. Com o advento das novas tecnologias da informação, foi possível equacionar grande quantidade de variáveis relacionadas com o estudo da variação espacial dos fenómenos, quer de características humanas, quer de características físicas. É neste contexto que os SIG aparecem como ferramenta com potencialidades a desenvolver por vários sectores.

De entre os sectores que mais cedo sentiram a necessidade de utilização dos SIG destacam-se agronomia, zoologia, informática, matemática, fotogrametria e economia. A Geografia tem vindo a dar uma atenção crescente a este tipo de tecnologia, e tem estado, desde os primeiros tempos, ligada aos Sistemas de Informação que apareceram nos países de grande desenvolvimento tecnológico. Paralelamente às áreas de saber já referidas, os SIG tiveram forte desenvolvimento ao nível das empresas que necessitam de gerir grande quantidade de informação. Neste campo, destacaram-se as empresas de gestão de redes, onde o tipo de operações relacionadas com a análise topológica era indispensável para o desenvolvimento das suas actividades.

2. Breve história.

A necessidade de gerir a informação, nomeadamente a que envolve uma componente espacial, remonta às primeiras grandes civilizações conhecidas. Os mais antigos registos sobre o território, que chegaram ao nosso conhecimento, são anteriores a 4000 AC. No Egipto Antigo havia a necessidade de proceder a registos das propriedades uma vez que as inundações anuais destruíam com muita frequência os limites das propriedades agrícolas. Todos os anos havia a necessidade de reconstituir

esses limites. A reconstituição pretendia evitar os conflitos de posse das terras quando da retoma do novo ano agrícola e permitir uma mais fácil cobrança de impostos. Constituídas por placas de argila, em duplicado, as fichas continham a identificação da propriedade, registos sobre a sua dimensão, o número de inundações ocorridas e os impostos devidos ao estado (P.F. Dale, 1991).

P.F. Dale (1991, p.85) refere que, mais recentemente, na Babilónia, durante a dinastia UR, se procedia a este tipo de registo, acompanhado da representação cartográfica respectiva (fig. A1.1). Neste caso, já se procura a identificação espacial da informação a registar.

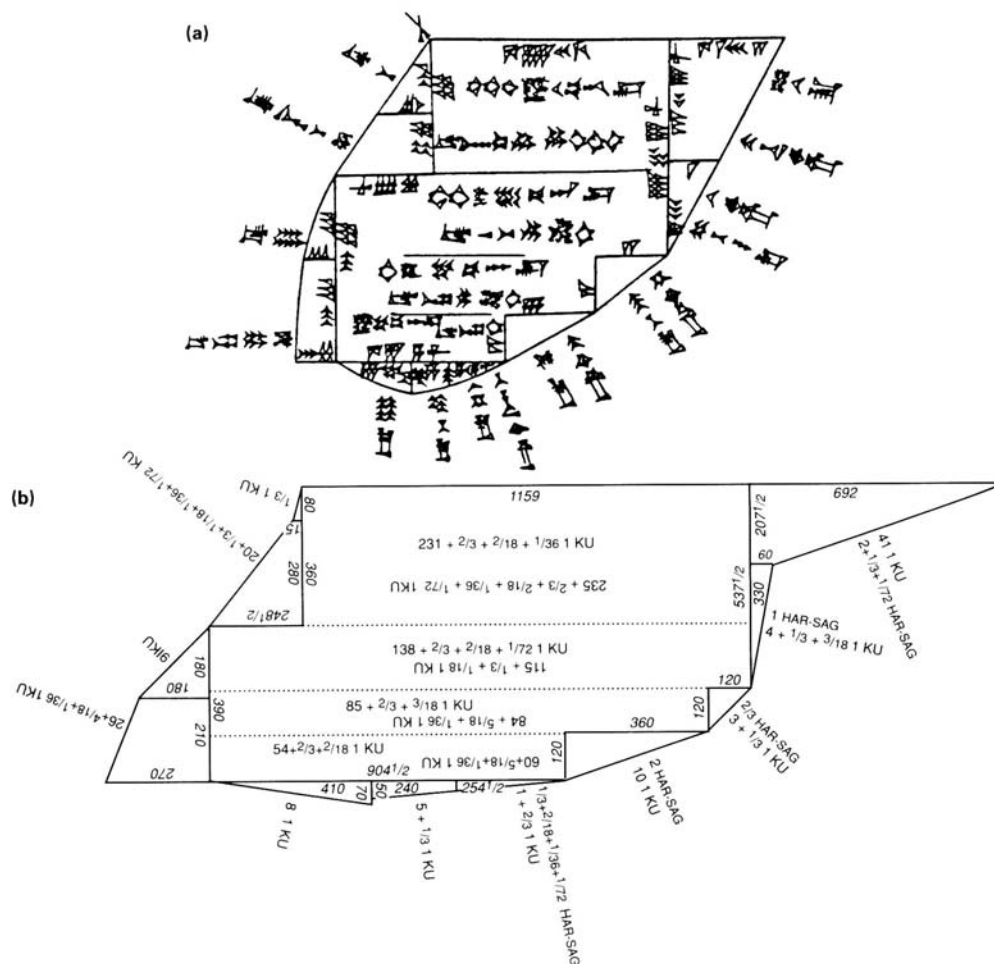


Fig. A1.1: Antigo mapa cadastral. A. plano com unidades adimensionais, desenhadas em placas de argila de 12,7x10,8 cm. B. o mesmo plano desenhado à escala. Extraído de P. F. Dale, in Maguire e al. (1991, 2º vol., p.86).

Mesmo em condições técnicas que hoje se consideram incomportáveis para o registo de grandes quantidades de informação, era possível a construção de bases de dados, por vezes com componentes cartográficas de fidelidade aceitável em relação à realidade. Estes seriam, porventura, os primeiros sistemas de informação. Como é fácil de verificar, o conjunto de potencialidades destes sistemas era muito limitado. No entanto, permitia duas funções básicas para a época: armazenagem de informação e consulta. A actualização dessa informação era tarefa penosa, mas necessária para a eficácia do sistema de informação.

No tempo dos Romanos, as tarefas de inventariação e registo prosseguiram, sempre com o objectivo duplo de colecta de impostos e registo da propriedade das terras. Surgem, assim, as unidades territoriais de indexação de impostos, aparecendo a palavra *capitastum* com correspondente, na actualidade, a *cadastro* (P. F. Dale, 1991).

Durante várias centenas de anos desenvolveram-se, em vários países da Europa, extensos registos da propriedade, sendo de realçar os que foram promovidos por Napoleão, na tentativa de alargar o cadastro a todo o império. Durante um extenso período desde a Antiguidade até ao período Contemporâneo, os avanços verificados no registo da informação, incidiram sobre o material que serviu de suporte (argila, papiro, papel) e nos aspectos organizacionais das instituições incumbidas de levar a cabo estas tarefas que consistiram no armazenamento da informação, consulta e actualização.

A partir dos anos 50, desenvolveu-se um conceito de base de dados com objectivos múltiplos (P. F. Dale, 1991). Já não basta registar informação com o objectivo de dirimir conflitos sobre a posse da terra ou para facilitar a colecta dos impostos. O objectivo consiste em promover a recolha de

informação de forma a que se possa retirar a maior quantidade de elementos para áreas de trabalho diversas. Desse modo, o planeamento parece ter beneficiado profundamente de um conjunto de informação complementar sobre o território, de forma a poder utilizar a componente espacial como elemento importante de compreensão da realidade. As variações espaciais dos fenómenos aparecem como um elemento determinante no seu entendimento.

Já nos anos 70, os cadastros com multifunções, baseados nas parcelas das propriedades, promovem o registo das componentes naturais, tal como o tipo de solos, as actividades humanas, redes e outras infra-estruturas associadas, e servem para tratar a informação ao nível local, regional ou mesmo nacional. Surgem, de forma sistemática, os sistemas de informação sobre o território (LIS: Land Information System), com informação sobre o meio físico.

Este tipo de evolução, envolve uma alteração no conjunto de funções que os sistemas de informação do território permitem. A armazenagem, consulta e actualização continuam a ser os elementos base e a sua primeira razão de existir. Começam, no entanto, a desenvolver-se as bases de dados que possibilitam a análise da informação registada. Com a análise estatística, inicia-se um processo de utilização destes sistemas no sentido de proceder à análise da realidade que, já no ano de 1981, permitiu à Fédération International des Géomètres (FIG) definir LIS (Land Information System) como *"...um instrumento para decisões legais, administrativas e económicas e uma ajuda para o planeamento e desenvolvimento..."* (P.F. Dale, 1991, p.87).

Esta evolução terá sido possível devido às alterações tecnológicas

verificadas nos últimos 40 anos (P. A. Burrough, 1992). O advento da computação permitiu tratar grande quantidade de informação e possibilitou o registo e consulta fácil da informação cartografada. É no início da década de 60 que surgem os primeiros mapas digitalizados. Desde então, a evolução tecnológica tem permitido uma grande facilidade de relacionamento entre dois tipos de informação em suporte digital: por um lado, o conjunto de elementos que caracterizam a realidade natural e social, genericamente designados de *atributos*, por outro, a representação cartográfica, através de pontos, linhas e áreas, que constitui a *base gráfica* sobre a qual é possível proceder à análise espacial dos fenómenos e processos ocorridos na realidade físico-social (S. Aronoff, 1989).

Ainda, segundo a definição da FIG (P. F. Dale, 1991, p.87), “a base de um Sistema de Informação sobre o Território é um sistema de referenciação espacial para a informação que o constitui e facilita a ligação dessa informação a outra com ela relacionada”. É assim que surge a ideia de ligação entre a informação de um sistema, mas, sobretudo, procura-se fazer a ligação entre a informação registada na base de dados e a sua representação cartográfica. Está lançada a base que permitiu o desenvolvimento dos SIG. É, com a constituição e evolução dos LIS, que se atinge a ideia genérica dos SIG, preparando-se e desenvolvendo-se uma das funções mais importantes desses sistemas: operatividade e ligação entre base de dados e base gráfica (Burrough, 1992).

Só o avanço tecnológico recente permite alargar as funções dos sistemas de informação, acrescentando ao processo de recolha, armazenagem, consulta e actualização, o de análise, e em particular a análise espacial, modelação e auxiliar de produção de decisões nas mais

variadas áreas de actividade.

3. O que é um SIG?

Num contexto de grande diversidade de utilizadores e de áreas de aplicação, necessariamente teriam de aparecer diversos tipos de conceitos e interpretações sobre o que são os SIG. Conforme os centros de interesse dos utilizadores, é dada uma grande importância, ora ao conjunto de máquinas e programas disponibilizados para o tratamento da informação, ora ao tipo e forma de tratamento da informação trabalhada em ambiente SIG (D. J. Maguire, 1991).

Desta forma, podemos dizer que as diversas definições de SIG vão depender, em grande parte, dos contextos de recolha, do tipo de armazenamento, manipulação e apresentação da informação, das tarefas a executar (consulta, actualização e análise) ou, ainda, da utilização feita (decisão, gestão, investigação,...). Neste contexto, podemos dizer, de forma muito lata, que os SIG têm duas componentes que são complementares: por um lado, o conjunto de máquinas e programas, e, por outro, todo o processo informativo (P. A. Burrough, 1992). O primeiro é essencial para a eficiência do trabalho a realizar, mas o segundo é condição básica para que os resultados a atingir tenham fiabilidade e, portanto, sejam passíveis de utilização. Se é possível a existência de SIG em suporte analógico, não é menos verdade que a quantidade, tratamento e manipulação da informação se torna demasiado limitada. É nesta perspectiva mais lata, que D.G. Maguire (1991, p.11) se refere aos SIG como *"sistemas que trabalham a informação geográfica"*.

Este tipo de definição é de tal forma genérico que parece englobar todo o tipo de sistema de informação desde que a noção de espaço seja

determinante na utilização e tratamento da informação. Isto resulta da grande dificuldade de conciliar interesses de utilização díspares. D.G. Maguire (1991, p.10-11) transcreve onze definições, de vários autores, onde o acento tónico é colocado de forma diferenciada consoante os diversos interesses de utilização dos SIG. Alguns dos autores, citados por D.G. Maguire, dão importância ao armazenar da informação geograficamente referenciada (Doe, 1987; Dueker, 1979; Parker, 1988; Smith et al., 1987), outros sublinham que o mais importante é o conjunto de procedimentos e capacidades de transformação da informação (Aronoff, 1989; Burrough, 1986; Ozemoy, Smith e Sicherman, 1981; Smith et al., 1987). Outros utilizam um SIG como apoio a decisões (Cowen, 1988; Devine e Field, 1986), ou consideram que um SIG é uma entidade institucional, organizacional, com tecnologia, base de dados, especialistas e apoio financeiro (Carter, 1988), ou, ainda, que os SIG se destacam pelo apoio à modelação (Koshkariov, Tikunov e Trofimov, 1989).

Esta diversidade de objectivos só é possível devido às grandes potencialidades dos SIG, quer em quantidades de informação a tratar, quer no que se refere à rapidez de processamento da informação. Se é certo que, sem o desenvolvimento dos programas e máquinas não seria possível a difusão e ampliação da quantidade de informação sobre o meio físico e social, também é certo que, em SIG assume primordial importância o tipo de informação tratada e, sobretudo, a forma como se trabalha essa informação. A facilidade crescente de tratamento da informação, em suporte digital e por meios informáticos de complexidade crescente, veio contribuir para um afastamento do utilizador em relação ao processo de produção da cartografia. A exigência de técnicos especializados para manipular os SIG é crescente e, esse facto, conduziu ao afastamento da produção e

manipulação cartográfica da parte de quem necessita de cartografia para as suas actividades quotidianas.

Nesta perspectiva, a construção de um SIG requer um conjunto de instrumentos de trabalho que se podem resumir a três componentes: tecnológica, a informativa e analítica.

4. A componente tecnológica.

Na actualidade, dada a quantidade e complexidade de informação disponível e necessária para o estudo do meio físico e social, não será possível conduzir uma intervenção capaz, sem recurso a meios tecnológicos poderosos que possibilitem, a curto prazo, organizar, trabalhar e articular a grande diversidade de parâmetros que constitui a análise da realidade do meio físico. Nesse sentido, é cada vez mais comum o recurso a meios informáticos com bom desempenho no processamento da informação. No caso da cartografia e da informação georeferenciada, os SIG têm tido expansão crescente e são uma poderosa ferramenta de trabalho. Sem o bom desenvolvimento da componente tecnológica, os SIG não teriam experimentado a grande expansão dos finais dos anos 80 e década de 90. As potencialidades dos sistemas de informação foram alargadas com o desenvolvimento dos equipamentos informáticos cada vez mais acessíveis, em termos de custos e de manipulação. Desta forma, não se pode dissociar o conceito de SIG do de equipamento informático com grandes capacidades de processamento de programas e de informação em diversos formatos e suportes, bem como das potencialidades de 'display' e produção de cartografia em suporte analógico. Esta é a razão principal por que muitas vezes se confunde SIG com equipamento informático com grandes

potencialidades de processamento da informação.

5. A componente informativa.

A componente informativa é, seguramente, um dos elementos essenciais dos SIG. O tipo de informação que serve de base à constituição do SIG vai condicionar os resultados e qualidade da informação produzida. É, pois, importante que todo o processo de recolha, tratamento e análise da informação seja criteriosamente elaborado para que haja correspondência entre as saídas do SIG e a realidade do meio físico-social (S. Aronoff, 1989). Tratando-se de um sistema, a análise e tratamento da informação está directamente dependente das entradas desse mesmo sistema. Nesse sentido, o processo de produção da cartografia é directamente dependente dos elementos disponíveis para processar no interior do sistema. O mesmo sucederá ao conjunto de informação que constituirá a saída desse sistema. Neste caso, as condicionantes deste tipo de informação dizem respeito, não só às entradas do sistema, mas também à forma como o próprio sistema tratou a informação. A análise espacial promovida no interior de um SIG é largamente condicionada pelo tipo de procedimentos de análise utilizados no desenvolvimento de todo o sistema. Esta é a razão fundamental pela qual, é imperioso o conhecimento cabal da realidade físico-social que vai ser objecto de análise no sistema. Sem este conhecimento não é possível produzir informação ajustada à realidade que pretendemos conhecer, planear e ordenar. Retomaremos esta questão quando, no capítulo A2 desta parte, analisarmos os problemas do cálculo automático dos declives e da produção da respectiva cartografia.

Um dos exemplos em que é mais visível a necessidade de

conhecimento da realidade que diz respeito ao meio físico, é o estudo e cartografia da erosão dos solos, recorrendo à equação da USLE - Universal Soil Loss Equation - (Selby, 1982). Esta fórmula utiliza a noção de erosividade como factor determinante do processo de erosão dos solos. Se utilizarmos como factor de erosividade a precipitação média mensal, e não a intensidade de precipitação, com certeza produziremos uma cartografia, para Portugal, em que as áreas de maior apetência à erosão hídrica dos solos serão cartografadas como áreas de menor risco de erosão. No caso da USLE, este tipo de problema é muito importante, sobretudo quando se produz cartografia a média escala, com recurso a dados de carácter regional. Nos trabalhos de pormenor, onde a leitura por monitorização local são a base da informação destinada a entrar em SIG, é mais fácil o controle da informação recolhida (F. V. Diaz-Fierros et al, 1987 e K. W. Flacke, 1990). Desta forma revela-se muito importante um acompanhamento sistemático do conjunto dos procedimentos que constituem o funcionamento do SIG. O acompanhamento da informação que constitui a entrada em SIG é, a par dos procedimentos internos, o conjunto de etapas que necessitam de acompanhamento de quem tem conhecimento do tipo de informação a utilizar e dos processos próprios da dinâmica do meio físico.

6. A componente analítica.

Os SIG surgem como instrumentos de trabalho capazes de conduzir a um melhor conhecimento da realidade físico-social, permitindo uma maior eficácia no tratamento da informação, na sua interpretação e análise, bem como na explicitação das melhores opções de intervenção ao dispor do homem. Essa capacidade de relacionar a informação constitui um dos

procedimentos fundamentais dos SIG (J. B. Sendra, 1992). A análise espacial, baseada na análise topológica dos elementos gráficos que representam a informação, permite utilizar o sistema para inquirir e perceber a realidade e testar alternativas no âmbito de um processo de decisão, investigação ou modelação.

Para que seja possível esse processo analítico, é necessário que exista uma base de dados onde seja possível relacionar a informação nela registada. Quando se estabelecem ligações entre os elementos dessa base de dados e os elementos gráficos que a representam no espaço, torna-se possível proceder à análise topológica da informação. Essas ligações permitem georeferenciar a informação da base de dados, o que constitui um passo elementar e fundamental para o trabalho em ambiente SIG. Isto permite que o conjunto de operadores lógicos, utilizados na base de dados, possam servir para produzir a cartografia resultante da análise espacial. É possível perceber quais as entidades que são iguais, diferentes, maiores, menores, que se interceptam, que podem ser unidas, que são vizinhas, e visualizar, em monitor ou em suporte analógico, as relações espaciais inquiridas com o auxílio do SIG. Voltaremos a este ponto no capítulo A3 desta parte.

Para que esse processo seja possível é necessário preparar a informação que permita a análise espacial. A elaboração da cartografia permite a visualização da realidade físico-social em suporte digital. Este facto, permite-nos ter acesso a desenhos elaborados com o apoio de equipamento informático, mas não nos permite qualquer tipo de manipulação da informação. É necessário identificar e caracterizar os diversos elementos gráficos, atribuindo-lhes determinadas características, de forma que a pesquisa da informação possa ser feita sobre a base gráfica (C. Jones, 1997;

D. J. Maguire e J. Dangermond, 1991 e P. A. Burrough, 1992).

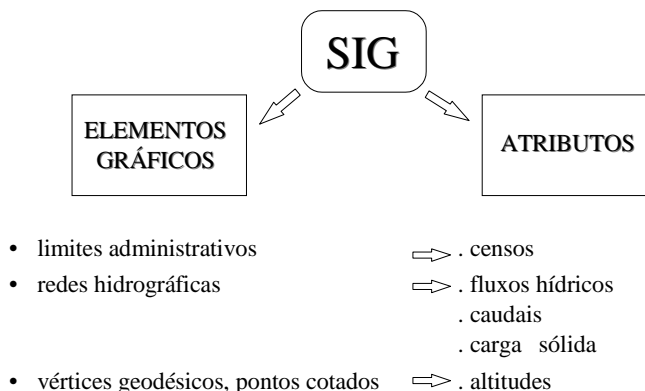


Fig. A1.2: Características principais dos elementos que constituem a informação trabalhada em ambiente SIG, adaptado de Burrough, 1986. Elaborado com base em I. D. H. Sheperd, 1994).

A forma mais directa de proceder a esse processo de identificação da informação consiste na constituição de ligações entre os elementos gráficos do desenho e os respectivos atributos registados na base de dados (fig. A1.2).

Os SIG são sistemas que estabelecem a ligação entre dois tipos de representação da realidade: os *elementos gráficos* que permitem estabelecer relações espaciais entre diferentes entidades, e os *atributos* que permitem caracterizar os elementos cartografados. Os primeiros constituem a base gráfica que permitirá o 'display' da informação cartográfica de base e/ou temática que resultar do trabalho em ambiente SIG. Os segundos constituirão uma base de dados (não espacial) actualizada, onde será registada toda a informação relativa a cada elemento gráfico da cartografia elaborada. Sem estas duas vertentes não é possível desenvolver a análise topológica ou promover as análises quantitativas e qualitativas com base nos elementos gráficos. Voltaremos a este ponto no capítulo A3 desta parte.

A cartografia automática é uma das características fundamentais dos SIG. Os exemplos mais conhecidos são: a construção de mapas de

declives e de exposições, a elaboração de perfis topográficos, a definição de áreas de observação da superfície terrestre a partir de um ponto e a definição de linhas de maior inclinação de uma superfície topográfica. Estas tarefas podem ser desempenhadas por um SIG. Para isso, há que construir um modelo digital de elevação (DEM-Digital Elevation Model). Este modelo vai condicionar todo o cálculo automático, e com isso, a cartografia automática que dele resultar.

Atendendo às considerações feitas, é fácil perceber que, na nossa opinião, os SIG têm uma importância que lhes advém, da capacidade de processar, analisar e calcular automaticamente grande quantidade de informação, mas, sobretudo, do rigor com que a informação é introduzida e tratada no sistema. Tanto a componente informativa como a analítica devem ser a base de todo o SIG.

Capítulo A2 - Cartografia automática e cartografia do meio físico.

1. A cartografia dos declives como suporte ao planeamento físico e ordenamento de território.

O suporte digital da informação propiciou a criação de modelos de representação gráfica a três dimensões à semelhança dos blocos diagramas. Este tipo de representações têm permitido sensibilizar as entidades públicas para a utilização da informação geográfica física nos seus estudos e projectos que, dados os prazos de execução muito limitados, não dispõem de tempo para utilização da cartografia em suporte analógico (Rebelo, F. 1976).

A construção dos modelos a 3D é essencial para aos estudos sobre o meio físico, já que permite a elaboração da cartografia automática dos declives, das exposições ou até a elaboração de perfis topográficos. Estes elementos constituem informação essencial sobre o meio físico. No caso dos mapas de declives é possível perceber muitos elementos que se referem à dinâmica natural do meio físico. Já não se trata de saber qual o suporte físico à acção humana, mas de prever as consequências dessa acção nos processos e dinâmicas do meio físico. Um utilizador com um bom conhecimento da dinâmica do meio físico de uma área poderá, com o auxílio dos mapas de declives, concluir e tirar ilações importantes para o ordenamento dessa área (R. U. Cooke e J. C. Doornkamp, 1990, e C. Mitchell, 1991).

Embora o estudo sobre o meio físico já tenha permitido perceber as grandes influências entre a dinâmica desse meio e acção do homem, é possível, hoje, e de uma forma mais acessível, estudar o meio físico como sistema natural antropizado e não como suporte físico capaz de absorver todas as consequências da acção humana. Os exemplos mais divulgados são os estudos de impacte ambiental. Neles o meio físico não é encarado como algo ao dispor do homem mas como sistema no qual o homem se integra e interage.

Nesse processo de análise do meio físico é essencial a informação geográfica física. Se essa informação, apesar de útil, era difícil de tratar, hoje ela está mais acessível dada a facilidade concedida pela utilização dos SIG.

Do conjunto de considerações feitas podemos concluir que a cartografia automática dos declives é cada vez mais utilizada, quer em estudos de planeamento e ordenamento do território (veja-se a elaboração dos diversos Planos Directores Municipais - PDMs), quer em trabalhos de investigação. Há, no entanto, necessidade de compreender a forma e metodologia de elaboração automática deste tipo de cartografia, sob pena de introdução de erros na utilização dos dados que ficam ao nosso dispor.

2. Métodos de elaboração das cartas de declives.

2.1. Métodos manuais, com base em suporte analógico.

Os métodos de elaboração das cartas de declives em suporte analógico recorrem, com frequência, a cartas topográficas, utilizando a informação disponibilizada pelas curvas de nível. São vários os métodos utilizados, mas é frequente encontrarem-se mapas de declives construídos a partir da utilização de uma quadrícula ou ainda medindo a distância entre

duas curvas de nível (F. Rebelo, 1976).

1º O método da quadrícula.

Este método consiste na sobreposição de uma grelha sobre a área onde se pretende cartografar os declives. A dimensão da quadrícula vai depender quer da escala do mapa que temos ao nosso dispor, da informação que ele disponibiliza (equidistância das curvas de nível) e do grau de pormenor desejado. Em cada quadrado é contabilizado o número de curvas de nível que existem. Consoante as classes previamente definidas, assim é cartografada a quadrícula em análise. Suponhamos que pretendíamos calcular os declives de uma área com as seguintes classes: 0-5°, 5-10°, 10-15°, 15-20°, 20-25° e mais de 25°. Ao constituir uma grelha de 5mm de lado para cada quadrado numa escala de 1:25000, estamos a considerar que cada lado dessa grelha corresponde a 125m no terreno. Isso significa que, para um quadrado ser contabilizado como pertencendo à primeira classe é necessário que o lado da quadrícula seja cruzado por uma curva de nível, desde que a equidistância seja de 10m. De acordo com a fig. A2.1, substituímos o valor do cos a pela distância entre os dois pontos, medida na horizontal (125 m), e o valor do sen a pela diferença de altitudes. Esta substituição permite utilizar a relação trigonométrica entre sen a e cos a ($\text{tg } a = \frac{\text{sen } a}{\text{cos } a}$) aplicada ao cálculo da inclinação das superfícies topográficas (R. V. Dackombe e V. Gardiner, 1983). Este valor corresponde à inclinação da superfície topográfica situada entre a curva de nível mais elevada e a mais baixa que cruzam o lado do quadrado. Para um declive de 5° essa diferença terá que ser de 10,9m, o que corresponde a uma curva de nível que intercepte o lado do quadrado.

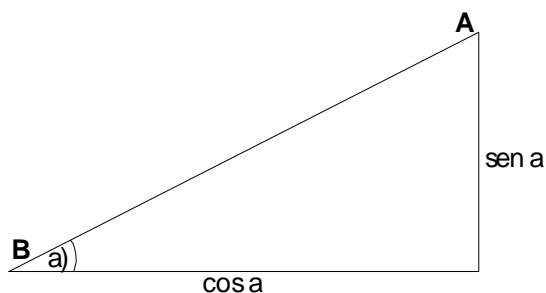


Fig. A2.1: Declive do ângulo a) corresponde ao inverso da tangente de a), que pode ser calculada com a divisão do $\text{sen } a$ pelo $\text{cos } a$.

Esta leitura do número de curvas de nível faz-se no lado do quadrado que apresenta intercepção de maior número de curvas de nível (fig. A2.2 - A). No entanto, supondo que as curvas de nível apresentam uma disposição oblíqua aos lados do quadrado, o declive lido poderia ser diferente, embora a distância entre curvas de nível possa ser a mesma (fig. A2.2 - B). Neste caso, para tentar suprir essa lacuna utiliza-se a diagonal do quadrado. O declive real é o mesmo, mas, se fizermos a leitura na diagonal, o método da quadrícula introduzirá um erro². Estaríamos a contabilizar as três curvas de nível e a fazer a leitura do declive por um valor mais elevado, já que a distância na horizontal, definida pela leitura na diagonal, não é a mesma do lado do quadrado. Para corrigir esse erro teríamos de refazer os cálculos dos valores da tangente do ângulo limite da classe já que o valor que substitui o cos do ângulo já não pode ser calculado com base na distância de 125m, mas com base na distância da diagonal do quadrado onde foram contadas as curvas de nível. Nesse caso, o valor corresponderia à raiz quadrada de $H^2 = 125^2 + 125^2$, onde H corresponde à hipotenusa do triângulo rectângulo definido por metade do quadrado. Se forem contabilizadas 3 curvas de nível e se no cos não for utilizado o valor da hipotenusa (176,8m),

² Este método é perfeitamente aplicável para quem pretende fazer uma leitura global dos declives de uma área (F. Rebelo, 1976) e apresenta-se como um método menos moroso, mais simples e de efeitos práticos aceitáveis. No entanto, quando se pretende aplicar a estudos localizados ou de escala pormenorizada torna-se difícil evitar erros dos que acabamos de apresentar.

isso poderá implicar a classificação dessa área noutra classe de declives.

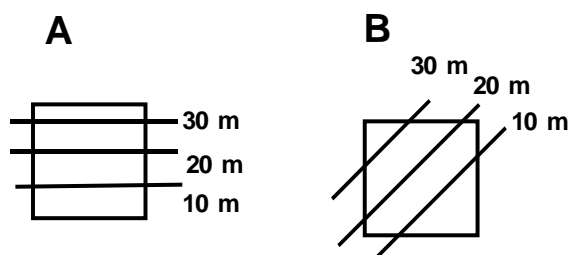


Fig. A2.2: A disposição do traçado das curvas de nível podem influenciar a classe de declives a atribuir a um quadrado. A distância entre as curvas de nível é idêntica, tanto em A, como em B.

2º Método das áreas homogêneas.

Este método é bastante mais moroso do que o método da quadrícula. Com efeito, consiste na medição da distância entre duas curvas de nível executada com o auxílio de uma régua construída de acordo com a escala do mapa topográfico e equidistância das curvas de nível. Numa folha de papel de engenharia traçam-se as distâncias máximas que duas curvas de nível deverão ter para estar integradas em determinada classe de declives. Faz-se percorrer esta régua entre duas curvas de nível. Quando a distância das curvas de nível for inferior a uma das distâncias marcadas na régua e superior à seguinte então o espaço percorrido deverá ser colorido com a cor da classe de declives correspondente à 1ª distância (fig. A2.3).

Ao trabalharmos à escala 1:25000 e com equidistância de 10m, teremos o cálculo dos declives através da fórmula: $\text{declive} = \text{arc tg} (\text{sen}/\text{cos})$, onde substituímos o sen a pelo valor da equidistância das curvas de nível. No caso da primeira classe com o limite superior de 5°, a distância que lhe corresponde é de 114,3m. No mapa, essa distância corresponde a 4,6mm. A régua que nos serve de referência terá que ter a distância de 4,6mm para o

limite da classe de declives 0-5°, que nos permitirá identificar os lugares onde se verifica esse declive (fig. A2.3).

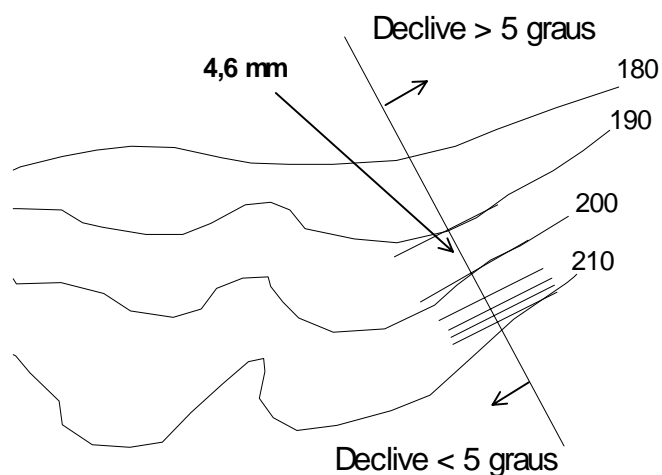


Fig. A2.3: Cálculo de declives pelo método das áreas homogêneas.

Este método parece bastante mais fiel do que o método da quadrícula. Para quem pretende fazer uma leitura de pormenor dos declives, ele ultrapassa algumas deficiências do método da quadrícula, que, como já referi, para uma leitura global dos declives de uma área apresenta-se perfeitamente aceitável (F. Rebelo, 1976, e F. J. Mounkhouse e H. R. Wilkinson, 1963).

Este método apresenta alguns inconvenientes que convém tornar explícitos:

- sendo muito demorado de executar, conduz rapidamente ao cansaço do operador o que exige intervalos frequentes na sua execução. Caso não se proceda deste modo, a capacidade de rigor do operador diminui drasticamente, o que põe em causa a utilidade que o mapa poderá ter em virtude do eventual rigor que se pretende. Acresce que, depois de um intervalo grande, as opções entre as diferentes classes nem sempre são as

mesmas o que torna muito relevante o aspecto subjectivo desta cartografia;

- a aplicação deste tipo de leitura só deverá ser feito para escalas de grande pormenor. Quando utilizado na escala de 1:25 000 (com equidistância de 10 m) é extremamente difícil distinguir entre as classes de declives mais elevados (superiores a 20°). Por vezes, a dificuldade é de tal ordem que o operador terá que fazer opções entre classes de acordo com o aspecto dos declives envolventes. Neste caso, a subjectividade volta a adquirir um papel importante. É a experiência do operador e o conhecimento da área de trabalho que permite fazer as melhores opções;

- quer em interflúvios estreitos, quer nos fundos dos vales (junto às linhas de água) é impossível obter duas curvas de nível para que se possa avaliar a distância entre elas e, portanto, fazer a leitura dos declives. Na fig. A2.4 a área sombreada representa sectores onde a leitura dos declives depende, em larga medida, da experiência do operador e da percepção dos declives nas áreas envolventes. Mesmo que essa experiência seja grande, o grau de subjectividade é sempre um factor que domina a elaboração de alguns sectores dos mapas de declives, utilizando esta metodologia. Um vale dissimétrico constitui um exemplo em que o valor dos declives de ambas as margens deverá ser diferente, apesar de não termos curvas de nível para fazer a leitura das distâncias entre elas;

- quase nunca se faz uso dos pontos cotados. Em áreas em que a variação das altitudes é inferior à equidistância entre duas curvas de nível, os pontos cotados constituem informação da maior relevância. Com o uso das régua de leitura elaboradas para a utilização deste método os pontos cotados são ignorados, ou são utilizados como leitura de referência. O cálculo dos declives utilizando os pontos cotados exige a realização de interpolações

muito morosas. As mais das vezes são ignorados, sobretudo se se encontram a meia vertente.

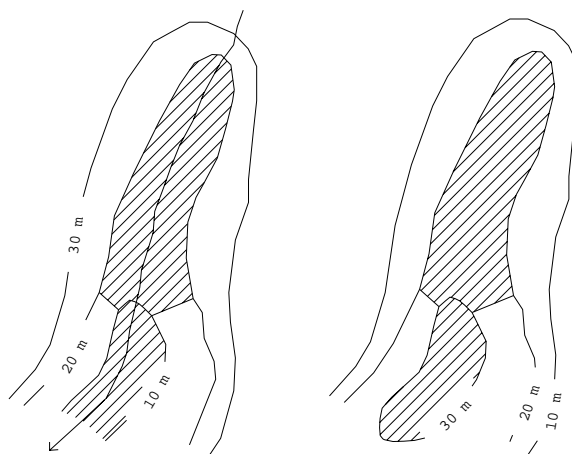


Fig. A2.4: As áreas sombreadas representam sectores onde, por falta de curvas de nível, não é possível a utilização de réguas construídas para medir a sua distância.

2.2. Cartografia automática dos declives e modelos digitais de elevação (DEM)³.

Com a cartografia automática é possível executar mapas de declives e, dessa forma, suprimir alguns aspectos subjectivos que estão inerentes à sua elaboração. No entanto, a execução automática da cartografia exige um conhecimento das diversas metodologias que os sistemas colocam ao nosso dispor⁴.

Analisaremos duas metodologias utilizadas na cartografia automática que apresentam semelhanças evidentes com os métodos que descrevemos nas páginas anteriores relacionadas com a informação disponível em suporte analógico.

A construção dos modelos digitais de elevação, também

³ DEM - do Inglês Digital Elevation Models.

⁴ Na cartografia apresentada foi utilizado software Intergraph, disponível no Departamento de Geografia do Porto.

designados por modelos digitais de terreno⁵, têm permitido a simulação de importantes intervenções no meio físico. A engenharia, com a utilização destes modelos, simula as alterações no meio físico, permitindo visualizar, antecipadamente, a três dimensões, os resultados pretendidos. É a construção destes modelos que permite a elaboração de alguma cartografia automática, nomeadamente as cartas de declives e de exposições.

A recolha da informação para a construção dos modelos digitais de elevação tem sido feita a partir de "... mapas de curvas de nível já existentes, por análise fotogramétrica a partir da estereoscopia de fotografia aérea, ou ... por análise automática de informação recolhida por imagem de satélite em estereoscopia" (S. Aronoff, 1989, p.121)⁶.

A partir da informação disponível procura-se seleccionar um conjunto de elementos que permitam a construção dos modelos digitais de elevação. Esses elementos deverão possuir informação de três coordenadas diferentes: latitude, longitude e altitude. A forma como seleccionamos a informação que vamos utilizar na construção do modelo é essencial para que este seja o mais representativo possível em relação à realidade que se pretende representar.

Ainda segundo Aronoff (1989), a selecção da informação relevante para a construção dos modelos digitais de elevação (DEM), pode ser feita de diversas formas das quais destacamos duas:

- em grelha (GRID) e

⁵ Na bibliografia especializada aparecem frequentemente as duas designações sem que se antevejam diferenças significativas. É, no entanto, preferível a designação de modelo digital de elevação, dando realce ao seu aspecto tri-dimensional, já que a noção de 'terreno' está ligada ao tipo de informação que o modelo representa.

⁶ "... existing contour maps, by photogrametric analysis of stereo aerial photography, or ... by automate analysis of stereo satellite data"(S. Aronoff, 1989, p.121).

- com rede irregular de triangulação(modelo TIN⁷).

No primeiro caso, são considerados pontos relevantes para construção do modelo os que constituem uma grelha justaposta sobre a carta que é fonte de informação (fig. A2.5). Este conjunto de pontos vai constituir a informação base de todas as operações a fazer posteriormente. A altitude de cada ponto é calculada com base nas altitudes das curvas de nível mais próximas. Muito poucos pontos coincidirão com as curvas de nível, o que tem reflexos evidentes no mapa já que as simplificações do modelo são evidentes. Para que os erros e simplificações do modelo sejam pequenos é necessário que a grelha seja muito fina o que se torna difícil de executar para áreas de grandes dimensões.

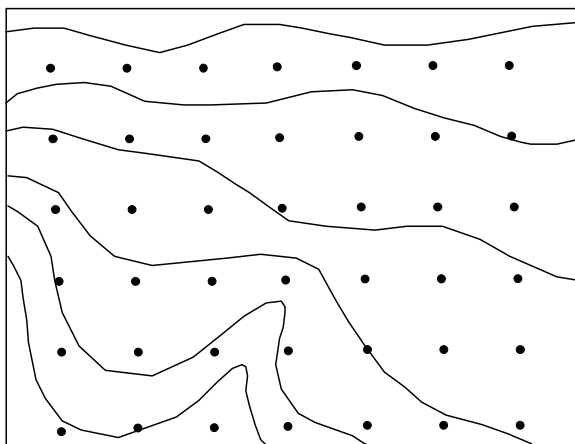


Fig. A2.5: O cálculo dos declives para cada ponto da grelha utilizada no âmbito dos modelos GRID são feitos por interpolação do valor da altitude, já que a grande maioria não coincide com as curvas de nível. Extraído de S. Aronoff, 1989.

Por outro lado, mesmo com grelhas de grande densidade de pontos, mas sem grande pormenor no conjunto de curvas de nível disponíveis, não é possível reduzir os erros nos cálculos das altitudes dos vários pontos feita por interpolação. É, portanto, necessário estudar cuidadosamente a dimensão da grelha, a escala a que procedemos a recolha da informação e

⁷ Do Inglês: Triangulated Irregular Network-TIN.

as características do relevo da área em análise.

Daqui resulta que, sendo a informação recolhida à escala de 1:25 000 e/ou 1:50 000, é extremamente arriscado proceder a ampliações dos mapas resultantes da utilização deste modelo⁸.

Do ponto de vista do rigor da informação, nada impede que a cartografia que serve de fonte de informação tenha mais pormenor, mesmo que a sua utilização se faça a uma escala menor. No entanto, essa opção eleva em demasia os custos da recolha, encontra dificuldades acrescidas uma vez que não existe disponibilidade de informação geográfica digitalizada, em especial em escalas de grande pormenor, e pode tornar mais difícil o trabalho com ficheiros de grandes dimensões.

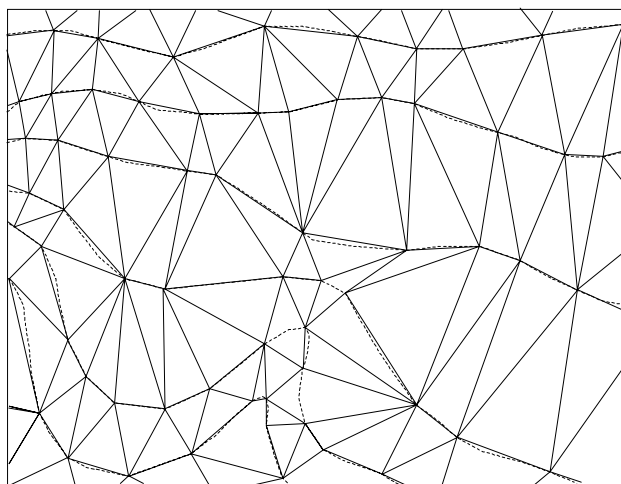


Fig. A2.6: Triangulação segundo o modelo TIN. Extraído de S. Aronoff, 1989.

Neste modelo, em que a distribuição dos pontos da malha é uniforme, esta questão é essencial e determinante para garantir uma boa fiabilidade dos resultados finais.

No segundo caso, o modelo TIN "... é produzido a partir de um conjunto de pontos elevados irregularmente espaçados... . Uma rede de lados

⁸ Como veremos, o mesmo risco está sempre presente para outros modelos, nomeadamente no modelo TIN.

de triângulos é ajustada a estes pontos. As posições das coordenadas e das elevações de três pontos formando os vértices de cada faceta triangular são usadas para calcular cada um dos parâmetros do terreno tal como os declives e as exposições" (S. Aronoff, 1989, p.122)⁹.

De notar que os pontos que servem de base para a triangulação são os que coincidem com os pontos dos vectores que constituem as curvas de nível e que serviram à sua digitalização, bem como os pontos cotados (fig. A2.6).

No caso do modelo TIN o rigor da informação depende, no fundamental, e mais uma vez, da escala de recolha da informação e do pormenor com que foi feita a digitalização. No entanto, os pontos utilizados correspondem, em teoria, às altitudes efectivas. Estes não dependem de interpolações como no caso do modelo grelha.

As diferentes irregularidades espaciais do relevo não são disfarçadas por uma qualquer grelha justaposta ao mapa de origem, mas tão só da informação disponível. No modelo TIN, é a equidistância entre as curvas de nível que vai determinar o rigor da informação de base da cartografia automática. Ao contrário, no modelo GRID, para além da equidistância das curvas de nível, também o espaçamento da grelha determina o grau de fidelidade da informação construída a partir do modelo.

Acresce que, com a informação em suporte digital, é possível utilizar os pontos cotados como informação relevante para a construção dos modelos. Neste caso, a leitura do relevo entre as curvas de nível vai ser

⁹ "... is produced from a set of irregularly spaced elevation points A network of triangular facets is fit to these points. The coordinate positions and elevations of the three points forming the vertices of each triangular facet are used to calculate such terrain parameters as the slopes and aspect" (S. Aronoff, 1989, p.122).

melhorada com a leitura da distância destas para os pontos cotados.

2.3. Síntese.

Do que foi dito, é fácil verificar a grande semelhança entre os métodos de cálculo de declives com informação disponível em suporte analógico e a informação disponível em suporte digital. Pode ser comparado o método da quadrícula com o modelo grid. De igual forma, o método de medição das distâncias entre curvas de nível encontra traços comuns com o cálculo dos declives com recurso ao modelo TIN. Em todos os processos metodológicos utilizados calcula-se o declive do ângulo (a) de uma superfície definida por dois pontos (A e B) com a horizontal ($\arctg(\frac{\text{sen } a}{\text{cos } a})$) (fig. A2.1).

Por outro lado, é notória a necessidade que há de identificar as metodologias de trabalho que estão na base da elaboração da cartografia, automática. Da mesma forma, parece extremamente relevante que se conheça o tipo de informação que serviu de suporte à constituição dos modelos digitais de elevação. É fundamental saber-se a que escala foi seleccionada a informação e sobretudo que equidistância das curvas de nível foi utilizada. A manipulação da escala é cada vez mais frequente dados os programas disponíveis, pelo que se torna fácil produzir mapas de grande escala, promovendo generalizações abusivas mas, no entanto, difíceis de detectar para quem não conhece o terreno em pormenor.

3. Questões suscitadas pela análise de alguns exemplos de mapas de declives feitos automaticamente.

Neste ponto procuramos apresentar alguns exemplos de mapas de declives construídos automaticamente. A elaboração destes mapas permitiu-

nos levantar algumas questões sobre o conjunto de cuidados a ter quando utilizamos os programas de um sistema de informação geográfica para elaboração de cartografia automática.

Os exemplos que se seguem não pretendem resultar na escolha do melhor método para o cálculo dos declives, antes pretendem chamar a atenção para os problemas associados a uma tecnologia nova na elaboração de cartografia e, eventualmente, na produção de informação geográfica¹⁰.

3.1. A utilização de diferentes escalas com a mesma informação. O problema da digitalização.

Procuramos elaborar mapas de declives para a mesma área, com base na mesma informação geográfica, mas a escalas diferentes. Considerando que grande parte da informação geográfica não está disponível em suporte digital, é necessário proceder-se à digitalização dessa informação. Neste caso, tendo como base o levantamento a 1:10 000 e 1:5 000 do Instituto Geográfico e Cadastral e com uma mesa digitalizadora, com distância entre pontos de 0,25 mm, digitalizou-se a hipsometria a ambas escalas (figs. A2.7 e A2.8).

Da observação das áreas cartografadas com declives mais elevados (>10°) é fácil verificar que existe uma maior variação espacial dos declives no mapa da fig. A2.8. Poderíamos pensar que a sua variação corresponderia a um maior pormenor e portanto a um maior rigor no cálculo dos declives e elaboração dos mapas. Nada mais falso. À fig. A2.8 corresponde a escala 1:10 000 o que teoricamente corresponde a uma escala de menor pormenor do que o mapa da fig. A2.7 (1:5 000). Apesar de

¹⁰ Não se pretende promover a discussão sobre a possibilidade de os SIG constituírem uma nova tecnologia que permite automatizar a produção de cartografia ou se também são geradores de informação geográfica, pelo conjunto de metodologias que utilizam.

escalas diferentes

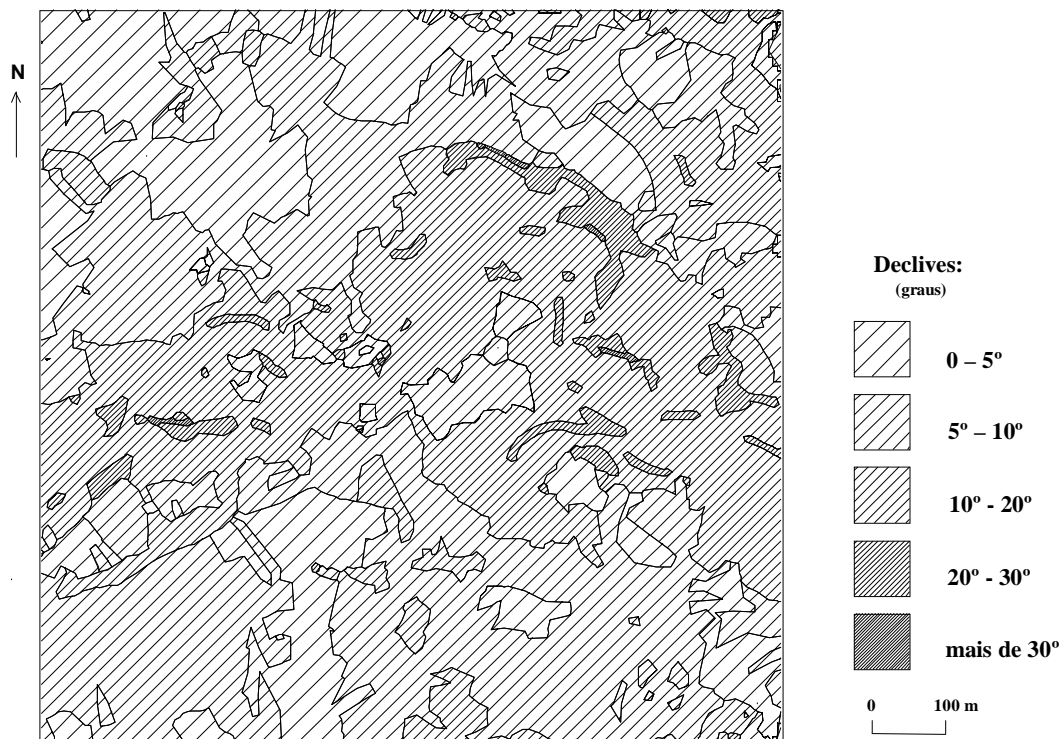


Fig. A2.7: Mapa de declives (Azurém/Guimarães). Hipsometria digitalizada à escala 1:5000.

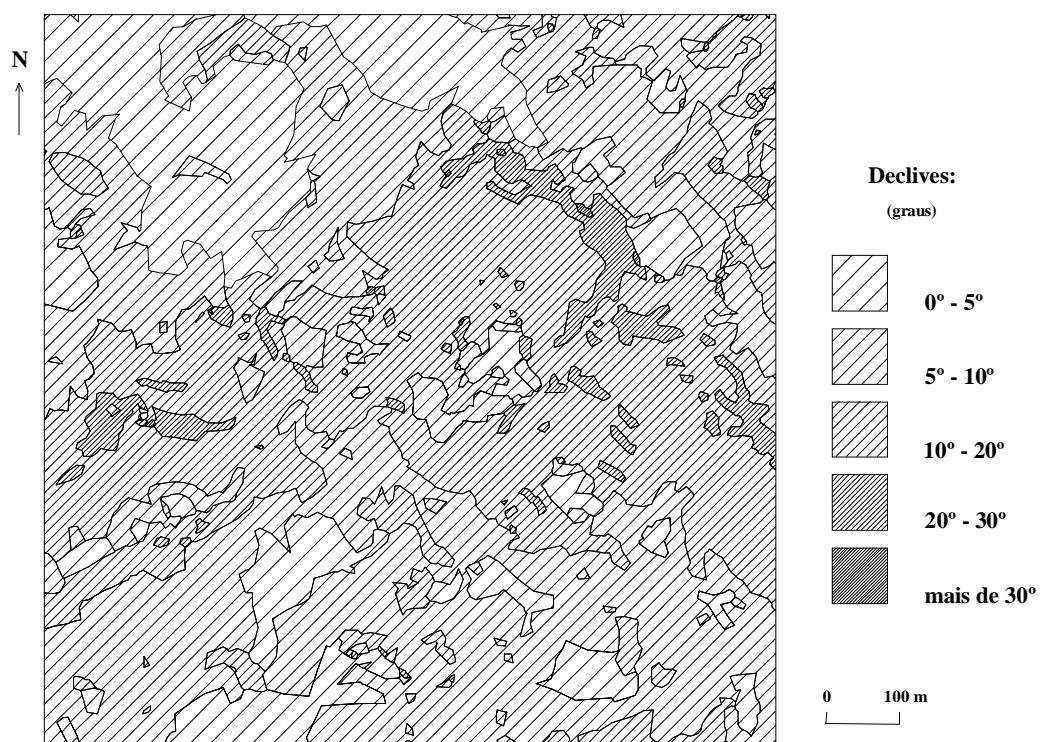


Fig. A2.8: Mapa de declives (Azurém/Guimarães). Hipsometria digitalizada à escala 1:10000.

a informação de base é a mesma, já que o mapa da fig. A2.8 foi feito com

base na carta a 1:10 000, reduzida da escala 1:5 000. Portanto, a informação de base é exactamente igual.

A única e grande diferença diz respeito à escala em que é digitalizada a informação. As diferenças na elaboração dos mapas de declives, neste caso, vão depender, no essencial, do processo de digitalização. A digitalização das curvas de nível (com recurso à mesa de digitalização ou mesmo à digitalização automática e semi-automática) a pequena escala, por muito cuidadosa e rigorosa que seja, permite a realização de erros cuja repercussão em termos de cartografia final é maior do que no caso das grandes escalas (quadro A2.1). Um erro de 1 mm na digitalização de uma curva de nível provoca um erro de 25 m no terreno, à escala 1:25 000, ao passo que o mesmo erro na digitalização provoca um erro no terreno de 2 m, à escala 1:2 000. Este facto é suficiente para conduzir a uma alteração de classe de declives na cartografia da área em estudo. Com efeito, a margem de erro tolerada na cartografia dos declives, numa pequena escala, é menor do que nas grandes escalas.

Erro na carta	Escala	Erro no terreno
1 mm	1:25 000	25 m
1 mm	1:10 000	10 m
1 mm	1:5 000	5 m
1 mm	1:2 000	2 m

Quadro A2.1: Importância dos erros de digitalização no cálculo dos declives.

Com uma equidistância de 5 m, e para que os declives sejam superiores a 10° é necessário que a distância no terreno seja inferior ou igual a 28,4 m (valor aproximado, por excesso). Com um erro de digitalização de 0,5 mm teremos um erro no terreno de 5 m (escala 1:10 000). Em contrapartida,

na digitalização à escala de 1:5 000 verifica-se que um erro de 0,5 mm corresponde no terreno a 2,5 m (fig. A2.9). Neste caso, a possibilidade de um erro de digitalização contribuir para a modificação da classe de declives a atribuir a uma área, é menor. Isto explica a menor variação dos declives à escala de 1:5 000 para valores de declives elevados.

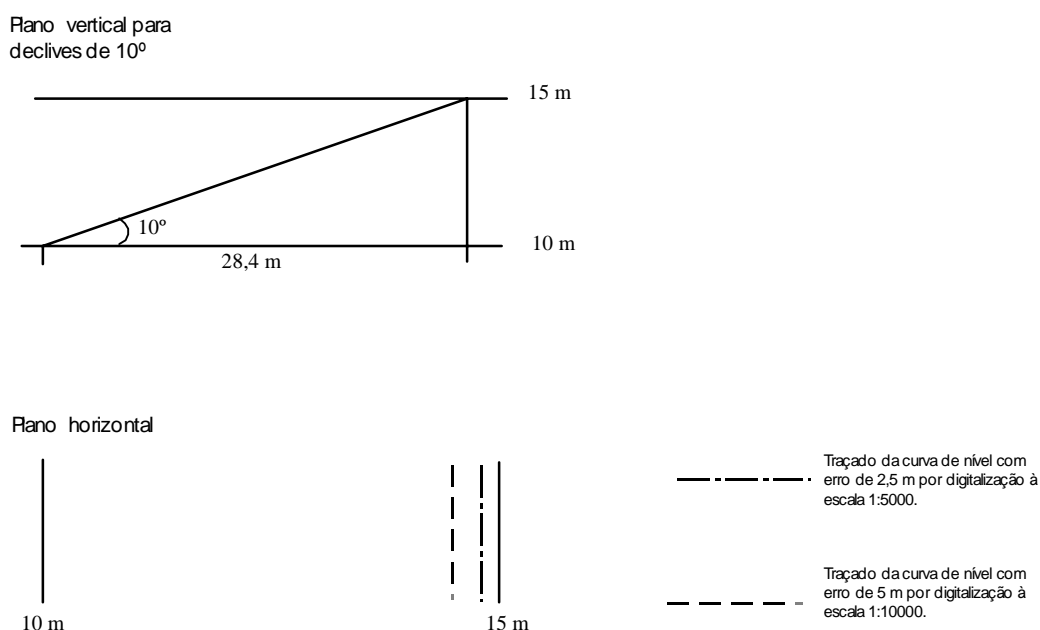


Fig. A2.9: Um erro de digitalização (no exemplo, de 0,5 mm), por pequeno que seja, a diferentes escalas, pode conduzir a variações na classificação dos declives, e portanto, a cartografia diferente. Basta que, para tal, seja cometido no limite da classe de declives previamente definida.

Ao contrário do que se poderia supor, o mapa da fig. A2.8, apesar de parecer mais pormenorizado, não dá mais rigor ao cálculo dos declives e ao traçado das áreas. É preferível a utilização de escalas maiores na digitalização da informação geográfica já que diminui o carácter subjectivo inerente a esta tarefa. O aspecto de maior pormenor do mapa da fig. A2.8 corresponde tão só ao menor rigor na digitalização das curvas de nível e reflecte uma maior propensão ao erro daí resultante.

Este exemplo permite fazer realçar os cuidados a ter na leitura dos

declives calculados e cartografados automaticamente. Os problemas de escala são, porventura, os problemas mais importantes na introdução da informação geográfica que serve de base à cartografia automática (neste caso a hipsometria). O exemplo mostra como a redução da escala de 1:5 000 para 1:10 000 a que foi digitalizada a hipsometria explica as diferenças encontradas nos dois mapas. Por vezes, é frequente encontrar a mesma hipsometria a escalas diferentes¹¹. Como já foi referido, os resultados não são os mesmos e, portanto, não são comparáveis. É essencial que, para estudos de pormenor, utilizemos a cartografia de declives cuja elaboração se fez com a recurso à informação geográfica disponível a uma escala adequada.

3.2. A utilização de diferentes escalas com informação diferente.

Os mapas das figs. A2.10 e A2.11 foram construídos a partir da hipsometria recolhida também a diferentes escalas. No entanto, a cada escala corresponde informação diferente. No mapa da fig. A2.10 a hipsometria foi digitalizada à escala 1:10 000, com equidistância de 10 m, com base no levantamento aero-fotogramétrico do Instituto Geográfico Cadastral, ao passo que no mapa da fig. A2.11 a informação foi digitalizada à escala 1:25 000, com equidistância de 10 m, com base no levantamento aero-fotogramétrico do Instituto Cartográfico do Exército.

Apesar dos erros de digitalização serem mais importantes em escalas mais pequenas (ver alínea a) deste ponto), o que poderia provocar maiores variações espaciais na cartografia das diversas classes de declives, verifica-se que, na de 1:25 000 há uma maior generalização sobretudo nas classes de declives menores. Esse facto poderia ser atribuído ao menor

¹¹ Frequentemente, as autarquias dispõem da escala 1:5 000 para as áreas urbanas e 1:10 000 (reduzido) para o restante concelho.

pormenor da informação disponível. No entanto, verifica-se que a equidistância das curvas de nível é de 10 m em ambos os mapas, invalidando essa explicação. Por outro lado, a informação recolhida a 1:10 000 contribuiu para a elaboração de cartografia com maior pormenor nas áreas de declives médios (10° a 20°) e superior (20° a 30°).

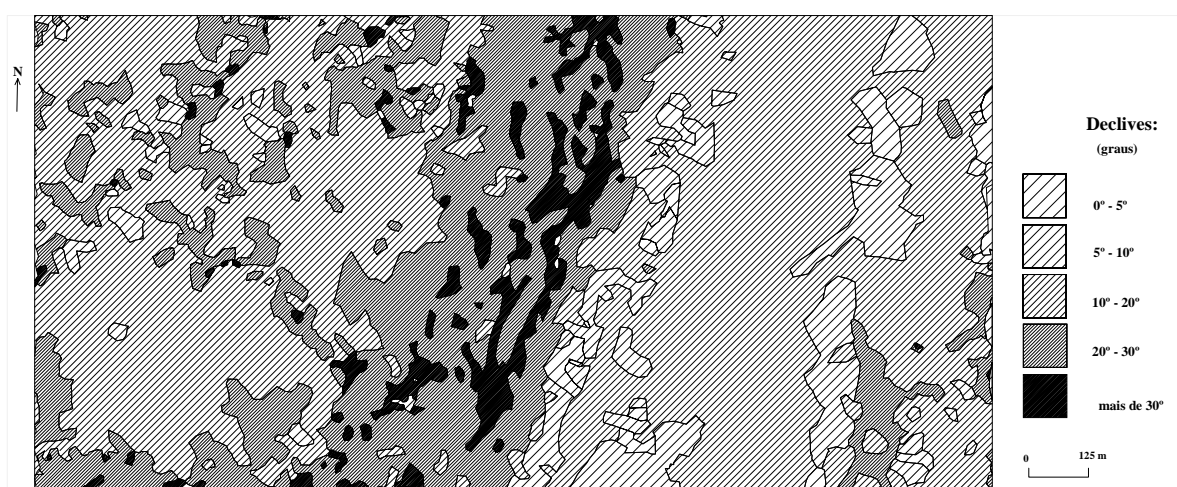


Fig. A2.10: Mapa de declives (Covelo/Gerês). Hipsometria digitalizada à escala 1:10000.

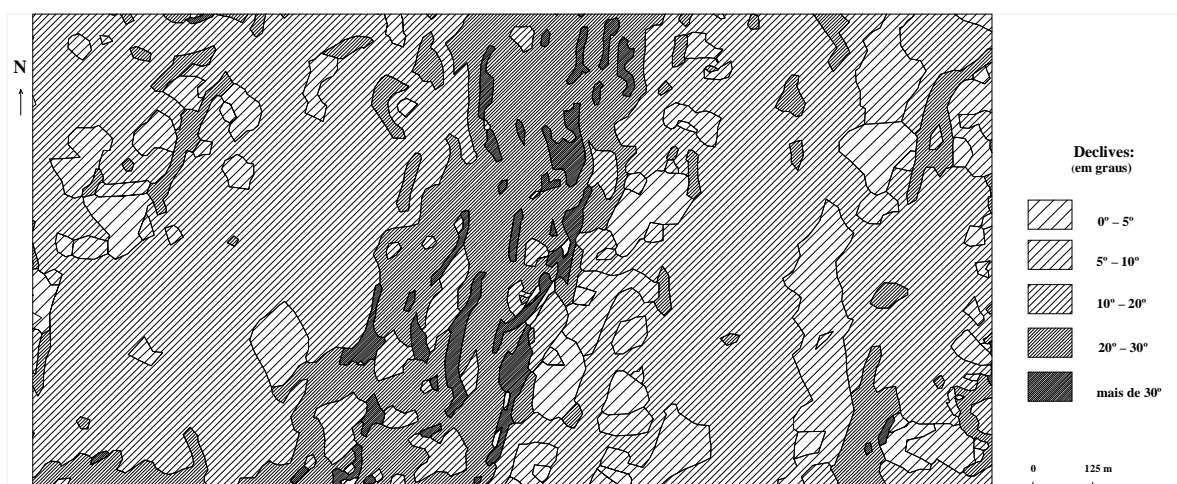


Fig. A2.11: Mapa de declives (Covelo/Gerês). Hipsometria digitalizada à escala 1:25000.

Neste exemplo, duas explicações parecem mais prováveis. Por um lado, a informação geográfica da escala 1:25 000 não resultou da redução da informação geográfica a 1:10 000. A falta de pormenor evidenciada no mapa da fig. A2.11 resulta do menor rigor com que foi traçada a hipsometria à

escala de 1:25 000, por condicionalismos que se prendem com a elaboração da cartografia a esta escala. Apesar da equidistância ser igual em ambos os mapas, a hipsometria traçada a 1:25 000 apresenta-se mais generalizada do que a 1:10 000. A escala escolhida para traçar a hipsometria condicionou o grau de aderência à realidade, impondo generalizações à escala de 1:25 000 que podem ser evitadas à escala de 1:10 000. Neste caso, não é, directamente, a escala a que digitalizamos a hipsometria que condiciona o modelo digital de elevação, mas a informação que lhe serviu de base, que, por seu lado, é condicionada pela escala a que é trabalhada.

Usualmente pensamos que a escalas diferentes correspondem equidistâncias diferentes das curvas de nível. No exemplo que se apresenta, a informação geográfica é diferente nas diversas escalas, não por terem equidistâncias de curvas de nível diferentes, mas porque a hipsometria pode ter um traçado mais pormenorizado nas escalas maiores, contribuindo para uma maior aderência do modelo à realidade.

3.3. Diferentes metodologias do cálculo dos declives em SIG: os modelos GRID e TIN.

Na elaboração dos mapas de declives pelo método da quadrícula, em geral aplicada à escala 1:25 000 e com equidistância de 10 m, a dimensão do lado do quadrado é de 0,5 cm, o que corresponde, no terreno, a 125 m. Na cartografia automática o cálculo dos declives pelo modelo GRID permite uma quadrícula mais densa. No exemplo dos mapas das figs. A2.12 e A2.13 foi utilizada uma quadrícula cujo quadrado tem de lado, no terreno, 50 m. Como facilmente se verifica o pormenor dos mapas fica muito aquém do que se verifica com os mapas construídos com recurso ao modelo TIN (figs A2.7 e A2.8). São várias as áreas onde a generalização dos declives é visível.

A comparação dos mapas figs A2.7, A2.8, A2.12 e A2.13, permite ilustrar o grau de generalização deste método. Ao observarmos os mapas A2.12 e A2.13 concluímos pelo maior pormenor do segundo em relação ao primeiro. A quadrícula de 50 m, medida no terreno, consegue um cálculo mais rigoroso à escala de 1:10 000 do que à escala de 1:5 000. Embora não tenha sido construída uma grelha para ajustar à hipsometria e calcular os declives em ambas as escalas (procedimento usual no cálculo manual), o facto de adoptarmos a mesma distância no terreno, para o modelo GRID, permite concluir que foram utilizadas duas grelhas com quadrados de 1 cm e 0,5 cm de lado para o cálculo dos declives nos mapas A2.12 e A2.13, respectivamente.

Desta forma, fica claro que o grau de pormenor da cartografia automática dos declives com utilização do modelo GRID depende não só da distância atribuída à grelha de cálculo, no terreno, mas sobretudo da relação desta com a escala do mapa. Recordamos que a hipsometria que serviu de base a A2.12 e A2.13 é igual (a escala de 1:10 000 resulta da redução de 1:5 000), pelo que, ao aplicarmos uma grelha de 1 cm de lado à escala de 1:5 000, devemos ter o mesmo resultado, pelo menos no plano teórico, que teríamos se aplicássemos uma grelha de 0,5 cm à escala de 1:10 000. Na prática, o conjunto de manchas da classe de 0-5° que desapareceram com a utilização do modelo GRID por comparação com o modelo TIN são mais numerosas no caso dos mapas A2.7 e A2.12 (escala 1:5 000) do que nos mapas A2.8 e A2.13 (escala 1:10 000). Daqui se conclui que só uma relação entre escalas, distância no terreno e quadrículas, sempre implícita na utilização dos modelos GRID, permite o cálculo dos declives com boa aderência à realidade.

Mais uma vez fica demonstrada a eficiência dos mapas de declives nas leituras de conjunto da morfologia da superfície terrestre. No que se refere

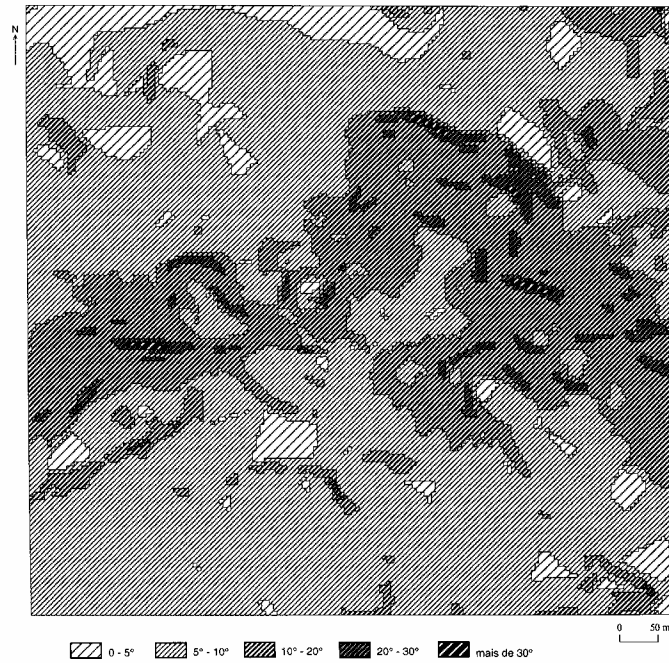


Fig. A2.12: Mapa de declives (Azurém/Guimarães). Hipsometria digitalizada à escala 1:5000.

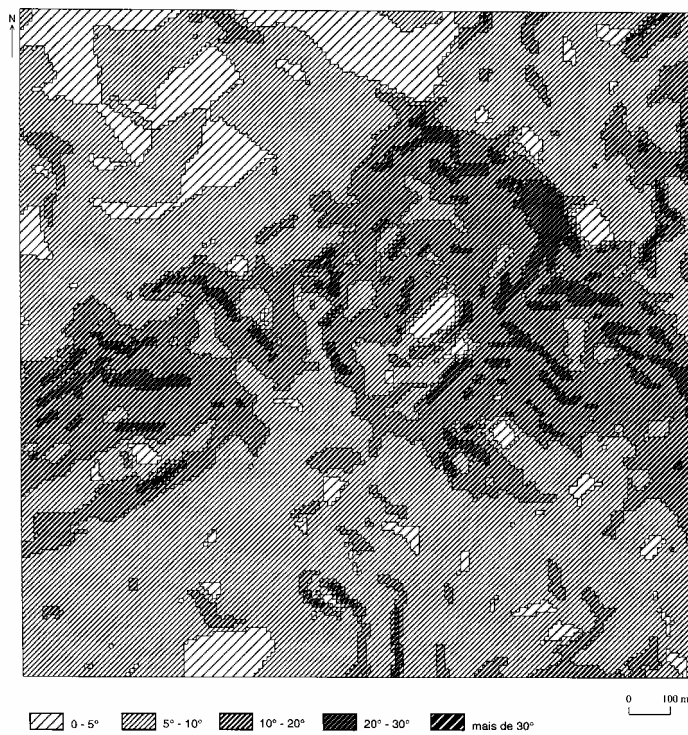


Fig. A2.13: Mapa de declives (Azurém/Guimarães). Hipsometria digitalizada à escala 1:10000.

a leitura de pormenor, são muitas as aplicações dos mapas de declives, mas também são muitos os problemas a eles associados, mesmo quando utilizamos as novas tecnologias (SIG) e, portanto, automatizamos o cálculo dos declives.

4. Síntese e conclusões.

Do que acabou de ser escrito podemos salientar algumas conclusões básicas.

a. O cálculo dos declives é um elemento de análise do terreno cada vez mais disponível para utilização diversa. No planeamento físico ou na investigação, o cálculo dos declives continua a ser elemento indispensável para a análise da dinâmica do meio físico ou na avaliação dos custos de infra-estruturas. As novas tecnologias põem ao nosso dispor, de forma mais rápida, esta informação, o que permite a generalização da sua utilização.

b. Há, no entanto, alguns cuidados a ter na elaboração deste tipo de cartografia. Os problemas de escala são os mais relevantes para o cálculo correcto dos declives. A resolução dos mapas, o rigor dos cálculos ou a aderência à realidade são elementos base na cartografia que condicionam as conclusões e resultados finais dos estudos a desenvolver. Estes dependem, em grande parte, dos cuidados postos na escolha da escala a vários níveis: ao nível da recolha da informação de base (hipsometria); ao nível da passagem da informação de suporte analógico para suporte digital; e também ao nível da saída final da informação, sobretudo se a informação é apresentada em suporte analógico, é fundamental precaver-nos para as generalizações realizadas quando da impressão final da informação.

c. É sempre preferível que a informação geográfica em suporte

digital resulte da vectorização de imagens “raster” devidamente corrigidas. Desta forma, se evitam erros de digitalização que, como referimos, são muito condicionantes da qualidade dos resultados obtidos.

d. O cálculo dos declives revela-se essencial no estudo do meio físico. Sendo possível calculá-los e cartografá-los em gabinete, é essencial que se proceda a uma leitura crítica dos resultados obtidos. No mínimo é necessário que o utilizador tenha um conhecimento do terreno para que possa exercer a sua capacidade crítica e precaver-se para eventuais erros cometidos ao longo de todo o processo automático de cálculo. Em última análise, seria importante que, depois de elaborada a cartografia, se procedesse a cálculos localizados que testassem os resultados obtidos. Estes cálculos poderão ser elaborados com base na informação geográfica disponível em gabinete (hipsometria que serviu de base em suporte analógico) ou mesmo com medições no terreno, sobretudo em áreas onde a variação espacial dos declives é maior.

e) Sendo uma técnica utilizada há já longa data, o cálculo dos declives revela que, quando utilizamos novas tecnologias como apoio ao nosso trabalho, não podemos esquecer as antigas questões que sempre se colocaram à geografia:

- Os problemas de escala na recolha, tratamento e apresentação da informação¹² são questões que condicionam os resultados a obter na execução dos nossos trabalhos.

- A facilidade de execução de tarefas outrora muito

¹² Por vezes, há a ideia de que, num sistema de informação geográfica, é possível reproduzir a informação em suporte analógico a diferentes escalas. De facto, isso é possível mas, pode conduzir a erros, sobretudo se a cartografia, elaborada automaticamente, se baseou em informação a uma escala pouco pormenorizada. Ao imprimir um mapa em grande escala, com base nessa informação, estaremos a cometer generalizações que não é possível sustentar como correctas.

morosas não nos pode fazer esquecer as condições em que obtemos e tratamos a informação que temos ao nosso dispor e a que elaboramos.

A automatização da recolha e tratamento da informação remete-nos para uma dicotomia entre cartografia automática e cartografia manual. Como tivemos oportunidade de verificar, não é certo que a cartografia automática conduza inevitavelmente a resultados mais correctos do que a cartografia manual. No entanto, a facilidade de utilização das novas tecnologias exige cuidados redobrados no controle da informação obtida, já que parte do processo de produção cartográfica escapa ao controlo directo tanto do produtor como do utilizador. Dado o carácter, por vezes complicado, da utilização do conjunto de programas associado ao trabalho executado em ambiente SIG, verifica-se a divisão de tarefas que separa o produtor técnico da cartografia do utilizador final. Desta forma, os velhos problemas da cartografia e o controlo sobre o tipo de informação cartográfica produzida ganham importância crescente quando nos socorremos de novas tecnologias na produção cartográfica.

Capítulo A3 – Os Sistemas de Informação Geográfica e a cartografia geomorfológica.

1. Considerações gerais.

Uma das funções mais utilizadas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é a sobreposição de diversos níveis de informação. Este trabalho de sobreposição de informação permite comparar, no mesmo espaço, informação de carácter diverso. Ao fazê-lo, selecciona-se a informação que é comparada segundo uma condição dessa selecção. Por exemplo: numa mesma área podemos verificar qual o tipo litológico existente e individualizar a área que corresponde a uma determinada classe de declives. Com isto podemos produzir a cartografia que corresponde à associação, intercepção ou proximidade de diversas características da informação que queremos individualizar. Uma vez estudado o meio físico e percebendo quais as condições da sua dinâmica temos ao nosso dispor um instrumento de trabalho que poderá ajudar na definição da susceptibilidade geomorfológica. Por exemplo, se fizermos a intercepção das formações argilosas com declives superiores a 15°, temos individualizadas as áreas que apresentarão susceptibilidades de ocorrência de um conjunto de processos geomorfológicos em que essas duas características são factores determinantes para o seu desencadeamento (C. Bateira, 1990).

Para que este tipo de procedimento possa ser executado é

necessário que toda a informação esteja referenciada a um sistema de coordenadas geográficas e que as entidades gráficas que as representam mantenham uma ligação a uma base de dados onde estão registados os atributos dessa informação (fig. A3.1).

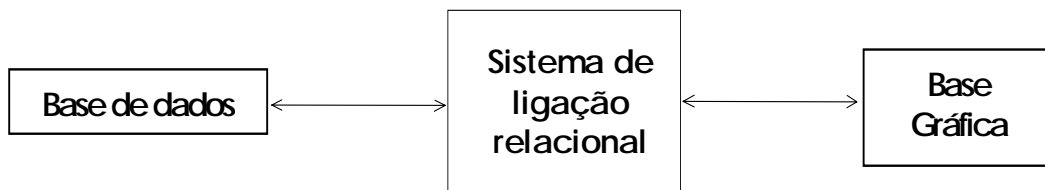


Fig. A3.1: O sistema de ligação relacional permite o tratamento da informação registada na base de dados com ligação à base gráfica. Adaptado de Modular Geographical Information System Environment Analyst (1994).

Cada gráfico que esteja construído nos ficheiros de desenho deverá ter um registo na base de dados e sempre que se recorre à base gráfica para processamento da informação esta far-se-á com recurso à base de dados. A base gráfica é constituída por um conjunto de elementos de desenho que podem ser agrupados em pontos, linhas e áreas. Estes elementos estão identificados na base de dados através de tabelas onde estão registadas as suas características gráficas (pontos, linhas, polígonos e respectiva georeferenciação) e os atributos (informação não espacial) (fig. A3.2).

Uma vez constituído este sistema de informação é possível proceder à análise topológica utilizando os operadores booleanos. Por exemplo, a intercepção dos declives superiores a 30° com ravinas ou barrancos poderá indicar sectores onde é possível verificar-se a ocorrência de movimentos de

vertente¹³. A sobreposição dos níveis onde estão registadas as ravinas e os barrancos com o nível onde estão representados os declives superiores a 30° (ver parte C) constitui um processo de análise

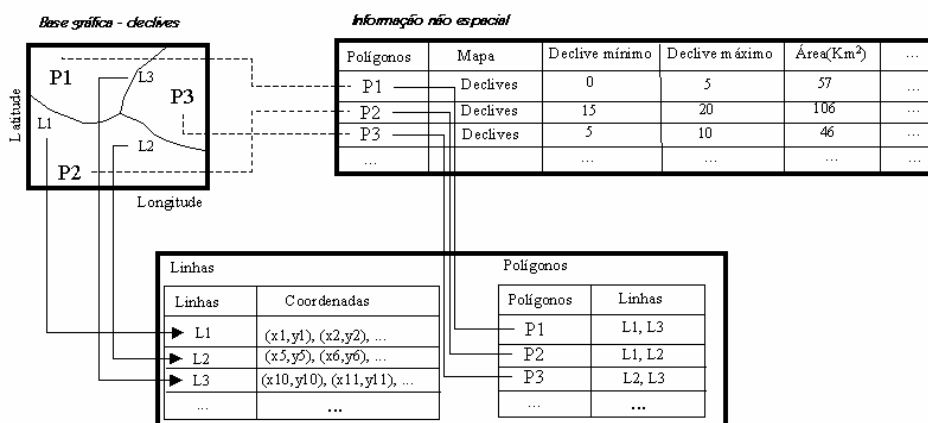


Fig. A3.2: A ligação relacional entre base gráfica e base de dados é feita pelo sistema de ligação relacional onde se estabelecem os elos entre os elementos gráficos e a informação não espacial. Adaptado de R. G. Healey, 1994.

topológica que vai individualizar os sectores onde há coincidência destes dois tipos de factores. Neste caso, relacionamos duas entidades gráficas diferentes: linhas (representando as ravinas e os barrancos) e polígonos (representando áreas pertencendo à classe de declives superiores a 30°). Essa análise localiza os sectores onde há intercepção dos dois níveis de informação, ou seja, os sectores onde se verificam, em simultâneo, as duas condições analisadas. A fig. A3.3 sintetiza alguns dos operadores que são

¹³ Em Portugal, foram publicados dois textos, quase em simultâneo, onde é feita a discussão em torno da terminologia relacionada com deslizamentos (J. Gomes Santos, 1997 e J. L. Zêzere, 1997). J. L. Zêzere admite três conceitos distintos e por ordem crescente de abrangência: movimentos de vertente, movimentos de terreno e movimentos de massa. Nos movimentos de vertente agrupa os desabamentos, balançamentos, deslizamentos, expansão lateral, escoadas e movimentos complexos. Nos movimentos de terreno agrupa os movimentos de vertente acrescidos dos movimentos de subsidência e de expansão e retracção de solos argilosos. Por fim, considera os movimentos de massa como sendo o conjunto de todos os movimentos de terreno mais os movimentos associados à acção da neve do gelo. Por outro lado, J. Gomes Santos prefere utilizar o termo de movimento de terreno em vertente, equivalente de movimento de vertente, utilizado por J. L. Zêzere. No texto, por simplificação, refere-se apenas a movimentos de terreno, embora com o sentido de movimento de vertente. No presente trabalho, por simplificação de referência, utilizaremos o termo de movimento de vertente (utilizado por J. L. Zêzere), referindo-nos a movimentos de materiais nas vertentes resultantes da acção da gravidade, embora, frequentemente, possam ser assitidos pela acção da água.

passíveis de ser utilizados em SIG, no tratamento de informação georeferenciada¹⁴ (P. A. Burrough, 1992, p.20).

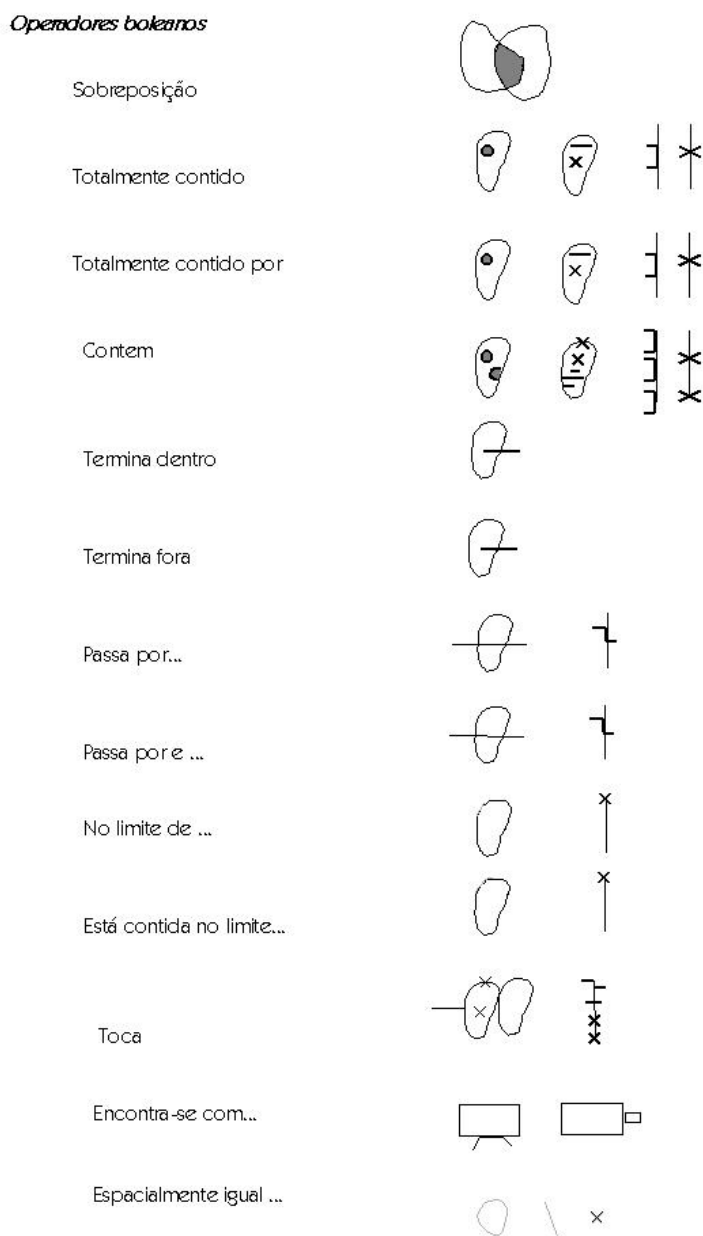


Fig. A3.3: Conjunto de operadores booleanos que estão disponíveis em ambiente SIG. Extraído de Modular Geographical Information System Environment Analyst (1994).

14 Este conjunto de operadores estão disponíveis nos programas do SIG existente no Departamento de Geografia da Universidade do Porto.

Como é possível verificar, a interligação da informação através da representação gráfica permite o cruzamento de três tipos de entidades gráficas: pontos, linhas e áreas, sendo que esta última pode ser representada pelo limite da área e um ponto central ao qual está referenciada a informação registada na base de dados. Os elementos gráficos georeferenciados têm a sua localização identificada na base de dados através de linhas que constituem os polígonos, linhas ou pontos, que, por seu lado, estão relacionados com os atributos que caracterizam e representam a realidade levantada no terreno. Desta forma se procede ao relacionamento da informação recolhida e cartografada na base gráfica.

Torna-se, portanto, importante o tipo de representação cartográfica, em sistema de informação geográfica, devidamente georeferenciada, das condições geográficas de ocorrência de movimentos de vertente. Essas condições geográficas, levantadas no terreno, vão constituir as entradas no sistema e será a informação da base de dados que nos permitirá promover as funções de sobreposição em SIG. Logo aqui se percebe a importância de uma boa recolha da informação para uma correcta base de dados.

2. As entradas em SIG – os elementos gráficos.

Quando pretendemos proceder ao trabalho de relacionamento em SIG da informação georeferenciada tentamos fazê-lo recorrendo à cartografia que melhor espelha a dinâmica do meio físico, nomeadamente a dinâmica geomorfológica. Nesse sentido deveríamos recorrer à cartografia geomorfológica, assumi-la como base gráfica de um SIG e estabelecer a caracterização desses elementos gráficos pela atribuição de classificações

em base de dados. Desta forma atribuímos aos elementos meramente gráficos os atributos registados na base de dados do sistema. Este procedimento, essencial em ambiente SIG, coloca alguns problemas práticos que advêm das características da própria simbologia geomorfológica. Por exemplo, o símbolo da queda de blocos, que aparece num esboço geomorfológico, deverá ter, pelo menos, o registo na base de dados das coordenadas dos vectores que constituem o conjunto de linhas desse símbolo. Para além disso, poderá ter outro tipo de informação tal como a frequência de ocorrência ou até a dimensão média dos calhaus movimentados.

Este tipo de registos devem estar identificados num único elemento na base gráfica. Contudo, o símbolo de queda de blocos é constituído por várias linhas. A qual delas deve ser feita a ligação da base de dados? Como poderemos identificar uma área afectada por queda de blocos, quando o relacionamento entre base gráfica e base de dados é estabelecido através de uma linha e não de um polígono. Se pretendemos fazer a intercepção entre áreas afectadas pela queda de blocos com os diversos tipos de litologia só obteremos um conjunto de linhas que correspondem às linhas do símbolo queda de blocos, que coincidiriam com o tipo de litologia que é propício a esse processo geomorfológico. O resultado final será um conjunto de linhas, e não uma área que corresponda a um determinado tipo litológico, afectado por queda de blocos. Este tipo de problemas condicionam bastante o tipo de base de dados que constituirá o sistema, bem como o tipo de base gráfica que deverá ser utilizada. Desde logo se poderá questionar sobre a possibilidade de utilização directa da cartografia geomorfológica como base gráfica de um sistema de informação geográfica. A complexidade da simbologia utilizada na construção das cartas geomorfológicas e a

simplicidade de procedimentos exigida pelos programas utilizados na construção dos SIG aconselha prudência na abordagem deste problema. Retomaremos o problema ainda neste capítulo.

3. As entradas em SIG – dados não espaciais.

O registo dos dados não espaciais na base de dados parece ser muito complicado, se considerarmos a fig. A3.2. A construção do conjunto de quadros que a base de dados apresenta como indispensáveis é feito, quase na totalidade, pelo sistema, de forma automática. Os quadros que identificam as entidades gráficas, os seus componentes (nomeadamente as linhas e os vectores) e a sua localização são construídos pelo sistema com apoio nos programas da base de dados. A tarefa de afectação de atributos às entidades gráficas que estão registadas na base de dados é um dos pontos mais importantes da construção da base de dados e deve fazer parte do trabalho de elaboração dos sistemas que só o utilizador poderá fazer (P. Leão Neto, 1998; P. A. Burrough, 1992 e S. Aronoff, 1989).

O trabalho de identificação dos atributos dos elementos gráficos deve traduzir o mais fielmente possível a realidade que se pretende trabalhar. Por exemplo, ao representarmos um curso de água podemos dividi-lo em vários sectores e classificá-los de três formas diferentes: sector sujeito ao predomínio da erosão, sector de equilíbrio erosão/sedimentação e sector sujeito ao domínio da sedimentação. Este trabalho de identificação vai depender do processo de estudo da realidade que foi executado, do grau de rigor colocado nos estudos feitos (no laboratório e no terreno). Deste trabalho vão depender os resultados finais da utilização do SIG.

A construção da base de dados, no que se refere aos quadros de

construção não automática, é uma tarefa base de todo o SIG. Se a caracterização da base gráfica, feita pela afectação dos atributos aos elementos do desenho for incorrecta fica comprometido todo o trabalho em SIG. Consideremos ainda o exemplo anterior. Podemos dizer que, caso um sector do curso de água seja apresentado como sujeito ao predomínio da sedimentação, mas de facto a erosão seja dominante, o tipo de processos erosivos afectando a margem poderão ser bastante destrutivos. Acaso pretendamos compilar as áreas de um curso de água não sujeitas à erosão, com o objectivo de proceder à instalação de uma determinada infraestrutura, ou mesmo no âmbito da investigação científica, poderemos cometer erros resultantes de uma má construção da informação da base de dados não espacial.

No âmbito da investigação científica, ou da construção de modelos, sempre que se pretenda utilizar os SIG como instrumento de trabalho, há que salvaguardar o rigor da informação que é introduzida como entradas de todo o sistema. O trabalho prévio de recolha e selecção da informação deve ser muito criterioso sob pena de inviabilizar todo o conjunto de conclusões que poderão sair do sistema. Nesse sentido, e no que se refere aos movimentos de vertente, revela-se determinante o estudo das condições geográficas da sua ocorrência, a sua identificação bem como adaptação à base de dados de forma a permitir a sua utilização em ambiente SIG.

4. Funcionalidade em SIG.

São diversas as funções disponíveis em SIG, algumas das quais já analisamos anteriormente. Entre elas destaca-se a cartografia automática (que abordamos no capítulo A2 a propósito do cálculo automático dos

declives), e a sobreposição de diferentes níveis de informação. Esta última será, porventura, a mais divulgada e utilizada. Este processo de tratamento da informação propõe a construção de um conjunto de frases que vão comandar a pesquisa da informação quer na base gráfica quer na base de dados com informação não espacial (S. Aronoff,1989). Assim, de acordo com o objectivo da pesquisa que queremos promover, também a frase que se vai utilizar terá que reflectir os objectivos a atingir. Por exemplo: pretendemos identificar as áreas de declive compreendido entre os 25° e os 30°. A frase que teremos de utilizar deverá promover a pesquisa dos elementos da base gráfica que estão referenciados na base de dados como tendo declives mínimos de 25° e declives máximos de 30°. Estas frases, genericamente designadas por questões lógicas (query), são constituídas por um conjunto de elementos ligados por operadores lógicos. No caso referido teríamos de escrevê-la da seguinte forma (fig. A3.4):

Elementos (Elements) **pertencentes** (From) à tabela 'declives' **onde** (Where) 'declive mínimo' é **igual a** (equal to) 25° e (and) 'declive máximo' é **igual a** (equal to) 30°,

ou ainda,

Elementos (Elements) **pertencentes** (From) à tabela 'declives' **onde** (Where) 'declive mínimo' é **igual a** (equal to) 25°.

Nos quadros do gestor do sistema estarão disponíveis um conjunto de operadores lógicos e as tabelas da informação das diferentes categorias devidamente conectadas com os respectivos atributos (fig. A3.4). Cabe-lhe proceder à construção das frases chave que poderão tornar operacional o sistema.

Conforme foi visto é possível executar várias operações que poderão ser identificadas como sobreposição, exclusão, inclusão, direcção, vizinhança, união, etc. Todo o relacionamento da informação em ambiente SIG depende do tipo de questões lógicas que são construídas. Com base no fig. A3.4 podemos cartografar os elementos do mapa que correspondem às condições definidas na frase construída. No exemplo apresentado na referida figura o resultado da frase seria um mapa onde estariam representados os polígonos de declives que pertenciam à classe de declives de 25°-30°. Esta operação não é mais do que a pesquisa, numa base de dados, dos elementos

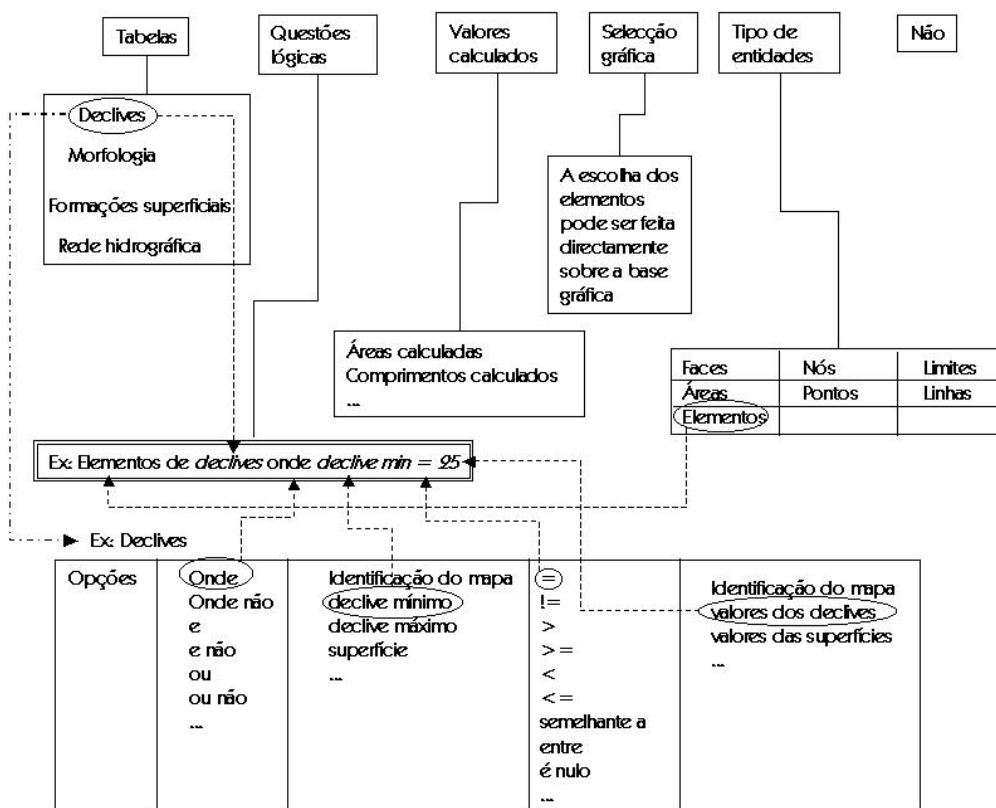


Fig. A3.4:Quadro base onde se seleccionam os elementos, as tabelas e os operadores para a construção das questões lógicas a utilizar em ambiente SIG. Elaborado com base em S. Aronoff, 1989; R. G. Healey, 1991; J. I. Barredo, 1996; C. Jones, 1997 e Modular Geographical Information System Environment Analyst (1994).

que satisfazem a condição de pertencer à classe de declives de 25° a 30°, seguida da respectiva representação cartográfica. Quando a pesquisa

contempla várias condições e abarca várias categorias de informação, a complexidade do processo aumenta, sendo importante proceder a testes de controle da cartografia obtida por este método de trabalho. O resultado da utilização de alguns operadores foram esquematizados na fig. A3.5 e para representações cartográficas diversas a complexidade de todo o processo é maior.

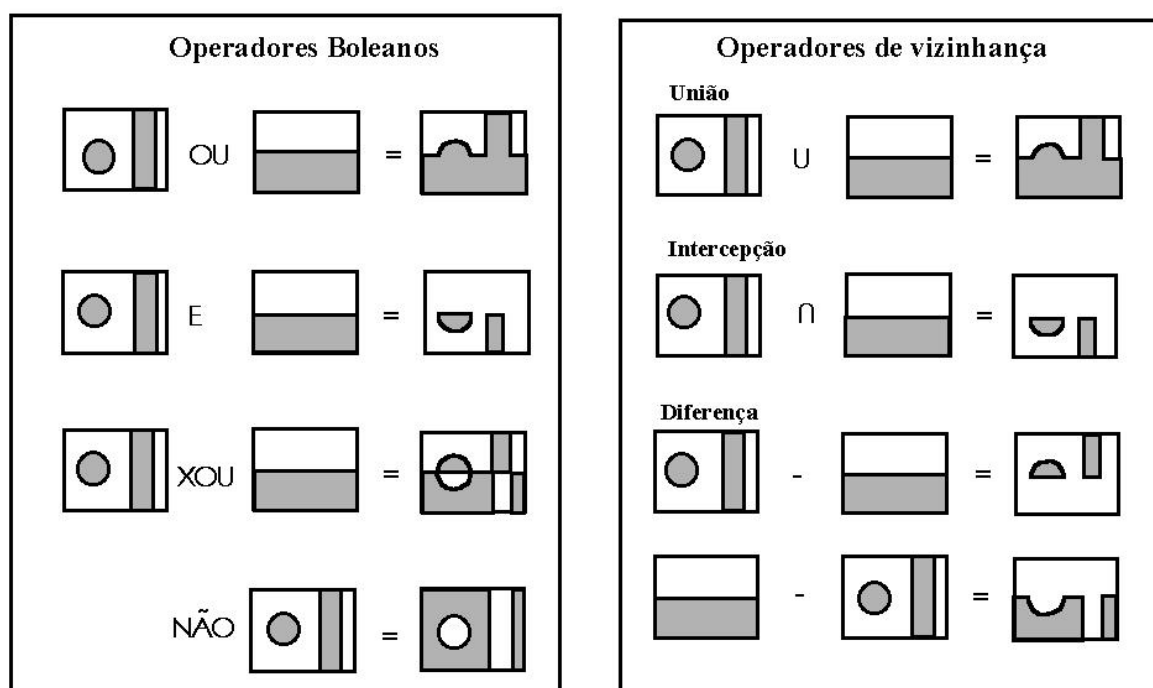


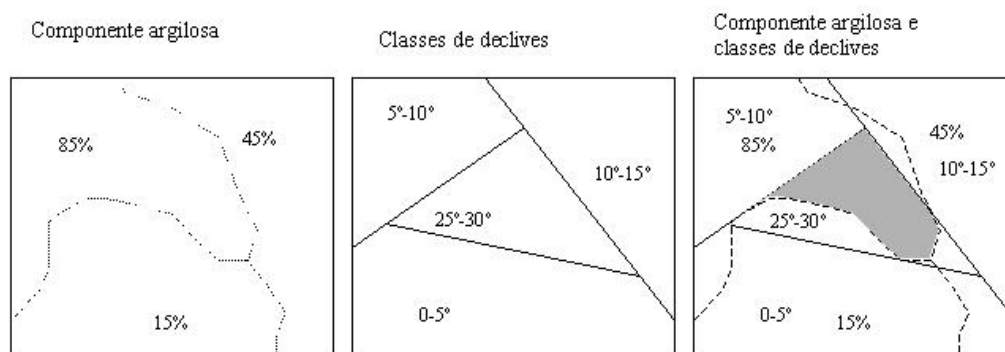
Fig. A3.5: Operadores de vizinhança e booleanos podem ser usados para combinar regiões em análise de sobreposição. Estas regiões podem ser consideradas aqui como verdadeiras (sombreado) ou falsas (a branco) no sentido de representar espaço que contém ou não contém algum fenómeno específico. Adaptado de C. Jones (1997, p. 52).

Quer os operadores booleanos, utilizados na análise topológica, quer os operadores de vizinhança permitem, não só a pesquisa identificadora de uma única condição, mas sobretudo a construção de cartografia que agrupe mais do que uma condição promovendo a redefinição dos limites dos polígonos que representam as áreas que estão a cumprir as condições

impostas pelas questões lógicas. Se pretendemos proceder ao cruzamento das áreas que têm declives entre 25°-30° com as áreas que apresentam litologia com forte componente argilosa, teríamos de construir a seguinte frase:

elementos da tabela 'declives' onde 'declive mínimo' =25° e elementos da tabela 'litologia' onde 'componente argilosa' >= 50%.

Neste caso, não só se executa a tarefa de pesquisa mas também se desenvolve a criação de novos polígonos que delimitam as áreas que satisfazem as condições de declives e, em simultâneo, as características litológicas exigidas (fig. A3.6), (S. Aronoff,1989 e J. B. Sendra, 1992).



