

Universidade Lusófona

Porto

***CARTOGRAFIA DA SUSCEPTIBILIDADE A  
MOVIMENTOS DE VERTENTE NA REGIÃO  
DEMARCADA DO DOURO***

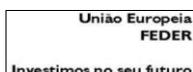
Carlos Bateira

Luciano Martins

Mónica Santos

Susana Pereira

Janeiro de 2011



# Índice

Índice.....	2
Índice de Figuras .....	3
Índice de Quadros .....	3
Anexos.....	3
1. Introdução.....	4
2. Identificação e caracterização do contexto geomorfológico da RDD, tendo em conta as potenciais consequências das intervenções antrópicas no arranjo das vertentes.....	5
2.1 RELEVO .....	5
2.2 LITOLOGIA .....	9
2.3 CLIMA.....	11
2.4 USOS DO SOLO.....	14
3. Identificação dos problemas actuais da dinâmica geomorfológica na RDD .....	17
3.1 RELEVO GRANÍTICO .....	18
3.2 RELEVO METASSEDIMENTAR.....	21
3.3 A IMPORTÂNCIA DA PRECIPITAÇÕES NA INSTABILIDADE DE VERTENTES .....	27
4. Concepção e validação da metodologia de zonamento da susceptibilidade a movimentos de vertente.....	29
5. Recomendações de minimização/mitigação dos riscos associados à susceptibilidade a movimentos de vertente na rdd. ....	33
6. Conclusão .....	36
7. Bibliografia .....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Região Demarcada do Douro .....	5
Figura 2 - Hipsometria (metros) da Região Demarcada do Douro.....	6
Figura 3 - Declives (graus) da Região Demarcada do Douro .....	7
Figura 4 – Geologia da Região Demarcada do Douro. ....	10
Figura 5 – Precipitação Média Anual.....	13
Figura 6 – Número de dias com precipitação no ano. ....	13
Figura 7 – Temperatura média diária do ar. ....	14
Figura 8 – Usos do Solo .....	15
Figura 9 - Sistemas de Armação do Terreno .....	15

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Factores condicionantes e respectiva ponderação heurística da susceptibilidade..	31
---	----

## ANEXOS

Informação cartográfica usada na modelação da Susceptibilidade a Movimentos de Vertente:

- Declives;
- Unidades Geomorfológicas;
- Geologia;
- Usos do Solo.

Cartografia de Susceptibilidade a Movimentos de Vertente da Região Demarcada do Douro.

## 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho corresponde à concretização de um protocolo de cooperação entre a Universidade Lusófona e a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, cujos objectivos fundamentais consistem na elaboração de um estudo sobre a caracterização das condições geomorfológicas na Região Demarcada do Douro (RDD) e elaboração de cartografia da susceptibilidade a movimentos de vertente. Este trabalho surge no âmbito do SUIDUR - Sustentabilidade da Viticultura de Encosta na Regiões do Douro e do Duro. Os parceiros no projecto são: IVDP, CCDR-N, DRAPN, UTAD e ITACyL (Instituto Tecnológico Agrário de Castela e Leão).

O objectivo principal deste estudo consiste na concepção e validação da metodologia de zonamento da susceptibilidade à erosão por movimentos de vertente da RDD. Este relatório pretende ser acessível a um público mais vasto que, embora não sendo especialista sobre riscos naturais, manifesta interesse sobre estes temas por força das funções que desempenham em várias instituições que se dedicam às questões relativas ao território e à protecção civil. A cartografia proposta é apresentada à escala 1:50000. Esta escala permite a elaboração de um instrumento cartográfico de apoio à identificação dos grandes conjuntos espaciais afectados pela dinâmica do meio físico passíveis de provocar catástrofes naturais. Este processo de identificação é essencial para guiar uma futura análise de detalhe, com implicações nos processos de ordenamento do território. Não se pode, portanto, exigir desta cartografia a possibilidade de análise ao nível do pormenor. Contudo, dá indicações importantes quanto às áreas onde devem ser concentrados esforços de análise da dinâmica do meio físico com implicações nas actividades humanas. Essa análise detalhada será essencial ao nível do município, para que possa ter consequências no ordenamento do território e na prevenção do risco natural.

Este relatório está organizado em três partes. A primeira parte refere-se a uma caracterização do contexto geomorfológico da Região Demarcada do Douro, tendo em conta as potenciais consequências das intervenções antrópicas no arranjo das vertentes. A segunda parte, identifica os principais problemas da dinâmica geomorfológica da RDD. Por fim, procede-se à concepção e validação da metodologia de zonamento da susceptibilidade a movimentos de vertente da RDD e faz-se a apresentação da cartografia da susceptibilidade a movimentos de vertente.



declives são extremamente fortes, muitas vezes superiores a 30°, condicionando o aproveitamento agrícola que é feito com base na construção de pequenos terraços de difícil acesso” (Figura 3).

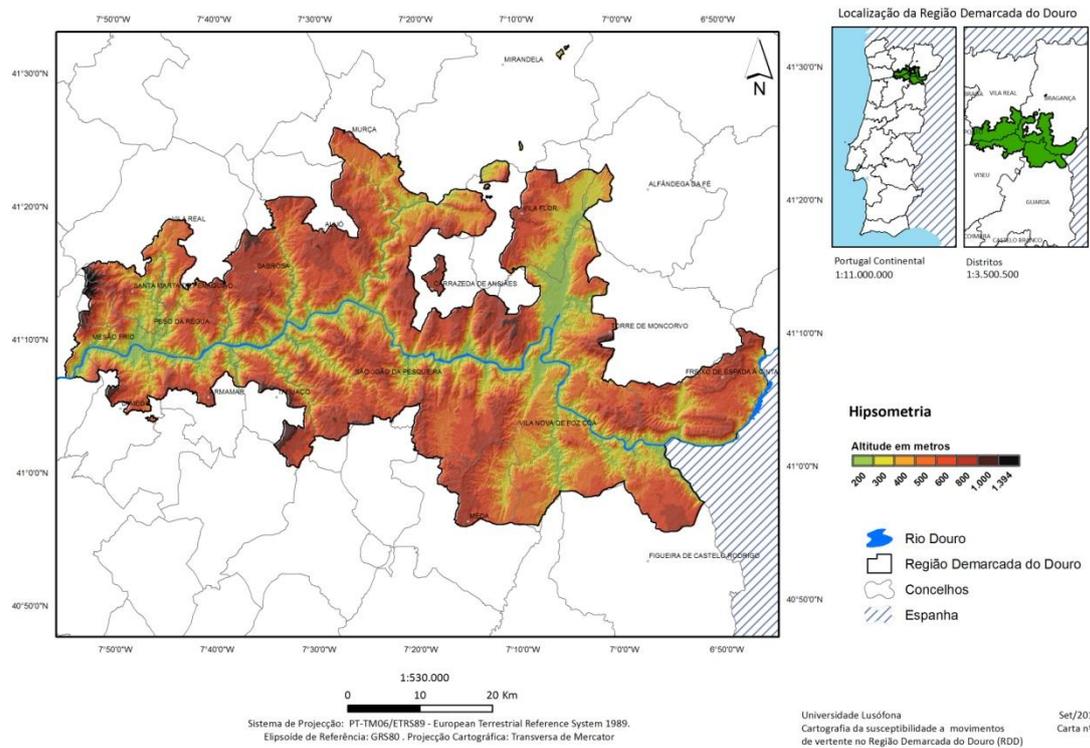


Figura 2 - Hipsometria (metros) da Região Demarcada do Douro

Fonte: CAOP 2009.0, IGP. Carta Militar de Portugal, serie M888 IGEOE.

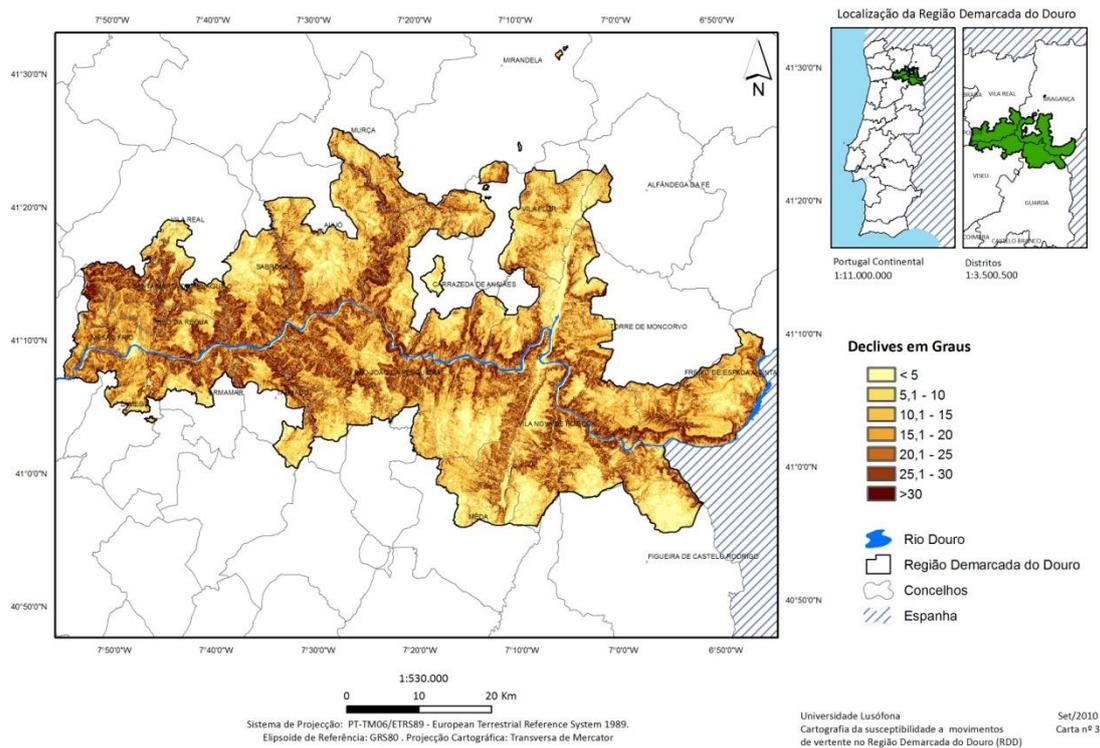


Figura 3 - Declives (graus) da Região Demarcada do Douro

Fonte: CAOP 2009.0, IGP. Carta Militar de Portugal, serie M888 IGEOE.

O relevo do Nordeste de Portugal caracteriza-se por uma superfície poligénica de aplanamento denominada por Superfície Fundamental (Martin-Serrano 1988). Esta encontra-se bem conservada na área de Miranda do Douro, onde o rio Douro e os seus afluentes estão fortemente encaixados (Ribeiro 2004).

Acima desta superfície podemos encontrar relevos com duas origens distintas: fragmentos de uma Superfície Culminante, correspondente a um ciclo de erosão anterior ao que originou a Superfície da Meseta Norte e relevos residuais de dureza do tipo crista, ou coroados por restos da superfície culminante (Ribeiro 2004). Os relevos dominados por uma superfície culminante a 900-1200 encontram-se no sector Norte (Serras da Coroa e Montesinho) e ao longo da culminação montanhosa em Trás-os-Montes ocidental (Ribeiro 2004). Os relevos residuais de dureza, correspondem a litologia mais resistente à erosão, com disposição estreita e alongada, segundo a direcção das dobras hercínicas, como por exemplo, cristas quartzíticas e maciços de rochas máficas e ultramáficas dos terrenos alóctones de Morais e Bragança, que por vezes,

estão completados com fragmentos de superfícies anteriores à Meseta Norte (Ribeiro 2004; Pereira 2009).

Abaixo da Superfície da Meseta podemos encontrar *“níveis embutidos superiores, sob a forma de terraços rochosos, por vezes amplos, ao longo das linhas de água principais e terraços quaternários mais baixos ao longo de vales por vezes extremamente encaixados”*, como o vale do Rio Douro Internacional (Ribeiro 2004:127). Podemos encontrar terraços de vários tipos abaixo da Meseta. O terraço rochoso superior, a cerca de 1000 m abaixo da Meseta Norte, desenvolvido em xistos e xistos verdes e menos desenvolvido em granitos. Está bem preservado ao longo do Rio Tua, Rio Sabor e garganta do Douro Internacional. É de realçar a presença de depósitos muito semelhantes aos depósitos de tipo raña que se observam na Meseta Norte sobre este terraço superior (Ribeiro 2004; Pereira 2009). O terraço rochoso inferior *“entalha apenas os xistos mais brandos ao longo das linhas de água mais importantes”* (Ribeiro 2004:129), como o Douro, Côa, Tua e Ribeira da Vilariça. Nestes terraços rochosos e ao longo dos principais rios encontram-se terraços fluviais, que demonstram o encaixe da rede hidrográfica no Quaternário e dominam os talvegues actuais com desníveis inferiores a 100 m (Ribeiro 2004).

A tectónica deformou as superfícies de erosão referidas anteriormente, e por vezes, os depósitos quaternários (Ribeiro 2004). Podemos encontrar várias depressões tectónicas, com orientação predominante de N-S a NNE-SSW. As depressões associadas aos acidentes com maior actividade neotectónica, como por exemplo, Bragança-Vilariça-Manteigas, Mirandela e Verin-Penacova mantêm uma importante expressão morfológica (Pereira, 2004). A norte e a sul do Douro, destacam-se dois desligamentos tardivariscos de direcção geral NNE-SSW, ao longo dos quais se deram deslocações verticais no ciclo alpino, particularmente durante o Cenozóico: o desligamento de Bragança-Manteigas e o desligamento de Verín-Penacova. Ao longo do desligamento de Verín-Penacova e de outro acidente sitiado mais a oeste, formou-se um conjunto de relevos tectónicos: ao norte da Serra do Alvão, estende-se o graben de Chaves-Verín; a sul desta depressão desenvolve-se um horst complexo, com 120km de comprimento, que abrange, a norte do Douro, as serras do Alvão e do Marão, e a sul do Douro, as serras de Montemuro, da Gralheira e do Caramulo (Ferreira 2004).

## 2.2 LITOLOGIA

A litologia da RDD caracteriza-se pela alternância de diversos tipos de rochas metassedimentares e pequenos núcleos de rochas granitóides (Bateira 2006) (Figura 4). A região integra-se no Maciço Hespérico que é constituído por um substrato rochoso de idade paleozóica e pre-câmbria relacionada com o orógeno Varisco. *“A sua evolução tectónica posterior é imposta pela orogenia Alpina correspondendo à reactivação das falhas tardi-variscas, facto que está na origem dos seus actuais traços estruturais”* (INAG 1999:2).