Elementos da tabela declives onde declive mínimo =25° e elementos da tabela litologia onde componente argilosa >= 50%.

Fig. A3.6: A construção de um novo polígono é o resultado do trabalho em sistema onde são confrontados os elementos da base de dados e da base gráfica, seleccionando os gráficos necessários à construção de um novo polígono e, portanto, à representação de uma nova cartografia. Adaptado de J. B. Sendra, 1992.

Todo este conjunto de operações e funções de um Sistema de Informação Geográfica só é possível com a constituição de um fluxo de trabalho em ambiente SIG, que vai constituir a infra-estrutura de todo o tratamento da informação a levar a cabo com a construção das questões lógicas. Não será possível a construção das questões lógicas se não construirmos um ficheiro topológico capaz de implementar o trabalho de relacionamento espacial da informação (S. Aronoff, 1989).

Desta forma, o trabalho em SIG apresenta a seguinte sequência

(fig. A3.7):

- 1º construção da base gráfica e base de dados.
- 2º construção de um ficheiro de listagem de toda a informação (ULF).
- 3º construção de um ficheiro topológico (TOPO) que aglutina a informação não espacial com a informação gráfica.
- 4º construção das questões lógicas (QUERY).
- 5º ligação entre as questões lógicas e o ficheiro topológico.
- 6º saídas do sistema.

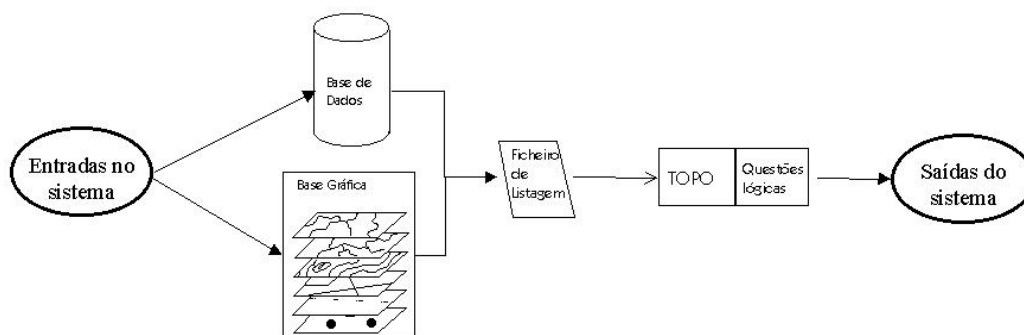


Fig. A3.7: Fluxo de trabalho em ambiente SIG. Adaptado de Modular Geographical Information System Environment Analyst (1994). Uma vez introduzida a informação, devidamente organizada em base gráfica e de dados, ela é compilada em ficheiros que permitem estabelecer a relação entre os diferentes tipos de informação. As questões lógicas, criadas para a produção da informação que constituirá as saídas do sistema, ficam associadas ao ficheiro topológico.

Uma vez digitalizada a base gráfica procede-se à caracterização desses elementos gráficos com o preenchimento dos atributos na base de dados. Este trabalho não é mais do que a identificação, pelo sistema, dos elementos gráficos e a construção de uma ligação destes com a base de dados. Nestas circunstâncias teremos a base informativa que nos permitirá fazer uma listagem de toda a informação, construir um ficheiro topológico associado às questões lógicas capazes de produzir a informação que constitui

as saídas do sistema.

5. Cartografia geomorfológica e entidades gráficas em SIG. Os símbolos das legendas geomorfológicas e as bases de dados relacionais.

A identificação dos elementos gráficos pela base de dados pressupõe que existe uma boa representação gráfica da informação introduzida em ambiente SIG. Por exemplo, a representação gráfica dos declives é feita por duas entidades: um polígono, que constitui o limite da área abrangida por uma classe de declives, e um ponto (centróide), colocado no interior dessa área. A ligação desses elementos à base de dados faz-se pelo ponto (centróide) no interior do polígono (C. Jones, 1997). Ao seleccionarmos esse ponto no ficheiro gráfico, podemos aceder ao quadro da base de dados onde estão registados os valores dos declives abrangidos pelo polígono a ele associados. Neste caso, as duas entidades gráficas, área e ponto, estão associadas na base gráfica e na base de dados. De facto não é possível fazer a representação cartográfica dos declives sem recurso à entidade área definida pelo polígono que lhe estabelece os limites, e um ponto que a identifica na base de dados¹⁵.

Mas nem sempre é possível que as entidades gráficas correspondam a uma boa representação cartográfica dos fenómenos do meio físico que pretendemos representar. Com efeito, o sistema de informação geográfica utiliza três tipos de entidades gráficas: o ponto, a linha e a área (S. Aronoff, 1989; P.A. Burrough, 1992 e C. Jones, 1997).


O ponto representa a informação da base de dados que pode ser

¹⁵ Porventura, podemos definir a área a partir de uma forma complexa que corresponde ao polígono que delimita a área. Neste caso, podemos abdicar do ponto central para fazer a ligação à base de dados. Assim, é a forma complexa que apresenta a ligação à base de dados.

atribuída a um determinado lugar. A representação cartográfica pode ser feita por uma figura, designada por 'célula'. Esta figura, que graficamente pode ser constituída por várias linhas, acaba por ter a função do ponto no âmbito dos SIG. A informação registada na base de dados só se refere ao lugar onde está colocado, graficamente, o símbolo da célula que a representa.

A linha corresponde a uma representação vectorial. Um curso de água, cujos vectores podem ser associados a sectores onde predomina a deposição de sedimentos ou a erosão, com o respectivo registo na base de dados, é facilmente representado por uma linha. A representação gráfica do curso de água pode ser dividida em segmentos de recta diferentes, tendo cada um uma ligação à base de dados onde estão registados os respectivos atributos (por exemplo: se é sector com predomínio de erosão ou de sedimentação).

Conforme já foi exposto a propósito da representação cartográfica dos declives, as áreas terão, forçosamente, de ter uma relação com um limite que é um polígono (capítulo A2).

Há, no entanto, problemas de correspondência entre a simbologia utilizada na cartografia geomorfológica e as três entidades gráficas utilizadas em ambiente SIG. Efectivamente, quando representamos o símbolo de queda de blocos () (adaptado de F. Joly, 1997), estamos a indicar que naquele ponto está registado, no SIG, o processo geomorfológico da queda de blocos. Ao colocarmos vários desses símbolos estamos a afectar a área por eles abrangida a este tipo de processo geomorfológico. No entanto, quando procuramos fazer a intercepção das áreas registadas com vários tipos de

litologias e áreas afectadas por queda de blocos só conseguimos estabelecer a intercepção de pontos com uma área (Fig. A3.8). A cartografia que resulta dessa intercepção não é mais do que um conjunto de pontos e não uma área onde seria possível identificar um tipo de litologia afectada por queda de blocos.

Este facto resulta da dificuldade em compatibilizar a simbologia geomorfológica com as entidades gráficas utilizadas em ambiente SIG. De facto, não é possível proceder à construção de um sistema de informação

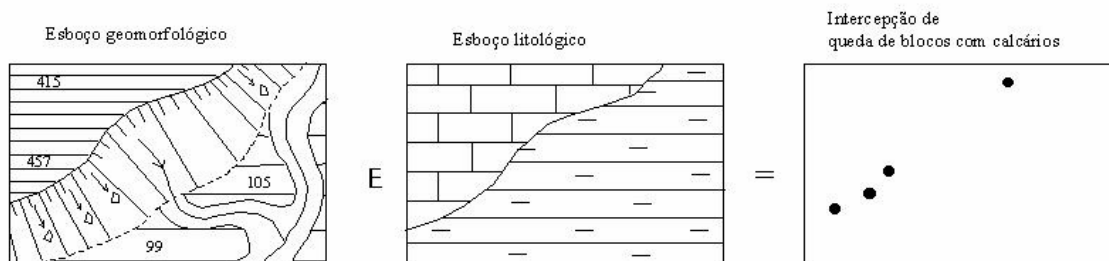


Fig. A3.8: A representação gráfica das 'células' correspondem a pontos em ambiente SIG. A intercepção com uma entidade de área corresponde a um conjunto de pontos e não a uma área. Simbologia adaptada de F. Joly, 1997.

geográfica sobre riscos naturais sem que se recorra à cartografia geomorfológica, como expressão gráfica da dinâmica do meio físico. Como vimos, existe uma grande dificuldade de reconhecimento, por parte do sistema, de entidades gráficas complexas que abundam na simbologia da carta geomorfológica (Tricart, 1965; Légende pour la Carte Géomorphologique de France, 1970; J. Demek, 1971 e F. Joly, 1997). Como poderemos representar as vertentes em ambiente SIG? O Símbolo *vertente* é constituído por várias

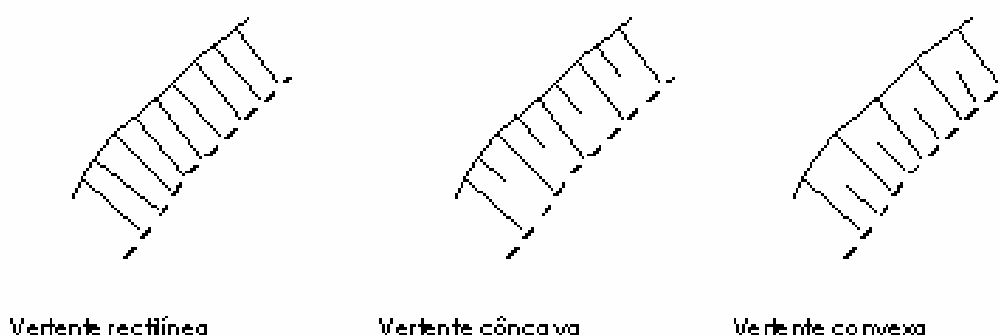


Fig. A3.9: A representação cartográfica de uma vertente, na legenda geomorfológica, aparece extremamente complexa e com uma multitude de vectores, extremamente difícil de conectar com uma base gráfica. Adaptado da «Légende pour la carte géomorphologique de la France», 1970 e F. Joly, 1997.

linhas que são agrupadas de acordo com o aspecto da morfologia a representar. Com esta simbologia podemos distinguir vários tipos de vertentes que, por sua vez, resultam de comportamentos geodinâmicos diversos (fig. A3.9).

Cada vertente tem uma grande quantidade de linhas que não é possível ligar, em conjunto, aos atributos da base de dados. Como poderemos considerar, na análise em ambiente SIG, a diversidade de formas de vertentes no registo das condições geográficas de ocorrência de movimentos de vertentes e dos riscos naturais? Como sabemos, o ambiente SIG só reconhece o ponto, a linha e a área como entidades conectáveis com a base de dados e não um conjunto de pontos ou linhas. Desta forma, não é possível fazer a ligação de cada linha constituinte do símbolo que a cartografia geomorfológica utiliza na representação de uma vertente, à base de dados. Para fazer a ligação da área ocupada pela vertente à base de dados é necessário delimitar toda a área ocupada pela vertente e então temos uma única entidade gráfica, um polígono, conectável com a base de dados. Teremos, assim, uma unidade morfológica, genericamente designada vertente, que poderá ser ligada à base de dados. Esta unidade poderá ser

classificada, na base de dados, com os diversos atributos que a constitui tal como a forma, altura ou, eventualmente, o tipo de processos geomorfológicos dominantes, coberto vegetal, etc.

Se alargarmos este tipo de análise a toda a simbologia da legenda geomorfológica os problemas poderão multiplicar-se, sendo impossível estabelecer uma correspondência completa entre toda a simbologia geomorfológica e as três unidades gráficas reconhecidas em ambiente SIG. Em alternativa, afigura-se-nos que a utilização de unidades morfológicas, definindo espaços homogêneos, nos permitirá a ligação dessas áreas, em bloco, com a base de dados (C. Mitchell, 1991, R. U. Cooke e J. C. Doornkamp, 1990). No entanto, algumas questões se colocam quanto à escala de trabalho e ao grau de homogeneidade que cada área tem. Assim, quando analisamos, por exemplo, os riscos naturais e os movimentos de vertente temos de utilizar unidades morfológicas que sejam suficientemente uniformes, de tal forma que, na tabela da base de dados só seja possível atribuir àquela área uma única característica. Há que garantir que, quando sobrepomos uma unidade morfológica (por exemplo: a vertente) com uma classe de declives (por exemplo: > de 30°) recolhemos os sectores das vertentes onde o declive é mais favorável à ocorrência de alguns tipos de movimentos de vertente, nomeadamente os fluxos de detritos. Ao contrário, se a unidade morfológica não for tão restrita (por exemplo, um planalto, onde poderia haver forte encaixe da rede de drenagem), correríamos o risco de não obter resultados aceitáveis. Na sobreposição dos níveis de informação, quando pretendêssemos obter a representação das vertentes com declives elevados, excluirmos a unidade planalto, embora no interior dessa unidade pudesse haver vertentes com forte inclinação. Desta forma, as unidades morfológicas

deverão ser suficientemente restritas para poder representar somente uma característica (C. Mitchell, 1991).

Nestes casos, a escala de análise torna-se decisiva para que não se cometam erros de generalização, capazes de excluir das áreas da cartografia de riscos sectores com grandes condições de ocorrência de movimentos de vertente, devido aos aspectos demasiadamente generalistas das unidades morfológicas definidas.

Um outro exemplo poderá ajudar a entender a dificuldade de construção de um sistema de informação geográfica em riscos naturais tendo como base directa a cartografia geomorfológica.

Como veremos na parte C, grande parte das áreas sujeitas a movimentos de vertente correspondem a bacias hidrográficas de 1ª ordem, mas cada movimento que nelas se desenvolve acaba por afectar bacias hidrográficas de ordem superior. Embora saibamos que estas unidades (bacias hidrográficas de 1ª ordem) correspondem a ravinas ou a barrancos, muitas das vezes o movimento de vertente não coincide com as linhas de água que drenam esta pequena bacia hidrográfica. Por essa razão não podemos utilizar a figura da ravina ou do barranco para estabelecer a ligação à base de dados de forma a proceder à sobreposição com outra informação em ambiente SIG. Se assim procedêssemos não estaríamos a utilizar toda a área que potencialmente poderá ser afectada pelo movimento de vertente no processo de tratamento da informação em ambiente SIG. Poderíamos recorrer à figura da bacia hidrográfica de 1ª ordem para alargarmos a análise para além da ravina e do barranco, propriamente ditos. Mas também aqui há problemas. Os movimentos de vertente que se iniciam numa bacia hidrográfica de 1ª ordem, quase sempre afectam bacias hidrográficas de

ordem superior. Nesse caso, o recurso à bacia hidrográfica de 1ª ordem, em vez da utilização da figura da ravina ou do barranco, revela-se insuficiente na análise dos riscos naturais.

Este conjunto de objecções permite-nos pensar que é muito complicado e, sobretudo, poderá conduzir a erros de análise a utilização directa dos mapas geomorfológicos em ambiente SIG, com ligações dos símbolos da cartografia geomorfológica à base de dados. Esse processo revela-se muito complicado de executar e o trabalho de análise da informação em ambiente SIG revela-se muito vulnerável, devido às simplificações que podem ser introduzidas. Torna-se muito difícil converter a complexa simbologia utilizada na cartografia geomorfológica nas três entidades gráficas reconhecidas em SIG. Isto impõe a necessidade de criar entidades gráficas intermédias capazes de traduzir as condições geográficas da ocorrência de movimentos de vertente implícitas na cartografia geomorfológica, e a definição dos riscos naturais, que pode ser feita pela análise em ambiente SIG.

Este conjunto de entidades passíveis de serem aceites pela análise em ambiente SIG constituirá a informação de base que corresponde às entradas do sistema. Essas unidades deverão ser trabalhadas de forma a espelhar, o mais fielmente possível, as condições geográficas do meio físico que constituem o efeito de causalidade relativamente ao desenvolvimento de processos geomorfológicos desencadeadores de riscos naturais.

***Parte B - Caracterização regional do NW de Portugal e da
área experimental (Guimarães).***

Capítulo B1 – Caracterização estrutural do NW Português.

1. Características estruturais da Zona Centro Ibérica.

Embora não seja nosso objectivo primordial o estudo da génese, evolução e caracterização químico-mineralógica dos diversos granitóides, não deixa de ser importante perceber a influência que estes elementos exercem sobre a alteração das rochas granitóides e dos perfis delas derivados para, com isso, analisar de que forma os factores litológicos contribuem para a ocorrência de movimentos em massa.

Existe a ideia, de certa forma generalizada, de que os movimentos em massa que ocorrem a expensas de arenitas graníticas, dependem essencialmente da percentagem da componente fina, sobretudo argilosa¹⁶.

É, portanto, necessário perceber qual a real importância desta fracção na textura das arenitas graníticas, bem como do tipo de argila dominante. Por esta razão, torna-se importante caracterizar os diversos tipos de granitóides que ocupam as áreas que são objecto do nosso estudo, bem como as formações superficiais que poderão resultar da sua alteração.

De igual forma, a abordagem neste texto dos aspectos geológicos

16 J. Coteló Neiva (1966) e A. Brum Ferreira (1978).

fundamentais da Zona Centro Ibérica (ZCI), compreende-se, como veremos ao longo deste capítulo, pela estreita ligação que existe entre os diversos tipos de granitóides que afloram ao longo das áreas que pretendemos estudar e a evolução geodinâmica desta unidade estrutural do Maciço Antigo.

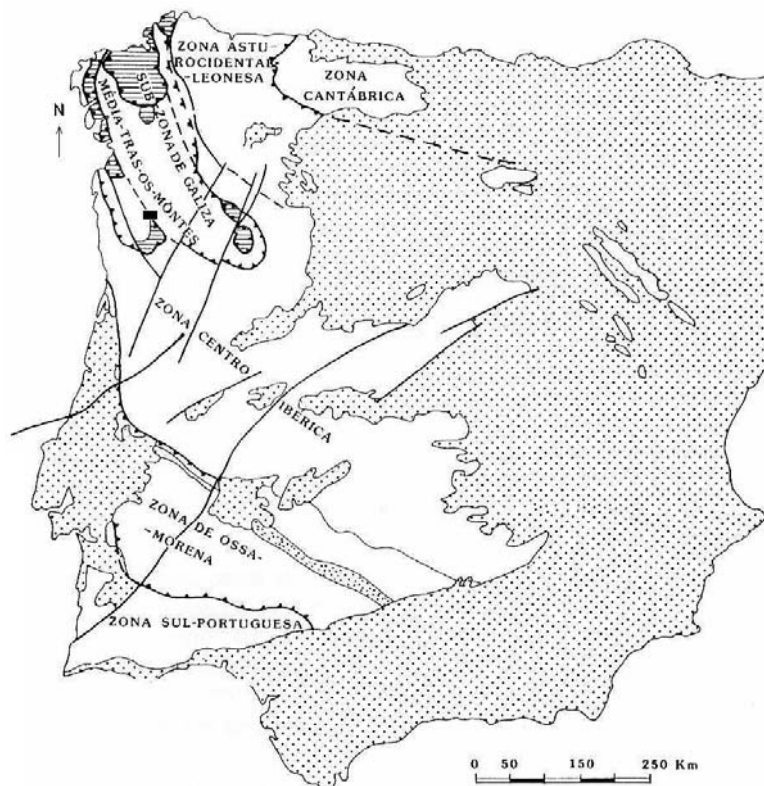


Fig. B1.1: A área de Guimarães abarca a fronteira entre os termos autoctones da Zona Centro-Ibérica e os termos alóctones da Sub-zona Galaico-Transmontana. Adaptado de A. Ribeiro et al. (1979). O rectângulo a negro corresponde à folha 9-B da Carta Geológica de Portugal (Guimarães). Extraído de A. Ribeiro et. Al. (1979).

Sob este ponto de vista, a área de Guimarães insere-se no domínio da ZCI e Sub-zona Galaico-Transmontana (Fig. B1.1). Ao longo das últimas décadas, têm-se aprofundado os estudos que pretendem relacionar a instalação de extensos afloramentos graníticos em todo o norte e centro de Portugal, com as diversas fases tectónicas que contribuíram para a evolução da cadeia hercínica.

Em 1979, António Ribeiro e outros estabelecem algumas dessas relações, chamando a atenção para o facto de "as relações deformação-cristalização, metamorfismo e magmatismo indicarem que a subida das isogeotérmicas se produz durante a segunda fase da deformação: ... seguindo o nível estrutural, a instalação dos granitóides pára antes, durante ou após esta etapa, dando lugar a granitos autóctones deformados, para autóctones deformados sobre os bordos ou alóctones quase não deformados"¹⁷.

Para compreendermos o processo de génese e diferenciação dos diferentes tipos de granitos, consideramos importante recordar as principais fases da evolução geodinâmica da ZCI.

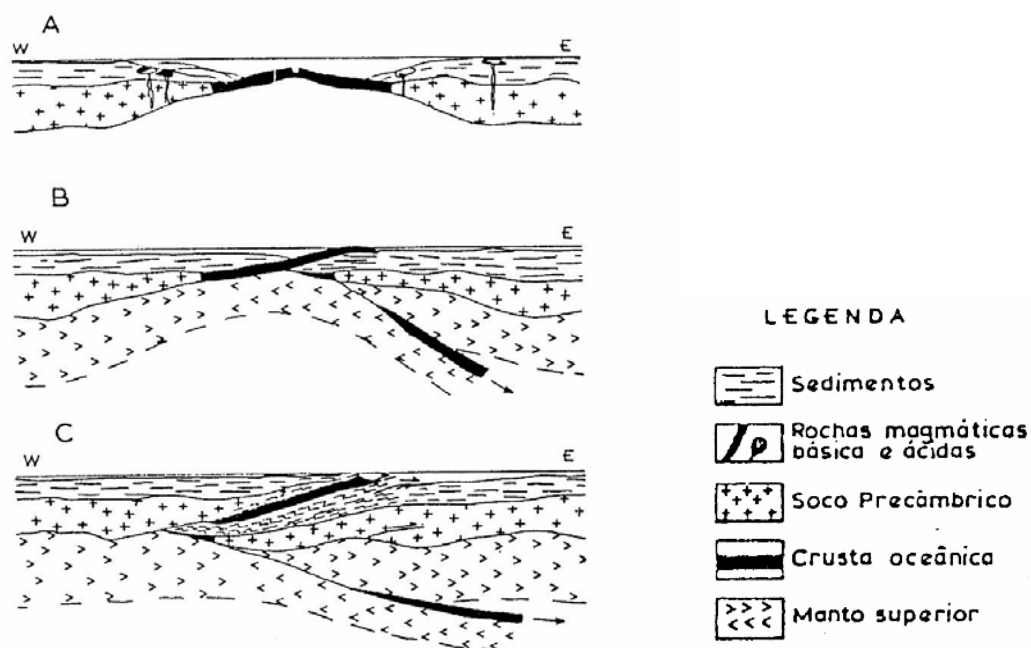


Fig. B1-2: Modelo do floco tectónico na evolução geodinâmica do NW Peninsular. A-Silúrico; B-Devónico inferior; C-Devónico médio, segundo Iglésias et al. (1983).

Sobre esta questão, foram publicados na década de 80 vários textos,

17 E. Pereira, citando Iglésias et al. (1983) e Ribeiro et al. (1985), afirma que é a partir do Devónico médio que se desenvolvem movimentos tectónicos que deram características particulares ao fecho do Oceano Varisco. O conjunto dos movimentos tectónicos são agrupados em três fases distintas designados por F1, F2 e F3. Faremos referência mais cuidada a estes movimentos mais adiante (Geonovas, vol. 10, (1988).

entre os quais se destaca a tese de doutoramento de Eurico Pereira (1987), um estudo geológico-estrutural da região de Celorico de Basto e sua interpretação geodinâmica. Mas já em 1985 este mesmo autor havia feito um estudo mais específico sobre o ciclo hercínico e o sector de entre Douro e Minho. Reportando-se às fases de abertura e fecho do oceano Varisco, E. Pereira afirma que no Câmbrico já existia um fosso Centro-Ibérico e no final desse período, "...em profundidade, por mecanismos análogos aos que geram granitos tipo S (Ribeiro et al., 1983), pode produzir-se magmatismo e plutonismo ácido do tipo de olho de sapo, de que são testemunho os granitos de Figueiró dos Vinhos e Pedrógão Grande (...), Vila Nova de Coentral (...), Penhascoso/Mação (...), quartzodiorito de Folhense-Junqueira (...), e, principalmente, os ortognaisses de Gandra..."(E. Pereira, 1988, p.27).

Já durante o Ordovícico desenvolveram-se várias fases de magmatismo acompanhado por fases de fracturação profunda (E. Pereira, 1988).

No final do Devónico inferior ter-se-á atingido o máximo de abertura do Oceano Varisco, do qual já fazia parte o fosso Centro Ibérico. A partir do Devónico médio assiste-se ao fecho do referido oceano e, com ele, do fosso Centro Ibérico (fig. B1.2). Segundo vários autores, o fecho do ramo norte do Oceano Varisco, "...inicia-se com a delaminação da crosta oceânica, seguida de colisão entre os dois continentes limítrofes do oceano. O resultado é um empilhamento de mantos do topo para a base: unidade C, proveniente do bordo adelgado do continente W; unidade B, complexo ofiolítico; unidade A, complexo sedimentar e vulcânico que constitui o bordo do continente E. A distribuição das vergências nas estruturas do autóctone conduziu, assim, à

formalização de um modelo de "flocos tectónicos" (flake tectonics)" (Iglésias et al, 1983). Citando Iglésias et al. (1983) e Ribeiro et al. (1985), Eurico Pereira utiliza este modelo para considerar que se verifica, em simultâneo, "...subdução e obdução da placa oceânica no sentido E, culminando o processo por colisão intercontinentes..." (1988, p.29).

É durante o fecho do Oceano Varisco que, no ramo N, se verificou a existência de várias fases tectónicas que se podem relacionar directamente com a instalação dos diversos tipos de granitóides.

1ª fase (F1)

Quer ao nível de estruturas macroscópicas, mesoscópicas ou mesmo microscópicas, esta fase compressiva caracteriza-se pela dominância de dobras que por vezes adquirem características de cavalgamentos. Com efeito, é já nesta fase que se verifica o início da constituição do "flocos tectónicos", o que permite o desenvolvimento de fenómenos de carreamento e a instalação de granitóides: Oliveira de Azeméis, Foz do Douro, Leça da Palmeira, Praias do Paraíso e do Marreco e litoral Oeste da Galiza. No entanto, estes granitóides parecem ter já sofrido influência desta fase compressiva, o que permite atribuir uma idade provável anterior à sua ocorrência (ante a sin F1).

2ª fase (F2)

A segunda fase (F2) caracteriza-se, no essencial, pelo desenvolvimento de mantos de carreamento que expressam os seus efeitos ao nível das mesoestruturas, sendo bem desenvolvidos nos materiais alóctones. No que se refere às macroestruturas só se apresentam bem desenvolvidas nas áreas

enquadrantes do maciço granítico da S^a da Graça.

Esta fase é, sem dúvida, menos intensa e penetrativa que a fase anterior. "As estruturas desta fase, ao contrário das estruturas F1 não são omnipresentes. Encontram-se bem desenvolvidas em terrenos alóctones onde são, em regra, bastante penetrativas e têm expressão reduzida em terrenos parautóctones" (Pereira, E. 1987, p. 108). Este factor reforça e confirma a posição assumida por A. Ribeiro, citado por E. Pereira (1987, p.108), de que "... esta fase é exclusiva da progressão dos mantos de carreamento, desenvolvendo-se particularmente nas imediações dos grandes acidentes cavalgantes, na base dos mantos. As características desta fase são, necessariamente, marcadas pela dinâmica dos carreamentos".

Foi, portanto, na continuidade com F1 que se desenvolveram dobras "cizalhantes" que poderão ter sido responsáveis pela fusão de materiais crustais uma vez que há deslocação de isogeotermas e metamorfismo regional.

Este enquadramento regional parece ter sido responsável pela instalação de vários granitos, de que são exemplo os granitos de Fragas-Tourém, Paradaña-Senhora da Graça e Montesinho.

3^a fase (F3)

Posteriormente à formação do "flocó tectónico", desenvolveram-se movimentos tectónicos com carácter intracontinental. O processo de compressão desencadeou movimentações com rejogo dos cizalhamentos anteriores e formação de novas dobras nos terrenos de cobertura (Capdevila et al. 1973 e A. Ribeiro et al. 1983).

Assiste-se a um processo de deslocamento das isogeotermas e fusão crustal de sedimentos e granitóides previamente constituídos, formando-se, assim, granitos peraluminosos¹⁸.

Próximo dos maciços graníticos de Amarante e Celorico de Bastos faz-se sentir de forma mais evidente a influência das estruturas F3, sobretudo junto dos terrenos alóctones. Apesar de não ser uma deformação muito intensa, ela aumenta e adquire um carácter penetrativo "... quando nos acercamos dos maciços graníticos por razões ligadas ao aumento da plasticidade dos materiais devido à subida dos gradientes térmicos" (E. Pereira, 1987, p.131). Tendo cessado a formação do floco tectónico aquando da 3ª fase (F3), a tectónica assume, genericamente, uma direcção WNW-ESE. Exceptua-se entre Amarante e Celorico de Basto, onde a instalação dos maciços graníticos, já pós ou tardi F3, determinou uma direcção dominante de NW-SE (E. Pereira, 1987).

2. As diversas fases tectónicas na Zona Centro Ibérica e a instalação dos granitóides

Para E. Pereira (1987, pp. 185-187) a instalação dos granitóides da ZCI está dependente do conjunto de fases tectónicas referidas no ponto anterior. Dessas fases tectónicas há que realçar um conjunto de factores que condicionam a instalação dos granitóides, tal como:

- falhas pré-existentes que condicionam a distribuição geográfica dos granitóides,
- evolução do floco tectónico com o respectivo espessamento e formação dos granitóides basicrustais e mantélicos,

¹⁸ Peraluminoso: $Al - (Na+K+2Ca) > 0$, Metaloaluminoso: $Al - (Na+K+2Ca) < 0$.

- espessamento crustal com movimentação intracontinental,
- importantes períodos distensivos entre F1/F2 e F3 que permitem o acesso e instalação a vários níveis de diversos granitóides.
- levantamento tectónico e fracturação frágil que deu origem à instalação de granitóides tardios.

Considerando este conjunto de factores, podemos relacionar a dinâmica do fecho do Oceano Varisco com a instalação dos vários granitóides da ZCI.

Com base neste raciocínio, E. Pereira constituiu o seguinte quadro:

Super grupo	Grupo	Série
Granitos orogénicos	A Granitos de duas micas ...	Sin F1 Sin F2 Sin F3 Tardios F3
	B Granitóides biotíticos	Sin F3 Sin a tardi F3 Tardi F3
Granitos tardi a pós-orogénicos	C Granitóides biotíticos	Tardios face à fase de fracturação frágil

Quadro B1.1: Relação entre diversos tipos de granitóides e fases tectónicas. Extraído de E. Pereira (1987).

Por outro lado, com base no conjunto de pressupostos elaborados por E. Pereira aparece uma nova classificação feita por N. Ferreira et al. (1987) em que os granitóides são ordenados tendo em consideração as características mineralógicas e químicas:

Pré-orogénicos		
Sin-orogénicos	Ante F3	Granitos de duas micas ou biotíticos com restites
	Sin F3	Granitos biotíticos com plagioclase cálcica e seus diferenciados
		Granitos de duas micas ou biotíticos com restites
Tardi a pós-orogénicos (biotíticos com plagioclases cálcicas)		

Quadro B1.2: Relação entre diversos tipos de granitóides, segundo a sua composição mineralógica e fases tectónicas. Extraído de N. Ferreira (1987).

3. Principais granitóides da Zona Centro Ibérica no Norte de Portugal.

Os granitóides do Norte de Portugal podem ser agrupados em cinco grandes grupos (Narciso, 1987). Este tipo de agrupamento tenta estabelecer a relação entre um conjunto de granitóides e as várias fases tectónicas que afectaram a cadeia hercínica, na ZCI. Foi sobretudo durante F3, caracterizada pela compressão resultante da colisão dos blocos continentais, que se instalaram grande parte dos granitóides da ZCI.

3.1. Sin-orogénicos biotíticos Sin F3.

Estes granitóides dispõem-se ao longo do cizalhamento de Vigo-Régua e do Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão. Este facto, indicia uma forte relação com as fases tectónicas que afectaram o Devónico e o Carbónico.

Os afloramentos mais extensos situam-se na área de Felgueiras e de Lamego. Ao longo do sulco Carbonífero Dúrico-Beirão são considerados granitos e granodioritos de grão médio, porfiróide, com duas micas, ao passo que ao longo do cizalhamento Vigo-Régua se designam por granodioritos porfiróides, biotíticos, com megacristais muito desenvolvidos¹⁹.

¹⁹ A folha 1 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200000 (coordenada por E. Pereira em 1989) apresenta ainda o Granito de Lustosa/Regilde como parte integrante deste tipo de granitóides. Ao contrário, a folha 9-B à escla 1:50000 (com levantamentos de campo de Montenegro de Andrade, F. Noronha e A. Rocha e publicada em 1986) apresenta-os como tardi a pós tectónicos.

3.2. Sin-orogénicos biotíticos tardi F3.

Este grupo de rochas é caracterizado pela existência de granitos porfiróides, de grão grosseiro, essencialmente biotítico. Ocupam uma extensa faixa de afloramentos que se estende desde Arcos de Valdevez, Terras de Bouro, Vieira do Minho, Guimarães até ao Marco de Canaveses e Celorico de Basto. Apresentam ainda, largos afloramentos na Beira Alta. Formam, porventura, um dos mais extensos conjuntos de rochas do Norte de Portugal. A sua disposição geográfica indicia uma forte influência que a tectónica hercínica da ZCI teve na sua génese e instalação. Sendo tardi F3, os afloramentos rochosos deste grupo parecem aproveitar os grandes alinhamentos de fracturas do Carbónico.

3.3. Sin-orogénicos biotíticos tardi a pós F3.

Os conjuntos mais importantes que fazem parte deste grupo são os granitos de Braga/Bustelo, Burgães/Selho/Arões, S. Sebastião/Stº Ovídeo, Fafe/Briteiro, Ponte da Barca/Póvoa de Lanhoso/Monte Córdova e Paços de Ferreira, constituindo uma faixa muito extensa desde a norte de Braga até à Beira Baixa, onde os afloramentos atingem grandes extensões. São caracterizados por serem granito de duas micas, essencialmente biotítico, de grão fino, fino a médio ou médio. Fazem ainda parte deste grupo os granodioritos e os quartzodioritos, biotíticos, porfiróides ou com esparsos megacristais, de que são exemplo os de Isalde, Paredes de Coura e da Serra da Boalhosa.

3.4. Sin-orogénicos de duas micas sin a tardi F3.

Os afloramentos deste grupo ocupam importantes espaços no Norte de Portugal, em especial na Serra do Gerês, prolongando-se até Vila Real e Chaves e inflectindo para leste até Miranda do Douro. No essencial, caracteriza-se por um

grupo de granito porfiróide, ou de grão grosseiro ou médio a grosseiro de tendência porfiróide. N. Ferreira et al. (1987) indicam este conjunto de rochas como sendo sin-orogénicos sin a tardi relativamente a F3.

3.5. Tardi a pós-orogénicos.

Este conjunto, de pequena extensão no Norte de Portugal, é constituído por alguns afloramentos de maior extensão tal como o de Monção, Gerês e ainda alguns afloramentos entre Chaves e Vila Real. A maior parte destes afloramentos é constituída por granitos porfiróides, de grão grosseiro a médio, biotítico, embora possa ser de grão fino, às vezes porfiróide, tal como no caso do granito de Tieres e de Mangueiras.

4. Os granitóides da área de Guimarães

Na área de Guimarães, onde pretendemos desenvolver a metodologia de definição dos riscos de movimentos de vertente, só encontraremos granitóides sin-orogénicos biotíticos sin a tardi F3.

Do grupo sin F3 fazem parte o granodiorito de Felgueiras. Este granodiorito é designado porfiróide, orientado, biotítico com grandes megacristais de feldspato potássico. Como já foi referido, em 1989, a folha 1 da Carta Geológica de Portugal inclui neste grupo o granito de Lustosa/Regilde, que apresentam grão médio.

Fazendo parte do extenso grupo de granitóides sin-orogénicos tardi F3, o Granito de Guimarães/Stº Tirso é designado monzogranito biotítico, porfiróide, de grão grosseiro.

O granito de Burgães/Selho/Arões é sin-orogénico tardi a pós F3, classificado como monzogranito biotítico, porfiróide, de grão médio. Aflora próximo de Fafe e a leste de Stº Tirso. Igualmente pertencente a este grupo, destacam-se vários outros granitóides tal como os granitos de Fafe/Sendim e de Airão/Aves/Roriz e o granodiorito de Guimarei. O granito de Fafe/Sendim é designado por monzogranito, de grão fino, de duas micas com predomínio de biotite ao passo que o de Airão/Aves/Roriz é um monzogranito de grão médio de tendência porfiróide, de duas micas, com predomínio de biotite. O granodiorito de Guimarei é de grão médio de tendência porfiróide.

4.1. Características mineralógicas

A diversidade de composição mineralógica dos granitóides pode constituir um elemento de análise importante para a distinção da susceptibilidade à alteração. Considerando o conjunto dos granitóides da área em estudo, procuramos identificar a percentagem dos minerais principais que os constituem, sintetizando-se essa informação no quadro1.

Os valores registados resultam da investigação de vários autores, que utilizaram duas metodologias: leitura da composição modal em lâmina delgada e coloração com cobaltonitrito. Por esta razão permanece a suspeita de que as diferentes metodologias de trabalho na análise das amostras podem ter contribuído para resultados diversos (quadro B1.3).

A composição mineralógica do granito de Guimarães é apresentada por Montenegro de Andrade et al. (1985) com valores muito dispares, consoante se considera o método da coloração por cobaltonitrito ou a leitura da composição modal em lâmina delgada. Com efeito, utilizando a coloração por

cobaltonitrito a percentagem de quartzo é de 28,8% da amostra, 32,4% de feldspato potássico e 24,9% de plagióclase. No caso do uso do método da composição modal os valores para o quartzo sobem para 31,8% e a percentagem de feldspato potássico desce para 27,4%.

Esta discrepância de valores poderá ser atribuída às diferentes metodologias de análise. No entanto, a análise de outros granitóides, com a utilização do mesmo método para todas as amostras, apresenta, também, valores muito díspares.

O granodiorito de Felgueiras, segundo os mesmos autores, apresenta valores de quartzo entre 24,6% e 38,4%. Neste caso, as amostragens feitas apresentam variação superior a 10% do total da amostra. Para o feldspato potássico os valores variam entre 10,9% e 22,8%, a plagióclase oscila entre 35% e 44,9%, a biotite entre 14,5% e 23,5% e a moscovite entre 0,4% e 2,5%, em três amostras em que se analisou a composição mineralógica utilizando o método da composição modal em lâmina delgada. Desta forma, não podemos atribuir a grande variabilidade da composição mineralógica às diferentes metodologias de análise dos granitóides.

Os granodioritos de Felgueiras distinguem-se dos restantes granitóides em virtude da elevada percentagem de plagióclase. Ao contrário do granito de Guimarães/Sto Tirso, o granodiorito de Felgueiras é rico em plagióclase (Montenegro de Andrade et al., 1985). Estes dois tipos de rochas constituem os

QUADRO B1.3: CARACTERÍSTICAS DOS GRANITÓIDES DOMINANTES NA ÁREA DE GUIMARÃES
- FOLHA 9-B DA CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL -
 (valores em percentagem)

GRANITÓIDES	TEXTURA	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA	TECTÓNICA
<i>Granito de Guimarães e Sto Tirso</i>	<i>Porfíroide de grão grosseiro</i>	<i>SiO₂ - 67,3 Al₂O₃ - 14,74 Fe₂O_{3t} - 4,12 MnO - 0,04 MgO - 0,82 CaO - 2,13 NaO - 3,09 K₂O - 5,38 TiO₂ - 0,7 P₂O₅ - 0,25</i>	<i>Quartzo - 31,8 Feldspato potássico - 27,4 Plagioclase - 25,2 Biotite - 10,6 (Comp. modal) Quartzo - 28,8 Feldspato potássico - 32,4 Plagioclase - 24,9 Biotite - 12,8 (Cobaltonitrato)</i>	<i>Tardi-tectónico em relação a F₃</i>
<i>Granito de Burgães/Selho/Arões e Fafe/Sendim (*)</i>	<i>Porfíroide de grão médio de tendência porfíroide Monzogranito de grão fino, de duas micas com predomínio da biotite.</i>	<i>SiO₂ - 66,64 Al₂O₃ - 15,21 Fe₂O_{3t} - 3,96 MnO - 0,06 MgO - 1,33 CaO - 2,24 NaO - 2,88 K₂O - 5,23 TiO₂ - 0,75 P₂O₅ - 0,42</i>	<i>Quartzo - 31 Feldspato potássico - 25,3 Plagioclase - 26,8 Micas (biotite) - 16,8</i>	<i>Tardi a pos-tectónico relativamente a F₃</i>
<i>Granodiorito de Felgueiras</i>	<i>Porfíroide de grão grosseiro a médio</i>	<i>SiO₂ - 63,15 Al₂O₃ - 16,01 Fe₂O_{3t} - 7,02 MnO - 0,09 MgO - 1,75 CaO - 2,82 Na₂O - 3,12 K₂O - 4,91 TiO₂ - 0,9 P₂O₅ - 0,41</i>	<i>Quartzo - 24,6 a 38,4 Feldspato potássico - 10,9 a 22,8 Plagioclase - 35 a 44,9 Biotite - 14,5 a 23,5 Moscovite - 0,4 a 2,5</i>	<i>Ante a sin-tectónico relativamente a F₃</i>
<i>Granito de Airão, Aves, Roriz</i>	<i>Monzogranito de grão médio de tendência porfíroide, de duas micas com predomínio da biotite. Monzogranito de grão fino, de duas micas com predomínio da biotite.</i>	<i>SiO₂ - 66,19 Al₂O₃ - 15,26 Fe₂O_{3t} - 3,62 MnO - 0,04 MgO - 1,28 CaO - 2,00 NaO - 3,01 K₂O - 5,19 TiO₂ - 0,74 P₂O₅ - 0,46</i>	<i>Quartzo - 25,4 Feldspato potássico - 26,3 Plagioclase - 31,7 Biotite - 12,2 Moscovite - 3,5</i>	<i>Pós-tectónico</i>
<i>Granito de Lustosa e Regilde</i>	<i>Rocha equigranular de grão médio</i>	<i>SiO₂ - 74,15 Al₂O₃ - 13,75 Fe₂O_{3t} - 1,12 MnO - 0,02 MgO - 0,25 CaO - 0,71 NaO - 4,02 K₂O - 4,50 TiO₂ - 0,15 P₂O₅ - 0,29</i>	<i>Quartzo - 30,08 Ortoclase 26,2 Biotite - 2,9 Moscovite - 1,5 Plagioclase - 34,9 Sillimanite - 2,3</i>	<i>Sin-tectónico relativamente a F₃</i>
<i>Vaugneritos de Sapielos, Antime e Silvares rochas dioríticas, quartzo-dioríticas e tonalíticas</i>	<i>Grão médio a grosseiro</i>	<i>SiO₂ - 50,62 a 52,89 Al₂O₃ - 15,76 a 17,20 Fe₂O₃ - 1,87 a 4,39 FeO - 3,83 a 6,84 MnO - 0,13 a 0,14 MgO - 4,17 a 7,46 CaO - 5,82 a 6,89 NaO - 2,75 a 3,79 K₂O - 3,41 a 3,61 TiO₂ - 1,55 a 1,95 P₂O₅ - 0,78 a 1,04</i>	<i>Quartzo - 9,1 a 21,4 Feldspato potássico - 3,8 a 11,2 Biotite - 21,6 a 28,6 Plagioclase - 42,8 a 49,1 Hornblenda - 2,7 a 5,2 Clonopiroxena - 0,2 a 1,6 Esfena - 0,6 a 2,6</i>	<i>Tardi-tectónicos</i>

Montenegro Andrade, F. Sodré Borges e F. Noronha. Livro guia das excursões realizadas no âmbito da IX reunião de Geologia do Oeste Peninsular, Porto, 1985.

* Embora a cartografia geológica apresente o granito de Fafe diferente dos de Airão, Aves e Roriz, só diferem quanto à textura. Assim, os autores citados referem-se a estes granitóides como tendo a mesma composição químico-mineralógica.

extremos de uma escala em que a plagióclase tem percentagem elevada nos granodioritos de Felgueiras e apresenta os valores mínimos nos granitos de Guimarães/Sto Tirso. Os granitos de Burgães/Selho e Arões, assim como o monzogranito de Fafe/Sendim tem 26,8% de plagióclase, sendo valores muito próximos do granito de Guimarães/Sto Tirso. Por outro lado, o granito de Airão, Aves e Roriz, com 31,7% de plagióclase, são granitóides que se aproximam da composição mineralógica do granodiorito de Felgueiras²⁰.

A análise da composição mineralógica dos diversos granitóides permitiu verificar que essa também existe no mesmo afloramento, o que impossibilita identificar, com clareza, a partir da cartografia geológica publicada, as manchas mais susceptíveis à alteração. Desta forma, a classificação das rochas segundo a susceptibilidade à alteração, não pode ser feita com base nos limites geológicos definidos pela cartografia geológica portuguesa. Impõe-se a realização do levantamento e cartografia das formações superficiais das áreas a estudar, sobretudo se pretendemos perceber a importância das alterações graníticas para a ocorrência de movimentos em massa.

4.2. Composição química dos granitóides

Dos valores verificáveis no quadro B1.3 é possível distinguir a Silica (SiO_2) e o Alumínio (Al_2O_3) como os elementos dominantes. Em grande parte dos granitóides estes elementos constituem mais de 80% do total da composição química. Os únicos valores que possuímos, para a composição química, em que

²⁰De notar que, para os vários granitóides que afloram no norte de Portugal, é frequente fazerem-se distinções baseadas na textura. De facto, a folha 9-B da Carta Geológica de Portugal apresenta o granito de Fafe/Sendim distinto do de Burgães/Selho e Arões, mas no que se refere à composição mineralógica são muito semelhantes.

são apresentados os valores máximos e mínimos observados dizem respeito ao granito de Guimarães. Todos os restantes valores publicados pelos diversos autores apresentam valores médios do conjunto das amostras estudadas.

No quadro1 são apresentados os valores médios dos diferentes componentes químicos e mineralógicos. Verificamos uma amplitude de variação para o SiO_2 que no Granito de Guimarães é de cerca de 3 %. Apesar de não ser uma diferença muito acentuada, é possível perceber que também na composição química existem variações no mesmo afloramento, que podem estar mascaradas pelos valores médios apresentados nos textos aqui referidos.

Por outro lado, o granito de Burgães/Selho/Arões tem um valor de SiO_2 de 66,64. De igual forma, os monzogranitos de grão fino (granito de Fafe/Sendim), têm valores de 66,19%. Tanto os granitos de Burgães/Selho e Arões como o granito de Fafe/Sendim pertencem a afloramentos que, do ponto de vista geodinâmico, podem ser considerados sincrónicos (N. Ferreira et al.,1987). De notar que estes valores são muito semelhantes aos do granito de Guimarães/Sto Tirso.

No entanto, as discrepâncias registadas nos valores de SiO_2 e Al_2O_3 reforçam a ideia de que ao longo do mesmo afloramento rochoso a composição química dos granitóides varia bastante, sendo impossível realizar uma cartografia que permita distinguir os granitóides segundo a composição química, bem como distinguir, dentro do mesmo tipo de rocha, variantes passíveis de serem cartografadas.

Este conjunto de considerações torna impossível relacionar eventuais diferenças na alteração dos granitóides com a diversidade de composição

química, à semelhança do que ocorre com a composição mineralógica.

O estudo da composição química e mineralógica do conjunto dos granitóides não nos permite estabelecer uma relação directa entre um qualquer granitóide e a maior ou menor facilidade de meteorização e de constituição de mantos de alteração. Desta forma, e com os elementos disponíveis, a utilização da cartografia geológica como referência para a cartografia das áreas susceptíveis à alteração mais forte está comprometida, já que essa alteração não vai estar directamente dependente da caracterização químico-mineralógica de um tipo de granitóide.

A variabilidade de composição mineralógica e química entre os diferentes afloramentos rochosos e, sobretudo, no interior do afloramento, constitui um obstáculo à constituição de uma cartografia geral quanto à susceptibilidade à alteração. Não sendo possível distinguir de forma clara os diversos tipos de granitóides da Zona Centro Ibérica (ZCI) quanto à composição químico-mineralógica, não podemos estabelecer uma ligação directa entre este factor e a susceptibilidade à alteração dos diversos granitóides classificados segundo a cartografia geológica de Portugal. Resta-nos recorrer a outro factor de alteração: a textura.

4.3. Textura

É possível agrupar os granitóides da ZCI utilizando o critério da textura. Esse parece ter sido o critério dominante na cartografia geológica portuguesa. Ao estabelecer a relação entre granitóides e fases tectónicas na ZCI a geologia portuguesa estabeleceu agrupamentos de tipos litológicos com textura (senso restrito) semelhantes. O afloramento de maior dimensão corresponde ao granito

de Guimarães/Sto Tirso e distingue-se pelo seu grão grosseiro. De igual forma, o Granodiorito de Felgueiras corresponde a um granitóide de grão grosseiro a médio, embora os feldspatos sejam porfiróides. Outro granitóide importante em extensão é o granito de Burgães/Selho e Arões que apresenta o grão médio de tendência porfiróide. De notar que este granitóide, apesar de apresentar a mesma composição química que o granito de Fafe/Sendim, distingue-se deste pela textura, já que são constituídos por grão médio e fino respectivamente.

O granito de Lustosa/Regilde apresenta-se como rocha equigranular, distinguindo-se, portanto, das outras também pela textura, já que todas as outras têm os cristais de feldspato porfiróides, ou de tendência porfiróide.

5. Principais características da alteração dos granitóides

Do conjunto dos granitóides da área em estudo é possível considerar alguns perfis de alteração já estudados por diversos autores que desenvolveram investigações sobre alterações, dos quais há que salientar os estudos feitos por Amália Braga (1988) e Laura Soares (1992). A descrição macroscópica de quatro perfis que correspondem a quatro tipos de granitóides diferentes estão sintetizados no quadro B1.4.

Este conjunto de granitóides e perfis deles derivados inserem-se numa extensa área do NW peninsular, que faz parte da ZCI Portuguesa. Pela sua localização e características, é possível que as alterações estudadas ao longo destes perfis tenham correspondência com inúmeros perfis observados ao longo do trabalho de campo efectuado na nossa área de trabalho (Guimarães/Braga).

QUADRO B1.4: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS PERFIS DE ALTERAÇÃO DE GRANITÓIDES DA ÁREA DE GUIMARÃES

- FOLHA 9-B DA CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL -

GRAU DE ALTERAÇÃO	GRANITO DE LUSTOSA/REGILDE	GRANODIORITO DE FELGUEIRAS	GRANITO DE GUIMARÃES	GRANITO DE BURGÃES/SELHO/ARÕES
RS (rocha sã)	+ Bolas graníticas	+ Cór cinzenta azulada + Muito duro, difícil de partir com o martelo + Quartzo com brilho vítrio + Biotite + Muito fracturado	+ Cór cinzenta bastante escura + Muito resistente + Bolas graníticas	+ Bolas graníticas + Cór cinzenta + Rocha sã muito dura, difícil de partir com o martelo
RAC (Rocha alterada compacta)	RPA (Rocha pouco alterada) + Coloração com tons amarelos. + Manto de alteração pouco alterado. + Fracturação vertical. RA (Rocha alterada) + Difícil de desagregar	RPA (Rocha pouco alterada) + Capas de alteração resistentes + Partem com o martelo + Cór cinzenta forte + Presença de óxidos de ferro ao longo dos planos das diáclases RA (Rocha alterada) + Cede à pressão das mãos + Tom castanho com a impregnação de óxidos de ferro + Auréolas em torno das biotites + Feldspatos manchados, baços e quebradiços + Por vezes, há intercalação de capas resistentes	RPA (Rocha pouco alterada) + Conserva tons de cinza + Ligeiramente amarelado por óxidos de ferro + Difícilmente parte com o martelo RA (Rocha alterada) + Tons castanhos + Parte-se facilmente com as mãos + Feldspatos esboroam-se facilmente e as biotites não têm brilho	RPA (Rocha pouco alterada) + Capa resistente fina + Parte-se com alguma facilidade com o martelo + Fraca alteração + Presença de óxidos de ferro RA (Rocha alterada) + Parte-se com a mão + Tons castanho-amarelado + Feldspatos partem facilmente + Megacristais esparsos
AEC (Arenas de Estrutura Conservada) e A (Arenas)	AEC (Arenas de Estrutura Conservada) e A (Arenas) + Fina camada no topo do perfil. + Presença ao longo das fracturas em grandes quantidades..	+ Cór branca-amarelada + Massa rochosa m fase de decomposição avançada + Desagrega-se sob pressão dos dedos + Não se identificam os traços da alteração inicial + Presença dos grãos de quartzo + Feldspatos esboroam-se com facilidade + Biotite quase desaparece e tem aspecto descorado	+ Material decomposto grosseiro + Cór branca-amarelada + Estrutura conservada + Conservação dos megacristais de feldspato + Filões de aplito perfeitamente conservados e fracturados	+ Megacristais de feldspato + Encraves de rochas metasedimentares + Arena com estrutura conservada + Grande quantidade de argila na parte superior do perfil + Areias de quartzos + Arenização dos feldspatos
SOLOS	+ Horizonte A + Transição brusca entre solos e alterações graníticas	+ Horizonte A + Transição brusca entre solos e alterações graníticas	+ Passagem progressiva das arenas de estrutura conservada a uma massa com teor mais elevado de argila	

Os dados compilados neste quadro foram retirados dos trabalhos de A. Braga (1988) e L. Soares (1992)

A leitura das características dos perfis não vai ser feita neste texto, já que, para tal basta ler o quadro B1.4. A nossa preocupação consiste em salientar as diferenças entre os diversos perfis.

Do conjunto dos perfis estudados, no que se refere à leitura macroscópica, quase todos apresentam uma evolução marcada em vários níveis, desde rocha sã, rocha pouco alterada ou também designada por rocha compacta pouco alterada, arena de estrutura conservada e arena granítica onde não é possível encontrar qualquer elemento estrutural da rocha-mãe.

Quer no que se refere à cor, resistência ao impacto do martelo, estado de conservação dos minerais que compõem cada faixa de alteração, presença de óxidos de ferro, descoloração das biotites e resistência dos feldspatos potássicos e plagióclases, a descrição dos vários perfis apresenta semelhanças muito apreciáveis, mesmo sabendo que resultam de tipo de granitóides diferentes. É, porventura, ao nível da composição química e mineralógica que se poderão desenvolver algumas diferenças entre diversos tipo de mantos de alteração. No entanto, a haver tal diferenciação, ela poderá resultar da influência directa da composição químico-mineralógica da rocha mãe, que, como foi visto, não exerce influência uniforme ao longo de todo o afloramento.

Conforme discutido ao longo deste texto, não se pode estabelecer uma distinção directa e clara entre os diversos tipo de granitóides com base na composição químico-mineralógica. Nesse caso, a diferenciação entre mantos de alteração baseada nas várias composições químico-mineralógicas herdadas directamente da rocha mãe, não parece critério sólido para promover uma

cartografia das formações superficiais resultantes da alteração dos vários granitóides.

No quadro B1.4 é feita a comparação dos diversos tipos de alterações estudados por A. Braga (1988) e L. Soares (1992), constituídos a expensas de granitóides que afloram nas áreas de estudo do nosso trabalho. Este quadro faz-nos a apresentação das características macroscópicas dos vários perfis, considerando quatro fases de alteração desde a rocha sã (RS) até ao solo (S):

- 1 - rocha alterada compacta (RAC) ou rocha pouco alterada (RPA),
- 2 - rocha alterada (RA),
- 3 - arena de estrutura conservada (AEC),
- 4 - arena (A).

No que se refere à rocha sã há ligeiras diferenças na classificação das rochas, sendo que A. Braga (1988) se refere aos granitos como tendo cor azulada e L. Soares (1992) refere-se aos vários granitóides como tendo cor cinzenta, mais ou menos escura ou azulada. No geral, são rochas muito duras e difíceis de partir com o martelo, apresentando fracturas de arestas vivas. Quanto aos feldspatos, apresentam aspecto fresco e são brancos.

Quanto à rocha alterada compacta ela encontra-se geralmente nas capas de alteração que envolvem núcleos de granito sã. Em todas elas a resistência ainda é importante, embora fácil de partir com o martelo. A semelhança entre os diversos mantos de alteração mantém-se quando centramos a nossa atenção na análise dos feldspatos (duros e com brilho nas superfícies de clivagem), na presença de óxidos de ferro (traduzida pela coloração

castanha/amarelada particularmente próximo de fracturas ou diáclases) ou ainda no grau de alteração.

Nos perfis de Cimo de Vila (Granodiorito de Felgueiras) Nogueira (Granito de Guimarães) e Ribeira (Granito de Burgães) faz-se a distinção entre rocha pouco alterada e rocha alterada. Nestes perfis, a característica da resistência mantém-se sempre idêntica, ou seja, fácil de partir com o martelo, as biotites perdem a coloração (em geral apresentam um tom castanho claro), e os feldspatos partem facilmente. As passagens destas fases de alteração para as arenas são bruscas e irregulares. A percentagem de megacristais e micas, sobretudo de biotite, depende em larga medida da composição mineralógica da rocha mãe. No caso dos mantos de alteração resultantes do granito de Lustosa/Regilde, o contraste entre rocha pouco alterada e arenas graníticas é muito brusco e sem o nível intermédio designado de rocha alterada.

Também no que diz respeito às arenas, a semelhança entre os diversos perfis é importante sobretudo quando se faz uma análise macroscópica. As grandes diferenças advêm do conjunto de características herdadas da rocha mãe. As características da textura de uma arena dependem directamente da textura da rocha que a originou.

Sendo o quartzo o mineral de melhor conservação, é o que maior influência tem na textura das arenas graníticas. É interessante perceber que o feldspato potássico constitui um elemento importante, sobretudo se ocorre em fenocristais (L. Soares, 1992).

Nas arenas parece ser importante a argilização, sobretudo das

plagióclases e micas, sendo que, por vezes, se refere que a biotite quase desaparece (Granodiorito de Felgueiras). De salientar, ainda, que nas arenas graníticas resultantes da alteração do granito de Burgães (perfil de Ribeira) faz-se referência à ausência de feldspatos, tanto dos feldspatos potássicos como das plagióclases (L. Soares, 1992).

A. Braga (1988) procede à análise da granulometria dos vários modelos de perfis de alteração estudados. No conjunto de perfis estudados por A. Braga, a percentagem de argilas oscila entre 4% e 10%, só atingindo 16% no perfil de alteração resultante do granodiorito de Carapeços (próximo de Vieira do Minho).

O facto das arenas graníticas terem uma percentagem muito reduzida de argilas representa um elemento muito importante no que diz respeito à interpretação e entendimento das causas de movimentos em massa que ocorrem a expensas dos mantos de alteração. Com efeito, segundo a mesma autora, a alteração parece ser intensa e importante mas, apesar disso, a fracção fina nos mantos de alteração das regiões temperadas e, nomeadamente, no NW peninsular, é fraca, raramente ultrapassando os 10%. A autora justifica o facto com a lixiviação dos mantos de alteração, que constitui processo determinante para entender a formação das arenas esqueléticas²¹. "A lixiviação conduz e assegura os mais intensos graus de evolução mineralógica para minerais destas arenas" (Braga, 1988, p.292). Para este tipo de evolução das arenas graníticas parece ser determinante o tipo de clima, associado a um encaixe vigoroso da rede hidrográfica, que permite uma drenagem superficial e interna importante.

²¹ A autora refere-se às arenas esqueléticas quando aborda o problema da lixiviação dos mantos de alteração em clima frio ou temperado atlântico, com níveis de base baixos, que permitem um forte escoamento interno nos mantos de alteração. Nestas condições, os materiais mais finos são removidos, permanecendo o esqueleto constituído, quase exclusivamente, por quartzo.

Ainda segundo A. Braga (1988, p. 300) "a espessura da arenização é da mesma ordem de grandeza, de N. a S. da Europa. Contrariamente, a quantidade de matéria prima exportada cresce dos climas frios para os climas mais quentes". É, portanto, natural que as arenas graníticas do NW peninsular sejam arenas esqueléticas, em que o "esqueleto representa mais de 90% da própria arena" (A. Braga, 1988, p.301), por oposição às alterites subtropicais que "... são, na maior parte argilosas. Estas resultam da alteração plasmogénica que produz um plasma formado de minerais argilosos e de óxi-hidróxidos de ferro e alumínio. Esta oposição total, entre alterite esquelética e plásmica, é o resultado de numerosos factores, dos quais os mais importantes são os climáticos" (A. Braga, 1988, citando Millot, 1964 e Pedro, 1968)

As condições climáticas registadas nas regiões quentes e húmidas conduzem a uma alteração profunda e intensa. "A cinética da reacção é tão rápida que a produção de plasma é grande. Este plasma adquire o esqueleto que se organiza numa textura microglomerolar extremamente porosa" (A. Braga, 1988, p. 301). Nestas condições a alteração progride de tal forma que o próprio esqueleto quartzoso quase desaparece, sendo de registar percentagens de argilas que chegam a atingir os 40% do total do material resultante da alteração.

Assim, "as arenas são alterites esqueléticas, com pequena quantidade de fracção fina" ao passo que "as alterites argilosas são muito ricas em plasma, onde o esqueleto se encontra em vias de dissolução ou fragmentação" (A. Braga, 1988, p. 301).

Do conjunto de considerações feitas a propósito dos estudos sobre mantos de alteração de granitóides atrás referidos, percebe-se por que motivo as

arenas graníticas apresentam uma percentagem de argila muito fraca. O estudo dos movimentos de vertente em regiões sedimentares têm demonstrado uma relação próxima entre maior frequência de ocorrência e formações litológicas com maior componente argilosa (J. L. Zêzere, 1997). Dada a fraca componente argilosa das arenas observáveis nas regiões temperadas atlânticas, parece claro que, para delimitar as áreas de mais forte risco de movimento em massa, não basta cartografar as áreas de alteração dos diversos tipos de granitóides.

Para além dos mantos de alteração, há que considerar a importância que outros factores poderão ter no desenvolvimento de movimentos de vertente, na evolução geomorfológica e actual de vertentes.

6. O papel da textura e da fracturação.

Já em 1978, Brum Ferreira (p.12) afirmava que "os granitos de grão médio a fino são, ..., quase sempre de tendência alcalina e de duas micas, enquanto que os granitos porfiróides de grão grosseiro são geralmente calco-alcalinos e biotíticos, por vezes de composição claramente granodiorítica". Esta constatação pretendia estabelecer uma relação entre composição química e textura dos granitóides, sendo os últimos considerados granitos mais facilmente alteráveis, o que resultaria da tendência calco-alcalina e da textura grosseira.

A relação entre porosidade/permeabilidade e alteração adquire papel importante no texto de L. Soares (1992), a partir da análise da textura, mas sobretudo da fracturação. Fazendo a síntese de trabalhos de vários autores chega-se à conclusão que a fracturação vai ter uma importância determinante em todo o processo de alteração das rochas. "A sua importância deve ser

analisada tanto à escala do afloramento (macrofissuração) como do mineral (microfissuração), uma vez que ambas exercem influência sobre a maior ou menor facilidade de penetração e circulação da água." (L. Soares, 1992, p.44). Nesta perspectiva, a importância da composição químico-mineralógica dos granitóides na explicação da maior ou menor susceptibilidade à alteração torna-se secundária. Esta ideia base já tinha sido expressa por Amália Braga (1988), quando apontava para a importância da fracturação (micro e macro) como elemento essencial no desencadear dos processos de meteorização química.

Confirma-se assim, ao nível da análise da microfissuração, o que já tinha surgido como relevante ao nível da macrofissuração. G. Coudé-Gaussen (1981) apresenta a grande fracturação como elemento essencial na génese e evolução dos alvéolos. Tendo em conta estes elementos, poderíamos considerar que "...a trama da tectónica guiou o seu traçado, esta heterogeneidade tectónica favoreceu o seu alargamento" (Coudé-Gaussen, 1981, p. 78).

Em 1992, L. Soares retoma este raciocínio afirmando que "o grau de conservação das rochas privilegia essencialmente variáveis ligadas a aspectos texturais, da fracturação e porosidade, enquanto que a composição químico-mineralógica assume um papel subalterno". Exemplificando, refere que, relativamente a este factor (químico-mineralógico), "...o granito de Guimarães/Sto Tirso representa um dos termos menos alteráveis, embora no terreno evidencie uma forte alteração" (L. Soares, 1992, p. 146).

Considerando que a alteração dos granitóides depende prioritariamente do grau de fracturação, quer à grande escala, quer à pequena escala, e a composição químico-mineralógica não é factor relevante para

ordená-los segundo a potencialidade para gerar mantos de alteração espessos, não podemos utilizar a cartografia geológica disponível como critério relevante na definição das áreas que revelam maior apetência à formação de mantos de alteração.

7. Conclusão

A análise dos diversos tipos de granitóides desenvolvida ao longo destas linhas, tinha por objectivo identificá-los e ordená-los de acordo com a susceptibilidade à alteração assim como com a percentagem de argila que constituem os mantos de alteração por eles originados.

Como primeiras conclusões podemos afirmar que:

- os mantos de alteração na Europa, e, em particular, no NW peninsular, são pobres em argilas, sendo que na esmagadora maioria das análises feitas (A. Braga, 1988 e M. Caetano, 1995) os resultados não atingiram os 10%, excepto em condições topográficas de muito fraca drenagem. Só os granodioritos apresentam percentagens de 16%, mas no total dos granitóides têm muito pouco significado geográfico;

- a micro e macrofissuração são determinantes para o desenvolvimento de espessos mantos de alteração, sobrepondo-se à composição químico-mineralógica e mesmo à textura. Este factor é directamente dependente da tectónica que afecta as diferentes rochas, independentemente da sua composição químico-mineralógica;

- por estas razões, o estudo das características químico-mineralógicas

dos diferentes granitóides não nos permite produzir uma cartografia segundo a sua sensibilidade à alteração já que esta, pelo menos no estado actual da investigação, se considera directamente dependente da fracturação;

- por outro lado, a fraca componente de fracção argilosa leva-nos a questionar a importância dos mantos de alteração no desenvolvimento de processos de evolução de vertentes, sobretudo no que se refere aos movimentos de vertente.

As consequências destas conclusões no que se refere ao trabalho de definição das áreas de risco de movimento em massa são extremamente importantes. Não sendo possível identificar granitóides como potencializadores de alteração que, por seu lado, impliquem uma maior instabilidade nas vertentes, não será possível utilizar a cartografia geológica como elemento cartográfico de base para o estudo dos riscos naturais nomeadamente de movimento em massa em afloramentos graníticos. Este problema agrava-se já que não há cartografia das formações superficiais capaz de nos fornecer elementos cartográficos, à escala média, que possam ser utilizados em ambiente SIG. Há que produzir levantamentos de campo em áreas de pormenor que, dadas as conclusões referidas, é difícil generalizar a outro tipo de granitóides. Desta forma, o estudo da área amostra parece ser essencial no processo de constituição de um Sistema de Informação Geográfica de Risco de Movimento de vertente.

Capítulo B2 - Caracterização geomorfológica do NW português.

1. Aspectos morfológicos.

Já em 1951 Mariano Feio se referia ao relevo do Minho como sendo um relevo de características muito particulares, sendo de salientar os profundos encaixes dos vales, quer nas áreas de montanha, a E, quer nas secções médias dos cursos de água, a W. No entanto, a característica mais importante relaciona-se com o aspecto amplo dos vales, de fundo plano ou pouco acidentado, o que contrasta com o aspecto abrupto das vertentes. Esta morfologia torna difícil o relacionamento dos vales com a acção dos cursos de água (A. B. Ferreira, 1983). Embora nas áreas montanhosas, a E, o encaixe vigoroso permita a formação de interflúvios que resultam da intercepção de vertentes, a W, na secção média dos vales, os interflúvios apresentam-se bastante mais amplos e não é comum o processo de intercepção assinalado para as áreas montanhosas.

Considerando a disposição geral do relevo do NW português verificamos uma descida geral de altitudes de E para W, que alguns autores (M. Feio, 1951; C. Gaussen, 1981) não hesitam em atribuir à existência de uma "ampla flexura, cortada por falhas de fraca amplitude, mergulhando para NW e atingindo ao mesmo tempo o Minho e a Galiza" (A. B. Ferreira, 1983, p.326).

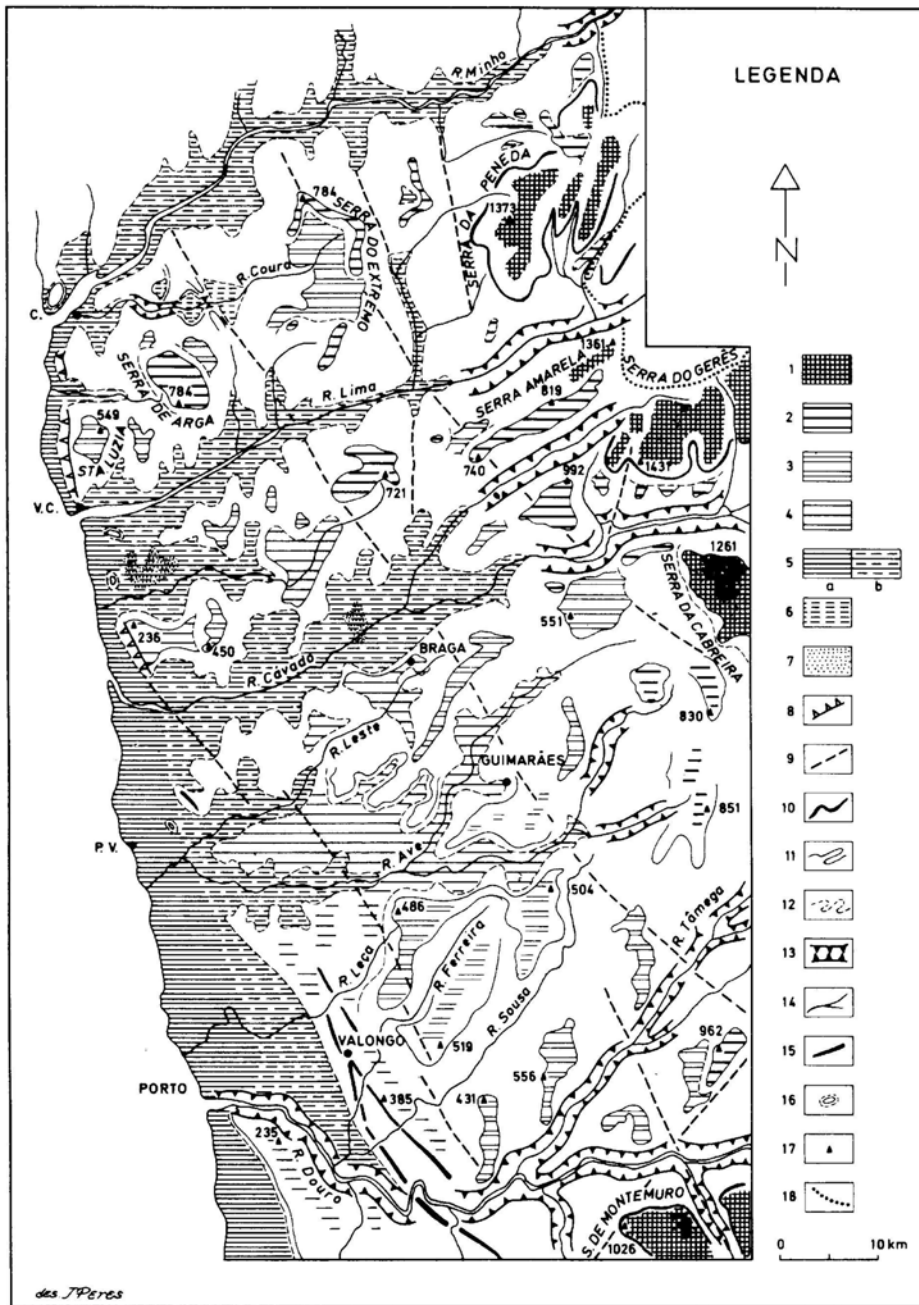


Fig. B2.1: Esboço geomorfológico do Minho ocidental. Extraído de A. B. Ferreira, 1983. 1-Níveis culminantes das montanhas interiores, 2-Níveis culminantes das montanhas do Minho ocidental, 3-Níveis geralmente embutidos em 2, 4-Níveis de transição entre 3 e 5 e 5-Níveis plio-quadernários: a, abrasão marinha; b, erosão subaérea e flúvio - marinha; 6 - Alvéolos do rio Coura (Coura, Covas e Sopo); 7-Depósitos de Alvarães e de Prado; 8-Areriba fóssil, provavelmente de origem tectónica; 9-Alinhamentos de fracturas hercínicas e tardi-hercínicas (certas e prováveis); 10-Rebordo montanhoso; 11-Alto de vertente; 12-Base de vertente; 13-Garganta; 14-Curso de água; 15-Crista de quartzito; 16-Relevo residual circunscrito; 17-Altitude, em metros; 18-Fronteira; C-Caminha; P.V.-Póvoa de Varzim; V.C.-Viana do Castelo.

O decréscimo das altitudes verificadas de E para W é explicado como sendo uma sucessão de níveis de aplanamento escalonados (M. Feio, 1951; C. Gaussen, 1981; A. B. Ferreira, 1983 e S. Daveau, 1987). Com base na disposição altimétrica de topos e retalhos planos considera-se a existência de cinco níveis de aplanamento. C. Gaussen (1981, p. 23) agrupa-os segundo conjuntos de altitudes: nível 1 a 1100-1300m; nível 2 a 700-1000m; nível 3 a 600-800m; nível 4 a 400-500m e nível 5 a 150-250m. No entanto A. B. Ferreira prefere designá-los pela posição relativa que apresentam, talvez numa tentativa de conciliar a definição de níveis de aplanamento com a influência de uma neotectónica cada vez mais admitida como importante no NW português, o que torna difícil a aceitação do critério altitudinal na definição dos níveis de aplanamento. Este autor (1983, p.330) considera os seguintes níveis: 1º Níveis culminantes das montanhas interiores, 2º Níveis culminantes das montanhas do Minho ocidental, 3º Níveis geralmente embutidos em 2, 4º Níveis de transição entre 3 e 5 e 5º Níveis plio-quadernários (fig. B2.1).

Neste contexto, o fundo dos vales dos grandes cursos de água do NW, Minho, Lima, Cávado, Ave, coincide com a superfície poligénica definida por este autor como sendo de origem marinha, próximo do litoral, e com origem em erosão subaérea ou fluvio-marinha, ao longo dos referidos vales. Este nível de aplanamento corresponde ao nível 5 e apresenta uma evolução que se refere ao Plio-quadernário, se tivermos em linha de conta os indícios de forte alteração referida aos depósitos de Alvarães e Lanheses e os diversos fósseis vegetais que aí foram encontrados.

Esta superfície atinge grande desenvolvimento ao longo dos vales do

Minho, Lima e Cávado, mas já não atinge a mesma dimensão no vale do Ave. Na área de Guimarães o relevo reflecte a importância dos níveis 3 e 4, que constituem os níveis de transição para os níveis culminantes mais para o interior montanhoso. A conservação destes níveis é pequena já que representam as áreas de transição entre o relevo baixo, próximo do nível de base do litoral, e as grandes elevações das serras minhotas, afectadas por encaixe vigoroso da rede hidrográfica. Os vales apresentam características de vales alveolares, onde o papel da erosão é facilitado por uma importante alteração das rochas granitóides. O recuo das vertentes, associado à "imunidade das escarpas graníticas" (M. Feio, 1951; C. Gaussen, 1981; O. Ribeiro et al., 1987), permitiu a evacuação de grande quantidade de materiais dando origem a depressões prefiguradas pela alteração (A. B. Ferreira, 1983).

Esta morfologia constituída por depressões, nem sempre bem delimitadas, prefiguradas pela alteração das rochas cristalinas e que se estendem ao longo dos vales mais importantes do NW português, justifica, em parte, a existência de vales muito amplos em bacias hidrográficas de reduzida dimensão.

2. A rede hidrográfica e a fracturação.

O aspecto amplo dos vales do NW português resulta, portanto, da evacuação de materiais resultantes da alteração das rochas cristalinas. No entanto, as diferenças entre os granitóides não proporciona um comportamento diverso quanto à resistência à alteração. Essa é a conclusão a que chegou C. Gaussen (1981, p.83) a propósito dos alvéolos estudados nas serras de Peneda-

Gerês. Esta autora estabeleceu uma escala de resistência à erosão a partir dos diversos tipos de granitóides, considerando a textura e a composição mineralógica. Concluiu que, por vezes, é possível encontrar áreas onde existe coincidência entre relevos conservados e granitóides mais resistentes, e áreas deprimidas com rochas pouco resistentes, confirmando a referida escala de resistência. Porém, a autora refere que estas situações são localizadas e, na generalidade, não se verifica a coincidência das áreas mais erodidas com as rochas menos resistentes.

Já em 1992, L. Soares, depois de estudar os granitóides da serra de Campelos-Maragotos, concluiu que os factores mais importantes na alteração dos granitóides são a porosidade, a textura e a fracturação. A composição química e mineralógica aparecem como factores secundários e são considerados características pouco diferenciadoras dos granitóides com relevância para o desenvolvimento de depressões do tipo dos alvéolos. Embora a autora reconheça que os granitóides são rochas que propiciam uma grande e profunda alteração, permitindo o desenvolvimento destas depressões, a sua configuração e localização dependem, sobretudo, da fracturação, tanto macrofracturação como microfracturação. Nesse sentido, a argumentação exposta reforça a ideia da importância da fracturação na localização e desenvolvimento dos processos de alteração, à semelhança do que já tinha sido afirmado por A. Godard (1977), A. B. Ferreira (1978) e C. Gausson (1981).

Também nas formas de pequena escala, e não só nas formas de média escala, é reconhecida a importância da fracturação na morfologia granítica. Os grandes vales do NW apresentam-se com uma disposição geral de NE/SW. Esta

disposição é interpretada como o desenvolvimento do encaixe ao longo das grandes linhas de alteração permitida pelos grandes acidentes tectónicos no NW português, com direcção NE/SW, cortados por fracturas transversais (S. Daveau, 1987). Esta rede de fracturas terá sido responsável por uma grande alteração cuja evacuação permitiu um maior alargamento dos vales ao longo das fracturas transversais. Nos sectores de cruzamento das fracturas a alteração é muito importante e prefiguram-se as depressões muito peculiares do relevo do NW (M. Feio, 1951; A. B. Ferreira, 1978,1983; C. Gausson, 1981; F. Rebelo, 1975; L. Soares, 1992; F. Rebelo e A. Pedrosa, 1995). A rede hidrográfica encaixa-se numa área que apresenta indícios de movimentação tectónica recente, as mais das vezes resultante do rejuvenescimento de fracturas antigas. Em termos gerais pode admitir-se que, tal como o fez A. Brum Ferreira, "não é de afastar a hipótese ... de uma ampla flexura, cortada por falhas de fraca amplitude, mergulhando para NW..." (1983, p. 326).

3. O papel da tectónica no relevo do NW.

O papel da tectónica no NW de Portugal não se limita a influenciar a direcção e desenvolvimento dos alvéolos, vales alveolares e corredores de erosão que caracterizam a morfologia desta região. A tectónica é responsável pelo jogar de vários blocos, que destruiu o sentido geral de abatimento para ocidente proporcionado pela flexura marginal. O rejogo quaternário desta flexura é alimentado pelos movimentos tectónicos recentes que, no NW, permitiu o abatimento de blocos, ao longo do litoral, mais importante a N do que a S, o que muito contribuiu para a configuração das rias Galegas (A. Ribeiro, 1979; A. B.

Ferreira, 1983; O. Ribeiro et al., 1987). Desta forma, o encaixe dos principais cursos de água no NW português e os seus afluentes mais importantes faz-se ao longo das fracturas que limitam esses blocos. A N, na Galiza, o abatimento pronunciado permitiu a ocupação dos vales pelo mar, originando as rias; a S, o posicionamento elevado do bloco Duriense justifica o encaixe de importantes cursos de água, como o Douro e seus afluentes, próximo de litoral (F. Rebelo, 1975; F. Rebelo e A. Pedrosa, 1988; A. Pedrosa, 1988 e M. A. Araújo, 1991). A neotectónica é, ainda, referida por inúmeros autores quando se procede à análise dos níveis de aplanamento nas mais variadas montanhas do NW. A. Pedrosa (1993) concede-lhe um papel importante, quer na deslocação de níveis de aplanamento na serra do Marão, quer na análise da génese e evolução de depressões no interior e na margem da referida serra. De igual forma, procura explicar a relação da rede de drenagem com a fracturação. C. Gausson, em 1981, também aceita a ideia de movimentação tectónica a afectar os níveis de aplanamento definidos para as serras da Peneda/Gerês.

Como conceber uma tectónica tão importante quanto recente nas serras do Norte e Centro de Portugal, sem que tenha exercido a sua influência sobre o NW português. A favor desta hipótese apontam estudos de terraços do Minho (H. Lautensach, 1945, citado por A. B. Ferreira, 1983)²². Referindo-se aos terraços do rio Minho, H. Lautensach, em O. Ribeiro e al. (1987), num trabalho de síntese, concluiu que "A formação dos terraços do Minho resulta assim da interferência do levantamento tectónico contínuo da região e das oscilações eustáticas do nível do mar durante o Quaternário" (p. 144). Em 1975, F. Rebelo

²² A. B. Ferreira apresenta este trabalho como sendo inovador para a época e refere-se a outros dois, de M. Feio e C. Teixeira, elaborados respectivamente em 1951 e 52, onde é contestada a hipótese de neotectónica a afectar os referidos terraços.

atribui à tectónica uma importante influência no relevo das cristas quartzíticas de Valongo e áreas envolventes. Com características de balançamento, a neotectónica afecta alguns níveis de aplanamento e o encaixe da rede hidrográfica, reflectido num conjunto de capturas por ela induzidas. Esta ideia está, da mesma forma, presente nas considerações que alguns autores têm sobre a evolução da plataforma litoral. A neotectónica aparece como tendo um papel importante para explicar a evolução recente desta plataforma (A. Ribeiro, 1979; A. B. Ferreira, 1983; A. Braga, 1988; H. Granja, 1990; M. A. Araújo, 1991; G. Soares de Carvalho, 1993; J. Cabral, 1995).

São, portanto, muitas as referências à importância da tectónica no relevo do NW português, quer pela orientação da alteração ao longo das fracturas, quer pela influência directa no modelado. "...para além de uma fracturação intensa que facilitou a alteração dos granitos, não é de afastar a hipótese, enunciada por diversos autores, da existência de uma ampla flexura, cortada por falhas de fraca amplitude, mergulhando para NW, e atingindo ao mesmo tempo o Minho e a Galiza" (A. B. Ferreira, 1983, p. 326). É forçoso considerar que os vales e depressões do NW resultaram do "esvaziamento de depressões prefiguradas pela alteração" (A. B. Ferreira, 1983, p. 327), mas, admitindo a neotectónica como certa nesta região, não podemos deixar de perguntar qual será o seu papel na conservação do vigor de algumas vertentes dos vales amplos e alvéolos.

J. Cabral, em 1995, referindo-se ao baixo Cávado, cita A. Braga (1988), e comenta o facto dos depósitos da área do Prado se encontrarem a altitudes baixas, apesar da idade proposta ser do Pliocénico superior (admitida a partir da

flora fóssil encontrada). A hipótese da sua conservação se fazer por efeito de protecção de depressão de origem exclusivamente tectónica não é aceite. O autor inclina-se para a possibilidade de se tratar de um "paleorelevo muito pronunciado que foi parcialmente colmatado por depósitos pliocénicos, e que poderá estar deformado por deslocamentos em falhas e/ou por balançamentos regionais..." (J. Cabral, 1995, p.101) (fig. B2.2). Desses movimentos são testemunhos as capturas e recapturas referidas por diversos autores no traçado da rede hidrográfica (M. Feio, 1951; F. Rebelo, 1975; C. Gaussen, 1981; O. Ribeiro et al., 1987; A. B. Ferreira, 1983; A. Pedrosa, 1988; F. Rebelo e A. Pedrosa, 1989). Não são mais do que o reflexo de uma tectónica recente ao longo dos vales e montes do NW português (fig. B2.2).

A acção da tectónica poderá atingir os 500m de levantamento acumulado nas montanhas do NW, sendo progressivamente decrescente até ao litoral, onde se admite ter tido valores próximos dos 100m. Os vales e depressões do NW apresentam-se, portanto, influenciados pela acção da tectónica de duas formas distintas: por um lado, ela prefigura o essencial das suas formas orientando as grandes linhas de alteração das rochas cristalinas; por outro, a neotectónica contribuiu para a renovação do vigor das serras do NW e de alguns interflúvios e vertentes na secções médias dos vales, para além das já referidas influências sobre a plataforma litoral.

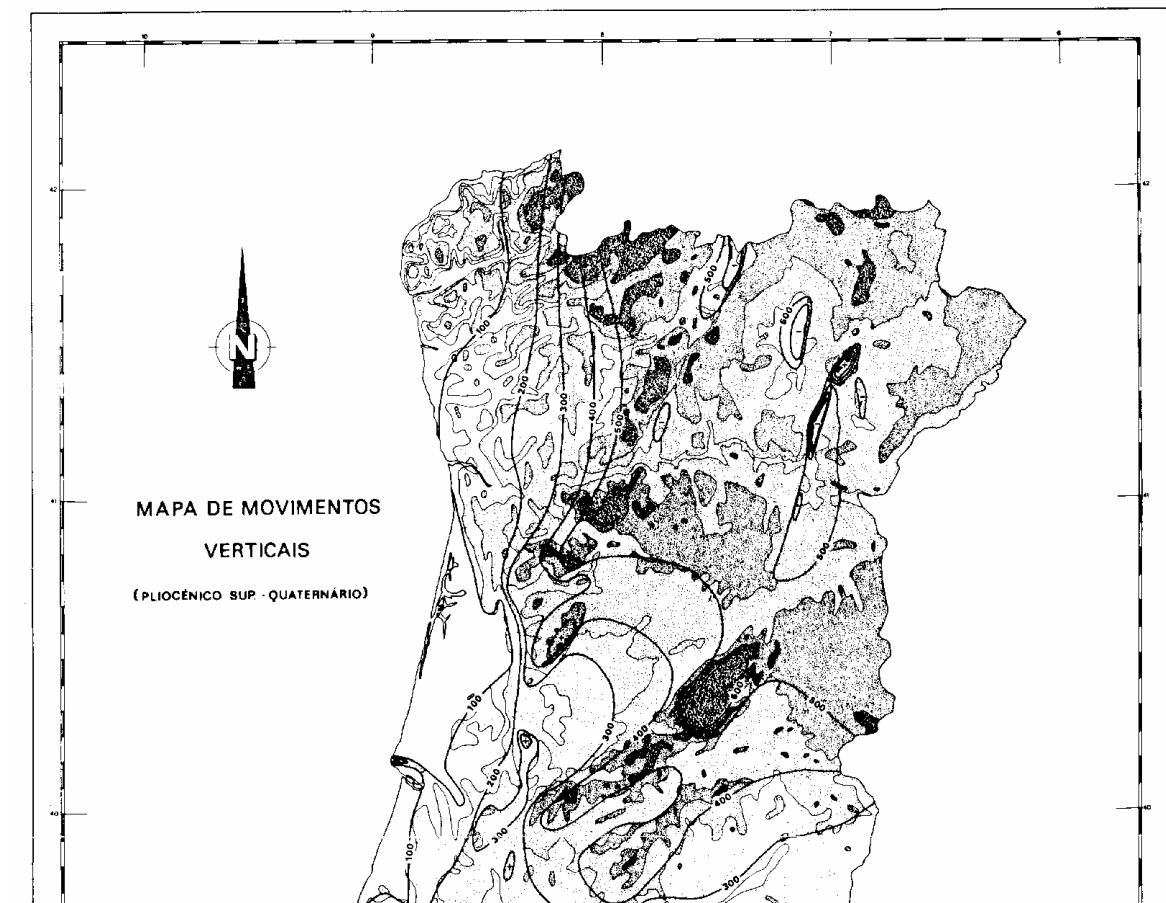


Fig. B2.2: Extracto do Mapa de Movimentos verticais no Pliocénico superior e Quaternário, in J. Cabral (1995). Na figura, os deslocamentos verticais estão representados por isolinhas com uma equidistância de 100m, correspondendo os valores positivos a movimento de levantamento. As deformações registadas no mapa correspondem a deslocamentos verticais acumulados até à actualidade num intervalo de tempo cujo limite inferior é mal constringido, podendo oscilar entre 2 Ma a 3 Ma. Tanto o traçado como o valor das isolinhas devem encarar-se como altitudes médias, aproximadas, com erros que, nas áreas interiores, podem ser da ordem de +ou - 100m. Representam-se também os elementos dominantes da hipsometria por meio de curvas de nível simplificadas, obtidas por 'alisamento' de curvas de nível da Carta Hipsométrica de Portugal, na escala 1:1000000, do Atlas do Ambiente, Comissão Nacional do Ambiente, 1982), individualizando-se seis intervalos hipsométricos (<100m, 100-200m, 200-400m, 400-700m, 700-1000m, >1000m).

4. Importância das oscilações climáticas na morfologia do NW português.

A evolução climática plio-quadernária do NW português apresenta muitos problemas por resolver, apesar dos inúmeros estudos desenvolvidos ao longo das últimas décadas. A "escassez de vestígios sedimentológicos e

paleontológicos e da grande dificuldade de utilização dos métodos de datagens absolutas, se exceptuarmos o Holocénico e, em certa medida, o Plistocénico superior" (A. B. Ferreira, 1995, p. 52), constituem as maiores dificuldades de estudo do Quaternário do Maciço Hespérico em Portugal. Evidentemente que esta dificuldade se estende ao NW português.

De toda a forma, é possível falar-se da existência de uma evolução geomorfológica com alguns pontos de referência:

a) Até final do Miocénico desenvolveram-se todos os níveis de aplanamento que se conservam ao longo das serras do NW e, ainda, permanecem ao longo dos interflúvios amplos que coroam as vertentes dos amplos vales do Minho. Disso são testemunho a Serra de Arga (600-800m), a poucos quilómetros do litoral, vários interflúvios na área de Braga/Guimarães (400-500m), a E das Serras de Valongo (500m) e na Serra do Marão (F. Rebelo, 1975; C. Gaussen, 1981; O. Ribeiro, 1987; A. B. Ferreira, 1983; A. Pedrosa, 1993).

b) O nível de 150-250m, também designada por superfície poligénica, dado ter origem em processos de erosão subaérea e de erosão marinha, é apresentada como pertencendo ao Pliocénico ou sendo mesmo plio-quaternário. Esta superfície alonga-se por vários dos vales principais do NW e seus afluentes (C. Gaussen, 1981; A. B. Ferreira, 1983; A. Braga, 1988). Em Valongo, F. Rebelo, admite a possibilidade destas altitudes poderem corresponder a três níveis diferentes: 151-165m, 171-190m e 201-220m (1975, p. 75).

c) Inúmeras depressões, vales alveolares e corredores de erosão que caracterizam as secções médias dos vales do NW português resultam do

esvaziamento de mantos de alteração, cuja formação se admite que poderá remontar ao Miocénico ou ao Pliocénico, mas, por vezes, também ao início, ou mesmo, a meados do Quaternário. Neste aspecto, é frequente haver referências às particularidades climáticas do NW português, entre os climas nitidamente mais húmidos a N, e os climas francamente mais secos a S (M. Feio, 1951; C. Gaussen, 1981; A. B. Ferreira, 1983; A. Braga, 1988; L. Soares, 1992; F. Rebelo, 1991).

d) Ao longo do Quaternário é possível identificar inúmeros vestígios de múltiplas oscilações climáticas. Desde cedo que os estudos sobre terraços fluviais se multiplicaram. As variações eustáticas constituíram as razões essenciais para a justificação de inúmeros depósitos de carácter fluvial, embora, por vezes, se tenha debatido a importância da tectónica no posicionamento relativo dos vários depósitos estudados ao longo da margem esquerda do Minho (Lautensach, 1940; H. Nonn, 1967; O. Ribeiro et al., 1987; A. B. Ferreira, 1983, 1995; A. Araújo, 1984, 1991).

e) Nos períodos mais frios, admite-se que a influência dos processos morfogenéticos característicos de climas periglaciares atingiu estas latitudes, mesmo próximo do litoral. É de todo aceite que nas Serras da Peneda/Gerês e na Cabreira houve glaciação, embora não tão importante como foi testemunhado na Serra da Estrela (G. C. Gaussen, 1981; A. B. Ferreira, 1983; S. Daveau e N. Devy-Vareta, 1985; A. B. Ferreira, V. Romani et al, 1992, F. Rebelo, 1975, 1985, 1986; A. Pedrosa, 1989, A. Araújo, 1984, 1991).

f) De todos os estudos desenvolvidos quase não há referência a evolução de vertentes, antiga ou recente, que não tenha sido influenciada por um ambiente relacionado com climas frios. Há a referência ao desenvolvimento

de 'glacis cobertos' por depósitos de características 'coluvionares', pretendendo-se distinguir estes depósitos, com alimentação nas vertentes próximas e retocados pela dinâmica fluvial, dos depósitos tipicamente fluviais (A. B. Ferreira, 1983; A. Braga, 1988; H. Granja, 1990). As alterações importantes neles descritas apontam para uma idade contemporânea do Pliocénico. Ainda é possível verificar a referência a cones em fundos de vales, considerados depósitos que evidenciam forte torrencialidade, já depois dos testemunhos da última glaciação, e com carácter poligénico.

O trabalho de A. M. Rochete Cordeiro e F. Rebelo (1996) sobre a geomorfologia do vale do Côa (a jusante de Cidadelhe) refere-se a depósitos similares, designando-os de "catastróficos". Também aqui, a ideia de forte torrencialidade é sublinhada, considerando-se a sua formação posterior ao último glacial e tida como "...baliza determinante na separação entre depósitos pleistocénicos e holocénicos" (A. M. Rochete Cordeiro e F. Rebelo, 1996, p. 29).

Há, ainda, a referir o texto de G. C. Gausson (1981, p. 31) onde é descrito um movimento em massa, próximo de Caldas do Gerês. Designado localmente por 'quebradas', esta dinâmica de vertentes, funcional "por duas vezes nos últimos 50 anos", é classificado pela autora como "sobrevivência episódica da dinâmica fria quaternária".

5. Considerações gerais sobre a evolução geomorfológica do NW e a dinâmica actual das vertentes.

Os estudos de geomorfologia sobre o NW têm permitido estabelecer alguns pontos de referência, que constituem marcos da evolução climática, com

os quais é possível estabelecer uma cronologia dos eventos mais importantes da evolução do relevo desta área embora se reconheça que ainda se estão a dar os primeiros passos na constituição dessa cronologia. As interrogações parecem ser mais do que as certezas, embora já haja propostas concretas que abrem novas perspectivas à discussão (F. Rebelo, 1986; A. Araújo, 1991; A. B. Ferreira, 1995).

Os trabalhos desenvolvidos centraram-se, essencialmente, no conjunto de depósitos e formações superficiais que poderiam constituir contributos para a definição da referida cronologia. Os depósitos do Prado, Medas e Alvarães ocupam uma posição topográfica de fundo de vale e/ou depressão, relacionados com a já referida superfície poligénica. Os depósitos de origem glacial e periglacial situam-se nas áreas mais elevadas das montanhas do NW, e são testemunhos da importância da glaciação do Würm a baixa latitude, em montanhas próximas do litoral. Os terraços fluviais e marinhos permitem o estabelecimento de uma relação cronológica com as diversas fases de transgressão/regressão marinha. Por outro lado, os estudos sobre os mantos de alteração permitem identificar o alcance da alteração dos granitóides e das condições morfo-climáticas e de drenagem associadas a esses processos.

Porém, o estudo da evolução actual das vertentes do NW de Portugal está por fazer. As leituras sobre as alterações dos granitóides permite abordar o problema da evolução actual das vertentes em áreas onde dominam os mantos de alteração. No entanto, não existem estudos sobre outro tipo de formações, nomeadamente depósitos de vertente recentes, onde se possa abordar o problema do comportamento hídrico (drenagem e saturação) dos materiais que os compõem. Para o estudo da evolução actual das vertentes, nomeadamente

quando que se pretende definir os riscos naturais associados à susceptibilidade geomorfológica, era necessário proceder-se ao estudo da sua tipologia e à sua disposição ao longo das vertentes, bem como da circulação interna da água e respectivas condições de saturação.

Capítulo B3 - Características da área experimental: Área de Guimarães.

Guimarães é uma cidade de dimensão média do norte de Portugal. A 40 km, em linha recta, da linha de costa, situa-se próximo do sopé da serra da Cabreira, uma das grandes elevações que constituem o conjunto de relevo saliente mais importante a norte do rio Douro (fig. B3.1). Entre o litoral e as referidas montanhas desenvolve-se um relevo que é caracterizado pelos encaixes dos cursos de água que as drenam. É nessa faixa de terrenos que se localizam várias cidades de dimensão média, entre as quais Guimarães, nos sectores médios dos vales de encaixe forte mas de fundo amplo e quase plano (capítulo B2).

Pela expansão que a cidade tem tido ao longo das últimas décadas esta área constitui um dos exemplos de forte intervenção humana sobre o meio físico. Nem sempre se tem estudado o tipo de consequências dessa intervenção. À medida que vai progredindo essa expansão, são cada vez mais, e de maiores dimensões, as estruturas implantadas.

As áreas ocupadas vão sendo alargadas e, do ponto de vista dos processos geomorfológicos, apresentam características muito diversificadas, entre as quais se salientam a diversidade de formas, a variedade de declives e os múltiplos tipos de rochas. Inserida numa área em que o povoamento era

predominantemente disperso, a expansão da cidade de Guimarães tem vindo a absorver várias povoações periféricas. Esse processo de expansão tem alterado profundamente o tipo de relacionamento Homem/Natureza cujas consequências poderão fazer-se sentir num futuro próximo. Vão sendo ocupadas planícies de inundação, antes agricultadas, e vertentes que até então eram florestadas. O mesmo parece suceder, embora com menos intensidade, a três outras localidades próximas: Fafe, Caldas de Vizela e Felgueiras.

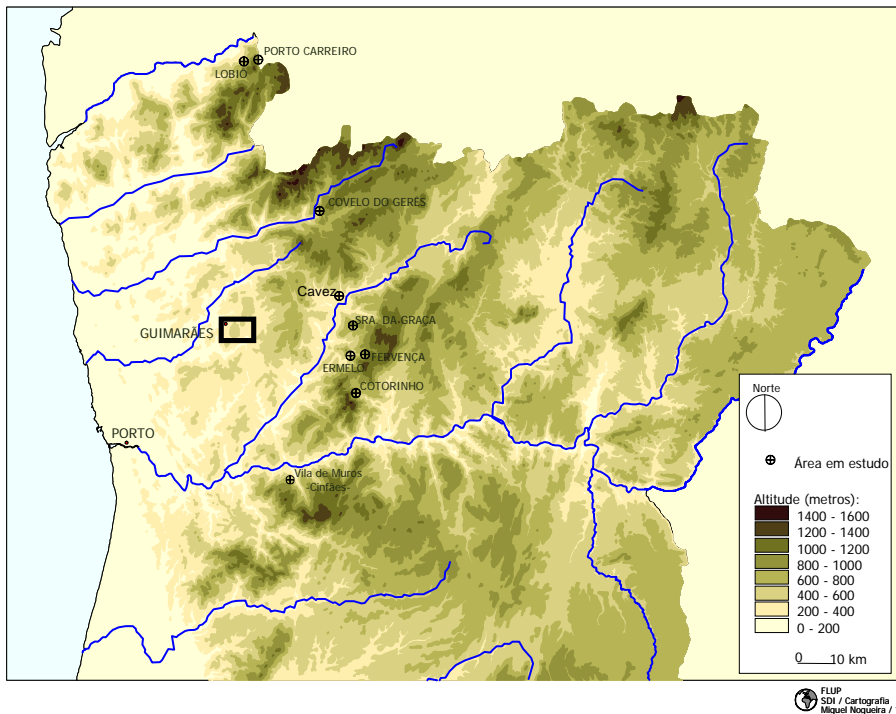


Fig. B3.1: Mapa hipsométrico do N de Portugal. O rectângulo representa o espaço abrangido pela área experimental – folha 85: Guimarães.

A necessidade de analisar as prováveis consequências deste tipo de evolução conduziu à escolha desta área amostra para a elaboração do nosso trabalho. A área entre Guimarães, Fafe, Caldas de Vizela e Felgueiras, poderá ver a estabilidade de vertentes afectada por este tipo de intervenção. Corresponde, grosso modo, à folha 85 da carta topográfica de Portugal à escala

1:25000. Tendo como base de análise as profundas intervenções que se têm feito na periferia de Guimarães procurou-se construir uma proposta de SIG que permita a análise dos riscos naturais para a área da folha 85, como demonstração das potencialidades de elaboração deste tipo de cartografia, com o recurso a novas tecnologias, no planeamento físico do território.

1. A estrutura.

1.1. Litologia (fig. B3.2).

As rochas dominantes na área de Guimarães/Fafe são os granitóides. Destes o mais extenso é o de Guimarães/Sto. Tirso que se divide em dois afloramentos. Um ocupa a parte ocidental da folha 85, com disposição N-S. O outro ocupa uma faixa na parte oriental da carta, com direcção NW-SE. Entre estes dois afloramentos dispõem-se os granodioritos de Felgueiras que alternam com os xistos e metagrauvaques do Silúrico. Esta faixa é mais larga a S, com mais de 9km. Na parte N deste afloramento o contacto destes com o granito de Guimarães/Sto. Tirso originou a formação de rochas corneanas.

Para além destes, afloram, ainda, o granito de Fafe/Sendim e o granito de Burgães/Selho/Arões. Estes ocupam o sector NE da folha, onde se situa a cidade de Fafe. Ao longo do contacto dos metassedimentos com o afloramento oriental do granito de Guimarães localizam-se pequenas manchas de granito de Burgães/Selho/Arões e de granito de Fafe/Sendim. Aparecem, ainda, afloramentos de Vaugneritos de Antime (a S de Fafe) e granitos de Lustosa/Regilde (a E de Vizela).

Ao longo dos vales, e sempre que há alargamentos, podemos observar

a acumulação de sedimentos. Estes, colmatam o fundo destes vales e parecem resultar da acção conjunta do transporte longitudinal dos cursos de água e da evolução das vertentes (ver capítulo B2).

As características mineralógicas, químicas e a textura destes granitóides já foi abordada no ponto B1.1. No entanto, vale a pena salientar que os granitóides de textura mais grosseira (granito de Guimarães/Sto. Tirso e granodiorito de Felgueiras) são os que ocupam a área mais extensa. Só no sector NE da carta aparecem os granitos de textura média a fina, destacando-se o de Fafe, considerado de textura fina.

Quando se faz a análise da composição química e mineralógica, da textura, da porosidade (porosidade de 6,6% e tempo de infiltração de 20 minutos, segundo L. Soares, 1992) e densa fracturação dos granitóides, percebemos que o granito de Guimarães/St^o. Tirso/Amarante reúne as condições para a formação de espessos mantos de alteração e o desenvolvimento de importantes processos erosivos. Mais de metade da área experimental (folha 85) é constituída por este tipo de granito.

De igual forma, o granodiorito de Felgueiras apresenta elevados índices de alterabilidade, com porosidade de 3,4% e tempo de infiltração de 27 minutos (L. Soares, 1992). A sua extensão é considerável, e os índices de alterabilidade são elevados. De uma forma geral, todavia, corresponde a áreas altas e não evidencia grande alteração. Só a NE de Guimarães apresenta estreitas faixas de afloramento que correspondem ao fundo do vale do Selho, cujo trajecto é orientado por um vale de fractura. Neste caso, a fracturação foi determinante no processo de alteração.

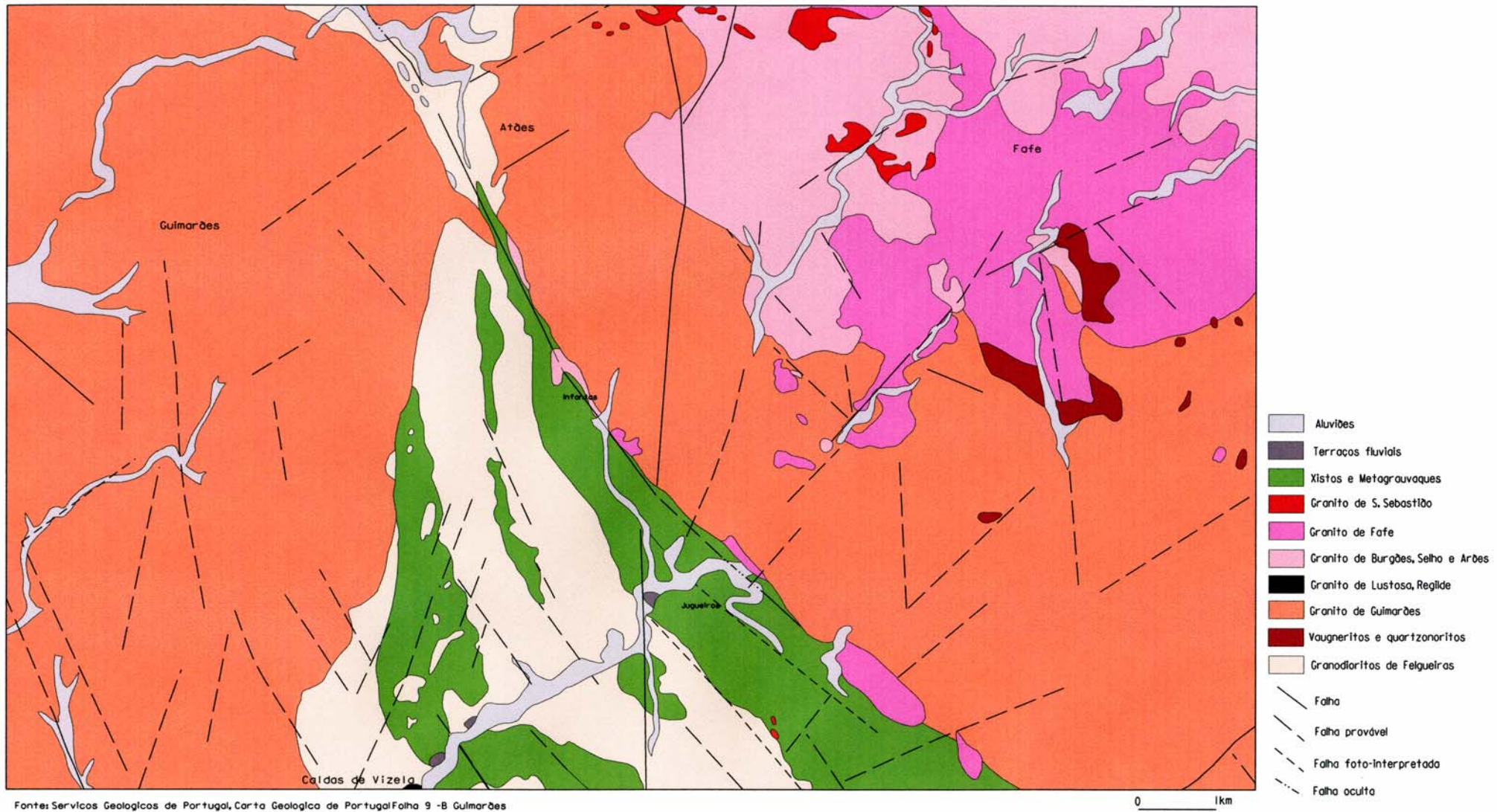


Fig. B3.2: Esboço da litologia e da tectónica, na área de Guimarães.

Dos restantes granitóides representados no esboço litológico, o granito de Lustosa/Regilde tem índices de porosidade intermédia, de 1,4%, com um tempo de infiltração de 1 hora e 20 minutos (L. Soares, 1992). No entanto, a sua distribuição espacial, em pequenas manchas dispersas na área de Fafe, tem muito pouco significado. Localizam-se numa área de relevo pouco acidentado, dispondo-se indiferentes à variação altimétrica, o que parece não reflectir qualquer relação entre morfologia e dureza dos afloramentos rochosos. Este tipo de granito não apresenta grande alterabilidade, a não ser ao longo dos afloramentos rochosos mais fracturados.

O granito de Burgães/Selho/Arões também se localiza na área de Fafe e apresenta um afloramento com uma dimensão aproximada de 20km². Tem uma muito fraca porosidade, de apenas 0,6%, com um tempo de infiltração de 2 horas (L. Soares, 1992). Este afloramento coincide com o limite ocidental dos sectores planos da área de Fafe, mais elevados que o relevo da área de Guimarães. Parece ser responsável pela manutenção do vigor das vertentes que separam essa superfície plana, dos vales do Selho e Vizela, situados, respectivamente a W e SW. Estas características permitem atribuir-lhe um índice de alterabilidade muito fraco, o que parece ser confirmado pela relação entre afloramentos rochosos e morfologia. Nesta área, a fracturação não parece ter fragilizado o afloramento, pelo menos no que se refere à grande fracturação.

Como já vimos, o granito de Fafe/Sendim é caracterizado por uma grande semelhança químico-mineralógica com o granito de Burgães/Selho/Arões. No entanto, apresenta uma textura de grão fino, o que permite fazer a distinção, em relação a este granito, na cartografia geológica portuguesa. O facto de

apresentar textura mais fino indicia que tem, relativamente ao granito de Burgães/Selho/Arões, menor porosidade e maior tempo de infiltração. Não podemos confirmar esta ideia, já que não temos valores de porosidade e tempo de infiltração para este tipo de granito.

A mineralogia e a composição química são bons indicadores para que os geólogos possam atribuir-lhes idade tardi a pós-tectónica relativamente a F3 (M. Montenegro Andrade, F. Sodr e Borges e F. Noronha, 1985).

Ocupa as  reas mais planas de Fafe e n o evidencia uma rela o particular com a morfologia.

1.2. Forma es superficiais (fig. B3.3).

Ao iniciarmos o trabalho de produ o cartogr fica fomos confrontados com um problema de base. A informa o sobre a litologia, apesar de dar importantes indica es quanto   altera o, n o   suficiente para a defini o das  reas de susceptibilidade geomorfol gica a movimentos de vertente. Por exemplo, se as quedas de blocos est o directamente relacionadas com abruptos rochosos constitu dos em rocha s o fracturada, j  n o podemos relacionar um fluxo de detritos, exclusivamente, com afloramentos de um determinado tipo de rocha. H  necessidade de recorrer   representa o cartogr fica das forma es superficiais, cujos materiais n o s o coerentes. No caso particular dos granit ides   fundamental a cartografia dos mantos de altera o, tal como veremos na parte C deste trabalho.

Por m, a cartografia das forma es superficiais n o existe e  , porventura, a tarefa que maiores problemas levanta, sobretudo se pretendemos

representar mantos de alteração de granitóides. Sabendo que a área representada pela folha 85 é, em grande parte, ocupada por afloramentos de granitóides, não podemos ignorar que as formações superficiais estão directamente relacionadas com a formação desses mantos. Conforme foi estudado no capítulo B1, estes mantos de alteração têm uma grande variação, quer na intensidade de alteração, quer na espessura. Com efeito, no espaço de alguns metros é possível encontrar granito são, granito pouco alterado e arenas graníticas com espessura de vários metros. Neste contexto, é extremamente difícil proceder à cartografia rigorosa e detalhada dessas formações. O recurso à escala 1:2000 permitiria desenvolver um registo de campo capaz de representar com fidelidade mínima a variação espacial, mas, esse grau de pormenor, só é possível desenvolver para áreas restritas. A cartografia de uma folha à escala 1:25000 não é possível realizar com grande pormenor, bem como o tratamento da informação em ambiente de sistema de informação geográfica.

Apesar disso, procurou-se delimitar as seguintes áreas: 1º - afloramento rochoso com manto de alteração pelicular (inferior a 1 m), 2º - manto de alteração medianamente profundo (entre 1 e 3 metros), 3º - manto de alteração profundo (superior a 3 m), 4º - depósito de vertente e/ou coluvial e 5º - aluviões. Esta classificação baseia-se, no essencial, na espessura do manto de alteração e esquece, intencionalmente, o grau ou intensidade de alteração. Ao utilizar o factor profundidade é possível proceder a uma cartografia com uma variação espacial aceitável para a escala 1:25000. Ao contrário, a cartografia do grau ou

intensidade de alteração, não é possível já que, num mesmo local podem ocorrer vários graus de alteração. Os critérios utilizados permitem considerar áreas onde uma determinada espessura predomina sobre as restantes, o que não invalida a possibilidade de encontrar outras, embora não dominantes. Desta forma, procurou-se fazer uma generalização da informação compatível com a escala de trabalho. Por outro lado, o factor mais importante no desenvolvimento de movimentos de vertente, não é a intensidade de alteração, mas a espessura da alteração (ver parte C).

Como metodologia de trabalho procedeu-se ao levantamento de campo de algumas áreas, ao mesmo tempo que se procedeu à observação da fotografia aérea com escala aproximada de 1:15000 e 1:30000²³. A comparação das observações feitas permitiu definir critérios de leitura da fotografia aérea que, em caso de dúvida, eram confirmados no terreno.

As áreas de afloramento rochoso são as de mais fácil observação e é possível cartografá-las directamente sobre a fotografia aérea. Quando os afloramentos rochosos se tornam escassos, mas ainda observáveis, embora espaçadamente, consideramos estar na presença de áreas de afloramento rochoso e de manto de alteração pelicular. A diferenciação entre manto de alteração de média profundidade e profundo está directamente relacionado com a exposição aos processos erosivos. Nos sectores da vertente em que os declives são mais elevados (superiores a 15°) a acção erosiva é mais importante e, nesse caso, a conservação dos mantos de alteração é mais difícil, não permitindo a dominância de mantos de alteração com espessuras superiores

²³ A área de Guimarães foi trabalhada com a fotografia aérea à escala aproximada de 1:15000 e o resto da área experimental à escala aproximada de 1:30000.

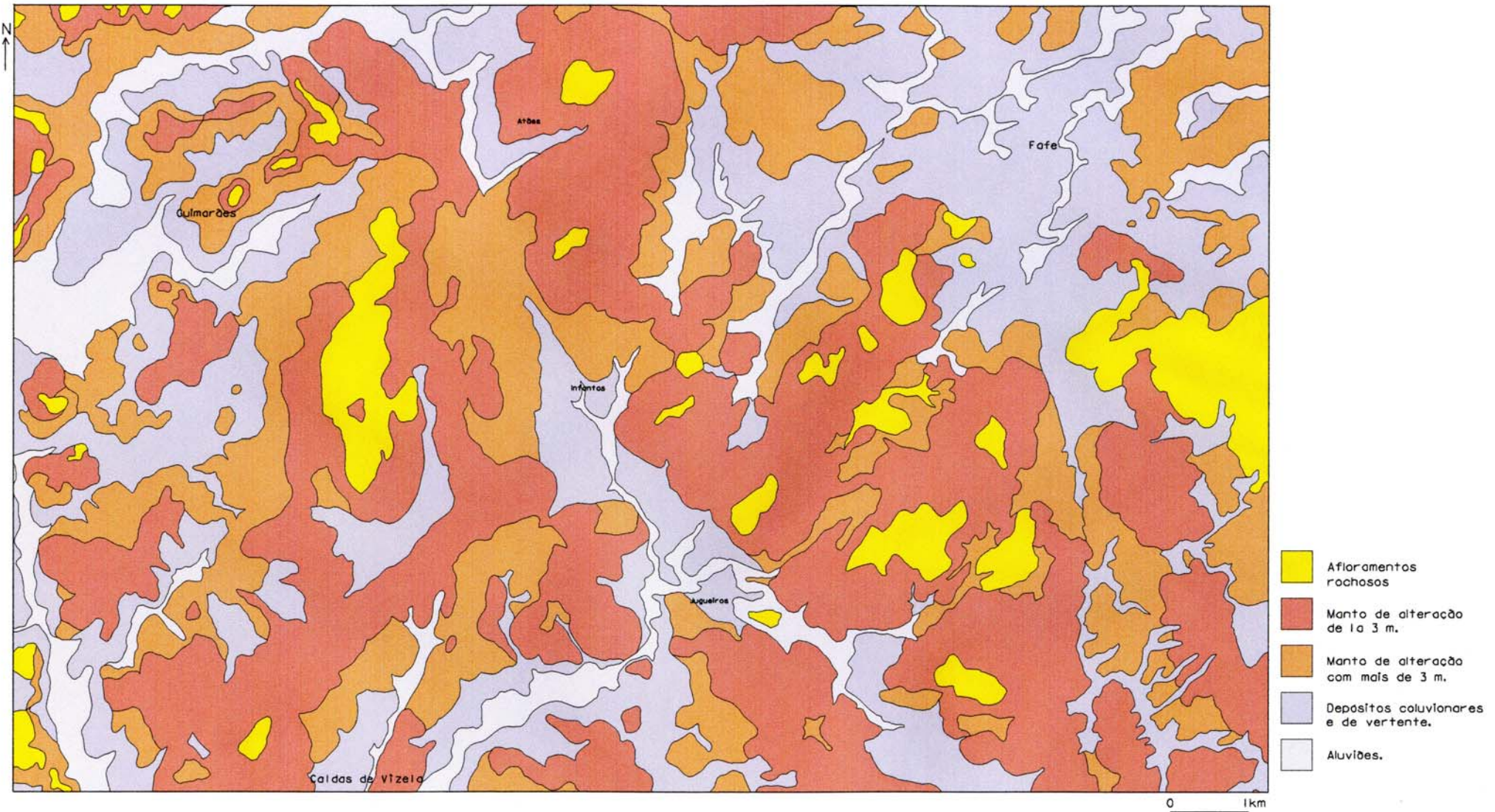


Fig. B3.3: Esboço do tipo e espessura das formações superficiais, na área de Guimarães.

a 3m. Para declives inferiores é mais fácil a conservação e, portanto, é possível observar na fotografia aérea uma maior generalização dos campos agrícolas, a construção de patamares antrópicos com muros de sustentação. Nesta áreas não é possível encontrar explorações de pedra.

De uma forma geral os afloramentos rochosos situam-se nos interflúvios e superfícies altas. Há, no entanto, dois que se distinguem pela sua extensão. Um dos mais importantes corresponde ao topo da vertente da Penha, a S de Guimarães. O outro situa-se na parte E da carta, a S de Fafe. Ambos constituem o conjunto de altitudes mais elevadas de toda a área, atingindo mais de 650m. São conjuntos litológicos que resultaram da erosão dos mantos de alteração, permanecendo no topo das vertentes ou em superfícies planas elevadas relativamente aos vales próximos.

As áreas cartografadas como mantos de alteração de espessura de 1 a 3m dominam quase toda a área experimental com excepção da área a W de Guimarães e em Fafe. Esta espessura de manto de alteração ocupa uma extensão muito significativa e cada polígono cartografado apresenta sempre uma extensão e uma continuidade bastante regulares. Quase sempre coincide com declives elevados.

As espessuras de manto de alteração superiores a 3m não são tão extensas e aparecem próximo dos depósitos de vertente ou coluvionares. Quase sempre constituem áreas de transição entre os mantos de alteração e os depósitos que colmatam o fundo dos vales. Na área de Guimarães, na vertente da Penha, a sequência desde o afloramento rochoso até aos aluviões é

representativa da relação entre as formações superficiais e a evolução de vertentes. No topo, as bolas graníticas estão expostas pela erosão do manto de alteração e, à medida que se desce a vertente, a espessura do manto de alteração vai aumentando, até que se apresenta coberto por depósito de vertente que, rapidamente, se torna espesso e atinge o fundo do vale, numa transição para os depósitos fluviais, morfologicamente, quase imperceptível. É esta sequência, que muitas vezes não representa diferenciação morfológica, que permitirá equacionar as hipóteses de evolução de vertentes em glaciais nos vales dos grandes cursos de água do NW português.

Os fundos aluviais e/ou coluviais são fáceis de identificar no terreno devido à disposição morfológica. Ao longo dos vales mais amplos é frequente encontrar o fundo plano, com largura variável. Trata-se de colmatações do fundo dos vales feita por materiais movimentados pelos cursos de água. Por vezes, o contacto com a vertente não se faz por ângulo vivo, mas por uma concavidade suave que, progressivamente, vai adquirindo um declive crescente, à semelhança de um pequeno glaciais. Esta forma da base das vertentes corresponde à deposição de materiais oriundos da erosão dos sectores superiores das vertentes. Por vezes, estes materiais são retomados pela dinâmica fluvial o que torna difícil a distinção entre sedimentos transportados pelos cursos de água e sedimentos oriundos das vertentes, que não sofreram transporte longitudinal no vale. Morfologicamente é difícil fazer a distinção e marcar a linha de fronteira entre as duas formações. Por esse motivo, optamos por agrupá-las. Por outro lado, parece-nos reduzida a importância que tal distinção tem para a definição dos movimentos de vertente. Estas formações ocupam áreas de declives muito fracos,

onde os processos erosivos dominantes estão relacionados com a escorrência e não com os movimentos de vertente.

As aluviões e os terraços fluviais correspondem às áreas cartografadas pela cartografia geológica portuguesa, com excepção para o fundo dos vales de menor dimensão. Nos locais onde os vales apresentam declives muito fracos ou nas superfícies planas, os cursos de água mais importantes construíram depósitos fluviais. A N e W de Guimarães, o rio Selho tem um vale muito amplo onde a deposição destes materiais é abundante. Próximo de Fafe e entre Jagueiros e Caldas de Vizela (mais a S) sempre que os vales se apresentam amplos verifica-se a deposição de aluviões. Em Jagueiros, são cartografados três pequenos depósitos fluviais, terraços que foram identificados pela geologia portuguesa como pertencendo ao interglaciar Riss-Würm. Ocupam uma posição topográfica imediatamente acima do fundo do vale do rio Vizela.

1.3. Tectónica (fig. B3.4).

A tectónica desta área está significativamente marcada por duas direcções mais importantes: NNW/SSE a NW/SE e NE/SW. Estas direcções parecem corresponder, respectivamente, às direcções hercínicas e ao rejogo de falhas antigas, por efeito da tectónica alpina (A. Ribeiro et. al., 1979). É ao longo desta rede de fracturação que se desenvolvem os principais encaixes da rede hidrográfica.

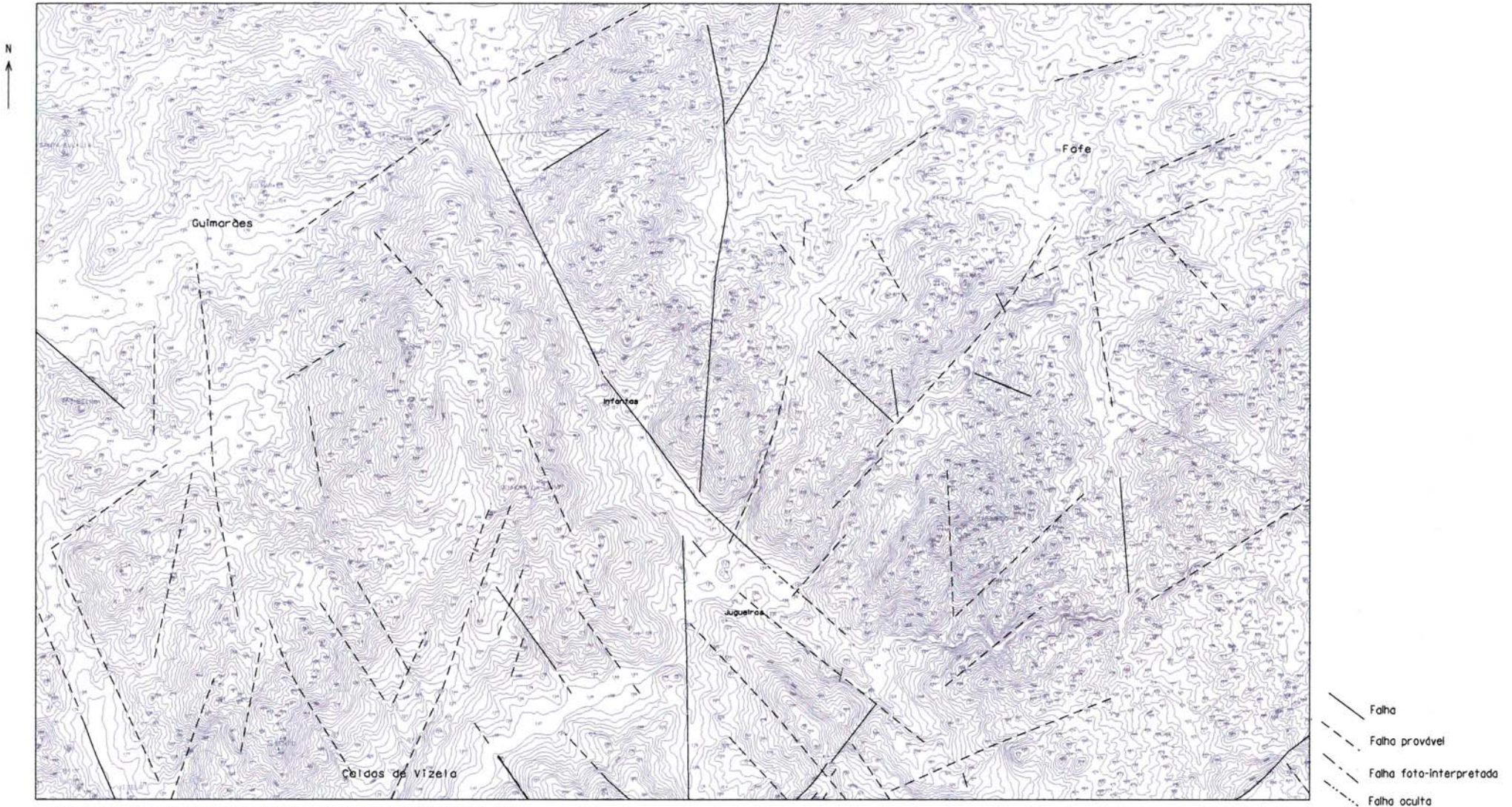
A direcção geral dos rios Selho e Vizela, NE/SW, evidencia uma adaptação à direcção tardi-hercínica, referida pelos citados autores. Aliás, esta não é mais do que a direcção apresentada por parte dos grandes rios do NW português. É ao longo destes vales que aparecem os grandes alargamentos de

Guimarães e Vizela.

Transversalmente a esta direcção surgem os encaixes de alguns afluentes do Vizela, bem como o traçado do Selho, a E de Guimarães, em Atães. É ao longo destas direcções que se desenvolvem as depressões e alargamentos de vales mais importantes (Infantas/Jugueiros e Atães).

Por outro lado, a transição da superfície de Fafe para SW faz-se por uma vertente com forte declive e profundamente encaixada pela rede hidrográfica. Este facto sugere um encaixe recente, com evidente dificuldade de posterior evolução. O facto da vertente ser constituída pelo granito de Guimarães, considerado como o mais susceptível de alteração e, portanto, de menor capacidade de resistência aos processos erosivos, em contraste com os metasedimentos que constituem o fundo do vale Infantas/Jugueiros, reforçam a ideia de um rejuvenescimento tectónico da vertente. De igual modo, deve referir-se que os vales do Vizela, Ferro, Bugio e seus afluentes têm um vigoroso encaixe neste sector, em contraste evidente com o que se passa a montante e a jusante. Para além disto, há que referir que a vertente se dispõe ao longo de uma falha. A ideia de rejuvenescimento de algumas vertentes do NW português, em virtude da acção da tectónica quaternária, é referida por vários autores, tal como referimos no capítulo B2 desta parte.

Em Guimarães, a vertente da Penha apresenta um vigor tão importante quanto o que acabamos de descrever, no entanto, embora não excluamos a possibilidade de rejuvenescimento tectónico, pensamos que este vigor depende, no essencial, da evolução geral do vale do rio Selho, por recuo acentuado de



Fonte: Servicos Geologicos de Portugal, Carta Geologica de Portugal Folha 9 -B Guimarães

Fig. B3.4 : Hipsometria e fracturação da área de Guimarães (folha 85).

vertente, em virtude da evacuação dos materiais resultantes da alteração dos granitóides.

Na parte S e SW da área experimental, o encaixe da rede hidrográfica revela uma grande densidade de fracturação, apontando as razões para uma maior alteração deste sector.

2. A morfologia (fig. B3.5).

2.1. As superfícies planas .

As altitudes registadas na área de Guimarães/Fafe (correspondente à folha 85 da Carta Militar à escala 1:25000) variam entre os 150m, junto de Guimarães, e os 600m na parte SE da área coberta, a E de Sendim. De uma forma geral os interflúvios apresentam altitudes muito próximas dos 500m, embora, por vezes, possam variar entre os 200m e os 600m. Esta frequência de registo de altitudes nos interflúvios, muito próxima dos 500m, sugere a existência de uma superfície cuja altitude ronda os 500-600m, que se estendia por toda a área, hoje profundamente desmantelada. Com efeito, na parte SE, ainda é possível observar-se um pequeno retalho dessa provável superfície, muito mal conservada. Em toda a restante área não existem retalhos testemunho dessa superfície, sendo possível adivinhar que se terá estendido por toda a área em virtude da presença de interflúvios estreitos, muito erosionados, mas com pontos mais elevados que

rondam os 600m. A W, o testemunho mais significativo é o topo da Penha, onde ainda é possível identificar vários pontos altimétricos a rondar os 600m. É de supor que correspondem a testemunhos do nível de 600-800m definido por C.-Gausson (1981) para o relevo do NW e que A. B. Ferreira (1983) designa por nível de transição para os níveis culminantes das serras do NW. O nível dos 400-500 desenvolve-se, sobretudo a W de Guimarães, fora da área experimental definida pela folha 85. No entanto, muitos dos interflúvios apresentam altitudes que variam entre os 350m e os 450m, o que sugere tratar-se de testemunhos da extensão, para E, desse nível de aplanamento, hoje desmantelado na área de Guimarães.

No fundo dos vales as altitudes variam entre os 150m e os 250m, o que sugere tratar-se de pequenas extensões da denominada superfície poligénica (Parte B, Cap. B1, ponto 2), que nesta área teria origem em processos de erosão subaérea (A. B. Ferreira, 1983). É certo que esta superfície ganha grande expressão nos vales do Minho, Lima, Cávado e nos vales inferiores do Ave e Este, mas é provável que, um pouco mais a montante, ainda seja possível observar pequenos retalhos, nomeadamente no Selho e no Vizela. É o caso dos alargamentos do vale de Vizela, entre Jugueiros e Caldas de Vizela, e o vale de Selho, em Guimarães.

Com excepção da superfície degradada, no sector SE, a área de Guimarães (folha 85), é caracterizada pelo encaixe da rede hidrográfica e por uma importante evolução de vertentes que propicia o desenvolvimento de interflúvios estreitos e alongados. No entanto, junto a Fafe, os interflúvios são baixos, e não representam uma separação significativa entre os vales. Esta área, com altitudes entre os 250m e os 400m, sugere a existência de vários vales que,

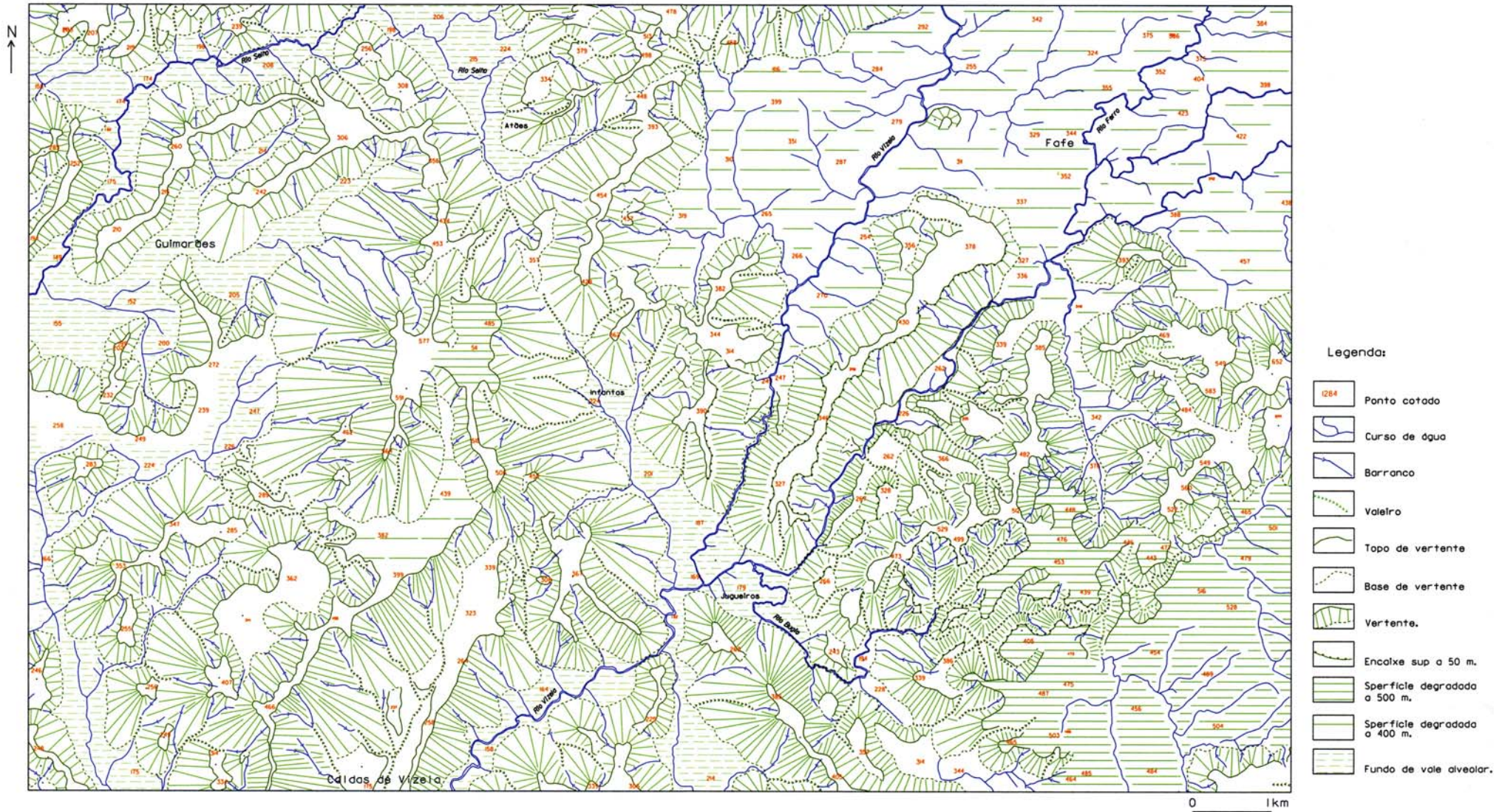


Fig. B3.5: Esboço morfológico da área de Guimarães (folha 85).

evoluíram por coalescência, conferindo à área um aspecto amplo. Topograficamente, é inferior às áreas envolventes que se situam a S e E, mas, morfologicamente, não constitui uma depressão perfeitamente individualizada, uma vez que a ocidente se apresenta sobranceira aos encaixes vigorosos da rede hidrográfica. Assemelha-se a uma área ampla, drenada por vários cursos de água, cujos vales são separados por interflúvios baixos, de declives fracos, que, por vezes, são difíceis de distinguir na cartografia à escala 1:25000, com curvas de nível equidistantes 10m. Parece, portanto, que se trata de um nível de aplanamento, que experimentou uma forte degradação através do encaixe da rede hidrográfica, seguido de uma forte evolução de vertentes. Nesse caso, corresponderia a um retalho muito degradado do nível de 600-800m.

2.2. Gargantas e vales amplos do Vizela, Ferro, Bugio e Selho.

Os vales da rede hidrográfica principal apresentam uma alternância entre encaixes estreitos, em garganta, e vales abertos, de fundo largo. Esta alternância não está ligada a um qualquer tipo litológico uma vez que se desenvolvem tanto nos metagrauwaques como nos diversos granitóides. A bacia hidrográfica do Vizela, na área de Infantas/Jugueiros, expressa bem esta alternância. Drenando a parte E e SE da área abrangida pela folha 85 da carta topográfica, os rios Vizela, Ferro e Bugio (estes dois afluentes do Vizela) apresentam vales amplos e de fraco encaixe no sector E (Fafe, Antime e Regadas), mas a jusante (a W), correm em gargantas, que correspondem a uma transição para novos vales com fundo amplo, apesar do encaixe ainda ser vigoroso. Convergem na área de Infantas/Jugueiros com as características de

vale alveolar. Este vale tem uma disposição predominante de NW/SE que corresponde a uma grande falha que põe em contacto os granitos de Guimarães e Fafe com os xistos, metagrauvaques e granodioritos.

Para SW, o Vizela torna a apresentar esta sequência de vale estreito e vale amplo, até à depressão de Caldas de Vizela. Junto a esta povoação, a ribeira de Nespereira, afluente da margem N do rio Vizela, tem um vale amplo, desproporcionado à dimensão da ribeira e respectiva bacia hidrográfica. Quer o encaixe, quer a amplitude do vale sugerem uma evolução importante que não pode ser atribuída exclusivamente à acção da erosão fluvial desta pequena ribeira. A N e NW, a morfologia apresenta uma configuração semelhante. A bacia hidrográfica do rio Selho tem a mesma sequência morfológica ao longo do vale. A N e NE de Guimarães apresenta-se amplo, sugerindo a ideia da existência de uma depressão na área de Atães, seguido de um pequeno estrangulamento, a que se segue um vale muito amplo, a W de Guimarães.

De uma forma geral, esta morfologia estende-se por toda a rede hidrográfica representada na folha 85, embora a dimensão e a largura dos vales amplos sejam diversas, ora indiciando um ligeiro alargamento, ora apresentando o aspecto de um vale alveolar. Igualmente, os vales encaixados têm importâncias diversas, ora não passando de pequenos estrangulamentos, ora proporcionando verdadeiras gargantas. No entanto, na área de Fafe, a degradação do relevo parece ter como consequência a união dos diversos vales. Essa união só seria possível pelo alargamento progressivo dos vales que acabam por coalescer numa área muito ampla onde os cursos de água correm para SW, em paralelo, antes de se encaixarem em gargantas.

Os vales descritos nos parágrafos anteriores têm uma característica morfológica muito importante. Apresentam um declive muito fraco ou nulo na parte central do fundo, mas, à medida que nos aproximamos da vertente, o declive aumenta de forma progressiva. Tanto no rio Selho, em Guimarães, como no Vizela, em Vila Fria e Infantas/Jugueiros, o fundo do vale tem declive praticamente nulo, o que é facilmente justificado pela deposição de aluviões resultantes do transporte longitudinal. Junto à base das vertentes, o declive, progressivamente maior, reflecte a importância da dinâmica de vertentes e consequente deposição lateral de materiais ao longo do vale.

2.3. Vertentes com forte declives (fig. B3.6).

As vertentes são muito complexas. Raramente é possível encontrar vertentes rectilíneas. Este facto resulta da influência de dois factores distintos: por um lado, a evolução de vertentes característica das áreas graníticas e, por outro, a irregularidade da profundidade de alteração dos granitóides, que produz um criptorelevo que, uma vez exumado, transmite à morfologia da vertente essa irregularidade. O afloramento de um conjunto de bolas graníticas, a meia vertente, é um suporte mais que suficiente para o desenvolvimento de patamares e rechãs. Desta forma se entende como é grande a complexidade das vertentes, sobretudo das que têm uma maior altura (fig. B3.7).

As vertentes altas e complexas existem um pouco por toda a área em análise, mas é a SE de Guimarães que adquirem maior desenvolvimento. Estas têm inúmeras rechãs e os declives são variáveis, sendo, por vezes, extremamente fortes, atingindo valores superiores a 30°. Sendo vertentes de grande dimensão, apresentam um importante encaixe da rede hidrográfica, sobretudo de linhas de

água de primeira, segunda e até terceira ordem (segundo A. Strahler). Com efeito, as ravinas e os barrancos são numerosos e entalham praticamente toda a vertente. Destes entalhes, é importante referir que muitos dos barrancos têm grande comprimento, abarcando várias sub-bacias hidrográficas. De todas destaca-se a vertente da Penha (Fig. B3.7 e B3.8) que, com mais de 400m de altura, evidencia uma grande complexidade. Um dos exemplos elucidativos da

sua degradação e complexidade é o entalhe da ribeira da Costa (fig. B3.9). Este encaixe adquire a profundidade de um valeiro ao longo de quase toda a vertente. Na metade inferior a ocupação humana é mais intensa e as intervenções que afectam a drenagem são mais profundas e frequentes. Junto à estalagem da Penha, no lugar da Costa, verifica-se importante acção do homem, o que se procurou representar na fig. B3.9. Os patamares agrícolas, muitas vezes murados, atravessam a própria linha de água, mas distribuem-se ao longo de todo o valeiro. Mesmo junto à linha férrea (desactivada) construiu-se um patamar com materiais desagregados, sobre o leito do valeiro. Este patamar, sem qualquer protecção, tem uma altura superior a 30m e situa-se sobre a linha de água, sem drenagem cuidada, já que só foi construído um pequeno dreno para escoar as águas da ribeira. Os materiais que servem de suporte ao patamar não foram compactados, nem se criou qualquer sistema de drenagem das águas que circulam internamente.

Esta vertente, muito próxima de Guimarães, constituirá, brevemente, uma área de expansão urbana, muito facilitada por boa acessibilidade.

Fig. B3.6 Mapa de declives da área de Guimarães.

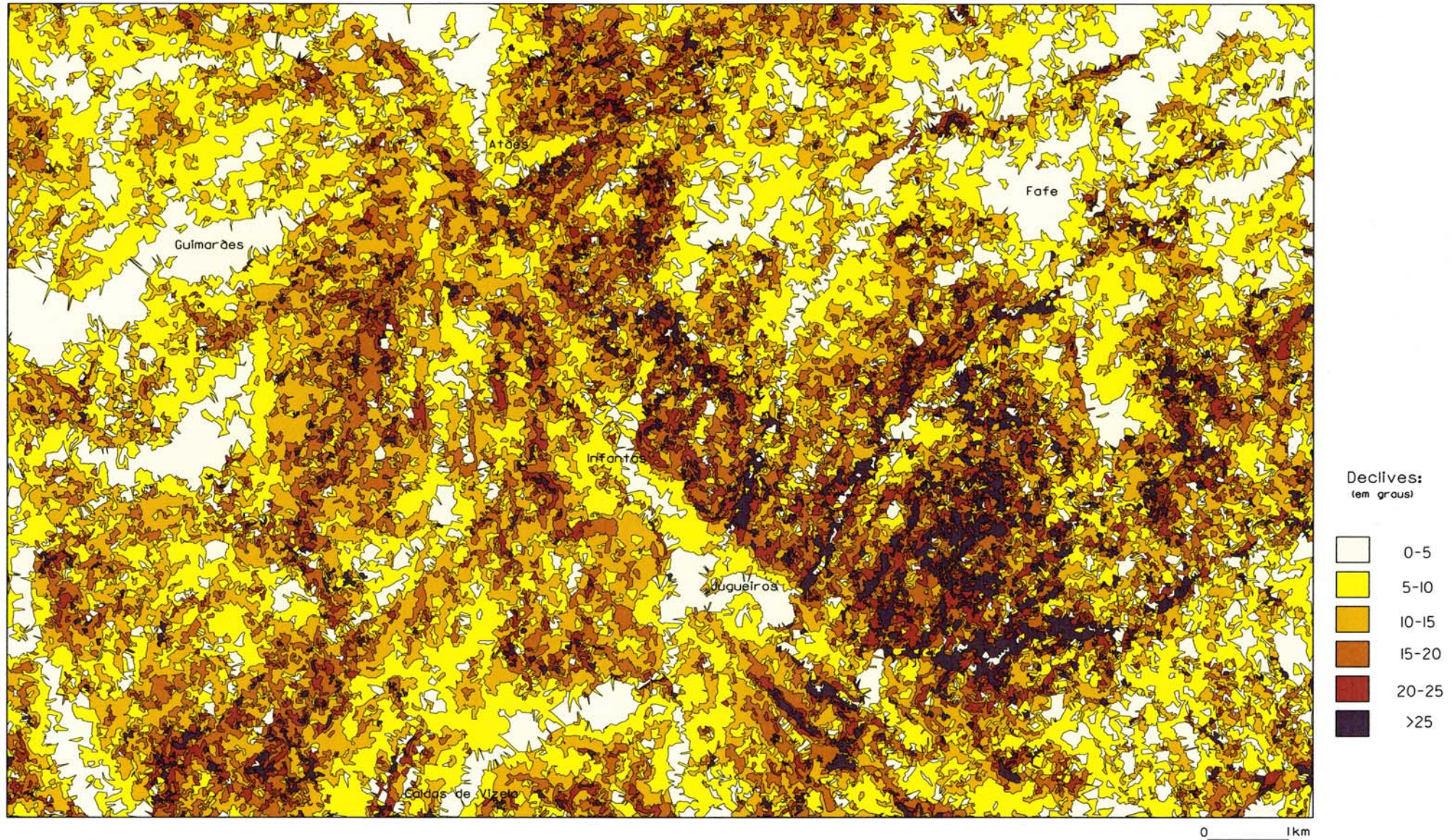


Fig. B3.6: Mapa de declives, na área de Guimarães.

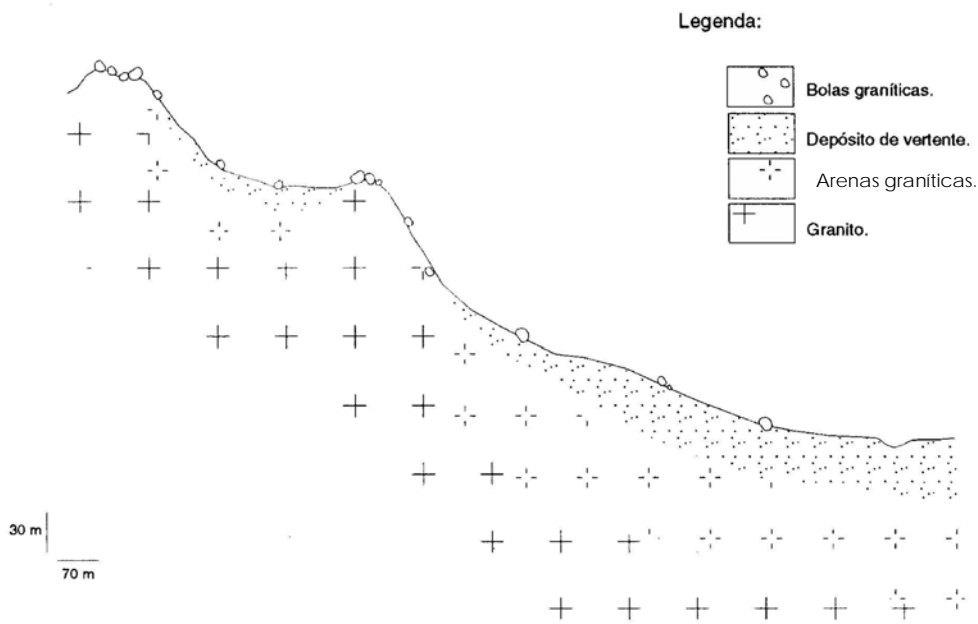


Fig. B3.7: Corte esquemático da vertente da Penha (Guimarães).

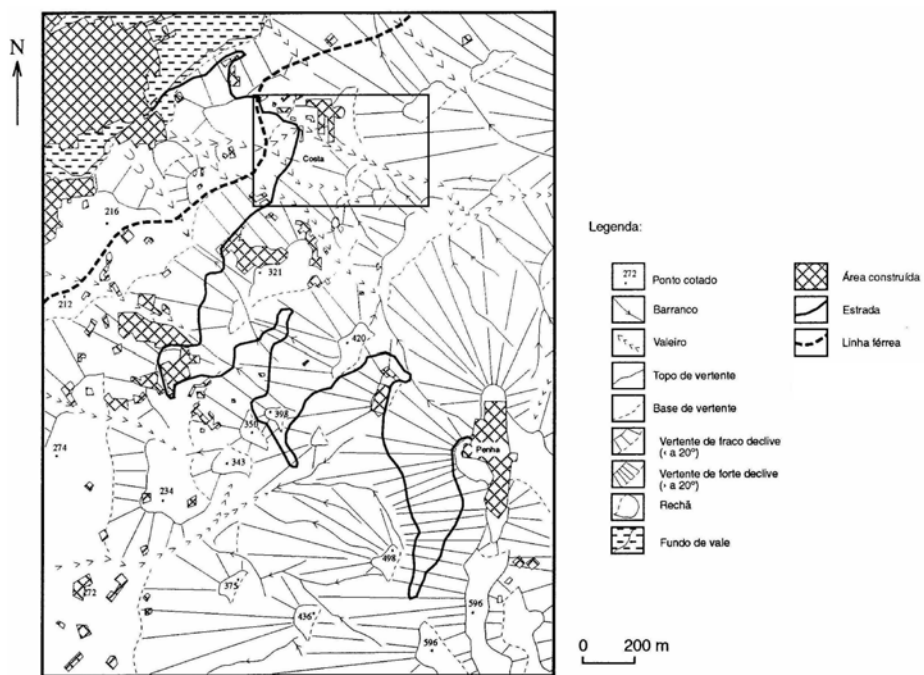


Fig. B3.8: Esboço morfológico da vertente da Penha (Guimarães). A área delimitada pelo retângulo corresponde à área da fig. B3.9.



Fig. B3.9: Esboço morfológico da Costa (Penha - Guimarães).

Para além das intervenções já descritas muitas outras podem ser observadas. A construção de vias de comunicação, a utilização dos solos e construção de patamares agrícolas constituem as intervenções mais importantes nas áreas com declives mais fortes. Ao contrário de outras áreas desta pequena bacia hidrográfica, a metade superior tem uma densidade elevada de patamares agrícolas, o que supõe a existência de materiais finos resultantes da alteração do granito de Guimarães. O arranjo em patamares agrícolas propicia a infiltração, precisamente nas áreas de maior declive. Ao contrário, as áreas envolventes apresentam inúmeras bolas graníticas, evidenciando uma maior erosão dos materiais alterados.



Fot. B3.1: Manto de alteração pelicular e bolas graníticas sem alteração.



Fot. B3.2: Manto de alteração na vertente da Penha sobreposto por depósito de vertente constituído por matriz argilosa e bolas de granito escorregadas ao longo da vertente. Na fotografia, à direita, o depósito de vertente colmata uma paleoravina. As bolas de granito que se situam no manto de alteração estão profundamente alteradas, mas as que se deslocaram ao longo da vertente são constituídas por granito de Guimarães são.



Fot. B3.3: Manto de alteração com espessura superior a 3m, próximo do sopé da vertente da Penha. Notam-se alguns blocos de granito bem conservado no interior do manto de alteração.

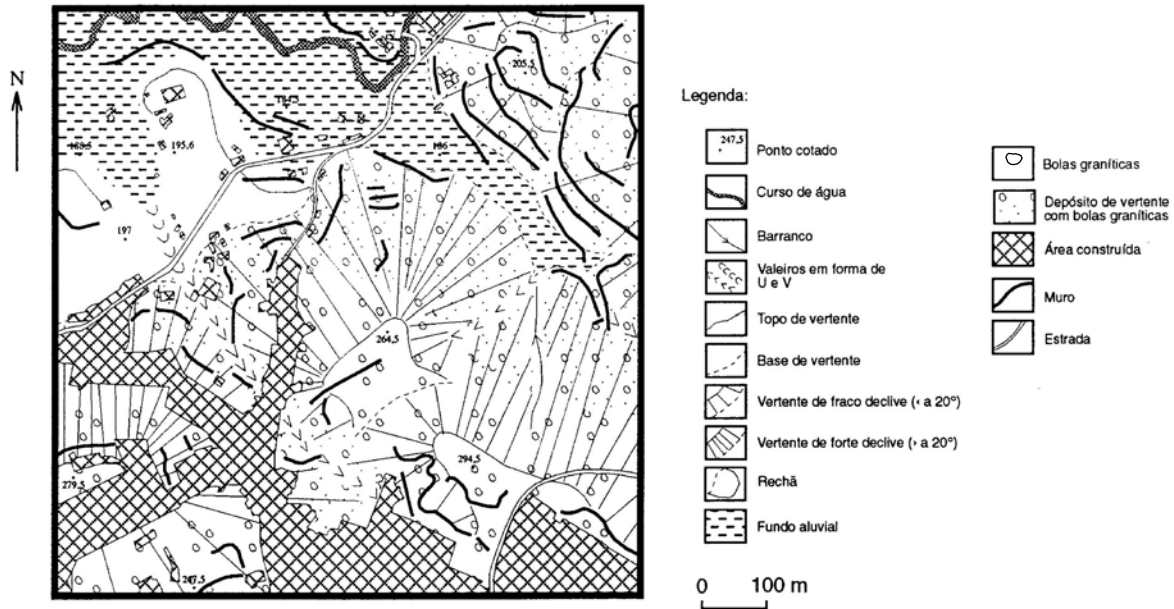


Fig. B3.10: Esboço geomorfológico de Azurém.

Mais a N, em Azurém, a expansão urbana progride do topo da vertente em direcção ao fundo do vale (fig. B3.10). Esta vertente, de pequena dimensão, com cerca de 50m de altura, é rectilínea (fig. B3.11). O manto de alteração domina ao longo da sua extensão e, à superfície, afloram muitas bolas graníticas, parcialmente expostas.



Fot. B3.4: A construção de patamares antrópicos retira o manto de alteração que suporta as bolas graníticas, permitindo a criação de situações propícias à ocorrência de movimentos de vertente.

O contacto com o fundo plano do vale do Selho faz-se por um ângulo vivo, denunciando acção fluvial até à base da vertente. As intervenções humanas estão relacionadas com a urbanização, pela abertura de patamares com recurso à remoção do manto de alteração (fot. B3.4).

A construção de patamares antrópicos promove a alteração das condições hídricas da vertente e poderá constituir um dos factores mais importantes de agravamento da susceptibilidade geomorfológica a movimentos

de vertente.

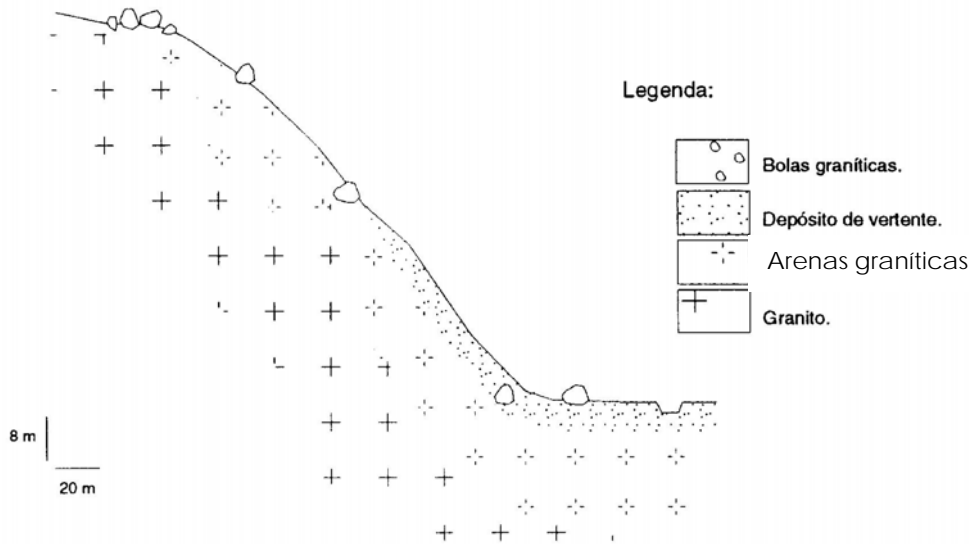
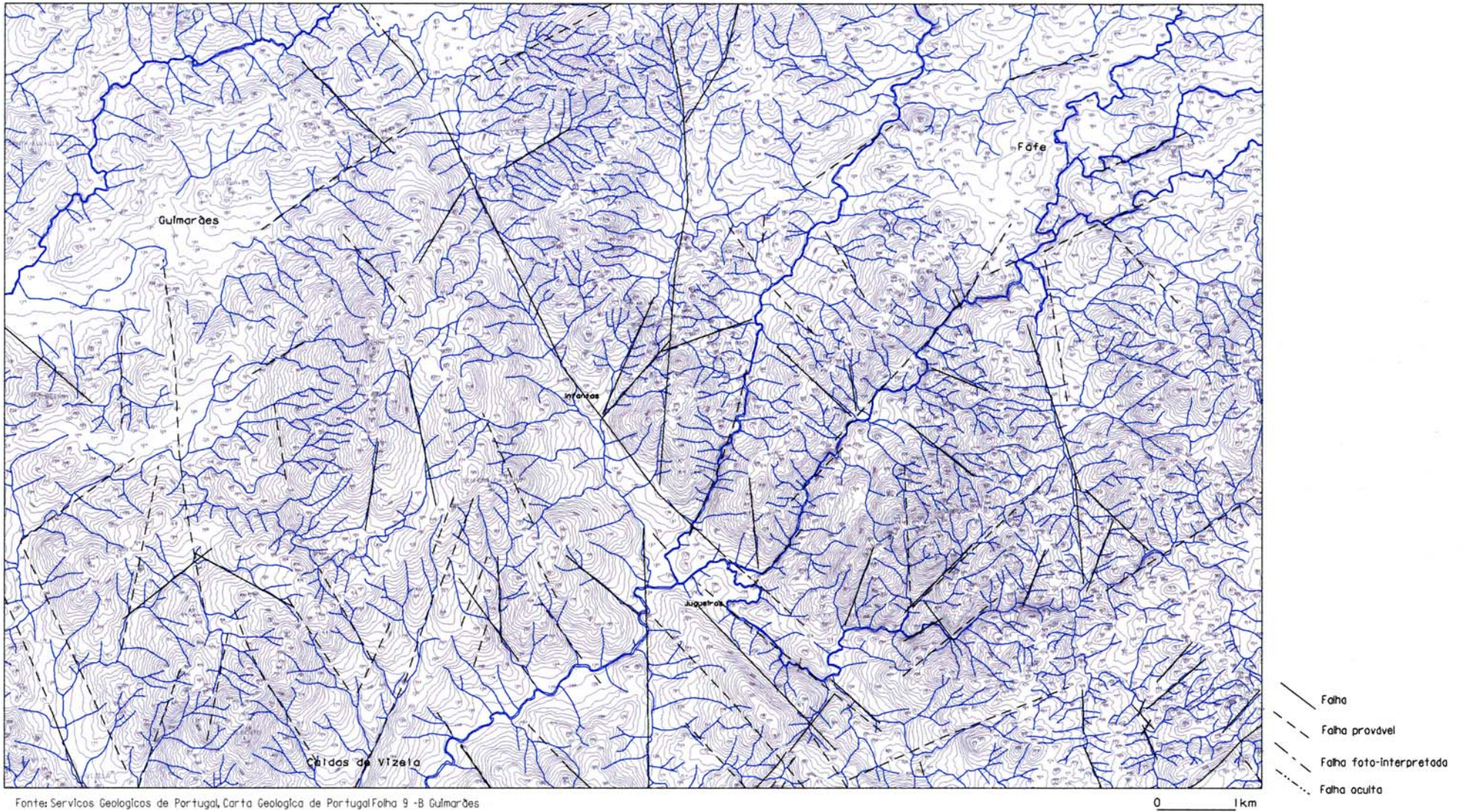


Fig. B3.11: Corte esquemático da vertente de Azurém.

3. O encaixe da rede hidrográfica e a fracturação (Fig.B3.12).

As grandes fracturas apresentam-se bem exploradas pelo encaixe da rede hidrográfica em quase toda a área de Guimarães. Os dois sectores onde é menos evidente a dependência do encaixe da rede hidrográfica em relação à fracturação situam-se na área das cidades de Guimarães e Fafe. Correspondem, respectivamente, aos vales do Selho e à superfície degradada dos 600-800m. Nestas áreas, o encaixe da rede hidrográfica é fraco pelo que não permite a adaptação do seu traçado à fracturação. Esse facto impede-nos de utilizar o traçado da rede hidrográfica como critério de identificação da rede de fracturação. Porém, em grande parte da área experimental o encaixe é importante e reflecte a adaptação da rede hidrográfica, quer à grande fracturação, quer à pequena fracturação.



Fonte: Serviços Geológicos de Portugal, Carta Geológica de Portugal Folha 9 -B Guimarães

Fig. B3.12 : Rede hidrográfica e hipsometria e fracturação da área de Guimarães (folha 85).

Um dos alinhamentos mais importantes ao longo dos quais se encaixou a Rib^a da Cabra e o rio Bugio (ambos afluentes do Vizela, na depressão de Infantas/Jugueiros) é a falha Vigo/Régua de direcção NW/SE. Paralelamente a este alinhamento, localizada na metade ocidental da área em análise, existe uma série de fracturas aproveitadas por cursos de água de menor importância, afluentes do rio Vizela. Apesar da importância deste alinhamento, a sua influência no traçado da rede hidrográfica limita-se aos encaixes dos já referidos Rib^a da Cabra e Rio Bugio, na depressão de Infantas/Jugueiros, e do Selho, a NE de Guimarães. É ao longo deste alinhamento que se faz o contacto entre os granitos de Guimarães, a E, e os xistos e metagrauvaques, a W. Tanto no encaixe do Selho como na depressão de Infantas/Jugueiros, as áreas baixas desenvolvem-se nos metassedimentos, e as vertentes abruptas estão conservadas no granito de Guimarães. Recordamos, porém, que este granitóide apresenta elevados índices de alterabilidade (ver Parte B, Cap.B1, Ponto 1), o que não é conciliável com o aspecto vigoroso das vertentes, a não ser que consideremos que este se deva a movimentos tectónicos recentes. Nesse caso, eles terão de corresponder a um abatimento dos fundos da depressão de Infantas/Jugueiros e do vale do Selho, já que as altitudes dos relevos que os enquadram são semelhantes.

A passagem da rede hidrográfica da bacia do Vizela da superfície de Fafe para a depressão de Infantas/Jugueiros faz-se por uma série de gargantas, com direcção NE/SW, escavadas no granito de Guimarães. O perfil longitudinal destes cursos de água apresenta uma inclinação importante ao longo das gargantas, em vivo contraste com o perfil a montante e a jusante. As roturas de declives não coincidem com qualquer contraste litológico e fazem-se no granito

de Guimarães. Estes factos, sugerem que se processou um rejuvenescimento do relevo desta área, que permitiu a individualização de uma série de blocos, de pequena dimensão, morfologicamente individualizados pelo encaixe da rede hidrográfica. Nalgumas áreas, este processo ainda está numa fase inicial. É o caso da área a E da depressão de Infantas/Jugueiros e Guimarães.

Desta primeira análise parece ser evidente que a tectónica é essencial na definição das áreas deprimidas, ora pela rede de fracturação que propicia a alteração das rochas, ora pela possibilidade de promover um rejogo de blocos tectónicos com o sequente abatimento.

Parte C – A dinâmica de vertentes no NW de Portugal.

Capítulo C1 - Os problemas do estudo dos movimentos de vertente na constituição de um sistema de informação geográfica.

1. Riscos naturais e movimentos de vertente no contexto geomorfológico do maciço antigo Português.

Desde sempre a análise dos movimentos de vertente coloca a ênfase em dois factores dominantes: a precipitação e a litologia. No contexto regional a litologia aparece como sendo o factor diferenciador das áreas que envolvem maior ou menor probabilidade de ocorrência de movimentos de materiais na vertente. Argilas, arenitos argilosos e margas são consideradas as rochas que potenciam maiores condições para o desenvolvimento deste tipo de evolução de vertentes. As regiões sedimentares aparecem como sendo as que desenvolvem maior número de movimentos de vertente sendo, portanto, as que oferecem riscos mais elevados.

Em contrapartida, as rochas dominantes no maciço antigo Português, os granitóides e os metassedimentos, não são considerados como rochas que envolvam grandes riscos no que se refere à evolução de vertentes. Estes tipos de litologia aparentemente não se encontram identificados com uma evolução geomorfológica muito marcada pela presença de movimentos de vertente. O conjunto bibliográfico que recolhemos é disso reflexo.

Conforme foi referido no capítulo B1, a litologia dominante no N de Portugal corresponde às rochas granitóides e aos complexos

metassedimentares. Com efeito, a área experimental do nosso trabalho (a área de Guimarães) apresenta franca dominância de granitóides, alternando com estreitas faixas de metassedimentos. Dá-se especial destaque ao granito de Guimarães, que corresponde, a E, ao granito de Amarante (ver ponto B.2.).

A pesquisa de trabalhos de investigação realizados em áreas de afloramentos de granitóides constituiu um primeiro passo nos nossos estudos. A dificuldade de encontrar bibliografia sobre movimentos de vertente ocorridos em áreas com estas características tornou-se evidente. De facto, a investigação da instabilidade de vertentes em áreas com afloramentos de rochas cristalinas, por comparação com áreas sedimentares é abissal. Um simples percurso feito nas actas dos principais encontros sobre evolução de vertentes, teses e trabalhos neste âmbito, espelham esta realidade.

A ideia de inexistência de movimentos de vertente, ou a sua redução às áreas montanhosas é evidente em grande parte das sínteses publicadas sobre este tema. Em 1997 foi publicado um volume com o título de "Geomorphological Hazards of Europe"²⁴. Nesse volume, A. Brum Ferreira et al (1997, p.398) expressam a ideia de que "...o maciço Hercínico é, de longe, o mais extenso (70% do total da área) e é também o mais estável no que diz respeito aos movimentos de vertente. ... Os granitos aparecem principalmente no Norte, onde as superfícies planas são encaixadas por elevadas e declivosas vertentes de vales". No entanto, não deixa de referir que é nessas vertentes que se encontram as condições geomorfológicas propícias ao desenvolvimento de movimentos de vertente, facilitado pela "... rede de fracturação da rocha e por uma forte e intensa precipitação". Embora considere que os metassedimentos não são tão extensos como no sul, referem

²⁴ in Developments in Earth Surface Processes, vol.5, 1997.

que as "... descontinuidades múltiplas nestas rochas - estratificação, xistosidade e planos de fracturação - são favoráveis aos deslizamentos planares, mas também aos fluxos de terras afectando principalmente solos argilosos de áreas menos declivosas".

A falta de estudos detalhados sobre alguns movimentos em vertentes nas áreas de maciço antigo é frequentemente justificada pela fraca densidade populacional dessas áreas pelo que o risco a eles associado é reduzido. "Com excepção do NW, onde a densidade da população usualmente excede os 200 habitantes por Km², o maciço hercínico está fracamente povoado com densidades em geral com menos de 50 habitantes por Km². Ao mesmo tempo, as maiores obras de engenharia são raras nesta área, o que pode ser considerado, no essencial, uma zona de fraco risco" (A. Brum Ferreira et al., 1997, p.399).

A ausência deste tipo de trabalhos faz-se sentir noutros países da Europa. Um pouco por todo o lado é possível encontrar trabalhos sobre evolução actual de vertentes em áreas sedimentares, com predominância de litologias relacionadas com materiais muito finos, em geral argilosos ou silto-argilosos.

É possível, no entanto, verificar algumas referências à existência de movimentações em vertentes cuja litologia se baseia em rochas cristalinas. Na Áustria, Embleton-Hamann (1997) afirma que a maior parte das ocorrências se verifica em áreas sedimentares ao contrario do que acontece nas áreas de rochas cristalinas.

Na Inglaterra, C. Embleton e D. Brunsden (1997) referem que 1,9% dos deslizamentos ocorrem em rochas granitóides e 5,3% em xistos (p.190).

Estes autores apresentam alguns factores que determinam a ocorrência de movimentos em vertentes nestas condições, e consideram que a espessura do rególito, a profundidade crítica, as propriedades do solo e a química da água que ocupa os espaços vazios resultantes da porosidade dos solos são factores determinantes no desenvolvimento dos movimentos de vertentes.

I. Games, A. Bognar e R. Lazarevic (1997, p. 494), na antiga Jugoslávia, referem que as vertentes mais susceptíveis aos deslizamentos são as dos calcários e as das rochas ígneas maciças sem, no entanto, concretizar as condições de ocorrência.

Ainda segundo B. Ferreira (1997, p. 398) as causas fundamentais da ocorrência de instabilidade nas vertentes constituídas em áreas de maciço antigo resulta da forte e intensa precipitação conjugada com declives elevados, de densa rede de fracturação, solos argilosos e ainda de descontinuidades múltiplas tal como os planos de estratificação, xistosidade e fracturação.

A transposição directa das condições de ocorrência de evolução de vertentes em áreas sedimentares para áreas de rochas cristalinas ou metamórficas conduz, necessariamente, a erros e simplificações abusivas. Ao longo dos extensos afloramentos de granitóides do N de Portugal desenvolveram-se condições geográficas, nomeadamente nos aspectos litológicos, radicalmente diferentes das formações das regiões sedimentares. As formações resultantes das alterações dos granitóides constituem um dos factores mais relevantes para a ocorrência de movimentos de vertente no N de Portugal.

Por outro lado, constata-se que nas áreas mais populosas do NW,

onde o relevo apresenta declives menores, a tendência para o desenvolvimento de movimentos nas vertentes não é muito grande, excepto quando se realizam obras de engenharia ou se promove a expansão da construção urbana. Nas secções médias dos vales do NW português, com fundo amplo e plano mas de vertentes com declive acentuado, a expansão urbana vai ocupando sectores com declives elevados. As obras promovidas vão provocando inúmeras intervenções que degradam a estabilidade das vertentes, criando novas condições ao desencadeamento de movimentações de materiais, nomeadamente quando promovem uma alteração radical da rede de drenagem e infiltração ao longo da vertente.

Nas cidades médias do NW português é possível o alargamento progressivo das áreas construídas em relevos de declives elevados. A expansão urbana é cada vez maior e a utilização de áreas com declives elevados (chegando mesmo atingir os 20°) parece ser uma tendência inalterável. Esta realidade coloca-nos perante o problema do tipo de dinâmica de vertentes que vai resultar dessa intervenção humana. Podemos colocar questões relacionadas com o tipo de drenagem desenvolvida de modo artificial, nomeadamente quando se procede à concentração da drenagem em ravinas colmatadas por materiais argilosos e blocos de grandes dimensões, ou com aterros não consolidados.

Embora as condições naturais não sejam as mais indicadas para a classificação destas áreas como sendo de forte risco, o tipo de intervenção humana pode transformá-las em áreas de probabilidade de risco elevado. São estas transformações resultantes da intervenção antrópica que tornam uma incógnita a dinâmica de vertentes em áreas de forte expansão peri-urbana no NW de Portugal e exigem estudos detalhados sobre as alterações nelas

promovidas.

R. Sidle e al., em 1985, referem-se a esta questão afirmando que "...quando práticas intensivas de uso dos solos são propostas para terrenos potencialmente instáveis torna-se necessário desenvolver metodologias que promovam informação detalhada e específica nos locais onde sejam necessárias. Os levantamentos no terreno, nomeadamente reconhecimento da topografia, geologia, hidrologia e indicadores de instabilidade revelada pelo coberto vegetal são essenciais para planeamento local e de pormenor..." (p.100). O reconhecimento das áreas onde existe um potencial de instabilidade não é possível sem o recurso ao reconhecimento das condições naturais de ocorrência de instabilidade em áreas semelhantes.

Perante esta constatação, e com este tipo de litologia dominante, quais as condições morfológicas, hídricas ao nível do solo e à superfície, de coberto vegetal, de micro-relevo, etc, que poderão contribuir para a ocorrência de instabilidade ao nível das vertentes?

Resulta, portanto, importante o estudo das condições geográficas de ocorrência de movimentações ao nível das vertentes onde a intervenção humana esteja reduzida ao mínimo indispensável, na região Norte. A identificação dessas condições, em áreas de montanha, é essencial para que, em áreas de declives menores, se identifiquem os problemas prováveis decorrentes de um aumento artificial dos declives, ou forte concentração de drenagem induzida pela intervenção antrópica. Neste caso, trata-se de tentar entender qual a importância da acção humana como agente geomorfológico, o que é tarefa fundamental na constituição de um SIG ao nível da definição dos riscos naturais de evolução de vertentes, em áreas de forte expansão urbanística.

O conjunto de informação que se constitui como entrada em SIG, capaz de promover a definição dos riscos naturais em vertentes, vai depender, no essencial, do estudo das condições geográficas de ocorrência de movimentos nas vertentes. Esta é a razão fundamental para seu o estudo no N de Portugal, em regiões de maciço antigo.

2. O estudo das condições geográficas de ocorrência dos movimentos de vertente no N. de Portugal.

Uma das metodologias que, por vezes, é utilizada para o estudo dos movimentos de materiais ao nível das vertentes recorre à estatística. Procura-se, com o recurso à análise da frequência de ocorrência de movimentos nas vertentes, estabelecer uma relação entre factores de ocorrência e tipo de movimentos. Em Portugal, J. L. Zêzere, em 1997 desenvolveu um estudo estatístico na região Norte de Lisboa onde estabelece cinco áreas amostra e desenvolve este tipo de análise. O estudo incide sobre cerca de 600 ocorrências e permite estabelecer relações entre diversos tipos litológicos e movimentações de materiais nas vertentes.

Contudo, é necessário referir que este tipo de análise só poderá ter resultados positivos quando a população estatística é suficientemente numerosa para permitir resultados fiáveis. Nas áreas de maciço antigo é frequente a existência de largos sectores onde as condições naturais são favoráveis à estabilidade de vertentes. Aí, só aumenta a frequência de ocorrência da instabilidade das vertentes quando a intervenção humana é importante. Considerando as condições geográficas no maciço antigo, seríamos levados a pensar que só nas áreas de muito forte declive, sobretudo nas áreas montanhosas ou de forte encaixe da rede hidrográfica poderíamos

admitir a instabilidade das vertentes. Mesmo nessas áreas é difícil encontrar uma área amostra com uma grande quantidade de ocorrências (B. Ferreira et al., 1997). A nossa experiência no Norte do país, revela dificuldades em encontrar uma área de trabalho com um conjunto de ocorrências capaz de constituir uma amostra suficientemente alargada de forma a constituir uma base consistente para a análise estatística.

Os limites da análise estão postos em evidência no trabalho de J. L. Zêzere (1997, p.525), quando conclui que "...os modelos estatísticos são válidos apenas para áreas com características geomorfológicas idênticas e para um único tipo de movimento de vertente, visto que os factores condicionantes se revestem de particularidades distintas em função destes condicionalismos...".

Essa mesma ideia é expressa por R. C. Sidle et al. quando afirmam que as inventariações dos deslizamentos e dos múltiplos factores técnicos com eles relacionados, "...são sem dúvida úteis e altamente apropriados em áreas onde pequenas a moderadas áreas da paisagem são influenciadas por movimentos de vertente" (1985, p. 97). Resta-nos, portanto, o estudo dos casos concretos que ocorreram no N de Portugal, e dessa forma, procurar o conhecimento das condições naturais de ocorrência de movimentos nas vertentes e identificar áreas de instabilidade potencial, o que poderá permitir a identificação dos processos, e o esboço de uma zonação onde os diversos tipos de intervenção humana se revestem de um risco acrescido.

Esta perspectiva assenta numa ideia base: existe a possibilidade de uma modificação significativa da frequência de ocorrência de movimentações ao nível dos materiais da vertente. Essa ideia é justificada por Dikau et al. (1996) como sendo a consequência de dois factores determinantes. Por um lado, poderia ser atribuído às alterações climáticas e

eventuais modificações no regime climático com aumento da intensidade e frequência de precipitações. Por outro lado, um aumento da actividade humana que conduziria a uma modificação das situações de potencial instabilidade e, com isso, um aumento da frequência de ocorrências, o que tornaria cada vez mais importante o reconhecimento das áreas que poderão experimentar grandes modificações como consequência dessas alterações.

Como seria possível identificar as áreas onde, por intervenção humana ou por causas hidro-climáticas, se poderão desenvolver os movimentos de vertente e aumentar a frequência de ocorrências?

A identificação destas situações permitiria a um geomorfólogo ou engenheiro experimentado reconhecer indicadores geomorfológicos, catalogá-los, classificá-los e cartografá-los" (Dikau et al., 1997, p. 2).

No N de Portugal, especialmente nas áreas onde dominam amplamente os afloramentos de granitóides, é necessário reconhecer esses indicadores de forma a proceder à sua classificação e, dessa forma, avançar para a cartografia das áreas de provável instabilidade de vertente. Em muitas áreas de montanha já foram identificadas várias situações passíveis de desenvolver rupturas nos materiais das vertentes. Corominas (1996,1), citando Reneau e Dietrich (1987), coloca as bacias hidrográficas de primeira ordem como sendo sítios de especial sensibilidade dada a espessura dos mantos de alteração. Por vezes, os mantos de alteração pouco espessos e depósitos de vertente apresentam-se dispostos próximo dos topos das vertentes, onde as bacias hidrográficas de primeira ordem têm aspecto côncavo. A morfologia favorece a acumulação de argilas e permite uma maior convergência do escoamento interno necessário à saturação dos solos. Fazendo referência a Costa (1984), conclui que "as rupturas ocorrem nas áreas mais declivosas das

vertentes (declives superiores a 15° ou mesmo 20°) resultante de um relativamente rápido fluxo interno de grandes quantidades de água" (p. 269).

A par de outros factores, tais como os depósitos morénicos fracamente consolidados, ou não consolidados, Corominas et al. (1996) retomam a situação dos mantos de alteração, considerando que as áreas de rocha alterada são propícias ao desenvolvimento de fluxos de detritos. A espessura destas formações superficiais poderá ter um papel importante na absorção de quantidades importantes de água o que poderá constituir uma sobrecarga adicional capaz de desenvolver movimentos de materiais.

Conforme foi exposto no capítulo B1 os mantos de alteração apresentam uma forte capacidade de infiltração e escoamento das águas de precipitação. Tal como veremos no capítulo C2, é possível observar precipitação em grandes quantidades e de forte intensidade sem que isso provoque saturação dos solos e dos mantos de alteração, com a consequente escorrência ao nível das vertentes. A capacidade de retenção de água por parte dos mantos de alteração é fraca, o que dificulta os movimentos de materiais nas vertentes. Quanto mais espessos são os mantos de alteração mais capacidade de absorção e escoamento têm, mais dificilmente se potenciam as condições para a saturação e, portanto, mais difícil se torna atingir os níveis de ruptura que superem as forças de atrito.

Quando os materiais resultantes da alteração são peliculares (aproximadamente 2 m de espessura) e a frente de alteração se caracteriza por uma transição brusca entre rocha sã e manto de alteração, estão criadas as condições para o desenvolvimento de instabilidade de vertentes. Com efeito, o manto de alteração permite uma boa infiltração de grandes quantidades de água que vai encontrar uma barreira ao escoamento interno

a pouca profundidade. O fluxo interno vai acumulando água e saturando o plano de contacto entre rocha e manto de alteração. A ruptura parece ser inevitável. Esta é, porventura, a situação mais frequente ao longo das linhas de água de forte declive, em bacias hidrográficas de primeira ordem. No maciço antigo Português, ao longo dos extensos afloramentos de rochas granitóides, sobretudo nas serras, onde os declives são necessariamente mais elevados, esta parece ser a conjugação dos principais factores para o desenvolvimento de instabilidade de vertentes.

Mas esta situação coloca-nos um problema de difícil resolução. Como medir a espessura do manto de alteração, antes da ocorrência de um movimento de vertente? Nem sempre o terreno nos permite verificar, em perfil, o afloramento dos granitóides junto à frente de alteração. O trabalho no terreno, efectuado no N, permitiu-nos verificar que as bacias hidrográficas de primeira ordem, quase sempre imediatamente a jusante do topo das vertentes, ou a seguir a rupturas de declives, no sentido do seu aumento, são as áreas onde a espessura dos mantos de alteração é menor. Em teoria, estas áreas seriam os sectores onde poderia ocorrer um maior número de movimentos de vertente e, portanto, teriam de ser cartografados como áreas mais instáveis. Sem as leituras, em profundidade, da espessura dos mantos de alteração, teremos de encontrar formas de promover a cartografia das condições geográficas propícias à ocorrência de instabilidade de vertentes. Voltaremos a este tema no capítulo C3.

J. Costa (1984), referindo-se em particular aos fluxos de detritos considera que "as bacias hidrográficas progressivamente pequenas e de declive elevado têm um forte potencial para uma grande capacidade de transporte por movimentos de vertente, tal como os fluxos de detritos" (p. 269).

Esta capacidade de transporte resulta, em especial de "...declives muito acentuados (usualmente excedendo os 30° nas regiões montanhosas), resultando numa grande instabilidade nos materiais superficiais" (p. 269). Ainda segundo o mesmo autor, existe uma relação importante entre o tipo de materiais do substrato litológico e o conjunto de materiais que são movimentados nas vertentes. Com efeito, "...a análise de muitos dos detritos indica que uma pequena parte dos materiais dos fluxos de detritos consiste em silte e argila (aproximadamente 10-20%), e a percentagem de argilas pode ser surpreendentemente baixa, geralmente não mais do que alguns pontos por cento. Curry (1966), Sharp e Nobles (1953) e Lawson (1982) reconhecem menos do que 3% de argila em amostras de fluxos de detritos" (p. 273). Esta constatação coincide com o facto de muitos dos mantos de alteração das regiões temperadas serem constituídos por fracas componentes argilosas, tal como foi debatido no cap. B1 deste trabalho.

D. M. Cruden e D. J. Varnes (1996) referem-se a deslizamentos em áreas de mantos de alteração e afirmam que estes se desenvolvem em momentos em que a precipitação é mais intensa e abundante, mas quando se trata de definir a relação entre intensidade e duração da precipitação necessárias ao desencadear dos movimentos remetem a decisão para a análise das condições regionais de ocorrência tais como a condições locais da litologia, da geomorfologia e do clima. Esta ideia expressa por Cruden e Varnes espelha a dificuldade em relacionar as quantidades e intensidades de precipitação com as condições locais de ocorrência de movimentos já que os factores ligados à litologia, morfologia, hidrologia e ao clima são extremamente variáveis, não podendo generalizar-se, facilmente, o conjunto de condições verificáveis em determinado processo de movimento de

vertente.

O conjunto de factos até aqui expostos ajuda a entender a importância do estudo das situações de instabilidade nas áreas montanhosas, no sentido de definir as condições geográficas de ocorrência de movimentações de materiais nas vertentes. A partir dessa definição estaremos em condições de esboçar a zonação das áreas de risco em sectores onde a intervenção humana poderá agravar e promover movimentos de materiais, onde não é usual verificar-se o desenvolvimento destes processos. É o caso dos vales do NW Português, onde existem sectores de declives elevados e, por isso mesmo, poder-se-ão experimentar modificações de dinâmica que resultem de aumentos artificiais de declives.

É nesse sentido que avança o texto de R. C. Sidle et al. (1985). Já então era apontada a necessidade de inventariação dos movimentos de materiais nas vertentes, salientando a importância destas metodologias em regiões em que só uma pequena ou moderada área é afectada por este tipo de dinâmica. Quando existem práticas de intervenção humana intensivas e que potencialmente poderão conduzir à instabilidade dos terrenos, atribui-se especial relevo ao levantamento, feito no terreno, da topografia, geologia, hidrologia e coberto vegetal. Este conjunto de indicadores poderá fornecer importante informação das áreas que potencialmente seriam mais instáveis. Os mesmos autores identificam, para cada um destes indicadores, os aspectos que consideram reveladores dessa instabilidade.

A construção da cartografia dessas condições na nossa área de trabalho parece ser a metodologia mais adequada para antecipar a zonação das áreas que apresentem susceptibilidade ao desenvolvimento de movimentos de materiais nas vertentes, quando são agravadas as condições

naturais da dinâmica do meio físico, nomeadamente com intervenções humanas que se adivinham crescentes.

3. A importância do estudo da dinâmica dos movimentos de vertente para a definição dos factores de risco.

Existem várias classificações de movimentos de vertente. As mais divulgadas e, eventualmente, mais utilizadas são as de Hutchinson (1968, 1988), Varnes (1978) e Cruden e Varnes (1996). Um estudo comparativo dessas diversas classificações, apresentado por J. L. Zêzere em 1997 (p. 47), diferencia-as pelo objecto da classificação e pelos critérios principal e secundário de discriminação.

Em primeiro lugar há que notar que os objectos de classificação não são idênticos para os diversos tipos de classificação. E dentro de uma classificação elaborada por um mesmo autor pode ocorrer uma evolução de conceitos e o objecto da classificação. É o caso de Hutchinson que, segundo J. L. Zêzere, em 1968 constituiu uma classificação dos movimentos em massa. Vinte anos mais tarde só inclui no seu trabalho os movimentos de vertente. Esta evolução de Hutchinson coincide com a tendência das classificações produzidas nos últimos anos. Varnes (1978) e Cruden e Varnes (1996) também constroem as suas classificações com base no estudo dos movimentos de vertente. Há, no entanto, uma distinção fundamental entre estes autores. Enquanto Hutchinson (1988) continua a fundamentar a sua classificação na morfologia dos movimentos como critério principal de distinção, os outros autores aplicam o tipo de mecanismos como critério principal.

Se o nosso objectivo final consiste na definição das áreas de risco recorrendo à utilização de um sistema de informação geográfica, é

fundamental o conhecimento da dinâmica do meio físico bem como os seus mecanismos de funcionamento. Neste sentido, é extremamente importante perceber os mecanismos que comandam os processos de ruptura dos materiais que se movimentam nas vertentes. Portanto, quando nos referimos aos movimentos de vertente estamos a aceitar, como base, a classificação de Cruden e Varnes (1996) que registam o critério da dinâmica como o critério principal. Esta opção remete-nos, no trabalho que agora desenvolvemos, para o estudo da dinâmica geomorfológica de evolução de vertentes e, conseqüentemente, ao nível dos estudos sobre solos e geodinâmica.

Em 1976, A. C. Perrusset apresentou um trabalho sobre deslizamentos superficiais em que a mecânica de solos constituiu um dos pontos essenciais da análise. Esta incide sobre movimentos superficiais, que correspondem a áreas de afloramentos de rochas granitóides ou metassedimentares.

Da análise dos coeficientes de atrito das rochas²⁵ ao longo dos planos de ruptura em seco e em saturado é possível distinguir duas situações: quanto ao tipo de rocha e quanto à morfologia do plano de ruptura. Foram medidos, em laboratório²⁶, os coeficientes de atrito de mais de 80 amostras de diversos tipos de litologias. Nas experiências executadas, partindo do pressuposto que o plano de ruptura é rugoso, verificou-se que os granitóides apresentam uma diminuição maior do coeficiente de atrito quando saturado

25 A movimentação de materiais nas vertentes depende do resultado da acção de duas forças que se exercem em dois sentidos opostos. Por um lado as forças tangenciais promovem a movimentação dos materiais segundo a gravidade. Em sentido oposto as forças de atrito constituem um obstáculo ao desenvolvimento de movimentos, promovendo a coesão dos materiais. Quando as forças tangenciais superam as forças de atrito, desencadeiam-se os movimentos de vertentes. Quando as forças de atrito são superiores às forças tangenciais não há ruptura e a estabilidade da vertentes é assegurada (J. Graham, 1984 e R. C. Sidle et al., 1985).

26 As análises laboratoriais apresentadas por A. C. Perrusset (1976) contaram com o apoio do laboratório do Instituto de Geografia da Universidade de Aix-Marseille, sob a orientação do Prof. J. Pouquet.

(13%) do que outras rochas, nomeadamente o arenito pouco consolidado (10%) (A. C. Perrusset, 1976, ps.125 e 126). No entanto, com a introdução, na análise, de planos de ruptura lisos a ondulados, as percentagens de diminuição dos coeficientes de ruptura são mais marcantes. Em granitóides, quando o plano de ruptura está saturado, regista-se uma diminuição do coeficiente de ruptura em 17%, ao passo que essa diminuição é de 11% em arenitos pouco consolidados. Neste caso, é extremamente importante a morfologia do plano de ruptura para que se possa atingir o ponto de ruptura e desenvolvimento da movimentação dos materiais.

Ainda no âmbito desta experiências, A. C. Perrusset apresenta a mesma análise em contacto entre argila e arenito, para descontinuidades lisas a onduladas. Verificou-se que a diminuição do coeficiente de atrito na descontinuidade, quando saturada, é de 25%. Embora seja uma situação muito diferente das anteriores, coloca uma pista de investigação que importa explorar. Trata-se de analisar o contacto entre duas formações diversas, cujo comportamento pode ser muito diferente dos casos apresentados no parágrafo anterior.

Quando se analisa o plano de ruptura no âmbito de uma formação litológica considera-se que essa formação é homogénea e o plano de ruptura desenvolve-se no interior dessa formação. Esta análise aparece mais evidente quando nos referimos às argilas ou arenitos argilosos que apresentam espessuras de várias dezenas de metros. Mas também é frequente a existência de planos de ruptura coincidentes com planos de estratificação. Neste caso, a análise de planos de ruptura corresponde a uma descontinuidade nas formações litológicas, com as consequências que daí advêm quanto aos aspectos hidro-geológicos.

Nas áreas de maciço antigo, em especial nos extensos afloramentos de granitóides, onde não existem planos de estratificação, tínhamos a ideia que não há descontinuidades. Os granitóides seriam considerados como tipos litológicos homogêneos. Não é assim.

Mesmo dentro do mesmo tipo litológico, como seja o caso dos granitóides, é possível este tipo de diferenciação já que, a frente de alteração funciona como plano de descontinuidade. Esse plano acaba por pôr em contacto materiais com textura e coesão tão diversas que poderão apresentar uma diminuição muito forte do coeficiente de atrito, à semelhança do que acontece com a argila e o arenito.

Em termos gerais podemos dizer que o trabalho de Perrusset coloca o problema da importância dos planos de descontinuidade, da sua morfologia e do tipo de materiais que constituem essa sequência (1976, p.130 e 131). Para além da textura das formações litológicas que constituem as vertentes, torna-se muito importante a análise dos planos de descontinuidade, o que constitui tarefa delicada, já que isso significa analisar, em profundidade, o comportamento hídrico dos materiais da vertente. No caso dos granitóides a profundidade da frente de alteração é muito variável, o que torna quase imprescindível o estudo da cartografia deste factor.

Os estudos sobre mecânica dos solos têm-se preocupado com o comportamento dos materiais no que se refere ao ponto de saturação, dependendo, em grande parte, de técnicas laboratoriais, o que concentrou o essencial das atenções na textura dos materiais e muito menos na sua disposição estrutural. O teor de humidade ao longo das descontinuidades que potencialmente se poderão converter em planos de ruptura parece ser um dos factores importantes na análise da dinâmica de vertentes. Sabemos que, ao

nível do laboratório, é possível desenvolver estudos comparativos entre diversos tipos de rochas, mas no terreno torna-se difícil identificar situações que nos permitam comparações. Para além desta situação, é quase impossível considerarmos todas as variáveis locais que influenciam a ruptura dos planos de descontinuidade. A este nível ainda falta desenvolver trabalhos de investigação, capazes de balizar as situações de terreno que conduzam à ruptura e movimentos de materiais. Dessa forma, o levantamento de campo sobre as condições geográficas capazes de desenvolverem áreas de risco potencial ainda se encontra numa fase muito geral, e os indícios, no terreno, susceptíveis de serem cartografados ainda se encontram ao nível dos efeitos de movimentações de materiais que já ocorreram ou estão em vias de ocorrer. A identificação de áreas onde não há indícios de movimentações, mas onde poderá ocorrer instabilidade, constitui um dos problemas de maior dificuldade de resolução. A identificação dos planos de descontinuidade poderá ser um passo importante nesta análise.

Daqui ressalta a importância do estudo das formações superficiais e sobretudo da cartografia da espessura dos materiais resultante da alteração dos granitóides.

Ao colocar especial realce na saturação das descontinuidades quando do desenvolvimento da instabilidade nas vertentes, entende-se por que motivo os materiais resultantes dos fluxos de detritos percorrem grandes distâncias, sem que a percentagem das argilas que transportam sejam elevadas. Costa refere-se a este problema considerando que muitos materiais movimentados por fluxos de detritos podem percorrer grandes distâncias e as quantidades de argilas necessárias para este tipo de comportamento variam entre 1 e 2% (1984, p. 274-275). Por essa razão, o desenvolvimento de

movimentações nas vertentes, nas área de montanha, poderá estar mais directamente dependente do factor declive e dos planos de descontinuidade do que da textura dos materiais. Como veremos, grande parte dos movimentos estudados neste trabalho desenvolvem-se em áreas de mantos de alteração com fraca percentagem argilosa (resultantes de granitóides de textura com grão grosseiro ou médio a grosseiro) ou em áreas de contactos litológicos de rochas diferentes. Em sectores onde o declive é elevado (25° ou mais) os planos de descontinuidade estão sujeitos a uma tensão que poderá entrar em ruptura acaso fiquem saturados.

Este é o motivo principal porque nos propomos estudar as condições geográficas que permitem uma mais fácil e rápida saturação dos planos de descontinuidade passíveis de ser convertidos em planos de ruptura. Ao nível da geomecânica dos solos, Perrusset apresenta algumas situações onde a acção humana poderá incrementar a tensão sobre as descontinuidades, salientando a carga no topo dos maciços rochosos, escavamento do sopé, desflorestação, infiltração no solo de efluentes, concentrações artificiais de drenagem e abandono ou falta de conservação das obras de reforço dos taludes artificiais (1976, p. 323 e 324).

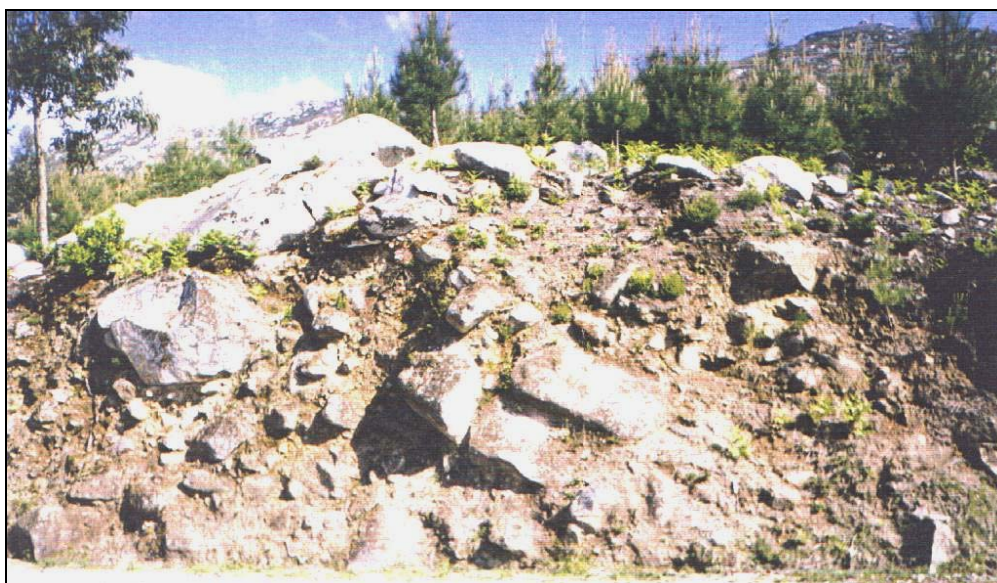
Capítulo C2 - Apresentação monográfica de movimentos de vertente no NW de Portugal.

1. O depósito da S^a da Graça.

1.1 - Estrutura.

O depósito da S^a da Graça situa-se na vertente NW da serra do mesmo nome, a E de Mondim de Basto. Esta serra coincide, quase na totalidade, com o maciço granítico de grão médio de duas micas, considerado pela geologia como sendo sintectónico relativamente a F2 (capítulo B1). Este maciço encontra-se fracturado sendo possível observar duas direcções fundamentais para o conjunto de falhas que o afectam: NW-SE e NE-SW. No topo e próximo do topo observam-se afloramentos do granito da S^a da Graça bem conservado sendo muito fracturado no sector NE do maciço ao passo que no sector SW a fracturação promove a individualização de grandes blocos de granito compacto. À medida que se desce o maciço é possível encontrar mantos de alteração com espessura cada vez maior. Na secção média da vertente observam-se cortes de mais de 3 m de espessura visível. Por vezes, nesses cortes, é visível a profunda alteração envolvendo bolas graníticas. Estas apresentam-se bem individualizadas, com ligeira alteração. Sobre o manto de alteração é possível verificar a existência de um depósito de vertente pelicular constituído, no essencial, por uma matriz argilosa, calhaus e blocos de granito com dimensões variáveis (desde alguns

centímetros até vários metros de diâmetro maior (fot. C2-1). Na parte superficial do depósito (20 cm a 50 cm), essa matriz apresenta cor negra resultante de evolução pedológica, com enriquecimento em matéria orgânica.



Fot. C2-1: Depósito da S^a da Graça.

1.2 - Morfologia.

Do ponto de vista morfológico a serra da S^a da Graça caracteriza-se por ter vertentes muito íngremes. Os seus declives oscilam entre os 5°, próximo da base, e os 35°, próximo do topo. Na secção média da vertente existe uma grande variabilidade de declives entre os 12° e os 30°. Nas áreas onde o declive ronda os 12° a vertente apresenta um depósito que resulta da acumulação de grandes quantidades de blocos de granito envoltos em matriz areno-argilosa, com forte predomínio de areias. O depósito apresenta-se distribuído ao longo das vertentes da serra da S^a da Graça constituindo espessas colmatações de ravinas e, mesmo, de alguns barrancos nelas entalhadas (fig. C2-1). No topo destes barrancos observam-se vertentes com aspecto côncavo denunciando prováveis cicatrizes de movimentos de

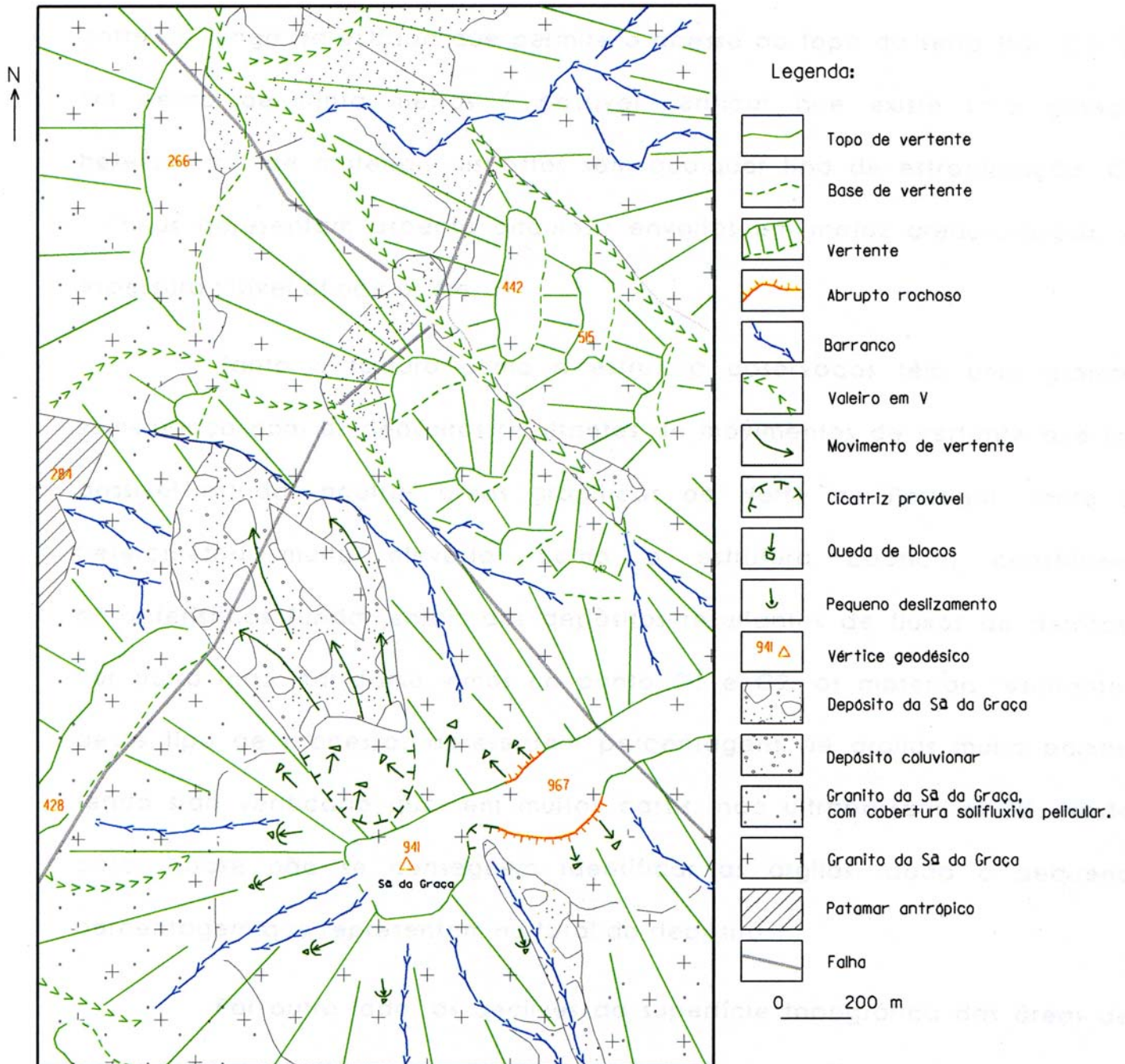


Fig. C2.1: Esboço geomorfológico (Sã da Graça).

vertente com sinais de evolução posterior, quer por queda de blocos, quer por desmoronamento. É nesses sectores que os declives atingem valores que genericamente rondam os 35° mas, no pormenor, podem atingir valores superiores. Aliás, na parte superior dos barrancos, atingem os 45°.