Estão presentes na região as seguintes formações geológicas:

- Gnaisses, migmatitos e granitos gnaissicos;
- Granito de grão médio a fino essencialmente biotítico;
- Granito de grão médio a grosseiro de duas micas, com esparsos megacristais;
- Metapelitos e psamitos avermelhados, vulcanitos básicos e ácidos, complexo filiado-quartzoso, quartzo;
- Quartzitos maciços, quartzitos xistóides e xistos ardosíferos intercalados;
- Quartzito filitos, filádios, xistos carbonosos com intercalações de ampelitos e liditos, complexo;
- Xistos, grauvaques, níveis metaconglomeráticos e complexo migmatítico gnaissico;
- Terraços fluvio-marinhos, depósitos conglomeráticos, fluviais e lacustres;
- Filões e massas.

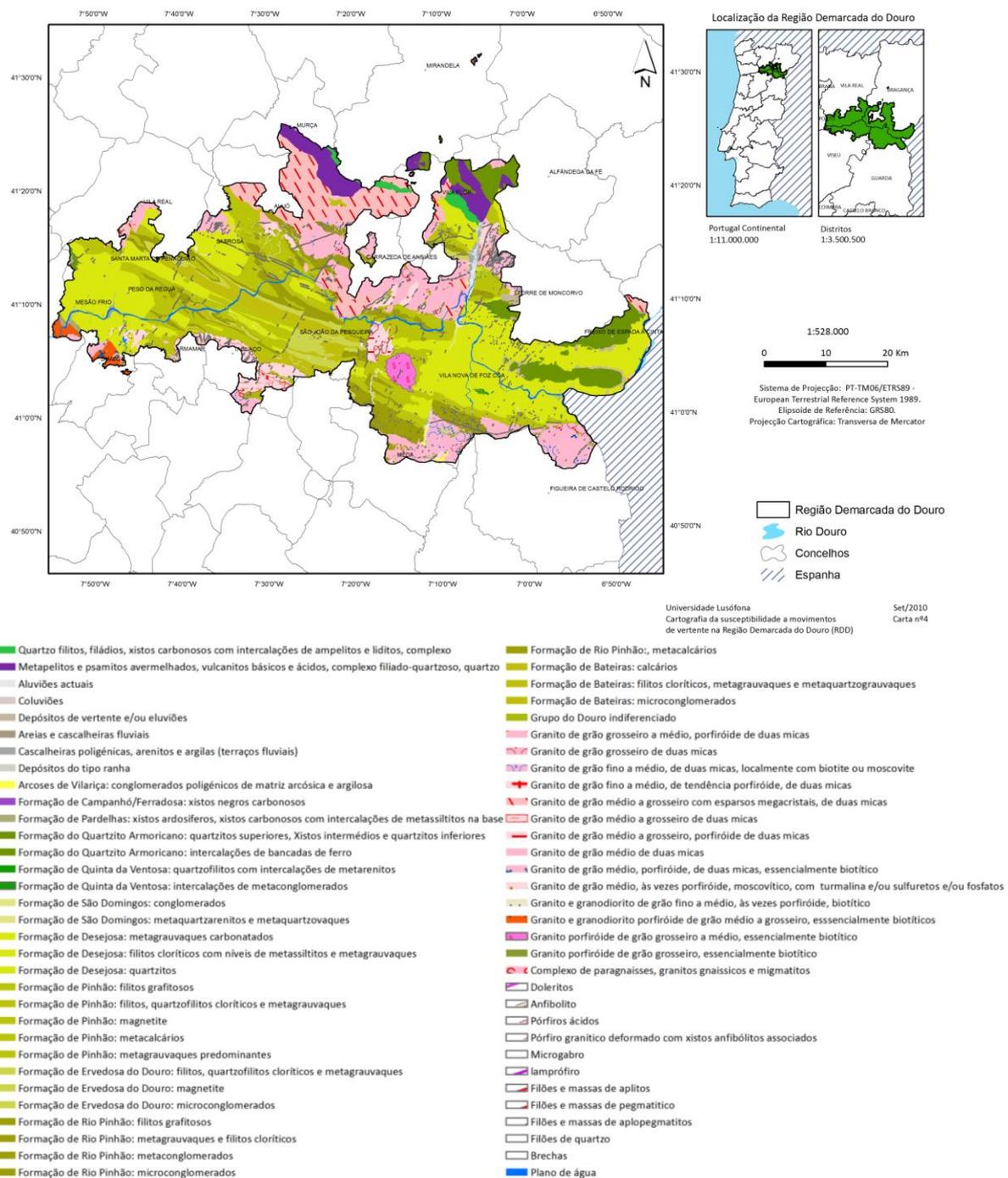


Figura 4 – Geologia da Região Demarcada do Douro.

Fonte: Carta Geológica de Portugal, na escala de 1:50000.INETI.

A rede de fracturas tardi-hercínicas que foram reactivadas na Orogenia Alpina controla em geral, o traçado do rio Douro. O vale do rio torna-se mais encaixado e profundo quando as fracturas são paralelas ao rio enquanto, se as fracturas forem perpendiculares ao rio, verificam-se desvios bruscos no traçado e formam-se cascatas e ressaltos (López-Moro 2005).

Segundo Gomes *et al* (2006:6) *“quando o rio atravessa materiais metamórficos (xistos, gnaisses e migmatitos), apresenta declives muito mais suaves e, em geral, um vale mais largo e aberto do que quando atravessa granitos.”* Nas áreas de xisto, menos resistentes à erosão mecânica e química, os vales são mais abertos e os declives menos acentuados. Pelo contrário, nas áreas graníticas do Vale do Douro, principalmente no sector das serras, os vales são encaixados e estreitos e, por vezes, ao longo dos mais pequenos afluentes observa-se perfis longitudinais com declives muito elevados, resultantes provavelmente de tectónica recente (Pereira 2004; Pereira 2009).

A instalação do rio Douro em território português ainda não está bem estudada, mas *“o grande encaixe deste rio ao entrar em território português se deve à erosão regressiva a partir do Atlântico, que terá sido responsável pela captura de uma drenagem endorreica que se dirigia para o interior de Castela-a-Velha”* (Ferreira 2004:107-108).

A rede hidrográfica da Bacia do Douro é densa, bem hierarquizada e apresenta muitos vestígios de orientação tectónica de alguns segmentos, reticulares, com confluências em ângulos rectos e perfil transversal assimétrico (INAG 1999). Os recursos hídricos são dependentes da precipitação e originários das massas de ar do atlântico (INAG 1999). Na área de granitos, a existência de mantos de alteração permite o armazenamento e a libertação progressiva de grandes quantidades de água, o que condiciona a disponibilidade hídrica, mesmo na estação seca, ao contrário do que ocorre nas áreas de metassedimentos.