A textura e a estrutura deste depósito podem ser observadas num corte ao longo da estrada que permite o acesso ao topo da serra (fot. C2-1). Em cerca de trinta metros é possível verificar que existe uma grande heterometria de materiais dispostos sem qualquer tipo de estratificação. Os calhaus apresentam aspecto anguloso envoltos em matriz areno-argilosa. A espessura visível atinge os 5m.

Tanto a textura como a estrutura observadas têm uma grande semelhança com os depósitos resultantes de movimentos de vertente que foi possível estudar noutras áreas graníticas do Norte de Portugal. Tanto a heterometria muito elevada, como a estrutura caótica, constituem características fundamentais dos depósitos resultantes de fluxos de detritos. Por outro lado, tal como vimos no ponto C1 e C2, os materiais resultantes deste tipo de processos apresentam percentagens de argilas muito baixas, tendo sido verificado que, em muitos casos, não ultrapassam os 3%. Neste caso, quase não se conseguem identificar as argilas, dada a pequena percentagem que representam no total do depósito.

Por outro lado, os declives da superfície topográfica das áreas de acumulação de fluxos de detritos varia entre os 12°, nas áreas mais a montante, e os 2°-3°, nas áreas mais afastadas da cicatriz de arranque. O depósito da Sª da Graça apresenta muitas semelhanças do ponto de vista estrutural e morfológico com os fluxos de detritos descritos na bibliografia.

Parece, portanto, tratar-se de um depósito resultante de um movimento de vertente, cuja ocorrência não é possível localizar no tempo. O aspecto da vertente que coroa a área a montante do depósito pode ser identificada com a área de arranque, sendo possível identificar a provável cicatriz (fig. C2.1). Mais a sul, existem outros cortes em materiais com as mesmas características sedimentares e morfológicas. A sua disposição na vertente é em tudo semelhante à disposição do depósito da S^a da Graça. Ocupa uma antiga ravina, a área de deposição tem declives médios e, no topo da vertente, apresenta uma concavidade indiciando a existência de uma área de arranque, com uma cicatriz provável já evoluída. A erosão a que foi sujeita a cicatriz provável, bem como o depósito, sugere-nos que se trata de uma movimentação antiga. Embora seja uma indicação muito vaga, parece-nos que, de todos os exemplos que referiremos neste capítulo, se trata de um dos mais antigos.

2. O depósito do Ermelo.

2.1 - Contexto morfológico.

Na serra do Alvão, a S do Ermelo, situa-se a ribeira do Sião. O fundo do vale do Sião está colmatado por um depósito de características sedimentares muito complexas. Desde as cabeceiras do vale e o estrangulamento situado a cerca de 2 Km a jusante, observa-se uma forte deposição que acaba por constituir uma formação cuja origem indicia uma forte dinâmica de vertentes.

A morfologia do vale do rib^o do Sião caracteriza-se por um muito forte encaixe, o que resulta em declives muito acentuados ao longo de todo o sector do vale agora analisado. As figuras C2-2 e C2-3 põem em evidência o

aspecto abrupto das vertentes sendo de realçar que a maior parte dos declives são superiores a 25°, havendo um grande predomínio dos declives superiores a 35°. A grande fracturação e variabilidade dos afloramentos rochosos, com dureza diversa, permite o forte encaixe da rede hidrográfica, as vertentes com abruptos rochosos e as pequenas gargantas formadas a partir do encaixe dos valeiros e barrancos. Nas cabeceiras da bacia hidrográfica do ribeiro de Sião existem várias vertentes que correspondem a um encaixe superior a 50 m resultante de processos erosivos muito intensos provocados pela influência de um nível de base baixo relativamente às altitudes próximas dos 1200 m que coroam o topo dos relevos envolventes.

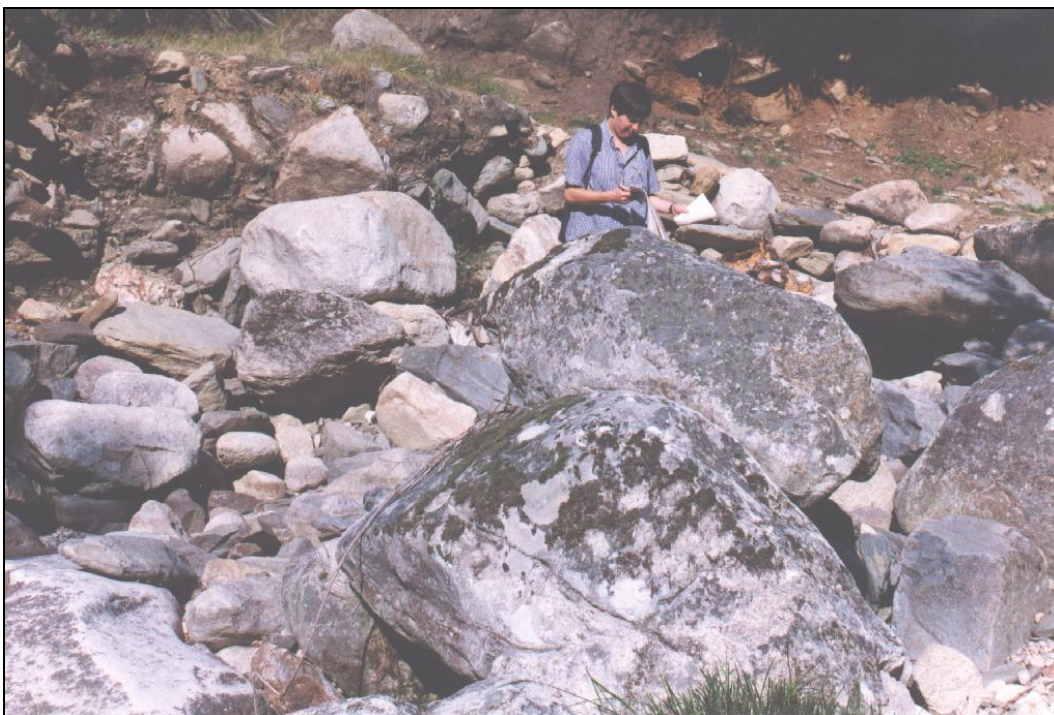
2.2 – Contexto estrutural

A litologia desta área é muito variada e a parte superior da pequena bacia hidrográfica do ribeiro de Sião está encaixada em vários tipos de rocha. A parte N da bacia está encaixada nos granitos de Vila Real, de grão médio a grosseiro com esparsos megacristais, ao passo que a parte S e a vertente SE apresenta uma grande variedade de tipos litológicos, entre os quais se destacam quartzitos, xistos, filitos e grauvaques. Esta pequena bacia hidrográfica é afectada por algumas grandes fracturas com direcção predominante de NNE-SSW.

2.3 – A dinâmica de vertentes.

Este encaixe no relevo, processado de forma profunda, permitiu uma evolução de vertentes muito intensa originando o transporte de grandes quantidades de materiais que se acumularam no fundo do vale do Sião. Os elementos de maior dimensão chegam a atingir mais de 3 metros de espessura visível e estão colonizados por uma formação vegetal constituída por uma

floresta de pinheiros com sub-bosque pouco denso, que o protege de processos erosivos relacionados com a escorrência. Sendo um depósito de fundo do vale está protegido dos processos erosivos de carácter fluvial por um estrangulamento do vale do Sião imediatamente a jusante. Apesar disso, nalguns sectores, foi possível verificar que o ribeiro do Sião promove a erosão do depósito por efeito do trabalho de sapa ao longo das margens do leito menor. No entanto, o carácter grosseiro do depósito não permite uma grande erosão já que os blocos e calhaus de grandes dimensões não facilitam o transporte dos materiais. Os materiais mais finos, as areias, acabam por ser transportados, ficando o fundo do leito constituído por calhaus e blocos de várias dimensões, dando-lhe um perfil longitudinal muito irregular.



Fot. C2-2 : Depósito do Ermelo. Aspecto do leito do ribeiro do Sião.

Uma das características principais da sedimentologia do depósito diz respeito à sua heterometria. O depósito é muito heterométrico, sendo possível encontrar calhaus de alguns centímetros a par de blocos de dois

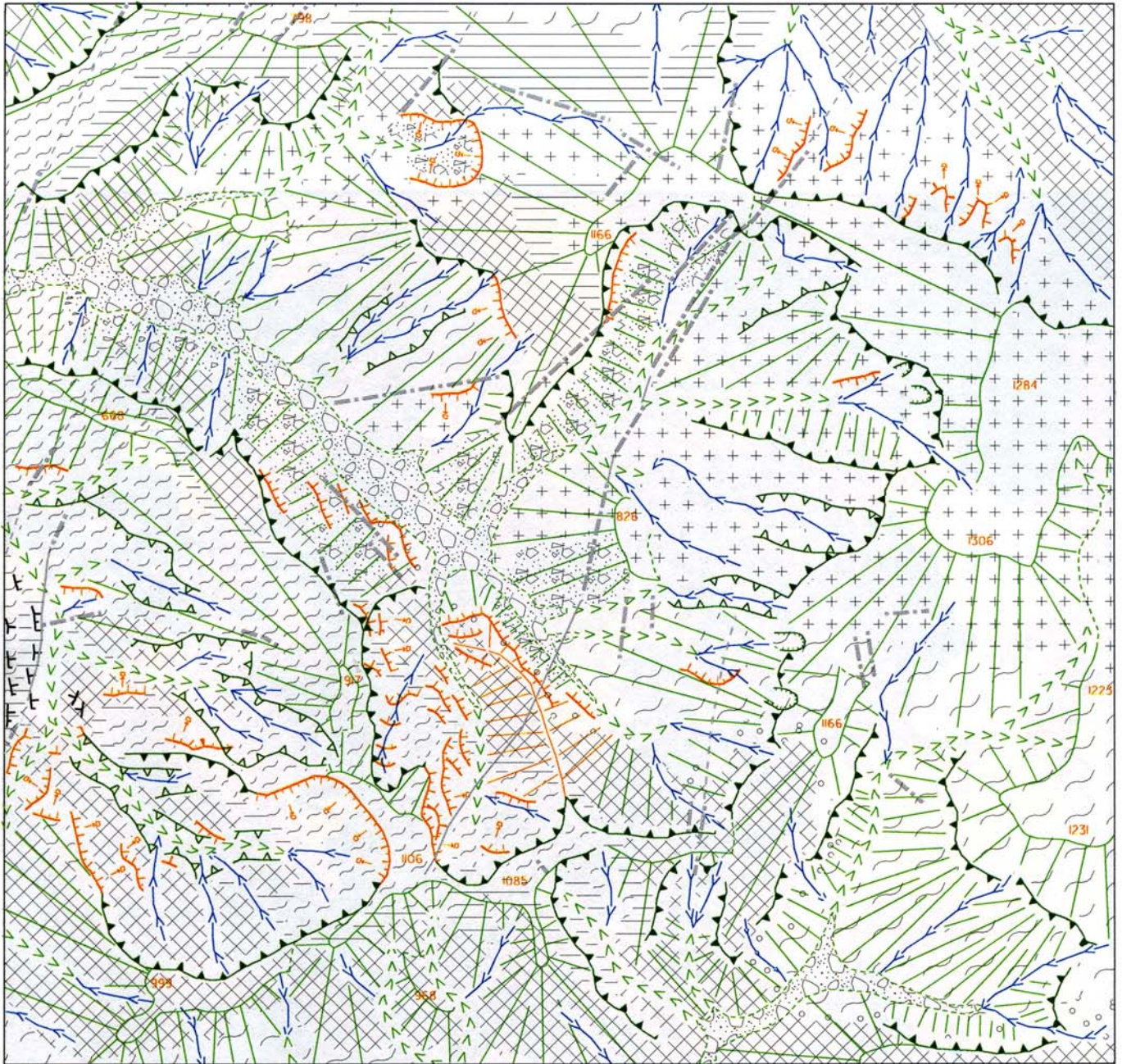


Fig. C2.2: Esboço geomorfológico do Ermelo.

0 500

1284	Ponto cotado		Topo de vertente		Base de vertente		Vertente.
	Barranco		Valeiro		Encaixe sup a 50 m.		Encaixe inf a 50 m.
	Abrupto rochoso		Crista de interceptção.		Vertente regularizada por depósito.		Depósito do Ermelo
	Cicatriz de arranque		Cicatriz provável.		Queda de blocos.		Patamares agrícolas
	Quartzito		Quartzito armoricano		Quartzito armoricano com intercalações de ferro		Quartzito conglomerático
	Xistos e filitos		Xistos, filitos e metagrauwques		Granito de Vila Real		Falha
	Falha provável		Fibres				

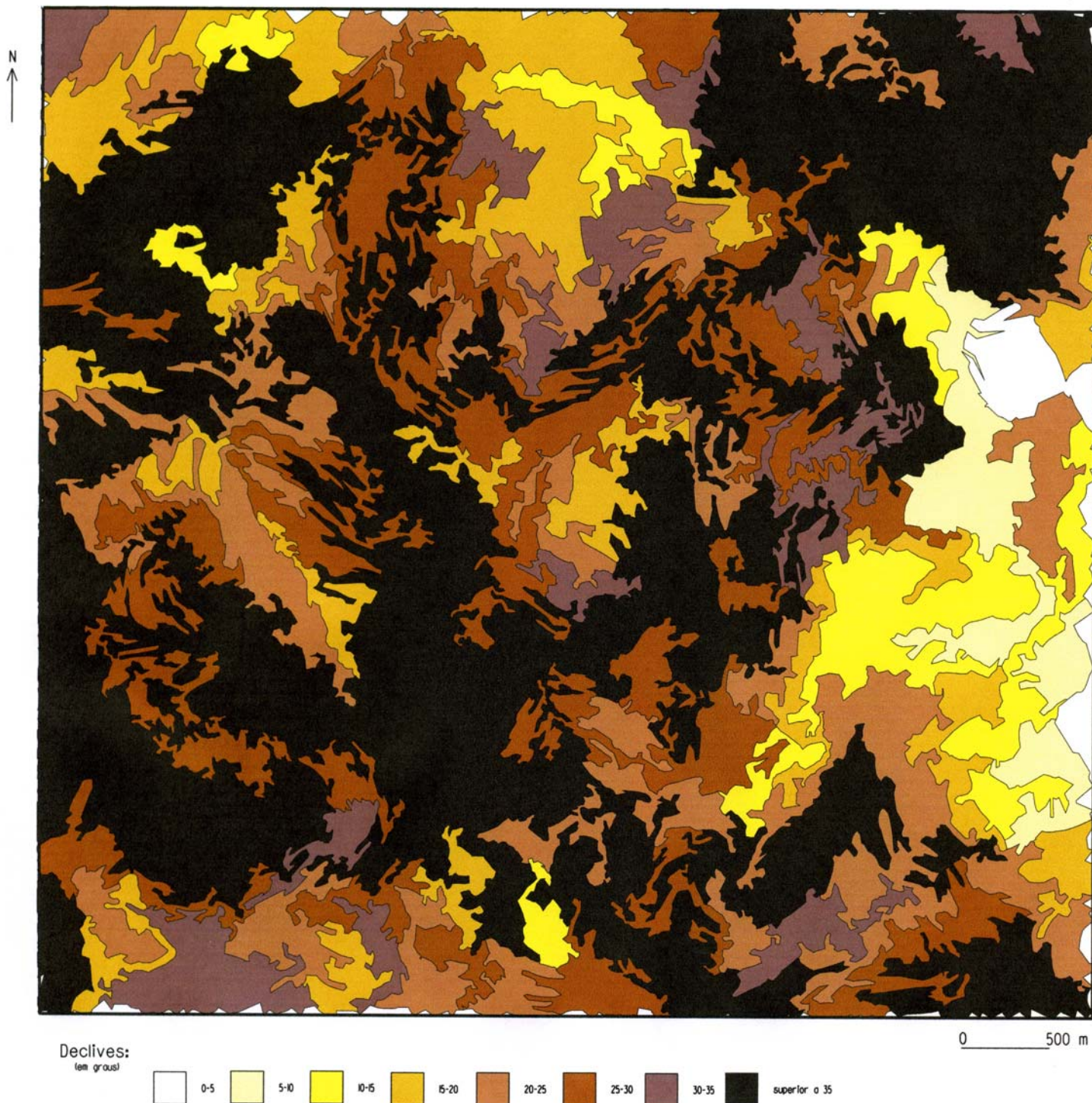


Fig. C2.3: Mapa de declives do Ermelo.

metros de eixo maior. A sua disposição é caótica e não apresenta qualquer indício de transporte fluvial. A matriz é grosseira e apresenta-se sem triagem promovida pelo escoamento fluvial.

Por outro lado, os sedimentos encontrados no depósito de Ermelo, reflectem a grande variabilidade da litologia da área de alimentação. Tanto os granitos de grão médio de Vila Real como os quartzitos, xistos, filitos e grauvaques estão representados no depósito por calhaus e blocos de dimensões muito diversas. Estes tipos litológicos constituem o topo das vertentes que limitam a bacia hidrográfica do rib^o do Sião.

As características sedimentares do depósito bem como as características morfológicas da bacia hidrográfica do ribeiro do Sião indiciam que o depósito resultou de acumulações no fundo do vale oriundas de importantes movimentações de materiais ocorridas ao longo das vertentes. A dimensão e a espessura do depósito parecem indicar que a dinâmica foi intensa e prolongada. Não é possível atribuir idade ao depósito nem estabelecer uma correlação com outros depósitos existentes na região. No entanto, a disposição dos materiais que ocupam o fundo do vale parece indicar que se trata de um depósito cuja formação é muito recente ou, talvez, actual.

O conjunto de elementos descritos sobre o depósito do Ermelo sugere-nos uma grande semelhança com o depósito da S^a da Graça. Apesar do contexto morfológico ser diverso, as características sedimentares são muito semelhantes. Na S^a da Graça o depósito está conservado a meia vertente e não podemos afirmar se atingiu o fundo do vale. No Ermelo, existem depósitos de vertente que sugerem uma continuidade entre deposição de materiais na vertente e o depósito do Ermelo, situado no fundo do vale. Parece, no

entanto, que o tipo de mecanismo que o originou é o mesmo, ou seja, um movimento de vertente ao longo de uma vertente abrupta, em tudo semelhante aos actuais fluxos de detritos. Na S^a da Graça é possível observar dois locais onde parece ter ocorrido este tipo de movimentação. No caso de Ermelo, parece que todo o vale teve uma evolução de vertentes extremamente forte, experimentando movimentações de materiais de uma forma generalizada, o que resultou na formação de um depósito muito espesso que colmata este sector do vale.



Fot. C2-3 : Depósito do Ermelo. Vista em perfil no leito do ribeiro do São.

3. O fluxo de detritos de Cotorinho.

A Sul da Campeã, na vertente E da Serra do Marão, junto à povoação de Cotorinho, ocorreu um deslizamento, cuja data precisa não é possível referir (é seguro que ocorreu na década de 90), e cujos materiais se movimentaram por mais de 3km ao longo de um pequeno valeiro. Dada a dimensão do movimento ocorrido, é possível, ainda hoje, observar a boa conservação, quer da cicatriz quer dos depósitos que daí resultaram.

3.1- Contexto morfo-estrutural.

Nalguns sectores, a vertente E da Serra do Marão apresenta uma altura que chega a atingir os mil metros. É uma vertente imponente, coroada por inúmeros abruptos rochosos de grandes dimensões. Estes abruptos correspondem aos afloramentos de quartzito do skidaviano, muito duro, sobreposto a um pequeno afloramento de conglomerados. A restante parte da vertente é constituída por xistos, xistos luzentes e grauvaques.

A morfologia é marcada pelo abrupto rochoso do topo que lhe confere uma importante influência estrutural. Este aspecto abrupto do topo da vertente é recortado, a espaços, pela rede de fracturação e falhas, facilitando a progressão do encaixe da rede de drenagem. Nas áreas onde afloram os xistos e os grauvaques instalou-se uma rede de drenagem, com meandros encaixados e vertentes abruptas. Grande parte destas vertentes está ocupada, nas áreas mais íngremes, por floresta de pinheiros, e nos interflúvios estreitos e menos inclinados aparecem patamares agrícolas. É nestes sectores que se localizam pequenas aldeias serranas.

3.2- Descrição do fluxo de detritos de Cotorinho.

O fluxo de detritos de Cotorinho desenvolveu-se imediatamente a jusante do abrupto rochoso que coroa o topo da vertente E do Marão, junto ao vértice geodésico do Freitas. A cicatriz única coincide, na parte superior, com o abrupto rochoso constituído pelos quartzitos e conglomerados, ambos do Ordovícico. A sua largura atinge os 30m e desenvolve-se ao longo da vertente, por mais de trezentos metros. Este sector assemelha-se a um corredor de erosão, com largura variável entre os 15m e os 20m, onde é possível observar o afloramento do xisto e grauvaque alternando com pequenos sectores de depósito de vertente parcialmente erodido.

As ravinas e os barrancos desta vertente convergem para valeiros que, em geral, apresentam depósitos de fundo, relativamente bem conservados. Estes depósitos resultam de movimentos de vertente semelhantes aos que levaram à formação do depósito de Cotorinho. Com efeito, uma vez atingido o ribeiro dos Moinhos, os materiais do fluxo deslocaram-se, ao longo do fundo, mais de 2500m, para além da aldeia de Montes, onde destruíram vários campos agrícolas, cortando a estrada que liga Campeã a Cotorinho. É ao longo deste percurso que se processa a deposição de grande parte dos materiais movimentados (fots. C2.5 e C2.6).

Hoje, é possível observar a existência de várias deposições resultantes do deslizamento de Cotorinho. Grande parte é constituída por blocos de quartzito, xisto e grauvaque, para além de uma matriz pouco abundante, essencialmente argilosa.

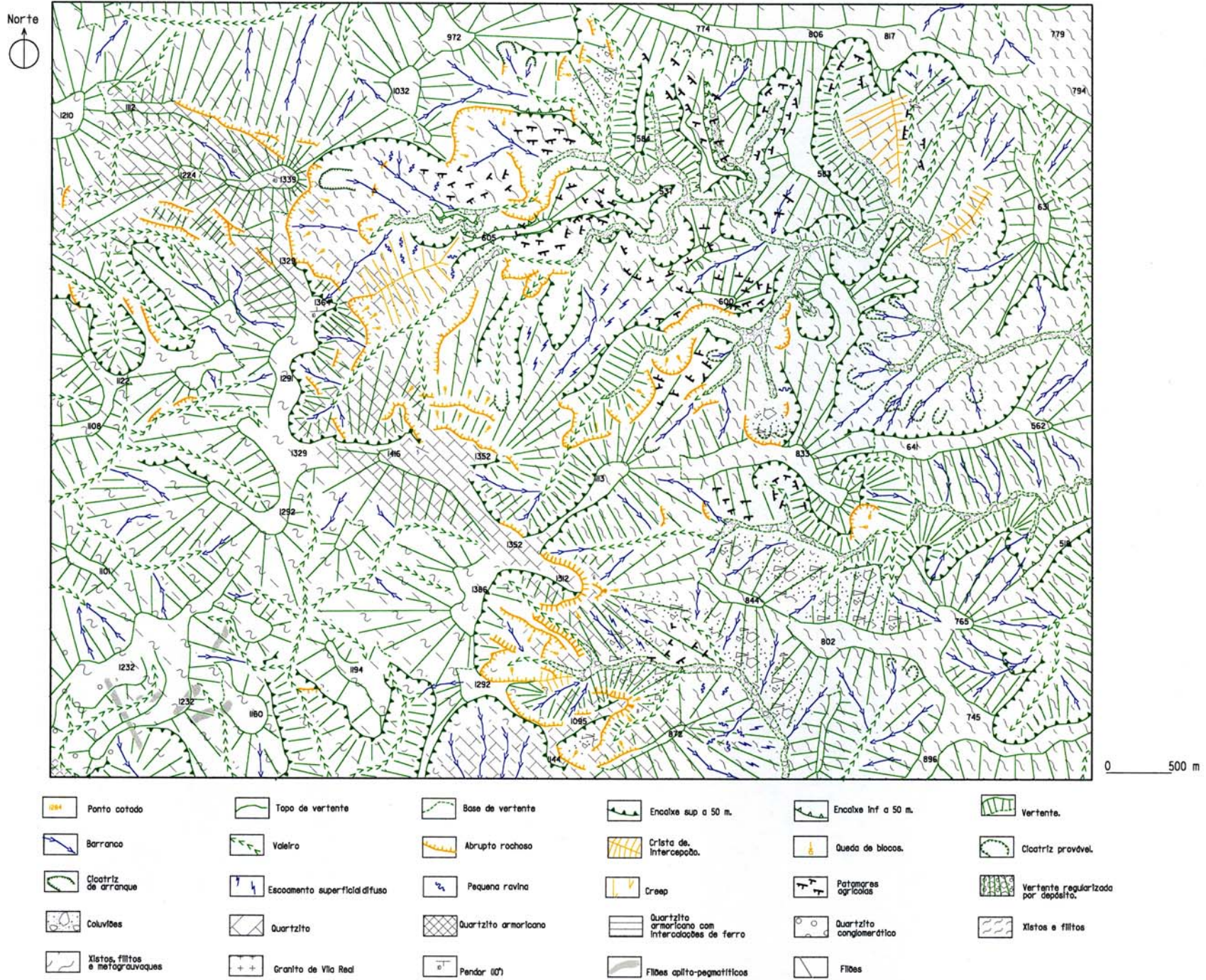


Fig. C2.4: Esboço geomorfológico de Cotorinho.

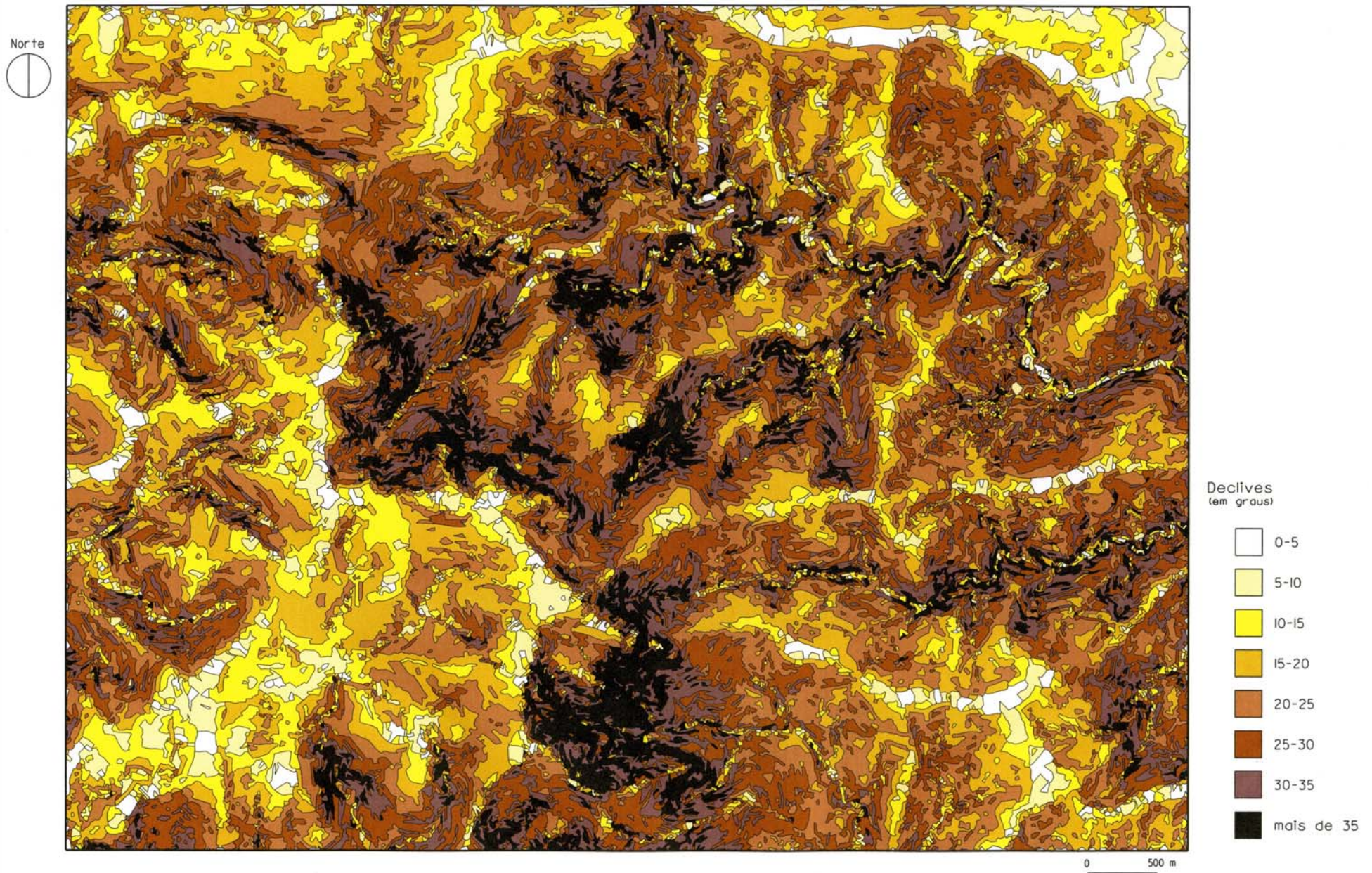


Fig. C2.5: Mapa de declives do Cotorinho.



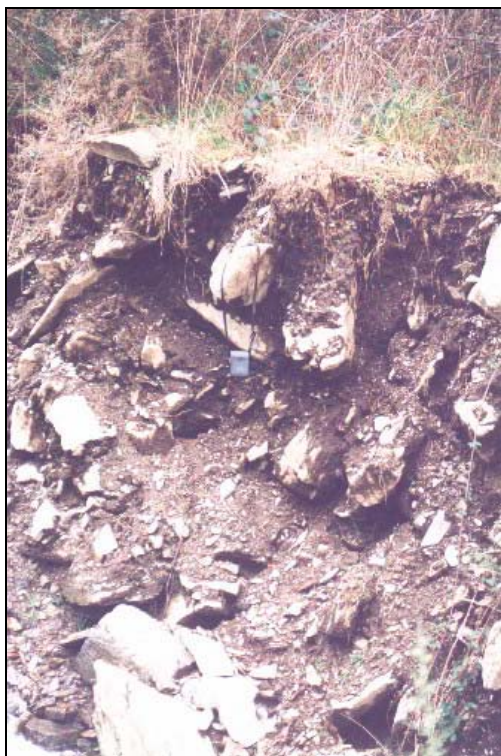
Fot. C2- 4: Corredor de erosão do fluxo de detritos do Cotorinho (Marão).

Ainda nesta vertente, é possível observar outros deslizamentos, embora de dimensão menor, mas de características muito semelhantes (fot. C2-7). Entre Cotorinho e Campeã, junto à ribeira do Osso, e com data próxima do fluxo de Cotorinho observa-se uma cicatriz de largura que varia entre os 10 e os 15m, seguida de um canal de erosão e transporte dos materiais que atingiram a estrada. Este canal tem cerca de 500m de comprimento e largura que chega a atingir os 5m, nalguns sectores.

Os materiais deslocados são blocos e calhaus de xisto e grauvaque envoltos numa matriz constituída essencialmente por areias e argilas.



Fot. C2-5: Depósito do Cotorinho, a 300 m da cicatriz.



Fot. C2-6: Depósito do Cotorinho (Marão), a 2000 m da cicatriz.



Fot. C2-7: Vestígios do fluxo de detritos, próximo de Cotorinho.

3.3- A dinâmica dos fluxos de detritos de Cotorinho (Marão).

O pequeno fluxo de detritos a que se refere a figura C2-7 tem as características de um deslizamento pelicular, junto à área de arranque, para se transformar, a jusante, num fluxo de detritos. As distâncias percorridas pelos materiais, à semelhança do que ocorre em Cotorinho, leva-nos a considerar que adquire as características de fluxo de detritos. De notar que as áreas de arranque se situam nas bacias de primeira ordem, onde os declives são muito elevados (quase sempre superiores a 30°) (fig. C2-5) e a espessura dos materiais que cobrem o substrato rochoso é muito pequena. Todos estes movimentos de vertente apresentam deslocamentos de materiais a distâncias consideráveis relativamente à área de arranque. O percurso coincide, quase sempre, no início, com as linhas de água de primeira ordem, acabando por

utilizar a rede hidrográfica como canal de transporte. Logo que estas linhas de água apresentam um perfil longitudinal menos declivoso são parcialmente colmatadas pelos materiais movimentados. De início, depositam-se preferencialmente os materiais mais grosseiros e, nas áreas mais distantes, os calhaus de menores dimensões, as areias e as argilas.

Esta dinâmica parece ser importante na evolução de vertentes destas áreas montanhosas já que, grande parte destas pequenas bacias hidrográficas têm os vales colmatados por depósitos de materiais deste tipo, e com a disposição estrutural semelhante à que resulta dos movimentos ocorridos em Cotorinho (fig. C2-4). Igualmente poderemos fazer uma comparação entre estes vales e o vale do Sião, no Ermelo. Aí, o depósito que colmata o fundo do vale tem dimensões bem maiores e é constituído por materiais bastante grosseiros. A sua espessura, nalguns sectores, atinge os 10m ao passo que nestes vales é frequente verificar uma espessura de 5m.

Os movimentos de vertente do vale do Cotorinho permitem estabelecer uma relação directa entre a dinâmica actual de vertentes e os depósitos de fundo de vale ou da base de vertente, tal como observamos no Ermelo ou na S^a da Graça. Os depósitos que encontramos nestas áreas são actuais e resultam de uma dinâmica importante das vertentes relacionada com situações extremas de precipitação intensa e abundante, muito semelhantes aos que ocorreram em Cinfães (1999), Cavez (1981) ou Covelo do Gerês (1966), cuja análise faremos neste ponto.

4. Os deslizamentos no vale de Fervença

4.1 - Contexto morfo-estrutural.

A ribeira de Fervença é um afluente da margem esquerda do rio

Olo, a Norte de Ermelo. Esta ribeira escavou um profundo encaixe numa área de transição entre as serras do Marão e do Alvão.

O vale está encaixado em grande parte num conjunto de rochas metamórficas, onde se destaca um importante afloramento de quartzitos que ocupa uma parte significativa do vale. Associado a esta rocha aparecem ainda importantes afloramentos de xistos, filitos e grauvaques. No sector oriental e a sul afloram os granitos de Vila Real, de duas micas, de grão médio a grosseiro com esparsos megacristais. No entanto, a marca mais importante deste vale relaciona-se com a disposição estrutural que os afloramentos apresentam. Numa parte importante do vale, sobretudo nos sectores S e W, os quartzitos aparecem em posição inferior aos metassedimentos e aos granitos. Este facto permite que as vertentes estejam divididas em duas partes. A parte inferior corresponde ao afloramento dos quartzitos e na metade superior aparecem os metassedimentos e os granitos. Esta disposição estrutural dá origem a vertentes convexas na parte superior e rectilíneas na parte inferior. Os declives são extremamente elevados nas áreas de afloramento dos quartzitos (em geral superiores a 25°) e nas áreas dos metassedimentos e granitos os declives são inferiores (em geral inferiores a 25°). Só a S de Fervença, os topos das vertentes aparecem com declives muito elevados. Neste caso, o granito de Vila Real, muito pouco fracturado e fracamente alterado, origina um conjunto de formas, com aspecto ruiniforme, que coroam a vertente (fig. C2-6).

Esta configuração estrutural permite o desenvolvimento de uma dinâmica de vertentes que dela depende directamente. Com efeito, os materiais do topo da vertente alimentam um importante depósito de vertente constituído a expensas do granito alterado e dos metassedimentos. Estes

materiais fornecem areias e argilas, juntamente com abundantes blocos e calhaus que cobrem uma parte considerável das vertentes, especialmente próximo da base, mas que se prolonga por todo o sector ocidental do vale do Fervença, com maior declive, na margem esquerda.

4.2 - Os deslizamentos no vale da ribeira de Fervença, a dinâmica de vertentes e o depósito de fundo de vale.

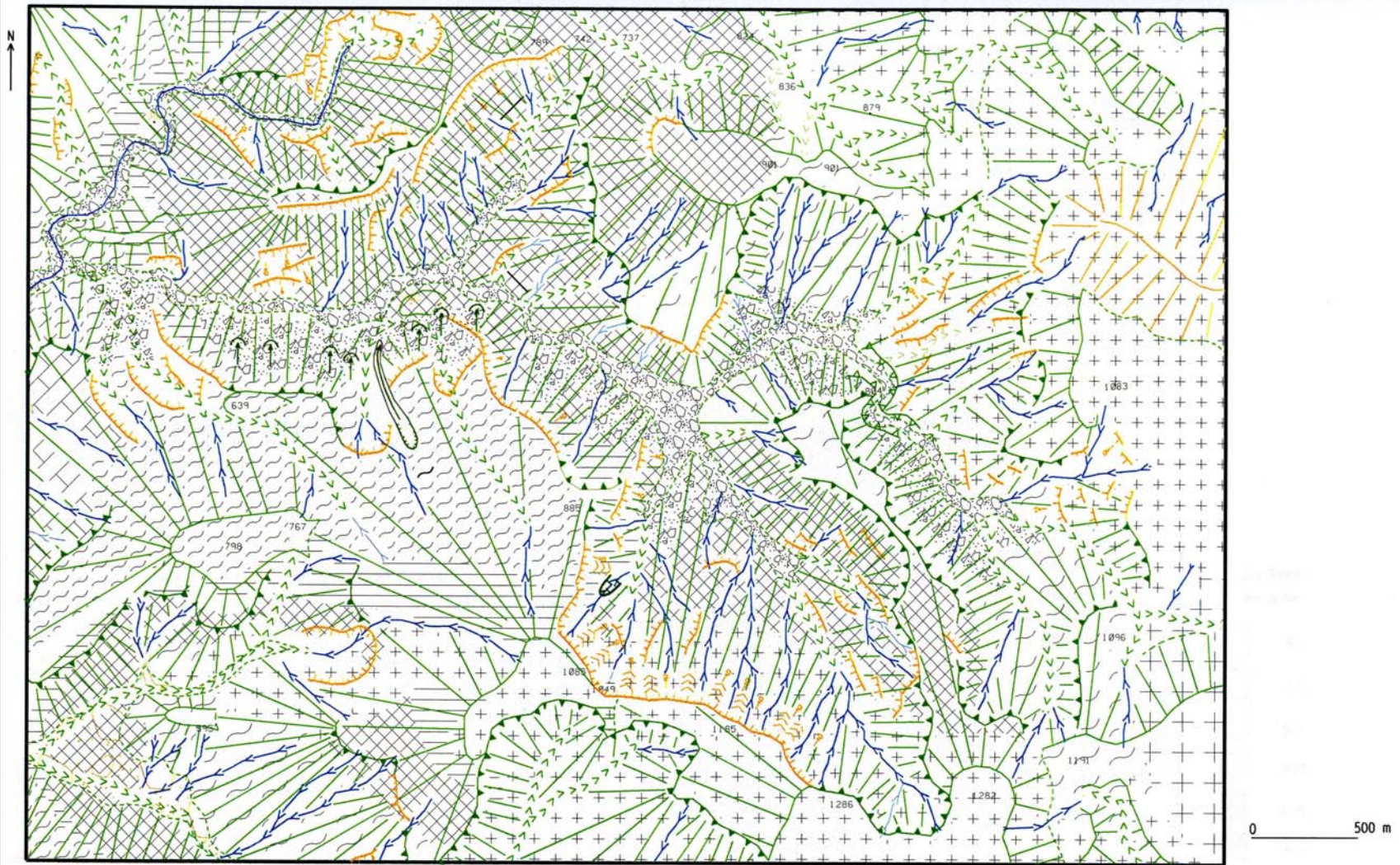
É no sector W do vale, sobretudo na margem esquerda, que se desenvolveram os movimentos de vertente mais importantes e, também, os mais recentes (fot. C2.8).



Fot. C2-8: Deslizamento pelicular na vertente sul da ribª de Fervença.

Estes movimentos deslocam os materiais do depósito de vertente, e atapetam o fundo do vale. Por vezes, assemelham-se a pequenos deslizamentos translacionais, mas podem progredir para movimentos semelhantes a fluxos de detritos de pequena dimensão. É o caso do movimento que destruiu a estrada que liga o Ermelo a Fervença.

Em vertentes em que a parte inferior corresponde aos declives mais



Ponto cotado	Topo de vertente	Base de vertente	Encaixe sup a 50 m.	Encaixe inf a 50 m.	Vertente.
Barranco	Valeiro	Abrupto rochoso	Cristo de intercepção.	Queda de blocos.	Cicatriz provável.
Cicatriz de arranque	Parede ruiforme	Escocamento superficial difuso	Pequena ravina	Patamares agrícolas	Vertente regularizada por depósito.
Colúmbes	Quartzito	Quartzito armónico	Quartzito armónico com intercalações de ferro	Quartzito conglomerático	Xistos e filitos
Xistos, filitos e metagrauwques	Granito de Vila Real	Falha	Falha provável	Pendor (K)	Filões apito-pegmatíticos
Filões					

Fig. C2.6: Esboço geomorfológico de Fervença.

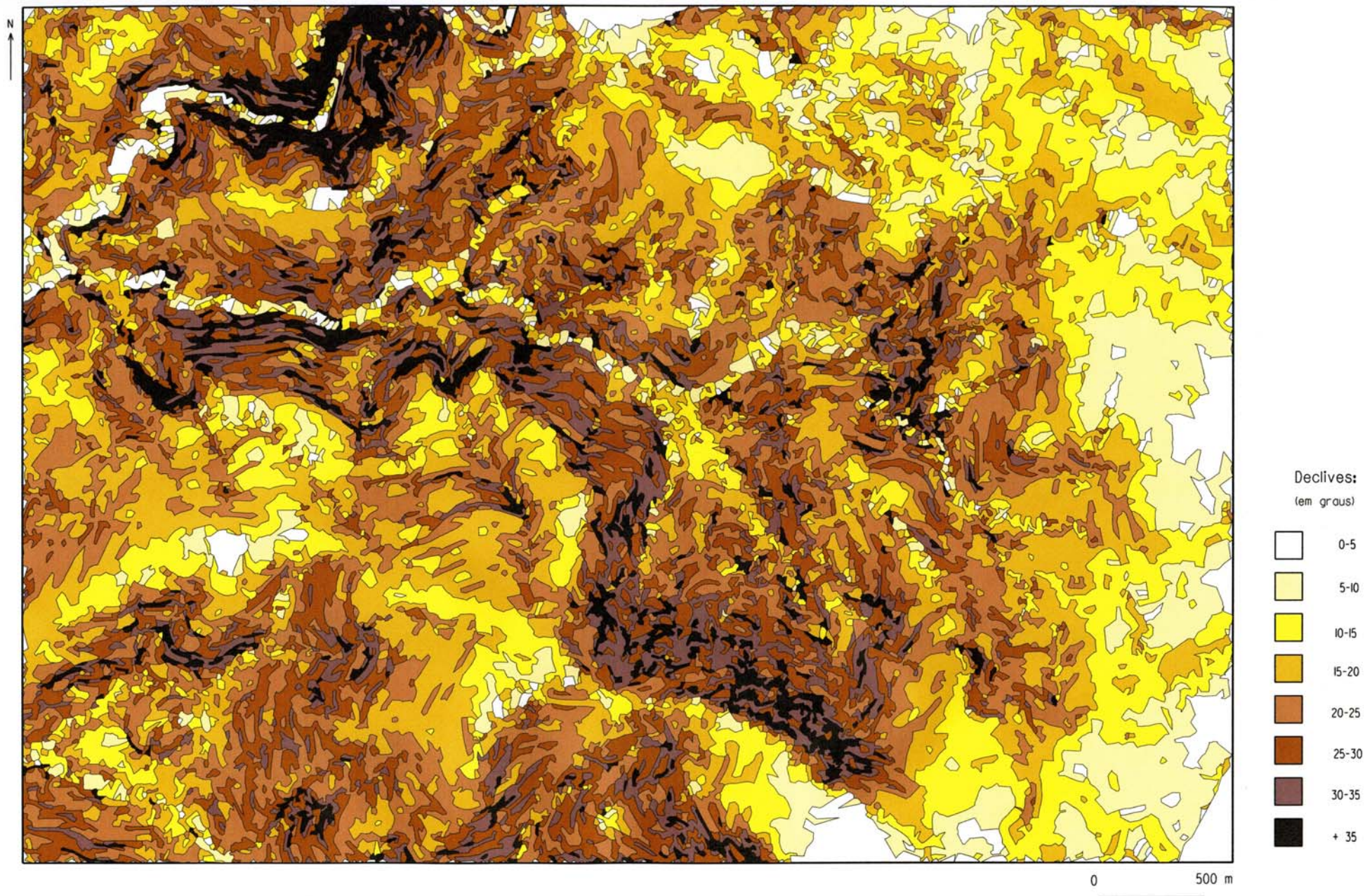


Fig. C2.7: Mapa de declives de Fervença.

fortes, o depósito de vertente parece estar sujeito a erosão por trabalho de sapa da ribeira de Fervença. O depósito, constituído por materiais desagregados, ao perder os materiais que o suportam junto à base da vertente vai deslizando para o fundo do vale, onde o escoamento fluvial promove a lavagem dos materiais finos.

Nas áreas onde dominam os afloramentos de granito, o vale alarga-se, embora permaneça encaixado. A alteração do granito desenvolve a formação de um manto de alteração que permite uma melhor utilização das vertentes para prática da agricultura. No entanto, a evolução de vertentes não deixa de ser importante. O fundo do vale denuncia um extenso depósito que só pode ser explicado por uma dinâmica de vertentes importante. Os vestígios de uma evolução recente poderão ter sido apagados pelas práticas agrícolas intensivas.

Nestes movimentos podemos encontrar a razão pela qual o fundo do vale da Ribeira de Fervença se encontra coberto por um extenso depósito, de materiais grosseiros, em contraste evidente com a sua capacidade de transporte por escoamento fluvial. A dinâmica deste pequeno vale confirma a relação directa entre os depósitos que colmatam os fundos dos vales e a evolução actual de vertentes. Estes depósitos resultam da dinâmica actual das vertentes e são o testemunho de movimentos de vertente capazes de conduzir à produção de áreas de risco para as actividades humanas.

5. O fluxo de detritos de S. João.

A reconstituição de eventos de instabilidade geomorfológica

ligados à ocorrência de movimentos de vertente, é um elemento extremamente importante no contexto da metodologia que permite definir áreas de risco potencial ao seu desenvolvimento²⁷. No entanto, esta reconstituição nem sempre é fácil de empreender, uma vez que os vestígios morfológicos e sedimentares resultantes dos processos em causa se tornam menos evidentes com o passar do tempo, fruto de uma evolução geomorfológica que tende a suavizar as formas originais. Por um lado, as cicatrizes que indiciam os movimentos raramente são perceptíveis, não só porque estão encobertas pela vegetação, mas principalmente devido a modificações associadas à dinâmica de vertentes. Por outro lado, os materiais movimentados e depositados sofreram frequentemente um conjunto de intervenções antrópicas (elaboração ou reconstrução de socacos agrícolas, limpeza de materiais grosseiros, etc.) ou foram sujeitos a processos de erosão que alteraram a morfologia típica das áreas de acumulação (lavagem dos materiais finos, trabalho de sapa dos cursos de água, etc.).

Assim, o recurso a fontes históricas bem como a realização de inquéritos junto das populações, constitui uma base de pesquisa fundamental, permitindo a localização de áreas afectadas no passado por movimentos de vertente e que, potencialmente, permanecem áreas de risco. Este tipo de estudos, que implica um levantamento de campo exaustivo visando caracterizar os factores responsáveis pelo desencadear do processo, o tipo de processo em causa e os seus efeitos, mediante uma análise cuidada dos vestígios que ainda permanecem e do contexto geomorfológico em que se integram, tem um particular interesse. Se, por um lado, nos permite analisar as

27 Ver M. Panizza - "Geomorfologia applicata al rischio l all'impatto ambientali. Un esempio nelle dolomiti (Itália)", *Actas de la 1ª Reunión Nacional de Geomorfología*, Teruel, Ed. M. Gutiérrez, J.L. Peña, M. V. Lozano, Vol.1, 1990, pp.1-16.

características morfológicas actuais de áreas afectadas por movimentos de vertente antigos, por outro, uma vez identificadas essas características, é possível, por comparação, definir áreas prováveis de ocorrência desses movimentos, tendo em conta os vestígios de ocorrências antigas. O caso que apresentamos, ocorrido no lugar de S.João, freguesia de Fiães (Melgaço), é um exemplo do que poderá ser a reconstituição de um antigo evento de instabilidade.

A 17 de Novembro de 1841, depois de dois meses de intenso mau tempo, com muita chuva, um terrível 'desmoronamento de terras' destruiu, em momentos, a povoação, morrendo soterrados muitos dos habitantes (14 pessoas), arrasando 15 casas e toda a produção agrícola e respectivos instrumentos de trabalho (C. Bateira et al., 1999).

5.1 - Características morfológicas do vale do rio Trancoso.

O rio Trancoso, afluente do Minho, corre com direcção S-N extremamente encaixado num vale de fractura (com desniveis aproximados de 500m ao longo de quase todo o seu percurso) e com vertentes muito íngremes (fig.C2-8). Na metade superior, onde os declives médios rondam os 32°, vêem-se com frequência vários abruptos rochosos. Nestes sectores, os declives são superiores a 45° e dominam as formas convexas, resultando os afloramentos de dois factores importantes: maior exposição aos processos erosivos e a existência de rochas granitóides menos sujeitas à alteração. Na metade inferior, dominam os declives de 12° e a forma da vertente tem o aspecto de uma ampla concavidade. É neste sector que a ocupação humana é mais intensa, com o arranjo das vertentes em patamares agrícolas. Mais protegidas dos processos erosivos, estas áreas tornam possível um melhor aproveitamento do espaço pelo homem, quer devido à espessura dos mantos de alteração,

quer pela acumulação dos materiais oriundos do topo da vertentes. Estas são entalhadas por ravinas ou por barrancos, correspondendo ao encaixe de rede hidrográfica ao longo das fracturas secundárias que acompanham a extensa falha provável N-S do vale do Trancoso.

5.2 - Condicionantes estruturais.

As características estruturais da área em que ocorreu o movimento, exerceram indubitavelmente uma forte influência no seu desenvolvimento. Com efeito, é possível assinalar a presença de vários factores de risco neste contexto, que se conjugam para criar um panorama de forte instabilidade favorável à ocorrência de movimentos de vertente. Entre esses factores destacam-se:

- Contactos litológicos entre granitóides de características diferenciadas.
- Conjunto de falhas e falhas prováveis afectando directamente a vertente onde se processou o movimento.
- Densa rede de fracturação, visível nos afloramentos rochosos sobranceiros à povoação de Porto Carreiro.
- Existência de um manto de alteração pelicular.

Na vertente afectada pelo movimento, é possível identificar quatro tipos de granitóides que se subdividem em dois grandes grupos: granitos de duas micas hercínicos, sin-tectónicos relativamente a F3, e granitóides biotíticos com plagioclase cálcica e seus diferenciados, tardi a pós-orogénicos (E. Pereira, 1992) (fig.C2-9)²⁸.

²⁸ Ver E. Pereira - Notícia Explicativa da folha 1 da Carta Geológica de Portugal à escala 1/200 000, Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal, 1992.

As fácies que se integram no contexto do primeiro grupo, apresentam, de um modo geral, deformações intensas associadas aos movimentos tectónicos de F3 e a sua génese está provavelmente relacionada com processos de anatexia húmida induzida pelo metamorfismo regional - granitos tipo S (A. Ribeiro et Al, 1979)²⁹. Os três tipos inseridos neste grupo - migmatitos de Castro Laboreiro, granito de Vale do Rio Mouro e granito de Longos Vales - formam o substracto dominante do sector em estudo, parecendo traduzir, pelas suas características texturais e composição mineralógica, estádios progressivamente mais evoluídos do processo responsável pela sua génese³⁰.

Os migmatitos de Castro Laboreiro, que constituem uma mancha isolada no granito de Longos Vales, afloram no topo da vertente sobranceira a Porto Carreiro, próximo da área onde se desenvolve a cicatriz principal do movimento. Situando-se a cotas sempre superiores a 1100 metros originam abruptos rochosos imponentes, entre os quais se destaca o de Cabeço do Pito. Nesta área é possível observar que os migmatitos se encontram afectados por uma densa rede de fracturação, que, recortando os afloramentos, vertical e paralelamente, os transforma num conjunto de blocos sobrepostos em risco permanente de derrocada.

29 Cfr. A. Ribeiro *et Al* - *Introduction à la géologie générale du Portugal*, Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal, 1979, e M^ª. Luísa Ribeiro e A. Moreira - *Notícia explicativa da folha 1B (Monção) da Carta Geológica de Portugal*, Lisboa, Serv. Geol. de Portugal, 1986.

30 "Quando se procede à cartografia de regiões onde o grau de metamorfismo foi suficientemente elevado para produzir a granitização dos sedimentos, depara-se sempre com zonas de transição de fácies, onde é difícil saber com exactidão onde colocar o limite entre granitos e migmatitos. Há sempre fácies quase graníticas, granitos muito heterogéneos ou granitos com mais ou menos restites de metassedimentos [...] Os granitos de Vale do Rio Mouro, Melgaço, Gralheira e Porto Ribeiro são manchas que correspondem à situação atrás descrita [...] Estas fácies graníticas [granito de Longos Vales e Couço] estão intimamente associadas aos granitos inhomogéneos de Vale do Rio Mouro [...] aos quais passa lateralmente, aparentemente como resultado do mesmo processo de granitização mas correspondendo a um estágio mais evoluído." (M^ª. Luísa Ribeiro e Armando Moreira, *op. cit.*, 1986, p.11-12).

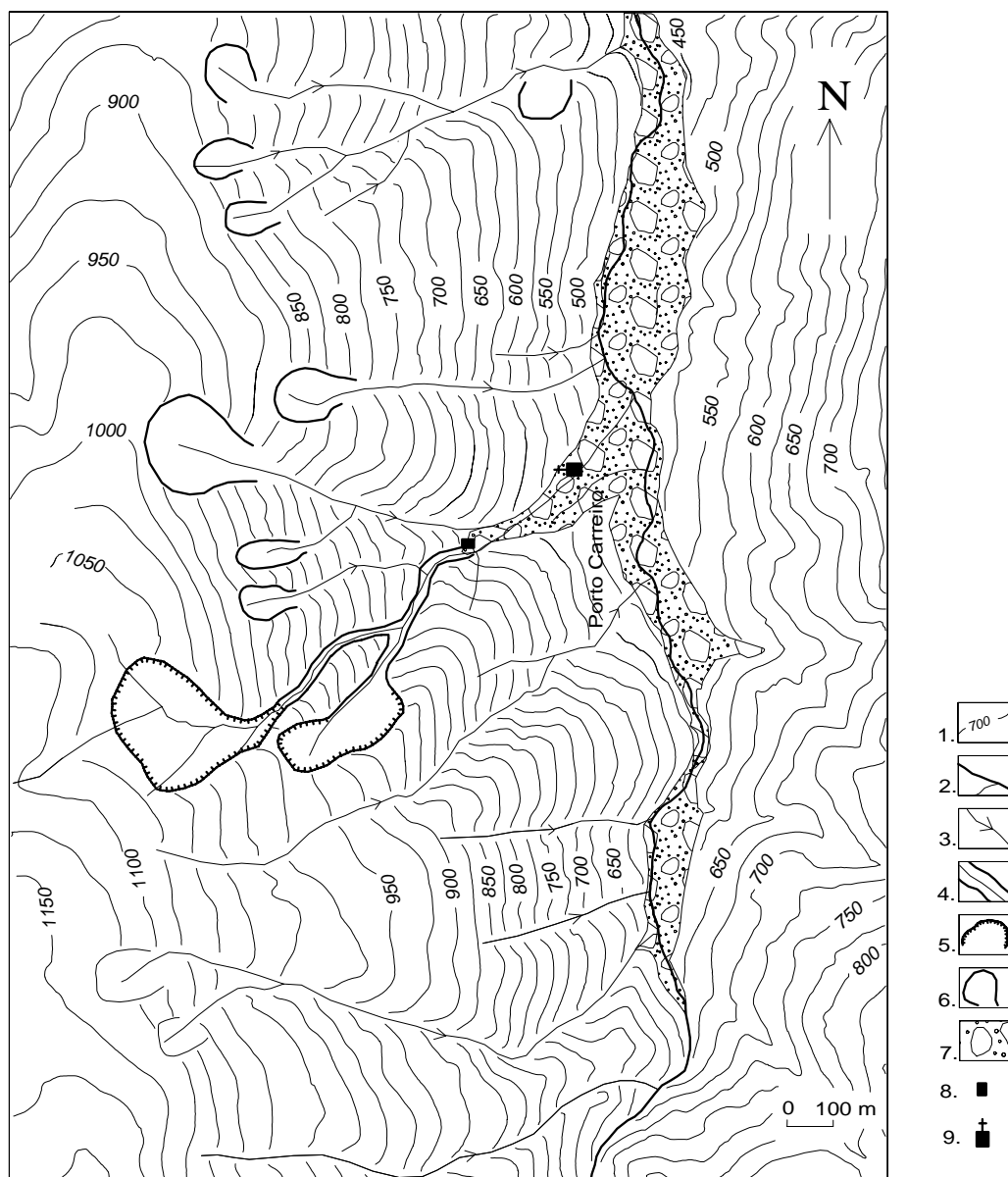


Fig. C2-8: Esboço geomorfológico do Vale do Trancoso. 1. Curva de nível. 2. Rede hidrográfica. 3. Barranco. 4. Canal de escoamento. 5. Cicatriz principal. 6. Cicatriz provável. 7. Depósito. 8. Capela de S. João. 9. Igreja de Nª Sª da Vista.

O granito de Vale do Rio Mouro é, por definição, "um leucogranito de grão médio a fino, de duas micas, bastante heterogéneo, variando desde as fácies granito-migmatíticas até aos granitos com restites". A esta variação de fácies associa-se igualmente a diversidade textural (texturas gnáissicas, granoblásticas e granulares xenomórficas), traduzindo, provavelmente, o que

de início referimos quanto à génese dos granitos deste grupo. Como se pode observar na fig. C2-9, o granito de Vale do Rio Mouro forma uma mancha que envolve o de Longos Vales, com o qual contacta, na área afectada pelo movimento, através de falha. Constitui o suporte litológico dominante do sector médio e inferior da vertente em estudo, aflorando sensivelmente a partir da área de confluência dos dois valeiros que alimentaram o fluxo, à cota de 750 metros.

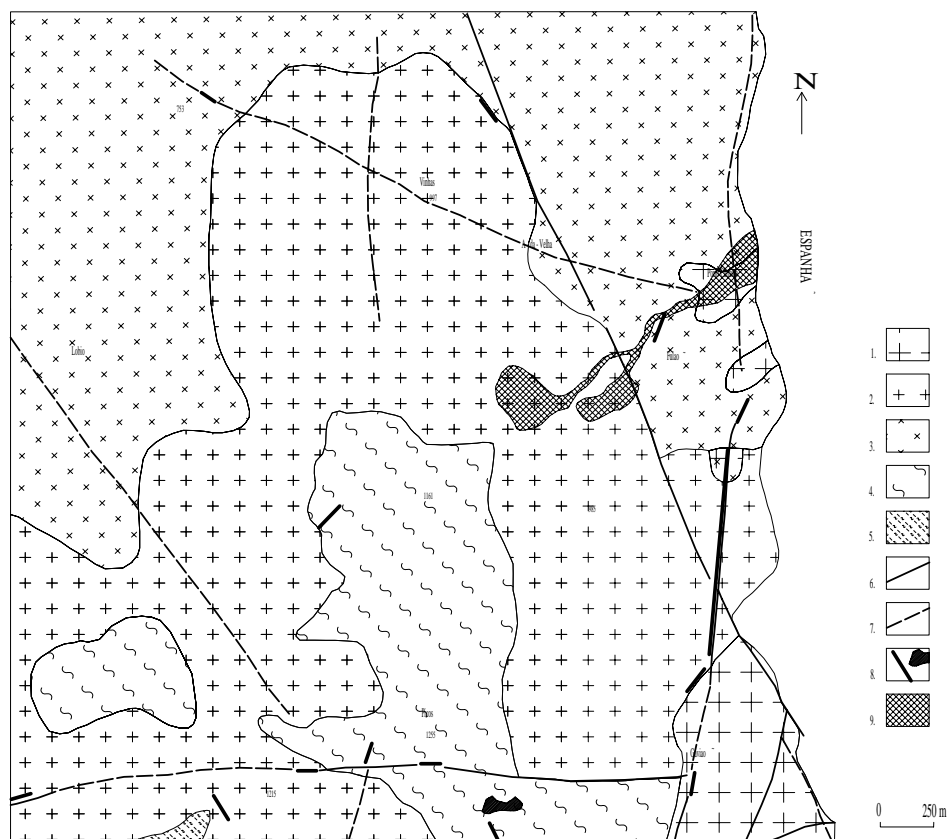


Fig. C2-9: Esboço lito-estrutural, na margem esquerda do rio Trancoso.

1. Granito do Gerês e Monção. 2. Granito de Longos Vales. 3. Granito de Vale do Rio Mouro. 4. Migmatitos de Castro Laboreiro. 5. Metassedimentos. 6. Falha. 7. Falha provável. 8. Filões e massas. 9. Área afectada pelo movimento.

O granito de Longos Vales apresenta características muito semelhantes ao anterior, embora corresponda a um estágio mais evoluído (M^a. Luísa Ribeiro e A. Moreira, 1986 e E. Pereira, 1992)³¹. É igualmente um granito

31 Cfr. M^a. Luísa Ribeiro e A. Moreira, op. cit., 1986 e E. Pereira, op. cit., 1992.

leucocrata, de duas micas, grão fino a médio, mas as texturas gnáissicas são já residuais e a presença de restites rara. Este granito, que na área em causa se desenvolve entre os migmatitos de Castro Laboreiro e o granito de Vale do Rio Mouro, abrange a parte superior da vertente de Porto Carreiro onde se observam as cicatrizes do movimento.

Passando agora ao grupo dos granitóides biotíticos assinala-se apenas a presença do granito do Gerês e Monção, último termo dos tardi a pós-orogénicos, cuja instalação se terá efectuado posteriormente à última fase de deformação hercínica. A sua génese está provavelmente associada à diferenciação de uma magma básico, revelando, segundo M^a Luísa Ribeiro, aspectos de granitos do tipo-I (M^a. Luísa Ribeiro, 1983)³². É um granito de grão grosseiro a médio, biotítico e porfiróide (com grandes megacristais de feldspato potássico), que se encontra apenas em dois pequenos afloramentos na base da vertente, junto à povoação de Porto Carreiro. Evidencia uma densa rede de fracturas e encontra-se extremamente alterado, o que, para o processo em causa, não tem qualquer implicação.

Esta diversidade de contactos litológicos, que constituem por si só áreas de fragilidade, tende a agravar a situação de risco de uma vertente que, pelas suas características morfológicas, apela à instabilidade geomorfológica. Este factor estrutural, que no caso do fluxo de detritos do Covelo do Gerês exerceu já um papel determinante, parece mais uma vez ter contribuído para o desenvolvimento do processo que ocorreu em S. João (A. Pedrosa, C. Bateira, L. Soares, 1983)³³.

32 M^a. Luísa Ribeiro - "Considerações sobre a génese dos diferentes granitos da região de Tourém-Montalegre-Gerês", Lisboa, Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, T.69, 1983, pp. 37-45.

33 Sobre este movimento, ver A. Pedrosa, C. Bateira, L. Soares, - "Covelo do Gerês: contributo para o estudo dos movimentos de vertente no Norte de Portugal", Territorium, 2, 1995, pp.21-32.

Do mesmo modo, a presença de falhas certas e prováveis na área afectada é outro elemento a ter em conta, não só para explicar a ocorrência, mas também a própria morfologia do terreno. Se observarmos o esboço lito-estrutural (fig. C2-9), desde logo constatamos que a falha que corta paralelamente a vertente afectada e define, como já referimos, o contacto entre o granito de Longos Vales e de Vale do Rio Mouro, exerceu um efeito condicionador do movimento³⁴. Situando-se no seu percurso e definindo provavelmente o abrupto a montante da capela de S. João, funciona como uma área de fragilidade onde a infiltração das águas se processa de forma mais eficaz, exercendo uma forte pressão sobre todo o sector a jusante. Inclusivamente, não é de excluir a hipótese do movimento se ter iniciado neste sector evoluindo depois para montante, à semelhança do que ocorreu em Covelo do Gerês. No entanto, mais tarde retomaremos esta ideia. Para além deste acidente, é importante ainda assinalar um outro que acompanha o vale do Rio Trancoso em toda a sua extensão e a falha provável de orientação WNW-ESE que se estende até próximo de Porto Carreiro³⁵.

A fracturação evidente dos afloramentos rochosos sobranceiros a Porto Carreiro é um outro factor de risco a ter em conta. Intimamente associada ao elemento anterior (uma vez que a macro e microfracturação das rochas deriva, numa fase inicial, da influência da tectónica), a rede de fracturas vai sofrendo um progressivo alargamento fruto da infiltração da água, que vai funcionar simultaneamente como agente de alteração e

34 Esta falha, com uma orientação NNW-SSE, prolonga-se desde o vale do Rio Minho até sensivelmente à povoação de Alcobaça, nas cabeceiras do Trancoso.

35 Toda a área cartografada na folha 1B da Carta Geológica de Portugal evidencia uma densa rede de falhas e falhas prováveis que, segundo M. Luísa Ribeiro e Armando Moreira (op. cit., 1986) resultam da tectónica tardi-hercínica. Não excluem, no entanto, a sua reactivação no Meso-Cenozóico e no Quaternário. Tal justificaria o aspecto jovem da morfologia do sector em estudo, nomeadamente da vertente em que ocorreu o movimento, que corresponde provavelmente a uma escarpa de falha.

remoção (W.B. Whalley, et al, 1982)³⁶. Esta fragmentação crescente dos maciços rochosos facilita a sua ruptura, criando condições propícias à ocorrência de queda de blocos isolados ou mesmo desmoronamentos. Considerando as características do depósito resultante do movimento, em que se destaca a presença de blocos graníticos de dimensões variáveis, este factor não pode ser ignorado. Resta saber se estes materiais foram única e exclusivamente arrastados pelo movimento ao longo do seu trajecto ou se o próprio movimento se terá iniciado por queda de blocos.

Por último, refira-se que a existência de um manto superficial de alteração (necessariamente pouco espesso devido aos fortes declives da vertente) provavelmente facilitou a ocorrência do processo, uma vez que o seu limite inferior, em contacto com a rocha sã, funciona como uma superfície de deslizamento privilegiada³⁷.

5.3 - Características geomorfológicas.

O movimento de vertente que ocorreu em S. João, desenvolveu-se no percurso de duas linhas de água que confluem a montante de Porto Carreiro (fig. C2.10). Ao longo destes barrancos existem várias rupturas de declive, que correspondem a abruptos rochosos. Estes parecem ter resultado do desmoronamento de materiais, o que é frequente ao longo do vale do Trancoso.

³⁶ Ver W.B. Whalley, et al - "Crack propagation and associated weathering in igneous rocks", Zeits. fur Geom., 26(1), 1982, pp. 33-53.

³⁷ Uma situação semelhante foi já relatada para o fluxo de detritos de Cavez. Sobre este assunto ver C. Bateira, L. Soares - "O fluxo de detritos de Cavez. Um exemplo de movimento de vertente na evolução actual de vertentes", Comunicação apresentada ao VI Colóquio Ibérico de Geografia, Porto, 1992.

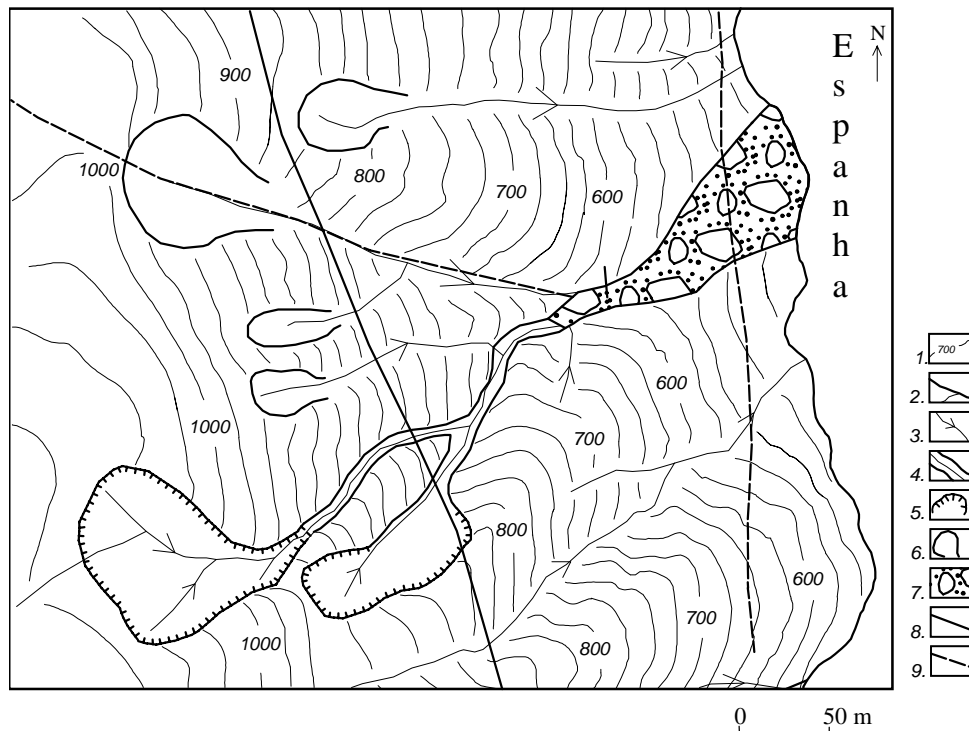


Fig. C2-10: Esboço geomorfológico de pormenor de Porto Carreiro.

1. Curva de nível. 2. Rede hidrográfica. 3. Barranco. 4. Canal de escoamento. 5. Cicatriz principal. 6. Cicatriz provável. 7. Depósito. 8. Falha. 9. Falha provável.

Todas as referências ao movimento ocorrido em 1841, quer orais quer escritas, permitem entendê-lo como um movimento extremamente rápido, resultante da infiltração da precipitação e saturação do solo. Com efeito, ele está associado a um prolongado período chuvoso, ao longo do qual se desenvolveu a saturação dos solos atingindo-se o limiar de coesão entre as partículas, o que provocou a movimentação muito rápida dos materiais. Não se sabe como se desencadeou o processo (queda de blocos, deslizamento de grandes dimensões, vários deslizamentos de pequenas dimensões, ...), mas o facto da povoação de S. João ter sido atingida por grandes quantidades de 'lama, calhaus, blocos, árvores', indicia a ocorrência de um fluxo de detritos no qual a presença em abundância de água e sedimentos de diversas dimensões, movimentando-se rapidamente, constituíam as características mais importantes (A.M. Johnson e J.R. Rodine, 1984 e M.J

Selby, 1982)³⁸.

As observações da hipsometria do vale do Trancoso, parecem indicar a existência de acontecimentos com as mesmas características em toda a área. De igual forma, os barrancos que entalham as vertentes apresentam frequentes rupturas de declives, que parecem resultar deste tipo de movimentações. Com efeito, no caso de S. João, a parte superior dos barrancos ao longo dos quais se desenvolveu o processo, é ocupada por abruptos rochosos que correspondem às cicatrizes principais (fot. C2.9 e fig. C2.10).



Fot. C2-9: Barranco próximo de Porto Carreiro. É possível verificar a existência de abruptos rochosos na parte superior do encaixe da rede de drenagem, semelhante ao que se passa em S. João.

É provável que grande parte dos abruptos existentes no vale, coincidentes com as cabeceiras de linhas de água, correspondam a cicatrizes de movimentos de vertente com características semelhantes ao de S. João.

38 Cfr. A.M. Johnson e J.R. Rodine - "Debris Flow" in Slope Instability (ed. Denys Brunsten and David Prior), Chichester, John Wiley & Sons, 1984, pp. 257-361 e M.J Selby - Hillslope materials and processes, Oxford, Oxford University Press, 1982.

Genericamente, o traçado das linhas de água ao longo das vertentes evidencia tramos rectilíneos e mudanças bruscas de direcção, o que sugere uma adaptação à rede de fracturação mais importante. É possível que a evolução das vertentes de todo o vale seja recente e se processe principalmente através da ocorrência de movimentos de vertente. É ao longo das áreas de fracturação que se torna mais fácil o desenvolvimento de desmoronamentos, que poderão provocar movimentos de grandes dimensões e de consequências catastróficas. A existência de abruptos rochosos em vários barrancos parece coincidir com sectores onde a fracturação não seria tão intensa, o que teria contribuído para sustentar o recuo da linha de água.

Se considerarmos que este tipo de evolução é aplicável a todo o vale do rio Trancoso, é possível entender que o fundo do vale, com declives fracos a médios (aproximadamente de 12°), corresponde a um sector de acumulação de sedimentos resultantes de movimentos de vertente generalizados às duas vertentes. Com efeito, é possível observar, em outros cortes (nomeadamente na parte espanhola), um conjunto de materiais com características similares aos resultantes do movimento que destruiu o lugar de S. João.

5.4 - Características morfo-sedimentares.

Próximo da Igreja de Porto Carreiro observa-se um depósito resultante do movimento de vertente, permitindo-nos proceder à análise parcial do conjunto dos materiais movimentados (fot. C2-10). A estrutura que o depósito apresenta pode ser considerada caótica, sem qualquer ordenação de materiais muito heterométricos e com matriz grosseira (essencialmente arenosa) e escassa. Os materiais grosseiros apresentam dimensões muito variadas. Apesar da escassez de cortes, é possível encontrar no terreno desde

calhaus de pequena dimensão (centimétricos) até blocos com mais de 1,5 m de diâmetro maior.



Fot. C2-10: Porto Carreiro, a jusante da área de arranque do fluxo de S. João. A morfologia do depósito que colmata o fundo do vale apresenta um contacto vivo com a vertente. É nesta área que se desenvolveu parte significativa da deposição dos materiais do fluxo de detritos de 1841.

À superfície é difícil observar a heterometria dos materiais, dada a ausência dos elementos mais grosseiros. Com efeito, os campos agrícolas que ocupam a quase totalidade dos depósitos do vale do Trancoso foram limpos desse tipo de materiais, para permitir a lavra dos terrenos. Este procedimento resultou na construção de muros de divisória das propriedades, muros de sustentação de patamares agrícolas e ainda de casas³⁹. No corte representado na fot. C2-10, os blocos de maiores dimensões não ultrapassam o 1,5m de diâmetro maior. No entanto, os testemunhos da população local permitiram

³⁹ Segundo testemunho local, uma das casas de Porto Carreiro foi construída com pedra de um único bloco, tal era a sua dimensão.

identificar as áreas onde foram acumulados os blocos de maior calibre, resultado da limpeza da parte superficial do depósito. Um dos muros, com mais de 1,5m de altura, cerca de 2m de largura e com 40m de comprimento, resultou da arrumação dos blocos do depósito que, para o efeito, foram partidos (fot. C2-11)⁴⁰. Este trabalho de limpeza só pôde ser feito com a fragmentação dos blocos de maior dimensão, o que retira do terreno uma



Fot. C2-11: Muro construído com blocos e calhaus recolhidos da superfície do depósito resultante do fluxo de detritos. O bloco assinalado tem cerca de 2 m de diâmetro maior.

grande parte dos vestígios dos movimentos ao longo das vertentes. Grande parte do aspecto caótico, que a superfície do depósito evidencia, vai desaparecendo à medida que progride a reutilização dos solos.

5.5 - Evolução geomorfológica do vale do rio Trancoso.

Posteriormente ao encaixe vigoroso do rio Trancoso, a evolução

⁴⁰ Este muro é conhecido localmente pela designação de 'Muragata'.

geomorfológica das vertentes parece depender essencialmente de movimentos de vertente com as características de fluxos de detritos. Sublinhamos que estes movimentos constituem provavelmente o processo determinante na elaboração dos principais encaixes ao longo das vertentes do vale. Aproveitando as linhas de fracturas, onde a desagregação dos materiais é maior, e, portanto, a alteração dos granitóides é facilitada, desenvolvem-se movimentações de materiais que esboçaram os primeiros encaixes das ravinas. Estes passaram a servir de áreas de convergência de drenagem, quer superficial, quer interna, o que contribuiu para a intensificação dos movimentos de vertentes ao longo das ravinas. Desta forma, o fundo do vale foi e vai sendo colmatado pelos materiais provenientes desses movimentos, criando uma área de acumulação com declives significativamente inferiores à parte superior da vertente. Estes sectores permitiram uma mais fácil ocupação por parte das populações, o que providenciou um arranjo em patamares agrícolas.

Hoje, é ainda possível verificar a instabilidade destas áreas. No inverno de 1996/1997 ocorreu um movimento de vertente que cortou a estrada na parte superior da vertente onde se localiza a cicatriz do fluxo de S. João⁴¹. A vertente apresenta fendas de separação de materiais, muito características deste tipo de movimentos⁴². De igual modo, nas cabeceiras dos barrancos do fluxo de detritos de S. João, um pequeno terraço agrícola foi totalmente destruído dando origem a um abrupto rochoso. Caso não houvesse testemunhos da população local não seria possível identificar qualquer

41 No Inverno de 2000-2001 ocorreu a queda de um bloco de grandes dimensões, seguida de rolamento ao longo da vertente, que destruiu a capela comemorativa da destruição da aldeia de Porto Carreiro.

42 Em Covelo do Gerês é possível ver que a montante da cicatriz principal existem pequenos degraus separados por abruptos que correspondem a cicatrizes de pequenas movimentações. Ver A. Pedrosa, C. Bateira e L. Soares, 1995.

vestígio do referido patamar.

5.6 - Conclusão

A importância do estudo do 'fluxo de detritos' de S. João, reside no facto de nos permitir identificar áreas onde ocorreram grandes movimentos de vertente, mas cujos vestígios foram parcialmente apagados da paisagem. A definição dessas áreas é essencial para a elaboração da cartografia de risco natural em áreas de montanha, onde a prática agrícola está em franco declínio. O levantamento minucioso dos arquivos históricos, a par de um cuidado trabalho de campo, poderá contribuir para identificar o grau de estabilidade de algumas dessas áreas (J.-C. Flageollet , 1989).

A determinação das áreas de risco natural, sobretudo no que se refere aos movimentos de vertente, torna-se mais fácil se for possível utilizar critérios morfo-sedimentares. Com o estudo do fluxo de detritos de S. João, é possível identificar a morfologia de movimentos de vertente que sofreram uma evolução geomorfológica posterior, e importante modificação por intervenção humana, com destruição dos pormenores da morfologia.

Na realidade, os vestígios geomorfológicos da ocorrência de movimentos de vertente tendem a ser mascarados pela intervenção humana, só permanecendo com maior evidência as cicatrizes em rocha dura e os declives mais fracos das áreas de acumulação com os correspondentes depósitos. Relativamente a estes depósitos parece importante destacar as grandes semelhanças com outros, associados a movimentos deste tipo, tais como os do Covelo do Gerês (Montalegre), Ermelo, Fervença, Cotorinho (Marão), da Senhora da Graça (Mondim de Bastos). De salientar que muitas vezes estes depósitos são conotados com ambientes morfogenéticos diversos dos actuais, o que tem contribuído para considerar estas áreas como tendo,

na actualidade, fraca probabilidade de ocorrência de movimento de vertente. Na verdade, estes depósitos resultam de processos geomorfológicos recentes e fazem parte da dinâmica actual do meio físico. A cartografia destes depósitos, alguns dos quais com data conhecida, é contributo determinante na identificação de sectores afectados por movimentações de terrenos ao longo das vertentes.

Um trabalho de campo cuidado poderá pôr em evidência alguns elementos que permitiriam identificar as áreas sujeitas a movimentos de vertente:

- . Depósitos de vertentes com materiais heterométricos e disposição caótica.

- . Vales com fortes encaixes, vertentes abruptas e fundos de vale com declives suaves a médios.

- . Muros de divisórias de propriedades com espessuras exageradas.

- . Construções parcialmente soterradas (Igreja de Porto Carreiro).

- . Testemunhos da população local, sobretudo ao nível da religiosidade popular (capelas e alminhas em linhas de água: Porto Carreiro, Cavez).

- . Cabeceiras de linhas de água com abruptos rochosos em forma de anfiteatro evidenciando áreas de arranque de movimento de vertente.

Estes elementos, aplicados a outras áreas, serão fundamentais para levantamentos prévios que poderão servir de guia para a cartografia geomorfológica e conseqüente cartografia do risco natural. Ambas são essenciais para que as intervenções no meio físico possa ser feita com o

máximo de segurança possível. Qualquer intervenção que implique uma alteração profunda das condições da dinâmica do meio físico (como a construção de grandes infra-estruturas), poderá transformar essas áreas em áreas de forte probabilidade de ocorrência que, teoricamente, não estariam sujeitas a movimentações muito frequentes (E. A. Bryant, 1991).

6. O fluxo-deslizamento de Lobiô.

No extremo N de Portugal, no sector N da serra do Soajo, ocorreu um deslizamento numa pequena ribeira (corga de S. Paio) afluente do rio Minho, na localidade de Lobiô⁴³. Embora não se conheça o dia em que se desencadeou o processo, sabe-se que aconteceu no início do século. A rapidez do processo parece ter sido a principal característica e as testemunhas afirmam que ocorreu repentinamente, sem qualquer indício prévio.

6.1 - Contexto estrutural.

Na área de Lobiô (Melgaço) afloram os granitos que apresentam textura gnáissica que revelam uma granularidade inferior a 0,5 cm. Este tipo de granitóide resulta do metamorfismo muito intenso que conduziu à "granitização dos sedimentos" de tal forma que é "difícil saber com exactidão onde colocar o limite entre granitos e migmatitos" (L. Ribeiro e A. Moreira, 1986, p. 11). Quanto à textura, este granito apresenta-se como granito de grão médio a fino.

No vale do ribeiro de S. Paio, o granito apresenta-se muito fracturado sendo mesmo de admitir que o vale resultou de uma adaptação do

⁴³ Temos notícia de reativação deste movimento de vertente durante o Inverno de 2000-2001.

traçado do ribeiro a uma fractura. O aspecto muito encaixado, sobretudo na secção superior do vale, a par com o traçado rectilíneo, sugerem a adaptação a uma fractura com direcção SE-NW. É na margem esquerda deste vale que se desenvolveu o movimento de Lobiô.

6.2 - Contexto morfológico.

A ribeira de S. Paio é um afluente da margem esquerda do rio Minho. A parte superior do vale está profundamente encaixada (mais de 400 m) e a sua disposição linear indica que se trata de um encaixe ao longo de uma fractura com direcção SE-NW. O deslizamento ocorreu na parte superior de uma ravina situada na margem esquerda do ribeiro, junto a Lobiô. Nestes sectores, os declives variam entre os 16° e os 22°, sendo que a cicatriz do deslizamento situa-se nas áreas com inclinação de 22°. A vertente apresenta-se sem qualquer arranjo feito pelo homem para aproveitamento agrícola. Apesar do período de tempo decorrido, ainda é possível ver indícios da movimentação dos materiais, sobretudo na área de arranque, onde a topografia evidencia uma concavidade. À semelhança do que ocorreu na S^a da Graça e no Ermelo, as bacias hidrográficas de primeira ordem apresentam declives muito fortes e evidenciam uma forma côncava à semelhança de cicatrizes de movimentos de vertentes já evoluídos.

6.3 - Características morfológicas dos depósitos de vertente.

As únicas referências ao movimento resultam de relatos de testemunhas que põem a ênfase no aspecto violento e repentino do processo. No entanto, dadas as características do terreno não foi possível encontrar cortes no fundo do vale que permitissem estudar os diversos tipos de materiais e a sua disposição na área de acumulação. O fundo do vale parece ter

funcionado como área de acumulação, embora a dimensão do movimento não tenha contribuído para a formação de grandes depósitos no fundo do vale. Mesmo assim, é possível descortinar um fundo de vale com acumulação de materiais. Estes aparentam maior espessura na parte final das ravinas e dos barrancos, junto à confluência com o ribeiro de S. Paio.

A cicatriz do movimento é visível, apesar da evolução posterior, e corresponde a uma parte da concavidade que coroa a ravina. Esta, por sua vez, parece ter resultado de uma evolução anterior provocada por processos erosivos semelhantes aos que agora se observam. A ravina parece corresponder ao corredor de transporte dos materiais que acabaram por encontrar declives fracos no fundo do vale, permitindo a sua deposição. Desde a cicatriz provável até ao fundo do vale distam 250 m.

A SE, nas cabeceiras da ribeira de S. Paio, a morfologia sugere que o mesmo tipo de evolução promoveu a erosão e permitiu o encaixe das ravinas. As formas em anfiteatro que coroam as linhas de água de primeira ordem sugerem uma evolução semelhante. Os inúmeros blocos deslocados nesse sector do vale, bem como os depósitos que atapetam as vertentes e, sobretudo, o fundo das ravinas menos declivosas, sugerem uma evolução de vertentes produzida primordialmente por movimentos ao longo das vertentes seguidos de uma evolução por escorrência, com encaixe nesses depósitos.

A ideia da existência de depósitos que colmatam os fundo dos vales, oriundos de uma dinâmica de vertentes com características de movimentos de vertente é apresentada por A. R. Cordeiro (1995) e A. R. Cordeiro e F. Rebelo (1996), sendo designados por "depósitos de características catastróficas" e atribuídos a uma dinâmica típica de uma ambiência tardiglacial. Ainda segundo os mesmos autores, em Penhascosa (no

vale do Côa), o depósito situa-se na confluência de duas ribeiras com o rio Côa (Ribeirinha e Volta), cujos perfis longitudinais têm valores de declives muito superiores aos do referido rio.

Esta posição topográfica sugere uma dinâmica fluvio-torrencial, amplamente alimentada por uma dinâmica de vertentes constituída, no essencial, por movimentos de vertente, com semelhanças evidentes com os processos geomorfológicos da bacia da Povoação, nos Açores (C. Bateira, J. Resendes e F. Rebelo, 1998). Ao atingir o fundo do vale do Côa, a deposição dos materiais em cone é facilitada pela menor inclinação do perfil longitudinal do vale do Côa. Parece, em quase tudo, uma dinâmica muito semelhante à que originou os depósitos do fundo dos vales que referimos neste capítulo (Ermelo, Cotorinho, de Fervença e S. João).

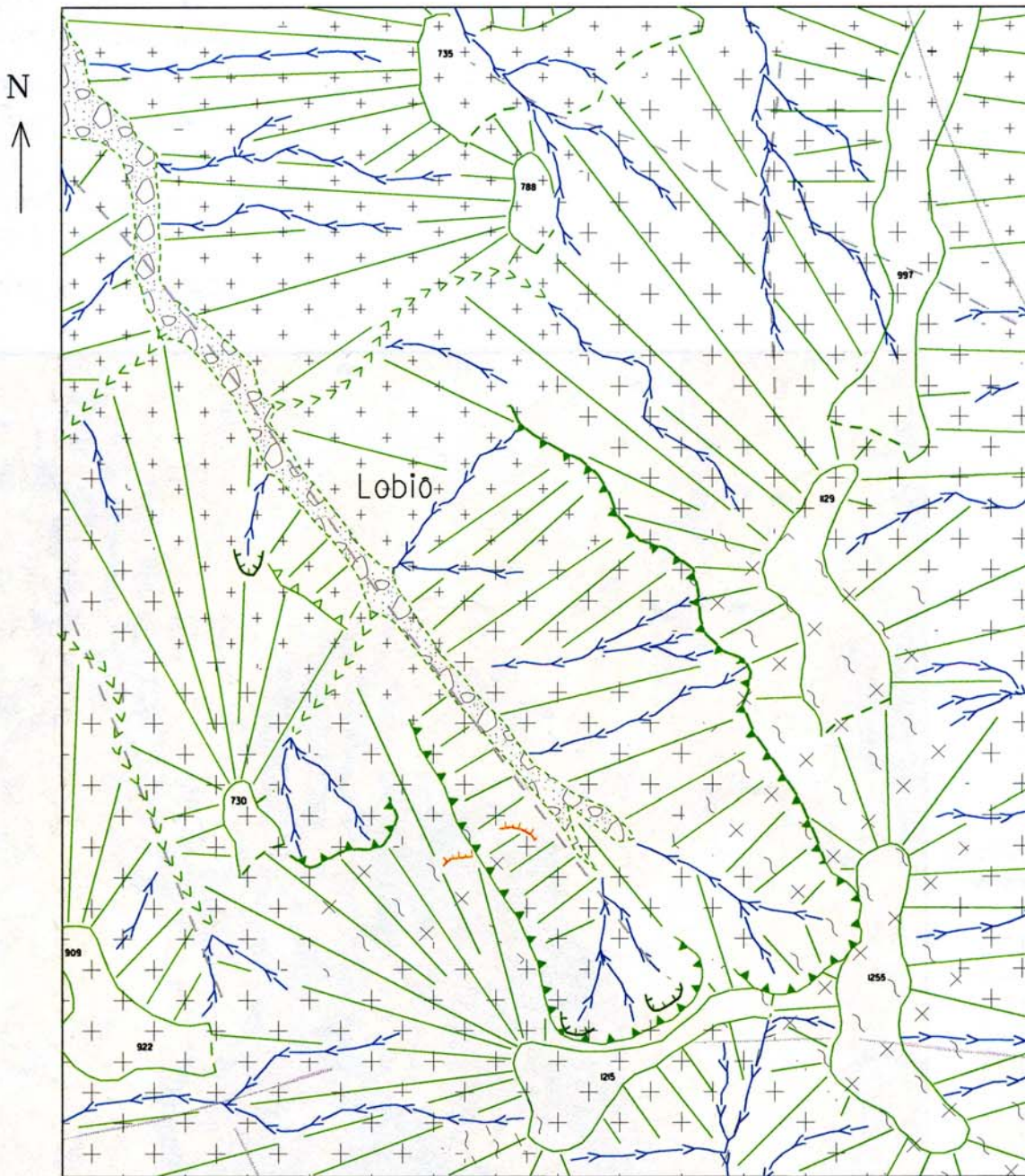












Fig. C2.II: Esboço geomorfológico de Lobão.

0 250 m

 Ponto cotado	 Topo de vertente	 Base de vertente	 Vertente.
 Barranco	 Valeiro	 Encaixe sup a 50 m.	 Encaixe inf a 50 m.
 Abrupto rochoso	 Cicatriz de arranque	 Cicatriz provável.	 Queda de blocos.
 Depósito do fundo do vale	 Patamares agrícolas	 Granito de grão médio	 Granito de grão médio a fino
 Migmatitos	 Xistos pelíticos	 Falha	 Falha provável

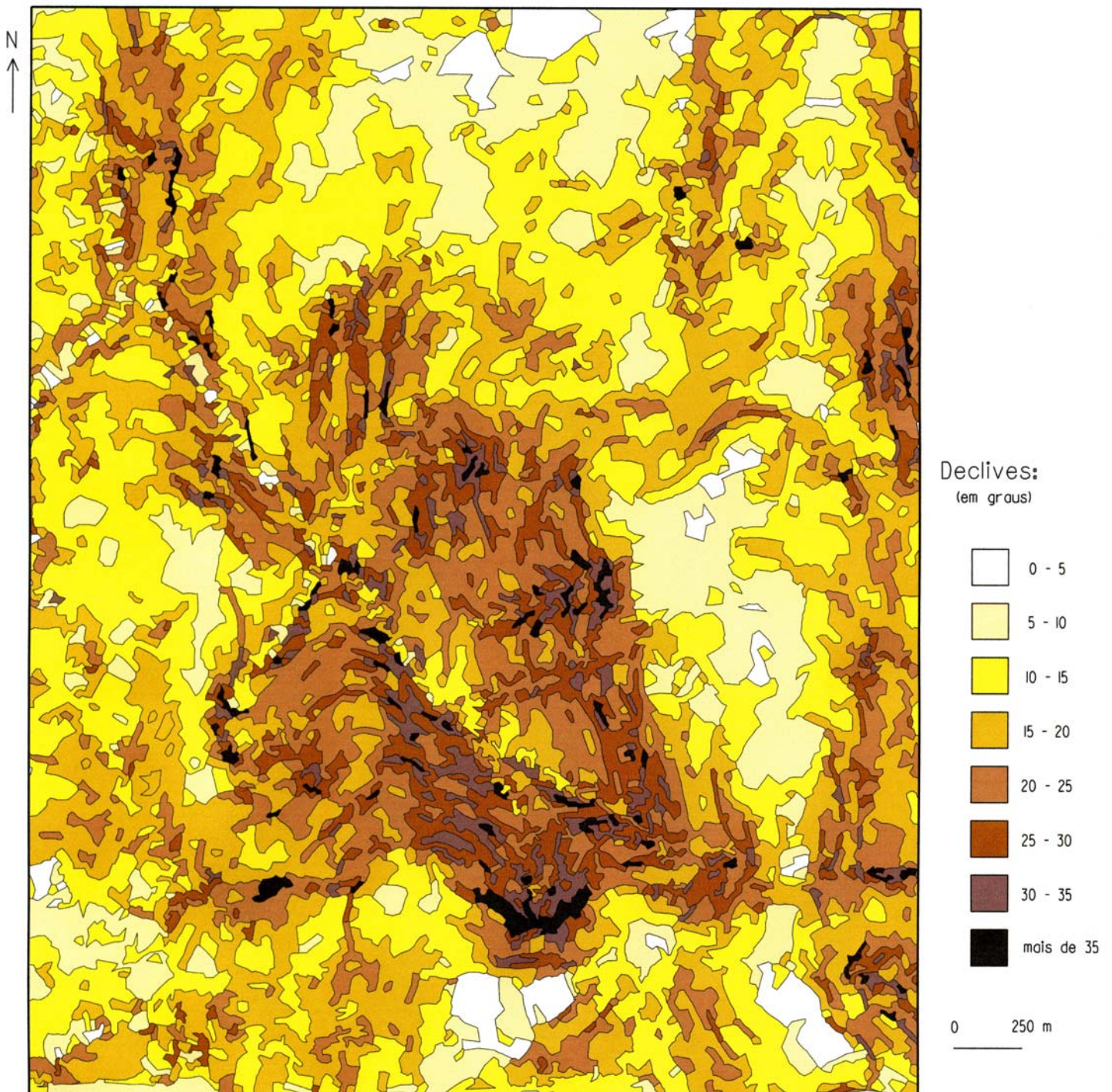


Fig. C2.12: Mapa de declives de Lobão.

7. O movimento complexo do Covelo do Gerês⁴⁴.

Inserida em plena Serra do Gerês, uma das mais vigorosas do NW de Portugal (1545 m, em Nevosa, Carris), esta pequena freguesia do concelho de Montalegre desenvolve-se ao longo da vertente oriental do rio Cávado, entre as albufeiras de Paradela e Venda Nova. Trata-se de um aglomerado populacional de dimensões reduzidas, verificando-se que o sector específico em que ocorreu o movimento, corresponde principalmente ao lugar de Sapateira.

Segundo informações recolhidas no local e nos jornais diários da época (1966), o processo desenvolveu-se ao longo de vários dias, iniciando-se a 10 de Fevereiro e prolongando-se até ao dia 22. As primeiras movimentações foram de pequena dimensão, o que permitiu colocar de sobreaviso os habitantes que começaram a abandonar as suas casas. Tal evitou uma catástrofe provavelmente superior à de Cavez, limitando as consequências a perdas materiais.



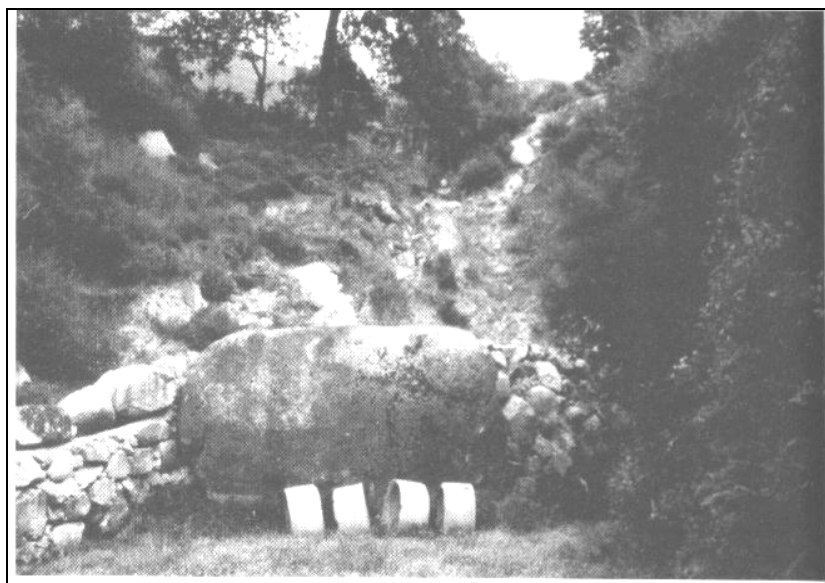
Fot. C2-12: Cicatriz principal do fluxo de detritos de Covelo do Geres.

44 O movimento do Covelo do Gerês foi estudado por A. Pedrosa, C. Bateira e L. Soares e apresentado sob a forma de poster no 'Colloque sur versants et lits fluviaux', organizado pelo Laboratoire de Géographie Physique 'P. Birot', Paris I-CNRS, em Março de 1995 e publicado na revista Territorium, nº2, 1995.

7.1 - Ocorrência e fases de evolução.

No dia 16 do mesmo mês, verificou-se um movimento de terras de maiores dimensões: uma "onda" de lama e detritos rapidamente alastrou sobre a aldeia, submergindo 8 casas e invadindo os terrenos de cultivo mais próximos. A sua violência foi de tal ordem, que arrastou núcleos de folhosas e blocos de granito com eixo maior que, nalguns casos, ultrapassou os 4m, destruindo igualmente a estrada que liga Paradela a Covelo.

Nos dias 17 e 18 voltaram a registar-se novas ocorrências, mas de menor intensidade, até que a 22 de Fevereiro é noticiada a última movimentação.



Fot. C2.13: Bloco de granito deslocado pelo fluxo de detritos, em Covelo do Geres, em 1966. As anilhas de cimento colocadas junto ao bloco têm 1m de diâmetro. Os materiais que estão a montante do bloco foram mobilizados no mesmo movimento e chegam a ter mais de 10m de espessura.