A produção do vinho desenvolve-se utilizando técnicas tradicionais de drenagem, muito eficazes na estabilidade das vertentes. Segundo Bateira (2006:10) *“escavam-se pequenos sulcos com uma disposição próxima da das curvas de nível, evitando que o escoamento superficial se concentre ou atinja os muros de suporte. Em simultâneo, retira-se todo o coberto herbáceo, fomentando o escoamento superficial para reduzir ao mínimo o processo de infiltração.”*

## **2.3 CLIMA**

Os sistemas montanhosos a Oeste e o forte encaixe da rede hidrográfica permitem a existência de um microclima onde a influência do Atlântico é atenuada (Bateira 2006). Geralmente os invernos são menos húmidos e os Verões são quentes e secos. A região caracteriza-se pela

secura, nomeadamente nos vales encaixados do Douro e dos seus afluentes (Sabor, Côa e Tua) e nas depressões (Mirandela, alinhamento das depressões Longroiva-Vilariça) (Ferreira 2005). Na região, a distribuição sazonal da precipitação concentra-se no fim do Outono e início do Inverno, com um máximo secundário em Março ou Abril. Os valores de precipitação podem variar de este para oeste, de 400 mm de chuva por ano (nos locais mais confinados), em 50 a 60 dias no ano (Ferreira 2005) a 2500 mm, em média por ano (na serra do Marão e Montemuro) (Figura 5). Os valores médios de precipitação anuais podem ser inferiores a 500 mm (Daveau 2000). Estes valores só são comparáveis na “ilha” de Faro (Daveau 1977).

A área também é afectada por episódios chuvosos esporádicos que podem apresentar forte intensidade. Estes episódios associados a períodos mais longos de precipitação, impulsionam uma forte dinâmica de vertentes podendo provocar importantes perdas materiais e humanas. Ao longo do tempo registaram-se vários Invernos extremamente húmidos, durante os quais ocorreram centenas de movimentos de vertente (Bateira 2006). Num passado recente (Inverno de 2000/2001) testemunhou-se uma importante dinâmica de vertentes em que uma parte significativa da RDD foi afectada por centenas de movimentos de vertente, com prejuízos evidentes na actividade vitivinícola.

O número de dias de precipitação também apresenta valores médios anuais muito baixos, sendo na maior parte da área da região, inferior a 75 dias por ano (Figura 6).

Estas características pluviométricas da Região Demarcada do Douro resultam do facto desta região se encontrar abrigada relativamente aos ventos húmidos vindos de oeste, pelo obstáculo das serras de Montemuro e do Marão (Daveau 2000). Os conjuntos montanhosos funcionam como uma barreira à penetração dos ventos marítimos, impondo ao vale do Douro, características mediterrâneas, propícias ao desenvolvimento da produção vinícola.

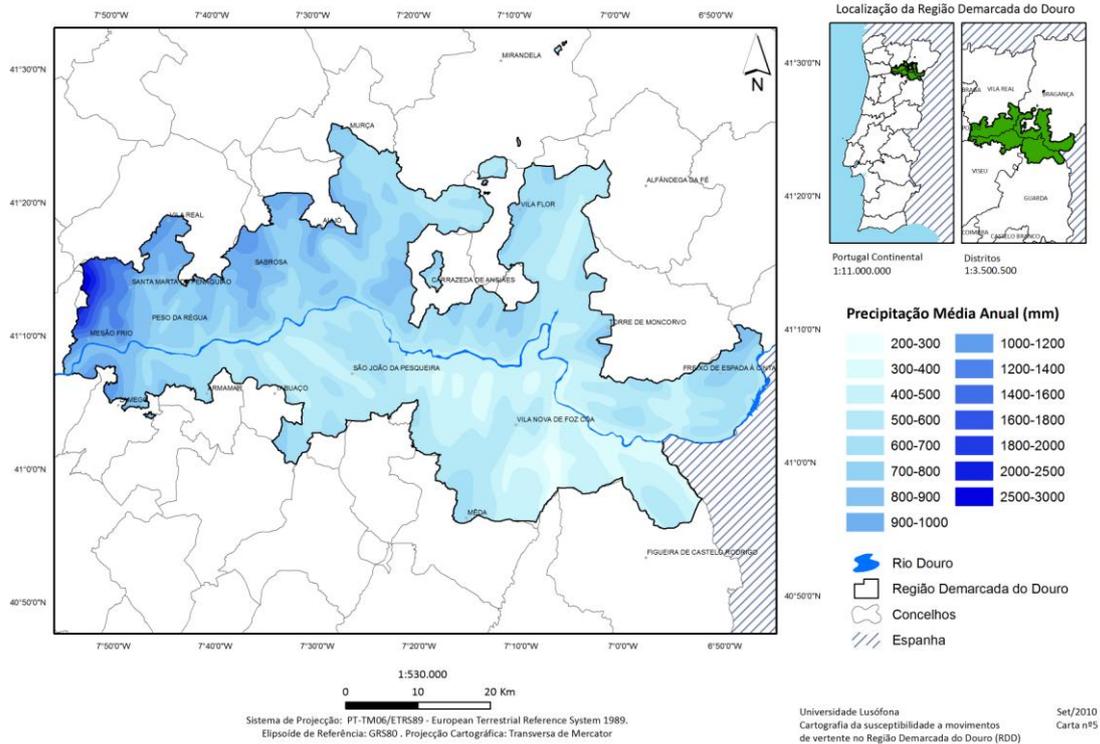


Figura 5 – Precipitação Média Anual

Fonte: Daveau, S. Precipitação Média Anual, 1977.

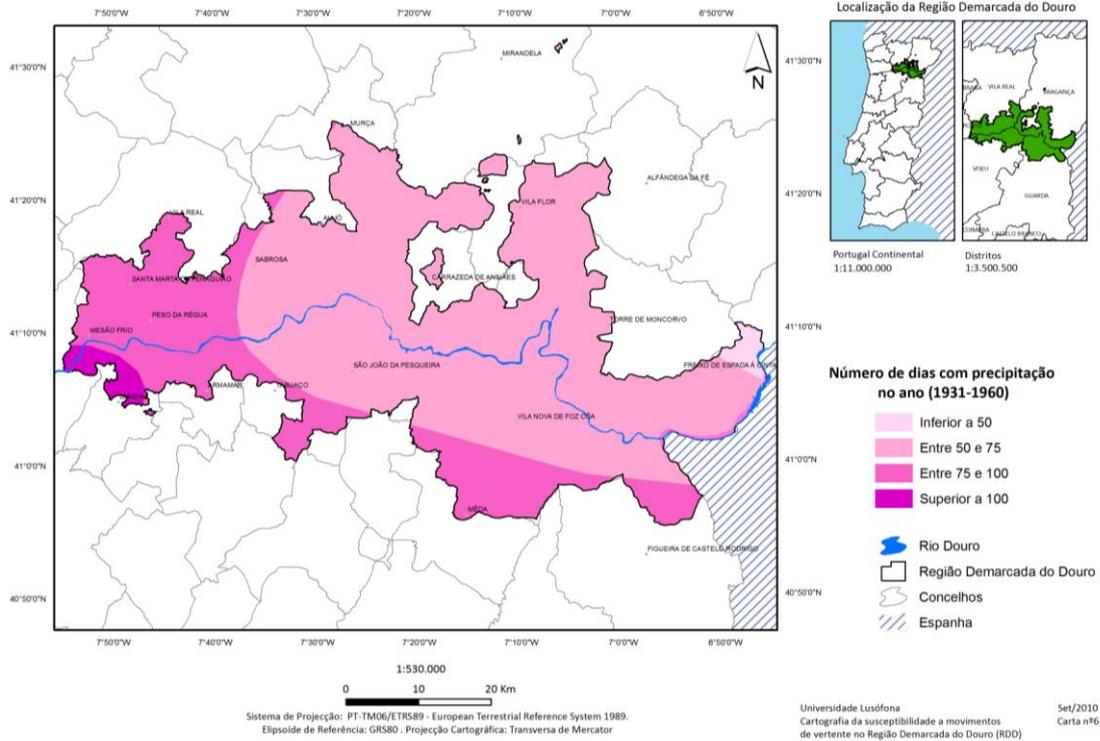


Figura 6 – Número de dias com precipitação no ano.