É importante assinalar que a ocorrência do movimento ao longo de vários dias, coincidiu com um período de fortes precipitações. Embora, adiante (ponto 7.5) se pretenda analisar com mais pormenor esta questão, nos meses de Janeiro e Fevereiro destacam-se duas grandes sequências chuvosas (tendo sido registada uma precipitação de 97 mm num único dia em Paradela

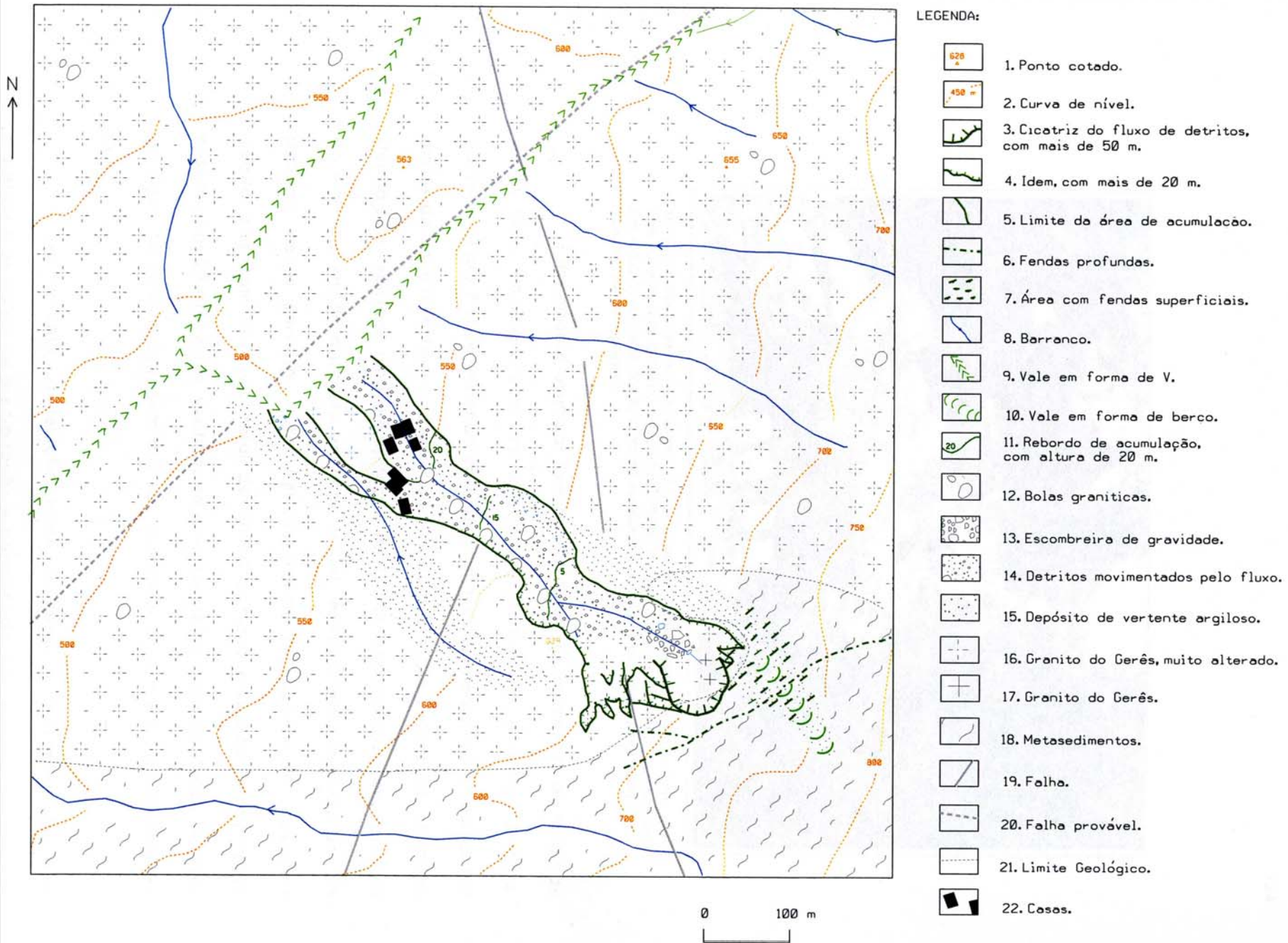


Fig. C2.13: Esboço geomorfológico do fluxo de detritos do Covelo do Gerês.

do Rio - a 6 km de distância em linha recta), entrecortados somente por um período menos pluvioso. Neste período intermédio, apenas se registaram quatro dias com ausência total de chuva e cinco dias com precipitação próxima dos 20 mm. Assim, verificou-se uma constante acumulação de reservas de água no solo, o que, sem dúvida, contribuiu para o desenvolvimento do fluxo.

No entanto, a relação entre as diversas movimentações dos materiais e os dados de precipitação é complicada. Não estamos perante um movimento de vertente simples, directamente relacionado com um único episódio chuvoso. A repetição do processo durante vários dias deve-se provavelmente a uma conjugação de factores, entre os quais as duas sequências de precipitações regulares e intensas são um elemento de destaque.

De realçar que, vários anos após a ocorrência do fluxo, se verificou a queda de blocos próximo da cicatriz principal. Este facto, aliado à existência de fendas abertas para montante, bem como ao rápido desenvolvimento de ravinamentos, leva-nos a considerar que estamos perante uma área de instabilidade geomorfológica persistente.

7.2 - Aspectos morfológicos.

Como referimos, o movimento de vertente do Covelo do Gerês processou-se essencialmente no sector a montante de Sapateira, vencendo um desnível de aproximadamente 200m e percorrendo uma distância que excede os 600m⁴⁵.

45. Refira-se, no entanto, que parte do material foi transportado pelo ribeiro dos Novinhos que corre no sopé da vertente e chegou a atingir o rio Cávado, situado a cerca de 2,5 Km da área de ruptura.

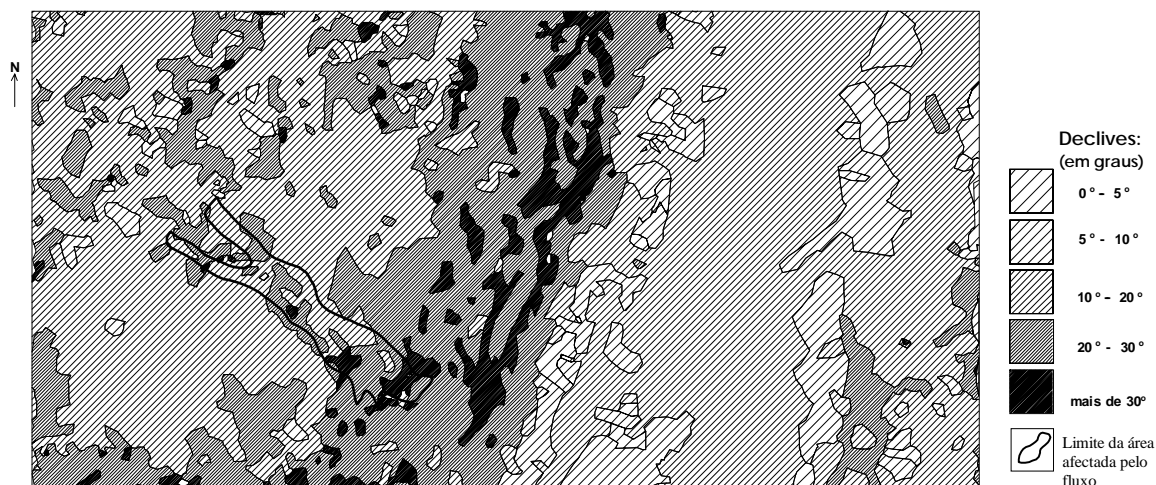


Fig. C2-14: Mapa de declives do Covelo do Geres.

A cicatriz resultante apresenta grandes dimensões e uma forma complexa, evidenciando, no sector principal, uma largura superior a 40m e mais de 50m de altura. No entanto, se nesta secção revela uma forma em arco, lateralmente, a sua morfologia é bastante irregular, desenvolvendo-se como que cicatrizes secundárias de dimensões mais reduzidas (fig. C2-13). Este aspecto relaciona-se com as condições estruturais da área, em especial com o facto da parte superior da cicatriz coincidir com o contacto entre os metassedimentos e o granito do Gerês, neste sector relativamente conservado. Pelo contrário, próximo das "cicatrizes secundárias" este granito evidencia uma profunda alteração, que poderá ser responsável pela irregularidade morfológica referida, dada a progressiva movimentação das arenas graníticas.

O movimento desenvolveu-se ao longo de um barranco, regredindo de jusante para montante ao longo dos vários dias, permitindo o progressivo escavamento da área. Alguns sectores foram parcialmente preenchidos pelos materiais transportados, sendo visíveis alguns rebordos de acumulação. Aliás, parece-nos importante referir que, na área envolvente, é possível identificar depósitos de vertente preenchendo paleoravinas escavadas no manto de alteração granítico, traduzindo movimentações antigas, similares às que

ocorreram em 1966, embora de menor dimensão.

O material transportado extravasou largamente os limites do canal de escoamento, invadindo os campos agrícolas mais próximos e "submergindo" parte do aglomerado populacional. Como já referimos, conseguiu arrastar blocos de granito com uma dimensão superior a 4 m de diâmetro maior, embora seja nitido o domínio de materiais de menor dimensão.

No entanto, a estrada que passa próximo da povoação, constituiu, pela diminuição do declive, um patamar de sustentação do movimento, definindo o principal sector de acumulação. Mas tal não evitou a destruição de várias casas. Na parte mais a jusante, os materiais preencheram na totalidade o canal de transporte, transbordando para o barranco a SW e subdividindo-se em dois ramos o que mostra bem a importância do volume da carga deslocada.

7.3 - Factores de ordem geológica.

Litologicamente, a área em estudo é caracterizada pela presença de diversos tipos de granitóides hercínicos (que constituem cerca de 75% da área cartografada na folha 6B da Carta Geológica de Portugal) e por metassedimentos do Silúrico, essencialmente xistos pelíticos (F. Noronha; M.L.Ribeiro, 1983).

No entanto, no sector onde ocorreu o movimento, distinguem-se basicamente dois tipos de rochas, cujo contacto se define precisamente na cicatriz do fluxo (A. Pedrosa, C: Bateira e L. Soares, 1995):

- Xistos pelíticos com raros níveis de xistos quartzíticos, apresentando uma granularidade média e forte foliação.
- Granito porfiróide de grão médio a grosseiro, com biotite dominante (Granito do Gerês).



Fig. C2-15: Esboço litológico do Covêlo do Gerês. A. Área afectada; 1. Xistos pelíticos com abundantes níveis de xistos quartzíticos; 2. Xistos pelíticos com raros níveis de xistos quartzíticos; 3. Granito de Penedos; 4. Granito do Gerês; 5. Granito de Montalegre, Pondras e Borralha; 6. Granitóides de Sezelhe, Campos e Borralha; 7. Granito de Telhado; 8. Apelitos e/ou Pegmatitos; 9. Falha; 10. Fracturas.

Fonte: Folha 6-A da Carta Geológica de Portugal.

No contexto dos granitóides da área, o granito do Gerês insere-se no grupo dos mais recentes, pós-tectónicos, de génese provavelmente associada à diferenciação de um magma básico de origem infra-crustal (M. L. Ribeiro, 1983). Tendo em conta a sua composição químico-mineralógica (Quadro nºC2.1, p.230), podemos considerar que se trata de um granitóide de transição entre as séries alcalina e calco-alcalina, ou seja, essencialmente subalcalino segundo interpretação dos diagramas de Nachit et al. (1985) e Rossi e Chevremont (1987) (Anabela Mendes, 1994, p.109-110).

No âmbito do nosso trabalho, é fundamental assinalar o facto deste granito se encontrar extremamente alterado, para o que devem ter contribuído principalmente as suas características texturais e o grau de fracturação que evidencia, associadas às características hidro-climáticas da área. Aliás, refira-se a densa rede de fracturação manifesta em todo o maciço constituído pelo granito do Gerês, em que dominam os sistemas NNE-SSW e N-S, provavelmente correspondentes ao período de fracturação tardi-hercínica que controlou inclusivamente a sua instalação (A. Ribeiro et Al, 1979; N. Ferreira et Al, 1987).

Saliente-se ainda que, segundo Coteló Neiva (1966, p.9), um dos factores que facilitou a ocorrência do movimento seria precisamente a existência de várias falhas, uma das quais coincidiria com o local em que "(...) o terreno começou a ceder".

Quadro nºC2.1 - Características do granito do Gerês (280±11 M.A).

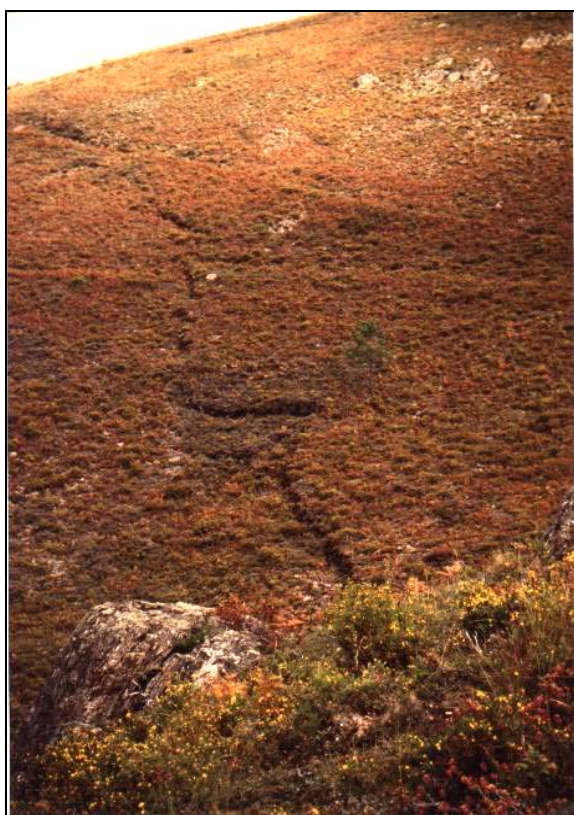
IDADE	280±11 M.A.
"Mise en Place"	Pós-Tectónicos (Carbónico - Pérmico) Instalação associada aos movimentos tardi-hercínicos.
Génese	Diferenciação de um magma básico de origem infracrustal Granito do tipo I (Chappell e White, 1974)
Composição Mineralógica (variação percentual)	Quartzo: 32-24; Feldspato Potássico: 24-26; Plagioclase: 34-36; Biotite: 4-6
Composição Química (valores percentuais médios)	SiO ₂ : 73,26; Al ₂ O ₃ :13,46; FeO: 1,98; Na ₂ O:3,81; K ₂ O: 4,87; CaO: 0,88; MgO: 0,39; MnO: 0,04; TiO ₂ : 0,24; H ₂ O: 0,74
Textura	Tendência porfiróide de grão médio a grosseiro
Cor	Hololeucocrata

Fontes: F. Noronha e M. L. Ribeiro, 1983; A. C. Mendes, 1994; G. Coudé-Gaussen, 1981; N. Ferreira et al, 1987.

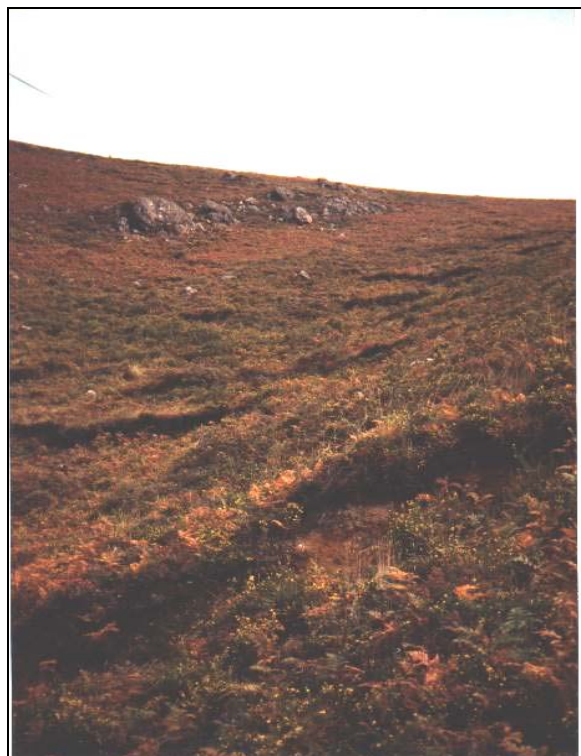
Embora na carta geológica não esteja registada esta observação, o

trabalho de campo permite-nos assinalar a presença de uma rede de fracturação, que afecta, paralela e perpendicularmente, o sector em que se estabelece o contacto entre os metassedimentos e o granito, bem como toda a área envolvente.

Esta rede de fracturas parece estar na origem do desenvolvimento de uma série de fendas que afectam o terreno e assumem por vezes grandes dimensões (fots. C2-14 e C2-15), podendo ser agrupadas em dois tipos: fendas superficiais e fendas de grande profundidade. Estas últimas evidenciam uma forma irregular, dispendo-se próximo da cicatriz e constituindo uma rede complexa, que parece ter resultado do processo de descompressão no momento do movimento de vertente ou imediatamente a seguir. Coincidindo



Fot. C2-14: Fenda de grande profundidade a montante da cicatriz principal do fluxo de detritos.



Fot. C2-15: Fendas superficiais, a montante da cicatriz principal do fluxo de detritos.

com as áreas de fracturação, parecem resultar da separação lateral e abatimento de blocos rochosos, dado que o fluxo de detritos lhe retirou parte do suporte. Desenvolvem-se essencialmente nos metassedimentos do Silúrico e apresentam-se grosseiramente paralelas ao contacto entre os metassedimentos e o granito, sugerindo que a profundidade resulta do aproveitamento da fracturação das rochas e da descontinuidade litológica local. Por outro lado, as fendas superficiais dispõem-se ao longo da ravina situada na margem direita da cicatriz principal, formando sucessivos degraus provavelmente resultantes de pequenos abatimentos de parte do depósito de fundo que preenche a ravina. Estes degraus são numerosos e apresentam desníveis por vezes superiores a 2m.

O movimento, bem como a formação de pequenas ravinas que afectam principalmente o sector mais a jusante da vertente (fot. C2-15), é sem dúvida facilitado pela já referida alteração do granito do Gerês. Em toda a

área, é possível observar perfis de alteração bastante espessos⁴⁶, o que vai permitir uma eficaz infiltração da água⁴⁷.

Estes perfis são essencialmente constituídos por material alterado, que facilmente se desagrega evidenciando uma coloração branco-amarelada. Em alguns sectores mantém-se a estrutura da rocha inicial (arena de estrutura conservada), visível principalmente pelo facto de conservar a orientação dos megacristais de feldspato (M. A. Braga, 1988). Verifica-se ainda, macroscopicamente, que nesta massa subsistem principalmente os grãos de quartzo, enquanto os feldspatos se esboroam com facilidade e a biotite quase desaparece, evidenciando uma descoloração nítida.

A análise granulométrica de três amostras recolhidas na cicatriz (fig. C2-16), permite-nos verificar que nestes perfis há um nítido domínio da fracção arenosa entre 2 e 0.063 mm, segundo a escala de Wentworth (D. Briggs, 1977), com uma percentagem média de 75%, destacando-se o intervalo situado entre 1 e 0.5mm (areia grosseira). Aliás, parece-nos importante referir que, em todas as amostras, mais de 90% do peso das partículas têm dimensão superior a 0.0625mm e, entre 74% e 80% granulometria que excede os 0.25mm. Assim, torna-se evidente que os materiais finos (silte e argila) assumem quantidades bastante diminutas, o que se coaduna com dados obtidos a partir de estudos de vários perfis de alteração no N de Portugal.

Por outro lado, a identificação dos minerais argilosos, por difracção de raios-x, revela o predomínio do grupo da caulinite (caulinite e halosite),

46 Embora seja difícil precisar a espessura que a alteração assume (só através de métodos geofísicos seria possível avaliar a sua profundidade concreta), podemos referir que na área onde se processou o movimento ela é provavelmente superior a 20 metros.

47. De salientar, no entanto, que em alguns pontos, nomeadamente nas paredes laterais da cicatriz, se observam alguns afloramentos de granito pouco alterado, que poderão ter funcionado como obstáculo a uma expansão lateral do movimento.

com percentagens sempre superiores a 70%.

A aparente contradição que existe entre o baixo teor de finos (que à partida poderia revelar uma alteração pouco intensa) e a presença de minerais argilosos do grupo da caulinite, revelando um grau de evolução geoquímico importante, poderá ser facilmente justificada por uma drenagem interna extremamente eficaz, associada às características dos próprios mantos de alteração. Com efeito, o facto de serem essencialmente constituídos por material arenoso permite uma rápida infiltração da água, que, atravessado o perfil, promove uma intensa lixiviação de iões e o transporte da fracção fina (M. A. Braga, 1988).

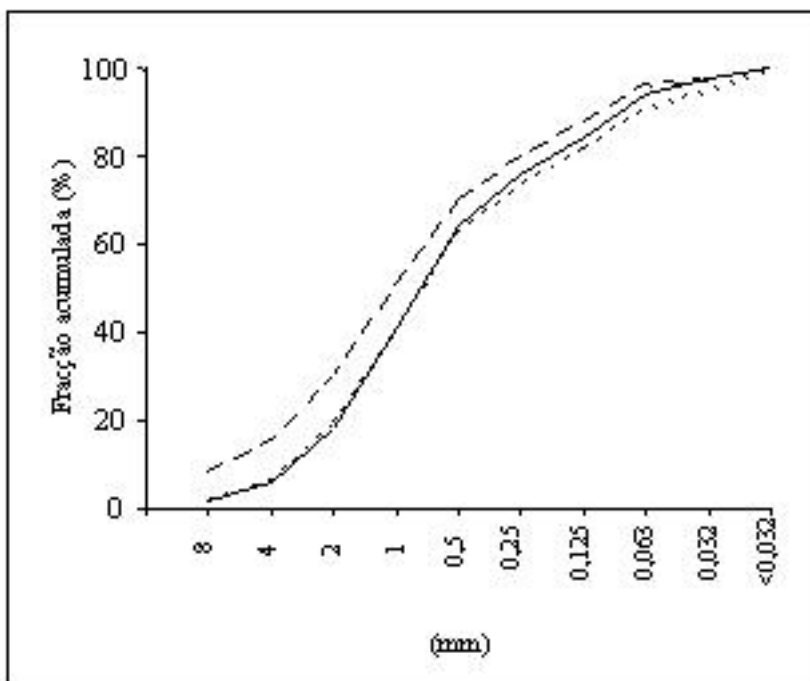


Fig. C2-16: Curvas granulométricas de amostras do manto de alteração do granito do Gerês, na cicatriz (A. Pedrosa, C. Bateira e L. Soares, 1995).

Mas o que é importante reter desta análise, é que as características do material afectado pelo movimento, constituíram, sem sombra de dúvida,

um factor primordial na justificação da sua ocorrência. Como refere Coteló Neiva (1966), o facto do granito se encontrar "(...) muito alterado até grande profundidade, sendo a caulínização muito intensa," teria dado origem "à saturação do terreno devido a infiltrações provocadas por chuvas copiosas e de grande duração" o que teria permitido "as sucessivas derrocadas".

Um elemento que parece apoiar tal observação, está associado aos próprios limites da área afectada: note-se que, para montante, o movimento interrompe-se precisamente quando atinge os metassedimentos; por outro lado, como já referimos, a sua expansão lateral parece ter sido bloqueada por afloramentos de granito pouco alterado. Em profundidade, o limite da área afectada parece coincidir com a menor alteração do granito, provocando a acumulação da água e saturação dos materiais alterados.

7.4 - Condições geomorfológicas.

Covelo do Gerês situa-se numa vertente entre os 450 m e os 850 m de altitude, em que a parte superior está talhada nos metassedimentos que se apresentam muito resistentes e a parte inferior é constituída pelo granito do Gerês muito alterado. Esta disposição dos afloramentos rochosos permitiu a conservação de uma vertente abrupta resultante do encaixe vigoroso da rede hidrográfica ao longo das fracturas mais importantes. O movimento de vertente desenvolve-se, no essencial, no manto de alteração do granito e evolui, para montante, até encontrar as rochas resistentes dos metassedimentos que vão funcionar como travão, sustendo o movimento. Neste caso, a evolução actual, tendente a diminuir o aspecto abrupto da vertente, foi travado pela disposição estrutural dos materiais.

Os declives desta vertente variam entre 10° e mais de 30° (fig. C2-14). Nos sectores mais directamente afectados pelo movimento de vertente

são, no entanto, superiores a 20° e mesmo 30°. Inclusivamente, próximo da cicatriz bem como nos sectores onde domina o transporte sobre a acumulação, coincide com declives superiores a 30°.

O facto do processo ter ocorrido ao longo de uma ravina é um dos factores mais importantes. De facto, nela encontramos um depósito que corresponde a um preenchimento do fundo. Este depósito apresenta uma textura argilosa, de cor negra, com calhaus de granito e metassedimentos, por vezes, decimétricos, dispostos de forma dispersa. Com espessura variando entre um e dois metros na parte superior da ravina, é provável que fosse mais espesso junto à confluência com a ribeiro dos Novinhos. Este tipo de depósito é observável noutras ravinas da mesma vertente e com espessura que chega a atingir quase três metros, a meia vertente. Foi, sem dúvida, a capacidade de retenção da água, por este depósito, e a sua plasticidade, um dos factores que mais influenciou no início do movimento dos materiais.

A área de Covelo do Gerês corresponde a um sector de densa fracturação, que influenciou directamente a capacidade de alteração dos granitos, bem como permite uma fácil infiltração das águas ao longo dos planos de fragilidade locais.

7.5 - Condições hidro-climáticas.

Como vimos atrás, as condições de infiltração das águas ao longo da vertente foram facilitadas pela sua disposição estrutural, pela rede de fracturação e pelas características das formações superficiais.

No entanto, parece-nos que a capacidade de absorção da água pelo manto de alteração granítico foi totalmente preenchida. Pela descrição feita do processo, somos levados a concluir que o processo se desencadeou

pela saturação de um sector do manto de alteração na parte inferior da vertente. Este facto provocou a instabilidade da vertente que aparentava equilíbrio, embora precário. No início do movimento parece ter sido importante a grande concentração da água no manto de alteração originando, provavelmente, a saturação do contacto do depósito de vertente com o manto de alteração, provocando a sua ruptura.

Sendo as ravinas e os barrancos locais de convergência da drenagem ao longo das vertentes, parece que, quanto maiores forem estas formas, maiores serão as áreas drenadas por elas e, portanto, maiores as concentrações de fluxo interno e externo. Deste modo, tornam-se locais privilegiados de instabilidade por saturação das formações superficiais aí existentes (J.C. Flageollet, 1989).

O estudo da precipitação do posto udométrico de Paradela do Rio aponta para valores elevados relativamente à média mensal. Em Fevereiro de 1966 registaram-se 856,6 mm, valores muito acima dos valores médios mensais de 294,8 mm..

Em Paradela do Rio, os registos para o mês de Fevereiro confirmam a existência de 19 dias consecutivos de precipitação, sendo que nos dias 8,9,10,12 e 20 se registaram 73.7, 97, 73.7 , 88.5 e 81 mm, respectivamente (fig. C2-17). Em Janeiro há uma longa sequência chuvosa de 18 dias em que se salientam os dias 20, 21 e 22, com registos de 63.8, 80.3 e 102.8 mm.

De uma forma geral, pode referir-se que, desde meados do mês de Janeiro até dia 25 de Fevereiro, as precipitações foram abundantes, persistentes, atingindo valores extremamente elevados nalguns dias. As duas sequências chuvosas já referidas estiveram separadas por um curto período

(de 27 de Janeiro a 6 de Fevereiro) em que as precipitações, embora menos abundantes, persistiram (neste período só quatro dias não registaram precipitação).

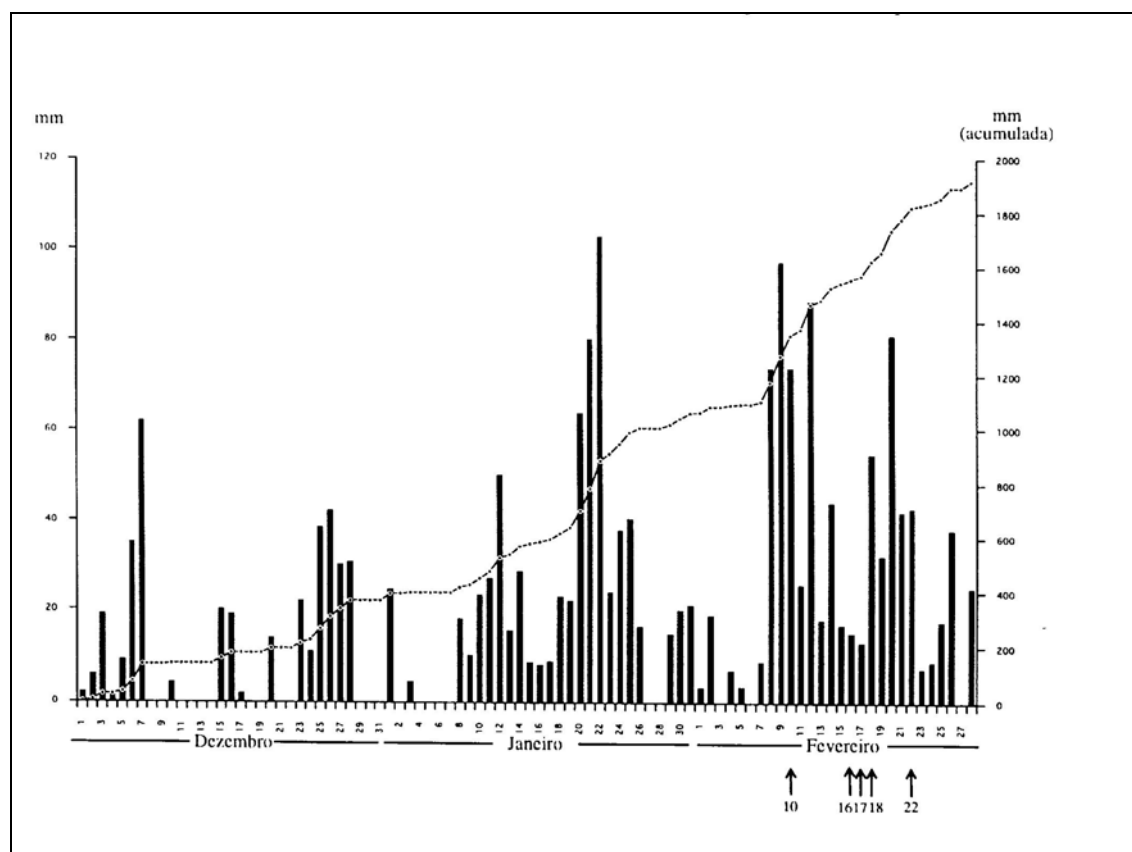


Fig. C2-17: Precipitações diárias em Paradel do Rio em Dezembro, Janeiro e Fevereiro de 1965/6. As setas indicam os dias em que ocorreram movimentos de materiais no Covelo do Gerês.

A análise dos valores da precipitação diária acumulada permite afirmar que o início da movimentação dos materiais coincide com um acréscimo da pressão da água infiltrada nas formações superficiais (fig. C2-17). No entanto, a movimentação mais importante não ocorre no máximo das precipitações. Este facto permite deduzir que, uma vez destruída a estabilidade da vertente, é possível o desenvolvimento de processos geomorfológicos muito importantes desde que haja persistência de precipitação, mantendo elevada a pressão sobre os materiais do manto de alteração. Esta leitura parece confirmada pelas ocorrências do dia 17. No dia

18 volta a verificar-se novo acréscimo forte das precipitações (54,5 mm), mas os movimentos na vertente são considerados de menor importância. A última ocorrência (no dia 22 foi destruída outra casa) deu-se no fim de um período de precipitações importantes tendo, no dia 20, chovido 81 mm. Perto de se atingir novo ponto de equilíbrio, só novas precipitações abundantes permitiriam que um último movimento acontecesse. Mesmo assim, só dois dias depois do dia 20 ocorreram novos e importantes movimentos de terras.

7.6 - Conclusões.

Os processos de escoamento das águas nas vertentes concentram-se ao longo das ravinas e dos barrancos. Este facto, aliado à diversidade de formas, variações de declives e intervenções humanas, parece constituir um conjunto de factores importante para explicar a grande complexidade deste tipo de processos, à semelhança do que ocorre noutras latitudes (Brunsdén, 1984). No caso de Covelo do Gerês a complexidade do tipo de movimentação (dispersa por vários dias e com diferentes intensidades) reflecte a importância desigual dos vários factores a afectar o movimento. Com efeito, parece clara a importância das grandes precipitações diárias ao fim de um conjunto de dias muito chuvosos no desencadear do processo. A sua continuação parece depender da morfologia da vertente (declives fortes) e da estrutura e tipo dos materiais (manto de alteração) já que são propícios ao desenvolvimento de movimentos de vertente, desde que seja alterada a estabilidade, muitas das vezes precária. Uma vez atingido novo ponto de equilíbrio, só a repetição de precipitações da ordem dos 81 mm a culminar uma série de dias muito chuvosos conseguiu o desenvolvimento de novo movimento dos materiais. Apesar de ainda não termos atingido declives mais fracos do topo da vertente, o recuo da cicatriz para montante foi retido pelo afloramento de

metassedimentos muito resistentes. A partir dessa altura, deixam de verificar-se fluxos de detritos a expensas do manto de alteração do granito do Gerês e desenvolve-se a queda de blocos junto da cicatriz principal.

Se a precipitação é fundamental para a explicação do fluxo de Covelo do Gerês, não deixa de ser relevante a profunda e intensa alteração do granito do Gerês. Este facto, permite uma fácil infiltração da água que se acumula quando encontra os sectores da rocha-mãe menos alterada. A fracturação tornou-se elemento importante, já que permitiu uma forte alteração do granito, facilitou a infiltração da água, bem como a circulação interna até atingir a rocha conservada. Uma vez impedida a infiltração, a água acumula-se, o que facilita a saturação do manto de alteração. A pressão torna-se muito forte promovendo a desestabilização da vertente. Desta forma se entende que os planos de deslizamento correspondam, em grande parte, aos planos de fracturação do granito.

Ao contrário de outros movimentos de vertente no NW de Portugal, o de Covelo do Gerês foi constituído por uma sequência de fluxos distribuídos por vários dias. Esta característica poderia depender do ritmo das precipitações. No entanto, isso não parece ter ocorrido neste caso. Noutros casos (por exemplo Cavez), a sequência chuvosa foi determinante, embora ajudada por uma intervenção humana desajustada das características do meio físico. Em Covelo do Gerês a sequência chuvosa permitiu o desencadear do movimento, mas de imediato se fez sentir a influência de todas as condicionantes morfo-estruturais no prolongamento e posterior travagem de todo o processo de transporte de materiais ao longo da vertente. Como atrás dissemos, o início do movimento fez-se por pequenos deslizamentos, permitindo que a população abandonasse as habitações evitando a perda de

vidas humanas. Neste caso, foram as pequenas movimentações de terras que desestabilizaram a vertente possibilitando o fluxo do dia 16 de Fevereiro.

Embora existam condições estruturais responsáveis pela ocorrência de grandes movimentos de vertente no NW de Portugal, as ravinas e os barrancos constituem as formas que reúnem as condições morfológicas mais propícias ao seu desenvolvimento. Estas formas constituem as áreas de maior probabilidade de ocorrência de fluxo de detritos. Sendo linhas de água de escoamento permanente, ou pelo menos estacional, são objecto de escolha para localização das habitações, moinhos e de poços para a rega. Facilmente se transformam em áreas de forte risco (M. Panniza, 1990).

Os impactes socio-económicos destes processos geomorfológicos são consideráveis já que a destruição de várias casas e de campos agrícolas em comunidades rurais de fracos recursos económicos constitui problema importante, pesada consequência, o que torna preocupante a ocupação destas áreas.

8. Deslizamento do Fojo (Mondim de Basto).

A SW de Mondim de Basto, entre a S^a da Graça e o Ermelo, na bacia hidrográfica do rio Cabrão (afluente da margem esquerda do rio Cabril), junto da povoação de Covas, registou-se um movimento de vertente de características diversas das que temos vindo a analisar. O trabalho de campo efectuado permitiu recolher vários testemunhos da existência de movimentações de vertente afectando este pequeno vale. No entanto, este movimento de vertente, pela sua dimensão e pelas suas características, parece ser um movimento típico de evolução das vertentes em áreas dominadas por afloramentos de rochas metamórficas.

8.1 - Contexto estrutural.

A região de Mondim de Basto apresenta-se como uma área muito complexa do ponto de vista litológico. As formações litológicas que constituem esta área estão agrupadas em várias unidades cuja sequência litológica é muito variada. No vale do rio Cabrão domina a Unidade de Canadelo (E. Pereira, 1989). De uma forma geral, esta unidade é dominada pelos xistos carbonosos, xistos pelíticos, pelitos e siltitos, e, ainda, metagrés e metagrauvaques. A sul de Vila Chã, a parte superior da vertente do referido rio apresenta um cavalgamento da unidade de Campanhó, onde domina a presença de xistos negros carbonosos.

Este conjunto de materiais, dada a sua textura, é o principal responsável pelas características argilosas do depósito que cobre a vertente da margem esquerda do rio Cabrão. O depósito de vertente apresenta-se com uma pequena espessura, na metade inferior da vertente, raramente ultrapassando um metro. É constituído por calhaus angulosos de xisto, de dimensões diversas e dispostos de forma dispersa numa matriz silto-argilosa abundante, denunciando uma origem conotada com período periglacial húmido. Trata-se de um depósito que apresenta grande capacidade de retenção da água infiltrada bem como se torna facilmente plástico. O xisto apresenta a inclinação do plano de xistosidade contrário à inclinação da superfície topográfica da vertente.



Fot. C2-16: Cicatriz do deslizamento do Fojo (Mondim de Basto).



Fot. C2-17: Materiais movimentados pelo deslizamento do Fojo.

8.2 - Morfologia e encaixe do curso de água.

A vertente apresenta um desnível que varia entre os 200 e os 400m. Na área do deslizamento, está coberta por uma floresta de pinheiros com sub-bosque denso permitindo uma grande protecção relativamente aos processos de erosão por escorrência, facilitando a infiltração da água. Porém, dada a pequena espessura do depósito de vertente que cobre os afloramentos de

xisto, a saturação dos materiais é muito facilitada. A este facto associa-se à inclinação da vertente. Os declives onde ocorreu o deslizamento são muito elevados, em geral superiores a 20°, havendo sectores com inclinações de 39°. Este facto ajuda a explicar a dificuldade de conservação do depósito de vertente, mesmo próximo da base da vertente. Neste sector, o rio Cabrão apresenta um meandro fortemente encaixado, com vertentes de mais de 200m de altura. A margem esquerda corresponde à parte côncava do meandro e a base da vertente parece estar sujeita à acção erosiva do curso de água, em períodos de escoamento fluvial mais abundante. Com fortes declives, facilidade de infiltração, pequena espessura do depósito de vertente e consequente saturação rápida, estão criadas as condições para o desenvolvimento de movimentações de materiais na vertente.

8.3 - Morfologia do deslizamento.

O deslizamento do Fojo apresenta uma cicatriz principal com cerca de 20m de largo e 25m de comprimento. A altura da cicatriz varia entre os 50cm e 1m de altura. É um deslizamento laminar que faz movimentar o depósito de vertente já referido. A jusante da cicatriz, o movimento dos materiais abriu um estreito canal de erosão que serviu para evacuação dos materiais movimentados a montante e que muito provavelmente atingiu o rio, na base da vertente. Esta informação não foi possível confirmar, uma vez que a metade inferior da vertente foi intervencionada, para práticas agrícolas, destruindo os vestígios de materiais deslocados.

A cicatriz do deslizamento do Fojo apresenta sulcos resultantes de uma intensa evolução por escorrência, em contraste evidente com as outras áreas da vertente que estão próximas. Este facto reforça a ideia que apresentamos no ponto anterior, onde se evidencia a importância do coberto

vegetal na promoção de uma importante infiltração, apesar do forte declive da superfície topográfica.

Um pouco a jusante da cicatriz principal, existe uma cicatriz secundária, que parece resultar de uma movimentação posterior à primeira fase de deslizamento. Com efeito, esta cicatriz resulta da movimentação de materiais que se teriam depositado na primeira fase do deslizamento e que terão permanecido a meia vertente. No seguimento do processo de escorrência que afectou a cicatriz principal, a água que atingia este sector foi-se progressivamente infiltrando nos materiais totalmente desagregados, por efeito de uma pequeno aclave criado pela deposição resultante da 1ª fase do deslizamento. A expensas desses materiais desenvolveu-se este pequeno deslizamento translativo, originando uma cicatriz com cerca de 3m de largo e 1,5m de altura.

9. Fluxo de detritos de Cavez⁴⁸.

No dia 27 de Dezembro de 1981, no lugar de Arosa (Cavez, Cabeceiras de Basto), ocorreu um fluxo de detritos do qual resultou a destruição de um café, de vários patamares agrícolas, a obstrução de uma estrada e a morte de quinze pessoas.

O fluxo de detritos ocorreu na margem esquerda do rio Tâmega ao longo de um barranco. Neste sector, o vale do Tâmega tem um encaixe superior a 500 metros e apresenta vertentes complexas onde se destacam várias rupturas de declives e rechãs a diversas altitudes (fig. C2-19)⁴⁹.

48 O fluxo de detritos de Cavez foi estudado por A. Pedrosa e B. S. Marques (1992 e 1994) e C. Bateira e L. Soares (1992).

49 As fotografias do fluxo de detritos de Cavez foram cedidas pela Profª Doutora Assunção Araújo.

Os declives desta área são em geral fortes, dominando valores entre 15° e 25°, embora seja possível identificar alguns locais com declive superior a 25°. Ao longo do barranco onde ocorreu o fluxo de detritos, os declives são muito variáveis, mas o sector onde se desencadeou o movimento apresenta valores próximos dos 34°.



Fot. C2.18: Casa destruída pelo fluxo de detritos de Cavez, vista de jusante.

O movimento de vertente teve início na base de um talude artificial, situado a jusante de um caminho rural. A cicatriz resultante, com largura máxima de 17 metros e comprimento de 30 metros, tem forma oval e altura variando entre os 0,5 e os 2 metros (fots. C2-20 e C2-21).

O movimento foi muito rápido deslocando grande quantidade de areia, argila, troncos de árvore e blocos de granito existentes no manto de alteração e nos muros de suporte dos patamares agrícolas. O início da ruptura dos materiais resultou de um deslizamento translacional que rapidamente se transformou em fluxo, alargando e aprofundando um canal no talvegue do barranco, destruindo socacos e poços que neles tinham sido construídos. Estes materiais constituíram uma massa que percorreu cerca de 200 metros ao longo do talvegue do barranco até à estrada que liga Cavez a Ribeira de Pena. Grande parte dos materiais mais grosseiros foram depositados junto à casa destruída, na estrada e nos patamares agrícolas imediatamente a jusante

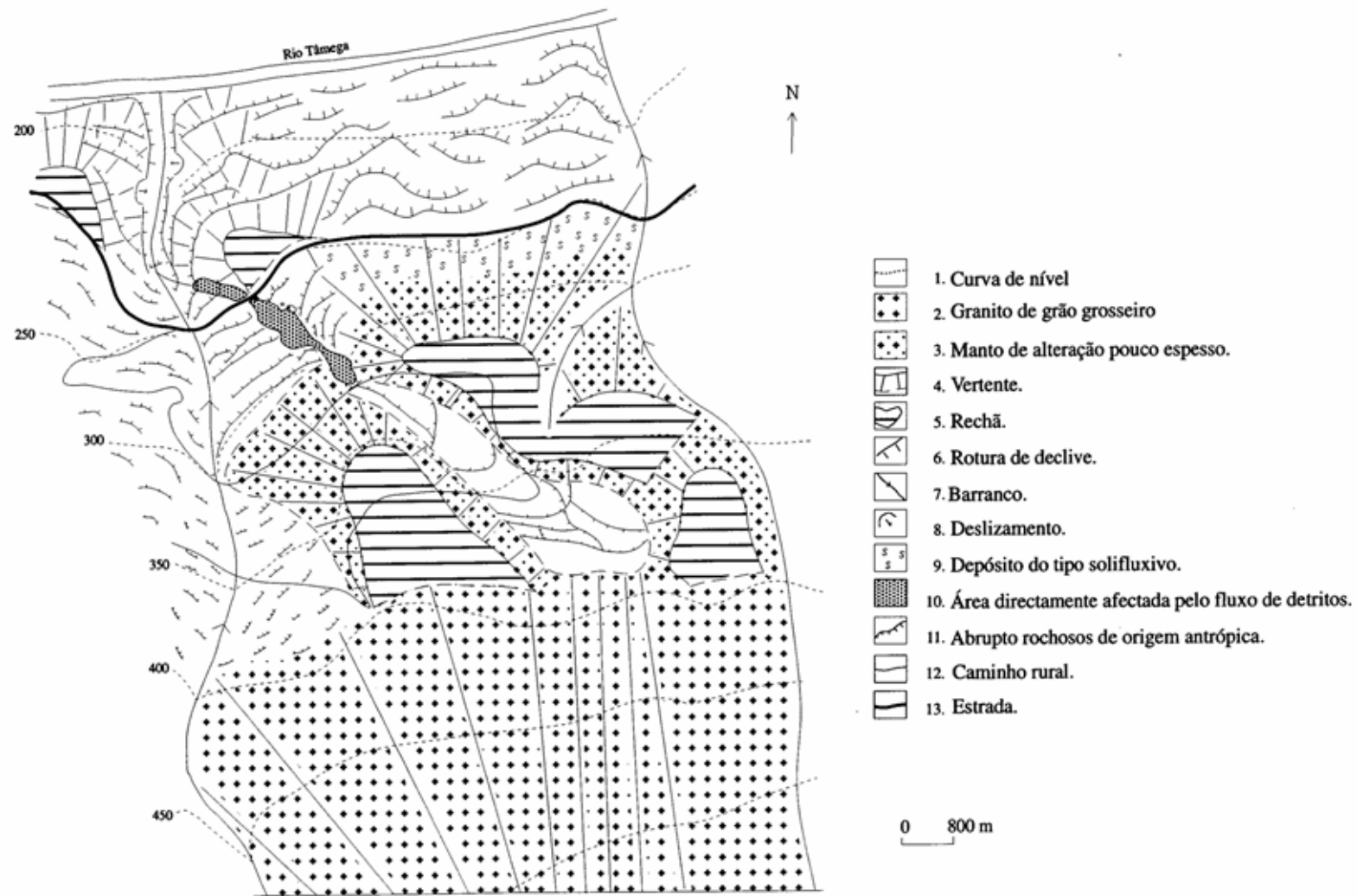
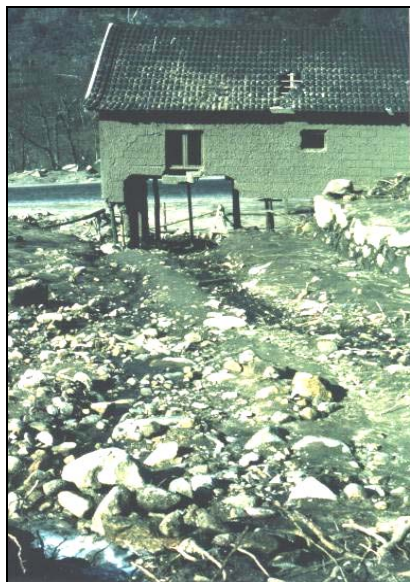


Fig. C2-18: Esboço Geomorfológico de Cavez.

desta. Os materiais mais finos atingiram o rio Tâmega, percorrendo, no total, mais de 500 metros.



Fot. C2-19: Casa destruída pelo fluxo de detritos de Cavez, vista de montante. O telhado ainda apresenta vestígios de materiais que cobriram quase toda a casa.



Fot. C2-20: Cicatriz do fluxo de detritos de Cavez, vista geral.

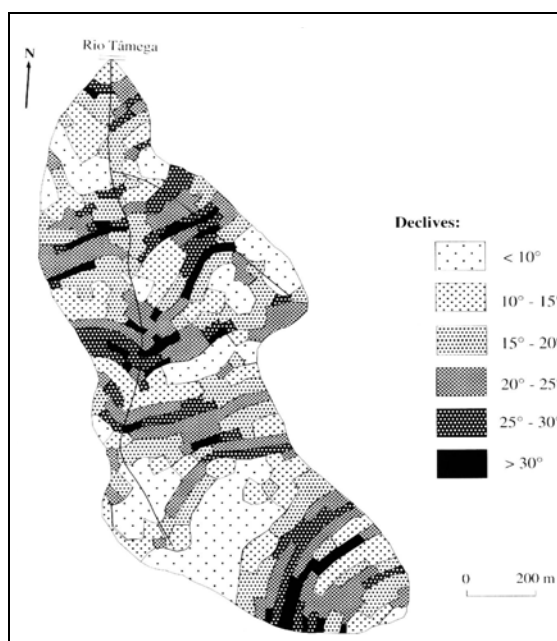




Fig. C2-19: Mapa de declives da bacia hidrográfica da ravina onde ocorreu o fluxo de detritos (Cavez).

Fot. C2-21: Cicatriz do fluxo de detritos de Cavez, vista de pormenor.

9.1 - Litologia e depósitos de vertente.

A área onde ocorreu o fluxo de detritos é constituída, do ponto de vista litológico, por granito de grão médio a grosseiro de duas micas. O manto de alteração apresenta uma espessura de 2 metros junto à cicatriz do fluxo de detritos, mas na base da vertente atinge, pelo menos, os 4 metros, tendo servido de suporte à formação de um solo agrícola com cerca de 30 cm de profundidade. Ao longo do talude da estrada que liga Celorico a Mondim de Basto é possível observar que, sob o solo agrícola, o manto de alteração foi afectado por movimentos de vertente do tipo solifluxivo. Junto à estrada é possível observar que os materiais afectados por estes movimentos atingem uma espessura aproximada de 2 metros. Por outro lado, o granito, bem conservado, encontra-se a pouca profundidade, aflorando ao longo da cicatriz do fluxo, funcionando como plano de deslizamento.

9.2 - Morfologia.

As vertentes extensas e de forte declive, resultante de um vigoroso encaixe da rede hidrográfica, constituem as características mais importantes da morfologia da área de Cavez. No que diz respeito ao barranco em que

ocorreu o fluxo de detritos é possível considerar a sua subdivisão em vários sectores distintos. A montante, existe uma pequena bacia de recepção com declives variando entre os 4° e os 6°, que parece ter desempenhado um papel importante na captação e infiltração das águas da chuva. Imediatamente a jusante da cicatriz há uma ruptura que se traduz num aumento do declive, que atinge cerca de 34°. No local onde se foram depositando os materiais de maior dimensão (junto ao café e imediatamente a jusante da estrada) os declives variam entre os 10° e os 15°. De notar que a estrada e o café destruído representaram obstáculos importantes ao movimento dos materiais, sendo, a razão mais importante que impediu que a maioria dos materiais grosseiros não se deslocasse a distâncias maiores, atingindo, eventualmente, o Tâmega.



Fot. C2-22: Canal de erosão escavado pelo movimento dos materiais do fluxo de detritos de Cavez. Uma parte significativa deste canal foi elaborado à custa de patamares agrícolas destruídos.

Entre a cicatriz e o local de acumulação formou-se um canal, aberto pelo movimento dos materiais, a expensas dos patamares agrícolas. Este canal corresponde ao traçado do barranco cuja drenagem tinha sido desviada para poços artificiais, no sentido de permitir a rega na estação seca. Como referimos, alguns destes poços foram destruídos pelo fluxo.



Fot. C2-23: Área de acumulação do fluxo de detritos de Cavez, a jusante da estrada nacional.

No sector de acumulação, os materiais adquiriram um aspecto de derrame, com disposição caótica de elementos grosseiros e finos. Estes serviram de elemento viscoso, ajudando à deslocação dos materiais grosseiros para além da estrada (fot. C2-23).

9.3 - Acção humana.

De uma forma geral a acção humana faz-se sentir com grande intensidade ao longo do vale do Tâmega. Mesmo nas áreas mais declivosas a agricultura é praticada em patamares construídos. Só os sectores em que o declive é superior a 35° permanecem incultos, bem como as áreas mais elevadas, onde aparecem florestas de pinheiros.

Em Arosa, a abertura de um caminho parece ter desempenhado um papel importante no desenvolvimento do processo. Com efeito, o caminho que se situa imediatamente a montante da cicatriz do fluxo de detritos concentra no local, através de um dreno, parte das águas de escoamento superficial da bacia hidrográfica vizinha e da bacia já referida. Por outro lado, a construção de patamares agrícolas e de poços ao longo do talvegue do barranco constitui uma alteração das condições de drenagem interna e superficial que se revela importante para o desenvolvimento do movimento de

vertente.

9.4 - Factores climáticos.

Segundo testemunhas locais, no momento em que se desencadeou o fluxo não chovia. No entanto, nos dias anteriores, mais do que no próprio dia 27 de Dezembro, tinha chovido bastante. Com efeito, no mês de Dezembro de 1981, a precipitação atingiu um total de 527,5 mm, o que pode ser considerado um valor pouco habitual, já que apresenta um tempo de retorno de cerca de 15 anos. A análise da função de distribuição lognormal (que melhor ajustamento registou em relação ao valores empíricos mensais observados⁵⁰ indica que a probabilidade de ocorrência de precipitação mensal superior a 527,5 mm é de 6%, para Cavez (fig. C2-20).

No dia 27 de Dezembro de 1981 a precipitação registada em Cavez foi de 44,3 mm. Com base no estudo da função de distribuição de Gumbel⁵¹, este valor corresponde a um tempo de retorno de um ano, sendo de 90% a probabilidade de ocorrerem quantidades de precipitação superiores.

⁵⁰ Posto udométrico de Cavez. Período: 1932/1991.

⁵¹ Estudo cedido pela Direcção Geral dos Recursos Naturais-Divisão de Estudos Hidrológicos.

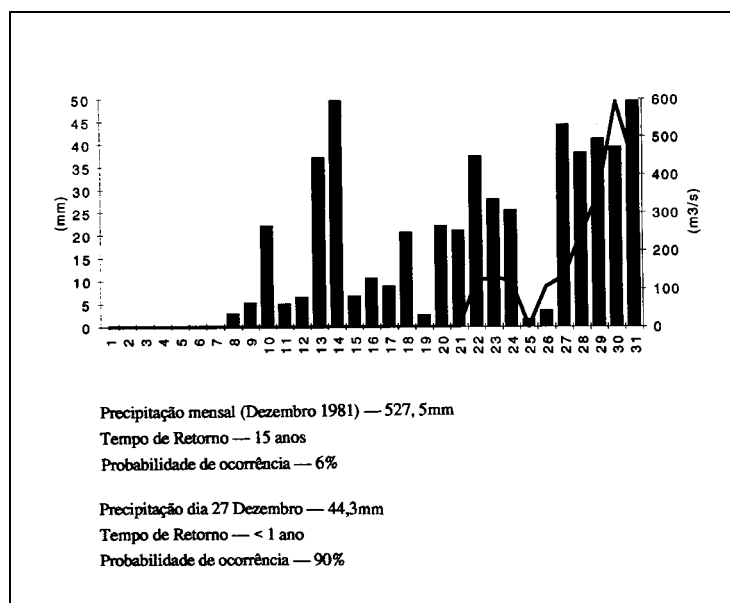


Fig. C2-20: Precipitação e caudais médios diários, em Cavez. As colunas representam os valores de precipitação e a linha os valores dos caudais.

Esta primeira abordagem leva-nos a pensar que os valores da precipitação diária não nos dão indicações significativas sobre a importância do episódio chuvoso para o desencadear do movimento de vertente nas horas imediatamente anteriores. Embora os valores mensais da precipitação em Cavez sejam elevados, a precipitação do dia 27 de Dezembro de 1981 corresponde a um valor frequentemente observado nesta área. Impunha-se, no entanto, uma análise da precipitação para períodos inferiores a 24 horas. Essa análise só é possível com recurso às estações meteorológicas de Braga ou Vila Real, que se encontram afastadas de Cavez várias dezenas de quilómetros.

Apesar de existir uma boa correlação entre os valores da precipitação mensal de Cavez e Braga ($r^2=0,96$), quando aplicámos o mesmo processo de análise aos dados diários da precipitação não foi possível obter uma tão boa correlação ($r^2=0,88$). Este facto revela que a comparação de valores de precipitação, quando referida a períodos de tempo muito curtos, é extremamente difícil de fazer, possibilitando algumas simplificações que

poderão ser abusivas. Por esse facto, optamos por não fazer as leituras dos valores de precipitações para períodos inferiores a um dia, já que as estações meteorológicas se encontravam demasiado afastadas de Cavez e qualquer comparação poderia induzir ao estabelecimento de correlações sem fundamento entre o tipo de precipitações ocorridas no dia 27 de Dezembro de 1981 em Braga ou Vila Real e o fluxo de detritos. A análise mais detalhada fica, de momento, em aberto, o que se traduz na dificuldade de correlacionar o fluxo de detritos com as condições climáticas subjacentes.

As limitações encontradas para proceder à análise dos valores da precipitação para períodos inferiores a 24 horas só poderão ser ultrapassadas com o estudo ao nível de outras estações do NW de Portugal⁵².

A ideia de que o fluxo de detritos ocorreu num período de precipitações muito intensas é dado quer pelos testemunhos no local, quer pela imprensa diária. No entanto, uma leitura mais cuidada da precipitação diária, revela que o valor referido (44,3 mm) é muito frequente nesta região, sendo que, para a função de distribuição de Gumbel, apresenta um tempo de retorno próximo de um ano. Por outro lado, se analisarmos as precipitações diárias ocorridas em Outubro, Novembro e Dezembro de 1981, verificamos que no dia 5 de Outubro tinham-se registado, em Cavez, 88 mm. Igualmente, em Dezembro tinham-se registado valores semelhantes ao do dia 27: no dia 13, 36.9 mm; no dia 14, 49.5 mm; no dia 22, 37.3 mm; no dia 29, 41.1 mm; no dia

⁵² A análise da intensidade de precipitação para períodos inferiores às 24 horas, para o NW português, torna-se tarefa importante, já que permitiria relacionar mais facilmente o estudo dos movimentos de vertente com as condições climáticas subjacentes. A leitura dos valores de precipitação para períodos inferiores a 24 horas, feita por Edite Velhas (1991), para a estação de Boa Nova (1968-1987), indica que as intensidades de precipitações para períodos de 5, 10, 15, 30, 60, 120 minutos e 6 horas são, respectivamente, de 5.9, 8.5, 10.9, 14.1, 17.4, 23, e 34.7 mm. O valor diário apresenta um tempo de retorno de 2 anos, sendo inferior à precipitação de 27.12.81, em Cavez (44,3 mm). Se a comparação permanece válida ao nível dos valores dos períodos inferiores a 24 horas, é provável que, em Cavez, as precipitações para estes períodos não tenham atingido valores muito elevados e que possam ser considerados anormais. No entanto, a distância entre Boa Nova e Cavez é suficiente para impôr grande prudência no tipo de conclusões a tirar.

30, 39.3 mm e no dia 31, 49.5 mm.

Nota-se, porém, que o mês de Dezembro foi um mês pluvioso (527.5 mm), com um tempo de retorno de 15 anos. Este facto justifica-se pela sucessão de dias de chuva com precipitações próximas dos 40 mm. Em Dezembro de 1981, antes do dia 27, verificava-se a existência de 20 dias seguidos com precipitação. Parece, portanto, que a ocorrência chuvosa prolongada é mais importante do que a intensidade de precipitação para a ocorrência de movimentos de vertente, aliás, à semelhança do que ocorre na região N de Lisboa (A. B. Ferreira, 1984 e A. B. Ferreira et al., 1987).

Parece confirmar-se a importância destas sequências chuvosas na saturação das formações superficiais e na dificuldade de drenagem, acrescida pelo elevado número de dias com precipitação. Ao contrário, as cheias rápidas que ocorreram em vários locais de Portugal parecem resultar de precipitações intensas e abundantes, mesmo sem que decorram sequências chuvosas prolongadas. Vários trabalhos publicados são testemunho desta ideia: em Coimbra, Lisboa, Monchique e Funchal, por F. Rebelo (1988); em Lisboa, por I. Amaral (1968) e S. F. Godinho (1975 e 1984); no Porto e arredores, por E. Velhas (1997); na Povoação, por F. Rebelo e A. G. Raposo (1988) e C. Bateira, J. Resende e F. Rebelo (1998), Atlântico oriental subtropical, por D. Brum Ferreira (1981 e 1985).

9.5 - Factores hídricos.

O estudo dos valores da precipitação revela-se importante para entendermos as características dos períodos chuvosos propícios à ocorrência deste tipo de movimentos de vertente. No entanto, a análise das condições de armazenamento e circulação da água no solo é determinante para o desencadear do movimento.

Dada a impossibilidade de proceder ao estudo da água no solo e das condições da sua circulação e armazenamento, socorremo-nos da técnica do cálculo do balanço hídrico diário e mensal⁵³ (fig. C2-21), assim como do estudo dos caudais diários da ribeira de Cavez, medidos em Ponte de Cavez (confluência com o Tâmega, junto a Cavez) (fig. C2-20).

Embora Novembro constitua um mês em que o solo cede água no sentido de repor o déficit hídrico, Dezembro é um mês em que, rapidamente, se reconstituem as reservas no solo. Com efeito, da análise do balanço hídrico para os valores diários, verifica-se que a partir do dia 13 já se tinha esgotado a capacidade de armazenamento de água no solo (fig. C2-21).

Considerando que toda a água que cai e que excede a evapotranspiração efectiva se infiltra, a partir do dia 13 de Dezembro de 1981 verifica-se um superavit hídrico, que a 27 do mesmo mês se saldava por 43.74 mm. Apesar dos declives muito acentuados na área onde ocorreu o fluxo de detritos, é provável que a infiltração domine sobre o escoamento à superfície, já que as vertentes estão organizadas em patamares agrícolas o que reduz consideravelmente a possibilidade de escoamento superficial. Depois do dia 13 e até ao dia 27 choveu todos os dias, sendo que 8 desses dias tiveram precipitações próximas dos 20 mm ou ultrapassaram largamente este valor. É, pois, provável que durante este período se tenha preenchido a capacidade de armazenamento de água nos solos.

⁵³ O cálculo da evapotranspiração potencial e efectiva foi feito segundo Thonsthaite, e considerou-se que o RU é de 200 mm.

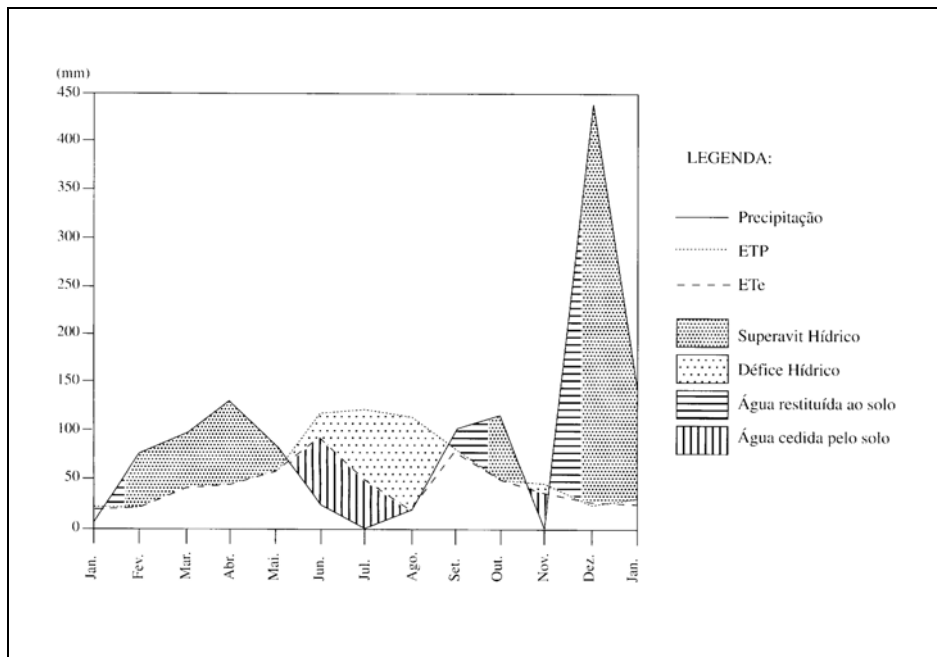


Fig. C2-21: Balanço hídrico sequencial mensal de Cavez (1981). Calculado com os valores das temperaturas da estação meteorológica de Braga.

A análise comparativa dos valores diários dos caudais médios da ribeira de Cavez e das precipitações diárias em Cavez permite-nos entender as relações entre escoamentos superficiais e fluxo interno ao nível de uma pequena bacia hidrográfica desta área, e por isso, com vertentes muito semelhantes do ponto de vista fisiográfico (fig. C2-20). Com efeito, a bacia hidrográfica da ribeira de Cavez apresenta declives muito acentuados e uma ocupação humana caracterizada por praticar uma agricultura em patamares agrícolas, sendo as partes mais abruptas ocupadas por incultos, floresta de pinheiro ou floresta mista de pinheiro e eucalipto. Com uma área de 30 km², perímetro de 35 km e um comprimento do rio principal de 15 km, esta bacia hidrográfica tem a forma alongada. A rede hidrográfica é muito pouco hierarquizada o que permite a ocorrência de picos de cheia com tempos de concentração relativamente pequenos.

Esta análise dos valores da precipitação e dos caudais, embora em termos relativos, revela que os picos de cheia não são muito significativos, se

forem precedidos de períodos secos (fig. C2-20). É o que aconteceu no dia 5 de Outubro em que as precipitações atingiram os 88 mm e o caudal foi de 73.1 m³/s⁵⁴. O mesmo ocorreu nos dias 13 e 14 de Dezembro, que registaram precipitações de 36.9 e 49.5 mm e os caudais medidos foram de 73.9 e 58.8, respectivamente. Verifica-se, assim, que não houve uma relação directa entre os valores da precipitação e dos caudais, pelo menos até ao dia 28 de Dezembro. Parece, portanto, que domina a infiltração e que grande parte da água infiltrada é retida preenchendo o déficit de humidade no solo, assim como a capacidade de libertação da água do solo é progressiva. Nestes períodos parece dominar largamente o fluxo interno ao nível das vertentes.

Até ao dia 27 de Dezembro de 1981 verificou-se uma subida progressiva dos caudais, com ligeiras oscilações, denunciando um contributo cada vez mais importante do fluxo interno saturado para o escoamento do ribeiro de Cavez, medido em Ponte de Cavez. A partir do dia 28 os caudais médios quase que duplicam de dia para dia, contrastando com o traçado da curva para os dias anteriores. Do dia 27 para o dia 28 verifica-se a incapacidade do solo infiltrar toda a água, já que o fluxo interno não se faz com a rapidez suficiente. Generaliza-se o escoamento superficial a grande parte da bacia, o que vai permitir o registo do caudal médio diário de 592 m³/s (dia 30 de Dezembro)⁵⁵. É no final do dia 27 (pelas 21 horas) que ocorreu o fluxo, o que deve ser considerado como o período mais provável de saturação total dos solos e começo do escoamento superficial ao nível das vertentes.

Apesar de estarmos na presença de solos com grande capacidade

⁵⁴ Valores cedidos pela Direcção Geral dos Recursos Naturais-Divisão de Estudos Hidrológicos.

⁵⁵ No dia 30 foi registado o valor de 711 m³/s para o caudal máximo instantâneo do mês de Dezembro.

de infiltração, o que condiz com a textura grosseira dos minerais constituintes do granito que origina o manto de alteração, a libertação que fazem, por fluxo interno, da água infiltrada é progressiva, retardando bastante os picos de cheia. Assim, foi necessária uma sucessão de 20 dias de chuva para proporcionar a saturação dos solos, a generalização do escoamento superficial e a ruptura dos materiais do fluxo de detritos.

9.6 - Conclusão.

Do estudo feito parecem ressaltar algumas conclusões que importa pôr em evidência:

- O vigoroso encaixe do rio Tâmega, facilitado pela densa fracturação, confere às suas vertentes um elevado declive, o que, só por si, é factor de instabilidade das vertentes.

- Embora os declives fortes não sejam propícios à infiltração das águas da chuva, o frequente arranjo das vertentes em patamares agrícolas permite criar boas condições à infiltração nos solos.

- Em áreas de substrato granítico, principalmente quando este tem características favoráveis ao desenvolvimento de mantos de alteração de textura grosseira, o fluxo interno torna-se mais fácil, o que diminui a probabilidade de saturação dos solos. Só assim se entende que, em Cavez, tenham decorrido cerca de 20 dias com precipitação para que se saturasse o solo e começasse o escoamento à superfície.

- No NW português, o ritmo das precipitações parece ser propício à ocorrência de episódios chuvosos prolongados e de precipitações abundantes, o que parece constituir um factor determinante para a compreensão da dinâmica actual do meio físico, especialmente no que se

refere ao estudo dos processos de evolução actual das vertentes.

- No NW, as ravinas e os barrancos apresentam, com frequência, escoamento superficial, mesmo na estação seca. Este facto resulta da importância do fluxo interno na hidrologia dos solos desta região. São, portanto, cursos de água que devem ser sujeitos a um cuidado especial no âmbito do ordenamento do território. Com frequência assiste-se à construção de infra-estruturas, habitações e poços para rega ou, tão somente, pratica-se a agricultura em patamares agrícolas, distorcendo-se de forma radical o canal de escoamento, local de convergência do fluxo interno, quando se transforma em fluxo superficial. Desta forma, impede-se que os solos sejam drenados, contribuindo gravemente para a sua saturação.

- No caso do fluxo de detritos de Cavez, a acção humana constituiu uma ajuda preciosa para o desencadear do processo. Um dos elementos mais activos foi a construção de um dreno que fazia o escoamento das águas do caminho para o local onde se deu o deslizamento dos materiais. Considerando que este local está a jusante da pequena bacia de recepção que constitui a cabeceira da ravina, verificou-se a concentração, no mesmo local, da drenagem superficial e interna, resultando na perda total de coesão dos materiais.

- A espessura do manto de alteração é muito pequena (aproximadamente 2m) não permitindo absorver grande parte da precipitação. O facto do granito ser muito próximo da superfície conduziu à saturação rápida da superfície de contacto com o manto de alteração, acabando por funcionar como plano de deslizamento.

10. O Fluxo de Detritos de Vila de Muros (Cinfães)

No dia 24 de Outubro de 1999, às 17 horas e 25 minutos, um movimento de terras destruiu ou provocou danos graves em 15 habitações, arrasou vários patamares agrícolas, provocando a destruição da produção agrícola de parte importante da população de Vila de Muros (Cinfães), no sopé Norte da Serra do Montemuro.

Já no início da década de 70 tinha ocorrido um processo semelhante que destruiu, na totalidade, o cemitério da aldeia e, cerca de 10 anos mais tarde, ocorreu a destruição de vários patamares agrícolas no sector norte.

Vila de Muros situa-se na margem esquerda do rio Bestança, afluente da margem sul do rio Douro, entre Cinfães e Resende. Neste sector, a bacia hidrográfica do Douro apresenta um encaixe muito forte, o que permitiu a construção da barragem de Carrapatelo, cuja albufeira se estende pela parte terminal do vale do rio Bestança.

A bacia hidrográfica do rio Bestança drena a vertente Norte do Montemuro e apresenta um vale de fractura profundamente encaixado, com direcção SE-NW (B. Ferreira, 1978). Desde as cabeceiras desta bacia hidrográfica que as vertentes se apresentam muito abruptas, com valores de declives muito elevados próximo da confluência com o rio Douro, onde as vertentes atingem os 700 m de desnível.

10.1 - Contexto morfológico.

Na margem esquerda do Bestança, a cerca de 5 km a SE de Cinfães situa-se Vila de Muros. Neste sector, a vertente da margem esquerda do Bestança tem uma altura de cerca de 750 m e apresenta declives que, em

geral, variam entre os 18° e os 35°. Os declives mais fracos correspondem a áreas muito restritas. Uma parte significativa das vertentes é ocupada por patamares agrícolas construídos em áreas cujos declives chegam a atingir os 25° (fig. C2.22 e fig. C2.23).

Esta vertente, que tem uma morfologia complexa com importantes rupturas de declive, pode ser dividida em três partes distintas. A parte superior apresenta declives médios, em geral inferiores a 20°, sendo possível observar áreas quase planas (pequenas rechãs). Na parte intermédia, os declives são fortes, variando entre 25° e mais de 35°, ao longo de cerca de 150 m. Na metade inferior da vertente os declives, variam entre os 18° e os 35°, quase não havendo áreas planas.

A localidade Vila de Muros situa-se na transição entre a parte intermédia e a metade inferior da vertente, onde o declive passa, de montante para jusante, de cerca de 34° para 22°.

Sensivelmente a meia vertente, na passagem entre a parte superior da vertente e a parte intermédia, situa-se a estrada que faz a ligação entre Cinfães e Castro Daire, atravessando a Serra de Montemuro (E.N. 321). Esta estrada percorre toda a margem esquerda do Bestança e, em Vila de Muros, situa-se a montante da localidade. Entre a estrada e Vila de Muros situa-se o referido sector intermédio da vertente com cerca de 150 m de altura e declives que variam entre os 25° e mais de 35°. É precisamente na parte superior deste sector da vertente que se localiza um dreno da E.N. 321.

A localidade de Vila de Muros é atravessada por um barranco que drena uma área significativa da vertente. Ao longo de toda a vertente é possível observar canalizações organizadas para desviar a água do barranco

para a rega dos patamares agrícolas e abastecimento doméstico. Algumas dessas canalizações foram destruídas pelo movimento ocorrido em Outubro de 1999.

Na parte superior da vertente, os declives são inferiores a 18°, sendo de destacar duas pequenas rechãs, a 700 e 800m de altitude. Esta parte da vertente situa-se a montante da referida estrada que intercepta o barranco que passa em Vila de Muros.

Desde Vila de Muros até ao Bestança a vertente está arranjada em patamares agrícolas. Estes coincidem com a área da vertente em que os declives são inferiores a 25°. Entre Vila de Muros e a E.N. 321 os patamares agrícolas são praticamente inexistentes dado os declives elevados (superior a 25°).

10.2 - Contexto estrutural.

Neste sector do vale do Bestança existem dois tipos de granitóides (fig. C2-22). Em Vila de Muros, só parte da metade superior da vertente é constituída pelo granito não porfiróide de grão fino. Na restante parte da vertente aflora o granito porfiróide de grão médio. Este afloramento constitui parte do topo e a metade inferior da vertente, onde ocorreu o movimento de 24 de Outubro de 1999 e se situa Vila de Muros.

Apesar dos fortes declives que constituem esta vertente, é possível verificar a existência de um manto de alteração espesso, que atinge, junto a Vila de Muros, uma espessura superior a 4 m. Próximo à E.N. 321 a espessura pouco ultrapassa um metro e vai crescendo à medida que nos aproximamos do fundo do vale do Bestança. Foi neste sector que se desencadeou a ruptura dos materiais que se deslocaram ao longo da vertente. Este manto de alteração apresenta-se com uma forte componente argilosa, sobretudo junto

do barranco que atravessa Vila de Muros, e tem cor negra, evidenciando uma forte evolução pedológica por infiltração de matéria orgânica resultante de práticas agrícolas seculares.

Junto a Vila de Muros, a jusante desta localidade, foi possível observar que existem blocos de granito deslocados ao longo da vertente. Com efeito, o manto de alteração parece ter sofrido movimentação. Esta deslocação terá tido as características de movimento de vertente, abrangendo uma estreita película do manto de alteração, sobretudo ao longo da parte superior do barranco de Vila de Muros. De facto, os blocos de granito, de dimensões variáveis (os de maiores dimensões atingem os 2 m), estão envoltos em matriz areno-argilosa que é constituída a expensas do manto de alteração evoluído pedologicamente, constituindo o solo agrícola, dominante na vertente.

De uma forma geral podemos dizer que a morfologia da vertente está ligada à espessura do manto de alteração. Na parte superior, o manto de alteração é pouco espesso, sendo maiores os afloramentos de granito que coincidem com o topo da vertente e com as rechãs. É neste sector que a acção erosiva terá exercido maior acção sobre o manto de alteração.

No sector intermédio, o manto de alteração apresenta-se pouco

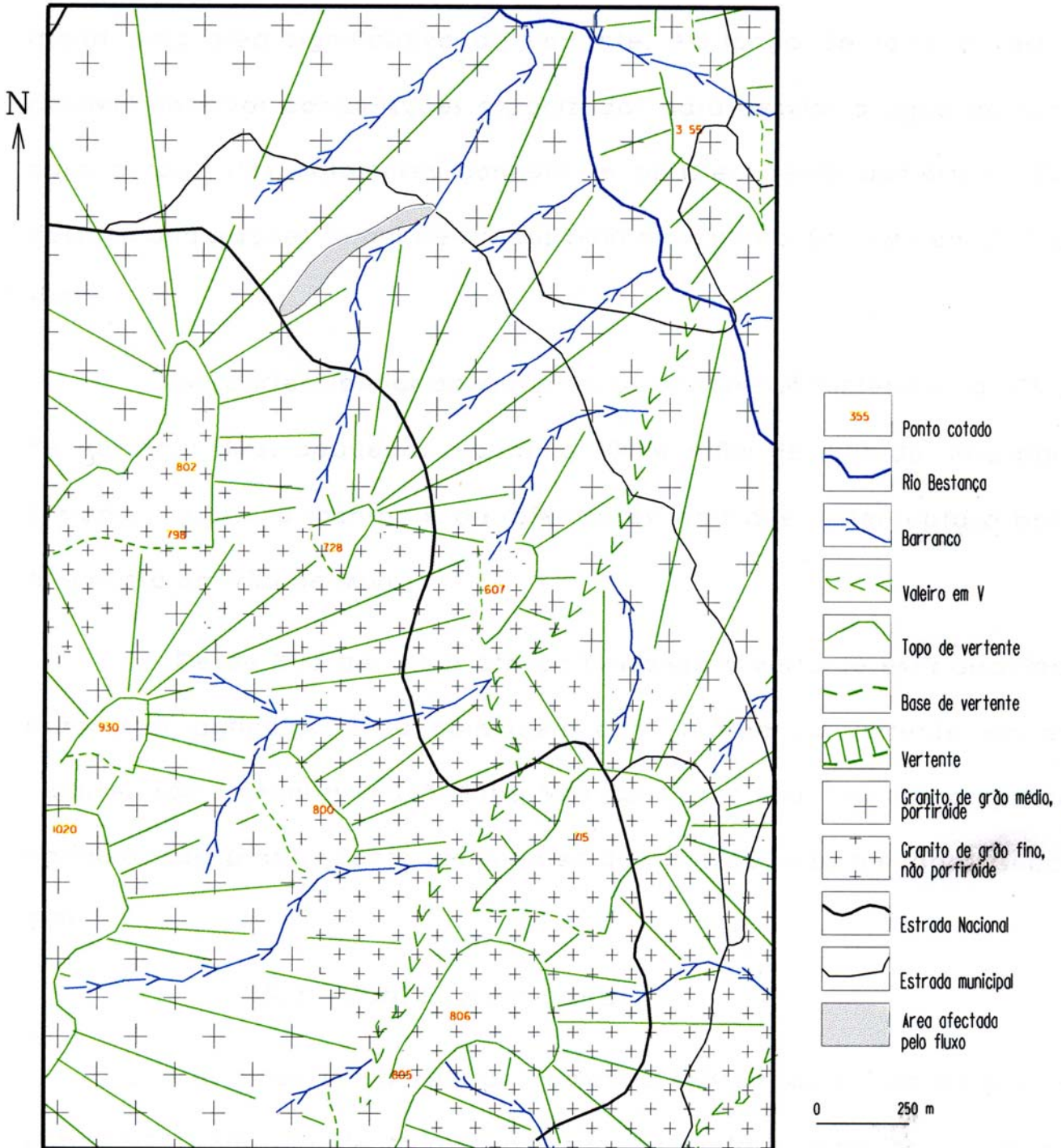


Fig. C2-22: Esboço geomorfológico de Vila de Muros (Cinfães).

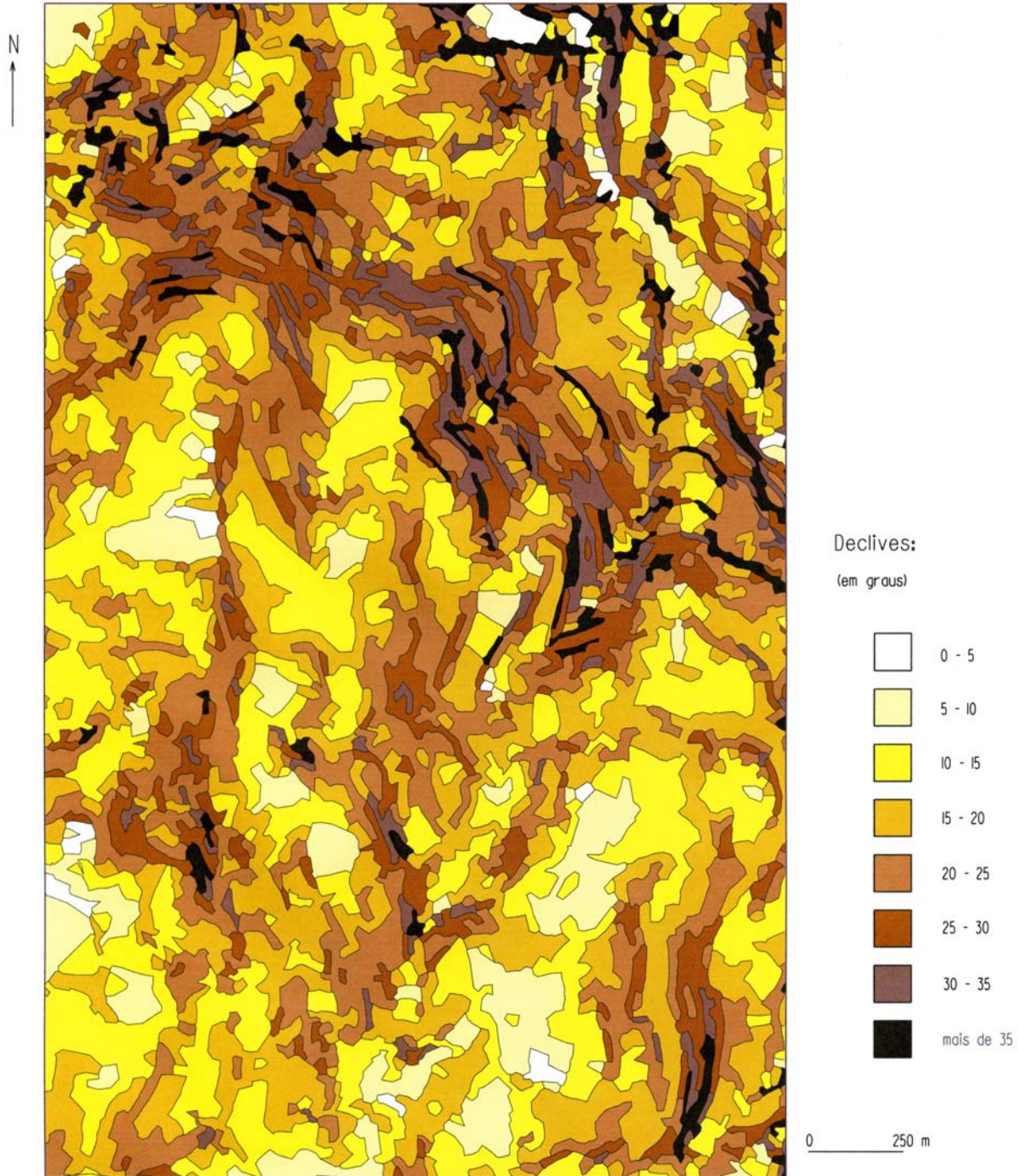


Fig. C2-23: Mapa de declives de Vila de Muros (Cinfães).

espesso, raramente ultrapassando 1,5 m. Apesar de se tratar de um sector muito íngreme, é possível verificar a sua conservação, facilitada pela cobertura vegetal aí existente.

Já na parte terminal do sector intermédio é possível verificar o aproveitamento da vertente em patamar agrícola, mas é todo o sector inferior que está totalmente transformado para esta produção. Tendo em atenção o declive, os patamares são estreitos e os muros de suporte são altos, em geral superiores a 2 m. Sendo esta a área de manto de alteração mais espesso, foi possível construir patamares agrícolas capazes de suportar uma produção agrícola pouco mais do que de subsistência.

10.3 - Dinâmica do movimento de vertente.

Os populares de Vila de Muros (cerca de 70 pessoas) descrevem o processo como sendo uma "derrocada de pedras e lama que se desprendera do cimo da encosta" e que em "alguns segundos destruiu tudo à sua passagem". Sempre que se aborda o acontecimento o acento é colocado em torno da velocidade do processo, do seu aspecto caótico e da heterometria dos materiais deslocados, fazendo referência, insistentemente, aos blocos e à quantidade de argila que os envolvia. Por outro lado, é ainda realçado o facto de a movimentação dos materiais se fazer próximo do barranco que atravessa Vila de Muros. No entanto, quase todo o percurso se faz ao longo da margem, destruindo casas e utilizando os caminhos da povoação. Dos testemunhos recolhidos há sempre a referência a um período de chuva persistente imediatamente anterior à ocorrência. Este tipo de referências são muito comuns e coincidem com vários processos de evolução de vertente tanto antigos como mais recentes. Quer na Povoação (C. Bateira et. al. 1998), Ribeira Quente (A. G. B. Raposo, 1998), em Cavez (C. Bateira, 1992) ou mais

recentemente em Frades⁵⁶.

O movimento ocorrido em Vila de Muros aparenta uma relação directa com o dreno da E.N. Este situa-se dois metros acima da cicatriz de arranque, imediatamente a jusante do talude de blocos que constitui o suporte da referida estrada. A disposição topográfica e a forma da cicatriz evidenciam uma relação directa de causa-efeito entre a drenagem ao longo da estrada e a ocorrência do movimento dos materiais.

A área de arranque desenvolveu-se na parte intermédia da vertente, onde os declives são superiores a 35°, e os materiais movimentados são constituídos pelos blocos de granito e pelo manto de alteração, que nesta área se apresenta pouco espesso. Na transição entre a parte intermédia e a parte inferior da vertente aparecem os primeiros patamares agrícolas que não suportaram o impacto e ruíram alimentando, em blocos, areias e argilas, a massa deslocada. Este processo erosivo desenvolve-se ao longo de praticamente toda a vertente, sendo progressivamente retardado com a destruição das primeiras casas que acabam por desviar os materiais pelos caminhos e patamares agrícolas até ao barranco, junto do caminho municipal que se situa a jusante de Vila de Muros. Aqui se depositou uma parte significativa dos materiais mais grosseiros, sendo que as areias e as argilas foram transportadas até ao rio Bestança.

10.4 - Condições hidro-climáticas.

O barranco que drena a vertente tem escoamento perene, constitui a origem de abastecimento de águas à população e permite a rega, por

⁵⁶ Já depois de escrito o texto deste trabalho ocorreram movimentos de vertente que afectaram extensas áreas do Norte de Portugal. Em Frades (Arcos de Valdevez) ocorreu um fluxo de detritos que destruiu várias casas e matou 4 pessoas. Também aqui as descrições dos populares coincidem com as de Vila de Muros (Cinfães).

escorrência, dos patamares agrícolas que são o principal recurso económico da aldeia. Toda a drenagem da vertente, na área aproveitada para a agricultura, é feita pelo sistema de rega tradicional, constituído por tanques que acumulam a água para posterior distribuição em pequenos canais. A manutenção deste sistema tem-se revelado muito útil no controle da infiltração da água e tem permitido evitar problemas de instabilidade dos patamares agrícolas. Deste modo, a água percorre os patamares, permitindo uma infiltração parcial, e, o que resta, escorre para o canal seguinte, sem que a infiltração de grandes quantidades provoque uma forte pressão sobre os muros de suporte, construídos de blocos de granito solto. Assim se explica como é possível manter durante décadas a estabilidade da vertentes, especialmente na área em que o manto de alteração é mais espesso, conduzindo à construção de patamares agrícolas altos.

Há, portanto, uma transferência de água do barranco para os patamares agrícolas próximos, o que ocorre de forma controlada, desenvolvendo-se predominantemente no verão, quando o manto de alteração se encontra menos saturado e tem maior capacidade de absorção de água. A montante desta área, na parte intermédia da vertente, não existe qualquer controle sobre o processo de escoamento e infiltração, uma vez que os declives muito fortes não facilitam o acesso e a utilização da vertente. Na parte superior da vertente a ocupação humana volta a intensificar-se, mas a construção de patamares agrícolas é limitada porque a espessura do manto de alteração é muito pequena.

A construção da estrada nacional (E.N.) constituiu a intervenção humana mais importante nesta parte da vertente. A repercussão desta infraestrutura na drenagem da vertente parece ser muito importante. Com efeito, a

drenagem da parte superior da vertente faz-se de forma quase natural até à estrada. Ao longo da estrada é concentrada e acaba por escoar para jusante através dos drenos que estão direccionados para a secção intermédia da vertente. Um desses drenos está orientado para a margem esquerda do barranco que drena a vertente em Vila de Muros. Desta forma, esta bacia hidrográfica vê significativamente alargada a sua área por efeito da estrada instalada na transição entre a secção superior e a secção intermédia da vertente.

No momento da ocorrência do movimento dos materiais as condições hídricas da vertente parecem terem-se aproximado da saturação. Não existem dados da precipitação no local que nos permitam analisar com segurança o estado de saturação do manto de alteração. Na serra da Aboboreira, 18 km a Norte, em linha recta, registaram-se os valores da precipitação, por períodos de 10 minutos (fig. C2-24).

Desde o dia 15 até ao dia 25 de Outubro registaram-se vários dias de precipitação embora os dias 21, 22 e 23 tenham sido particularmente chuvosos. Nesses dias, foram frequentes os períodos de 10 minutos em que a precipitação foi superior a 3 mm. Esta sequência chuvosa apresenta algumas particularidades que importa pôr em evidência. No dia 23, no intervalo das 18,30 às 19 horas registaram-se 5,4 mm de precipitação com uma intensidade de 10,7 mm/h e no intervalo das 23,50 às 24 horas ocorreram 2,6 mm com intensidade de 97 mm/h. Já na noite do dia 24 no intervalo da 1,50 às 2 horas registaram-se 2 mm de precipitação com uma intensidade de 76 mm/hora.

Ao longo desta sequência chuvosa é possível verificar que, mesmo para um período de 10 minutos, as quantidades de precipitação registadas são muito variáveis e as intensidades de precipitação mais elevadas não

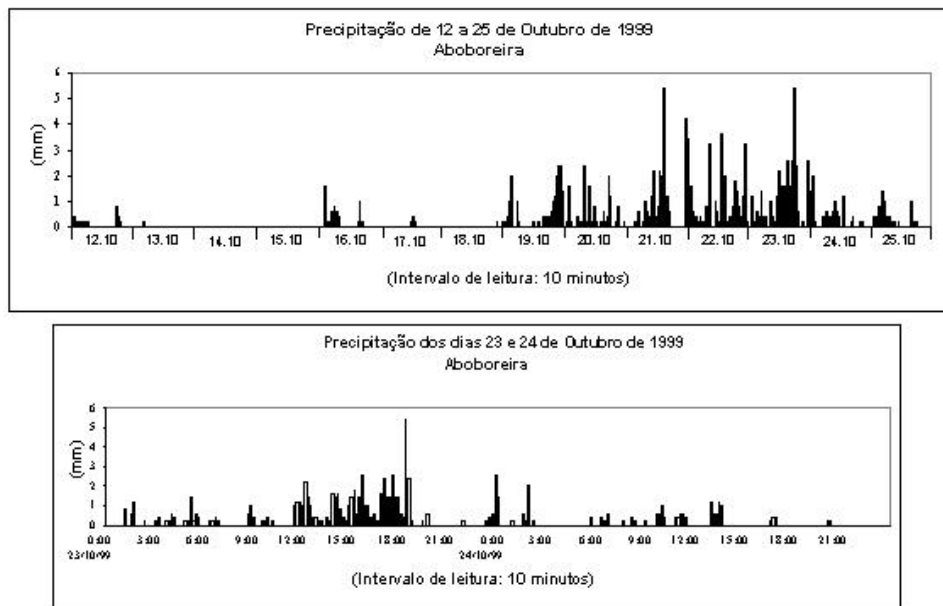


Fig. C2-24: Valores da precipitação registada na Aboboreira.

correspondem aos períodos mais chuvosos. Por outro lado, no dia 24, na Aboboreira, as precipitações foram significativamente inferiores aos dias anteriores. Há, no entanto, uma ressalva a fazer. O facto de os registos da precipitação se fazerem a cerca de 18 Km a norte de Vila de Muros pode ser um factor importante para explicar o desfasamento horário entre os valores de precipitação mais elevados e o momento da ocorrência. No estudo do fluxo de detritos do Covelo do Geres foi possível verificar que, para o mesmo episódio chuvoso, postos hidrométricos com distâncias de 3 a 6 km em linha recta, registavam diferenças horárias significativas (ponto 7, cap. C2) Mas esse desfasamento também ocorreu no fluxo de detritos de Cavez. Neste caso, o pico de cheia da ribeira de Cavez ocorre no mesmo dia do fluxo⁵⁷.

⁵⁷ Nos registos de Cavez o intervalo de leitura é diário, mas isso não impede de verificar que a quantidade de precipitação dos dias anteriores é substancialmente superior ao do dia da ocorrência do fluxo de detritos. Recorda-se que, em Cavez, a saturação dos solos só se verificou ao fim de alguns dias de precipitação, sendo esse o dado mais importante para o desencadeamento de todo o processo de movimentação dos materiais ao longo da vertente. De facto, o pico de cheia da ribeira de Cavez só se verificou no dia da ocorrência do fluxo, sendo impossível verificar, pelos dados disponíveis, qual o momento preciso. No entanto, os testemunhos das pessoas afirmam que no momento do fluxo praticamente não chovia (ponto 9).

A falta de coincidência dos períodos de precipitação mais intensa e, em maior quantidade, com o momento de ocorrência do fluxo de detritos, parece ser o reflexo da saturação progressiva do manto de alteração, que apesar da sua capacidade de drenagem subsuperficial, a partir de determinado momento, não comporta um acréscimo, por pequeno que seja, de novas quantidades de precipitação.

10.5 - Aspectos morfológicos e estruturais do movimento do fluxo.

A cicatriz constitui um dos aspectos morfológicos mais significativos. Esta apresenta uma incisão principal na vertente que raramente ultrapassa 1,5 metros de altura. No topo apresenta-se estreita, de largura próxima dos 4 m, alargando-se significativamente para jusante, e atingindo rapidamente a dezena de metros. O plano de deslizamento situa-se a cerca de 1,5 m de profundidade da superfície topográfica original coincidindo com o afloramento de granito de grão médio, porfiróide. Nesta área, o manto de alteração foi totalmente erodido e a disposição dos planos de diaclasamento é conforme à inclinação da superfície topográfica. A cicatriz de arranque está imediatamente a jusante de um dreno da E.N. com 80 cm de diâmetro. Este dreno está assente sobre um pequeno talude, constituído por blocos de granito, que serve de suporte à referida estrada.

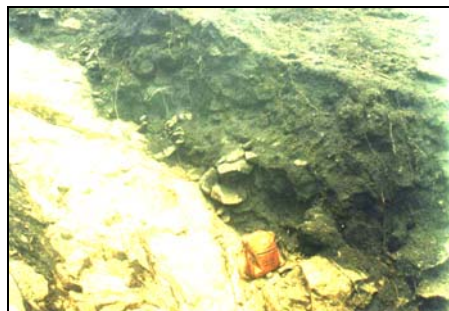
Imediatamente a jusante da cicatriz de arranque desenvolveu-se um canal de transporte de materiais de largura variável (entre os 6 m e os 8 m), cujo fundo é constituído pelos afloramentos graníticos. Ao longo deste canal é possível verificar uma cicatriz lateral, de profundidade variável entre 1 m e 1,5 m. Esta cicatriz forma-se a expensas de materiais heterométricos. Estes materiais constituem a matriz de um depósito de vertente onde se nota a

presença de blocos de granito de dimensões variáveis. Embora as observações no terreno não tenham permitido identificar o tipo de depósito de vertente, é possível perceber que estes materiais já não se encontram na sua posição original, sobrepondo-se directamente ao substrato rochoso e constituindo uma descontinuidade que serviu de plano de ruptura aos materiais movimentados (fots. C2.24, C2.25 e C2,26).

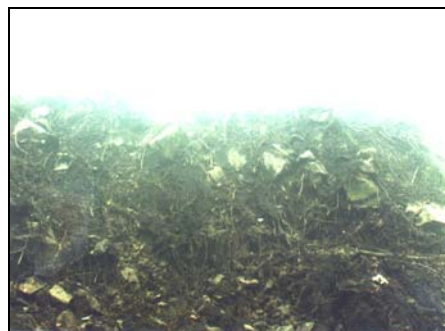
Ainda antes das primeiras habitações terem sido atingidas pelo movimento, desenvolveu-se uma área de deposição parcial dos materiais movimentados. Neste sector, há a deposição de grandes massas de materiais, com especial realce para os blocos cujas dimensões são variadas (desde alguns decímetros até cerca de 2 m) e a grande quantidade de matriz argilo-arenosa. Parece que parte dos materiais se depositou nesta área, ao passo que a restante parte se movimentou para jusante, atingindo as casas.

Ainda entre esta área de acumulação e as primeiras casas destruídas desenvolve-se um novo canal de erosão, estreito (de cerca de 4 m) cuja profundidade se aproxima dos 2 m. Ao longo desta canal pode ser observada a grande fracturação do granito, o que contribuiu para a alimentação da massa movimentada, por calhaus e blocos de granito.

Na aldeia de Vila de Muros desenvolveu-se a área de acumulação mais importante. As primeiras casas foram totalmente arrasadas em conjunto com alguns patamares agrícolas (fot. C2.27). De seguida, várias outras foram semi-destruídas, contribuindo para o desvio do movimento dos materiais ao longo dos caminhos da aldeia. Na parte superior da aldeia a destruição foi maior e processou-se a maior acumulação dos materiais. Só os materiais mais finos e de mais fácil transporte puderam ser transportados para mais longe, atravessando toda a aldeia, galgando patamares agrícolas, percorrendo



Fot. C2-24: Cicatriz lateral secundária do fluxo de detritos de Vila de Muros (Cinfães).



Fot. C2-25: Área de acumulação intermédia, na secção intermédia da vertente de Vila de Muros.

caminhos, invadindo casas e atingindo o rio Bestança. Neste percurso, o poder erosivo do processo é consideravelmente diminuto, resumindo-se à destruição de várias culturas agrícolas e jardins de habitações de férias. É também no percurso feito ao longo da aldeia que se verificou a convergência dos materiais com o barranco que passa em Vila de Muros. A partir daqui, o transporte faz-se ao longo do barranco, adquirindo as características de um escoamento torrencial. Também aqui são evidentes as semelhanças com o tipo de processos desenvolvidos na bacia da Povoação (Açores)(C. Bateira et al., 1998).



Fot. C2-26: Canal de erosão do fluxo de detritos de Vila de Muros, Cinfães.



Fot. C2-27: Casa semi-destruída pelo fluxo de detritos de Vila de Muros (Cinfães). Parte significativa dos materiais do fluxo já foi removida por máquinas.

As condições morfo-estruturais e a intervenção humana observadas na vertente do Bestança, em Vila de Muros, parecem ser determinantes na saturação do manto de alteração. Com a precipitação e drenagem da vertente processou-se a infiltração ao longo do manto de alteração. Sendo este constituído a expensas do granito porfiróide de grão médio, a capacidade de infiltração mantém-se elevada, tal como a sua capacidade de drenagem e escoamento interno. No entanto, a infiltração processou-se ao longo do manto de alteração até que encontrou o granito são, sendo que a frente de alteração apresenta uma inclinação conforme ao declive da vertente. A jusante do referido dreno o granito são está somente a 1,5 m de profundidade. A infiltração foi bloqueada no contacto entre o manto de alteração e o granito muito pouco alterado. Desenvolve-se um plano de acumulação da água que constitui um lubrificante capaz de reduzir as forças de atrito e a corresponde sobreposição das forças tangenciais, desenvolvendo-se o movimento ao longo das vertentes.

10.6 - Dinâmica de vertente e acção humana.

A saturação rápida do plano de descontinuidade entre o manto de alteração e a rocha sã foi facilitada pela drenagem das águas da E.N. 231. Mesmo depois da precipitação ter terminado, foi possível a saturação do plano de deslizamento já que o referido dreno continuou a promover o escoamento de toda a área da vertente que se situa a montante. Todo o escoamento interno que se transforma em escoamento superficial na parte a montante vai constituir sobrecarga de infiltração na vertente de Vila de Muros, no local da cicatriz do fluxo. A este factor associa-se a fraca capacidade de armazenamento do manto de alteração, dada a sua fraca espessura. Ainda por esta razão, a superfície de descontinuidade entre o manto de alteração e

o granito são está muito próxima da superfície, conduzindo à rápida saturação do plano de deslizamento uma vez que o granito, quando são, é uma rocha pouco permeável, constituindo-se como importante barreira ao processo de infiltração.

À semelhança do que ocorreu em Cavez, a pequena espessura do manto de alteração, associada à presença de rocha são pouco permeável a pequena profundidade, parece determinar a saturação dos planos de descontinuidade. O facto destes planos se apresentarem conformes à inclinação da superfície topográfica parece constituir um quadro propício ao desencadear de processos de evolução de vertente rápidos.

Em ambos os casos estudados, as condições morfo-estruturais permitem reunir as condições naturais para o desenvolvimento dos movimentos de vertente. No entanto, é a intervenção humana que contribui com o último elemento capaz de transformar o processo de escoamento em vertente em equilíbrio num processo de escoamento capaz de promover a movimentação dos materiais nessa vertente.

A água que foi drenada da área a montante da estrada contribuiu para a saturação total do manto de alteração e provocou a ruptura dos materiais com a sobreposição das forças tangenciais em relação às forças de atrito. A rápida saturação dos materiais do manto de alteração que estavam em contacto com a rocha pouco alterada permitiu a sua liquefacção e o desenvolvimento do movimento ao longo da vertente. A infiltração processou-se ao longo do depósito de vertente, mas ficou bloqueada no contacto com o granito. Desenvolveu-se um plano de acumulação de água que constituiu um lubrificante capaz de reduzir as forças de atrito e a correspondente sobreposição das forças tangenciais, com o desenvolvimento das

movimentações ao longo da vertente.