Fonte: Valores Médios Anuais (dias) Precipitação >= 1mm, Período 1931-1960, Atlas do Ambiente, Instituto do Ambiente, 1974.

As temperaturas médias anuais variam de 10 °C a 16°C (Figura 7). Os valores mais elevados verificam-se ao longo do vale do rio Douro e dos vales dos seus afluentes, nomeadamente os do rio Tua e da ribeira da Vilarça. O encaixe do Vale do Douro protege a região dos ventos quentes e secos de Este durante o Verão (Ferreira 2005; Bateira 2006). As temperaturas nesta região são mais elevados, do que no litoral, pois trata-se de uma área deprimida e encaixada entre as montanhas o que reduz a influência dos ventos húmidos do Atlântico, já que estes ao ultrapassarem a barreira morfológica das serras do Noroeste, perdem humidade e chegam ao vale do Douro bastante secos e, conseqüentemente, muito quentes.

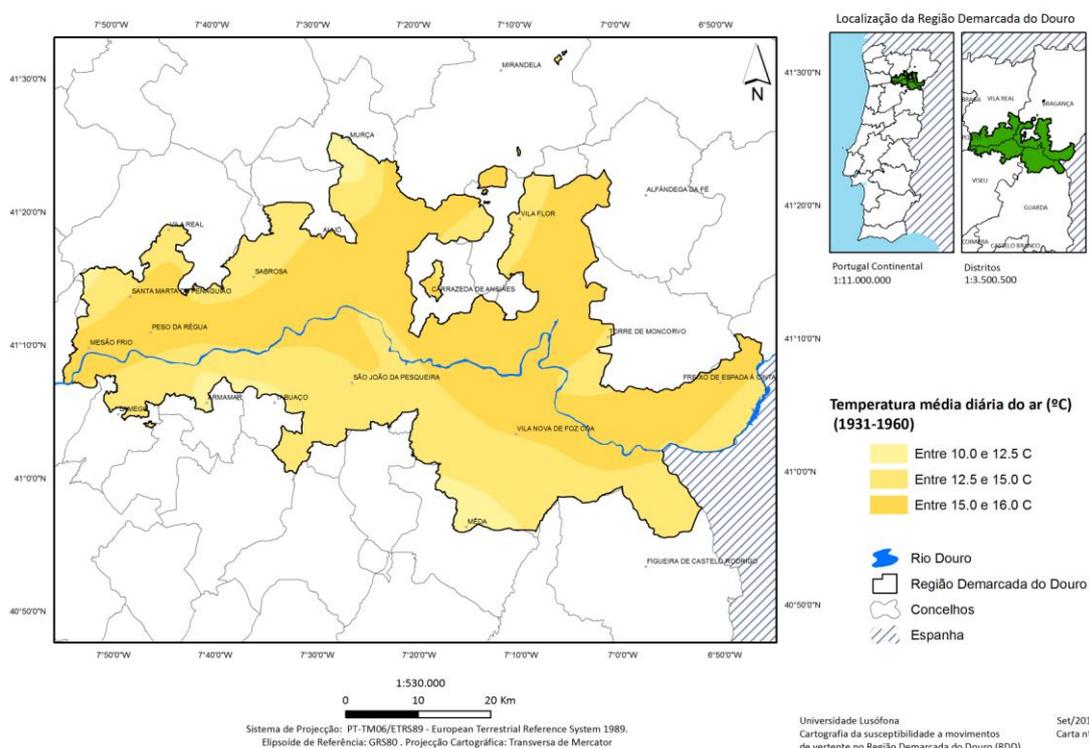


Figura 7 – Temperatura média diária do ar.

Fonte: Valores Médios Anuais (graus centígrados), Atlas do Ambiente, Instituto do Ambiente, 1974.

## 2.4 USOS DO SOLO

Os usos do solo demonstram a paisagem caracterizadora da região: as vinhas (Figura 8). Podemos verificar na Figura 8, uma predominância das vinhas na região. De seguida surgem as

florestas abertas e matos. As vinhas predominam no Baixo e Cima Corgo enquanto, as oliveiras e as amendoieiras prevalecem no Douro Superior e no Cima Corgo (Andresen 2006).

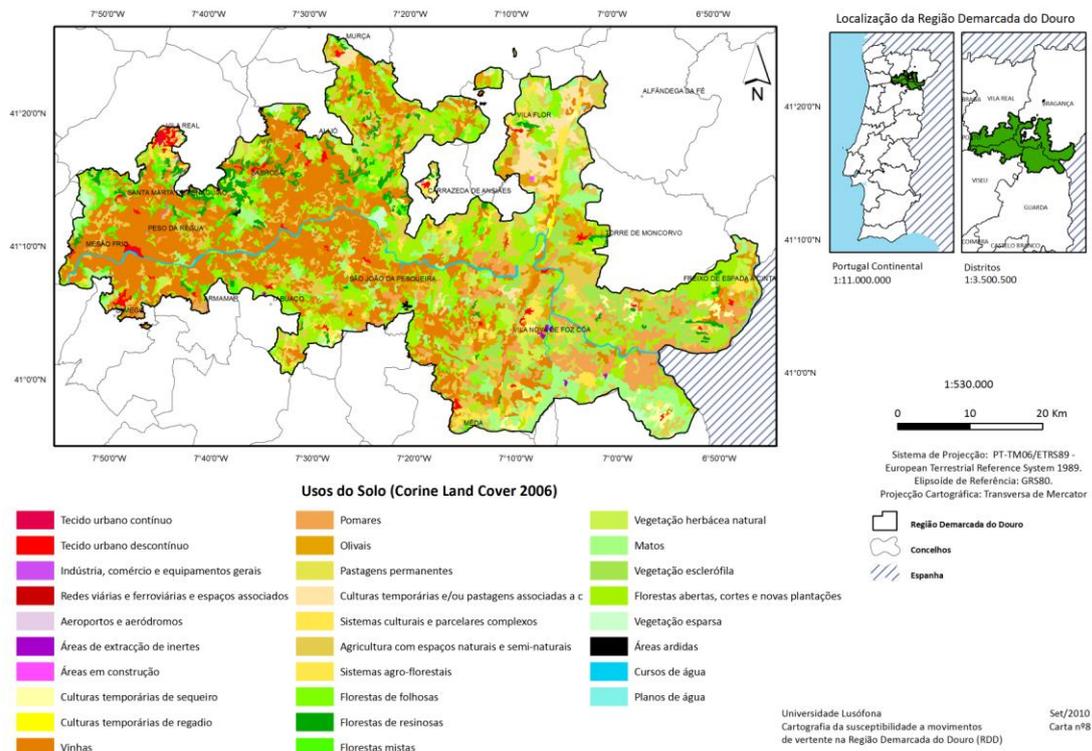


Figura 8 – Usos do Solo

Fonte: Corine Land Cover 2006, IGP 2009.

Na Região Demarcada do Douro, podemos observar diferentes técnicas de organização dos terrenos para a produção vitícola.

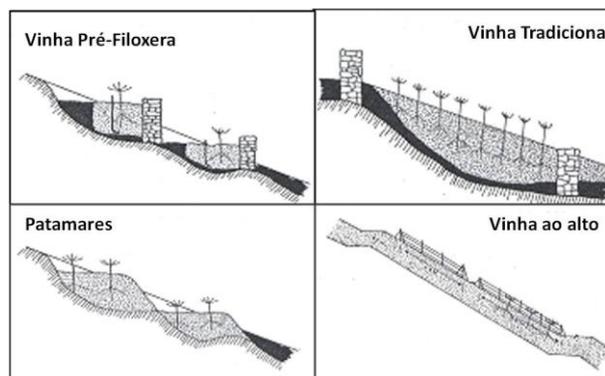


Figura 9- Sistemas de Armação do Terreno

Fonte: Adaptado de Almeida, 1990

Nos socalcos mais antigos, designados pré-filoxéricos a vinha era plantada em terraços sustentados por muros de pedra, mais ou menos distanciados em função do declive da encosta, construídos com as pedras tiradas do terreno (xisto ou granito). Os terraços possuíam uma largura pequena com uma ou duas fiadas de vinha (Figura 9). Após a filoxera, surgiram novos terraços, mais largos e inclinados, suportados por muros sólidos mais altos e mais rectilíneos do que os muros pré-filoxéricos (Bateira 2006) (Figura 9). Mais recentemente, surgiu a produção vinícola nos terraços com taludes em terra, devido ao aumento do custo da mão-de-obra e da necessidade de mecanizar as propriedades. São patamares horizontais ou sub-horizontais com taludes em terra que acompanham as curvas de nível e a fisiografia do terreno. Os patamares são construídos sem muros de pedra em seco, com alturas variáveis de acordo com a inclinação do terreno e com 1 ou 2 linhas de videiras (Bateira 2006) (Figura 9). Mais recentemente, tem surgido o sistema da vinha ao alto, com maior representatividade no Cima Corgo e Douro Superior (Andresen 2006). Este sistema dispõe-se segundo linhas perpendiculares às curvas de nível separadas por estradas de trabalho. São construídas plataformas inclinadas para o seu bordo interior para recolher as águas pluviais e encaminhá-las para fora da parcela ou para canais de drenagem. (Bateira 2006) (Figura 9).

A intervenção humana no arranjo das vertentes pode contribuir para o agravamento da erosão e conseqüente desenvolvimento de movimentos de vertente. Segundo Bateira (2006) *“não se pode, ainda, afirmar que haja uma relação de causa/efeito entre o tipo de arranjo das vertentes e a frequência de ocorrência de fenómenos de instabilidade”*. No entanto, os maiores movimentos de vertentes verificados na região do Douro parecem estar directamente relacionados com os novos métodos de cultivo (vinha ao “alto” e vinhas em patamares construídas sem recurso a muros de suporte) ou com a dificuldade de manutenção das estruturas tradicionais de drenagem das vertentes (Bateira 2006).

As novas técnicas de armação do terreno marcam uma alteração nos processos de circulação hídrica com influências importantes na dinâmica de vertentes desta região.

Para isso, ao movimentar grandes quantidades de solo associado à inexistência de coberto vegetal nas vinhas “ao alto” e nas paredes dos taludes, proporciona o desenvolvimento da concentração do escoamento superficial. Deste modo, o Homem poderá contribuir para o desenvolvimento dos processos erosivos através da destruição do coberto vegetal e da construção de patamares sem muros de suporte, métodos que diferem das técnicas tradicionais.

### **3. IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS ACTUAIS DA DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA NA RDD**

No estudo da susceptibilidade a Movimentos de vertente, na componente dos riscos naturais, torna-se fundamental uma abordagem aos processos que envolvem a dinâmica geomorfológica e hidrológica dos mesmos.

A Região Demarcada do Douro (RDD), caracteriza-se por uma activa dinâmica de vertentes, decorrente sobretudo da forte intervenção antrópica a que se encontra sujeita, substancialmente nos sectores de cultivo da vinha. Neste sentido, é indissociável a intervenção antrópica actuante sobre a dinâmica do meio físico.

Os movimentos de vertente assumem na RDD uma posição relevante, não só pelo enquadramento geomorfológico da região, mas sobretudo pela forte intervenção humana a que se encontra sujeita, aliada à concentração do povoamento em pequenos núcleos habitacionais. Esta situação tem como consequência directa o incremento dos factores de risco para as populações, causado pelo aumento contínuo das vulnerabilidades dos espaços agrícolas, das infra-estruturas e habitações.

Existem diversos factores condicionantes que podem estar na origem destes processos, no entanto as precipitações assumem-se como fundamentais ao desencadeamento nesta área, quer pela sua duração, mas essencialmente pela sua concentração em pequenos períodos de tempo (precipitações intensas de curta duração).

A RDD apresenta-se como uma área de intervenção prioritária no âmbito dos movimentos de vertente na Região Norte. A par das Montanhas do Noroeste, a RDD possui um elevado número de ocorrências de movimentos de vertente (142 registos de movimentos de vertente de grande dimensão, registadas no período de 1900 a 2007 na Base de Dados de Movimentos de Vertente da Região Norte (Pereira, 2009), mas sobretudo pelos custos directos e indirectos inerentes ao seu desencadeamento, com perdas substanciais ao nível das infra-estruturas, designadamente muros de suporte, estradas e estruturas de hidráulica agrícola, fundamentais para a sua prevenção. (CCDR-N - PROT-N, 2007)

No que respeita à Geomorfologia da RDD, sumariamente, a região pode ser dividida em dois grandes sectores, os relevos graníticos e os relevos metassedimentares (Figura 4).

### 3.1 RELEVO GRANÍTICO

O relevo granítico, em termos topográficos é mais acidentado, resultante sobretudo de uma dinâmica tectónica mais recente e activa.

Embora as altitudes não sejam relevantes, as vertentes neste sector apresentam declives elevados, sobretudo decorrentes da tectónica, mas também fortemente condicionados pelo encaixe da rede hidrográfica, que constituem factores condicionantes de forte instabilidade das vertentes neste sector.

A rede hidrográfica apresenta um encaixe vigoroso com muitos estrangulamentos ao longo dos principais tributários que se intercalam com áreas mais aplanadas e abertas. Esta dinâmica imprime a este sector características morfodinâmicas próprias, particularmente com a existência de diversas rupturas de declive dos perfis longitudinais dos rios e ribeiros que atravessam este sector. A conjugação dos factores estruturais com os factores fluviais incrementa a susceptibilidade das vertentes ocorrendo frequentemente desabamentos provocados pelo trabalho de sapa dos cursos de água, resultantes da erosão das bases das vertentes que por falta de sustentação acabam por desmoronar-se.

A sucessão de estrangulamentos e alargamentos ao longo da rede hidrográfica promove, por outro lado, alterações e incrementos significativos no regime energético destes cursos de água, transformando o escoamento normal em escoamento fluvio-torrencial, que para além de aumentar a capacidade erosiva, promove o transporte de materiais de maior dimensão, originando por vezes a ocorrência de processos hidro-geomorfológicos do tipo fluxos de detritos.