Capítulo C3 –Factores geográficos de ocorrência de movimentos de vertente. Síntese final.

O estudo dos vários exemplos de movimentos de vertente apresentados no capítulo anterior permite estabelecer a primeira sistematização sobre os factores geográficos que influem directa ou indirectamente no seu desenvolvimento. Alguns dos casos estudados colocam directamente a questão da relação da acção humana com o meio físico. Em Cavez, Vila de Muros (Cinfães) ou mesmo em Covelo do Gerês atribui-se à intervenção humana um dos factores importantes para o desenvolvimento dos movimentos. Nem sempre é clara a distinção entre factores naturais e factores antrópicos que contribuem para a ocorrência de movimentos de vertente. A presença do homem surge, frequentemente, como elemento que é vulnerável à dinâmica do meio físico (perdas de vidas ou casas e infraestruturas destruídas), mas também como agente que promove a dinâmica geomorfológica indutora de risco. Esta noção torna-se cada vez mais clara quando procuramos as condições geográficas de ocorrência da dinâmica do meio físico, nomeadamente quanto à evolução de vertentes e aos movimentos de vertentes.

Os factores de ocorrência de movimentos de vertente podem, portanto, ser divididos em dois grandes grupos: naturais e antrópicos (quadro C3-1). A divisão entre estes dois tipos de factores é artificial, já que, a incidência das actividades humanas se faz sobre o meio físico, o que conduz à

existência de uma interligação entre eles. Em áreas de forte presença do homem é difícil de entender o que resulta de uma intervenção exclusivamente natural ou antrópica. Uma vertente pode ter boas condições de estabilidade, apesar do seu substrato rochoso ter uma forte componente argilosa, se o declives forem fracos. No entanto, a trepidação contínua, provocada por tráfego de pesados, pode acelerar a ocorrência de movimentos de vertente. Se a componente argilosa é determinante para o desenvolvimento do movimento de vertente, não deixa de ser importante a acção humana, como factor de desestabilização da vertente.

Com este exemplo pretende-se, não só mostrar a interdependência entre a dinâmica natural e acção humana. Difícilmente se poderá proceder à cartografia dos riscos naturais se ignorarmos a importância do factor antrópico sobre a dinâmica do meio físico. Essa interdependência é muito importante, ou mesmo determinante nas áreas urbanas e periurbanas, onde as condições de ocorrência de processos geomorfológicos de evolução de vertentes são grandemente influenciadas pelo homem.

No quadro C3-1 tentamos sintetizar algumas das condições básicas, quer naturais quer humanas, da ocorrência de movimentos de vertente. De entre os factores naturais podemos realçar os estruturais, hidrológicos, as formações superficiais, as formações vegetais e ocupação do solo e, evidentemente, os processos geomorfológicos. Nos factores de ordem antrópica, que são determinantes para a ocorrência de movimentos de vertente, salientou-se o conjunto de acções humanas que podem ter influência directa ou indirecta sobre os aspectos estruturais, morfológicos, hidrológicos, formações superficiais ou, ainda, intervenções directas na dinâmica do meio físico. Como facilmente se entende, a dinâmica de

MEIO FÍSICO

Natural		Antrópico		
<p><u>Estrutura</u> (litologia e tectónica) ☒ formações litológicas de forte componente argilosa ☒ alternância de vários tipos litológicos ☒ formações permeáveis sobrepondo formações impermeáveis ☒ pendores dos planos de sedimentação ou xistosidade conformes ao declive da vertente ☒ áreas de forte diaclasamento ou fracturação ☒ falhas e fracturas sensíveis a sismos</p>	<p><u>Formações superficiais</u> ☒ formações com componente argilosa potencialmente instável ☒ estrutura dos depósitos de vertente</p> <p><u>Hidrologia</u> ☒ áreas de forte infiltração a montante das roturas de declive ☒ concentração de drenagem ☒ obstáculos ao escoamento superficial ☒ subida dos níveis freáticos por inundação</p> <p><u>Formações vegetais e ocupação do solo</u> ☒ tipo de formação vegetal ☒ ocupação dos solos ☒ arranjo das vertentes</p>	<p><u>Geomorfologia</u> ☒ declives fortes ☒ forte encaixe da rede hidrográfica ☒ abruptos rochosos ☒ trabalho de sapa na base das vertentes ☒ rebordos de erosão ☒ bacias de recepção em vertentes de grande dimensão ☒ roturas de declive no sentido da convexidade ☒ variações morfológicas resultantes de contrastes litológicos ☒ movimentos de massa não estabilizados ☒ tors de vertente ☒ vertentes côncavas</p>	<p><u>Estrutura</u> ☒ explosões em pedreiras ou em edificações várias ☒ actividade mineira</p> <p><u>Formações superficiais</u> ☒ aterros ☒ desaterros ☒ lixeiras ☒ resíduos de explorações de pedreiras</p> <p><u>Morfologia</u> ☒ abruptos rochosos de origem antrópica ☒ taludes artificiais ☒ terraplanagens ☒ estruturas pesadas em aterros mal consolidados ☒ abertura de túneis ☒ relevos resultantes da acumulação de detritos</p>	<p><u>Hidrologia</u> ☒ drenos degradados ☒ concentração da drenagem para caminhos, estradas, aceiros, quebra fogos,... ☒ escoamento de águas residuais no topo das vertentes ☒ alteração da configuração das bacias hidrográficas ☒ impermeabilização de rechãs ou níveis de aplanamento ☒ infiltrações promovidas por obras de terraplanagem ☒ transferência de água entre bacias hidrográficas de pequena dimensão</p> <p><u>Ação humana</u> ☒ abalos promovidos pelo trânsito de pesados ☒ modificações na quantidade de água infiltrada ☒ incêndios florestais ☒ trabalho de sapa promovido por descargas de água nas barragens ☒ concentração do escoamento por construção ☒ explosões</p>

CONDIÇÕES NATURAIS DA DINÂMICA DE VERTENTES

CONDIÇÕES ANTRÓPICAS DA DINÂMICA DE VERTENTES

Condições naturais e antrópicas da dinâmica de vertentes

Quadro C3-1: Factores que influem nas condições naturais e antrópicas da dinâmica de vertentes.

vertentes não pode ser entendida como duas componentes isoladas: dinâmica natural e acção humana. A divisão aparece-nos como uma metodologia de trabalho e de organização da informação.

Nesta exposição, realçamos a importância que os estudos de geomorfologia poderão ter na avaliação e prevenção dos riscos naturais ou "pseudo-naturais", devendo constituir um elemento importante para o planeamento físico e ordenamento do território.

Para avaliarmos essa probabilidade, temos necessariamente de fazer o levantamento das causas dessa instabilidade, ou seja, de todo o conjunto de factores de ordem natural e antrópica que a promovem e também dos seus efeitos, ou seja, a forma e processos passados e actuais.

Resumindo, só uma análise integrada dos factores naturais e antrópicos a que se associa um estudo de dinâmica geomorfológica, poderá permitir a definição da probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente e da vulnerabilidade de uma dada área, perante a acção humana. Desta análise conjugada, será possível a obtenção de documentos síntese, que permitam esclarecer as condições específicas da instabilidade geomorfológica passada, presente e futura. Permitindo a definição de áreas de risco geomorfológico, estes documentos serão um instrumento essencial à tomada de decisões por parte das entidades envolvidas no planeamento e ordenamento do território, visando regulamentar os impactes ambientais de forma a poder existir uma efectiva prevenção dos riscos.

1. Factores de ordem hidroclimática.

Apesar dos estudos que temos vindo a desenvolver sobre esta

questão terem um pendor fortemente geomorfológico, é óbvio que não podíamos esquecer os factores de ordem hidroclimática, para explicar a ocorrência dos movimentos de vertente.

Aliás, é impossível ignorar a forte ligação que existe entre a ocorrência destes processos e os episódios chuvosos, que podemos mesmo considerar o factor de desencadeamento, aquele que vai despertar, num determinado momento, o conjunto de todos os outros factores de risco.

Com efeito, qualquer que seja o movimento em causa (deslizamento, fluxo de detritos, queda de blocos, etc.), ele ocorre quase sempre na sequência de períodos de precipitação abundante e/ou prolongada.

E podemos ilustrar esta afirmação lembrando alguns dos exemplos:

— O fluxo de detritos de Cavez, verificou-se no dia 27 de Dezembro de 1981. Consultando os valores de precipitação relativos a este mês⁵⁸, verificamos que foi atingido um total de 527,5mm, valor pouco habitual nesta área, que equivale a um tempo de retorno de 15 anos e uma probabilidade de ocorrência, segundo análise da distribuição lognormal, de 6%. Recorrendo agora aos dados de precipitação diária, assinalam-se valores importantes a partir do dia 13, que se mantêm, com algumas flutuações, até final do mês. Há, contudo, que realçar os dias secos no início do mês (até ao dia 7). Eles permitiram uma boa drenagem da água do manto de alteração, o que contribuiu para que, apesar da forte precipitação dos dias 10, 13 e 14, os caudais médios diários não sofram alteração significativa.

— No caso de Covelo do Gerês o panorama é semelhante, embora

⁵⁸ O episódio chuvoso começou no dia 8 e prolonga-se para além do dia 27 de Dezembro.

com valores mais elevados. O mês de Fevereiro de 1966 registou uma precipitação total de 856.6mm, contrapondo-se a valores médios mensais de 294.8mm. De igual modo, a partir do dia 8 assinalam-se precipitações diárias significativas, chegando a ultrapassar os 95 mm. Por outro lado, é fundamental referir que, apesar da dependência que existe entre a intensidade da precipitação e a ocorrência dos movimentos, alguns elementos levam-nos a pensar que mais importante do que a intensidade é o prolongamento, no tempo, dos episódios chuvosos. Ou seja, os valores da precipitação diária ou mensal analisados isoladamente, não nos dão indicações significativas sobre a sua importância no desencadear dos movimentos de vertente: é mais importante uma chuva persistente ao longo de vários dias. E pode mesmo verificar-se um desfasamento temporal entre o máximo de precipitação e o momento em que ocorreu o movimento. E tal está com certeza associado às condições de infiltração, circulação e capacidade de armazenamento de água no solo. No dia em que ocorreu o fluxo de detritos de Cavez, registaram-se 44.33 mm de chuva, valor que apresenta um tempo de retorno inferior a um ano, sendo de 90% a probabilidade de ocorrerem precipitações superiores. Aliás, embora pouco significativo, é de referir que no momento em que ocorreu o fluxo não chovia.

Por outro lado e como já salientámos, a partir do dia 8 de Dezembro iniciou-se uma sequência chuvosa que se manteve até final do mês, definindo-se quantitativos importantes nos dias 13, 14, 22, 23 e 24. No período compreendido entre os dias 15 e 21, a intensidade de precipitação sofreu oscilações importantes, diminuindo até aos 2.5mm; nos dois dias anteriores ao movimento seguiu esquema semelhante, com valores, respectivamente, de 1.5 e 3.5mm. Só a partir do dia 27 se retomam quantitativos superiores a 40mm.

Por que motivo o movimento não se processou antes do dia 27, se, por exemplo, no dia 14 foi observado o valor máximo de precipitação? Porquê este desfasamento?

Pensamos que tal está associado precisamente à capacidade de infiltração, circulação e armazenamento de água no solo. Na altura, não nos foi possível fazer uma avaliação quantitativa destas variáveis através de métodos directos. Recorremos, por isso, ao cálculo do balanço hídrico diário e mensal e ao estudo dos caudais da Rib^a de Cavez, o que nos permitiu ter uma ideia sobre o período em que se esgotou a capacidade de infiltração e armazenamento da água no solo passando a alimentar directamente o escoamento superficial, o que se traduziria pelo aumento do caudal da referida ribeira (C. Bateira e L. Soares, 1992).

Pelo cálculo do balanço hídrico, já no dia 13 estaria esgotada a capacidade de armazenamento de água no solo. Com efeito, é nesta data que se regista um superavit hídrico que atinge, no dia 27, os 43.74mm. Poderíamos pois pensar que já nesta altura estariam reunidas as condições para o desencadear do fluxo. Mas, como é óbvio, este não foi o único factor que contribuiu para o movimento. E, por outro lado, o arranjo da vertente em socalcos favorece a infiltração, retardando os escoamentos superficiais.

Considerando que após o dia 13 choveu ininterruptamente, é provável que a saturação efectiva dos solos só se tenha verificado numa data muito próxima do dia 27. Até essa altura, teríamos um eficaz processo de infiltração ajudado pelo próprio arranjo da vertente e pela textura grosseira do solo, contribuindo igualmente para o domínio do fluxo interno sobre o escoamento superficial.

Será que a análise dos caudais nos pode ajudar na comprovação desta hipótese?

Se analisarmos o gráfico que relaciona a precipitação do mês de Dezembro com os caudais registados neste mesmo período na Rib^a de Cavez, talvez seja possível fazer algumas observações importantes e confirmativas (capítulo C2).

Note-se que até ao dia 27 de Dezembro, não há uma relação directa entre os valores de precipitação e os caudais. Embora estes registem uma subida progressiva apenas com ligeiras oscilações, só a partir do dia 27 e principalmente 28, é que estes apresentam uma subida abrupta, quase duplicando de dia para dia.

Poderíamos pois dizer que, até à data referida, dominou a infiltração e circulação de água no solo, prevalecendo o fluxo interno na alimentação da Rib^a de Cavez. Por isso, os seus caudais aumentaram gradualmente. A partir do dia 27, a relação entre precipitação e caudais traduz-se por picos semelhantes, o que significa uma generalização do escoamento superficial, por se ter esgotado a capacidade de infiltração, armazenamento e circulação de água no interior do solo, segundo o modelo de escoamento interno saturado (M. J. Selby, 1982).

Foi assim necessária uma sucessão de 20 dias de chuva para proporcionar a saturação dos solos e a generalização do escoamento superficial, que favorecendo a ruptura dos materiais.

— No caso de Covelo do Gerês (capítulo C2), e abreviando, podemos também verificar que os dias em que ocorreram as principais movimentações (16, 17 e 18 de Fevereiro) registaram

valores da precipitação inferiores aos que ocorreram anteriormente, denunciando o desfasamento inicialmente focado. Desde meados de Janeiro e até final de Fevereiro, há uma sequência de chuvas abundantes e sobretudo persistentes, reafirmando a importância da duração sobre a intensidade dos períodos chuvosos no desencadear dos movimentos de vertente.

Note-se que o início das movimentações (dia 10 de Fevereiro) coincide praticamente com o ponto em que o valor da precipitação diária acumulada atinge um valor próximo dos 1200 mm. É provável que tal corresponda ao momento em que se verificou um esgotamento da capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo, que, excedendo um dado limiar, provocou a ruptura dos materiais.

Mas, como já referimos, esta ruptura foi totalmente diferente da de Cavez processando-se por etapas, talvez devido às características morfológicas e litológicas da área.

No dia 10, como vimos atrás, deu-se a primeira movimentação, colocando de sobreaviso os habitantes. Verificou-se próximo das casas, a jusante da estrada que ligava Paradela a Covelo, mas foi de pequena dimensão. Só no dia 16 se torna a verificar nova movimentação, a mais importante de todas, responsável pela destruição de 8 casas e pela derrocada da estrada referida. Seguem-se, nos dias 17 e 18, novas ocorrências, mais pequenas, até que no dia 22 é registada a última movimentação.

Destes elementos, é importante notar o seguinte:

— o movimento desenvolveu-se de jusante para montante, por um processo de retrogressão;

— o primeiro movimento, que surge após prolongada sequência chuvosa, veio pôr em causa a estabilidade da vertente ao retirar-lhe material de suporte;

— entre este e o segundo movimento, decorreram 5 dias de aparente estabilidade em que a chuva persistiu, embora com menor intensidade;

— o movimento do dia 22 verifica-se após 3 dias de chuvas importantes.

Parece-nos que uma vez abalada a estabilidade das vertentes, é possível que os processos geomorfológicos se possam desenvolver com maior facilidade, desde que se verifique persistência das precipitações. Ou seja, atingido um novo ponto de equilíbrio, só a repetição de precipitações abundantes permite o desencadear de novo movimento.

No entanto, a discussão sobre a relação entre episódios chuvosos e movimentos de vertente apresenta várias limitações. De todos os casos analisados só em Cavez existe proximidade entre o movimento e o local onde foram registados os dados da precipitação. Esta facilidade de análise é contrabalançada pelo facto do intervalo de registo dos dados de precipitação ser de 24 horas. Sabemos que, no momento do fluxo, não chovia, mas ficamos sem saber quanto tempo decorreu entre o episódio chuvoso e o início do movimento dos materiais na vertente. Sabemos, no entanto, que o início do acréscimo dos caudais na rib^a de Cavez coincide com o dia 27 de Dezembro, dia em que ocorreu o fluxo. Fica a interrogação: quanto tempo foi necessário decorrer entre o episódio chuvoso e o movimento na vertente? Quanto tempo foi necessário para a saturação do plano de

deslizamento?

Em Vila de Muros (Cinfães) recorremos aos valores de precipitação registados na Aboboreira, 18 km a Norte, em linha recta. Estes valores correspondem a períodos de registo de 10 minutos, o que permite concluir que, algumas horas antes do movimento de vertente já não havia precipitação que justificasse a ocorrência. Antes das 15 horas tinha ocorrido o último episódio chuvoso e às 17,25 horas aconteceu o fluxo. A que se deve este intervalo de tempo? Há duas explicações possíveis. A primeira remete-nos para a distância de Vila de Muros em relação ao local dos registos dos valores da precipitação. Será que a 18 km a Norte os episódios chuvosos ocorrem em simultâneo? A distância entre os dois pontos justifica a diferença de mais de duas horas entre a precipitação e o desenvolvimentos do movimento de vertente? Parece-nos insuficiente.

O tempo que decorre entre a precipitação e o movimento de vertente corresponde ao período de tempo necessário à infiltração e movimentação da água por fluxo interno, até que, seja saturado o plano de ruptura. Quer em Cavez, quer em Vila de Muros, a drenagem da parte superior da vertente processou-se, a montante dos fluxos, até às vias de comunicação. Os drenos aí construídos não fizeram mais do que concentrar a drenagem superficial e interna num mesmo local. O período que decorreu entre a precipitação e o momento em que a água atingiu a vertente a jusante dos drenos parece ser a causa principal do desajuste temporal entre os registos da

precipitação e a ocorrência dos movimentos de vertente⁵⁹.

De notar que o tempo de saturação (tempo que decorre entre o episódio chuvoso anterior ao movimento de vertente e o movimento de vertente) vai depender grandemente das condições ligadas ao processo de infiltração. Com mantos de alteração espessos, capazes de armazenar grandes quantidades de água, o efeito retardador é maior, mas nos casos de Cavez e Vila de Muros o processo de saturação é rápido, dada a sua fraca espessura.

2. Factores de ordem estrutural.

Os aspectos estruturais, quer no âmbito da litologia quer no âmbito da tectónica, exercem uma influência importante no desenvolvimento dos movimentos de vertente. Por vezes, podem mesmo assumir um papel de destaque, condicionando o tipo de movimento, as suas dimensões e a evolução futura da área afectada.

Neste contexto, o caso de Covelo do Gerês é o que melhor traduz os condicionamentos de ordem geológica, evidenciando uma conjugação extremamente eficaz de factores de risco neste domínio.

Em primeiro lugar, verifica-se que o ponto de ruptura dos materiais, correspondente à última movimentação, coincide precisamente com a área de contacto entre duas rochas distintas. Com efeito, a cicatriz do fluxo marca

⁵⁹ Em Frades (Arcos de Valdevez, 7 de Dezembro de 2000) o tempo que decorre, entre o fim do episódio chuvoso e o deslizamento que dá início ao fluxo de detritos, é de cerca de uma hora. Os dados de precipitação consultados referem-se à estação do Extremo, que dista menos de 1 km do local do movimento. Desde as 9 horas até às 14,30 horas registaram-se 170 mm de precipitação, o que é uma quantidade muito além do usual, mais do dobro do que foi registado em valores diários em Cavez e em Covelo do Gerês, para um só dia. A intensidade de precipitação é muito elevada, mas ocorre na sequência de um período muito prolongado de precipitações abundantes em grande parte do país, em especial no Norte.

a transição entre os xistos pelíticos do Silúrico e o granito do Gerês, caracterizado pela sua textura porfiróide, grão médio a grosseiro e biotite dominante, evidenciando uma forte alteração (F. Noronha e F. M. Ribeiro, 1983).

Como referimos anteriormente, as diferentes movimentações progrediram de jusante para montante aproveitando a fragilidade dos materiais, interrompendo-se quando são atingidos os metassedimentos, de cariz mais resistente. A partir de então, o processo sofre transformações, sendo substituído por uma posterior queda de blocos, que permanece activa até à actualidade. Neste caso, poderíamos pensar que o contacto geológico funcionou de três formas distintas:

- Como barreira à retrogressão do movimento. Ele processou-se facilmente enquanto encontrou material desagregado proveniente da alteração do granito;
- Como área de descontinuidade, facilitando a ruptura dos materiais, e permitindo movimentos de grandes dimensões;
- Por outro lado, como que define o ponto a partir do qual há uma transformação no tipo de movimento em massa. O afloramento dos metassedimentos mais resistentes, apesar de extremamente fracturados, vai implicar que sobre o vazio criado pela movimentação do manto de alteração, se vá assistindo à queda de blocos provenientes da cornija, então formada.

É a grande semelhança estrutural entre o movimento do Covelo do Gerês e o de S. João (Porto Carreiro), próximo da cicatriz, que nos sugere a importância das descontinuidades litológicas como áreas de forte infiltração e

de ruptura, capazes de criar as condições de base para a localização dos planos de deslizamento facilmente saturáveis.

Outro aspecto de ordem estrutural extremamente importante, é a rede de falhas e fracturas que afectam as áreas onde ocorrem os movimentos de vertente.

No Covelo do Gerês, este aspecto estrutural actuou de forma clara. Toda a área se encontra afectada por um cruzamento de falhas e fracturas, certas e prováveis, extremamente importante. Inclusivamente, segundo Cotelos Neiva, um dos factores que contribuiu para o movimento foi a existência de várias falhas, uma das quais coincidiria com a cicatriz, definindo o contacto entre os dois tipos de materiais.

Embora na Carta Geológica não esteja registada esta observação, o trabalho de campo permitiu-nos identificar a presença de pelo menos uma rede de fracturação importante, que afecta paralelamente e na perpendicular a área abrangida pelo movimento, bem como toda a envolvente. Esta rede parece inclusivamente estar na origem do desenvolvimento de uma série de fendas que afectam o terreno, algumas superficiais, outras de profundidade apreciável.

Mas além da influência directa que a rede de falhas e fracturas parece exercer, ela contribui igualmente para facilitar a alteração das rochas, ao permitir que a infiltração da água se faça de uma forma mais eficaz e atinja níveis progressivamente mais profundos.

No que se refere a este aspecto estrutural parece-nos imprescindível analisar a influência que a presença de mantos de alteração exerce no desenvolvimento dos movimentos de vertente.

No caso específico de Covelo do Gerês, esta influência parece-nos evidente. Em primeiro lugar, a existência de uma massa de material desagregado e francamente arenoso facilitou todo um conjunto de processos erosivos, como reflecte o grande número de ravinas que se encontram em toda a área.

Por outro lado, sabemos que os mantos de alteração são capazes de absorver grandes quantidades de água, permitindo inclusivamente que a alteração vá progredindo de forma cada vez mais intensa e profunda.

No Covelo do Gerês os perfis analisados são extremamente espessos e, sem dúvida, facilitaram o desenvolvimento do fluxo de detritos. A influência que exercem processa-se a vários níveis.

A sua espessura e a natureza friável dos mantos de alteração são em parte responsáveis pelas dimensões que o fluxo assumiu. Já vimos que ele progrediu até encontrar a barreira de rochas resistentes, constituída quer pelos metassedimentos do topo da cicatriz, quer por afloramentos de granito relativamente são que travaram a sua expansão lateral.

Estas características (espessura e textura) favoreceram igualmente a eficaz infiltração da água até que se atingiu um ponto de saturação, a partir do qual o terreno começou a ceder sob o peso da pressão que esta exerce. Para que se tenha processado essa ruptura muito contribuiu a pequena movimentação que deu início ao processo.

De qualquer forma, o facto de existir um manto de alteração espesso, permitiu provavelmente o retardar do movimento e o seu desenvolvimento por etapas, ao longo de vários dias. Neste contexto actuou como um factor benéfico, uma vez que deu tempo para a tomada de medidas

de precaução, evitando, pelo menos, a perda de vidas humanas⁶⁰.

Por outro lado, ultrapassado o limiar que define a capacidade de absorção e armazenamento de água, este material transformou-se numa massa viscosa, que, funcionando como uma matriz, foi envolvendo todo o tipo de detritos que encontrou no seu percurso, demonstrando uma intensa capacidade e competência de transporte ao arrastar blocos de granito com vários metros de diâmetro.

No caso de Cavez e de Vila de Muros (Cinfães), temos um panorama distinto. Embora existam mantos de alteração com espessura visível de cerca de 4 metros na base da vertente afectada pelo fluxo, onde é possível detectar movimentos recentes, na área específica da cicatriz, em que se iniciou o movimento, a alteração é pouco profunda, servindo apenas de base a um solo agrícola já de si pouco espesso.

Nestes casos, o factor de ordem estrutural mais importante para o desenvolvimento do fluxo foi a existência de uma soleira de granito bem conservado a pouca profundidade, que funcionou como um plano de deslizamento eficaz. Sobre este plano muito pouco permeável, o material sofreu uma rápida saturação esgotando-se qualquer capacidade de infiltração e armazenamento de água, transformando-se numa massa fluída que ao aproveitar a "soleira" de rocha sã atingiu grande velocidade, capacidade e competência de transporte.

Ao contrário de outras regiões, nomeadamente regiões sedimentares, onde a forte componente argilosa dos materiais é determinante

⁶⁰ Em Cestães (Arcos de Valdevez), no dia 7 de Dezembro de 2000, ocorreu um movimento complexo com alguns pontos comuns com o de Covelo do Gerês. O movimento progrediu por vários dias, apresenta características retrogressivas, desenvolveu-se, igualmente, em mantos de alteração profundos e, na área, há indícios de importante fracturação.

na instabilidade das vertentes, os mantos de alteração são essencialmente arenosos. Este facto propicia um forte escoamento interno, o que retarda a saturação dos materiais. A circulação da água faz-se ao longo dos mantos de alteração esqueléticos com relativa facilidade, mas, só quando é abruptamente interrompida por superfícies de descontinuidade, como são as frentes de alteração, a saturação é fácil e as forças tangenciais ultrapassam rapidamente as forças de atrito desencadeando os movimentos de vertente. Por isso, a pequena espessura dos mantos de alteração parece ser determinante no desenvolvimento de processos como os de Cavez e de Vila de Muros.

Ao contrário, a grande espessura dos mantos de alteração condicionou o tipo de movimento ocorrido em Covelo do Gerês. Neste caso, promoveu um movimento dividido em várias fases, com movimentos retrogressivos, começando por pequenos movimentos, acabando por atingir proporções gigantescas. Desta forma, podemos conceber que a espessura dos mantos de alteração pode, portanto, funcionar de forma diversa consoante as características geográficas locais.

A existência de planos de descontinuidade próximos da superfície, pondo em contacto materiais com permeabilidade diferente, e inclinação conforme à inclinação da superfície topográfica, constitui a condição estrutural fundamental para o desenvolvimento dos movimentos de vertentes em metassedimentos. O fluxo de Cotorinho (Marão), o deslizamento do Fojo (Mondim de Basto) ou os deslizamentos do vale da rib^a de Fervença são exemplos dessa situação. A espessura dos materiais movimentados é pequena (cerca de 1m) mas o papel do declive (sempre superior a 30°) é fundamental para o início do movimento. Nestes casos, a saturação do manto de

alteração, solos ou depósitos de vertente, faz-se devido à grande capacidade de retenção da água pelos materiais que se tornam plásticos junto ao contacto com o substrato rochoso que se situa a pequena profundidade. O facto de ocorrerem em bacias hidrográficas de primeira ordem torna relevante o processo de convergência da drenagem superficial e subsuperficial. O conjunto de condições geográficas favoráveis à ocorrência destes processos parece beneficiar da pequena espessura dos materiais que sobrepõem a superfície de descontinuidade. É, mais uma vez, o contexto estrutural que vai fazer com que a dinâmica do meio físico promova a instabilidade das vertentes.

3. Factores de ordem geomorfológica.

O declive é o factor morfológico determinante na evolução de vertentes e constitui um dos critérios que nos poderá fornecer elementos para a definição das áreas de risco. No que se refere aos fluxos de detritos, e aos movimentos de vertente em geral, parece evidente que os declives necessários para o desencadear deste tipo de processos são, de uma forma geral, elevados, rondando os 30° a 35°. Com efeito, nos fluxos de detritos de Cavez, de Covelo do Gerês, de Porto Carreiro, Vila de Muros, Fojo, ... os declives das vertentes, onde se desenvolveram as cicatrizes, rondam os 30°-35°. Em áreas de montanha, considerando as características estruturais já descritas, e em especial a textura grosseira dos mantos de alteração, podemos considerar que os declives necessários ao desenvolvimento de movimentos de vertente, com características predominantemente naturais, são bastante elevados. Pelo contrário, em áreas de estrutura sedimentar onde dominam a argila e/ou os complexos silto-argilosos, os declives necessários ao

desenvolvimento deste tipo de processos são menores, e, por vezes, ocorrem a declives próximos dos 15° (C. Bateira, 1990 e J. L. Zêzere, 1988 e 1997).

Se considerarmos que no NW de Portugal a área ocupada por granitóides é muito extensa, teremos de concluir que a influência dos mantos de alteração no desenvolvimento dos processos geomorfológicos de evolução de vertentes abrange largos sectores do maciço antigo.

Assim, as condições de infiltração que são propiciadas pelos mantos de alteração resultantes da degradação química dos diversos granitóides são muito favoráveis à circulação das águas no interior dos materiais das vertentes, o que retarda o efeito de saturação e, portanto, não facilita a instabilidade das vertentes. Por estes motivos, os declives necessários para o desenvolvimento de movimentos de vertente são elevados. Esta é a razão principal que justifica o facto da existência de movimentos de vertente, com características quase exclusivamente naturais, se limitar às áreas de montanha, onde a actividade humana é pouco importante. No entanto, basta uma intervenção um pouco mais profunda para que a ocorrência dos processos geomorfológicos em causa se desencadeie a declives mais baixos. Nesse sentido, torna-se imperioso o estudo dos diversos tipos de intervenções antrópicas capazes de reduzir consideravelmente os declives a que se desenvolvem os movimentos de vertente. Dessa forma, poderemos definir áreas de risco em sectores que não tenham as características morfológicas de montanha. É o caso dos vales médios do NW de Portugal, cuja ocupação urbana está em franca expansão.

Juntamente com o declive, a forma da vertente exerce um papel determinante na criação de condições favoráveis ao desenvolvimento de processos de evolução de vertentes. As rupturas de declive, sobretudo se

promovem o aumento do declive para jusante, constituem factor de agravamento das condições favoráveis à ocorrência dos movimentos. Havendo sectores da vertente com declives menores na parte superior, é provável que os processos de infiltração sejam mais importantes do que em vertentes rectilíneas com maiores declives, onde o escoamento superficial poderá ocorrer com mais facilidade. Quando a rede hidrográfica apresenta várias fases de encaixe, a forma da vertente reflecte essa evolução, o que contribui para a existência de declives mais fortes nos sectores inferiores das vertentes. A montante destes sectores a infiltração é um processo importante para o escoamento da água das chuvas. Isso contribui para a saturação dos mantos de alteração das áreas com declives mais elevados, conduzindo à instabilidade e ao desenvolvimento dos processos geomorfológicos de evolução de vertentes por movimentações como as atrás referidas.

A morfologia da vertente poderá influir de forma decisiva no escoamento e, com isso, constituir-se como factor decisivo na sua evolução. As rupturas de declive são, portanto, sectores importantes na vigilância de áreas críticas na prevenção e previsão de movimentos de vertentes.

Os encaixes da rede de drenagem são outro elemento morfológico determinante no agravamento das condições favoráveis à ocorrência dos movimentos de vertente. Neste contexto, as ravinas e os barrancos parecem adquirir importância especial. Com efeito, constituindo encaixes pouco profundos, não provocam um recuo considerável na vertente, e o perfil longitudinal permanece com forte declive, muito semelhante ao da vertente. Nestes sectores que constituem áreas de convergência do escoamento superficial e subsuperficial, a saturação é mais fácil. É possível observar esta situação em várias linhas de água ao longo das vertentes onde ocorreram os

fluxos de detritos de Cavez, Covelo do Gerês, Vila de Muros, Porto Carreiro, Cotorinho e Fervença. Acresce que, muito frequentemente, estes encaixes se encontram colmatados por depósitos de vertente com matriz argilosa abundante, que envolve por completo blocos cujas dimensões variam entre algumas dezenas de centímetros e vários metros. Ao atingir-se o ponto de saturação das argilas pelo escoamento interno, a pressão dos blocos de rocha compacta sobre as argilas acelera as condições de instabilidade e promove o movimento dos materiais. Este contexto geomorfológico, muito frequente em todo o Norte sempre que há afloramentos de granitóides, apresenta-se como sector de forte risco, sobretudo quando a actividade humana ocupa as áreas imediatamente a jusante.

Resumindo, a probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente é grande em vertentes de forte declive constituídas em mantos de alteração de granitóides, mas torna-se acrescida quando, no topo das vertentes, existem bacias de recepção que canalizam a drenagem para as ravinas. De forma geral, essas bacias de recepção ocupam largas áreas dos interflúvios e constituem receptáculos para uma grande quantidade de precipitação, canalizando-a para a ravina, numa única linha de água, o que permite a saturação fácil dos depósitos argilosos anteriormente referidos. É o domínio dos processos de infiltração, a montante das ravinas e dos barrancos, que conduz à saturação desses depósitos de vertentes e/ou mantos de alteração, e, com isso, cria condições para o desenvolvimento de processos geomorfológicos tais como os fluxos de detritos.

4. Factores de ordem antrópica.

No contexto dos factores de ordem antrópica, parece-nos

importante, de acordo com o próprio esquema representado na fig. C3-1, esclarecer alguns dos aspectos ligados à dinâmica do meio físico.

A ocorrência de processos geomorfológicos que envolvem riscos para as actividades humanas, não é mais do que a consequência dos processos naturais de evolução do relevo. A evolução do meio físico tem uma dinâmica que não é uniforme no que diz respeito à violência dos processos geomorfológicos. Esta dinâmica apresenta fases em que a energia despendida para a erosão, transporte e sedimentação de materiais é muito fraca. Noutras fases, a energia disponível é de tal ordem elevada que permite a erosão, transporte e sedimentação de grandes quantidades de materiais, de dimensões muito variadas.

Estas fases, que costumamos designar situações extremas, não têm a mesma frequência que a dinâmica natural em que a energia despendida é menor. Por vezes, o período de recorrência é extremamente elevado e as áreas ocupadas pelo desencadear destes processos apresentam estabilidade por períodos de tempo extensos. As ravinas, os barrancos e os valeiros são exemplo deste tipo de evolução. Quando a quantidade de precipitação escoada pelo sistema não atinge os limites de saturação dos materiais que o constituem, dominam o escoamento interno e superficial. Nesse caso, os materiais transportados são de pequena dimensão e em quantidade reduzida. O escoamento faz-se por fluxo interno, para a linha de água, onde se transforma em fluxo superficial. Desta forma, o canal é o local privilegiado para a dinâmica do meio físico que não afecta drasticamente as actividades humanas.

No entanto, quando a capacidade de absorção é reduzida e a saturação dos materiais é grande, desencadeiam-se movimentos de vertente

que vão afectar áreas que não tinham sido utilizadas pelo escoamento superficial e estão ocupadas pela acção humana. Assim, essa ocupação apresenta uma grande vulnerabilidade.

Por outro lado, nem sempre a presença do homem adquire uma postura passiva. Em geral, essa presença tem duas faces distintas: por um lado, uma presença que se limita a ocupar o espaço sem uma forte intervenção, por outro uma presença que significa uma intervenção forte que altera as condições naturais de ocorrência dos processos geomorfológicos de evolução de vertentes. Nesta última situação, as condições naturais de ocorrência dos processos geomorfológicos podem ser agravadas. Se, sob condições naturais, é possível a ocorrência de fluxos de detritos em áreas de montanha, com fortes declives (30 a 34° tanto para o Covelo do Gerês como para Cavez, e Vila de Muros) e em mantos de alteração com textura grosseira, com a intervenção humana que alteram as condições naturais, é provável que os mesmos processos de evolução de vertentes se iniciem a declives menores. A abertura de trincheiras na base de vertentes é, porventura, uma das práticas que mais frequentemente afectam a sua dinâmica.

Efectivamente, com base nos estudos que temos vindo a desenvolver, somos levados a pensar que, mesmo em locais onde estes factores de ordem natural são favoráveis à ocorrência de processos de instabilidade geomorfológica, muitas vezes, é a intervenção do Homem que vai desencadear o processo ou transformá-lo numa catástrofe.

Neste contexto, tentamos analisar o tipo de intervenções antrópicas que contribuem para o agravamento dos processos.

1. No caso de Cavez e Vila de Muros, não temos dúvidas em afirmar

que o Homem tem uma grande responsabilidade nas consequências catastróficas que os fluxos de detritos implicaram. Com efeito, uma série de intervenções empreendidas alteraram profundamente a dinâmica geomorfológica da área em questão. Entre elas, destacam-se:

- A abertura de um caminho imediatamente a montante do local onde se iniciou o movimento, que passou a funcionar como área de concentração da drenagem das águas pluviais (caso de Cavez).

- A construção de drenos que concentram a drenagem das vertentes (Cavez e Vila de Muros).

- A existência de um deficiente sistema de canalização das águas, que acabou por rebentar devido à sobrecarga de água em circulação, contribuindo esta para alimentar o fluxo. A este elemento associou-se ainda o facto de existirem vários tanques de rega ao longo do valeiro, que, para além da pressão exercida sobre os materiais, ao serem destruídos na sequência do movimento, lhe imprimiram maior violência.

- Por fim, o facto de se construir uma habitação ao longo de uma linha de água, e mesmo em bacias hidrográficas de 1ª ordem.

2. Em áreas urbanas, a intervenção antrópica assume ainda maior importância. Neste contexto, destaca-se:

- A inexistência, em alguns sectores, de um eficaz sistema de canalização de esgotos domésticos e águas pluviais, contribuindo para a saturação dos solos e desenvolvimento de deslizamentos e desmoronamentos.

- A acumulação de detritos urbanos nas vertentes, que vão imprimir maior violência aos processos.

- A existência de cargas adicionais resultantes da construção.
- Existência de edifícios abandonados e em ruínas, em risco de derrocada.
- A intensidade crescente do tráfego, provocando forte trepidação dos terrenos.
- A existência de aterros constituídos por materiais diversos, não compactados e frequentemente resultantes de uma acumulação progressiva em camadas de textura diferentes, é um outro factor de risco antrópico importante. Não é raro o desconhecimento por parte das entidades competentes da localização dos aterros mais antigos (que muitas vezes resultam do entulhamento de antigas áreas de exploração de granito, que passam a funcionar como aterros de lixos urbanos).

4. No caso do Covelo do Gerês, a ocorrência do movimento foi essencialmente fruto das características geográficas da área. No entanto, a presença de um aglomerado populacional ao longo de uma linha de água, embora constitua uma atitude que poderíamos considerar "passiva", transformou numa catástrofe um processo geomorfológico de evolução de vertentes⁶¹.

Rebentamentos e abalos de origem antrópica poderão provocar a perda de coesão dos materiais e transformar terrenos compactos em terrenos desagregados, susceptíveis à movimentação.

⁶¹ Convém referir que na altura foi pedido ao Prof. Doutor Cotelo Neiva para fazer o estudo da ocorrência e sugerir um local alternativo para implantação do lugar de Sapateira, mas a verdade é que até hoje nenhuma das indicações dadas foi seguida.

***Parte D - Riscos naturais e SIG. A área experimental de
Guimarães.***

Capítulo D1 - Conceitos relacionados com os riscos naturais.

1. Introdução.

A ideia de controlar a dinâmica do meio físico no sentido de evitar que os processos naturais provoquem danos materiais e humanos, aparece de forma mais evidente em meados do século XX. Nos anos 50 e 60 acreditou-se que a tecnologia poderia controlar a totalidade do meio físico e, desta forma, a superfície da Terra não seria mais do que um conjunto de recursos naturais ao dispor do homem, cuja manipulação não traria consequências nefastas para a humanidade e para o planeta. Por outro lado, o forte crescimento demográfico e a concentração de grandes contingentes populacionais nas grandes cidades e orlas marítimas, verificada, sobretudo na 2ª metade do século XX, conduziu à ocupação de territórios que até então estavam reservados à dinâmica natural do meio físico. As planícies de inundação e as dunas primárias são o exemplo mais evidente desta expansão. Mandava a tradição rural, sobretudo no NW Português, que as planícies de inundação deveriam ser ocupadas com a produção agrícola, ao passo que a meia vertente poderia servir para a localização das áreas construídas. Igualmente, as casas dos pescadores eram localizadas antes da duna primária, o que facilitava a movimentação das areias ao longo de toda a extensão da praia. Desta forma a erosão marinha da duna primária poderia ser compensada pela deposição resultante do transporte eólico. O equilíbrio do meio físico parecia assegurado. A experiência de culturas tradicionais permitia a utilização do

meio físico respeitando a sua dinâmica. Só em situações muito extremas era possível verificar-se o conflito entre ocupação humana do território e dinâmica do meio físico.

A par da ideia de controlo tecnológico sobre o meio físico, promoveu-se a ocupação indiscriminada de linhas de água com escoamento esporádico, ou de vertentes aparentemente estáveis do ponto de vista dos processos geomorfológicos. A frequência com que a dinâmica do meio físico interfere com as actividades e vidas humanas parece crescente e atingiu de forma evidente a consciência colectiva, modificando significativamente a forma como é encarada a intervenção do homem sobre o meio físico. Surgem os conceitos de ambiente e impacte ambiental. Por outro lado, o mito do controle tecnológico sobre a natureza parece desmoronar-se impondo a noção de vulnerabilidade da presença do homem à superfície da terra e aparecem as ideias de desastre natural, de protecção civil e vulnerabilidade (D. D. Meadows, 1972; G. H. Brundtland, 1987). É ainda neste contexto, que aparecem as noções de risco e de risco natural. As sociedades tecnologicamente evoluídas aparecem como sendo igualmente vulneráveis, mesmo comparadas com áreas do globo onde os avanços tecnológicos são considerados diminutos. A capacidade de reacção a uma qualquer catástrofe natural é diferente consoante a evolução tecnológica e a capacidade organizativa, mas generaliza-se a ideia de que o controle sobre o meio físico é muito pouco eficaz. Tal ideia é particularmente evidente em relação aos trabalhos de controle das cheias no Mississipi. Ao fim de 60 anos, entre 1933 e 1993, verificou-se que os esforços financeiros, tecnológicos e humanos foram ineficazes (K. Smith, 1996).

Será possível controlar o meio físico ou teremos de desenvolver um

conjunto de procedimentos e atitudes que promovam a coexistência do homem com a dinâmica do meio físico, tornando as sociedades menos vulneráveis? Desenvolvem-se inúmeras actividades no sentido de garantir a protecção do homem em relação à dinâmica do meio físico. A investigação sobre os processos e a dinâmica do meio físico conduziu ao desenvolvimento de estudos cada vez mais aprofundados sobre três áreas muito importantes da dinâmica actual: a evolução de vertentes, o escoamento fluvial e a dinâmica do litoral. Estes estudos vão conduzir à definição das áreas de riscos naturais que, por sua vez, vai promover a elaboração de cartografia, cada vez mais importante para o ordenamento do território. As noções de risco natural, ocorrência natural potencialmente geradora de risco para o homem e suas actividades, vulnerabilidade e perigo passaram a constituir um elemento importante de inúmeros trabalhos em torno destes temas. Por outro lado, a concretização de estudos nas mais variadas áreas conduziu à criação e experimentação de vários métodos de análise e definição dos riscos naturais e à elaboração da respectiva cartografia. Desta forma, os termos foram sendo aplicados com interpretações, por vezes, diversas, o que levou à necessidade de clarificar o significado que cada autor lhes atribui.

2. A noção de risco natural: discussão em torno de alguns conceitos.

Para muitos autores a noção de risco natural é apresentada com uma gradação que depende directamente das consequências gerados pela dinâmica do meio físico sobre a presença do homem na terra e da sua probabilidade de ocorrência. O nível de risco está relacionado com a frequência e intensidade dos fenómenos ocorridos (probabilidade) e com os prejuízos potenciais (gravidade). Flageollet (1989) refere-se à zonação dos

riscos naturais como sendo estabelecida a partir da "... probabilidade de ocorrência, de aparecimento de um movimento, também chamado, por vezes, nível de risco..." (p. 154). Dumas (1984) fundamentava a cartografia do grau de risco natural em dois pontos base, que vão depender do volume dos materiais envolvidos, dos prejuízos causados e do período de retorno do processo em causa: "... Estabelecer uma zonação dos riscos incorridos por uma avaliação baseada sobre a combinação de dois critérios: a gravidade e a probabilidade" (p. 29).

Também em 1992, K. Smith apresenta a definição de risco como directamente dependente da probabilidade de ocorrência de um acontecimento, natural ou não⁶¹. Para este autor, definir o risco como uma probabilidade de ocorrer um acontecimento aleatório, que implique prejuízos para o homem, significa que o grau de risco depende directamente do intervalo de repetição desse fenómeno, definindo uma possível classificação gradativa e respectiva zonagem. É no entanto em Smith (1992, 1996) que a discussão sobre as diferenças entre 'risk' e 'hazard' parece mais evidente⁶². Ao definir risco como a probabilidade de ocorrência de um 'hazard', aborda de forma directa o problema da distinção entre os dois termos. Um 'hazard' não é mais do que uma ameaça potencial para a humanidade⁶³. Esta ameaça poderá ser de importância diversa consoante o tipo de consequências que acarreta, quer para o homem, quer para o ambiente. Desta forma, também neste autor, a magnitude e intensidade das ocorrências que influem directa ou indirectamente na vida humana é informação essencial para a definição,

61 A análise que este autor faz dos riscos é sempre em sentido amplo. Para além dos riscos naturais, o autor não exclui na sua análise os riscos tecnológicos e todos os riscos não naturais.

62 A tradução do termo 'hazard' comporta alguns problemas de linguagem e de interpretação. Com a publicação de inúmeros trabalhos sobre riscos naturais foram aparecendo diversas opiniões que analisaremos posteriormente. Dada a dificuldade de encontrar um termo em Português que satisfaça totalmente o sentido em que os autores a utilizam, preferimos deixar de lado, por agora, a tarefa de tradução. Retomaremos esta questão ainda neste ponto.

63 "We may define hazard as a potential threat to humans" (K. Smith, 1992, p. 6).

gradação e zonagem dos riscos. Essa é a ideia base que guiou a concepção da fig. D1-1.

Esta distinção entre 'risk' e 'hazard' nem sempre foi clara. Varnes, em 1984, procurou clarificar diversas noções sobre riscos. Afirmou, então, que: "Um 'hazard' natural significa a probabilidade de ocorrência num período específico de tempo e numa determinada área de um fenómeno potencialmente danoso" (p. 10). Ou seja, o que para Smith é 'risk' para Varnes é 'hazard'. No mesmo texto, Varnes reconhece que esta definição de 'hazard' foi aplicada pelos investigadores franceses, no âmbito do programa ZERMOS, à palavra 'risque'. Posteriormente, os investigadores franceses reconheceram a diferença entre 'risk' e 'hazard', passando a designar a última pela palavra 'aléas' e mantendo 'risque' para designação de 'risk'. Neste contexto, e para Varnes, o termo "total risk significa o conjunto total de perdas esperadas, tanto humanas como materiais, resultantes de um fenómeno natural particular, sendo, portanto, o produto do risco específico pelos elementos em risco" (1984, p.10) ⁶⁴. Esta noção tem como ideia base para a definição da zonação dos riscos naturais, o conjunto de perdas resultantes da dinâmica do meio físico. Desta forma somos confrontados com a noção de vulnerabilidade. Em 1990, Panizza coloca o "risco ambiental"⁶⁵ como o resultado da conjugação de dois aspectos: a dinâmica do meio físico que envolve perigo para a presença humana (perigosidade) e a exposição que uma comunidade tem em relação aos perigos resultantes dessa dinâmica (vulnerabilidade) (fig. D1-2).

⁶⁴ Recordar-se que o texto de Varnes se refere à zonação da probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente (Landslide hazard zonation: a review of principles and practice). Nele o autor considera "risco específico" como sendo "o grau esperado de perdas devido a um particular fenómeno natural. O risco específico pode ser expresso pelo produto do 'hazard' pela vulnerabilidade (1984, p.10).

⁶⁵ Sem pretender discutir aqui o significado do termo risco ambiental, constata-se, que Panizza considera risco ambiental como o resultado da influência dos processos e dinâmica do meio físico sobre bens, actividades e vidas humanas. Esta noção é bastante diferente da de L. Faugères (1991, p. 187) que classifica os riscos "...segundo a natureza e extensão dos danos ocorridos,...". Este autor considera, portanto, que poderão ser divididos em "...riscos tecnológicos no sentido restrito,...riscos qualificados de ambientais,...ou riscos antrópicos..." Por agora interessa-nos discutir o tipo de relação entre acção humana e riscos naturais.

Neste esquema interpretativo elaborado por Panizza, o "risco ambiental" aparece ligado ao meio físico como elemento activo, e à presença do homem como elemento passivo. Cada intervenção humana (o aspecto activo da presença humana) é considerada como susceptível de promover alterações sobre os recursos naturais, o que designa impacte ambiental. No entanto, a possibilidade de uma área, que tenha uma fraca perigosidade⁶⁶, se transformar em área de forte perigosidade, devido à intervenção humana, não é considerada. Nesse caso, o "risco ambiental" tornar-se-ia elevado devido à acção do homem, convertido de agente passivo (vulnerável), em agente activo (interventor). Por exemplo, uma vertente que não evidencia sinais de instabilidade pode transformar-se em área de grande risco com a abertura de um pequeno talude na base ou a concentração do escoamento no topo, por canalização artificial das águas que escoam ao longo de um caminho rural⁶⁷.

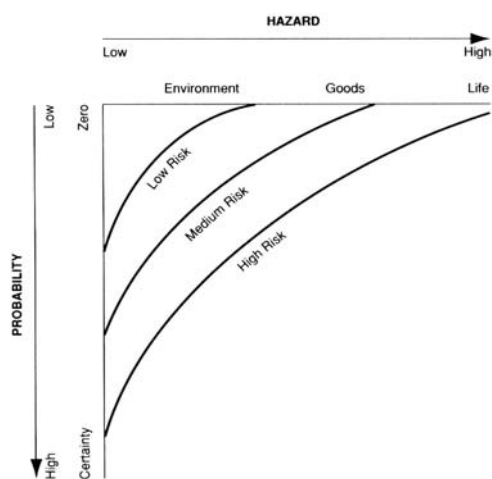


Fig.D1-1: Relações teóricas entre a severidade dos riscos naturais, probabilidade e risco. 'Hazards' para a vida humana são classificados mais alto que o dano em bens económicos ou ambientais, segundo K. Smith, 1996, p. 6.

⁶⁶ Segundo M. Panizza, perigosidade ambiental é "a probabilidade de um certo fenómeno (natural ou induzido mais ou menos directamente pela antropização) se verifique num certo território num determinado intervalo de tempo (1988, p. 133).

⁶⁷ A análise dos fluxos de detritos de Cavez e Covelo do Gerês, efectuada por nós (1992 e 1995) mostra exemplos de áreas que nunca tinham evidenciado instabilidade, mas que desenvolveram uma poderosa dinâmica de vertente, devido, respectivamente, à concentração de drenagem e abertura de um pequeno talude artificial, com graves prejuízos, quer materiais quer humanos.

Em Portugal (1992), Brum Ferreira confere à noção de "risco ambiental"⁶⁸ uma relação directa com "... o produto da frequência e magnitude dos factores de risco (naturais ou antrópicos) pela vulnerabilidade" (p. 1076). Ao considerar que a classificação dos riscos naturais vai depender da frequência e magnitude dos factores de risco, o que se pressupõe que a probabilidade de ocorrência de um dado processo natural, depende directamente desses factores.

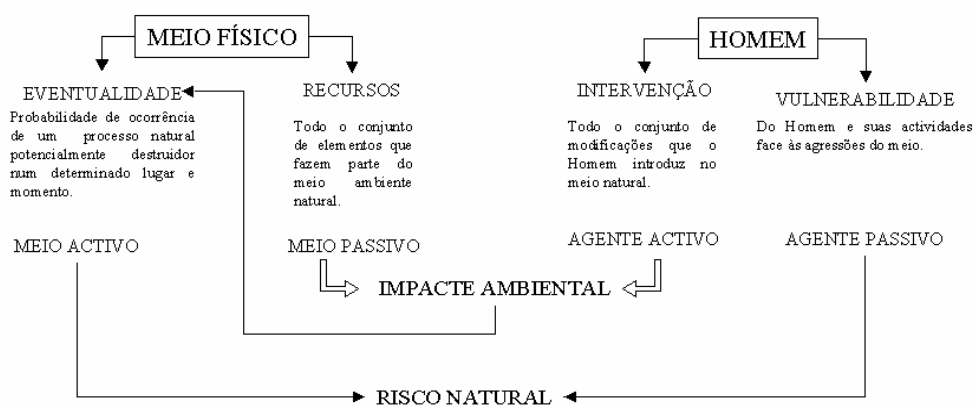


Fig. D1-2: Esquema interpretativo da relação entre homem e ambiente, adaptado de M. Panizza (1990). A seta de ligação entre impacte ambiental e eventualidade é nossa.

Indirectamente, o grau de risco vai depender da probabilidade de ocorrência de um fenómeno natural capaz de pôr em perigo pessoas e bens. Citando Panizza (1988), Brum Ferreira apresenta o "risco ambiental" como resultante do risco geomorfológico e antrópico. O risco antrópico é analisado a partir das intervenções provocadas sobre o meio físico que contribuem para a degradação ambiental. Ainda nesta perspectiva, a análise da acção humana surge como dois elementos paralelos que contribuem para o "risco

⁶⁸ Para este autor a noção de risco ambiental é mais ampla do que catástrofe natural já que, "não implica, necessariamente, como geralmente é aceite para esta última, a ocorrência de mortes e/ou perdas materiais consideráveis e generalizadas, impedindo o normal funcionamento da comunidade" (p. 1076).

ambiental", e, desta forma, para a vulnerabilidade do território.

Também em 1992, J. L. Zêzere et al. apresenta um estudo comparativo da cartografia dos riscos geomorfológicos, segundo diversas metodologias. Mais tarde, em 1997, apresenta a tese de doutoramento onde estuda os movimentos de vertente e a "perigosidade geomorfológica". No texto, já depois de ter feito um pequeno historial da utilização dos termos ligados ao risco natural (Risk, hazard, risque, aléas, pericolosità e peligrosidad) o autor utiliza o termo "perigosidade" no sentido atribuído a 'aléas' e 'hazard' (p. 481). Citando Hartelén e Viberg (1988) considera a "perigosidade geomorfológica" como sendo uma componente da perigosidade natural e divide-a em perigosidade temporal e espacial. "Deste modo, a predição da perigosidade compreende um aspecto temporal, que só pode ser resolvido pelo conhecimento do mecanismo do movimento e do período de recorrência dos respectivos factores desencadeantes; e um aspecto espacial que apenas pode ser solucionado através da cartografia" (J. L. Zêzere, 1997, p. 482).

Em 1996, F. Léone apresenta uma sistematização dos conceitos ligados aos riscos gerados por movimentos de terrenos. O risco natural surge como sendo a "esperança matemática de perdas ou danos provocados por um fenómeno natural potencialmente destruidor". Esta noção supõe que é possível quantificar dois conceitos que constituem a noção base de risco natural: a probabilidade de ocorrência de um fenómeno natural potencialmente gerador de danos, e a vulnerabilidade das sociedades, estruturas e funções que possam vir a ser afectadas por esse fenómeno. Ao falar de probabilidade de ocorrência de um fenómeno estamos a recorrer a um conceito de estatística, onde é analisada uma 'população'⁶⁹, através duma

⁶⁹ A palavra população é aplicada no sentido utilizado pela estatística.

amostra, e onde é quantificada a probabilidade de ocorrer um qualquer acontecimento, que posteriormente é generalizado a toda a população. Como proceder à quantificação da probabilidade de ocorrência de uma cheia? Como proceder à quantificação da probabilidade de ocorrência de um deslizamento? O recurso ao estudo do tempo de retorno tem constituído um precioso método de quantificação das probabilidade de ocorrência de cheias. A análise das séries de registos climáticos permite quantificar o factor mais importante da ocorrência de cheias. No entanto, no caso dos movimentos de vertente, quando pretendemos analisar uma população de movimentos, numa mesma área, teríamos que encontrar um número suficientemente largo de ocorrências, do mesmo tipo, para que possa, do ponto de vista estatístico, fazer a associação de um conjunto de condições geográficas de ocorrência com os diferentes tipos de movimentos.

J. L. Zêzere (1997) desenvolveu este tipo de análise estatística para um conjunto de cerca de 600 movimentos de vertente, na região norte de Lisboa. Depois da análise efectuada, concluiu que, "...quando se consideram os movimentos agrupados por áreas-amostra, poderia indiciar-se a possibilidade de extrapolar a informação, obtida pelo estudo pormenorizado das áreas com pequena dimensão, a superfícies mais vastas da região a Norte de Lisboa, com características geológicas e geomorfológicas similares. No entanto, esta extrapolação não é simples visto que, ... a relação entre movimentos de vertente e os factores condicionantes da instabilidade reveste-se de características particulares em cada uma das áreas-amostra. ... pode concluir-se que, ... o conhecimento aprofundado da instabilidade das vertentes numa área particular só é possível com o levantamento detalhado dos movimentos existentes e com o estudo dos factores locais que os

condicionam e desencadeiam" (p. 426-427). A ideia de generalizar as conclusões da análise de uma área para outras, parece algo difícil de desenvolver no estudo da instabilidade das vertentes, mesmo recorrendo à estatística. Os dados recolhidos não parecem ser suficientes para permitir a utilização desses métodos na generalização expedita da cartografia dos riscos naturais.

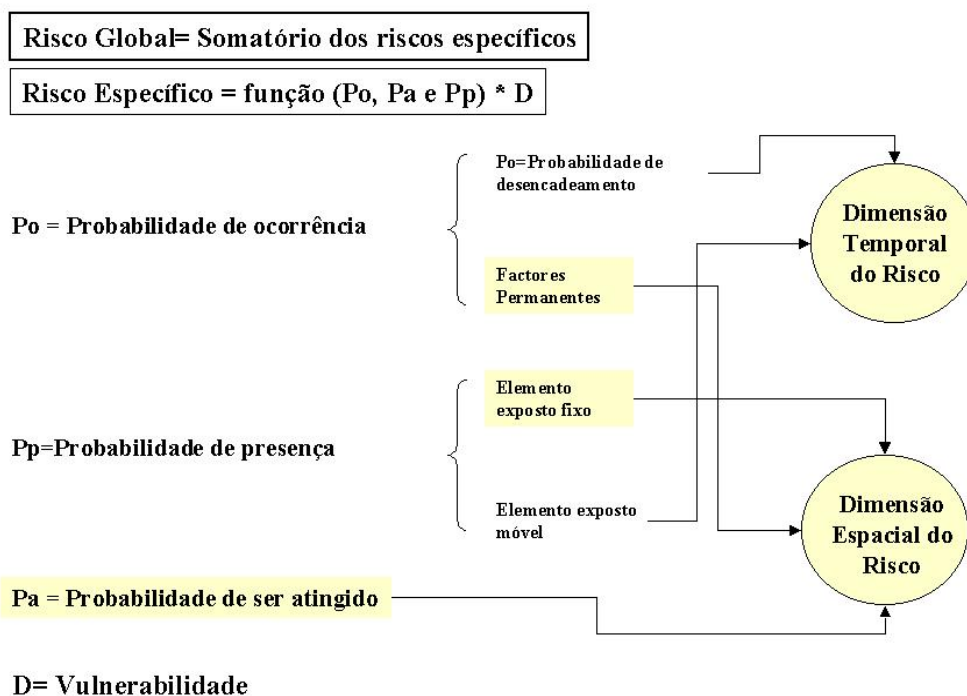


Fig. D1-3: Esquema interpretativo da dimensão temporal e espacial do risco. Construído com base nos conceitos definidos por F. Léone, 1996.

A quantificação do risco natural, defendida por Léone (1996), passa pela quantificação da probabilidade de ocorrência de um fenómeno que potencialmente poderá provocar danos e da vulnerabilidade das sociedades expostas. A probabilidade de ocorrência de um fenómeno natural, para Léone, pode ser dividido em três tipos de probabilidade (fig. D1-3): a probabilidade de ocorrência (Po), o que depende do factor desencadeante

do fenómeno em causa e dos factores de predisposição, também designados por factores permanentes, a probabilidade de presença (P_p), ou seja, a probabilidade de um elemento exposto estar no local que pode vir a ser atingido pelo fenómeno (esse elemento pode ter um carácter fixo ou móvel) e, ainda, a probabilidade de um lugar ser atingido (P_a) pelo fenómeno.

No caso dos movimentos de terrenos, à nossa latitude, o factor desencadeante mais importante é a precipitação. A probabilidade de ocorrência de um episódio chuvoso é possível ser analisada com o estudo dos períodos de retorno dos registos climáticos. Os estudos de J. L. Zêzere (1997), na região norte de Lisboa, sobre os limiares de precipitação capazes de conduzir à ocorrência de movimentos de vertente permitem identificar algumas situações meteorológicas e relacioná-las com diversos tipos de movimentos de vertente, para essa região. Os parâmetros utilizados correspondem à precipitação acumulada, antes da ocorrência de cheias rápidas ou movimentos de vertente e à intensidade de precipitação, para diversos tempos de retorno. No entanto, conforme o autor refere, este tipo de relacionamento só pode ser aceite para a região em causa, sendo dificilmente atribuível a outras áreas em virtude da especificidade que ela apresenta do ponto de vista hidro-geomorfológico. Ainda sobre este estudo, importa referir que se baseou numa série climática de 37 anos (S. Julião do Tojal), na bacia de Loures. O tipo de trabalho desenvolvido parece legítimo, sendo possível este tipo de relacionamento numa área restrita, onde se procedeu ao levantamento, no terreno, de cerca de 600 movimentos de vertente.

Para uma área como o Norte do País, com uma grande dispersão dos registos sobre movimentos de vertente, torna-se problemático desenvolver um trabalho de análise estatística. Com isso, está profundamente

comprometido o esforço de definição de limiares de precipitação para ocorrência de movimentos de vertente, pelo menos no actual estado dos conhecimentos e da informação disponível. Com condições hidro-geomorfológicas dos mantos de alteração granítica, ou ainda dos depósitos de vertente que deles resultam, é pouco provável que os limiares de precipitação verificados nestas áreas coincidam com os estudos feitos para a região de Lisboa. No entanto, é necessário reflectir sobre os limiares de precipitação que condicionam os movimentos de terrenos. Há, ainda, muito trabalho de investigação a desenvolver para que se possa afirmar que um determinado tipo de movimentos de vertente pode ocorrer numa área com um conjunto de características geológicas e geomorfológicas definidas, para um determinado tempo de retorno.

No entanto, a caracterização das condições geográficas de ocorrência de movimentos de vertente tem sido objecto de inúmeros estudos e é possível realizar-se a partir de estudos detalhados no terreno. Este trabalho não se prende com qualquer tipo de estudo de probabilidades como se fosse um parâmetro quantificável. Estamos no campo do estudo dos factores permanentes que condicionam a probabilidade de ocorrência de um qualquer processo. Já não se trata do estudo de probabilidades de ocorrência, mas sim do registo das condicionantes geográficas da ocorrência de um movimento de vertente. Neste caso, conforme refere Léone (1996), não deveremos utilizar o termo probabilidade aplicado ao estudo dos factores permanentes. De facto, não estamos a estudar o carácter aleatório de um fenómeno, mas a registar as condições que concorrem para o acontecimento se realizar num lugar e não noutra. É a componente espacial do risco que está em causa e não a componente temporal. Desta forma, compreendemos que a

probabilidade de ocorrência de um fenómeno potencialmente perigoso tem duas componentes distintas: uma temporal e outra espacial (fig. D1.3. e fig. D1.4).

De uma forma mais simples parece ser possível encarar a probabilidade de um elemento exposto estar num determinado lugar. No caso de estudarmos a queda de blocos numa estrada é possível desenvolver estudos de intensidade de tráfego e definir parâmetros de probabilidade de um qualquer veículo ser atingido pela queda de blocos. Neste caso, a análise temporal, aleatória, ou seja, a probabilidade de presença parece quantificável do ponto de vista da estatística. Mas se considerarmos um elemento exposto fixo, por exemplo, uma infra-estrutura, já não estamos a analisar uma qualquer probabilidade, mas, tão só, a proceder a um registo de presença de um elemento exposto. Voltamos a lidar com a dimensão espacial e não com a dimensão temporal. Também neste caso, a probabilidade de presença pode ser dividida em duas componentes: espacial, se o elemento exposto é fixo, e temporal, se o elemento exposto é móvel (fig. D1.3).

A probabilidade de um lugar ser atingido por um processo geomorfológico está directamente relacionado com a sua dimensão e o tipo de processo. É possível definir com algum rigor que um sector tem condições geográficas para constituir a área de arranque. De igual forma, é possível delimitar a área aproximada que vai ser afectada pelo transporte e deposição dos materiais movimentados. Para concretizar esta estimativa é necessário fazer o levantamento cartográfico das condições geográficas em que poderão ocorrer os processos geomorfológicos capazes de provocar danos às pessoas e aos bens. Mais uma vez estamos a preocupar-nos com a dimensão espacial do risco e não com os aspectos aleatórios.

Ao considerarmos a diferenciação que F. Léone faz da probabilidade de ocorrência de um fenómeno potencialmente perigoso (fig. D1.4) estamos a considerar que um risco específico poderá depender de dois conjuntos de factores: factores temporais e o espaciais. O estudo dos factores temporais depende, no essencial, de métodos de análise estatística e o estudo dos factores espaciais pode ser expresso de forma mais eficaz pela cartografia. Deste modo, poderemos agrupar, no conjunto de factores que constituem a dimensão temporal do risco, os factores desencadeantes dos movimentos de vertente (por exemplo, a precipitação) e os estudos sobre a variabilidade das actividades e presença humanas (elemento exposto móvel: por exemplo, o tráfego automóvel numa via de comunicação).

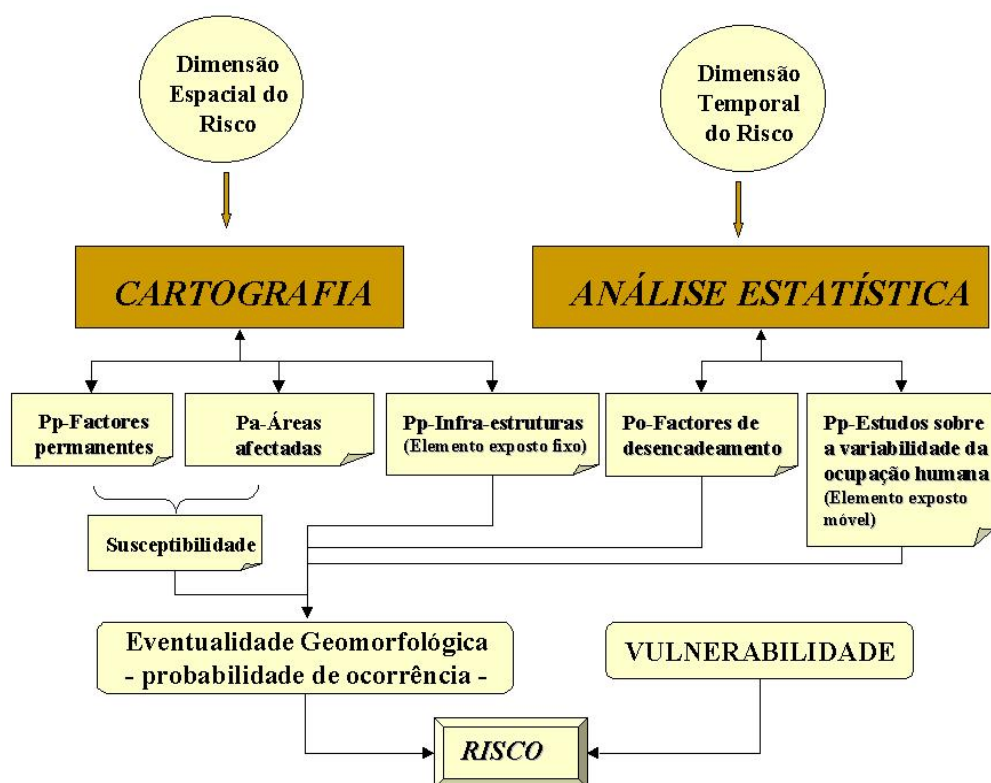


Fig. D1-4: Importância da dimensão espacial e temporal na expressão geográfica do risco. Construído com base nos conceitos definidos por F. Léone, 1996.

Em contrapartida, na dimensão espacial do risco estariam incluídos

os factores permanentes (condições geográficas: litologia, declives,...), as áreas afectadas (o que depende da intensidade e dimensão do fenómeno) e o conjunto de infra-estruturas construídas de carácter fixo (elemento exposto fixo: ponte, auto-estrada,...). Esta dimensão espacial do risco poderia ser dividida em dois grandes conjuntos. Por um lado, a cartografia dos factores permanentes e das áreas afectadas por um qualquer fenómeno ou processo geomorfológico constitui a zonação das áreas de **susceptibilidade**⁷⁰ (geomorfológica) à ocorrência desse fenómeno, que, como é obvio, estarão na dependência directa da dinâmica do meio físico. Por outro lado, a cartografia dos elementos expostos fixos constitui a presença permanente do homem no meio físico.

O estudo dos factores de desencadeamento, da probabilidade de um elemento exposto móvel ser atingido por um processo geomorfológico e da probabilidade de um elemento exposto estar presente, permitirá definir a probabilidade de ocorrência desse processo geomorfológico, o que constitui a análise da dimensão temporal do risco.

A susceptibilidade geomorfológica, associada à cartografia relacionada com as infra-estruturas passíveis de ser atingidas, à análise estatística dos factores de desencadeamento e à variabilidade da ocupação humana do espaço, constituem o total da probabilidade de ocorrência de um determinado risco específico. Estamos perante o conceito de Hazard, Aléas, Pericolosità e Peligrosidad definidos, respectivamente pelos Ingleses, Franceses, Italianos e Espanhóis (F. Rebelo, 1999). Em Portugal este conceito, aplicado à geomorfologia, tem sido traduzido directamente por perigosidade geomorfológica (A. B. Ferreira, 1992; C. Bateira e L. Soares, 1997; J. L. Zêzere,

⁷⁰ Palavra derivada do latim susceptibile, que significa "...capaz de...". No caso da análise dos riscos geomorfológicos seriam as áreas capazes de desenvolver processos de ordem geomorfológica.

1997; J. L. Zêzere e M. L. Rodrigues, 1991) ou, ainda, por "aleatório", "acaso" e "casualidade", como refere F. Rebelo (1999, p. 5). Todavia, o termo perigosidade está directamente relacionado com a noção de perigo que implica a eminência de uma catástrofe (J. Gomes Santos, 1997) . Ora, a noção de risco não significa, necessariamente, que esteja eminente uma catástrofe, ou sequer, que esta venha a ocorrer. Por esse motivo, na literatura anglo-saxónica surgiu a diferença entre 'risk' e 'danger' separando a noção de risco da de perigo (K. Hewitt, 1997). Nesse sentido, a probabilidade de ocorrência de um fenómeno potencialmente danoso para o homem e suas actividades (hazard, aléas) não significa que represente áreas onde a catástrofe esteja eminente e, portanto, o perigo seja permanente. A noção de 'hazard' está directamente relacionado com dois conceitos: probabilidade (com carácter aleatório, fortuito) e ocorrência (de um acontecimento ou fenómeno). Na tradução para português dos termos 'hazard' ou 'aléas' procuramos conservar estes dois conceitos. Optamos pela palavra **eventualidade**. Por um lado, o termo eventualidade está associado ao carácter fortuito de um acontecimento ou ocorrência, o que lhe confere a noção aleatória de probabilidade. Por outro lado, tem como origem etimológica o termo *eventum* (lat.) que significa ocorrência, acontecimento, consequência, acidente, o que lhe confere a ideia de fenómeno ou acontecimento. Por este conjunto de ideias utilizarei, neste texto, o termo **EVENTUALIDADE** (geomorfológica) com o mesmo sentido de 'hazard' ou 'aléas'.

A este propósito, F. Rebelo refere-se ao interesse deste tipo de discussão (1999), e não vê motivos para distinguir, na análise dos riscos naturais, o conceito de vulnerabilidade. Por via de vários exemplos, concluiu que não é legítimo afirmar que pode haver eventualidade sem risco. Para o

autor "... a noção de 'hazard', ..., pode perfeitamente traduzir-se por risco, em português:..." (1999, p.5).

3. Métodos de cartografia directa e indirecta.

A noção de que a presença do homem pode fazer variar a definição do grau de risco de uma área, necessariamente, conduz à ideia de desactualização da cartografia dos riscos naturais. Segundo Varnes (1984), "a elaboração de cartas geomorfológicas de pormenor constitui um poderoso instrumento para a análise da instabilidade de uma vertente. O registo da dinâmica passada e presente constitui informação essencial para estimar a instabilidade e prever potenciais ocorrências que envolvam risco para o homem". Um mapa de riscos que considere a estabilidade de uma vertente em função da dinâmica passada e presente, pode facilmente ficar desactualizado, se uma intervenção humana promover a ocorrência de movimentos de vertente quando, até então, não existia qualquer indício ou testemunho de movimentação. Embora as condicionantes naturais da instabilidade não permitam que se considere a existência de um risco elevado, a desestabilização antrópica de um sistema natural (no caso a vertente) pode, só por si, conduzir à alteração da definição do grau de risco para uma determinada área.

Cojean e Gautier (1984) propõem uma metodologia de elaboração da cartografia de riscos que poderá permitir uma maior flexibilidade e adaptação a áreas onde a pressão demográfica poderá alterar, em curto espaço de tempo, as condições de funcionamento dos diversos sistemas naturais.

Numa primeira fase são analisadas várias situações onde se

verificou a existência de uma dinâmica do meio físico capaz de provocar perigo para o homem. Uma comunidade afectada por um movimento em massa ou por uma cheia poderão ser utilizados como casos-estudo de forma a definirem-se as condições de ocorrência deste tipo de fenómeno. Uma vez seriados e hierarquizados todos os factores envolvidos, bem como o grau de importância que cada um tem no desenrolar dos fenómenos, assim como na sua intensidade, procuram-se identificar áreas semelhantes. São, então, definidas as unidades de risco. A definição do grau de risco para cada unidade vai depender da importância que os factores de risco existentes, nessa área, desempenham na promoção da dinâmica do meio físico, identificada nos casos-estudo. Ao contrário de definirmos os riscos naturais a partir da cartografia dos processos geomorfológicos já conhecidos e observados no terreno ou, ainda, das áreas que apresentam indícios de movimentos de vertente, a cartografia feita a partir dos factores de risco natural, não está dependente de uma actualização permanente sempre muito morosa de executar. Acresce que, frequentemente, existem áreas onde embora não tivessem sido observados quaisquer indícios de movimentos de terreno, ocorreram importantes movimentações de materiais. Por estes motivos, a cartografia indirecta, apesar de correr o risco de promover generalizações abusivas, permite a antecipação e o registo de áreas onde existe um determinado grau de risco, apesar da ausência de indícios de observação directa.

A ideia de risco potencial apela para a possibilidade de alteração das condições de ocorrência da dinâmica do meio físico. Nesse caso, o agente de planeamento que disponha de um mapa de riscos potenciais poderá encarar como transitória a informação de que dispõe. Ao contrário,

uma cartografia que faça a zonação de grau de risco natural parece mais definitiva, e transmite a convicção de que o meio físico permanece com uma dinâmica própria, independentemente das alterações resultantes da pressão antrópica que sobre ele possa existir.

4. Variabilidade dos fenómenos naturais e vulnerabilidade das sociedades.

Sempre que se procura executar e proceder à zonação dos riscos naturais e à análise da susceptibilidade geomorfológica, vemo-nos confrontados com dois pólos diversos do problema: a dinâmica natural e a presença do homem à superfície da Terra. Só quando pretendemos abordar o problema do ponto de vista ambiental aparecem definições que colocam a intervenção humana e o meio físico em interacção. É o caso da definição de Smith (1992, p. 16) para "eventualidade ambiental: acontecimentos geofísicos extremos, processos biológicos e acidentes tecnológicos maiores, caracterizados pela libertação concentrada de energia ou material, que constitui uma largamente inesperada ameaça à vida humana e pode causar danos significativos em bens e no ambiente". Neste exemplo, o meio físico e a acção humana são, em simultâneo e em conjunto, elementos activos capazes de libertar quantidades concentradas de energia e materiais, e elementos passivos que sofrem as consequências da dinâmica do meio físico e da manipulação tecnológica.

A análise dos riscos, em especial dos riscos naturais, coloca o problema da relação entre homem e meio físico. De facto, hoje é muito complicado procedermos à análise das condições de ocorrência do conjunto dos processos naturais, especialmente ao nível da dinâmica de vertentes, sem considerarmos o tipo de comportamento do homem à superfície da Terra.

Desta forma, é muito difícil estudar o comportamento do meio físico e a probabilidade de um qualquer fenómeno ocorrer e provocar danos, sem que se perceba que algumas das suas causas são atribuíveis à acção humana. Esta interligação permanente entre homem, suas actividades e dinâmica do meio físico recoloca o problema da definição do que é um fenómeno natural capaz de produzir dano. Ou seja, o que é uma eventualidade natural? O que é natural? Como já vimos, as relações homem-ambiente podem ser analisadas de vários ângulos. Considerando o homem como agente passivo e como agente activo. No entanto, parece-nos que existe, cada vez mais, a possibilidade de o homem aparecer, mais frequentemente, na análise dum mesmo desastre natural, como agente activo e ao mesmo tempo como elemento exposto.

Desta forma, a análise dos riscos naturais aparece cada vez mais como uma análise integrada do meio físico e acção humana, sendo que o homem é um elemento da vida e dinâmica terrestre, o que torna mais difícil a análise do risco natural separadamente da análise de todos os outros riscos, nomeadamente os riscos tecnológicos. Como poderemos analisar os riscos decorrentes do funcionamento de uma refinaria de petróleo junto de uma cidade (ou mesmo a possibilidade de nela ocorrer um acidente), se não considerarmos a direcção e intensidade dos ventos dominantes? Como estudar as consequências de um deslizamento que afecta uma conduta de gás natural, e os riscos associados? Como equacionar as causas de um fluxo de detritos que resultou da concentração da drenagem de uma estrada numa linha de água colmatada por depósito argiloso? As alterações da dinâmica do meio físico, directa ou indirectamente produzidas pela acção humana, são, cada vez mais, importantes e frequentes. Contudo, são, ainda, os factores de

ordem natural os que definem o tipo de processos do meio físico. No caso dos movimentos de vertente, a acção humana é, frequentemente, um dos últimos factores que faz com que se atinja a ruptura dos materiais. Porém, sem o conjunto de condicionantes e factores de ordem natural que propiciam o desencadeamento dos movimentos de vertente, de nada valeria a intervenção antrópica. Sem as diversas condicionantes geográficas de carácter natural não seria possível o desenvolvimento da evolução das vertentes que agora estudamos. Quando muito, a acção humana poderá, apenas, intensificar essa evolução.

Sabemos, portanto, que os riscos naturais estão directamente dependentes das condições geográficas da dinâmica do meio físico. Estas, porém, têm uma grande variabilidade espacial e temporal. A precipitação é um dos factores mais importantes na evolução de vertentes e é considerado como o factor desencadeante de inúmeros processos geomorfológicos. Como já foi explicitado na parte C, existe uma grande variabilidade temporal e espacial deste factor. É possível conseguir analisar a evolução do estado do tempo numa região, ao longo dos próximos dias, mas é extremamente difícil perceber, num espaço de alguns quilómetros, as variações de precipitação capazes de desencadear um deslizamento. Esta variabilidade é também extensível às condições geomorfológicas de ocorrência de um processo de evolução de vertente. A existência de uma linha de água colmatada por materiais argilosos, e declives superiores a 30°, pode constituir um local privilegiado para o desenvolvimento de um processo geomorfológico que envolva risco para algumas pessoas e bens de uma comunidade, e não o seja para outras que lhes são vizinhas. Isto está relacionado, no essencial, com a dimensão dos fenómenos, o que, depende dos factores desencadeantes e dos

factores permanentes. Mas, pode ocorrer que um determinado episódio chuvoso, considerado insuficiente para o desencadear de um fluxo de detritos, seja auxiliado por uma intervenção antrópica. Nesse caso, as condições geográficas consideradas seguras para uma determinada comunidade, deixam de o ser. A acção humana pode estar na origem da variabilidade dos fenómenos naturais. A variabilidade temporal (com o aumento da frequência de ocorrência) e a variabilidade espacial (com o conseqüente alargamento das áreas onde potencialmente poderão ocorrer estes fenómenos) aparecem como as maiores dificuldades da construção de uma cartografia de riscos destinada ao planeamento físico e ordenamento do território.

5. A consciência e a gestão do risco. A previsão e a predibilidade dos processos naturais. Modelos deterministas e probabilistas da gestão do risco.

Sabemos que a intensidade e dimensão de um fenómeno podem ser agravadas pela intervenção humana (Parte C, cap. C2). Desta forma, as pessoas que ocupavam uma área que estaria a salvo da acção destruidora desse fenómeno, poderão estar agora numa situação mais vulnerável. A variabilidade espacial das condições geográficas do risco podem, assim, ser alteradas pela intervenção humana. Smith (1996, p.11) faz depender a vulnerabilidade de dois factores importantes: o grau socio-económico de tolerância de uma sociedade e a variabilidade dos elementos geográficos. A capacidade das sociedades de resistir e não sofrer danos é tanto maior quanto mais evoluídas tecnológica e culturalmente forem (fig. D1.5).

Neste caso, a capacidade de intervenção poderá ter uma influência determinante sobre a dinâmica do meio físico. Se estamos na

presença de uma sociedade tecnocêntrica, esta poderá ter uma atitude que pretenda dominar e controlar a dinâmica do meio físico, ignorando que poderá estar a agravar e a aumentar a intensidade e grandeza dos processos naturais. Deste modo, a frequência de ocorrências extremas poderá aumentar, e com isso, diminuir o grau de tolerância das sociedades aos fenómenos potencialmente perigosos.

Ao contrário, as sociedades conscientes e responsabilizadas quanto aos problemas dos riscos naturais e da vulnerabilidade, poderão desenvolver medidas de conhecimento da dinâmica do meio físico e organizar a melhor forma de conviver e interagir com os fenómenos potencialmente perigosos (Léone, 1996). O conhecimento das causas e uma intervenção que permita a diminuição da sua importância, poderá conduzir à diminuição da frequência de ocorrência de situações extremas, permitindo uma maior tolerância das sociedades perante a dinâmica do meio físico.

O controle do risco natural é o resultado de duas variáveis profundamente interligadas. Por um lado, as respostas de carácter cultural e tecnológico das sociedades (de grande diversidade geográfica) e, por outro, a susceptibilidade geomorfológica de ocorrência de fenómenos potencialmente perigosos, que também apresentam uma grande diversidade espacial e temporal. Desta forma, somos levados a analisar o risco sempre numa perspectiva geográfica, e, portanto, o risco natural impõe uma análise que terá forçosamente um carácter pluridisciplinar.

Christine Dourlens e Pierre Vidal-Naquet (1987) classificavam as atitudes de gestão do risco segundo dois modelos: determinista e probabilista. Ao construirmos uma estrada, necessária à comunicação entre duas regiões, contribuimos para a melhoria de funcionamento de um sistema social. No

entanto, no processo de construção promovemos aterros que, dada a sua implantação no meio físico, poderão tornar-se extremamente perigosos para as áreas da vertente a jusante da estrada. A programação da construção da estrada não previu os eventuais riscos naturais derivados da sua implantação. Poderemos evitar, com a ajuda da cartografia dos riscos naturais, as áreas de maior risco na implantação desta nova infra-estrutura, mas não é feita a análise das implicações que ela vai ter na dinâmica do meio físico e eventual alteração da zonação dos riscos naturais.

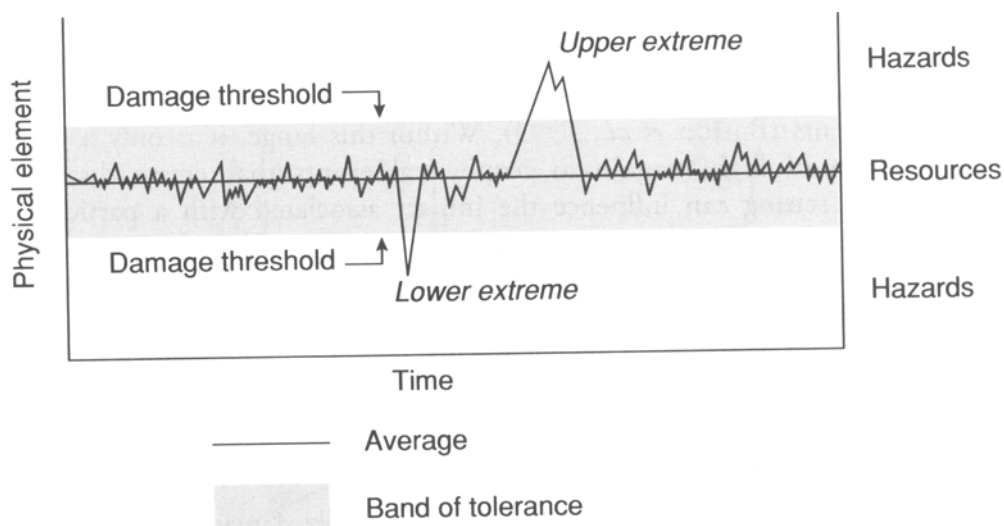


Fig. D1.5: A sensibilidade para com a eventualidade geomorfológica é expressa em função da variabilidade dos elementos geofísicos e do grau de tolerância socio-económica. Dentro da banda de tolerância, os acontecimentos são percebidos como recursos; para além dos limites, os danos são encarados como eventualidades. Extraído de K. Smith (1996), modificado de Hewitt e Burton (1971).

O modelo determinista de gestão do risco quase sempre reage, *a posteriori*, na resolução dos problemas provocados pelas catástrofes naturais. No funcionamento do sistema social, implantado sobre o meio físico, o risco aparece como um resíduo, um 'ruído', que importa mitigar e expurgar, e a maior parte das vezes é transferido para outros lugares. No caso da estrada, assegura-se o funcionamento da infra-estrutura e, por essa via, do sistema

social, mas transfere-se o risco para as áreas que estiverem na vertente, a jusante da estrada. É uma análise e gestão do risco parcelar e estanque. Não observa o conjunto do espaço geográfico e não considera a análise global do sistema social e a sua implantação espacial. Caso haja um movimento de vertente relacionado com a concentração do escoamento das águas, provocado pela construção dessa estrada, então a sociedade reage tentando minorar os problemas e procura soluções para evitar a sua repetição. Neste caso, a sociedade procura, de imediato, retomar a 'normalidade', tentando repor o conjunto de infra-estruturas necessárias à funcionalidade do sistema social afectado. "O risco é essencialmente concebido como um elemento perturbador que momentaneamente vem desestabilizar o funcionamento de um sistema fundamentalmente ordenado" (C. Dourlens e P. Vidal-Naquet, 1987, p. 400).

As cheias ocorridas na bacia da Povoação em 1996 são um bom exemplo do que acabamos de expor. Em Abril de 1997 grande parte das destruições ocorridas em Dezembro de 1996 na Povoação já estavam reparadas, ou avançavam a bom ritmo. Tinham sido repostos os sectores dos cursos de água canalizados artificialmente sob as ruas da Povoação, refazia-se o parque biológico à saída do canhão basáltico de uma ribeira e a maior parte das estradas estavam transitáveis. No entanto, os erros de intervenção que agravaram as consequências das cheias tornaram a ser repetidos. Reconstruiu-se tudo, exactamente conforme já existia. A funcionalidade do sistema urbano da Povoação foi reposta, como se o risco deixasse de existir, e os processos de escoamento que originaram as destruições não viessem a repetir-se.

Num modelo probabilista, o risco é encarado como "princípio de

organização" (C. Dourlens e P. Vidal-Naquet, p. 402). No exemplo da implantação da estrada numa vertente, a análise do funcionamento do sistema vertente deveria ser encarado de forma mais ampla. A intervenção promovida pela instalação da estrada deverá ser analisada considerando o papel que terá no funcionamento do sistema de comunicações entre comunidades, mas não deverá ser esquecido o sistema vertente, o seu funcionamento e as repercussões que terá sobre o ambiente. Uma vez ocorrida uma movimentação de vertente, há que repor em funcionamento o sistema de comunicações, mas há que adoptar as medidas necessárias à protecção das comunidades locais e respectivas infra-estruturas, em relação ao funcionamento do sistema vertente. Se necessário, poderá encarar-se a possibilidade de retirar a estrada, já que se verifica incompatibilidade com um provável equilíbrio da vertente. Não impedindo a dinâmica natural da vertente, há que promover a sua leitura, interpretar o risco e conjugar o dinamismo das comunidades e actividades humanas com a dinâmica do ambiente. Dessa forma, generaliza-se o risco, organizam-se as actividades das comunidades em função do risco previsível, torna-se o risco relativizado. O risco relativizado é analisado em função de outros riscos, em função de outras disfunções no conjunto dos sistemas. Estamos na presença de uma atitude de 'gestão' do risco e não só de 'eliminação' do risco. A optimização na gestão dos riscos "...consiste, não tanto em acumular medidas de redução do risco, mas em definir um equilíbrio homeostático entre riscos concorrentes" (C. Dourlens e P. Vidal-Naquet, 1987, p. 405).

Esta perspectiva sistémica da análise dos riscos parece estar directamente ligada com as diversas metodologias de estudo dos riscos. Os modelos deterministas da gestão do risco parecem ter uma correspondência

directa aos modelos deterministas do estudo dos processos naturais. Retomemos o exemplo da estrada afectada por um movimento de vertente. Uma abordagem determinista no estudo do movimento de vertente desenvolveria uma leitura quantitativa, por métodos geotécnicos, que promoveria um estudo exaustivo do movimento, das condições hídricas a montante da estrada, de forma a definir intervenções capazes de controlar a dinâmica da vertente e, com isso, tentar impedir a repetição do fenómeno. Seguir-se-iam projectos de intervenções, baseados em complicadas obras de engenharia, criando a ilusão do controle, sem consequências ao nível da dinâmica do meio físico.

Em contrapartida, os modelos probabilistas no estudo dos riscos parece ter uma coincidência com os modelos probabilistas da gestão dos riscos. Para os modelos probabilistas é essencial a produção de uma cartografia que enquadre a leitura de um qualquer problema da dinâmica do meio físico. A zonação dos riscos aparece sempre como um método de trabalho que autoriza uma leitura global da dinâmica do meio e permite globalizar o estudo sobre riscos. A leitura conjunta dos riscos e sua interligação são facilitadas pela elaboração da cartografia das áreas onde se verificam fenómenos que envolvam risco. Neste contexto, a cartografia indirecta (ligada ao estudo dos riscos potenciais) aparece como estando mais próxima duma análise dessa dinâmica e, portanto, em maior consonância com os modelos de gestão probabilistas. Este aspecto permite realçar a ideia de análise espacial como condicionante de referência na análise dos riscos e, entre eles, dos riscos naturais.

6. Geografia e geofraficalidade do risco.

Para K. Hewitt (1997) o risco, a eventualidade, a vulnerabilidade e o desastre só poderão ser analisados numa perspectiva geográfica e pluridisciplinar. Com efeito, os fenómenos que potencialmente poderão provocar danos para o homem e seus bens, assim como a vulnerabilidade das sociedades, apresentam um aspecto geográfico que ele designa 'geofraficalidade do desastre'. Essa geofraficalidade só poderá ser vista quanto à variação espacial e temporal dos fenómenos naturais e sociais. A componente espaço está presente na análise dos riscos naturais e poderá ser extremamente relevante na diminuição da vulnerabilidade das sociedades. Uma cartografia dos factores de risco natural e da susceptibilidade de ocorrência de fenómenos potencialmente perigosos é essencial para que uma sociedade possa alargar a banda de tolerância perante os eventos extremos da dinâmica do meio físico. A cartografia dos riscos naturais apresenta-se como instrumento de leitura e localização do risco e é expressão da sua geofraficalidade (K. Hewitt, 1997).

Como já vimos, os fenómenos naturais e sociais, apresentam uma grande variabilidade espacial e temporal. Desta forma, a cartografia do risco tem um carácter eminentemente transitório. No entanto, seria possível proceder à cartografia dos processos naturais e das áreas por eles afectadas, num determinado momento. Por exemplo, seria possível cartografar as áreas afectadas por movimentos de vertente, num vale. Neste caso, estaríamos perante a cartografia da dinâmica natural onde seria possível identificar os fenómenos que potencialmente teriam maior risco para o homem e suas actividades. Porém, a acção humana promove intervenções no meio físico capazes de transformar as condições naturais e modificar sectores onde não

estavam registados movimentos de vertente. De imediato se verifica uma desactualização da cartografia do risco. Essa desactualização poderia transformar esse instrumento de planeamento numa fonte de desinformação ou mesmo de má informação. Isso advém do facto da dinâmica do meio físico depender cada vez mais do homem e suas actividades. No exemplo da cartografia dos movimentos de vertente num determinado vale, o homem aparece como sendo um agente geomorfológico capaz de condicionar essa dinâmica. Neste tipo de cartografia, as áreas não afectadas por movimentos de vertentes poderiam, num determinado momento, ser consideradas seguras para a utilização pelo homem, mas, dependendo dessa utilização, poderiam transformar-se em áreas propícias à ocorrência de movimentos de vertente e, portanto, com fortes restrições ao uso.

A importância da cartografia dos riscos deve ser encarada numa perspectiva dinâmica. À medida que a população cresce e as sociedades evoluem, também aumenta a pressão sobre o meio físico; a intensidade e a frequência de ocorrência de fenómenos naturais podem também modificar-se, o que, frequentemente, é induzido pela acção humana. A faixa de tolerância de uma sociedade perante a eventualidade natural vai diminuindo e a vulnerabilidade alarga-se. Perante um ambiente fortemente dinâmico, a cartografia terá de comportar e reflectir o dinamismo da sociedade e a sua interacção com o espaço, e nele, com as condições naturais que terão atingido o equilíbrio dinâmico antes da presença do homem. Essa cartografia terá que reflectir a provável reacção de ajustamento que o meio físico promoverá para recuperar o equilíbrio, entretanto perdido pela intervenção do homem.

7. Os SIG como instrumento de gestão dos riscos naturais.

A necessidade de reavaliação permanente dos riscos naturais é uma função importante da cartografia. A capacidade de resposta da cartografia perante um novo factor que altere as condições da dinâmica do meio físico é uma necessidade do ordenamento do território e do planeamento físico. Torna-se necessário construir um sistema em que seja tomado em conta um conjunto de factores que influem nessa dinâmica, onde se analise a importância de cada um, como funcionam e promovem essa dinâmica, e que áreas poderão estar sujeitas à sua influência. Dessa forma, poderíamos definir áreas de risco natural que, em determinado momento, conduzissem a um conjunto de restrições na utilização do espaço. Mas, no caso de haver alteração dum desses factores, teríamos a possibilidade de proceder a uma reavaliação do espaço e à construção de uma nova cartografia que fosse o reflexo da nova situação (C. Mitchaell, 1991; K. Hewitt, 1997 e J. L. Zêzere, 1997).

Um sistema de informação geográfica de riscos naturais corresponde a um instrumento de trabalho capaz de, a todo o momento, definir o tipo de entradas no sistema que condiciona a dinâmica do meio físico e promover alterações na cartografia de riscos naturais construída. Mais do que produzir uma cartografia definitiva das condicionantes do meio físico, há que produzir um fluxo de trabalho que, a todo o momento, nos permita reavaliar as condições de segurança de uma comunidade. A probabilidade de ocorrência de um fenómeno potencialmente perigoso pode ser profundamente alterada pela acção humana, o que pode ser simulado num sistema de informação geográfica. Ao mesmo tempo, pode ser construída uma nova cartografia do risco natural, considerando os novos factores influentes

nessa dinâmica. Para cada situação em concreto, é possível a construção da cartografia das áreas de risco natural que traduzem as novas condições geográficas da dinâmica do meio físico ou onde se prevêem consequências de uma intervenção humana nessa dinâmica e na definição das áreas de risco natural (K. Hewitt, 1997).

A construção de um fluxo de trabalho de um SIG sobre a susceptibilidade geomorfológica pressupõe a existência de informação recolhida directamente sobre o terreno ou, eventualmente, por detecção remota (S. Aronoff, 1989 e P. A. Burrough, 1986). Essa informação é a base de todo o sistema. Constitui o primeiro passo para atingir o objectivo a que nos propomos (fig. D1.6). No que se refere ao SIG sobre a susceptibilidade geomorfológica, a recolha das condições naturais e antrópicas de ocorrência de movimentos de vertente impõe que se desenvolva um trabalho de levantamento dessas condições. São os factores permanentes do risco geomorfológico, mais concretamente, da susceptibilidade geomorfológica. Esse trabalho permite a definição das condições permanentes da susceptibilidade geomorfológica que seleccionará a informação geográfica georeferenciada que constituirá a entrada do sistema.

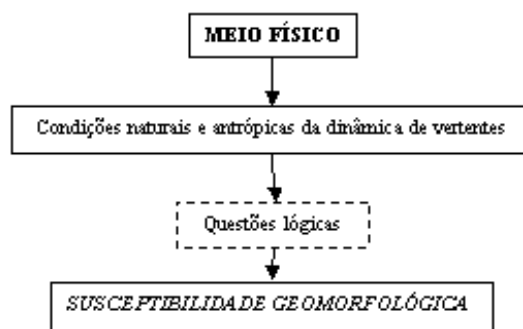


Fig. D1.6: Fluxo de trabalho para a constituição de um Sistema de Informação Geográfica da Susceptibilidade Geomorfológica.

Esse facto, indica que o trabalho de campo é a base principal de recolha de informação, com o apoio laboratorial indispensável. No actual nível tecnológico, a detecção remota tem-se mostrado bastante eficiente na recolha da informação à escala regional, mas, no que se refere aos trabalhos a grande escala, as dificuldades têm sido grandes, pelo que o trabalho de campo, apesar de moroso, tem sido determinante na recolha da informação. Contudo, uma vez identificadas, no terreno, as condições geográficas de ocorrência de movimentos de vertente, é possível promover uma cartografia à escala média, recorrendo à fotografia aérea, no sentido de delimitar as áreas que poderão estar sujeitas a essas condições.

O desenvolvimento desta fase do trabalho exige que se elejam áreas amostra, onde o estudo de casos será objecto de teste da metodologia a desenvolver. Nessas áreas, o trabalho de campo será desenvolvido no sentido de estudar as condições gerais de ocorrência de movimentos de vertente. Uma vez analisadas essas condições, poderemos cartografá-las e introduzi-las no sistema. Desenvolve-se, então, o conjunto de procedimentos, com base na análise topológica, conducentes à análise espacial da informação. Este tipo de trabalho é, genericamente, designado por construção das questões lógicas que permitem relacionar informação georeferenciada (fig. D1.6).

O resultado dessa análise espacial, feita em SIG, deverá ser a cartografia da susceptibilidade geomorfológica de movimentos de vertente. Esta deverá ser a compilação do conjunto das condições verificadas nas áreas amostra, mas com a generalização suficiente para que, com uma leitura fácil das características do meio físico de uma área diferente, se possam identificar as linhas gerais dos riscos naturais.

7.1. As entradas em SIG

O ponto de partida de um mapa de riscos naturais terá de ser sempre o meio físico. Quando pretendemos definir as condições naturais de ocorrência de processos geomorfológicos relacionados com a evolução das vertentes torna-se indispensável o conhecimento do meio físico, mas sobretudo do tipo de evolução, quer sob condições naturais, apenas, quer influenciadas pela acção humana. Esse conhecimento é determinante para a definição das condições de ocorrência de processos geomorfológicos de evolução de vertente. É o conjunto destas condições que vai permitir a definição da susceptibilidade de uma área à ocorrência de um processo geomorfológico gerador de risco.

O trabalho de identificação das condições naturais e/ou antrópicas de ocorrência de movimentos de vertente constitui a base do conjunto de informação que dará origem às entradas do sistema. É, portanto, necessário proceder à leitura do meio físico e, dessa forma, promover a formação de cartografia que melhor espelhe a realidade, no nível actual dos conhecimentos. As fontes de informação são muito diversas podendo utilizar-se métodos muito sofisticados (detecção remota ou trabalho de laboratório) ou métodos simples, mas não menos eficazes (cartografia e levantamentos de campo) (C. Mitchell, 1991). Neste aspecto, o rigor da recolha da informação é fundamental, mesmo que as condições em que foi feita a recolha sejam do nosso conhecimento. Este rigor vai ser determinante para a qualidade da informação que constitui a entrada em SIG. Para que o SIG seja eficaz no cumprimento das suas funções de planeamento físico e ordenamento do território é fundamental que a informação recolhida seja o reflexo da realidade do meio físico em análise.

É ao nível das entradas em SIG que podemos introduzir as alterações à dinâmica do meio físico promovidas pelo homem. Uma vez alteradas as entradas do sistema estaremos a desenvolver um fluxo de trabalho que será diferente do anteriormente concebido, permitindo ao sistema o desenvolvimento da análise perante as novas condições de ocorrência de movimentos de vertente. Muito provavelmente, as questões lógicas suscitadas terão que ser reformuladas e, portanto, as saídas do sistema terão, necessariamente, que ser diferentes.

7.2. Funcionamento do SIG.

A utilização do SIG recorre a dois tipos de funcionalidade: análise com recurso a vectores e análise com recurso a grelhas. Genericamente, a cartografia está relacionada com a base vectorial ao passo que, a informação recolhida por detecção remota é trabalhada com base no sistema grelha. A interligação entre os dois sistemas tem sido muito difícil de conciliar em ambiente SIG (C. Mitchell, 1991). No trabalho que agora apresentamos, recorreremos ao sistema vectorial para construir o SIG. Mesmo no que se refere ao cálculo automático de declives, operação muito morosa e de grande exigência operativa em SIG, optou-se pela construção de cartas segundo o método das áreas homogéneas em sistema vectorial.

O trabalho de comparação das condições naturais e antrópicas de ocorrência de movimentos de vertente, a realizar em ambiente SIG, permitirá cartografar os sectores de convergência dessas condições, definindo as áreas de diferentes graus de susceptibilidade geomorfológica. Este tipo de análise espacial, com base vectorial, necessita do desenvolvimento das questões lógicas que exploram as relações de vizinhança (análise topológica), alicerçadas na informação que constitui as entradas no

SIG. A elaboração das questões lógicas, que promovem a análise espacial, exige o conhecimento do dinamismo do meio físico. Com a análise topológica é possível promover o estudo das relações de vizinhança, de intercepção e união, fazer comparações qualitativas e de grandeza. Este trabalho de inter-relacionamento de informação de cariz diverso é designado por sobreposição de níveis.

Com o suporte do SIG, promoveu-se a conjugação das várias condições de ocorrência dos movimentos de massa, por sobreposição da informação disposta em níveis, o que poderá resultar na definição dos diferentes graus de susceptibilidade geomorfológica, expressa em termos cartográficos.

7.3. As saídas do sistema.


O mapa de síntese da susceptibilidade geomorfológica de movimentos de vertente resultará do conjunto de critérios definidos em ambiente SIG. Uma vez definidos os mapas de diferentes graus de susceptibilidade, poder-se-á evoluir para uma cartografia de síntese da eventualidade geomorfológica e daí, com a vulnerabilidade, para os riscos geomorfológicos. Esse trabalho poderá ser feito, ainda, com o auxílio das questões lógicas. Desta forma, conseguimos atingir uma cartografia das áreas onde o risco máximo corresponderia à convergência das condições naturais e antrópicas que mais propiciam os riscos nas vertentes (S. Gerrard, 1995).

A conjugação de toda a informação num mapa onde existe a probabilidade de ocorrência dos vários movimentos de vertente e a vulnerabilidade dos elementos expostos dará um mapa de risco global. Este mapa delimitará as áreas dos riscos naturais ao nível das vertentes. Para atingir este objectivo, torna-se claro que a qualidade da cartografia

produzida vai depender das entradas e do funcionamento do sistema. É, portanto, necessária uma boa caracterização, regional e local, do meio físico que pretendemos representar, para que as entradas no sistema correspondam à realidade do ambiente. De igual forma, é indispensável o tratamento crítico da informação, de forma que, a zonação dos riscos naturais nas vertentes seja um precioso auxiliar do planeamento físico e ordenamento do território, capaz de sofrer reformulações sempre que as condições permanentes de ocorrência de movimentos de vertente forem alteradas. Só assim se garantirá um bom funcionamento e a qualidade das saídas do sistema, ou seja, da cartografia final. Este objectivo só poderá ser conseguido se existir o envolvimento do utilizador do SIG no processo de produção da cartografia final. O resultado final será uma maior aderência à realidade, se houver, durante o processamento da informação, uma grande envolvimento do utilizador, introduzindo toda a experiência e conhecimento do terreno, na manipulação da informação. Deste processo depende a qualidade da informação final produzida (C. Mitchell, 1991).

Capítulo D2 –As condições de ocorrência de movimentos de vertente e unidades territoriais na área experimental de Guimarães.

1. Os sistemas territoriais aplicados à análise geomorfológica.

No capítulo A3 referimos algumas das questões que se relacionam com a cartografia geomorfológica e o tratamento da informação em ambiente de Sistema de Informação Geográfica. A questão que mais condiciona a cartografia da susceptibilidade geomorfológica diz respeito à compatibilização das entidades gráficas utilizadas na representação cartográfica da geomorfologia e as que são reconhecidas pelos SIG. Por exemplo, uma área afectada por escorrência difusa é representada por um conjunto de sinalefas () que, distribuídas por um determinado espaço, definem uma área. No entanto, graficamente não são consideradas em ambiente SIG como entidades de área, mas, tão só, um conjunto de células gráficas, cada uma das quais, autónoma e com uma ligação à base de dados individualizada. Definem, portanto, a informação de um ponto (capítulo A3). Como poderemos transformá-las em informação georeferenciada, capaz de representar uma área e ser reconhecida como tal pelo sistema? Para ultrapassar este problema procurou-se constituir uma representação cartográfica baseada na definição de sistemas, unidades e elementos territoriais (C. Mitchell, 1991).

Os sistemas territoriais definem áreas "... as quais têm, no seu interior, atributos de terreno comuns, diferentes das áreas adjacentes" (Cook e

Doornkamp, 1990, p. 20). Do ponto de vista da geomorfologia e da susceptibilidade geomorfológica é possível desenvolver sistemas territoriais que procurem agrupar características geomorfológicas comuns. Estes sistemas permitiriam uma cartografia em que se deveriam associar características do terreno tais como topografia, formações superficiais, litologia, declives, rede hidrográfica e clima. Esta associação resultaria de uma dinâmica geomorfológica responsável pela evolução, passada e presente, do relevo. Este sistema territorial definiria uma área com um conjunto de características e uma determinada dinâmica. Um dos exemplos mais característicos deste tipo de sistemas territoriais encontra-se nas áreas de modelado granítico. Nessas áreas encontramos morfologia, rede de drenagem, litologia, coberto vegetal e, por vezes, condições climáticas, que, no conjunto, se distinguem das áreas envolventes. Formam assim um sistema territorial que se caracteriza por uma dinâmica geomorfológica, hidrologia e formações vegetais profundamente interligadas e interdependentes (fig. D2.1) (R. U. Cook e J. C. Doornkamp, 1990 e C. Mitchell, 1991).

Estes sistemas territoriais são divisíveis em unidades mais pequenas (unidades territoriais) que podem ser analisadas segundo os diferentes elementos que as constituem. Ainda utilizando o exemplo anterior, poderemos analisar um sistema territorial de modelado granítico como sendo constituído por vales alveolares, superfícies planas, *inselbergs*, alvéolos, Por seu lado, cada uma destas unidades pode ser analisada segundo os seus elementos territoriais. Um vale alveolar é constituído por um fundo de vale, vertentes, ravinas, terraços fluviais, rechãs rochosas e apresentar cones de dejectão ou tors, etc. Estes constituiriam os elementos territoriais das referidas unidades.

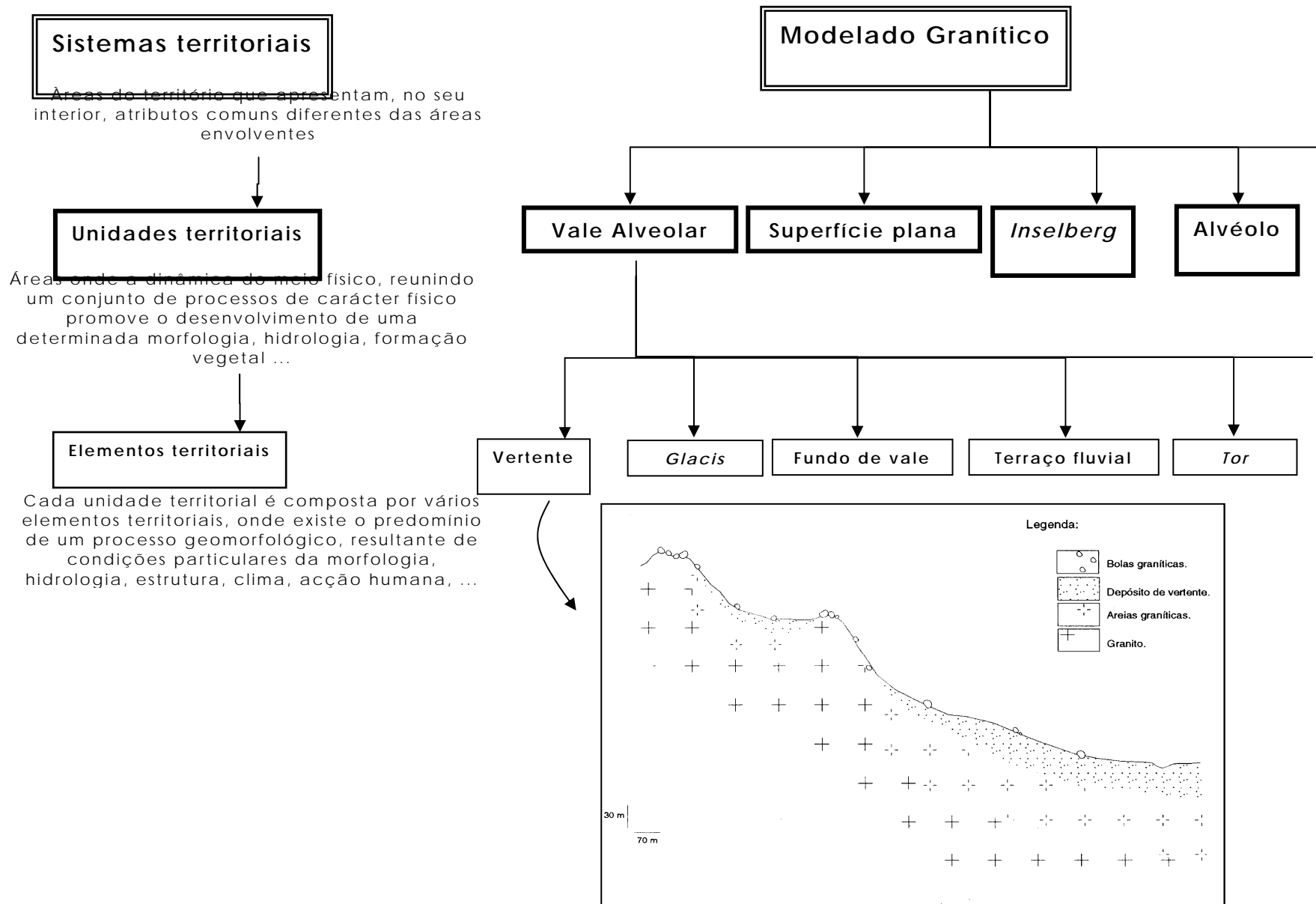


Fig. D2.1: Os sistemas, unidades e elementos territoriais aplicados aos estudos sobre a dinâmica do meio físico surgem como solução para a utilização dos SIG na definição da susceptibilidade geomorfológica. Elaborado com base em R. U. Cook e J. C. Doornkamp (1990) e C. Mitchell (1991).

Cada uma das unidades territoriais desenvolverá uma dinâmica geomorfológica própria, com o conjunto de processos erosivos que contribuem para a sua evolução. Num vale poderá haver um balanço de dissecção positivo que resulte na acumulação forte de sedimentos e a constituição de uma ampla planície de inundação. Esta unidade territorial, desenvolve uma forma resultante da acumulação de sedimentos. A origem desses materiais resulta de uma importante e intensa evolução de vertentes; o escoamento fluvial não tem competência e capacidade de remoção, permitindo-se, tão só, um retoque e arranjo dos materiais que atingem o fundo do vale. A dinâmica do elemento territorial vertente determina a origem dos materiais que atingem o fundo do vale, o que depende do declive, litologia, intervenção humana e condições climáticas que afectam esse elemento. Por outro lado, o curso de água que percorre o vale apresenta uma dinâmica, que, pelas suas características, não permite a evacuação dos materiais e, com isso, promove a construção de uma planície que, em situações de escoamento fluvial extremo, é utilizada para diminuir a energia promovida pelos caudais extremos. A morfologia desta unidade territorial designada vale é resultado da combinação da dinâmica de dois elementos territoriais que a compõem: a vertente e o curso de água.

No que se refere à evolução das vertentes, nomeadamente quando tratamos dos movimentos de vertente, é fundamental definir as unidades e os elementos territoriais onde é possível ocorrer este tipo de movimentação, bem como as suas características. Depois, é preciso confrontá-las com as condições em que se registam esses processos. Desta forma, teremos a definição de áreas, representáveis por polígonos, reconhecíveis em ambiente

SIG (ver cap. A3).

Apesar de se tratar de um esquema de representação simplificado, onde não há lugar para a simbologia geomorfológica, define, na representação de um mesmo espaço do meio físico, as áreas onde é possível ocorrer um mesmo processo geomorfológico dominante que, nos nossos estudos, são os movimentos de vertente. Este processo de simplificação impõe que o utilizador faça opções a dois níveis: da escala de análise e do tipo de legenda a utilizar. Consoante o tipo de simplificação que se fizer, também a escala de análise deve ser maior ou menor. Se optarmos por uma representação à escala média, então, necessariamente, estaremos a introduzir generalizações na informação que caracteriza essa unidade. No entanto, os limites das unidades territoriais deverão englobar áreas o mais homogêneas possível. Porém, sabemos que dentro das unidades territoriais se poderão encontrar pequenos sectores de uma outra unidade territorial. Segundo Mitchell (1991), é aceitável que isso aconteça desde que não se ultrapassem os 15% da área total da referida unidade.

2. Sistemas e unidades territoriais na área de Guimarães.

2.1. As unidades morfológicas na área de Guimarães.

Como vimos, a análise territorial desenvolvida no cap. D1 procura identificar áreas de território que permitam a compatibilização da cartografia da dinâmica do meio físico com o trabalho em SIG. Esta análise pretende representar, dentro do mesmo polígono uma parte do território que, pelo conjunto de características morfológicas, hídricas, de cobertura vegetal e litológicas, permitam uma dinâmica geomorfológica capaz de produzir uma morfologia e dinâmica distintas das áreas envolventes. Nessas unidades

dominam um conjunto de processos geomorfológicos que contribuem para a construção de um determinado tipo de morfologia (R. U. Cook e J. C. Doornkamp, 1990). A cada uma destas unidades correspondem vários elementos territoriais e cada um deles poderá estar relacionado com um processo geomorfológico específico que domina e é responsável pela dinâmica registada nesse elemento territorial.

De facto, com este procedimento, procuramos agrupar as áreas de terreno onde seja possível identificar uma mesma forma de relevo. Ao pretendermos que uma determinada área seja cartografada dentro do mesmo tipo de unidade morfológica, estamos a atribuir a essa área um conjunto de características idênticas, referentes à forma do relevo. Por vezes, este processo de delimitação de unidades morfológicas impõe simplificações e generalizações inerentes ao próprio processo da produção cartográfica. Um dos factores mais determinantes nessa simplificação é a escala de trabalho escolhida para a representação. No caso da área experimental de Guimarães, a cartografia foi desenvolvida à escala de 1:25000, embora a apresentação final seja a 1:50000. A esta escala, estas unidades representam as linhas gerais do relevo, indicador importante quando pretendemos definir as áreas onde se poderá revelar uma maior susceptibilidade geomorfológica relativamente a um ou mais processos geomorfológicos. No pormenor, é possível encontrar no interior destas unidades algumas áreas que poderiam, com facilidade, ser identificadas com outras unidades; no entanto, a sua dimensão não é suficientemente ampla que justifique a sua individualização, pelo menos, a esta escala. É o caso de pequenas vertentes que existem no interior das superfícies planas degradadas. Trata-se, portanto, de definir as grandes unidades morfológicas que, em ambiente SIG, permitirão definir as áreas de

susceptibilidade geomorfológica. Constituem um primeiro contributo para a delimitação dos sectores onde é maior a eventualidade geomorfológica de movimentos de vertente (ver ponto 1 deste capítulo).

2.1.1. As superfícies planas degradadas.

Na parte NE da folha 85 (Guimarães) torna-se difícil distinguir entre as bacias hidrográficas dos rios Vizela e Ferro. Com efeito, ambos os vales parecem coalescer, resultando numa ampla superfície, de fundo irregular e de limites difíceis de definir. A ausência de vertentes bem delimitadas e de interflúvios bem desenvolvidos sugere a existência de uma superfície, resultante de uma evolução morfológica prolongada. O fundo desses vales apresenta-se muito irregular, com vertentes de pequena altura e fraco declive, que separam pequenas superfícies semelhantes a retalhos de um nível de erosão degradado. A transição entre o fundo dos vales de pequeno encaixe e os interflúvios é suave, sendo difícil distinguir, à escala de 1:25000, os diferentes elementos territoriais dos vales que os constituem. Morfológicamente, os fundos dos vales situam-se numa posição topográfica inferior a outras áreas de erosão, mas apresentam-se sobranceiros relativamente às secções dos vales que estão a jusante. A transição destas áreas para jusante faz-se por encaixes vigorosos, onde o perfil longitudinal tem declive forte.

Nestas condições morfológicas, os processos geomorfológicos dominantes estão relacionados com a escorrência. Igualmente importante é a capacidade de infiltração, largamente ajudada pelos declives fracos. Algumas vertentes, de pequena dimensão, cuja representação cartográfica é difícil à escala 1:25000, poderão desenvolver processos relacionados com

movimentos de vertentes, no entanto, dada a sua pequena dimensão, a probabilidade de ocorrência é limitada. A individualização destas áreas terá que ser feita com recurso à análise a uma escala mais pormenorizada e com o auxílio da cartografia dos declives. Apesar de se tratar de vertentes de pequena extensão e de fraca altura, por vezes, apresentam declives elevados (superiores a 20°), que é condição importante, embora não suficiente, para a ocorrência de movimentos de vertente (ver ponto 1 deste capítulo).

Na parte SE da folha 85 as altitudes variam entre os 400 m e os 500 m. Esta área está limitada por vertentes e apresenta-se sobranceira às áreas envolventes. Aparenta ter sido uma superfície de erosão que, progressivamente foi perdendo o aspecto aplanado em virtude do encaixe da rede de drenagem. Os cursos de água que drenam esta superfície são, na sua maioria, de 1ª e 2ª ordem (segundo Strahler). O encaixe é fraco, mas contribuiu para a degradação da superfície de aplanamento cujas altitudes mais elevadas rondam os 500 m. Esta unidade morfológica constitui uma área de divergência de drenagem sendo sujeita à acção erosiva de ravinas, barrancos e valeiros de pequena dimensão, e que constituem a parte superior da bacia hidrográfica do rio Bugio (afluente do rio Ferro, pertencente à bacia hidrográfica do Vizela). A acção da escorrência parece constituir o elemento determinante dos processos erosivos ao longo desta superfície. Apesar dos declives fracos, o que potencia a infiltração, é possível o desenvolvimento da escorrência, desde que o coberto vegetal não exista ou se torne esparso. Pontualmente, poderão identificar-se alguns sectores, de pequena dimensão, onde seja possível o desenvolvimento de outros processos geomorfológicos, nomeadamente os que estão relacionados com os movimentos de vertente. Contudo, à semelhança do que ocorre em Fafe, as vertentes, não

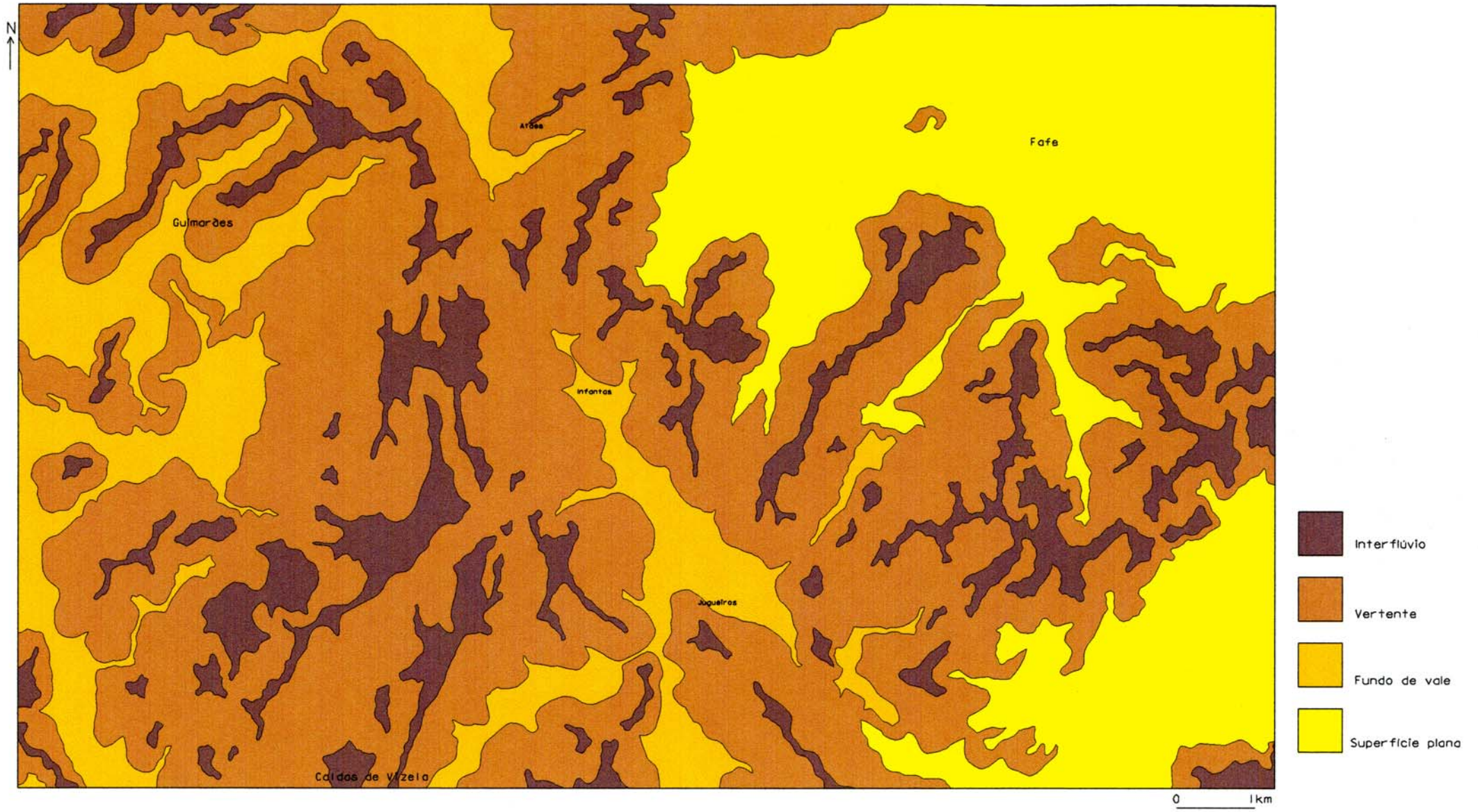


Fig. D2.2: Esboço das unidades morfológicas, na área de Guimarães.

cartografáveis à escala 1:25000, apresentam-se muito isoladas, não directamente relacionadas com ravinas e barrancos, estando, portanto, afastadas de áreas de convergência de drenagem superficial ou interna, o que não lhes atribui predisposição ao desenvolvimento de movimentos, salvo por intervenção humana.

Morfologicamente muito semelhante à área de Fafe, este sector parece ser a continuação, para S, da superfície degradada com altitude próxima dos 500m.

2.1.2. Os vales.

É ao longo dos vales que se encontram os maiores declives. Estes constituem as unidades morfológicas que são mais propícias ao desenvolvimento de movimentos de vertente. A importância da acção fluvial sobre a base das vertentes é potenciadora de processos de erosão lateral que poderão desencadear a ocorrência daqueles movimentos. Esta erosão é importante nas áreas onde o vale se apresenta fortemente encaixado, em forma de V, com a linha de água coincidindo com a base de ambas as vertentes.

Nas áreas onde os vales têm fundo largo, as vertentes apresentam um declive forte, diminuindo progressivamente à medida que se aproxima da base, denotando uma transição gradual. Esta transição reflecte uma evolução de vertentes importante que deposita uma grande quantidade de materiais no fundo do vale. Por seu lado, os cursos de água parecem não ter condições para a evacuação dos materiais, o que permite uma diminuição progressiva dos declives das vertentes junto à base. Os vales são, portanto, unidades morfológicas importantes na definição da susceptibilidade geomorfológica, nomeadamente, no que se refere aos movimentos de vertente.

Os vales são, portanto, as unidades territoriais que apresentam uma evolução mais intensa e é neles que se desenvolve um conjunto de processos geomorfológicos, quer de carácter erosivo, quer de deposição, responsáveis pela dinâmica do meio físico actual. Seja através de inundações, seja por movimentos de vertente, os vales são as áreas onde se verificam as condições geográficas que conduzem a uma parte significativa da dinâmica actual susceptível de envolver riscos para a presença do homem à superfície da terra. Do conjunto de elementos que constituem a unidade morfológica designada por vales (interflúvios, fundo de vales e vertentes) as vertentes são os elementos territoriais que têm mais condições para a ocorrência de movimentos. Nesse sentido é importante a análise dos diversos elementos territoriais que constituem a unidade morfológica vales, assim como o tipo de inter-relação entre eles, sobretudo quanto à evolução actual das vertentes.

2.1.3. Os interflúvios.

Os interflúvios correspondem aos sectores planos, ou quase planos, que coroam as vertentes e que raramente apresentam uma drenagem concentrada e hierarquizada. Constituem os sectores de topo de um vale, embora também possam ser identificados com algumas formas de aplanamento de menores dimensões. Nestas áreas, os processos erosivos são muito importantes e, no pormenor, evidenciam vestígios de erosão, apresentando formas erosivas de grande escala.

Na área de Guimarães (folha 85), ocupam uma área reduzida, são estreitos e de disposição irregular. As altitudes são variáveis, entre os 200m e os 700m, sugerindo que estamos perante uma área de importantes processos erosivos, daí resultando forte evolução e recuo de vertentes (cap. B2). As áreas onde surgem interflúvios mais extensos situam-se a N de Caldas de

Vizela, no extremo SW da área experimental. Mesmo nestes casos, a largura máxima atingida ronda os 800m. Nestas áreas predominam os processos de infiltração, embora limitados pelo facto de abundarem os afloramentos de rocha sã, sendo as formações superficiais muito pouco espessas. Quando se desenvolve, o escoamento superficial faz-se preferencialmente por escorrência difusa, sendo rara a existência de escorrência concentrada, com canais bem definidos. De uma forma geral, os declives destas unidades são fracos, não atingindo os 10°.

2.1.4. Os fundos dos vales.

Nos vales desta área, alternam sectores amplos com sucessivas gargantas. Os fundos dos vales nos sectores mais amplos apresentam-se planos, sendo frequente terem larguras de mais de 1km. Na área em análise, situam-se no sector NW e S, sendo drenados pelos cursos de água mais importantes, o Selho e o Vizela, ambos afluentes do rio Ave. Estas áreas são sectores de convergência da drenagem das vertentes, estando sujeitas a processos de acumulação, resultado de uma importante evolução das vertentes adjacentes. Estes são, em conjunto com os fracos declives (em geral inferiores a 5°), bons motivos para considerar a infiltração como sendo um processo dominante, apesar da existência de um nível freático próximo da superfície.

2.1.5. As vertentes.

As vertentes são as áreas onde os processos hídricos se revelam mais complexos. Ao longo das vertentes é possível o desenvolvimento de escoamento superficial, infiltração, escoamento interno (também designado de fluxo interno) e ainda o retorno ao escoamento superficial de parte da água infiltrada a montante. A importância que cada tipo de escoamento tem

numa determinada vertente vai depender das condições geomorfológicas e do coberto vegetal que nela se registam.

No que diz respeito aos movimentos de vertente é necessário interpretar as condições de infiltração e circulação da água ao longo da vertente, como reagem os materiais que a constituem e que papel tem o coberto vegetal (ver capítulo C3). As vertentes são as áreas com maiores declives, o que as torna mais susceptíveis ao desenvolvimento de movimentos de vertente, já que, para isso, o factor gravidade é essencial. Sendo sistemas complexos, as vertentes apresentam um funcionamento que tende a fazer evoluir a sua forma para um estado de equilíbrio (A. Young, 1972). Consoante as alterações promovidas pelas entradas no sistema (precipitação ou tectónica) e as características dos materiais que o constituem (declives, morfologia, litologia, alteração, evolução pedológica, coberto vegetal, acção da fauna, acção humana), o seu funcionamento vai promover um conjunto de processos (hídricos, geomorfológicos, transporte, sedimentação, etc) que levarão à recuperação do estado de equilíbrio. Desse conjunto de processos destacam-se, pelo risco que poderão envolver, os movimentos de vertente.

Em Guimarães (folha 85), embora existam sectores de vertentes que apresentem declives próximos dos 10°, eles são muito restritos. A grande maioria das áreas são ocupadas por vertentes que apresentam os declives variando entre os 15° e os 25°. Porém, podemos verificar que há largos sectores com declives superiores a 25°. Este facto, é determinante para o estudo dos movimentos de vertente e constituirá o elemento mais importante na diferenciação dos vários sectores das vertentes que mais influência têm neste tipo de dinâmica.

Grande parte da folha 85 (Guimarães) é ocupada por este

elemento territorial (a vertente), que é particularmente desenvolvido na parte central e ocidental da folha, em especial na parte S e SE de Guimarães.

2.2. As unidades territoriais e a litologia de Guimarães.

A litologia da área de Guimarães (folha 85) é dominada pelos granitóides, mas, apesar disso, não pode ser excluído o afloramento de xistos e metagrauvaques, no centro da folha e de direcção N-S (cap. B2). O afloramento mais extenso é o granito de Guimarães, que ocupa a metade ocidental da folha e parte significativa da parte oriental, com orientação NW-SE. Apesar de ocuparem uma área bem menor, o granito de Fafe e o de Selho/Arões acabam por preencher a área NE da folha. Os granodioritos de Felgueiras, apesar de pouco extensos, ocupam a faixa central da folha, entre Trofa e Atães. Há ainda a registar a existência de dois tipos de granitóides: o granito de Lustosa e o de S. Sebastião. O facto da área em análise ser predominantemente ocupada por granitóides coloca os problemas da alteração como factor determinante na análise dos problemas da susceptibilidade geomorfológica de movimento de vertente (cap. B1).

Uma das conclusões mais importantes do cap. B2, no que se refere às alterações de granitóides, coloca a ênfase na textura dos materiais herdados da rocha mãe. De facto, mesmo para os granitóides que apresentam uma grande quantidade de feldspatos é de grandes dimensões, o processo de leixivação dos mantos de alteração das regiões temperadas provoca a diminuição drástica da percentagem de argila, que não ultrapassa os 10%, excepção feita aos granodioritos, onde chega a atingir os 16% (ver capítulo B1). Para o granito de Guimarães, caracterizado por ser de grão grosseiro, o manto de alteração apresenta uma textura grosseira, em virtude da lavagem dos materiais finos resultantes da alteração. Os mantos de alteração, que

resultam da degradação de granitóides de textura mais fina acabam por sofrer, igualmente, a lavagem dos finos (argilas) e, os materiais que permanecem como manto de alteração têm uma percentagem elevada de areias. No caso do granodiorito de Felgueiras, a composição mineralógica, devido à quantidade de feldspatos que o constitui, indicaria a possibilidade de existência de grande quantidade de argilas no manto de alteração, resultante da sua degradação. De facto, a percentagem é maior (16%) mas, muito inferior ao que sucedia se estivéssemos numa região intertropical.

Estas características dos granitóides e a evolução dos mantos de alteração vão influir de forma directa no tipo de circulação de água que apresentam. Com a provável excepção dos mantos de alteração resultantes dos granodioritos, eles aparentam ter uma forte capacidade de infiltração e circulação interna da água, o que constitui um factor de retardamento dos pontos de saturação. A saturação dos mantos de alteração vai depender, no essencial, da sua espessura e de barreiras internas à circulação da água. A análise efectuada na parte C, nomeadamente no cap. C2, permitiu verificar que a cicatriz de arranque de grande parte dos movimentos de vertente, em áreas de granitóides, coincidem, quase sempre, com espessuras do manto de alteração que não ultrapassam os 3m e encontram uma soleira de granito são, com inclinação normal à inclinação da vertente. O processo de circulação interna da água é retardado pela soleira de rocha sã e a fraca espessura dos mantos de alteração promove a saturação rápida dos materiais⁷¹. Desta forma, se combinarmos as unidades litológicas que originam mantos de alteração, com as áreas que definem as espessuras desses mantos, teremos a

⁷¹ Excepção feita no Covelo do Gerês, onde o manto de alteração atinge uma espessura considerável. No entanto, as características retrogressivas do movimento permitiram que ele afectasse e se desenvolvesse em áreas de grande espessura de manto de alteração. Já em Dezembro de 2000 e Janeiro de 2001, ocorreu um outro movimento, em Cestães (Arcos de Valdevez), com características semelhantes ao de Covelo do Gerês. Encontra-se, ainda, em fase de estudo.

possibilidade de cartografar um dos elementos mais importantes da susceptibilidade geomorfológica de movimentos de vertente.

Neste aspecto, convém referir que o granito de Guimarães, pela sua alterabilidade e pela extensão que ocupa na área experimental, constitui a unidade territorial, relacionada com a litologia, mais importante na análise da susceptibilidade geomorfológica em ambiente SIG.

2.3. As unidades territoriais e as formações superficiais na área experimental de Guimarães.

Ao abordar o problema das formações superficiais numa área de domínio das rochas granitóides somos confrontados com o problema da cartografia dos mantos de alteração. Surge a necessidade de definir critérios para a cartografia a desenvolver. Segundo a análise referida no cap. C2 da parte C, a espessura é a característica mais importantes dos mantos de alteração que determinam o desenvolvimento de movimentos de vertente. Mais do que a textura (em geral apresentam uma textura pobre em materiais finos), a espessura dos materiais alterados, associados a horizontes pouco permeáveis ou rocha-mãe próximos da superfície, parece ser a chave de uma saturação rápida dos materiais que alimentam os movimentos de vertente em áreas de afloramentos de granitóides.

Nesse sentido, é extremamente importante a cartografia das formações superficiais, sobretudo dos mantos de alteração granítica, diferenciando as áreas segundo a espessura dos mesmos, a sua ausência ou a sua presença e, ainda, as diversas coberturas sedimentares. Na folha 85 (Guimarães) agruparam-se as formações superficiais em cinco categorias:

1. Afloramentos rochosos, áreas desprovidas ou quase desprovidas de formações superficiais.

2. Manto de alteração com espessura entre 1m e 3m,
4. Manto de alteração com espessura superior a 3m,
4. Depósitos de vertente e coluvionares,
5. Aluviões.

A diferenciação entre estes cinco tipos de formações superficiais é extremamente difícil de desenvolver em áreas granitóides. A alteração é muito variável lateralmente e em profundidade. No terreno, é possível encontrar, num espaço de alguns metros, uma grande variabilidade de intensidade e profundidade de alteração. A cartografia de pormenor só poderia ser desenvolvida a grandes escalas, de forma a poder respeitar essa variabilidade. Em alternativa, podem-se generalizar os critérios de cartografia de forma a encontrar conjuntos, com predomínio de uma espessura relativamente às restantes, capazes de ser utilizados em ambiente SIG. Desta forma, foi possível definir alguns critérios que servem de base aos conjuntos atrás definidos.

2.3.1. Afloramentos rochosos, áreas desprovidas ou quase desprovidas de formações superficiais.

As áreas identificadas com os afloramentos rochosos compreendem os sectores em que é possível observar a rocha-mãe sã ou pouco alterada, à superfície, embora, por vezes, surjam, entre os afloramentos, áreas com manto de alteração, de muito fraca espessura (<1m) e intensidade de alteração. Nestas áreas há o predomínio dos afloramentos rochosos, constituindo conjuntos de caos de blocos ou mesmo afloramentos compactos, pouco fracturados. No espaço entre estes afloramentos existe o manto de alteração, muito pouco espesso e de fraca intensidade de alteração, no interior do qual

aparecem bolas graníticas. Estes materiais apresentam uma grande compactação, não permitindo uma forte infiltração e circulação da água. De um modo geral, estes afloramentos surgem no topo das vertentes ou mesmo ao longo dos interflúvios, que representam áreas de forte exposição à acção da erosão, em especial da escorrência. Para isso muito contribui o aspecto esparso do coberto vegetal ou mesmo a sua ausência.

2.3.2. Manto de alteração pouco espesso (de 1 m e a 3 m).

Estas áreas abarcam os mantos de alteração com espessura variável, mas onde domina a alteração com espessura entre 1 e 3 metros. Por vezes, é possível encontrar bolas graníticas no interior do manto de alteração. Esse facto resulta de todo o processo de alteração dos granitóides que progride das fracturas e falhas em direcção ao núcleo do bloco de rocha sã. Uma vez feita a alteração em torno da bola granítica esta fica isolada no interior do manto de alteração. Um manto de alteração que comporte esta situação estará sujeito a uma pressão importante resultante do peso das bolas graníticas sobre os materiais que estão por baixo. Uma vez saturados, estão reunidas as condições estruturais e hídricas para a ocorrência de movimentos de vertente, assim o permita o declive da vertente.

2.3.3. Manto de alteração espesso (superior a 3 m).

As espessuras de manto de alteração superiores a 3 m encontram-se nas áreas mais protegidas, mais próximo da base da vertente. Nestes sectores a alteração é mais profunda, mas está mais conservada, sendo menos frequente encontrar bolas graníticas bem conservadas. É provável que, nalguns sectores se encontrem espessuras inferiores a 3m, mas são isolados e em áreas restritas. A dominância corresponde a áreas de alteração espessa. A

boa conservação destes materiais deve-se à posição protegida que ocupam nas vertentes, mais próximo do fundo dos vales.

Nelas, a infiltração é um processo dominante, desde que haja coberto vegetal, e a circulação interna da água acaba por ser determinante para a recarga dos aquíferos subterrâneos. Nestas condições, os processos erosivos por escorrência estão reduzidos e a erosão destes mantos de alteração acaba por ser diminuta. Isto explica a boa conservação das arenas graníticas, sobretudo na metade inferior das vertentes, onde os declives são menores.

2.3.4. Depósitos de vertente e depósitos coluvionares.

Os depósitos de vertente nas regiões graníticas aparecem muito dispersos. É possível percorrer extensas áreas do maciço antigo sem que seja possível a observação de depósitos de vertente. No entanto, na folha 85 (Guimarães) é possível verificar que próximo da base das vertentes existe um depósito pelicular que resulta da degradação dos mantos de alteração. Este depósito torna-se cada vez mais espesso à medida que se aproxima a base da vertente. A morfologia da superfície do depósito caracteriza-se por uma diminuição dos declives que, no fundo do vale, são muito fracos, muito próximos dos das planícies aluviais. Estas áreas são muito produtivas do ponto de vista agrícola, para o que muito contribui a forte componente argilosa da sua textura. Esta disposição, em 'glacis', é aproveitada para a construção de patamares agrícolas, cuja extensão é cada vez maior à medida que se situa próximo do fundo do vale.

Nos vales mais amplos é possível distinguir entre os materiais oriundos das vertentes e os materiais resultantes do transporte fluvial, mas, nos vales menos amplos, estes materiais oriundos das vertentes são retocados pela

acção fluvial. Por esse motivo, decidimos agrupá-los sob a designação de depósitos de vertente e coluvionares. Resultantes da evolução de vertentes, depositam-se próximo da base mascarando a transição entre a vertente e a planície aluvial, e definindo áreas preferenciais de acumulação. Estes sectores correspondem às áreas onde os processos geomorfológicos da evolução actual de vertentes promovem a deposição de materiais. A. B. Ferreira (1983,1986) refere-se a estas formas designando-as por "glacis".

2.3.5. Aluviões.

O conjunto de materiais agrupados sob a designação de aluviões corresponde aos sedimentos transportados pelos cursos de água e depositados nos sectores dos vales de menor declive do perfil longitudinal. A superfície topográfica destes depósitos apresenta um declive próximo do zero. Trata-se, portanto, de depósitos fluviais recentes que colmatam o fundo dos vales, longe da influência das deposições que resultam da evolução de vertentes. Localizam-se no fundo dos vales de maiores dimensões e, em geral, constituem áreas de ocupação agrícola. A sua textura evidencia uma presença abundante de argilas, devido ao efeito de selecção provocado pelo transporte e deposição fluvial. Por vezes, é extremamente difícil localizar a linha de separação entre estes depósitos aluvionares e os depósitos coluvionares. Considerando que o transporte longitudinal é determinante para a constituição dos aluviões optou-se por cartografar os aluviões nas áreas onde o declive é nulo ou muito próximo do zero. Isto permitiu separar as áreas de transporte exclusivamente longitudinal das áreas onde é possível identificar influência de deposições laterais, oriundas das vertentes.

Nas áreas cartografadas como aluviões o processo de infiltração da água é dominante, o que muito contribui para a recarga do nível de água no

solo. Dada a proximidade dos cursos de água é possível que o nível freático esteja muito próximo da superfície. A saturação dos solos é frequente mas, dado os declives muito fracos, a estabilidade dos terrenos encontra-se assegurada, não sendo áreas com susceptibilidade geomorfológica de movimentos de vertentes.

2.4. Os declives da área experimental de Guimarães.

A cartografia dos declives apresentada tem como opção as seguintes classes: <5°, 5°-10°, 10°-15°, 15°-20°, 20°-25° e >25°. Da análise da morfologia da área em estudo e das condições de ocorrência de movimentos de vertente pareceu-nos dispensável a delimitação das áreas com declive inferior a 2°. Igualmente é irrelevante a análise de pormenor em declives tão baixos, sobretudo se a análise se faz à escala 1:25000. A elaboração da cartografia foi feita à escala 1:25000, recorrendo à digitalização das curvas de nível com equidistância de 10m.

A distribuição dos declives põe em evidência a disposição dos vales mais encaixados, com vertentes abruptas, que se situam um pouco por toda a folha 85 da carta topográfica. As manchas que representam os declives superiores a 15° são muito extensas, e, dentro destas, os declives superiores a 25° são muito frequentes. Mesmo em áreas onde predominam os declives fracos a moderados (<10°, segundo A. Young, 1972) é possível encontrar pequenos sectores com declives elevados. Apesar de estarmos a trabalhar à escala de 1:25000 é possível distingui-los. Isto significa que áreas que são consideradas planas ou com muito pouca inclinação, podem apresentar pequenos sectores de forte inclinação que, a escalas menores, não são cartografáveis. Estes sectores, apesar de localizados em unidades morfológicas onde, em geral, não se evidencia a susceptibilidade

geomorfológica de movimentos de vertentes, localmente poderão dar indicações diferentes. São áreas isoladas que só poderão ser identificadas pela análise dos declives. As superfícies planas degradadas apresentam declives fracos, mas, dada a irregularidade da sua morfologia, poderão apresentar pequenas vertentes em que o declive seja muito forte, o que se reflecte, na representação cartográfica, pela distribuição destas pequenas áreas de declives fortes em unidades morfológicas que geralmente são fracos a moderados.

3. Susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente, em unidades e elementos territoriais na área de Guimarães (fig.D2.3).

A organização da susceptibilidade geomorfológica em ambiente SIG exige a interligação de duas áreas de trabalho distintas: o trabalho em ambiente SIG e as informações recolhidas pela análise geomorfológica sobre as condições geográficas de ocorrência de movimentos de vertente. A organização das questões lógicas que procedem ao relacionamento entre polígonos deve reflectir as características do meio físico e a sua dinâmica. Só assim será possível promover a cartografia dos diversos níveis de susceptibilidade geomorfológica. Esta resultará da interligação entre os diversos elementos territoriais, definidos no ponto anterior, comandada pelas questões lógicas trabalhadas em SIG.

Na utilização das questões lógicas procedemos à interligação da informação geográfica relevante para a ocorrência de movimentos de vertente estudados na parte C. Ao aplicar a análise à área experimental de Guimarães (folha 85), estamos a utilizar informação estudada em locais onde ocorreram movimentos de vertente, e aplicamo-la a unidades e elementos

territoriais onde se supõe a existência das mesmas condições propícias à ocorrência de movimentos de vertente. É um processo de generalização desenvolvida em ambiente SIG por via da construção das questões lógicas.

Em virtude das dificuldades inerentes ao processo de generalização, bem como do método de construção das questões lógicas, decidiu-se agrupar a susceptibilidade geomorfológica em três classes:

1. forte a muito forte susceptibilidade geomorfológica,
2. média susceptibilidade geomorfológica e
3. fraca ou nula susceptibilidade geomorfológica.

3.1. Forte a muito forte susceptibilidade geomorfológica.

A susceptibilidade geomorfológica definida como forte a muito forte agrupa várias das condições geográficas capazes de promover a dinâmica de vertentes relacionada com os movimentos de vertente. Várias situações foram encontradas no terreno e poderão servir de base para a definição desta classe de susceptibilidade.

Uma primeira associação de factores corresponde à seguinte situação:

- 1º - presença de mantos de alteração com espessura superior a 3m,
- 2º - vertentes com declives fortes (> 25°).
- 3º - presença de ravinas e barrancos,
- 4º - depósitos de vertentes com importante componente argilosa,
- 5º - presença de patamares antrópicos, facilitando a infiltração.

É extremamente rara a conjugação destes factores no terreno, já que os mantos de alteração só aparecem melhor conservados nas áreas menos declivosas. No entanto, no Covelo do Gerês (cap. C2), aparecem estas cinco condições associadas. Isto deve-se ao facto das rochas metamórficas

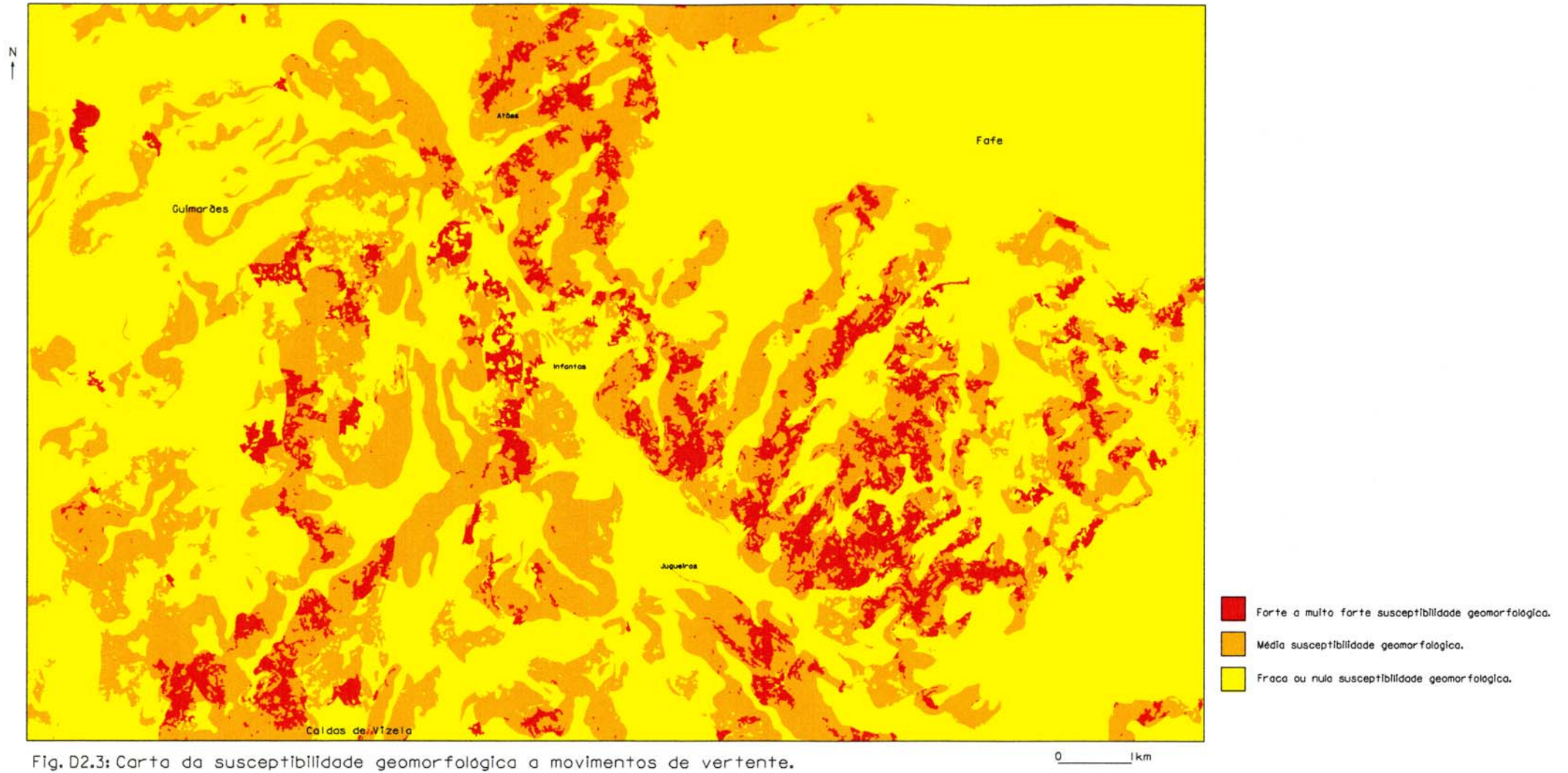


Fig. D2.3: Carta da susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente.

que coroam a vertente se sobrepõem ao manto de alteração, permitindo a sua conservação em espessuras que ultrapassam os 50m. O facto de existir um manto de alteração tão espesso acabou por condicionar o tipo de movimento, de características retrogressivas, prolongado por várias recorrências ao longo de vários dias. De uma forma geral, uma espessura tão forte dos mantos de alteração permite uma boa e prolongada drenagem da água e uma grande capacidade de absorção⁷². O desenvolvimento de movimentos de vertente como o do Covelo do Gerês é possível com a associação da acção humana a uma precipitação extremamente abundante e prolongada. As áreas onde se verifica esta situação poderia ser caracterizada por forte susceptibilidade geomorfológica para com a ocorrência de movimentos de vertente.

Uma segunda associação de factores corresponde à seguinte situação:

- 1º - manto de alteração com espessura de 1 a 3 m,
- 2º - vertentes com declives fortes (> 25°),
- 3º - soleira de rocha sã a pouca profundidade,
- 4º - presença de ravinas e barrancos,
- 5º - depósitos de vertentes com importante componente argilosa, sobretudo colmatando o fundo de uma ravina ou de um barranco,
- 6º - presença de patamares antrópicos, facilitando a infiltração.

Esta situação pode ser encontrada no terreno com muita frequência. A coincidência de fortes declives com mantos de alteração de espessura de 1 a 3 metros ocorre nas partes superiores das vertentes ou, quando existe uma ruptura de declive a meia vertente, com o respectivo aumento do declives, para jusante, resultante de uma segunda fase de

⁷² O mesmo sucede em Cestões (Arcos de Valdevez).

encaixe da rede hidrográfica. Esta situação verificou-se tanto em Cavez como em Vila de Muros (Cinfães)⁷³. O manto de alteração permite uma boa infiltração, mas a sua espessura limitada, sobretudo quando associada a uma soleira de rocha sã que impede a drenagem, conduz à saturação e à ruptura. Uma vez iniciado o movimento e atingido o barranco, o depósito de vertente que o colmata desencadeia uma rápida movimentação de materiais com forte poder destruidor. Nas ravinas e nos barrancos há muito boas condições para o desenvolvimento destes processos visto que constituem áreas de convergência de escoamento superficial e interno. Poderemos dizer que estas áreas têm uma muito forte susceptibilidade geomorfológica de movimentos de vertente.

Até agora temos desenvolvido as condições de ocorrência de movimentos de vertente em áreas de afloramentos granitóides. Mas, na área de Guimarães, é possível encontrar estreitas faixas de rochas metamórficas, embora associadas ao granodiorito de Felgueiras. Nestas áreas existem ainda condições para o desenvolvimento de movimentos de vertente. Poderemos associá-las da seguinte forma:

- 1º - vertentes com declive forte (> 25º),
- 2º - manto de alteração pouco espesso (entre 1 e 3 m),
- 3º - depósito de vertente, de importante componente argilosa.
- 4º - planos de xistosidade paralelos ou normais à inclinação da vertente,
- 5º - presença de patamares antrópicos, facilitando a infiltração.

As mesmas condições do fluxo de Cotorinho (Marão), verificam-se nesta área da folha 85 da carta topográfica (Guimarães). Apesar da fraca

73 Mais recentemente, Dezembro de 2000 e Janeiro de 2001, ocorreram situações semelhantes em Frades (Arcos de Valdevez) e Alvações do Corgo, Eiriz e S.ta Marinha do Zêzere (parte E da serra do Marão).

capacidade de infiltração dos mantos de alteração constituídos a expensas das rochas metamórficas, perante condições hídricas adversas, podem tornar-se plásticos, sobretudo se sofrem a pressão resultante da queda de blocos que se verifique a montante. Nunca foi possível encontrar mantos de alteração em rochas metamórficas com espessuras superiores a 2 metros desenvolvidos em vertentes com declives muito acentuados. Provavelmente, a sua conservação não foi possível, o que se torna evidente tendo em consideração os fundos dos vales que apresentam formações sedimentares, por vezes, espessas. Os vales dos rios Fervença e Sião (Marão) apresentam um esquema interpretativo semelhante. Os fundos dos vales estão colmatados por um depósito de características coluviais, por vezes de textura muito grosseira, que resultou da poderosa dinâmica de vertentes. As vertentes desse vales apresentam-se praticamente desprovidas de mantos de alteração ou mesmo de depósitos de vertente. No entanto, na vertente sul do vale do Fervença, onde os depósitos de vertente atingem espessuras de 2 m, verifica-se a existência de movimentos de vertente de pequena dimensão, que contribuem para o transporte dos materiais até ao leito do curso de água, permitindo o afloramento da rocha mãe ao longo das vertentes.

Apesar de estarmos perante situações muito restritas ao longo da área experimental, é possível encontrar alguns pontos onde se verifiquem estas condições, o que poderá transformar esses sectores em áreas de forte risco (ver nota de pé de página nº72).

3.2. Média susceptibilidade geomorfológica.

A definição da média susceptibilidade geomorfológica depende da ausência de uma das condicionantes de forte susceptibilidade geomorfológica. O declive é o factor de ordem morfológica determinante no

desenvolvimento dos movimentos de vertente. Uma diminuição do declive da vertente permite um aumento significativo da sua estabilidade. Contudo, quando se agrupam todas as restantes condições propícias ao desenvolvimento dos movimentos de vertente, há a possibilidade, embora mais reduzida, de se observarem ocorrências deste tipo de evolução de vertentes. Podemos concluir que, perante as condições necessárias à ocorrência de uma forte a muito forte susceptibilidade geomorfológica, basta uma diminuição do declive para que ela possa ser considerada como de média susceptibilidade geomorfológica. Consideramos, portanto, que ela é caracterizada pelas seguintes condições geográficas:

- 1º - manto de alteração de 1 a 3 m e/ou superior a 3 m,
- 2º - declives entre os 15º e os 25º,
- 3º - presença de ravinas ou de barrancos,
- 4º - presença de depósitos argilosos, em especial se estão a colmatar as ravinas ou os barrancos,
- 5º - presença de patamares antrópicos, facilitando a infiltração.

A textura grosseira dos mantos de alteração das regiões temperadas não permite o desenvolvimento da plasticidade dos materiais, ao contrário do que ocorre com as argilas e as margas. Permite, no entanto, uma forte circulação interna da água, o que facilita a drenagem e a diminuição das forças tangenciais relativamente às forças de atrito (P. A. Allen, 1997). A pressão interna da água nos intervalos entre partículas é fortemente contrabalançada pela diminuição significativa da força da gravidade, por via da diminuição do declive da vertente. Este facto, só por si, ajuda a explicar a quase ausência de movimentos de vertentes em áreas com as mesmas características geográficas, mas com um declive um pouco mais baixo.

Neste sector, o factor antrópico poderá representar um papel de

agravamento e promover a alteração da susceptibilidade geomorfológica. De notar que, na parte E do Marão, é possível ver que alguns movimentos de vertente, ocorridos em Janeiro de 2001, em áreas de declives moderadamente elevados (aproximadamente entre 10° e 18°, segundo A. Young, 1972), mas, isso só ocorre onde há o arranjo das vertentes com patamares antrópicos, com fraca conservação dos sistemas de drenagem tradicionais.

Como já referimos no ponto anterior, nas áreas constituídas por xistos e metagrauvaques, os mantos de alteração e os depósitos de vertente apresentam uma textura mais argilosa e uma espessura fraca. Acaso as condições estruturais registadas para a forte susceptibilidade geomorfológica estejam associadas a declives inferiores a 25°, essas formações apresentam maior espessura, mas a susceptibilidade geomorfológica de movimentos de vertente torna-se média, uma vez que o efeito da gravidade é menor. A ocorrência de movimentos de vertente vai depender, em grande parte, das intervenções antrópicas a que estiverem sujeitas as vertentes. Nesse caso, poderemos considerar o seguinte conjunto de condições da susceptibilidade geomorfológica nas unidades litológicas relacionadas com os xistos e metagrauvaques:

- 1° - vertentes com declive médio (15° - 25°),
- 2° - manto de alteração pouco espesso (entre 1 e 2 m),
- 3° - depósito de vertente, de importante componente argilosa.
- 4° - planos de xistosidade paralelos ou normais à inclinação da vertente,
- 5° - presença de patamares antrópicos, facilitando a infiltração.

3.3. Fraca ou nula susceptibilidade geomorfológica.

Nas áreas de maciço antigo onde predominam os granitóides, a estabilidade das vertentes parece ser extremamente elevada, mesmo para

declives moderadamente elevados. Com declives inferiores a 15° não é possível encontrar indícios de movimentos de vertente sem que se tenham de considerar fortes intervenções antrópicas que promovem o aumento extremo dos declives, pelo menos em parte da vertente. Considerando o tipo de materiais que constituem as vertentes, associados a estes declives, o grande aumento dos declives num sector da vertente (por ex.: abertura de trincheira) produzirá a alteração do equilíbrio entre as forças tangenciais e as forças de atrito, em nítido benefício das primeiras.

Desde que a intervenção humana se faça acompanhada de medidas elementares de drenagem da vertente, a susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente é extremamente fraca ou mesmo nula.

Uma das intervenções humanas mais frequentes consiste na construção de muros para sustentação dos patamares agrícolas. Este tipo de intervenção é acompanhado por uma preocupação na criação de condições de drenagem desses patamares com o objectivo de conservação dos solos agrícolas. No entanto, perante a forte retracção da actividade agrícola, sobretudo nas áreas mais declivosas, as medidas de conservação da drenagem dos patamares estão a ser abandonadas⁷⁴. A infiltração da água nos patamares agrícolas generaliza-se e as forças tangenciais rapidamente se sobreporão às forças de atrito. Desta forma, a existência de patamares agrícolas é um factor de aumento da susceptibilidade geomorfológica no que se refere à evolução actual de vertentes. A construção de patamares agrícolas é uma medida de conservação de solos ao mesmo tempo que

74 Em Alvações do Corgo, a cicatriz de arranque do movimento ocorre num patamar agrícola cujo proprietário, de idade avançada, não fazia a manutenção usual do sistema de drenagem tradicional. O local onde se forma a cicatriz corresponde ao sector do patamar onde a água se infiltrava.

permite a prática agrícola, caso sejam desenvolvidas todas as práticas relacionadas com a boa drenagem das águas infiltradas. Caso contrário, são um forte factor de agravamento da susceptibilidade geomorfológica.

Capítulo D3 – A elaboração de um SIG sobre a susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente.

1. As tabelas da base de dados do SIG e os elementos territoriais.

As questões lógicas em ambiente SIG procuram compatibilizar a informação disponível na base de dados com as condições geográficas que contribuem para a definição da susceptibilidade geomorfológica de movimentos de vertente. A fig. D3.1 sintetiza a informação que é registada na base de dados e que se apresenta conectada com a base gráfica, correspondente às figuras apresentadas no capítulo B2. A cada tabela (base de dados) corresponde um mapa (base gráfica) e cada item registado em cada tabela está ligado a um conjunto de polígonos ou linhas desenhados no respectivo mapa.

A construção da base de dados em SIG para a definição da susceptibilidade geomorfológica baseia-se em seis temas distintos:

- 1º A litologia,
- 2º A espessura das formações superficiais,
- 3º A morfologia,
- 4º Os declives,
- 5º A rede hidrográfica,
- 6º A intervenção antrópica.

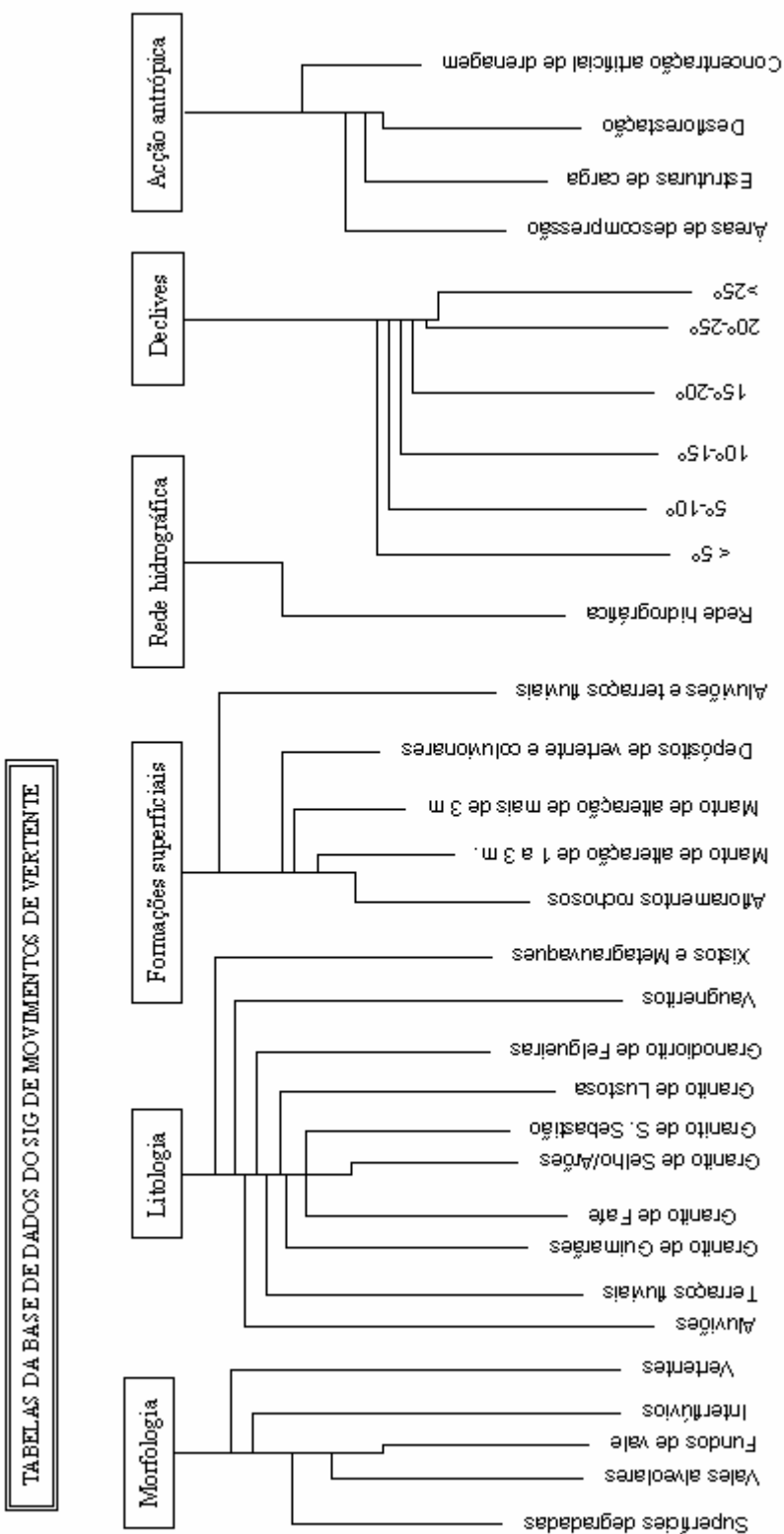


Fig. D3.1: Tabelas da base de dados de um sistema de informação geográfica para determinação da susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente.

Estes temas constituem a base de toda a cartografia que permitirá o trabalho em SIG, ou seja, é com esta base de dados que se relacionará a base gráfica, servindo de sustentação à construção dos novos polígonos representativos das questões lógicas, em ambiente SIG (fig. B3.2, 3, 4, 5 e 6).

1.1. A litologia (fig. B3.2).

A litologia representada na fig. B3.2 permite distinguir os elementos territoriais que têm por base os afloramentos de granitóides dos elementos cuja rocha-mãe são os xistos e metagrauvaques. Estes são os dois grandes tipos de afloramentos. De uma forma geral, podemos dizer que uma parte muito significativa da área de Guimarães (folha 85 da carta topográfica à escala 1:25000) é ocupada por granitóides, sendo que os xistos e metagrauvaques ocupam duas estreitas faixas na parte central/sul da folha (ver capítulo B2). Sabemos, à partida, que o tipo de alteração será significativamente diferente caso consideremos os granitóides ou os metassedimentos. Como vimos no capítulo B1, os granitóides originam alterações de espessura variável e de textura grosseira ao passo que os metassedimentos propiciam um manto de alteração pouco espesso, mas com forte componente argilosa. No caso dos xistos e metagrauvaques, poderemos dizer que, com estes elementos territoriais, distinguimos algumas das áreas que poderão ser afectadas por movimentos de vertentes peliculares, como o de Cotorinho, no Marão (cap. C2). Ao contrário, a identificação das unidades territoriais relacionadas com os granitóides poderá fornecer indicadores sobre movimentos de vertente como o de Cavez, o de Vila de Muros e do Covelo do Gerês.

Igualmente importante é a distinção entre os diversos tipos de granitóides, cuja textura, mineralogia e composição química poderá ter

influência na textura e composição dos mantos de alteração. Embora a tectónica, nomeadamente a fracturação, seja muito mais importante em relação ao processo de alteração do que a composição química e mineralógica (cap. B1), é possível através da distinção dos diversos granitóides destrinçar os mantos de alteração quanto à importância da fracção mais grosseira. A textura dos granitos que está na origem dos mantos de alteração poderá constituir critério de distinção. Convém, no entanto, realçar a ideia de que esta tabela permitirá, acima de tudo, fazer a distinção entre granitóides e metassedimentos.

1.2. A tectónica (fig. B3.4).

A tectónica, apesar de ser determinante no desenvolvimento do processo de alteração dos granitóides, pela ajuda que propicia na circulação da água ao longo das fendas dos afloramentos rochosos, não pode dar o contributo relevante para a análise em ambiente SIG. Sendo uma informação linear, apresenta-se muito parcelar, e não representa, com base na informação recolhida, a real extensão e importância ao longo de toda a área. Se procedêssemos à análise da importância da alteração, só considerando as áreas afectadas pela fracturação conhecida ou estimada, estaríamos a cometer um erro por defeito de avaliação da realidade em virtude do *déficit* de informação. As grandes fracturas e falhas são conhecidas, bem como a fracturação estimada a partir do encaixe e traçado da rede de drenagem, mas como representar, à escala média, a microfracturação? A pequena fracturação, só possível de detectar com trabalho minucioso no terreno, estaria a ser negligenciada, o que se traduz no ignorar de extensas áreas onde a alteração é intensa em virtude do papel determinante da microfracturação. Nesse sentido, é muito mais importante a definição da alteração em função

das diversas espessuras registadas no terreno.

1.3. A espessura das formações superficiais (fig. B3.3).

A tabela das formações superficiais regista três grandes conjuntos de informação.

O primeiro conjunto - afloramentos rochosos, áreas desprovidas de formações superficiais com espessura superior a 1 metro - define os sectores onde as formações superficiais estão ausentes ou não têm significado geomorfológico, ou seja, os processos geomorfológicos dominantes resultam do domínio de afloramentos rochosos de rocha sã. Nestas áreas estão incluídos os sectores onde o manto de alteração tem espessura inferior a 1m e apresenta-se com uma variação espacial descontínua, alternando com afloramentos de rocha sã, amplamente dominantes.

As segunda e terceira categorias das formações superficiais correspondem às áreas onde o manto de alteração é dominante e distinguem-se pela espessura. Uma corresponde ao domínio da alteração menos espessa (1 a 3 m) e a outra corresponde ao domínio da alteração superior a 3 m. Como já foi explicitado no capítulo anterior, são estas áreas que vão ser determinantes na definição das áreas de maior susceptibilidade geomorfológica de movimentos de vertente. De facto, grande parte dos movimentos descritos no capítulo C2, desenvolvem-se em áreas de manto de alteração em que a espessura varia entre 1 e 3 metros. Só o movimento do Covelo do Gerês ocorre num manto de alteração com espessura superior. Já em Dezembro de 2000, e prolongando-se por Janeiro de 2001, em Cestões (Arcos de Valdevez), desenvolveu-se um movimento muito semelhante ao de Covelo do Gerês, onde a espessura do manto de alteração é de, pelo menos, quatro dezenas de metros. No momento de elaboração das questões lógicas

em SIG, estes serão os elementos que constituirão a base da média ou forte a muito forte susceptibilidade geomorfológica, e serão agrupados com os de outras tabelas para a elaboração dos novos polígonos de susceptibilidade geomorfológica.

As restantes categorias (formações coluvionares e aluviões) são constituídas por materiais que apresentam uma componente argilosa superior à dos mantos de alteração, no entanto, localizam-se em áreas com declives muito suaves. Apesar de poderem vir a ser solicitados no âmbito da constituição das questões lógicas, as áreas não constituirão selecção para a constituição dos polígonos da susceptibilidade geomorfológica, a não ser que consideremos a intervenção humana como factor com forte influência no processo. Com efeito, no estudo de casos que apresentamos no cap. C2, não localizamos nenhum movimento que se desenvolvesse a expensas destas formações superficiais. Muito provavelmente, isso deve-se ao facto de se encontrarem em áreas de declive fraco a médio. Já depois de escrito este texto, ocorreu um grande fluxo de lama, em St^a Marinha do Zêzere, numa vertente com declive de cerca de 10°, em manto de alteração pouco espesso, com elevada percentagem de argila (observação feita no terreno), mas com arranjo em patamares agrícolas ao longo de um pequeno valeiro. A drenagem estava dificultada pela acção humana, o que permitiu o desenvolvimento deste processo geomorfológico. Em áreas onde a intervenção humana não promove este arranjo na vertente não se observam este tipo de processos, antes domina a escorrência.

1.4. A morfologia (fig. B2.5).

A morfologia representada foi dividida em 4 categorias diferentes. Estas categorias foram simplificadas de forma a permitir a identificação de

elementos territoriais passíveis de serem integrados na análise em ambiente SIG. Foram consideradas as seguintes categorias: Interflúvios, superfícies planas degradadas, vales, fundos de vales e vertentes. Deste modo, utilizam-se elementos gráficos sob a forma de área, com o respectivo centróide, o que permite a inserção de informação em ambiente SIG e, portanto, estabelecer a comunicação com a base de dados (ver capítulo A3).

No caso da definição das áreas de susceptibilidade geomorfológica aos movimentos de vertente, os vales apresentam-se como unidades territoriais de maior susceptibilidade geomorfológica. Dentro da unidade territorial designada vale, teremos de identificar o elemento territorial no qual os processos geomorfológicos dominantes são os movimentos de vertente. Obviamente, a vertente aparece como o elemento territorial onde isso se concretiza. Há, no entanto, vertentes que não se localizam no interior de vales. São as vertentes que separam as superfícies de aplanamento de idades diferentes, ou constituem os limites de depressões, não directamente relacionáveis com o encaixe da rede de drenagem. Nesse caso, há que recorrer directamente ao elemento territorial vertente, para conseguir abarcar as áreas onde os movimentos de vertente são processos geomorfológicos dominantes, esquecendo as áreas mais amplas que são as unidades territoriais vales.

A cartografia das unidades e elementos morfológicos permitiu identificar as áreas onde os movimentos de vertente têm maior probabilidade de ocorrerem. De todas as áreas representadas pelos polígonos, as vertentes são as que abrangem os sectores onde eles se poderão verificar. Isso não significa que toda a área abrangida e cartografada como vertente tenha condições para o desenvolvimento de movimentos de vertente. Há vertentes

que apresentam uma grande variabilidade de declives, permitindo uma grande diversidade de processos geomorfológicos dominantes. Nesse sentido, é importante a ponderação do elemento vertente com a análise dos declives. Só as áreas de forte declive apresentam condições para a ocorrência de movimentos de vertente, e, mesmo nesses, há que excluir as áreas onde as formações superficiais não são propícias ao desenvolvimento de movimentos de vertente, como por exemplo, as áreas de afloramento rochoso coerente.

1.5. Os declives (fig. B2.6).

Os declives da folha 85 da carta topográfica foram calculados automaticamente com base na hipsometria à escala 1:25000 e equidistância de 10m, elaborada pelas Forças Armadas Portuguesas, com recurso à fotografia aérea. Depois de introduzida a informação em sistema de informação geográfica procedeu-se ao cálculo dos declives. Optou-se pelas seguintes classes de declives: 0°-5°, 5°-10°, 10°-15°, 15°-20°, 20°-25° e > de 25°.

Como é possível verificar na fig. B2.6, a área com declives superiores a 15° é muito extensa e está localizada na parte central da carta e na parte SE. No entanto, é possível encontrar inúmeros sectores, por vezes isolados, que apresentam declives superiores a 15°. Mesmo nas unidades morfológicas consideradas mais planas existem pequenos sectores onde os declives atingem valores elevados, superiores a 20° ou mesmo 25°. Considerando a escala de 1:25000 a que foi desenvolvida esta cartografia, e atendendo ao carácter localizado dos movimentos de vertente, é possível encontrar áreas com declives propícios ao desenvolvimento de movimentos de vertente, mesmo fora dos encaixes vigorosos dos grandes vales. Mesmo assim, essas áreas não apresentam uma forte susceptibilidade geomorfológica de movimentos de vertente uma vez que, dado o seu carácter restrito, não

evidenciam condições hidro-geomorfológicas propícias à convergência da drenagem e à saturação fácil dos mantos de alteração ou solos. Com efeito, uma vertente com declive elevado, mas que é de pequena dimensão, não permite o desenvolvimento de bacias hidrográficas de 1ª ordem suficientemente alargadas de forma a promover a concentração de largas quantidades de água. Por isso, a saturação dos mantos de alteração é pouco provável. Ao contrário, as vertentes de maior extensão, apresentam bacias hidrográficas de primeira ordem que permitem uma forte infiltração na parte superior e desenvolvem mais facilmente processos de saturação dos mantos de alteração que estão a jusante. É o caso de Cavez e Vila de Muros, descritos no cap. C2.

1.6. A rede hidrográfica (fig. B3.12).

A rede de drenagem, só por si, não representa um critério para a definição da susceptibilidade geomorfológica. Mas, o facto da rede de drenagem constituir linhas de convergência de drenagem e, portanto, de mais difícil escoamento, tanto superficial como interno, faz desses sectores pontos de maior e mais rápida saturação dos materiais que constituem o seu leito (J. E. Costa, 1984). Se confrontarmos essas linhas com os declives elevados, estamos em condições de cartografar as áreas onde se desenvolvem as ravinas, os barrancos e alguns valeiros de perfil longitudinal de forte declive. Essas áreas são propícias ao desenvolvimento de movimentos de vertente e constituirão pontos relevantes para a definição da susceptibilidade geomorfológica. São, por excelência, áreas de forte probabilidade de ocorrência de um movimento de vertente, tanto como áreas de arranque e como áreas provavelmente atingíveis pela movimentação dos materiais.

Não sendo uma unidade territorial, a rede drenagem constitui, em

conjunto com os declives, o elemento que permite o desenvolvimento do trabalho em ambiente SIG, já que identifica as linhas preferenciais de escoamento das águas das chuvas e, portanto, da maior concentração das águas e saturação elevada dos solos. Do mesmo modo, identifica os percursos prováveis dos materiais que são movimentados pelos processos de evolução das vertentes. Quase todos os movimentos descritos no cap. C2, ocorrem em mantos de alteração graníticos, ao longo de ravinas e barrancos. É frequente a existência de movimentos de vertente que apresentam a área de arranque nas bacias hidrográficas de primeira ordem, não coincidente com a linha de água, mas os materiais movimentam-se em direcção à linha de água promovendo o alargamento e aprofundamento do canal de escoamento (J. E. Costa, 1984 e J. L. Innes, 1983). Uma vez diminuído o declive, os cursos de água vão funcionar como áreas de deposição, colmatando o fundo. Veja-se os casos de Cotorinho e do vale do rio Sião, ambos no Marão, ou mesmo o de Arosa, em Cavez (capítulo C2). Com o auxílio da cartografia dos declives é possível fazer a distinção, em ambiente SIG, deste conjunto de áreas, de dinâmicas bem diversas.

2. As questões lógicas em SIG, na definição da susceptibilidade geomorfológica na área de Guimarães.

As questões lógicas procurarão estabelecer as condições em que cada elemento se terá de relacionar com os restantes, de forma a satisfazer as condições geográficas de ocorrência de movimentos de vertente, estudados no cap. 2. Poderemos, portanto, agrupá-las em três conjuntos, de acordo com o grau de susceptibilidade geomorfológica que elas suscitam.

2.1. *Questões lógicas para definição da forte a muito forte susceptibilidade geomorfológica.*

Nesta primeira classe de susceptibilidade geomorfológica procede-se à interligação de todas as áreas que poderão proporcionar forte a muito forte susceptibilidade através dos operadores lógicos utilizados em ambiente SIG (ver capítulo A3). O mesmo procedimento aplica-se aos restantes graus de susceptibilidade. O agrupamento final das áreas faz-se por meio do operador UNIÃO, que conterà todos os elementos resultantes de intercepções e vizinhanças específicas a cada situação. Desta forma, para a definição da forte a muito forte susceptibilidade geomorfológica, elaboraram-se as seguintes frases:

Elementos da tabela *morfologia* iguais a *vertente* interceptados pelos elementos da tabela *declives* onde declives são $> 25^\circ$. Os polígonos desta operação deverão ser interceptados com os elementos da tabela *formações superficiais* onde formação superficial tem espessura $>$ de 3m.

UNIÃO com

Elementos da tabela *morfologia* iguais a *vertente* interceptados pelos elementos da tabela *formações superficiais* com espessura de 1 a 3 m interceptados pelos elementos da tabela *declives* com declive superior a 25° .

UNIÃO com

Elementos da tabela *morfologia* iguais a *vertente* interceptados pelos elementos da tabela *formações superficiais* iguais a depósitos de *vertente* e *coluvionares* que são tocados pelos elementos da tabela *rede hidrográfica*, interceptados pelos elementos da tabela *declives* onde os declives são superiores a 25° .

UNIÃO com

Elementos da tabela *morfologia* iguais a vertente e vales interceptados pelos elementos da tabela de *declives* entre 5° e 20°, tocados pelos elementos da tabela *rede hidrográfica*.

UNIÃO com

Elementos da tabela *morfologia* iguais a vertente interceptados pelos elementos da tabela *declives* > 25°, interceptados pelos elementos da tabela *formações superficiais* iguais a afloramento rochoso.

UNIÃO com

Elementos da tabela *morfologia* iguais a vertente interceptados pelos elementos da tabela *litologia* iguais a xistos e grauvaques, interceptados pelos elementos da tabela *declives*, interceptados pelos elementos da tabela *formações superficiais* com espessura de 1-3m e > 3m.

2.2. Questões lógicas para definição da média susceptibilidade geomorfológica.

O grau médio da susceptibilidade geomorfológica agrupa as áreas que apresentam as mesmas características que as definidas para a susceptibilidade geomorfológica forte a muito forte, mas que se desenvolvem a declives ligeiramente mais baixos e, portanto, não apresentam a mesma capacidade de desenvolver este tipo de processos geomorfológicos de evolução de vertentes. Só poderão desenvolver o conjunto de processos geomorfológicos em causa perante condições geográficas extremamente esporádicas, nomeadamente quando ocorrem precipitações que registam um período de retorno muito elevado ou quando existe uma intervenção antrópica muito importante. Agrupamos, portanto, as seguintes frases:

Elementos da tabela *morfologia* iguais a *vertente* interceptados pelos elementos da tabela *declives* onde declives são de 15° a 25°. Os polígonos desta operação deverão ser interceptados com os elementos da tabela *formações superficiais* onde formação superficial tem espessura > 3m.

UNIÃO com

Elementos da tabela *morfologia* iguais a *vertente* interceptados pelos elementos da tabela *formações superficiais* com espessura de 1 a 3 m interceptados pelos elementos da tabela *declives* com declive de 15° a 25°

UNIÃO com

Elementos da tabela *morfologia* iguais a *vertente* interceptados pelos elementos da tabela *formações superficiais* iguais a depósitos de *vertente* e *coluvionares* que são tocados pelos elementos da tabela *rede hidrográfica*, interceptados pelos elementos da tabela *declives* onde os declives são de 15° a 25°.

UNIÃO com

Elementos da tabela *morfologia* iguais a *vertente* interceptados pelos elementos da tabela *declives* entre 20° e 25°, interceptados pelos elementos da tabela *formações superficiais* iguais a afloramento rochoso.

UNIÃO com

Elementos da tabela *morfologia* iguais a *vertente* interceptados pelos elementos da tabela *litologia* iguais a *xistos* e *grauvaques*, interceptados pelos elementos da tabela *declives* com declives entre 15° e 25°, interceptados pelos elementos da tabela *formações superficiais* com espessura de 1-3m e > 3m.

UNIÃO com

Elementos da tabela *morfologia* iguais a vertente e a vale interceptados pelos elementos da tabela de *declives* entre 5° e 20°, tocados pelos elementos da tabela *rede hidrográfica*.

Esta última frase corresponde a áreas onde é provável a deposição de materiais resultantes de movimentos de vertente, embora isso só seja possível no caso destes atingirem grandes dimensões e uma dinâmica muito elevada permitindo o transporte a longas distâncias. Estão nesta situação os fluxos de detritos. No caso do fluxo do Cotorinho, os materiais deslocaram-se por mais de 6 Km, mas, em todos os outros processos descritos, a deslocação de materiais faz-se até às áreas das vertente onde os declives são fracos, onde se depositam quase todos os materiais.

2.3. Questões lógicas para definição da fraca ou nula susceptibilidade geomorfológica.

A fraca ou nula susceptibilidade geomorfológica corresponde a todas as áreas que não poderão ser afectadas pelos movimentos de vertente. Os declives muito fracos são os que menos serão afectados, mas teremos que associar a estes todo o conjunto de áreas que, apesar de não terem declives muito fracos, não poderão ser afectados pelos movimentos de vertente. Serão, portanto, as áreas que não constituem local de arranque, de transporte ou deposição de materiais. É o caso de algumas áreas onde os declives são inferiores a 15°, mas que não são pontos de convergência de drenagem e, portanto, dificilmente desenvolvem a saturação dos solos. Nestas áreas, o efeito da gravidade está muito reduzido e, não havendo a conjugação de outros factores de agravamento, nomeadamente o factor hidrico, não é possível o desenvolvimento de movimentos de vertente. De igual forma,

também serão excluídas as áreas onde os afloramentos rochosos compactos não são propícios ao desenvolvimento de movimentos, quer em massa, quer individualmente. Por exclusão, definimos que a cartografia da fraca ou nula susceptibilidade geomorfológica, será constituída pelas áreas que não fazem parte da muito forte, forte e média susceptibilidade geomorfológica.

3. Intervenção humana e susceptibilidade geomorfológica de movimentos de vertente.

A intervenção humana no meio físico pode provocar agravamentos nas condições de ocorrência de movimentos de vertente (cap. C2). Quando trabalhamos em ambiente SIG temos que considerar as possíveis alterações que essas intervenções poderão provocar na drenagem e estabilidade dos materiais que constituem a vertente. Quanto às intervenções já existentes é possível esboçar eventuais comportamentos da dinâmica das vertentes, mas quanto ao tipo e intensidade das intervenções que poderão ocorrer, é difícil produzir uma cartografia que antecipe as consequências dessa acção. Isto realça a necessidade de criar um fluxo de trabalho que seja capaz de disponibilizar uma sequência de passos que serão percorridos sempre que se programe uma determinada intervenção.

Há, contudo, que definir e identificar os grandes conjuntos de intervenções, introduzi-los no fluxo de trabalho em ambiente SIG, de forma que seja possível elaborar ou rever uma cartografia das áreas de diferentes graus de susceptibilidade geomorfológica, perante as novas condições de desenvolvimento da dinâmica do meio físico. O comportamento do meio físico perante cada intervenção deverá ser estudado caso a caso. Porém, quando pretendemos obter uma visão de conjunto de uma área, é necessário

proceder a uma generalização das consequências que cada grupo de intervenções, consoante as suas características, poderá provocar na definição da susceptibilidade geomorfológica de movimentos de vertente. Procedemos, por isso, à classificação dos diversos tipos de intervenção humana sobre o meio físico.

3.1. Estruturas de carga.

Quando nos referimos a estruturas de carga pensamos no conjunto de elementos construídos que contribuem para um acréscimo de peso sobre os materiais que constituem a vertente, desde um simples poço que se destina à rega das explorações agrícolas, até a infra-estruturas de grande dimensão, tal como uma via de comunicação. Em geral, as últimas, dadas as suas dimensões, são programadas de forma a não constituir uma sobrecarga em materiais sem compactação suficiente. Mas, quando a carga é exercida por obras não projectadas, sobretudo quando se trata de aterros de materiais não compactados, a susceptibilidade geomorfológica é grandemente acrescida (ver capítulo B2). Na Penha (Guimarães) observa-se a colmatação de um valeiro, com evidente estrangulamento da drenagem que se faz num dreno dimensionado para um escoamento típico de ano hidrico frequente. A situação é de risco elevado e resulta, essencialmente, da construção de um aterro de materiais heterométricos, sem qualquer compactação.

No caso dos aterros verificam-se três situações:

- 1ª Os materiais que constituem o aterro não são compactados, permitindo uma forte circulação hídrica no seu interior. Quando este facto é associado a uma alternância de níveis de materiais com texturas diversas, pode ocorrer que um nível impermeável constitua um óptimo plano de saturação, funcionando como plano de ruptura. Neste caso, o efeito de carga exerce-se sobre os materiais do próprio aterro.
- 2ª Os materiais que constituem o aterro promovem um peso

adicional sobre os materiais que existem sob eles e, se esses materiais forem pouco permeáveis, cria-se um plano de descontinuidade, de saturação provavelmente mais fácil, o que permite a movimentação dos materiais. O efeito de carga exerce-se sobre os materiais que estão subjacentes ao aterro.

- 3º Os materiais que resultam da escavação constituem aterros que, muitas vezes, colmatam parcialmente os vales. Em virtude do trabalho de sapa exercido pelo curso de água, desencadeiam-se movimentos de vertente que aumentam significativamente a carga sólida do referido rio (H. Th. Verstappen, 1983).

3.2. Áreas de descompressão.

As áreas de descompressão resultam da abertura de trincheiras ou escavações promovidas pelas obras de engenharia. A consequência mais importante dessas intervenções corresponde à perda de material de suporte. Quanto mais próximo da base da vertente e quanto maior a intervenção, tanto maior será o agravamento promovido na dinâmica da vertente. Por vezes, basta uma pequena intervenção escavando material que serve de apoio às formações superficiais que constituem a vertente, num sector de forte inclinação, para que se desencadeie uma movimentação muito complexa e difícil de estabilizar (F. Rebelo, 1981; H. Th. Verstappen, 1983 e Dov Nir, 1983).

Em áreas de declives muito fracos, quando da execução de uma escavação profunda pode ocorrer movimentação de materiais, embora limitada ao espaço da intervenção. É o caso de inúmeras obras de construção civil, não devidamente protegidas, que têm provocado perdas de vidas humanas junto das pessoas que nelas trabalham.

3.3. Desflorestação.

A desflorestação pode provocar perda de coerência dos materiais de uma vertente. Se esses materiais apresentam uma espessura fraca, as raízes

das árvores constituem uma rede de sustentação de tal modo importante que pode dar-lhes maior coesão. Se a desflorestação implicar arranque, queima ou enfraquecimento da rede de raízes, os materiais ficam desagregados e a sua mobilização pode ser muito fácil. Quando a rede radicular é destruída, o solo perde resistência e coesão (Dov Nir, 1983). Esta situação promove um conjunto de deslizamentos peliculares ou desencadeia fluxos de detritos, cuja dinâmica, por vezes, é muito próxima do escoamento torrencial.

Por vezes, a desflorestação parcial das vertentes promove a escorrência e concentração de drenagem num ponto específico da vertente, mais favorável à infiltração. Embora as precipitações não sejam tão abundantes ou intensas de modo a promover movimentos de vertente, é possível que a sua ocorrência esteja facilitada por via da desflorestação (J. A. Dowdeswell, H. F. Lamb e J. Lewis, 1988).

3.4. Concentração artificial da drenagem.

A concentração de drenagem pode dever-se a inúmeras situações. As mais frequentes resultam da construção de vias de comunicação ao longo das vertentes, urbanizações, desvios de drenagens, como vimos no ponto anterior, canalizações mal dimensionadas ou mesmo pela desflorestação. O efeito das concentrações de drenagem em materiais desagregados é extremamente importante. Os exemplos de Cavez e Vila de Muros (cap. 2) põem em evidência a importância das concentrações de drenagem na dinâmica actual de vertentes. No caso de Vila de Muros, nem o facto de estarmos na presença de uma obra de engenharia projectada, impediu que a construção da estrada concentrasse a drenagem de toda uma vertente num barranco. Para além desse facto, a drenagem das águas não foi encaminhada para a linha de água, onde o escoamento se faria com mais facilidade. O

dreno da estrada foi colocado na parte lateral do barranco, onde o coberto vegetal, associado a um pequeno sector de menor declive, promoveu uma forte infiltração do manto de alteração e conseqüente saturação do plano de descontinuidade entre este e a rocha-mãe.

De uma forma geral, as concentrações de drenagem são geradoras de grandes problemas na estabilidade de vertentes, sobretudo se os declives são muito fortes e a infiltração se processa facilmente.

3.5. Desagregação de materiais.

Para além dos aterros não compactados, já referidos neste ponto, é de realçar o problema dos materiais que foram sendo progressivamente desagregados ou que vão criando planos de clivagem resultantes de algumas actividades antrópicas. É o caso de formações superficiais cujos materiais vão perdendo o atrito entre partículas devido a explosões executadas em pedreiras ou pela trepidação provocada pelo tráfego de veículos pesados.

3.6. Abandono ou deficiente manutenção de estruturas de protecção dos solos e mantos de alteração nas vertentes.

As estruturas de protecção dos patamares antrópicos, quer sejam feitas em muros de pedra solta, quer sejam feitos em cimento perfurado por drenos, necessitam de manutenção, no sentido de evitar a saturação dos terrenos situados a montante. Os patamares agrícolas, construídos ao longo de vários séculos, são locais muito vulneráveis e propícios ao desenvolvimento de movimentos de vertente, em virtude do progressivo abandono da actividade agrícola das áreas de montanha. A manutenção e a drenagem desses patamares é negligenciada e, frequentemente, o escoamento superficial, utilizado para rega das culturas, é substituído pela infiltração. Nos patamares

desenvolve-se um coberto vegetal arbustivo ou subarbustivo que promove a infiltração e facilita a saturação dos materiais que os constitui. Começam por desenvolver-se pequenos desmoronamentos que criam, ao longo do muro que delimita o patamar, pontos de concentração da drenagem no patamar que está a jusante. Estão criadas as condições para a ocorrência de um movimento de vertente, resultado da ausência de trabalhos de manutenção e drenagem das estruturas construídas (A. Pedrosa, 1993). Como já foi referido, recentemente (Janeiro de 2001) foi possível verificar que a deficiente drenagem de patamares agrícolas construídos para a produção do vinho do Porto (em Alvações do Corgo), foi importante factor de ocorrência de fluxo de lama, responsável pela morte de três pessoas. O crescente despovoamento de extensas áreas rurais de montanha conduz à deficiente manutenção e controle da drenagem destas estruturas construídas nas vertentes.

4. A acção humana e o fluxo de trabalho em ambiente SIG na definição da susceptibilidade geomorfológica.

A acção humana sobre o meio físico envolve duas escalas de análise: a escala de grande pormenor, que é necessária quando se pretende proceder a uma determinada intervenção localizada, e a escala média, que ajuda a definir e cartografar as grandes linhas de susceptibilidade de movimentos de vertente.

Na primeira, torna-se necessário o conhecimento pormenorizado e concreto do local que se vai analisar. Este tipo de estudos exige sempre a utilização de métodos geotécnicos de levantamento dos dados no terreno e, por isso, permitem um conhecimento aprofundado e mais rigoroso do local da intervenção mas, frequentemente, ignoram as consequências da intervenção,

tanto a montante como a jusante. Para além disso, o profundo conhecimento desse local não permite a generalização dessas conclusões para outras áreas.

Na segunda, há uma abordagem geográfica dos problemas da susceptibilidade geomorfológica, e, com a ajuda da cartografia, uma visão de conjunto dos problemas do planeamento físico. Contudo, muitas vezes, verifica-se a dificuldade em determinar os locais precisos onde, provavelmente, se desenvolverão os movimentos de vertente.

Dado o carácter pormenorizado do trabalho feito com recurso aos métodos geotécnicos, é muito complicado utilizá-los como suporte à produção da cartografia da susceptibilidade geomorfológica. Num SIG, o tratamento da susceptibilidade geomorfológica, à escala média, só poderá ser desenvolvido com o recurso à análise regional baseada no levantamento de campo das condições geográficas da ocorrência de movimentos de vertente. É a este nível que a análise da influência das intervenções antrópicas sobre a susceptibilidade geomorfológica poderá ser desenvolvida em ambiente SIG.

Uma vez classificados os diferentes tipos de intervenção antrópica, deverá ser introduzido e desenvolvido em SIG um processo de análise dessa informação, com a cartografia dos diversos graus de susceptibilidade geomorfológica, previamente definido. Este processo de análise deverá identificar as áreas que, tendo sido cartografadas como sendo de grau médio, sofrem a influência das diversas intervenções antrópicas. Consoante o tipo e intensidade das intervenções, as áreas poderão ser reclassificadas como forte susceptibilidade geomorfológica. Por exemplo, um aterro feito num barranco, mesmo num sector de fraco declive, onde existe uma área de média susceptibilidade geomorfológica, transformará essa área em forte

susceptibilidade. No entanto, se procedermos a um desvio de drenagem numa vertente de média susceptibilidade geomorfológica, condicionado a um conjunto de medidas de prevenção, poderemos não alterar o grau da susceptibilidade geomorfológica dessa vertente.

De uma forma geral, a intervenção humana produz um agravamento do grau de susceptibilidade geomorfológica. Isso significa que as áreas cartografadas como de grau médio de susceptibilidade geomorfológica constituem os sectores onde é possível o agravamento por intervenção humana. Contudo, se for possível condicionar a intervenção antrópica a um conjunto de medidas preventivas poderemos fazer uma leitura da cartografia da susceptibilidade geomorfológica considerando a possibilidade de intervenção humana, segundo determinadas condicionantes. Desta forma, as áreas de forte a muito forte susceptibilidade geomorfológica estariam interditas a qualquer intervenção humana. Nas áreas de média susceptibilidade geomorfológica deverá haver uma classificação das intervenções que poderiam ser executadas, mas, com fortes condicionantes de acordo com as medidas preventivas propostas, depois de um estudo de pormenor, em que os estudos de carácter geotécnico desempenham papel importante.

Nas áreas de fraco ou nulo grau de susceptibilidade não haveria restrições à actividade humana. Contudo, verifica-se que, quando se desenvolvem intervenções que necessitam de abertura de trincheiras, ocorrem acidentes (resultantes de quedas de blocos ou terras) que, não raro, provocam a morte de pessoas que nelas trabalham. Estas situações coincidem com todo o processo de realização da intervenção e não com as suas características. Portanto, a prevenção destas situações não se situa ao nível

do licenciamento de obras, mas ao nível do acompanhamento e fiscalização. Uma vez identificadas as áreas onde as formações superficiais são propícias a estes processos seria possível promover um acompanhamento mais eficaz das diversas intervenções. Então, com o estudo do local, seriam desenvolvidas e aplicadas as medidas de prevenção já conhecidas.

Desta forma, as áreas de forte a muito forte susceptibilidade geomorfológica constituiriam as áreas interditas a qualquer intervenção antrópica. As áreas de média susceptibilidade geomorfológica constituiriam sectores onde a intervenção antrópica estaria fortemente condicionada por medidas de prevenção especialmente definidas para cada intervenção. As áreas de fraca ou nula susceptibilidade geomorfológica deveria ser dividida em duas áreas. Uma corresponderia aos sectores onde as formações superficiais não constituiriam problema durante a intervenção antrópica, e outra, corresponderia aos sectores onde as formações superficiais poderiam constituir problema e, portanto, estariam sujeitas a acompanhamento regular no sentido de se fazerem cumprir as medidas preventivas julgadas necessárias à realização em curso.

Assim, sugerimos a seguinte cartografia geral (Fig. D3.3):

- a) Áreas interditas à intervenção humana: áreas cartografadas com forte a muito forte susceptibilidade geomorfológica.
- b) Áreas de intervenção condicionada: áreas cartografadas como média susceptibilidade geomorfológica mais as áreas de fraca ou nula susceptibilidade geomorfológica que não são afloramentos rochosos ou mantos de alteração com espessura entre 1m a 3m, que identificamos a partir de seguinte questão

lógica:

Elementos da tabela *susceptibilidade geomorfológica* iguais a susceptibilidade média,

UNIÃO com

Elementos da tabela *susceptibilidade geomorfológica* iguais a susceptibilidade fraca ou nula,

QUE NÃO SÃO

Elementos da tabela *formações superficiais* iguais a afloramentos rochosos.

- c) Áreas sem condicionantes: áreas cartografadas como afloramentos rochosos que não estejam incluídos nos pontos anteriores, que identificamos a partir de seguinte questão lógica:

Elementos da tabela *susceptibilidade geomorfológica* iguais a susceptibilidade fraca ou nula,

INTERCEPTADOS por

Elementos da tabela *formações superficiais* iguais a afloramentos.

Por conseguinte, a intervenção antrópica, em SIG, não pode ser considerada como mais um nível de informação cartografada, trabalhada previamente com a restante informação, mas terá que fazer parte de um fluxo de trabalho, a utilizar continuamente ao longo do processo de ordenamento do território e de gestão do risco natural.