Por outro lado, a alteração do granitóides neste sector origina instabilidade nas vertentes. Estes mantos de alteração podem ter espessuras diferenciadas ao longo das vertentes e dependem fortemente do tipo de granitóides existente e da sua exposição aos processos de meteorização.

A textura dos mantos de alteração imprime-lhes uma forte permeabilidade o que por sua vez se torna positivo no que se refere à hidrologia de vertentes, pois a drenagem sub-superficial pode desencadear-se sem bloqueios significativos. No entanto esta situação é variável e está dependente da quantidade de teor argiloso presente nos mesmos. A circulação hídrica no interior dos mantos de alteração diminui fortemente as tensões nas vertentes,

particularmente pela existência de poros intersticiais e macroporos onde se movimenta a água. Contudo, esta situação pode ser alterada, quer pelo declive da vertente, quer pela quantidade de água existente, uma vez que podem originar a ruptura dos materiais, aquando do aumento da tensão tangencial face aos factores de resistência (atrito, coesão das partículas, etc.). Assim, os movimentos de vertente neste sector, estão fortemente condicionados pelo volume de água. Este factor é fundamental na compreensão e justificação do tipo movimentos de vertente mais frequente neste sector. Neste sentido, ocorrem com maior regularidade dois tipos de movimentos de vertente os fluxos e os deslizamentos, e poderão ainda ser referenciados os movimentos complexos (conjugação de vários tipos de movimentos de vertente).

O Fluxo é *“um movimento espacialmente contínuo onde as superfícies de tensão tangencial são efémeras e frequentemente não preservadas. A distribuição da velocidade na massa deslocada assemelha-se à de um fluido viscoso (WP/WLI, 1993b: 6-2). As tensões distribuem-se por toda a massa afectada, conduzindo, geralmente, a uma grande deformação interna dos materiais e à existência de velocidades diferenciadas, quase sempre maiores junto à superfície”* (Carson e Kirby, 1975; Bromhead, 1992 in (Zêzere 1997:55). Os fluxos mais típicos têm uma densidade elevada (a carga sólida ultrapassa de forma frequente, 50% da massa do material) e seguem canais pré-existentes, na desembocadura dos quais o material se deposita sob a forma de cone ou leque (Jonhson e Rodine, 1984; Sauret, 1987; Corominas et al., 1996 in Zêzere, 1997). Este tipo de movimentos pode ser diferenciado sobretudo pelo género materiais deslocado, que podem ser de rochas, detritos ou lama.

Este tipo de processos são caracterizados pela heterogeneidade dos materiais transportados, quer na dimensão quer no tipo, sendo sempre pautados por uma forte capacidade de deslocação de materiais. Por outro lado, a existência de uma grande quantidade de água, quer saturada no subsolo, quer precipitada, fazem com que os materiais sejam deslocados muito para além da cicatriz do movimento, podendo mesmo atingir centenas de metros, dependendo sobretudo do declive a jusante da cicatriz. Ressalva-se o facto de estes processos terem início nas vertentes, no entanto à medida que irrompem alcançam os cursos de água, promovendo a mistura dos elementos sólidos com os líquidos, formando uma massa fluida viscosa com grande capacidade destrutiva. Muitas das vezes, torna-se difícil a distinção entre estes processos de vertente e os processos fluviais de carácter torrencial.

O declive assume um papel forte como factor condicionante, todavia nem sempre isso é condição essencial ao seu desencadeamento. Existem registos de ocorrência destes processos neste sector, em áreas de declive médios de 10°, o que por sua vez poderiam excluir a noção de susceptibilidade a movimentos de vertente. Porém, a conjugação de vários factores pode levar à sua ocorrência, como sendo, a construção de patamares agrícolas que alteram a topografia original da vertente e originam a concentração do escoamento interno. Por outro lado, o desvio das linhas naturais de escoamento superficial sem adequada adaptação à topografia dos patamares agrícolas faz com que a água se concentre e acumule, convergindo para a área central dos patamares que corresponde na maioria das vezes às linhas de escoamento originais da vertente.

Conhecer a dinâmica hidrológica nas vertentes modificadas para a prática agrícola é fundamental na prevenção dos movimentos de vertente, uma vez que com pequenas alterações e manutenção destas estruturas poder-se-á evitar a maioria das ocorrências, salvaguardando para o facto de poderem ocorrer, mesmo assim, movimentos de vertente, sobretudo, em longos períodos de precipitação que promovem a saturação dos solos e aumentam as tensões tangenciais, mesmo em declives fracos, ou em períodos de precipitações intensas de curta duração, que na maioria dos casos desencadeiam processos hidrológicos torrenciais.

Os Deslizamentos definem-se como um *“movimento de solo ou rocha que ocorre predominantemente ao longo de planos de ruptura ou de zonas relativamente estreitas, alvo de intensa deformação superficial (WL/ WLI, 1993b). A massa deslocada durante o movimento permanece em contacto com o material subjacente não afectado, apresentando graus de deformação bastante variáveis, consoante o tipo de deslizamento”* (Zêzere 2000:12).

Estes movimentos de vertente, sobretudo, do tipo planar, ocorrerem essencialmente derivado a longos períodos chuvosos, que no decorrer do tempo vão saturando os mantos de alteração que possuem grande capacidade de absorção e retenção de água. Todavia, apesar de por si só, os processos hidrológicos nestas vertentes não conseguirem originar deslizamentos, promovem o aumento significativo do peso dos materiais superficiais nas vertentes, alterando o comportamento da drenagem que por falta de circulação interna bloqueia a infiltração e promove a ruptura da vertente. Muitas das vezes, neste sector, os deslizamentos têm uma actividade retrogressiva, isto é, desenvolvem-se para montante da cicatriz inicial, uma vez que as matérias a jusante já foram mobilizadas.

O terceiro tipo de movimento de vertentes menos frequente neste sector, são os movimentos complexos. É comum nos movimentos de vertente a ocorrência conjunta de processos combinados, podendo observar-se deslizamentos que desencadeiam fluxos ou, ainda, movimentos de tipo rotacional que desenvolvem processos de infiltração originando fluxos.

Estes movimentos ocorrem sobretudo nas vertentes de maior dimensão, quer pelo seu comando (altura) quer pelo seu perfil longitudinal (vertentes complexas) podem originar diferentes processos em simultâneo. Na RDD é frequente encontrar vertentes de grande dimensão intercaladas por valeiros fortemente encaixados onde o escoamento em períodos chuvosos de grande intensidade assume um carácter torrencial. A capacidade energética dos cursos de água, particularmente de 1ª e 2ª ordem, têm não só uma extraordinária capacidade erosiva, mas também são caracterizados por uma forte competência na deslocação de materiais, de heterometria muito diversa, o que origina frequentemente, deposição de abundante material detrítico no fundo dos vales e valeiros.

O “efeito barragem” não ocorre apenas em valeiros naturais, mas sobretudo em locais de forte intervenção antrópica, designadamente em locais com implementação de obras de arte (estradas, pontes, tanques, etc). Neste sector é muito frequente encontrar este tipo de infra-estruturas, que na maioria das vezes foram projectadas tendo em consideração o escoamento médio e não o escoamento torrencial. Este facto é responsável por inúmeros danos em pequenas infra-estruturas essenciais à actividade agrícola na RDD.