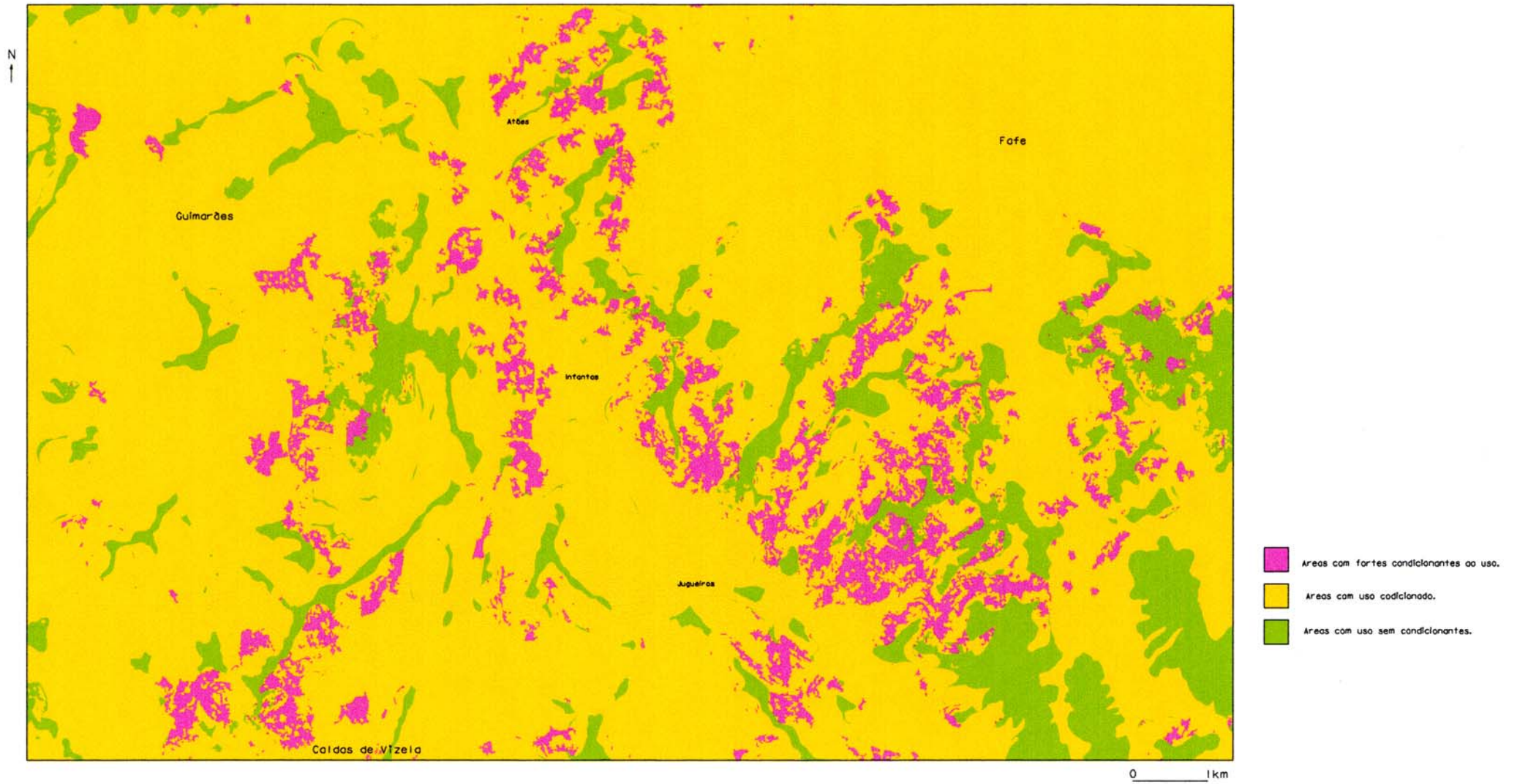


Fig. D3.3: Carta das condicionantes ao uso do território.

Conclusão e perspectivas de investigação.

Recorda-se que o objectivo principal deste trabalho era a construção de um SIG da susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente, onde se realçassem duas componentes distintas: a utilização de novas tecnologias e a definição de áreas susceptíveis ao desenvolvimento de movimentos de vertente, em áreas do maciço antigo Português.

A primeira destas componentes supõe que os sistemas de informação geográfica são um instrumento de apoio à definição da susceptibilidade geomorfológica. As suas funcionalidades permitem uma grande operacionalidade na concretização do objectivo definido.

A segunda exige que se proceda à recolha da informação necessária à identificação das características geográficas, que permitem definir as áreas de maior susceptibilidade geomorfológica. Esta recolha, apesar de se socorrer, numa primeira fase, de informação obtida por observação de fotografia aérea, assenta fundamentalmente em levantamentos de campo. Com efeito, a definição das condicionantes geográficas da ocorrência de movimentos de vertente só poderá ser desenvolvida em SIG se as entradas do sistema corresponderem às características geográficas específicas das áreas em estudo, o que implica levantamentos exaustivos no terreno.

A construção de um SIG envolve a definição de uma estrutura onde se poderá desenvolver um fluxo de trabalho, no âmbito do qual se poderá então

estudar a definição das áreas de maior susceptibilidade geomorfológica. Nesse sentido, há que referir que um SIG sobre susceptibilidade geomorfológica está directamente dependente da área de trabalho que pretendemos analisar. Ou seja, todo o fluxo de trabalho é condicionado pelas características da área em análise e, tanto a informação que constitui a entrada no sistema, como a forma como o sistema construirá o fluxo de trabalho, depende do terreno onde vai ser aplicado.

O sistema que aqui se propõe, foi construído para áreas de maciço antigo onde há um predomínio de rochas granitóides, sujeitas a alteração intensa e frequentemente profunda. Nestas áreas, as condicionantes do meio físico propícias ao desenvolvimento de movimentos de vertente estão directamente relacionadas com as características hídricas e geomorfológicas destes mantos de alteração. *Por isso, o SIG que se apresenta tem uma estrutura e uma informação de base que reflecte estas condições, não podendo ser transposto para outras áreas, sem prejuízo grave ao nível das conclusões e da cartografia a desenvolver. Noutras áreas, urge a respectiva adaptação tanto ao nível das entradas no sistema como na elaboração das questões lógicas definidas e utilizadas na elaboração da cartografia final.*

1. Conclusões em torno do trabalho desenvolvido em SIG.

1.1. A escala de análise e a informação geográfica disponível.

O desenvolvimento do SIG sobre susceptibilidade geomorfológica supõe a recolha de informação a diversos níveis:

a) No terreno, por levantamento directo das características do meio físico; junto das populações, através de inquéritos; e em arquivos diversos, por

pesquisa de documentos históricos e registos vários conforme já tinha sido proposto por Dolffus e R. d' Ercole (1996)⁷⁴.

Os vestígios da evolução actual de vertentes no maciço antigo do NW de Portugal, em especial nas áreas com uso agrícola dos solos, são de difícil conservação. Grande parte das cicatrizes dos movimentos de vertente desaparecem em virtude da reposição das estruturas que servem de suporte aos patamares agrícolas e da reutilização dos solos. A retoma das actividades económicas não permite que os efeitos mais visíveis da dinâmica actual permaneçam por períodos de tempo muito prolongados. Nesse sentido, para o levantamento das condições de ocorrência de movimentos de vertente, é necessário recorrer ao inquérito às populações locais e consultar fontes históricas que nos referenciem locais onde este tipo de processos tenham acontecido. Desta forma é possível identificar o contexto geográfico em que é provável que, hoje, possam vir a repetir-se movimentos de vertente. Note-se que, em S. João (Melgaço), no inverno de 2000/2001, houve novo movimento de vertente que destruiu a capela comemorativa dos eventos do século XIX (cap. C2).

Perante a escassez de vestígios de movimentos de vertentes registados no terreno, o estudo das condições geográficas dos locais onde sabemos que eles ocorreram foi um método essencial para a definição dos critérios de delimitação das áreas de susceptibilidade geomorfológica. Tal como vimos em S. João, os depósitos que colmatam o fundo dos vales, sobretudo se se dispõem em leque, à saída de ravinas e barrancos, são importante testemunho da dinâmica de vertentes actual. Muitos destes depósitos, devem ser interpretados como resultantes da dinâmica actual e não, necessariamente, herdados de ambiências

74 O fluxo de detritos de S. João (Melgaço) foi identificado em virtude de investigação desenvolvida em periódicos do século XIX, com o objectivo de identificar situações meteorológicas extremas em épocas históricas em que ainda não existiam registos meteorológicos (C. Bateira; L. Soares e J. Garcia, 1997).

climáticas mais húmidas. Neste caso, a cartografia destas formações deram indicações importantes sobre as áreas onde existe maior susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente.

b) No gabinete, com recurso à cartografia disponível e à fotografia aérea. Uma vez que a imagem de satélite ainda apresenta muitas limitações para o desenvolvimento de trabalhos a grande escala, a fotografia aérea, sobretudo à escala aproximada de 1:15 000, foi um precioso elemento de apoio ao trabalho sobre o terreno. Nesse trabalho de gabinete procedeu-se à identificação das áreas problema, o que permitiu orientar as prioridades no decurso da recolha da informação no terreno.

Por outro lado, quando utilizamos a cartografia geológica enfrentamos um novo problema na recolha da informação. Em regiões sedimentares, e tendo por base as unidades litológicas, é possível associar diferentes tipos de factores a determinados tipos de movimentos de vertente. Isso permite estabelecer relações entre esses factores, frequentemente alicerçadas na análise estatística. Porém, para que este tipo de análise seja aceitável, é necessário que a litologia seja uniforme em toda a unidade. Poderíamos pensar que tal procedimento seria possível de empreender em áreas com predomínio de rochas granitóides. Considerando os diferentes tipos de granitos (Ex: Guimarães, Lustosa, Fafe,...) pensamos que poderíamos tentar relacioná-los com tipos de movimentos de vertente diferentes, e características do meio físico também diferentes (por ex: declives, ocupação do solo, morfologia das vertentes, condições de escoamento, ...).

Contudo, os granitóides desenvolvem formações superficiais que, pela sua evolução, se transformam em mantos de alteração esqueléticos, onde os materiais mais finos são removidos pelo escoamento interno. Esse facto, impõe

que os movimentos de vertente estejam directamente dependentes do tipo de formação superficial que exista ao longo das vertentes, não directamente relacionável com o tipo de litologia que lhe deu origem. Grande parte dos movimentos de vertente estudados neste trabalho ocorreram em mantos de alteração resultantes de degradação de granitóides diferenciados, não sendo possível estabelecer uma relação entre cada um deles e um qualquer tipo de movimento.

Nestas circunstâncias, mais importante do que utilizar a cartografia geológica, é determinante conhecer a variação espacial da espessura do manto de alteração, já que, conforme foi apresentado no cap. B2, é condição essencial para o desenvolvimento de movimentos de vertente. Com efeito, é claro que o movimento do Covelo do Gerês, com características de movimento compósito, ocorreu em manto de alteração profundo, ao passo que movimentos como o de Cavez e Vila de Muros estão directamente relacionados com mantos de alteração pouco profundos.

Para o desenvolvimento de um SIG sobre susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente no NW de Portugal, é, portanto, determinante a cartografia das formações superficiais, em especial dos mantos de alteração das rochas granitóides. O tratamento da informação sobre mantos de alteração em ambiente SIG colocou-nos um novo problema; como fazer a cartografia da intensidade e profundidade da alteração dos granitóides? Como sabemos, a variação da intensidade e da profundidade de alteração é muito grande. Num pequeno espaço é possível encontrar uma grande variabilidade destas duas variáveis, inviabilizando a cartografia de pormenor, mesmo quando realizada a uma grande escala (cap. C1).

Optamos por construir uma cartografia onde fosse possível definir

áreas com predomínio de uma determinadas espessura, passível de induzir movimentos de vertente profundos ou superficiais, deixando de parte o problema da intensidade de alteração. Por um lado, esta é demasiado pormenorizada para permitir uma cartografia a uma escala média. Por outro, não parece ter influência significativa no desencadear de movimentos de vertente, dada a forte evolução resultante da lavagem da argila e silte, por escoamento interno, sobretudo se estão situados em vertentes de forte declive.

Como consequência do que foi dito, o estudo das condições geográficas para a ocorrência de movimentos de vertente encerra uma forte componente de trabalho de campo. A falta de informação sobre a dinâmica do meio físico, nomeadamente a inexistência de cartografia geomorfológica de pormenor e das formações superficiais, impõe que se recorra a esse trabalho, sem o qual não é possível desenvolver um SIG adaptado à realidade em estudo.

Essa informação de base constituiu a entrada do SIG, sendo marca indelével da área analisada e da cartografia resultante do fluxo de trabalho construído. Só desta forma constitui um instrumento de trabalho considerado válido para a tomada de decisões. Caso contrário, produzir-se-ia documentação (cartografia) geral, vaga, que, inviabilizando uma verdadeira diferenciação de áreas de diversa susceptibilidade geomorfológica, não seria compatível com as decisões de utilização do território, adaptadas a nível local.

1.2. A importância da cartografia geomorfológica na análise da susceptibilidade geomorfológica.

As entidades responsáveis pelo planeamento do território, perante problemas que necessitam de solução urgente, recorrem com frequência à generalização e simplificação dos estudos, utilizando critérios raramente adequados à área que pretendem gerir. Exemplificando, no âmbito dos Planos

Directores Municipais (PDMs) foi construída a cartografia da Reserva Ecológica Nacional (REN), onde figura a definição das áreas de instabilidade de vertentes, utilizando como único critério os declives da superfície topográfica superiores a 30% (aprox. 17°)⁷⁵. Embora possam existir áreas onde este declive constitua o limite superior da estabilidade de vertentes, em regiões onde dominam os granitóides e respectivos mantos de alteração, a saturação dos materiais e consequente instabilidade das vertentes, não se processa geralmente a declives tão baixos. É necessário percorrer áreas com declives superiores a 25° para se encontrarem movimentos de vertente de grandes dimensões derivados predominantemente da dinâmica natural do meio físico, enquanto que para declives menores, a intervenção humana desempenha, quase sempre, um papel determinante (Dov Nir, 1983 e J. A. Dowdswell et al., 1988).

A utilização de um SIG sobre susceptibilidade geomorfológica no ordenamento do território a grande escala, terá que fazer uso da cartografia geomorfológica de pormenor. O SIG que agora se apresenta tem como função especial a indicação de áreas onde deverá ser desenvolvida essa cartografia. Porém, como vimos nos cap. A2 e A3, a utilização dos programas associados aos sistemas de informação geográfica para a construção de cartografia automática implica um processo de adaptação da informação que tentamos discutir com a construção do SIG apresentado. No caso da simbologia da cartografia geomorfológica, essa dificuldade é evidente. Torna-se, portanto, necessário que se proceda à utilização de entidades adaptadas ao processo de tratamento da informação em SIG. A discrepância entre os elementos gráficos disponíveis em sistema para a utilização dos operadores lógicos e a representação cartográfica dos processos geomorfológicos, impõe a utilização de simplificações

⁷⁵ Dec. Lei nº93/90 de 19.03.1990. Anexo II da REN.

cartográficas que, neste trabalho, tentamos ultrapassar com a construção das unidades e elementos territoriais (capítulo D2). Este procedimento significa a generalização da informação introduzida em SIG, sendo possível a sua utilização numa escala de 1:50000 ou 1:25000.

Organizamos a informação necessária à construção de um SIG sobre susceptibilidade geomorfológica utilizando a figura de 'unidade territorial', adaptada à geomorfologia (unidades geomorfológicas). Desta forma, procura-se uma adaptação da informação física ligada à dinâmica de vertente que seja compatível com as entidades gráficas (no caso os polígonos) reconhecíveis em SIG.

Por outro lado, o trabalho em ambiente SIG exige uma permanente aferição da qualidade da informação que é introduzida no sistema, mas sobretudo impõe uma análise crítica da informação produzida automaticamente. É o caso do cálculo dos declives. Como vimos no cap. A2 os resultados finais da cartografia automática dos declives podem ser muito diversos, consoante o processamento da informação feita pelo sistema, cujos algoritmos frequentemente desconhecemos. É, portanto, muito importante o conhecimento sobre o processamento da informação em ambiente SIG, para que organizemos a informação de forma a poder obter os resultados que revelem melhor aderência à realidade do meio físico. Damos especial relevo à construção de questões lógicas que originaram a cartografia da susceptibilidade geomorfológica e testámos a generalidade da informação produzida.

1.3. O trabalho em ambiente SIG e as limitações à produção cartográfica.

A produção cartográfica em ambiente SIG apresenta determinadas características técnicas que dependem da sua funcionalidade. A utilização de

operadores lógicos em ambiente SIG implica um conhecimento preciso do tipo de funcionamento do sistema, sob pena de se produzir cartografia que não corresponda aos objectivos propostos.

Os operadores lógicos utilizados neste sistema foram testados e confirmados em áreas amostra, através do trabalho no terreno. Não poucas vezes, a leitura dos resultados obtidos pelo sistema, com recurso a esses operadores, conduziu a soluções cartográficas que não correspondiam à realidade.

A utilização dos SIG permitiu a correlação de informação de áreas extensas, envolvendo uma grande multiplicidade de variáveis, difícil de ter presente em simultâneo na construção das questões lógicas. Frequentemente, a construção das questões lógicas procura agrupar, numa mesma mancha cartografada, uma situação concreta do meio físico. Contudo, ao trabalhar os factores que determinam a evolução das vertentes poderemos estar, involuntariamente, a restringir ou a alargar as áreas de susceptibilidade, sem que nos apercebamos do alcance dos operadores lógicos. Por exemplo, quando definimos as áreas afectadas por movimentos de vertente e queremos cartografar os sectores onde será provável a deposição de materiais, temos de seleccionar áreas de declives baixos, embora nem todas possam ser abrangidas. Como podemos individualizá-las? Dessas áreas, como poderemos distinguir as que são afectadas pelos materiais em movimento resultantes das áreas de média susceptibilidade geomorfológica e as que resultam dos movimentos ocorridos nas áreas de forte a muito forte susceptibilidade geomorfológica? A solução encontrada (parte D) foi testada e resulta de um longo trabalho de construção de questões lógicas onde as linhas de água que estão a jusante das áreas de forte probabilidade de ocorrência, interceptando declives mais fracos

correspondem aos sectores de convergência de movimentos de vertentes.

Este trabalho de construção das questões lógicas é tanto mais elaborado quanto mais rigorosa é a investigação em torno dos processos e dinâmica do meio físico. Por isso, um SIG é tanto mais correcto quanto mais é desenvolvida a investigação em torno da informação que nele é tratada.

Neste contexto, as áreas de forte susceptibilidade geomorfológica deverão ser considerados de primeira prioridade na elaboração de cartografia geomorfológica de pormenor, a partir da qual se esboçará a cartografia a grande escala. O SIG agora elaborado, constitui instrumento de trabalho que orientará a pesquisa no âmbito da definição das áreas de susceptibilidade geomorfológica, apoiada na cartografia geomorfológica de pormenor. Será, portanto, um indicador das prioridades na intervenção a realizar sobre o meio físico.

A utilização dos SIG na elaboração da cartografia de pormenor, deverá ainda ser implementada e estudada, no sentido de conciliar o registo cartográfico da dinâmica do meio físico (e respectiva legenda geomorfológica) com os operadores lógicos disponíveis em SIG. Esse trabalho afigura-se-nos como um importante desafio, que deverá ter como objectivo fundamental a produção de uma cartografia de susceptibilidade geomorfológica de pormenor, que seja fiel à dinâmica do meio físico e à intervenção humana. Esta tarefa deverá ter como base a cartografia geomorfológica digitalizada em formato vectorial. Desta forma se poderá maximizar a utilização de todos os operadores lógicos disponíveis em SIG.

2. Principais ideias sobre áreas de susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente.

A susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente no maciço antigo Português, em sectores onde dominam as rochas granitóides, está dependente de um conjunto de condições geográficas que passamos a sintetizar.

2.1. Os declives

Considerado um dos factores mais importantes no desenvolvimento dos movimentos de vertente, o declive varia em função do tipo de movimento. No entanto, é possível dizer que, para declives inferiores a 25°, os processos geomorfológicos de evolução de vertentes podem ocorrer, desde que induzidos pela acção humana. De todos os movimentos de vertente estudados neste trabalho, nenhum apresenta a cicatriz de arranque em áreas de declives inferiores a 25°. De uma forma geral, o encaixe profundo da rede hidrográfica permitiu o desenvolvimento de vertentes de declives fortes, mesmo em áreas próximas do litoral. Embora mais restritas, estas áreas representam sectores importantes do território onde a expansão urbana é muito significativa, sendo provável que a frequência de ocorrência de movimentos de vertente induzidos pela acção humana venha a aumentar. A área de Guimarães corresponde a uma dessas situações. O trabalho agora apresentado identifica as áreas onde a dinâmica do meio físico, predominantemente natural, é susceptível de desenvolver movimentos de vertente e onde a acção humana imporá, necessariamente, um agravamento das condições em que a probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente será maior.

2.2. A precipitação

A correlação entre intensidade e duração dos episódios chuvosos e os movimentos de vertente, é uma tarefa ainda deficientemente explorada. Em três casos estudados (Cavez, Covelo do Gerês e Vila de Muros), foi possível apresentar valores de precipitação, relacionando-os com o movimento analisado. No entanto, a elaboração de uma análise estatística, mais rigorosa, baseada numa série de dados registados em curtos períodos de tempo, torna-se difícil senão mesmo impossível. Esta dificuldade deve-se a duas razões determinantes.

A primeira diz respeito à área de estudo. Os levantamentos e registos sobre movimentos de vertente estão muito dispersos, o que não permite relacioná-los, em conjunto, com uma única série de registos de precipitação de referência. Isso só seria possível caso a área de estudo de movimentos de vertente fosse restrita, e os registos de precipitação comuns a todos os movimentos de vertentes (J.L. Zêzere, 1997). Tal não é possível em áreas tão dispersas como as do NW de Portugal.

A segunda razão está relacionada com os intervalos dos registos dos valores da precipitação. Na maior parte dos casos, só é possível obter dados diários e, mesmo nestas situações, a distância dos postos udométricos aos locais com movimentos é de tal ordem que não permite identificar a sequência chuvosa responsável pelo movimento em análise. Por outro lado, no caso do Covelo de Gerês, com três postos udométricos nas imediações, tivemos que optar pelo mais próximo, e os dias em que ocorreram as maiores precipitações não coincidiam. Este facto, revela que os episódios chuvosos apresentam variações espaciais e temporais significativas, aliás, uma ideia já referida noutros

trabalhos⁷⁶.

No caso de Vila de Muros (Cinfães) os registos apresentados estão situados na Serra da Aboboreira, a N, e distam 18km em linha recta. Apesar disso, decidimos pela sua apresentação, já que os registos são feitos em intervalos de 10 minutos. No entanto, a leitura e a interpretação dos dados da precipitação e, sobretudo, a sua relação com o momento de ocorrência do movimento, não poderá ser feita com segurança dada a distância entre o local do fenómeno e o local dos registos. Permite, no entanto, o estudo do tipo de episódios chuvosos ocorridos nesse dia, o que é um contributo significativo para o entendimento da dinâmica em causa. A leitura dos valores registados no dia em que ocorreu o movimento de Vila de Muros permite afirmar que uma sequência chuvosa prolongada, terminando por um episódio chuvoso intenso, é um factor de risco muito importante, à semelhança do que já tinha sido observado por F. Rebelo (1981) no estudo de um caso na cidade de Coimbra⁷⁷.

2.3. A geomorfologia das vertentes

A geomorfologia das vertentes parece ser determinante na definição das áreas de arranque dos movimentos de vertente. Estes, quase sempre, estão associados a várias características geomorfológicas que importa identificar.

a) Os pequenos encaixes da rede hidrográfica em vertentes de forte declive correspondem a áreas que se têm revelado muito sensíveis à ocorrência de movimentos de vertente. Nestas áreas, a convergência da drenagem é muito importante (J. L. Innes, 1983). O fluxo interno, ao nível da vertente, converge, e

⁷⁶ Na bacia hidrográfica do Cavalum, a SW de Penafiel, desenvolveram-se cheias rápidas que afectaram diversas construções. Apesar da pequena dimensão da bacia hidrográfica, outras, igualmente pequenas e que lhe estão próximas, não foram afectadas, o que atesta o aspecto muito localizado de alguns episódios chuvosos. Ver C. Bateira e L. Soares, 1997.

⁷⁷ F. Rebelo (1981, p. 642) escreve, a propósito de um deslizamento na rua de Aveiro, "...embora estes, ..., surjam, em regra, ou se agravem decisivamente apenas quando as chuvas fortes venham já na sequência de um período razoavelmente chuvoso".

concentra-se ao longo desses pequenos encaixes, o que permite a saturação fácil dos materiais que os constituem. As ravinas e os barrancos são, pois, os locais onde existe a maior probabilidade de desenvolvimento de movimentos de vertente (J. E. Costa, 1981). Esta ideia é confirmada pelos movimentos de vertentes de Cavez, Vila de Muros, Covelo do Gerês e S. João.

b) Outro aspecto geomorfológico determinante, corresponde à existência de concavidades, embora não muito pronunciadas, na parte superior das vertentes. São igualmente áreas de convergência da drenagem, que favorece a saturação dos materiais que constituem a vertente (Cavez, Vila de Muros, Frades⁷⁸), o que confirma a ideia de J. A. Dowdswell et al. (1988).

c) Quando o encaixe da rede hidrográfica se faz por diversas fases, é possível a criação de roturas de declive a meia vertente. Na parte superior, os declives, apesar de fortes, são menores que os da parte inferior, onde a vertente adquire aspecto abrupto. A infiltração é muito forte a montante e o fluxo interno desenvolve-se com facilidade. Como a jusante o declive é mais acentuado, torna-se mais fácil a sobreposição das forças tangenciais às forças de atrito. Estão criadas as condições geomorfológicas para o desenvolvimento de movimentos de vertente. Em Cavez e Vila de Muros, a cicatriz desenvolve-se imediatamente a jusante de uma rotura de declives com aumento do declive para jusante.

2.4. Litologia, mantos de alteração e depósitos de vertente

Com o desenvolvimento do trabalho de constituição do SIG sobre susceptibilidade geomorfológica em áreas de maciço antigo, foi ficando mais clara a ideia de que os granitóides e respectivos mantos de alteração constituem

⁷⁸ Este movimento ocorreu em 7 de Dezembro de 2000 em Frades, Arcos de Valdevez, no preciso momento em que nos encontrávamos a escrever estas linhas. Por esse motivo, não é possível incluir a sua análise nesta dissertação. Contudo a sua ocorrência só confirma a ideia expressa neste parágrafo.

elemento determinante da análise. A sua extensão no NW de Portugal tornou imperativo o seu estudo.

A alteração das rochas é um factor determinante no desenvolvimento de movimentos de vertente, apresentando, no caso dos granitóides, uma grande variação lateral e em profundidade. De uma forma geral, os mantos de alteração encontram-se bem conservados na parte inferior das vertentes ou no fundo dos vales, diminuindo progressivamente de espessura à medida que nos aproximamos do topo das vertentes (cap. B2).

No entanto, os mantos de alteração apresentam características que condicionam, de forma determinante, o desenvolvimento dos movimentos de vertente.

Apesar das dificuldades em entender a relação entre precipitação e movimentos de vertente, importa desenvolver o estudo sobre o fluxo interno em mantos de alteração de granitóides. Consoante vimos, a grande variabilidade de alteração nos granitóides conduz à formação de um manto de alteração com permeabilidade e conductividade hidráulica muito variável. A evacuação dos materiais mais finos produz uma grande variabilidade do grau de compactação destas formações superficiais. Em Cavez, percebemos a grande facilidade de movimentação do fluxo interno, o que resulta na dificuldade de saturação dos mantos de alteração, e contribui para que os movimentos de vertente só ocorram a declives muito fortes.

A circulação da água no seu interior faz-se com facilidade. Mesmo em mantos de alteração constituídos a expensas de granitóides de textura fina ou média, verifica-se que a circulação do fluxo interno se faz de forma rápida e o processo de saturação é lento. Por outro lado, os mantos de alteração são, em

geral, muito pouco argilosos, em contraste vivo com as alterites das regiões tropicais (A. Braga, 1988) e apresenta índices de plasticidade muito fraca ou mesmo nulos (A. J. S. Begonha, 1989). Estes dois factores são responsáveis pela estabilidade de muitas áreas no NW de Portugal, apesar dos declives elevados que apresentam.

Porém, é possível desenvolver estudos mais detalhados, de forma a podermos tornar mais perceptíveis as condições hídricas em que ocorrem os movimentos de vertente em mantos de alteração de rochas granitóides. Tanto em Cavez, como em Vila de Muros, as áreas de alimentação do fluxo interno situadas a montante da cicatriz parecem ter desempenhado um papel muito importante. É certo que, em ambos os casos, há concentração artificial do escoamento superficial feito com a construção de drenos a montante da cicatriz, mas é provável que o fluxo interno, nesses locais, tenha uma forte concentração e provoque a conseqüente saturação dos materiais. O estudo das características geomorfológicas das vertentes e do fluxo interno que nele se desenvolve poderá constituir uma perspectiva de trabalho interessante para a identificação das áreas de maior susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente a grande escala. Parece certo que grande parte dos fluxos de detritos ocorrem em bacias hidrográficas de 1ª ordem, o que constitui uma boa orientação para a investigação sobre a relação entre o fluxo interno e a geomorfologia das vertentes.

Vejamos alguns exemplos:

a) Próximo do topo das vertentes que resultam do forte encaixe da rede hidrográfica, os mantos de alteração apresentam-se menos espessos. O fluxo interno desenvolve-se rapidamente e, a pouca profundidade, o processo de infiltração é bloqueado por um afloramento da rocha sã ou por um manto de

alteração mais compacto. Este contacto entre manto de alteração e rocha sã facilita a saturação e, em declives muito fortes, as forças de atrito são superadas pelas forças tangenciais, promovendo o movimento dos materiais. Tal ocorre nas áreas mais declivosas das vertentes, próximo do topo e, iniciando-se o movimento, toda a área a jusante vai contribuir com materiais, o que intensifica o processo em velocidade e em volume de massa transportada.

Considerando o modo como a frente de alteração se desenvolve, o manto de alteração engloba geralmente blocos de granito de dimensões muito variáveis (desde alguns decímetros até vários metros de diâmetro maior), que exercem um peso extremamente importante sobre as arenas graníticas. Essa pressão é factor importante para o desencadeamento e a violência de muitos dos fluxos de detritos descritos.

Genericamente, as vertentes talhadas em granitos apresentam uma disposição que, junto à base, têm forma côncava. Salvo as situações que resultam de um encaixe vigoroso da rede hidrográfica, o que indicia uma influência de tectónica recente, a forma côncava das vertentes resulta de uma evolução que depende, no essencial, da ocorrência de fluxos de detritos. O trabalho desenvolvido ao longo das áreas com afloramentos graníticos do NW de Portugal permitem afirmar que o fluxo de detritos é o movimento de vertente mais frequentemente observado. Salvaguardando as diferenças de contexto climático, tudo parece confirmar a experiência de Yuichi Onda (1992), no Japão, que concluiu que, em mantos de alteração granítica, a evolução de vertentes se faz com predominio dos fluxos de detritos. Outra noção que reforça esta ideia é expressa por A. M. Johnson e J. R. Rodine (1984) ao afirmarem que os índices de plasticidade dos fluxos de detritos é muito fraca, o que é compatível com as observações sobre a plasticidade dos mantos de alteração, atrás referidos.

b) Grande parte dos fluxos de detritos apresentam os planos de ruptura coincidentes com o contacto entre manto de alteração e rocha sã ou pouco alterada. Este facto, mais uma vez, permite identificar um plano de descontinuidade como elemento determinante na saturação dos materiais e ajuda a situar a causa da saturação de mantos de alteração nos obstáculos encontrados pelo fluxo interno. O estudo do comportamento hidrico dos planos de descontinuidade nos mantos de alteração é tarefa determinante para a identificação dos elementos estruturais que têm influência directa sobre o processo da sua saturação. A localização desses planos será mais um contributo para a definição da susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente.

O cariz esquelético dos mantos de alteração no NW de Portugal permite uma boa drenagem do fluxo interno. Este facto é um factor de retardamento da sua saturação. Quando o manto de alteração é espesso, possui uma grande capacidade de absorção da água infiltrada, o que justifica a fraca frequência de movimentos de vertente em áreas de muito forte declive (mesmo acima de 30°). Os poucos movimentos ocorridos nesta circunstância resultam de intervenções antrópicas na base dos materiais movimentados. Ao contrário, os mantos de alteração pouco espessos não apresentam grande capacidade de absorção e, rapidamente, a água acumula-se nas áreas de contacto com a rocha-mãe. Esta é a razão pela qual existem vários fluxos de detritos desenvolvidos a meia vertente ou próximo do topo, onde o manto de alteração já sofreu uma forte acção erosiva e evidencia uma grande proximidade com os planos de descontinuidade definidos pela rocha-mãe.

Por outro lado, a tectónica tem um papel importante na definição de alguns planos de descontinuidade nos mantos de alteração. Mantos de alteração resultantes da degradação de granitóides afectados por falhas

poderão ter, no seu interior, planos de falha, ou mesmo caixas de falha, com forte argilização. Isto confere aos mantos de alteração planos de impermeabilização que dificultam o fluxo interno criando as condições à sua saturação e, pelo efeito de declives elevados, permitem a sobreposição das forças tangenciais às forças de atrito entre partículas. Esta disposição estrutural dá um importante contributo para a explicação sobre os factores que estão na origem de movimentos de vertente como Covelo do Gerês ou S. João.

c) Embora raramente exista coincidência entre mantos de alteração espessos e declives elevados, por vezes isso acontece. Como as arenas graníticas têm uma grande capacidade de absorção da água infiltrada e a circulação do fluxo interno se processa com facilidade, quando os níveis freáticos atingem profundidades superiores torna-se possível o desenvolvimento de movimentos de vertente profundos. É o caso dos movimentos de Covelo do Gerês e de Cestães⁷⁹.

Estes são muito pouco frequentes e desenvolvem-se em áreas onde os fortes declives estão associados a uma alteração granítica profunda. Esta conjugação de factores de risco é muito rara, já que, como referimos, em áreas de fortes declives é extremamente difícil o desenvolvimento e a conservação dos mantos de alteração. Quando tal acontece (caso do Covelo do Gerês), acaba por se condicionar o tipo de movimento desencadeado. Neste caso, o manto de alteração conserva-se devido ao efeito protector dos metasedimentos que coroam a vertente (cap. C2). No caso de Cestães, a presença de falhas subverticais ajuda a explicar a grande profundidade da alteração. A conjugação deste tipo de factores torna rara a existência deste tipo de movimentos.

⁷⁹ Durante a redacção destas linhas ocorreu um movimento de vertente em Cestães, Arcos de Valdevez. Apresentando grande profundidade, parece ser a reactivação parcial de um antigo movimento, constituído a expensas do granito grosseiro de Guimarães. Este movimento ocorreu ao fim de um período chuvoso muito prolongado e desenvolveu-se ao longo de várias fases distribuídas por alguns dias, à semelhança do que aconteceu no Covelo do Gerês. Também aqui, apresenta características de movimento retrogressivo.

d) Em todo o NW de Portugal, os afloramentos de granitóides são largamente dominantes. Porém, foi possível apresentar alguns exemplos de movimentos de vertente desenvolvidos em substrato metasedimentar. De uma forma geral, a alteração destas rochas é pouco profunda e as vertentes apresentam uma cobertura superficial pouco espessa onde predominam depósitos de matriz argilosa de características solifluxivas.

Os exemplos de movimentos de vertente apresentados neste tipo de formações são peliculares, desenvolvendo-se em vertentes de declive próximo dos 30°. O deslizamento do Fojo é um exemplo característico destas áreas, com larga representação, embora com dimensões menores, no vale do rib^o de Fervença.

As áreas de metasedimentos são de pequena extensão na área experimental (em Guimarães) e grande parte dos afloramentos constituem o fundo da depressão de Infantas/Jugueiras.

e) As ravinas e os barrancos colmatados por depósitos de vertente são muito comuns nas áreas de maciço antigo. Estes depósitos apresentam uma matriz areno-argilosa, onde é frequente a presença de blocos provenientes de diversos tipos de rocha, consoante os afloramentos mais próximos da vertente onde se instalaram as ravinas e os barrancos.

A componente argilosa da matriz e a pressão dos blocos que constituem estes depósitos são factores muito importantes para o desenvolvimento de movimentos de vertente. Por um lado, a deposição observada ao longo das ravinas e dos barrancos testemunha uma evolução de vertentes em que os processos de erosão têm uma grande competência e capacidade de transporte, o que denuncia uma dinâmica idêntica aos

movimentos de vertentes actuais, dos quais apresentamos alguns exemplos no capítulo C2 deste trabalho.

Por outro lado, estes depósitos são factor de risco na evolução actual das vertentes. As suas características sedimentares (componente argilosa) e a disposição ao longo das ravinas e dos barrancos (áreas de convergência da drenagem), permite-nos considerá-los como elementos importantes na definição da forte susceptibilidade geomorfológica. Porém, a sua cartografia só é possível a uma escala de grande detalhe, pelo que é essencial o estudo deste tipo de materiais nos levantamentos de grande pormenor, depois de identificadas as áreas de maior susceptibilidade geomorfológica. Contudo, importa referir que, de todos os movimentos estudados nenhum apresenta a cicatriz no interior de um depósito de vertente ou no contacto do depósito com o manto de alteração. A grande conductividade hidráulica dos mantos de alteração subjacentes é um factor importante para explicar a dificuldade de saturação desses depósitos.

Contudo, importa referir que, de todos os movimentos de vertente estudados nenhum apresenta a cicatriz no interior do depósito de vertente ou no contacto deste com o manto de alteração. A grande conductividade hidráulica do manto de alteração subjacente é um factor importante para explicar a dificuldade de saturação dos depósitos de vertente.

2.5. A intervenção humana como factor de agravamento.

A intervenção humana tem sido factor de desequilíbrio na dinâmica do meio físico. Dos vários exemplos apresentados quase sempre a intervenção humana é reduzida, embora pareça desempenhar um papel determinante no desenvolvimento de alguns processos. Em Cavez, um dreno de um caminho rural promoveu a concentração do escoamento responsável pelo movimento ocorrido. Em Vila de Muros (Cinfães), um dreno da antiga JAE foi o responsável pela

formação da cicatriz de arranque. No Covelo do Gerês há uma forte suspeita da população local sobre as obras de abertura de um túnel (com recurso a explosivos), que teriam provocado a diminuição da coesão dos materiais ao longo da vertente. Nestes exemplos, a intervenção humana alterou as condições locais de estabilidade do meio físico, embora de forma pouco intensa, com consequências muito importantes.

Há, contudo, vários tipos de intervenção que importa sistematizar.

a) Intervenções ao nível da morfologia da vertente

Uma das intervenções mais importantes a este nível corresponde à construção de aterros e desaterros (Dov Nir, 1983 e H. Th. Verstappen, 1983).

A técnica de construção de patamares agrícolas é muito antiga e generalizada à grande parte dos vales do NW de Portugal. Se, por um lado, promove o aumento dos declives junto da estrutura de suporte dos materiais da vertente, por outro, cria áreas de declives nulos ou muito fracos, onde é praticada a agricultura. Esta intervenção é hoje muito facilitada pela evolução da maquinaria disponível para mobilizar materiais. Por isso, este procedimento passou a ser muito comum, não só para a prática da agricultura, mas também na construção de patamares para a instalação de habitações.

O uso agrícola do solo em patamares permite uma maior infiltração e um maior fluxo interno ao longo das vertentes. Na estação húmida, a quantidade de água infiltrada é maior, mas os cuidados tidos pelos proprietários em drenar os terrenos permitia a manutenção de grande parte das estruturas de apoio aos patamares, evitando o desencadear de movimentos de vertente, pelo menos nas áreas de utilização agrícola. Contudo, o crescente despovoamento das áreas do interior rural, principalmente na segunda metade do século XX, promoveu o

abandono da agricultura e, conseqüentemente, das práticas agrícolas de drenagem e conservação dos patamares construídos⁸⁰. Os sistemas de rega por escoamento superficial foram abandonados e a água desviada para a rega estival permanece funcional durante a estação húmida. As roturas dos canais de rega vão ocorrendo e a água percorre os patamares agrícolas propiciando uma forte infiltração e saturação dos materiais que os constituem. Criam-se boas condições à saturação e os movimentos de vertente poderão generalizar-se a áreas consideradas pouco activas do ponto de vista da evolução actual de vertentes.

b) Intervenções ao nível dos materiais que constituem as vertentes.

A criação de patamares para a instalação de construções supõe a elaboração de desaterros e a deposição dos materiais na parte inferior da área intervencionada para criar um aterro. Na primeira intervenção, promove-se o aumento do declive e retira-se o apoio aos materiais que estão a montante; na segunda, cria-se uma área potencial de infiltração em materiais que, na maior parte das vezes, não têm qualquer tipo de compactação. Quando estas construções são executadas nas ravinas e nos barrancos, sem que sejam criadas as condições de drenagem para episódios chuvosos mais prolongados e de maior intensidade, o material do aterro pode ceder e desencadear um movimento de vertente (ver capítulo B2)(H. Th. Verstappen, 1983)⁸¹.

c) Intervenções ao nível da hidrologia das vertentes

Todas as intervenções descritas nos pontos anteriores, apesar de incidirem sobre a morfologia da vertente, condicionam e promovem importantes

80 Parece ter sido determinante no movimento em Alvações do Corgo (Sta Marta de Penaguião), em Janeiro de 2001.

81 Ainda este ano, no inverno de 2000/2001, observaram-se vários exemplos, dos quais o mais conhecido ocorreu em Argoncilhe, com a destruição de um armazém e um parque de estacionamento de veículos de transporte de mercadorias.

alterações na hidrologia das vertentes (R. Parizek, 1971). Porém, há intervenções que incidem directamente sobre o escoamento superficial, contribuindo para o aumento da susceptibilidade geomorfológica na evolução actual das vertentes. Têm particular importância as concentrações de drenagem. Estas podem associar-se a diversos tipos de intervenção, mas são particularmente importantes as concentrações resultantes da construção de estradas ou caminhos rurais. Uma estrada ou caminho que passa numa vertente, pode fazer convergir para o mesmo dreno o escoamento superficial de duas ou mais linhas de água que intercepte. Desta forma, promove a concentração da drenagem de duas ou mais bacias hidrográfica de 1ª ordem, ou mesmo de 2ª ordem.

No caso dessa concentração se fazer directamente sobre o canal de escoamento, a infiltração é reduzida e o escoamento à superfície promove a rápida evacuação da água. Mas se a concentração da drenagem se fizer ao longo da vertente do barranco (ver Vila de Muros, Cinfães) é forte a probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente.

3. Perspectivas de investigação sobre susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertentes.

Ao chegar ao fim deste trabalho há um conjunto de questões que ficaram por solucionar e que constituem pistas de investigação a desenvolver.

a) O estudo da relação entre movimentos de vertente e precipitação pode ter um avanço significativo, sobretudo depois de várias ocorrências ao longo do inverno 2000/2001. Não sendo possível incluir o estudo destes movimentos neste trabalho, o facto de se conhecerem as datas precisas em que ocorreram e ainda ser possível fazer o levantamento do conjunto dos processos desencadeados permite estabelecer a relação com os dados da precipitação

registados nas estações meteorológicas mais próximas. Neste estudo têm especial interesse os acontecimentos de Janeiro de 2001, pelo facto de terem ocorrido concentrados na parte oriental da serra do Marão. Por isso, a relação entre precipitação e movimentos de vertente é mais fácil.

b) Torna-se evidente que o estudo das condições geográficas da ocorrência de movimentos de vertente tem de adquirir um carácter sistemático. Isso exige a realização de um inventário de todas as ocorrências, o que pressupõe a construção de uma base de dados que deveria ser uniformizada a nível nacional.

c) No caso concreto das rochas granitóides, a cartografia da susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente, a grande escala, exige o desenvolvimento da investigação sobre o fluxo interno nas vertentes e a sua relação com a estrutura dos mantos de alteração.

d) A relação entre o fluxo interno dos mantos de alteração e movimentos de vertente parece estar directamente relacionada com a geomorfologia das vertentes. Ao conseguir relacionar estas variáveis poderá constituir-se um modelo geomorfológico em que fluxo interno, fluxo superficial e morfologia estejam directamente relacionados com os movimentos de vertente, sendo auxiliar precioso na definição da cartografia de pormenor da susceptibilidade geomorfológica.

Seria importante o estudo destes factores, quer em vertentes onde tenham ocorrido movimentos de vertente, quer em vertentes que, apesar de apresentarem as mesmas condições geográficas, não registaram qualquer processo de instabilidade.

e) Com a crescente intervenção humana sobre o meio físico, seria

importante promover o estudo das alterações que essas intervenções provocam na circulação superficial e subsuperficial da água.

f) Por fim, todo o trabalho de investigação a grande escala coloca novos problemas na utilização dos SIG e necessita de reajustes no tratamento e reorganização da informação a utilizar nesses ambientes. Necessariamente, serão colocadas novas questões ao trabalho em SIG, a grande escala, cujas soluções só poderão ser encontradas com o desenvolvimento do trabalho.

Bibliografia:

- (1970) - *Légende pour la carte géomorphologique de la France au 1:50000*. CNRS.
- (1979-a) - *Carte des zones Exposées a des Risques Liés aux Mouvements du Sol et du Sous-sol - Région de Tours (Indre-et-Loire)*. Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Service Géologiques National, Orléans.
- (1979-b) - *Carte des zones Exposées a des Risques Liés aux Mouvements du Sol et du Sous-sol - Région de St-Étienne-de-Tinée (Alpes Maritimes)*. Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Service Géologiques National, Orléans.
- (1980) - *Carte des zones Exposées a des Risques Liés aux Mouvements du Sol et du Sous-sol- Pontarlier (Jura)*. Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Service Géologiques National, Orléans.
- (1991) - *Mitigating Natural Disasters. Phenomena, Effects and Options. A manual for policy makers and planners*. Office of the United Nations Disaster relief co-ordinator. Nações Unidas, Nova York, 164 p.
- Alexander, D. (1989) - "Urban landslides". *Progress in Physical Geography*, vol. 14, nº2, June, p. 157-191.
- Allen, P. A. (1997) - *Earth surface processes*. Blackwell Science, Oxford, p. 404.
- Amaral, I. (1968) - "As inundações de 25/26 de Novembro de 1967 na região de Lisboa". *Finisterra*, Lisboa, 3 (5), 79-84.
- Araújo, A. (1984) - "Acerca dos terraços do litoral das proximidades do Porto". Livro de homenagem a Orlando Ribeiro, 1º vol., Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, ps. 347-355.
- Aronoff, S. (1989) - *Geographic information systems: A management perspective*. WDL Publications, Ottawa, 294 ps.
- Ashworth, J.; Tang, W. e Brimicombe, Allan (1993) - "Hong Kong: safeguarding ecology in a dynamic environment", in *Mapping awareness & GIS in Europe*, vol. 7, nº6, July/August.
- Avias, J. V. (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. (Paris), 83, pp. 299-307.
- Ayala, F. J. E Ferre, M. (1989) - "Extend and economic significance of landslids in Spain". In *Landslides: Extend and Economic Significance*. Balkema, Rotterdam, p. 169-178.
- Bailly, A. S. (1996) - "Environnement, risques naturels, risques de sociétés", in *Risques naturels, risques de sociétés*, Ed. Economica, Paris, pp.1-5.

- Balteanu, D. (1997) – "Geomorphological hazards in Europe, Romania", in *Developments in Earth Surface Processes*, 5, ed. C. Embleton e C. Embleton-Hamann, Elsevier, Amsterdam, pp. 409-427.
- Barredo, J. I. (1996) – *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio del territorio*. Ed. Ra-ma, Madrid, 264 ps.
- Bateira, C. (1991) - "Contributo para o estudo da dinâmica actual e riscos naturais na depressão de Ota e colinas de Alenquer-Merceana", *Revista da Faculdade de Letras — Geografia*, I Série, Vol. VII, Porto, pp. 57-138.
- Bateira, C. e Soares, L. (1995) – "O fluxo de detritos de Cavez. Um exemplo de movimento de massa na evolução actual de vertentes". *Actas do VI Colóquio Ibérico de Geografia*, vol. 2, 1992. Publicações da Universidade do Porto, Porto, pp.985-998.
- Bateira, C. e Soares, L. (1997) – "Movimentos em massa no norte de Portugal. Factores da sua ocorrência". *Territorium*, nº4, Coimbra, Minerva, pp. 63-78.
- Bateira, C.; Resendes, J. e Rebelo, F. (1998) – "Escoamento torrencial e processos geomorfológicos na bacia da Povoação (S. Miguel, Açores). As cheias de 14 de Dezembro de 1996". *Territorium*, Coimbra, 5, pp. 5-24.
- Bateira, C.; Soares, L. e Garcia, J. (1998)– "O terramoto e S. João (Melgaço) em 1841: um percurso pela geomorfologia histórica". *Inforgeo*, nº12/13. III Cong. da Geografia Portuguesa, Porto, Setembro de 1977. Ed. Colibri e A.P.G., Lisboa, p.83-98.
- Begonha, A. J. S. (1989) - *Alteração das rochas graníticas no norte e centro de Portugal. Uma contribuição*. Dissertação de Mestrado na Fac. Ciênc. e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, p.
- Bentley, S. P. e Smalley, I. J. (1984) – "Landslips in Sensitive Clays", in *Slope Instability*, cap. 8, Ed. Denys Brunnsden e David Prior, Chichester, John Wiley & Sons, pp 457-490.
- Besson, L. (1996) – *Les risques naturels en montagne. Traitement, prévention, surveillance*. Artès-publialp, Grenoble, 438 p.
- Blaikie, P.; Cannon, T.; Davis, I and Wisner, B. (1994) – *At risk. Natural hazards, people's vulnerability, and disasters*. Ed. Routledge, London, 284 p.
- Bocquet, F. e Charre, J. P. (1984) – "Carte intégrée du danger en montagne méthode d'évaluation et d'introduction des données naturelles et socio-économiques". *Mouvements de terrain*, Colloque de Caen, Documents du B.R.G.M. (Paris), 83, pp. 131-140.
- Bocquet, F.; Charre, J. P.; Edouard, J. L.; Thouret, J. C. e Vivian, H. (1984) – "Carte intégrée des risques naturels et anthropiques en milieu montagnard (notice explicative)". *Mouvements de terrain*, Colloque de Caen, Documents du B.R.G.M. (Paris), 83.
- Bonnard, Ch. (1984) – "Risques d'instabilité – approche pluridisciplinaire dans la détection des glissements de terrain". *Mouvements de terrain*, Colloque de Caen, Documents du B.R.G.M. (Paris), 83, pp. 309-316.
- Boussouf, S.; Irigaray, C. e Chacon, J. (1994) – "Movimientos de ladera y factores determinantes en la vertiente septentrional dela depresión de Granada (sector Colomera-Zagra)". In *Rev. Soc. Geol. España*, nº7, (3-4), p.251-260.
- Braga, Amália (1988) – "Arenas e depósitos associados na bacia de drenagem do rio Cávado (Portugal). Contribuição para o estudo da arenização", Dissertação de Doutoramento apresentada na Universidade do Minho, Braga, 325p..

- Briggs, D. (1977) – *Sediments*. Col. Sources and methods in geography. Butterworths, London, 190 p.
- Brochet, P. e Gerbier, N. (1975) – "L'évapotranspiration, aspect agrométéorologique", Paris, *Monographie de la Météorologie Nationale*, nº65, 95 p.
- Brundtland, G. H. (1987) – "Our common future". *World Commission on Environment and Development* Oxford University Press, Oxford, p. 400.
- Brunsdon, D. (1984) – "Mudslides", in *Slope Instability*, cap. 8, Ed. Denys Brunsdon e David Prior, Chichester, John Wiley & Sons, p. 363-418.
- Bryant, E.A. (1991) - *Natural Hazards*, Cambridge Univ. Press, 294p.
- Burrough, P. A. (1986) - *Principles of geographical informations systems for land resources assessment*. Clarendon Press, Oxford, 194 ps.
- Burrough, P. A. (1991) – "Soil Information Systems", in *Geographical Information Systems, applications*, vol. 2, ed. D. J. Maguire, M. F. Goodchild e D. W. Rhind, Longman Scientific & Technical, Essex, ps. 153-169.
- Cabral, J. (1995) – "Neotectónica em Portugal Continental". *Memórias do Instituto Geológico e Mineiro* nº 31, Lisboa, 265 ps.
- Cabral, J. e Ribeiro, A. (1993) – "Estudos de Neotectónica em Portugal continental (Mapa Neotectónico)I", *Actas da 2ª Reunião do Quaternário Ibérico*, Madrid, 1989, p. 669-674.
- Caetano Alves, M. (1995) – *Materiais Plio-quaternários do Alto Minho. Produtos de meteorização e depósitos fluviais na bacia do rio Lima e região de Alvarães*. Tese de doutoramento apresentada ao Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho. Braga, 277 p.
- Campbell, W. G.; Church, M. R.; Bishop, G. D.; Mortenson, D. C. e Pierson, S. M. (1989) – "The role for a geographical information system in a large environmental project", in *Int. J. Geographical Information Systems*, vol.3, nº4, p.349-362.
- Carrara, A.; Cardinali, M.; Detti, R.; Guzzetti, F.; Pasqui, V. e Reichenbach, P. (1991) – "GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard". *Earth surface processes and landforms*, vol. 16, John Wiley & Sons, Ltd, pp. 427-445.
- Carter, R. C. (1989) – "On defining the geographic information system". In Ripple, W. J. (ed.) *Fundamentals of Geographical Information system: a compendium*. ASPRS/ACSM, Falls Church Virginia, p. 3-7.
- Carvalho, G. S. (1993) - "Haverá mesmo índices de periglacialismo no zona costeira do NO de Portugal?". *Actas da 2ª Reunião do Quaternário Ibérico*, Madrid, 1989, p. 513-519.
- Castiglioni, G. B.; Biancotti, A.; Bondesan, M.; Castaldini, D.; Ciabatti, M.; Cremaschi, M. e Favero, V. (1986) – *Criteri informativi del progetto di una carta geomorfologica della Pianura Padana*. Dipartimento di Geografia. Università di Padova. 31 pp.
- Caude G. (1987) – "Vulnérabilité et plans d'exposition aux risques". In *La société vulnérable, évaluer et maîtriser les risques*, Presses de l'École Normale Supérieure, Paris, pp.361-371.
- Chapman, D. (1994) – *Natural Hazards*. Oxford University Press, Oxford, 174 p.
- Chow, Vem Te (1964) – *Handbook of applied hydrology. A compendium of water resources technology*. New York, McGraw-Hill Book Company, 1478 p.

- Chrisman, N. R. (1991) - "The error component in spatial data", in *Geographical Information Systems, principles*, vol. 1, ed. D. J. Maguire, M. F. Goodchild e D. W. Rhind, Longman Scientific & Technical, Essex, ps. 165-174.
- Clague, J. J. (1982) - "The role of geomorphology in the identification and evaluation of natural hazards", in *Applied Geomorphology*. Ed. Richard G. Craig e Jesse L. Craft, George Allen & Unwin, London, p. 17-43.
- Cohen, V. (1987) - "Évaluation du risque naturel dans un contexte décisionnel". In *La société vulnérable, évaluer et maîtriser les risques*, Presses de l'École Normale Supérieure, Paris, pp.311-321.
- Cojean, R. e Armines-CGI (1996) - "Contribution to the reduction of debris flow damage, with the analysis of triggering factors, initiation, propagation and deposition phenomena, in the alpine region", in *Hydrological and hydrogeological risks, Proceedings of the first review meeting*, 30-31 Janeiro de 1995, Ed. Por R. Casale, Comissão Europeia, Bruxelas, pp. 341-359.
- Cojean, R.; Gautier, P. (1984) - "Cartographie de mouvements de terrain pour une contribution a l'établissement de P. E. R. (Aveyron)". *Mouvements de terrain*, Colloque de Caen, Documents du B.R.G.M. (Paris), 83, pp. 153-161.
- Cojean, R.; Gautier, P. (1984) - "Élaboration de cartes de sensibilité aux mouvements de terrain pour l'établissements de plans d'exposition aux risques (Decazeville-Aveyron)". *Mouvements de terrain*, Colloque de Caen, Documents du B.R.G.M. (Paris), 83, pp. 153-161.
- Collet, Claude (1992) - *Systèmes d'information géographique en mode image*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Paris, 186 ps.
- Cook, R.U. e Doornkamp, J.C. (1990) - *Geomorphology in environmental management. An introduction*. Clarendon Press, 2ª edição, Oxford, 410 p.
- Coppock, J. T. e Rhind, D. W. (1991) - "The history of GIS", in *Geographical Information Systems, principles*, vol. 1, ed. D. J. Maguire, M. F. Goodchild e D. W. Rhind, Longman Scientific & Technical, Essex, ps. 21-43.
- Corominas, J. (1996) - "Debris slide", in *Landslide recognition. Identification, movement and causes*, ed. Richard Dikau, Denys Brunsten, Lothar Schrott e Maia-Laura Ibsen, John Wiley & Sons, Chichester, pp. 97-102.
- Corominas, J.; Remondo, J.; Farias, P.; Estevão, M.; Zêzere, J.; Díaz de Rerán, J.; Dikau, R.; Schrott, L.; Moya, J. e Gonzáles (1996) - "Debris flow", in *Landslide recognition. Identification, movement and causes*, ed. Richard Dikau, Denys Brunsten, Lothar Schrott e Maia-Laura Ibsen, John Wiley & Sons, Chichester, pp. 161-180.
- Costa, J. E. (1984) - "Physical geomorphology of Debris Flows", in *Developments and applications of geomorphology*, Ed por John E. Costa e P. Jay Fleisher, Springer-Verlag, New York, pp. 268-317.
- Coudé - Gaussen, G. (1981) - *Les Serras da Peneda et do Gerês. Étude Géomorphologique*. Lisboa, Memórias do CEG, nº5, 255 p.
- Coudé - Gaussen, G. (1985) - "Observations au microscope électronique à balayage de grains de quartz issus de dépôts glaciaires pléistocènes de basse altitude dans les montagnes du Nord-Ouest du Portugal". *Actas da 1ª Reunião do Quaternário Ibérico*, vol.1, Lisboa, ps. 185-189.
- Cowen, D. J. (1988) - "GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences?" *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54, p. 1551-1554.

- Craig, R. G. (1982) "Criteria for constructing optimal digital terrain models". *Applied geomorphology*, Ed. Richard G. Craig e Jesse L. Craft, Geogr Allen & Unwin, London, pp. 108-129.
- Crozier, M. J. (1984) – "Field Assessment of Slope Instability", in *Slope Instability*, cap. 8, Ed. Denys Brunsten e David Prior, Chichester, John Wiley & Sons, pp 103-142.
- Cruden, D. M. e Varnes, D. J. (1996) – "Landslide Types and Processes", in *Landslides. Investigation and mitigation*. Turner, A. K. e Schuster, R. L. (Eds.),. Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D. C., pp. 36-75.
- Cunha, L. e Rocha, R. (1997) – "Ensino da geografia e riscos naturais. Reflexões a propósito de um mapa de riscos naturais do vale de Couselhas (Coimbra)". *Cadernos de Geografia*, nº16, Fac. Letras da Univ. de Coimbra, Coimbra, pp. 25-38.
- Curry, R. R. (1966) – "Observation of Alpine mudflows in the Tenmile Range, Central Colorado". *Geol. Soc. Am. Bull* 77, p. 771-776.
- Dackombe, R. V. e Gardiner, V. (1983) – *Geomorphological field manual*. London, George Allen & Unwin, 254 p.
- Dale, P. F. (1991) – "Land Information Systems", in *Geographical Information Systems, applications*, vol. 2, ed. D. J. Maguire, M. F. Goodchild e D. W. Rhind, Longman Scientific & Technical, Essex, ps. 85-99.
- Demek, J. e Verstappen, H. Th. (1991) – *Manual of detailed geomorphological mapping*. IGU - Comissão da Investigação e Cartografia Geomorfológica, Academia das Ciências da Checoslováquia, 1971.
- Devine, H. A. e Field, R. C. (1986) – "The gist of GIS. *Journal of Forestry*, August, p. 17-22.
- Deyle, R. E., French, S. P., Olshansky, R. B. e Paterson, R. G. (1998) – "Hazard assessment: the factual basis for planning and mitigation", in *Cooperating with nature. Confronting natural hazards with Land-use planning for sustainable communities*, Ed. Raymond J. Burby, Washington, D.C., pp.119-166.
- Diáz de Terán, J. R. et al. (1997) – "Geomorphological hazards in Europe, Spain", in *Developments in Earth Surface Processes*, 5, ed. C. Embleton e C. Embleton-Hamann, Elsevier, Amsterdam, pp. 429-456.
- Diaz-Fierros, V.; Benito Rueda, E.; Moreira, R. P. (1987) – "Evaluation of the U.S.L.E. for the prediction of erosion in burnt areas in Galicia (N.W. Spain)", in *Catena*, vol. 14, Braunschweig, p.189-191
- Douglas, Ian (1983) - *The Urban Environment*, London, Edward Arnold Publishers, 229p.
- Dourlens, C. e Vidal-Naquet, P. (1987) – "Vers une gestion probabiliste du risque". In *La société vulnérable, évaluer et maîtriser les risques*, Presses de l'École Normale Supérieure, Paris, pp.399-406.
- Dowdeswell, J. A.; Lamb, H. F. e Lewin, J. (1988) – "Failure and flow on a 35° slope: cause and three-dimensional observations". *Earth surface processes and landforms*, vol. 13, John Wiley & Sons, Ltd, pp. 737-746.
- Dueker, K.J. (1979) – "Land resource Information systems : a review of fifteen years experience. *Geo-processing* 1: 105-28

- Dumas, A.; Gueremy, P.; Lhenaff, R. e Raffy, J. (1984) - "Mouvement de terrain et risques associés: présentation d'un essai cartographique". *Mouvements de terrain*, Colloque de Caen, Documents du B.R.G.M. (Paris), 83, pp. 27-41.
- Duncan, J. M. (1996) - "Soil slope Stability Analysis", in *Landslides. Investigation and mitigation*. Turner, A. K. e Schuster, R. L. (Eds.),. Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D. C., pp. 319-371.
- Dunne, T. e Leopold, L. B. (1978) - *Water in environmental planning*. San Francisco, W. H. Freeman and Company, 818 p.
- Ellis, S. e Mellor, A. (1995) - *Soils and environment*. Ed. Routledge, London, 364 p.
- Embleton, C.; Brunsden, D. (1997) - "Geomorphological hazards in Europe, Great Britain", in *Developments in Earth Surface Processes*, 5, ed. C. Embleton e C. Embleton-Hamann, Elsevier, Amsterdam, pp. 179-214.
- Embleton-Hamann, C. (1997) - "Geomorphological hazards in Europe, Austria", in *Developments in Earth Surface Processes*, 5, ed. C. Embleton e C. Embleton-Hamann, Elsevier, Amsterdam, pp. 1-30.
- Faugères, L. (1990) - "La dimension des faits et la théorie du risque". *Le risque et la crise*, ed. L. Faugères, P. Vasarhelyi et Villain-Gandossi, Malta, Foundation for International Studies, p. 31-60.
- Faugères, L. (1990) - "Les risques naturels", in *Bull. Assoc. Géogr. Franç.* 2, Paris, p. 89-98.
- Faugères, L. (1991) - "La géo-cindynique, géo-science du risque", in *Bull. Assoc. Géogr. Franç.* 3, Paris, p. 179-193.
- Feio, M. (1951) - "Notas geomorfológicas". Centro de Estudos Geográficos, vol.1, Lisboa, ps. 1-54.
- Felicísimo, A. M. (1994) - *Modelo Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Pentalfa Ediciones, Oviedo, 222 ps.
- Fernand, J. et al. (1997) - "Geomorphological hazards in Europe, France", in *Developments in Earth Surface Processes*, 5, ed. C. Embleton e C. Embleton-Hamann, Elsevier, Amsterdam, pp. 115-145.
- Ferreira, A. de Brum (1971) - "Os mantos de alteração e o modelado das regiões graníticas: ideias recentes e orientações de pesquisa." *Finisterra*, Vol. VI, nº12 Lisboa p.218-244
- Ferreira, A. de Brum (1978) - *Erosão diferencial e modelado das regiões graníticas do Norte de Portugal*. Lisboa, Linha de acção de Geografia Física, Relatório nº7, CEG, 88 p.
- Ferreira, A. de Brum (1978) - "Planaltos e montanhas do Norte da Beira. Estudo de Geomorfologia". *Memórias do Centro de Estudos Geográficos*, nº4, Lisboa, 374 p.
- Ferreira, A. de Brum (1979) - "Os mantos de alteração e o modelado das regiões graníticas: ideias recentes e orientações de pesquisa". Notas e Recensões. *Finisterra* nº28, vol. XIV, Rev. do Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, p.218-244.
- Ferreira, A. de Brum (1980) - "Surfaces d'aplanissement et tectonique récente dans le Nord de la Beira (Portugal)." Paris, *Sep. Rev. de Géologie Dyn. et Géog. Physique*, 22(1) Norte da Beira, p. 51-62.
- Ferreira, A. de Brum (1983) - "Problemas da evolução geomorfológica quaternária do noroeste de Portugal", VI Reunion do Grupo Español de Trabajo de Cuaternario, in *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, nº5, Publicacións do Seminario de Estudos Galegos, Edicións do Castro, Coruña, p. 311-329.

- Ferreira, A. de Brum (1984) - "Mouvement 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. (Paris), 83, pp.485-494.
- Ferreira, A. de Brum (1985) - "Problemas de evolução geomorfológica quaternária do noroeste de Portugal" Coruña, *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, VI Reunión do Grupo Español de Trabalho do Quaternário Noroeste de Portugal, pp. 311-329
- Ferreira, A. de Brum (1986) - "A depressão de Chaves-Verin. Novas achegas para o seu conhecimento geomorfológico". *Estudos em Homenagem a Mariano Feio*. Lisboa, pp. 199-222.
- Ferreira, A. de Brum (1986) - "L'évolution tectonique Tertiaire et Quaternaire dans le Nord-Ouest de Portugal. L'apport des méthodes géomorphologiques". *Linha de Acção de Geografia Física*, Relatório nº26 Lisboa p. 26
- Ferreira, A. de Brum (1995) - "Geomorfologia e ambiente. Contributo metodológico". *Actas do VI Colóquio Ibérico de Geografia*, vol. 2, 1992. Publicações da Universidade do Porto, Porto, pp. 1075-1080.
- Ferreira, A. de Brum (1995) - "O Quaternário do Maciço Hespérico em Portugal. Problemas do seu estudo geológico e geomorfológico", in *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, nº20, Publicacións do Seminario de Estudos Galegos, Edición do Castro, Coruña, p. 37-55.
- Ferreira, A. de Brum e Zêzere, J. L.(1997) - "Geomorphological hazards in Europe, Portugal", in *Developments in Earth Surface Processes*, 5, ed. C. Embleton e C. Embleton-Hamann, Elsevier, Amsterdam, pp. 391-407.
- Ferreira, A. de Brum; Vidal Romani, J. R.; Vilaplana, J. M.; Rodrigues, M. L.; Zêzere, J. L.; Mong, C. (1992) - "Formas e depósitos glaciários e periglaciários da Serra do Gerês-Xurés (Portugal; Galiza). Levantamento cartográfico", *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, nº17, Publicacións do Seminario de Estudos Galegos, Edición do Castro, Coruña, p. 121-135.
- Ferreira, A. de Brum; Zêzere, J. L. e Rodrigues, M. L. (1987) - "Instabilité des versants dans le région au nord de Lisbonne. Essai de cartographie géomorphologique", Lisboa, *Finisterra*, vol. XXII, nº43, pp. 227-246.
- Ferreira, D. B. (1980) - *Contribution à l'étude des vents et de l'humidité dans les îles de l'archipel des Açores*. CEG, Lisboa.
- Ferreira, D. B. (1981) - "Carte géomorphologique du Portugal", Lisboa, *Memórias do CEG*, nº6, 53 p.
- Ferreira, D. B. (1985) - "Les dépressions convectives du bassin atlantique Nord subtropical oriental" *Finisterra*, Lisboa, 20, (39), p.25-45.
- Ferreira, N.; Dias, G.; Leterrier, J.; Nunes, J.E.L. (1993) - "Rochas ígneas hercínicas da região de Braga-Vieira do Minho (NW de Portugal): Cartografia geológica, tipologia granítica e petrogénese". *IX Semana de Geoquímica e II Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa*, p. 45-49, Porto.
- Ferreira, N.; Iglesias, M.; Noronha, F.; Pereira, E.; Ribeiro, A. e Ribeiro, M. L. (1987) - "Granitóides da Zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmico", Madrid, *Libro Homenagem a L.C. Garcia Figuerola*, Edit. Rueda, Parte 1, Cap. 4, pp. 37-51. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Salamanca.
- Flacke, W.; Auerswald, K. Neufang, L. (1990) - "Combining a modified Universal Soil Loss Equation with a digital terrain model for computing high resolution maps of soil loss resulting from rain wash", in *Catena*, vol. 17, Cremlingen, p.383-397.

- Flageollet, J. C. (1989) - "Landslides in France: A risk reduced by recent legal provisions". In *Landslides: Extent and Economic Significance*. Balkema, Rotterdam, p. 157-167.
- Flageollet, J. C. (1989) - *Les mouvements de terrain et leur prévention*. Masson, Coll. Géographie, Paris, 224 p.
- Flageollet, J. C. (1996) - "Temporal recurrence and forecasting of landslides in European Community", in *Hydrological and hydrogeological risks, Proceedings of the first review meeting*, 30-31 Janeiro de 1995, Ed. Por R. Casale, Comissão Europeia, Bruxelas, pp. 73-79.
- Flageollet, J. C. e Weber, D. (1996) - "Fall" in *Landslide recognition. Identification, movement and causes*, ed. Richard Dikau, Denys Brunnsden, Lothar Schrott e Maïa-Laura Ibsen, John Wiley & Sons, Chichester, pp. 13-28
- Gams, I.; Bogнар, A. e Lazarevic, R. (1997) - "Geomorphological hazards in Europe, Former Yugoslavia", in *Developments in Earth Surface Processes*, 5, ed. C. Embleton e C. Embleton-Hamann, Elsevier, Amsterdam, pp. 487-499.
- García, R.; Farias, P.; Jiménez, M. e Duarte, R. (1996) - "Inestabilidade de Ladeiras en el valle del Meredal (Asturias, NO de España)". *IV Reunión de Geomorfología*. Sociedad Española de Geomorfología, O Castro (A Coruña), pp. 349-360.
- Gatrell, A. C. (1991) - "Concepts of space and geographical data", in *Geographical Information Systems, principles*, vol. 1, ed. D. J. Maguire, M. F. Goodchild e D. W. Rhind, Longman Scientific & Technical, Essex, ps. 119-134.
- Godinho, S. F. (1984) - *Aspectos meteorológicos das inundações de Novembro de 1983*. Polycopiado. I.N.M.G., Lisboa, 57 p.
- Gomes Santos, J. (1997) - "Instabilidade de vertentes e riscos de movimentos de terreno. O exemplo da área Vila Seca-Lamas (a Sul de Coimbra)". *Territorium*, nº4, Coimbra, Minerva, pp. 79-98.
- Goodchild, M. F. (1991) - "The technological setting of GIS", in *Geographical Information Systems, principles*, vol. 1, ed. D. J. Maguire, M. F. Goodchild e D. W. Rhind, Longman Scientific & Technical, Essex, ps. 45-54.
- Gostelow, T. P., Naden, P. S., Del Prete, M., Koukis, G. e Corominas, J. (1996) - "Rainfall induced landslides in selected Mediterranean mountainous zones of Italy and Greece: the application of geographic information systems (GIS) to hazard mapping", in *Hydrological and hydrogeological risks, Proceedings of the first review meeting*, 30-31 Janeiro de 1995, Ed. Por R. Casale, Comissão Europeia, Bruxelas, pp. 95-167.
- Goudie, A. (1993) - *The Human Impact on the Natural Environment*, 4ª Ed., Oxford, Blackwell Publishers, 454p.
- Graciete Dias; Leterrier, J.; Ferreira, N.; Lopes Nunes, J.E. (1992) - "Les granitoides syn-à tardi-hercyniens de la région de Braga (Nord Portugal). Typologie chimico-mineralogique et implications pétrogénétiques". *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 314, Série II, p.675-681, Paris.
- Graham, J. (1984) - "Methods of Stability Analysis", in *Slope Instability*, cap. 8, Ed. Denys Brunnsden e David Prior, Chichester, John Wiley & Sons, pp 171-215.
- Gregory, K. J. e Walling, D. E. (1973) - *Drainage basin: form and processes. A geomorphological approach*. Edward Arnold, London, 458 p.
- Gueremy, P. (1984) - "Rapport de présentation de la II section sur 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. (Paris), 83, pp. 123-129.

- Gupta, V. K. e Waymire, E. (1996) – "Multiplicative cascades and spatial variability in rainfall, river networks, and floods", in *Reduction and predictability of natural disasters*. Proceedings, vol. XXV, Santa Fe Institute, pp. 71-96.
- Haimés, Y. Y. e Stakhiv, E. Z. (1987) – *Risk analysis and management of natural and man-made hazards*. New York, pub. By American Society of Civil Engineers, 352 p.
- Hansen, A. (1984) – "Landslide Hazard Analysis", in *Slope Instability*, cap. 8, Ed. Denys Brunnsden e David Prior, Chichester, John Wiley & Sons, pp 523-602.
- Hansen, M. J. (1984) – "Strategies for Classification of Landslides", in *Slope Instability*, cap. 8, Ed. Denys Brunnsden e David Prior, Chichester, John , Wiley & Sons, pp 1-25.
- Hartlén, J. e Viberg, L. (1988) – "General report: Evaluation of landslide hazard", in *Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, Lausanne, Balkema, Rotterdam, p. 1037-1057.
- Healey, R. G. (1991) – "Database management systems", in *Geographical Information Systems, principles*. vol. 1, ed. D. J. Maguire, M. F. Goodchild e D. W. Rhind, Longman Scientific & Technical, Essex, ps. 251-267.
- Herrmann, A. e Stihler, W. (1980) – "Ground water-runoff relationships". *Catena*, vol. 7, Braunschweig, pp. 251-263.
- Heuvelink, G. B. M.; Burrough, P. A. e Stein, A. (1989) – "Propagation of errors in spatial modelling with GIS", in *Int. J. Geographical Information Systems*, vol.3, n°4, p.303-322.
- Hubert, P. e Pages, P. (1987) – "L'interaction des différentes disciplines dans l'évaluation quantitative du risque". In *La société vulnérable, évaluer et maîtriser les risques*, Presses de l'École Normale Supérieure, Paris, pp.271-288.
- 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.
- Iglésias, M; Ribeiro, M. M.; Ribeiro, A. (1983) – "La interpretación aloctonista de la estructura del Noroeste Peninsular", *Geología de España*, Libro jubilar J.M. Rios, I.G.M.E., p.459-467.
- Innes, J. L. (1983) – "Debris flows", in *Progress in Physical Geography*, vol. 7, n°4, pp. 469-501.
- Johnson, A. M. e Rodine, J. R. (1984) – "Debris flows", in *Slope Instability*, cap. 8, Ed. Denys Brunnsden e David Prior, Chichester, John Wiley & Sons, pp. 257-361.
- Joly, F. (1997) – *Glossaire de Géomorphologie. Base de données sémiologiques pour la cartographie*. Paris, Armand Colin, 325 p.
- Jones, C. (1997) – *Geographical Information Systems and Computer Cartography*. Longman, Essex, 319 ps.
- Kenney, C. (1984) – "Properties and Behaviour of Soils Relevant to Slope Instability", in *Slope Instability*, cap. 8, Ed. Denys Brunnsden e David Prior, Chichester, John Wiley & Sons, pp 27-65.
- Kienholz, H. (1984) – "Landslide hazard assessment for landslide zonation". *Mouvements de terrain*, Colloque de Caen, Documents du B.R.G.M. (Paris), 83, 317-326.

- Koskariov, A. V.; Tikunov, V. S. e Trofimov, A. M. (1989) – "The current state and the main trends in the development of geographical information systems in URRS". *International Journal of Geographical Information Systems*, 3(3), p. 257-272.
- Koukis, G. C. e Koutsoyiannis, D. (1997) – "Geomorphological hazards in Europe, Greece", in *Developments in Earth Surface Processes*, 5, ed. C. Embleton e C. Embleton-Hamann, Elsevier, Amsterdam, pp. 212-241.
- Lambe, P. C. (1996) – "Residual Soils", in *Landslides. Investigation and mitigation*. Turner, A. K. e Schuster, R. L. (Eds.), Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D. C., pp. 507-524.
- Lawson, D. E. (1982) – "Mobilization, movement and deposition of active subaerial sediments flows. Matanuska Glacier. Alaska". *J. Geol.* 90, p. 279-300.
- Leão Neto, P. (1998) – *Sistemas de Informação Geográfica*. FCA Editora Informática, Lisboa, 224 ps.
- Lencastre, A. e Franco, F. M. (1984) – *Lições de hidrologia*. Monte da Caparica, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 451 p.
- Léone F. (1996) – *Concept de vulnérabilité appliqué a l'évaluation des risques générés par des phénomènes de mouvements de terrain*, Tese de doutoramento em Geografia (Riscos Naturais) apresentada à Universidade Joseph Fourier, em Grenoble. Documents du BRGM, nº250, Orléans, 286 ps.
- Leroi, E. (1996) – "Impact of Hydrometeorologic Changes on Slope Instability", in *Hydrological and Hydrogeological risks*. R. Casale (Ed) , Proceedings of the first review meeting, Office for Official Publications of the European Communities, Bruxelas, pp. 285-322.
- Leshchinsky, D. e Asce, M. (1990) – "Slope stability analysis: generalized approach". In *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 116, nº5, p.851-867.
- Lóczy, D. e Juhász, Á. (1997) – "Geomorphological hazards in Europe, Hungary", in *Developments in Earth Surface Processes*, 5, ed. C. Embleton e C. Embleton-Hamann, Elsevier, Amsterdam, pp. 242-262.
- Loye-Pilot, M. -D. (1984) – "Coulées boueuses et laves torrentielles en Corse: exemple de mouvements de terrain en pays méditerranéen montagnard". *Mouvements de terrain*, Colloque de Caen, Documents du B.R.G.M. (Paris), 83, pp. 23-28.
- Maguire, D. J. (1991) – "An overview and definition of GIS", in *Geographical Information Systems, principles*, vol. 1, ed. D. J. Maguire, M. F. Goodchild e D. W. Rhind, Longman Scientific & Technical, Essex, ps. 9-20.
- Maguire, D. J. e Dangermond, J. (1991) – "The functionality of GIS", in *Geographical Information Systems, principles*, vol. 1, ed. D. J. Maguire, M. F. Goodchild e D. W. Rhind, Longman Scientific & Technical, Essex, ps. 319-335.
- Marini, M. (1990) – "Problems of data changes between GIS and end users", in *Photogrametry and land information systems*. Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, Suisse, ps. 115-123.
- Meadows, D. H.; Meadows, D. L.; Randers, J. e Behrens, W.W. (1972) – *Os limites do crescimento*. Universe Books, Nova York. Edição Portuguesa de Publicações D. Quixote, Lisboa, 245 p.
- Mendes, A. C. (1994) - *O maciço granítico de Peneda - Gerês. Petrologia, Mineralogia e Geoquímica*, Braga, Provas de Aptidão Científica e Capacidade Pedagógica (policopiado).

- Millot, G. (1964) – "Géologie des argiles", Paris, Masson, 499 ps.
- Mitchell, C. (1991) – *Terrain Evaluation*. Longman Scientific & Technical, 2ª edição, New York, 441 p.
- Monkhouse, F.J. e Wilkinson, H.R. (1963) - *Maps and diagrams*. Methuen & Co Ltd, Londres, 533 ps.
- Monmonier, M. (1997) – *Cartographies of danger. Mapping hazards in America*, Ed. The University of Chicago Press, Chicago e Londres, 363 p.
- Monné, J. L. Peña (1997) – *Cartografía Geomorfológica, básica e aplicada*. Geoforma Ediciones, Logroño, 227 ps.
- Montenegro de Andrade, M.; Sodrê Borges, F.; Noronha, F. (1985) - *Excursão geológica na região de entre Douro e Minho. Livro - guia das excursões a realizar em Portugal*. Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Porto.
- Morrison, J. L. (1991) – "The organizational home for GIS in the scientific professional community", in *Geographical Information Systems, principles*, vol. 1, ed. D. J. Maguire, M. F. Goodchild e D. W. Rhind, Longman Scientific & Technical, Essex, ps. 91-100.
- Nachit, H.; Razafimahefd, N. Stussi, J. M. (1985) – "Composition chimique des biotites et typologie magmatiques des granitoides". *C.R. Acad. Sc.*, Paris, 301, 11, p.813-818.
- Neiva, J. C. (1966a) – *Desmoronamento de terreno em Covelo do Gerês*. Relatório técnico efectuado para a hidroeléctrica do Cávado (policopiado)."
- Neiva, J. C. (1966b) – *Geologia de Covelo do Gerês e o seu interesse para a localização de um aglomerado urbano*. Relatório técnico efectuado para a hidroeléctrica do Cávado (policopiado)."
- Neuland, H. (1976) – "A prediction model of landslips", *Catena*, vol. 3, Giessen, pp. 215-230.
- Nicoletti, P. G. e Sorriso-Valvo, M. (1987) – "Sistema della pericolosità di un possibile *Rockslide-Debris Flow* incombente su plati (Reggio, Calabria)", in *Geog. Fis. Dinam. Quat.*, nº10 , pp. 313-320.
- Nir, Dov (1983) - *Man, a geomorphological agent. An introduction to Anthropic Geomorphology*. Jerusalem, Keter Publishing House, 165p.
- Nonn, H. (1967) – "Les terrasses du rio Miño inférieur, localisation et étude sédimentologique". *Rev. Géol. Phys. Géol. Dyn.*, Paris, vol. XVII, p. 97-108.
- Noronha, F. e Ribeiro, F. M. (1983) - *Notícia Explicativa da Folha 6A – Montalegre*. Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal, 30p.
- 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. (Paris), 83, pp. 217-223.
- Onda, Y. (1992) – "Influence of water storage capacity in regolith zone on hydrological characteristics, slope processes, and slope form". *Z. Geomorph. N. F.*, nº36, 2, Berlin-Stuttgart, pp. 165-178.
- Ozemoy, V. M.; Smith, D. R. E Sichertman, A. (1981) – Evaluating computerized geographic information systems using decision analysis. *Interfaces* 11, p. 92-98.

- Panniza, M. (1990a) - "Geomorfologia applicata al rischio e all'impatto ambientali. Un esempio nelle dolomiti (Italia)", Teruel, *Actas da 1ª Reunión Nacional de Geomorfologia*, Vol.1, pp. 1-16
- Panniza, M. (1990b) - *Geomorfologia applicata. Metodi di applicazione alla pianificazione territoriale e alla valutazione d'impatto ambientale*. La Nuova Italia Scientifica, Roma, 342 p.
- Parizek, R. R. (1971) - "Impact of highways on the hydrogeologic environment", in *Environmental geomorphology*. Donald R. Coats, ed., p. 151-199.
- Parker, H. D. (1988) - "The unique qualities of a geographic information system: a commentary. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54,(11), 1547-49.
- Pedro, G. (1968) - "Distribution des principaux types d'altérations chimiques à la surface du globe". *Rev. Geog. Phys. Et Géol. Dynam.* X, 5, p. 457-470.
- Pedrosa, A. (1988) - *As vertentes de S. Miguel-o-Anjo*. Policopiado. Provas de aptidão pedagógica e capacidade científica, apresentada na Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Porto, 155 ps.
- Pedrosa, A. (1989) - "A importância do frio na evolução das vertentes na área de S. Miguel-o-Anjo", *Cadernos de Geografia* nº8, Rev. do Instituto de Estudos Geográficos, Coimbra, p. 199-207.
- Pedrosa, A. (1991) - "Um caso particular de erosão dos granitos na serra do Marão", *Cadernos de Geografia* nº 10, *Rev. do Instituto de Estudos Geográficos*, Coimbra, p. 537-549.
- Pedrosa, A. (1993) - *Serra do Marão. Estudo de Geomorfologia*. Policopiado. Dissertação de doutoramento, apresentada na Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Porto, 478 ps.
- Pedrosa, A. (1994) - "As actividades humanas e processos morfogenéticos. O exemplo da Serra do Marão". Coimbra, *Territorium*, 1, pp. 23-34.
- Pedrosa, A.; Bateira, C. Soares, L. (1995) - "Covelo do Gerês: Contributo para o estudo dos movimentos de massa no Norte de Portugal". *Territorium*, nº2, Coimbra, Minerva, pp. 21-32.
- Pedrosa, A; Marques, B.S. (1994) - "Man's action and slope erosion: a case study in Tâmega Basin (1981)", Coimbra, *Territorium*, nº1, pp. 23-34.
- Peña Monné, J. L. (1997) - *Cartografia geomorfológica básica e aplicada*. Ed. Geofoma, Logroño, 227 ps.
- Pereira, E. (1992) - *Notícia Explicativa da folha 1 da Carta Geológica de Portugal à escala 1/ 200 000*, Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal, 83 p.
- Pereira, E. (1985) - "Ciclo hercínico e o sector entre Douro e Minho (Deduções baseadas na paleogeografia da Península Ibérica)". *Mem. Fac. Ciências de Lisboa*, Serv. Geol. Portugal, 155 p.
- Pereira, E. (1987) - *Estudo geológico - estrutural da região de Celorico de Bastos e sua interpretação geodinâmica*. Tese de doutoramento apresentada na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, policopiado, 274 p.
- Pereira, E. (1988) - "Soco hercínico da zona Centro-Ibérica - Evolução geodinâmica". *Geonovas*, vol. 10, ps.10-13, Lisboa.
- Pereña, J. G. (1992) - *Introducción Conceptual a los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.)*. Estudio Gráfico Madrid, Madrid, 139 ps.
- Pérez, M. R. (1995) - "Sistemas de Información Geográfica y Análisis Espacial", in *Prácticas de análise espacial*. Oikos-tau, Barcelona, ps. 249-384.

- Perrusset, A-C. (1976) – *Glissements superficiels de terrains et rochers*. Thèse présentée à l' Université de Nice pour obtenir le grade de Docteur D'état en Sciences, policopiado, 373 p.
- Portugal, M. (1992) – "Informação Geográfica Física e Ordenamento do Território". *Sociedade e Território*, nº16, Ed. Afrontamento, Porto, pp. 8-21.
- Price, S. (1989) – "Modelling the temporal element in land information systems", in *Int. J. Geographical Information Systems*, vol.3, nº3, p.233-243.
- Raper, J. (1991) – "Geographical Information Systems", in *Progress in Physical Geography*, 15,4, Edward Arnold Ed., pp.438-444.
- Rebelo, F. (1975) – *Serras de Valongo. Estudo de Geomorfologia*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física, apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra. Suplementos de Biblos nº 9, Coimbra, 194 ps.
- Rebelo, F. (1976) "Mapas de declives. Análise de alguns exemplos portugueses". *Finisterra*, vol. XI (22), Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, p. 267-283.
- Rebelo, F. (1981) – "A acção humana como causa de desabamentos e deslizamentos. Análise de um caso concreto". *Biblos*, Coimbra, LXXI, pp. 511-527.
- Rebelo, F. (1982) – "Considerações metodológicas sobre o estudo dos ravinamentos". *Actas do II Colóquio Ibérico de Geografia*, Lisboa, vol. I, ps. 339-350.
- Rebelo, F. (1983) – "A cartografia geomorfológica de pormenor como forma privilegiada de aplicação". *Cadernos de Geografia*, nº2, Inst. de Estudos Geográficos, Coimbra, pp. 103-117.
- Rebelo, F. (1985) – "Contribuição para o conhecimento do modelado periglacial de baixa altitude em Portugal". *Actas da 1ª Reunião do Quaternário Ibérico*, vol.1, Lisboa, ps. 141-151.
- Rebelo, F. (1985) - "Identificação de processos geomorfológicos actuais na parte ocidental da ilha de S. Miguel (Açores)", *Cadernos de Geografia*, Coimbra, 4, p.121-139.
- Rebelo, F. (1986) – "Modelado periglacial de baixa altitude em Portugal", *Cadernos de Geografia nº 5, Rev. do Instituto de Estudos Geográficos*, Coimbra, p. 127-137.
- Rebelo, F. (1987) – "A importância da escola geográfica de Coimbra para o conhecimento oro-hidrográfico de Portugal", *Cadernos de Geografia nº 6, Rev. do Instituto de Estudos Geográficos*, Coimbra, p. 139-152.
- Rebelo, F. (1988) - "As inundações de 2 de Setembro de 1986 na Povoação e no Faial da Terra (S. Miguel - Açores)", *Cadernos de Geografia*, Coimbra, 7, p.169-179.
- Rebelo, F. (1991) – "Considerações gerais sobre o relevo granítico em Portugal", *Cadernos de Geografia nº 10, Rev. do Instituto de Estudos Geográficos*, Coimbra, p. 521-535.
- Rebelo, F. (1995-a) – "As catástrofes naturais e impacte ambiental. Os riscos. Reflexões sobre alguns casos estudados em Portugal". *Actas do VI Colóquio Ibérico de Geografia*, vol. 2, 1992. Publicações da Universidade do Porto, Porto, pp.962-965.
- Rebelo, F. (1995-b) – "Os conceitos de risco, perigo e crise e a sua aplicação ao estudo dos grandes incêndios florestais". *Biblos*, LXXI. *Revista da Universidade de Coimbra*. Coimbra. Pp. 511-527.
- Rebelo, F. (1997-b) – "Risco e crise nas inundações rápidas em espaço urbano. Alguns exemplos portugueses analisados a diferentes escalas". *Territorium*, nº4, Coimbra, Minerva, pp. 29-47.

- Rebelo, F. (1997-c) - "Riscos geomorfológicos na área a norte de Lisboa". Notas, Notícias e Recensões. *Cadernos de Geografia*, nº16, Fac. Letras da Univ. de Coimbra, Coimbra, pp. 125-129.
- Rebelo, F. (1999) - "A teoria do risco analisada sob uma perspectiva geográfica". *Cadernos de Geografia*, nº18. Fac. Letras da Univ. de Coimbra. Coimbra, pp. 3-13.
- Rebelo, F. (2000) - "As principais manifestações de crises em Portugal entre 1973 e 1998". Notas, Notícias e Recensões, *Territorium*, 7, 65-66 p.
- Rebelo, F. e Almeida, A. C. de (1986) - "Quadriculagem ou áreas homogêneas na elaboração de mapas de declives: duas metodologias em confronto". *Actas, IV Colóquio Ibérico de Geografia*, Coimbra, p. 867-873.
- Rebelo, F. e Ganho, N. (1998) - "As inundações do Outono de 1997 no Sul de Portugal". *Territorium*, 5, p. 25-30.
- Rebelo, F. e Pedrosa, A. (1993) - "Contribuição da geomorfologia para o conhecimento neotectónico da área de Valongo - S. Miguel-o-Anjo (arredores do Porto).", *Actas da 2ª Reunião do Quaternário Ibérico*, Madrid, 1989, p. 717-727.
- Rebelo, F. e Pedrosa, A. (1993) - "Novas observações sobre os depósitos relacionados com o frio na área de Valongo - S. Miguel-o-Anjo (arredores do Porto)", *Actas da 2ª Reunião do Quaternário Ibérico*, Madrid, 1989, p. 501-504.
- Rebelo, F. e Raposo, A. (1988) - "As inundações de 2 de Setembro de 1986 na Povoação e no Faial da Terra (S. Miguel - Açores)". *Cadernos de Geografia*, nº7, Inst. Estudos Geográficos, Coimbra, pp169-179.
- Ribeiro, A. (1984) - "Néotectonique du Portugal". *Livro de homenagem a Orlando Ribeiro*, 1º vol., Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, ps. 173-182.
- Ribeiro, A. et al. (1979) - *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 114 p.
- Ribeiro, A.; Pereira, E.; Iglésias, M. (1985) - "Flack tectonics in the NW Iberia Variscides". *Terra Cognita*, EUG III, Strasbourg.
- Ribeiro, A.; Antunes, M. T.; Ferreira, M. P.; Rocha, R. B.; Soares, A. F.; Zvyszewski, G.; Moitinho de Almeida, F.; Carvalho, D. de e Monteiro, J. H. (1979) - *Introduction à la géologie générale du Portugal*, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 114 ps.
- Ribeiro, M. L. (1983) - " Considerações sobre a génese dos diferentes granitos da região de Tourém - Montalegre Gerês", Lisboa, *Comun. Serv. Geol. Portugal*, T.69, Fasc.1, pp. 37-45.
- Ribeiro, M. L. e Moreira, A. (1986) - *Notícia explicativa da folha 1B (Monção) da Carta Geológica de Portugal*, Lisboa, Serv. Geol. de Portugal.
- Ribeiro, O.; Lautensach, H. e Daveau, S. (1987) - "Geografia de Portugal". vol. 1. *A posição Geográfica e o Território*,. Edições João Sá da Costa Lda, Lisboa, 334 ps.
- Rodrigues, L. F. e Coelho, A. G. (1989) - "Landslides in Portugal". *Landslides: Extend and Economic Significance*. Balkema, Rotterdam, p. 178-189.
- Rodrigues, M. L.; Zêzere, J. L. e Machado, C. R. (1992) - "A aplicação de metodologias na avaliação de riscos naturais (um exemplo na região a Norte de Lisboa)". *Actas do VI Colóquio Ibérico de Geografia*, vol. 2, 1992, publicado em 1995. Publicações da Universidade do Porto, Porto, pp. 1017-1026.
- Roo, A. P. J. de; Hazelhoff, L. e Burrough, P.A. (1989) - "Soil erosion modelling using 'answers' and Geographical Information Systems". *Earth surface processes and landforms*, vol. 14, John Wiley & Sons, Ltd, pp. 517-532.

- Rossi, P. e Chevremont, P. (1987) – "Classification des associations magmatiques granitoides". *Geochroniques*, nº21, p. 14-18.
- Rouse, W. C. (1984) – "Flowslides", in *Slope Instability*, cap. 8, Ed. Denys Brunsten e David Prior, Chichester, John Wiley & Sons, pp491-522.
- Sander L. M. (1996) – "Diffusion-Limited Aggregation as a paradigm for modelling Dynamical Processes", in *Reduction and predictability of natural disasters. Proceedings*, vol. XXV, Santa Fe Institute, pp. 35-49.
- Selby, M.J. (1982) - *Hillslope materials and processes*, Oxford, Oxford University Press, 264p.
- Sendra, J. B. (1992) – *Sistemas de Información Geográfica*. Ediciones RIALP, Madrid, 451 ps.
- Sharp, R. P. e Nobles, L. H. (1953) – Mudflow of 1941 at Wrightwood, Southern California. *Geol. Soc. Am Bull.* 64, p. 547-560.
- Siderelis, K. C. (1991) – "Land resource information systems", in *Geographical Information Systems, applications*, vol. 2, ed. D. J. Maguire, M. F. Goodchild e D. W. Rhind, Longman Scientific & Technical, Essex, ps. 261-273.
- Sidle, R. C., Pearce, A. J. e O'Loughlin, Colin (1985) – *Hillslope stability and land use*. 2ª edição, Washington, ed. American Geophysical Union, 140 P.
- Slosson, J. E.; Havens, G. W.; Shuirman, G. e Slosson, T. L. (1991) – "Harrison Canyon Debris Flows of 1980", in *Environ. Geol. Water Sci*, vol. 18, nº1, Springer-Verlag New York Inc., pp. 27-38.
- Smith, K. (1996) – *Environmental hazards. Assessing risk and reducing disaster*. London, Routledge, 389 p.
- Smith, T. R.; Menon, S.; Starr, J. L.; Estes, J. E. (1987) – "Requirements and principles for implementation and construction of a large scale geographical information systems", in *International Journal of Geographical Information Systems*, 1: p. 13-31.
- Soares, L. (1992) - *As serras de Campelos Maragotos. Contributo para um estudo de morfologia granítica*. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade do Coimbra, Coimbra, 149 p. (polycopiado).
- Soeters, R. e Westen, C. J. van (1996) – "Slope Instability Recognition, Analysis, and Zonation", in *Landslides. Investigation and mitigation*. Turner, A. K. e Schuster, R. L. (Eds.),. Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D. C., pp. 129-177.
- Sorriso-Valvo, M. (1988) – "Landslide-related fans in Calabria", in *Catena Supplement* , 13, Braunschweig, p. 109-121.
- Townshend, J. R. G. (1991) – "Environmental databases and GIS", in *Geographical Information Systems, applications*, vol. 2, ed. D. J. Maguire, M. F. Goodchild e D. W. Rhind, Longman Scientific & Technical, Essex, ps. 201-216.
- Tricart, J. (1965) – *Principes et méthodes de la Géomorphologie*. Paris, Masson, 496 ps.
- Trotter, C. M. (1989) – "Remotely-sensed data as an information source for geographical information systems in natural resource management: a review", in *Int. J. Geographical Information Systems*, vol.5, nº2, p.225-239.
- Turner, A. K. (1996) – "Colluvium and Talus", in *Landslides. Investigation and mitigation*. Turner, A. K. e Schuster, R. L. (Eds.), Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D. C., pp. 525-554.

- Unwin, D. J. (1991) - "The academic setting of GIS", in *Geographical Information Systems, principles*, vol. 1, ed. D. J. Maguire, M. F. Goodchild e D. W. Rhind, Longman Scientific & Technical, Essex, ps. 81-90.
- Van Asch, T. (1984) - "Different strength parameters of varved clay related to different conditions of slope failure. A case study in the French Alps". *Mouvements de terrain*, Colloque de Caen, Documents du B.R.G.M. (Paris), 83, pp. 91-99.
- Varnes, D. J. (1978) - "Slope movement types and processes". In Schuster, R. L.; Krizek, R. J. (Eds.), *Landslide, Analysis and Control*, Transportation Research Board Special Report, 176, Washington D. C., p. 11-33.
- Varnes, D. J. (1984) - "Landslide hazard zonation: a review of principles and practice". UNESCO, *Natural Hazards*, 3, Paris, 63 p.
- Velhas, E. (1997) - "As cheias na área urbana do Porto: Risco, percepção e ajustamentos". Coimbra, *Territorium*, 4, p. 49-62
- Verstappen, H. Th. (1983) - *Applied geomorphology. Geomorphological surveys for environmental development*. New York, Elsevier, 432 p.
- Wadge, G; Wislocki, A.; Pearson, J. e Whittow, J. B. (1993) - "Mapping natural hazards with spatial modelling systems". In *Geographical Information Systems - Research and applications*. University of Nottingham, UK, pp. 239-250.
- Walkinshaw, J. L. e Santi, P. M. (1996) - "Shales and other Degradable Materials", in *Landslides. Investigation and mitigation*. In Turner, A. K. e Schuster, R. L. (Eds.), *Transportation Research Board, Special Report 247*, National Academy Press, Washington D. C., pp. 555-576.
- Westen, K. van; Soeters, R. e Rengers, N. (1993) - "Geographical Information Systems as applied to landslide hazard zonation", in *Mapping awareness & GIS in Europe*, vol. 7, nº5, June.
- Whalley, W. B. (1984) - "Rock Falls", in *Slope Instability*, Ed. D. Brunsden and D.B. Prior.
- Whalley, W. B.; Tan, B. K. e Craig, D. (1984) - "Problems of mud flowslide prediction on the East Antrim Coast, Northern Ireland". *Mouvements de terrain*, Colloque de Caen, Documents du B.R.G.M. (Paris), 83, pp. 443-452.
- Whalley, W. B; Douglas, G. R.; Mc Greevy, J.P. (1982) - "Crack propagation and associated weathering in igneous rocks". Berlin, *Zeitschrift fur Geom.*, 26(1), pp. 33-53.
- Wieczorek, G. F. (1996) - "Landslide Triggering Mechanisms", in *Landslides. Investigation and mitigation*. Turner, A. K. e Schuster, R. L. (Eds.), Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D. C., pp. 76-90.
- Wu, T. H.; Tang, W. H. e Einstein, H. H. (1996) - "Landslide Hazard and Risk Assessment", in *Landslides. Investigation and mitigation*. Turner, A. K. e Schuster, R. L. (Eds.), Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D. C., pp. 106-118.
- Young, A. (1972) - *Slopes*, Oliver & Boyd, Edinburgh, 288 p.
- Záruba, Q. e Mencl, V. (1982) - *Landslides and their control*, Amsterdam, Oxford, New York, Elsevier Scientific Publishing Company, 324 p.
- Zêzere, J. L. (1988) - *As costeiras na Norte de Lisboa. Dinâmica de vertentes e cartografia geomorfológica*. Tese de mestrado apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. Lisboa. Lisboa, 202 p. + 4 mapas f.t..

- Zêzere, J. L. (1997) - *Movimentos de vertente e perigosidade geomorfológica na região a norte de Lisboa*, Tese de doutoramento em Geografia Física apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 575 p.
- Zêzere, J. L. e Rodrigues, M. L. (1991) - "Estudo e prevenção de riscos naturais - contributo da Geografia Física". *Actas 1º Cong. Geografia Portuguesa*, Lisboa, pp.445-455.