### **3.2 RELEVO METASSEDIMENTAR**

O segundo sector geomorfológico da RDD, e largamente dominante, é talhado por rochas vulgarmente designadas de metassedimentares, provenientes do complexo xisto-grauváquico. O tipo de substrato geológico, em conjunto com a dinâmica tectónica conferiu a este sector características particulares, nomeadamente no carácter expressivo da fracturação ao longo do vale e em especial o encaixe vigoroso do rio Douro.

Este sector sofre a influência directa da actuação da erosão, derivando da influência da erosão diferencial e da tectónica activa. É caracterizado pela existência de vertentes escarpadas, no Douro superior, com a presença de abruptos rochosos, e a jusante desta área, pela existência

de vertentes mais regularizadas, formando extensos interflúvios, degradados nas margens, pelo entalhe da rede hidrográfica nas vertentes, particularmente nas sub-bacias do Douro Internacional, Côa e Sabor.

No que respeita ao declive, estes são mais vigorosos juntos às margens do Douro e dos seus afluentes, diminuindo à medida que aumentam as altitudes, onde encontramos sectores arrasados e mais aplanados. Destaca-se o facto das vertentes, junto ao Douro terem sofrido uma forte intervenção antrópica, como forma de adaptação das actividades agrícolas ao relevo vigoroso deste sector.

No geral, a existência de formações superficiais relevantes é quase nula, à excepção de alguns fundos de vale ou depressões colmatadas por coluviões e aluviões.

Ao longo dos principais afluentes, desenvolve-se um forte encaixe da rede hidrográfica, com a presença de estrangulamentos e gargantas, dando a origem a escarpas vigorosas talhadas em rocha sã. A rede hidrográfica é fortemente marcada pela tectónica e apresenta um carácter denso e rectilíneo, marcados pela adaptação à dureza da litologia. Em termos morfológicos, caracteriza-se por perfis longitudinais vigorosos com várias rupturas de declive originando ressaltos hidráulicos significativos, o que se traduz numa morfologia fluvial alternando diferentes tipos de encaixe e num elevado índice de meandrização. A morfologia fluvial confere um carácter fluvio-torrencial aos principais afluentes que originam o abarrancamento das vertentes muito inclinadas e perfis transversais assimétricos.

No que respeita aos aspectos morfoestruturais, encontramos frequentemente planos de xistosidade conformes ao declive da vertente, funcionando como um factor condicionante de forte instabilidade. Vulgarmente são marcados por contactos descontínuos entre as formações superficiais e o substrato rochoso que é na sua grande maioria muito impermeável, o que dificulta a infiltração. Esta situação é favorável ao desencadeamento de movimentos de vertente, uma vez que as formações superficiais se encontram muito expostas e num plano favorável ao seu deslizamento.

Neste sector desenvolve-se um vasto complexo metassedimentar, constituído por diferentes unidades geológicas subdivididas em várias formações de conjunto e colmatadas/intercaladas por depósitos de cobertura de diferentes naturezas.

As principais sub-unidades geológicas que constituem este sector são a formação da Desejosa, a formação das Bateiras, a formação do Pinhão e a formação da Ervedosa do Douro.

A formação da Desejosa desenvolve-se transversalmente ao longo de toda a RDD. É uma formação alóctone, talhada em xistos e metagrauvaques dispostos em bancadas e intercalados por filitos e pelitos. Em termos de espessura, pode atingir os 250 m.

A formação das Bateiras é uma formação autóctone, desenvolve-se na parte central da RDD. É constituída por metaturbiditos, com forte presença de filitos negros intercalados por metagrauvaques, calcários cristalinos e calco-xistos. Esta formação é uma formação de contacto com os granitos hercínicos que as precedem. Pode atingir uma espessura até os 450 m.

A formação da Ervedosa do Douro, é igualmente uma formação autóctone, é fortemente marcada pela presença de filitos, quartzo-filitos e metagrauvaques podem ainda encontra-se pequenos afloramentos de microconglomerados. Nas áreas de contacto com os granitóides, o metamorfismo de contacto originou a formação de micaxistos, muito resistentes. Esta formação pode ter uma espessura compreendida entre os 300 e 350 m.

A formação do Pinhão, desenvolve-se igualmente por toda a RDD, todavia com menor relevância. É uma formação alóctone e é caracterizada pela presença de metagrauvaques com o predomínio de filitos quartzosos. É uma formação de contacto com os granitos que a antecedem e a formação da Desejosa, através de falhas tectónicamente activas, que originaram por seu turno a formação por metamorfismo de contacto de micaxistos. Esta formação desenvolve-se numa espessura que pode atingir os 350 m.

Existe uma regularidade da presença de filitos e pelitos em todas as formações metassedimentares. Esta característica ajuda a explicar alguns dos movimentos de vertente presentes na área, sobretudo os fluxos. Os pelitos são rochas detríticas marcadas pela forte presença de argila e siltite. A presença de argila desenvolve características hidromecânicas particulares nestas formações, levando sobretudo a uma acelerada saturação hídrica, uma vez que atingem rapidamente o volume máximo de armazenamento e por outro lado, a presença de água leva à expansão das partículas que aumentam quer a dimensão mas sobretudo o peso destas formações, ocasionando a sua movimentação.

No que respeita aos depósitos de cobertura é importante destacar a presença de cascalheiras poligénicas, arenitos, argilas e arcoses. Apresentam uma consistência pouco coerente, são heterométricas, podendo alternar entre níveis mais grosseiros, arenitos e conglomerados e os níveis mais finos, argilas e siltites. Pode ainda encontrar-se, alguns depósitos de vertente, constituídos por materiais detríticos, com fragmentos quartzíticos. A sua espessura é variável, no entanto desenvolvem-se sobretudo nas bases das vertentes mais declivosas. Ao longo da falha da Vilariça, podemos encontrar depósitos com texturas mais grosseiras, variando entre calhaus e blocos de quartzo, muito angulosos colmatados por uma matriz arenosa.

Relativamente às cascalheiras, derivam de diferentes processos, destacando-se numa primeira fase, a meteorização mecânica que estão sujeitos os quartzitos, sobretudo pela termoclastia e bioturbação e posteriormente por efeito da gravidade nas vertentes.

Por, último destaca-se a presença de aluviões ao longo sobretudo dos principais afluentes do Douro, sendo constituídos sobretudo por areias, argila e materiais derivados das cascalheiras de pequena dimensão.

Os movimentos de vertente mais comuns neste sector são os fluxos de detritos. Esse tipo de processos desencadeia-se ao longo das vertentes, marcadas por formações metassedimentares.

O comportamento hidrológico destas vertentes, encontra-se modificado pelas práticas agrícolas (socalcos), que impedem o normal escoamento superficial. Este factor é agravado pelo forte teor de argila destes solos, que conduz à impermeabilização dos mesmos. O escoamento passa a ser concentrado e utiliza os pequenos espaços intersticiais ou fissuras para promover a infiltração, por seu turno, criam tensões desiguais no sistema de vertente, que satura facilmente e induz a tensão tangencial, uma vez que a circulação hídrica é dificultada pelo tipo de substrato litológico.

As formações superficiais que suportam os socalcos (detríticas e de reduzida espessura), encontram-se pouco compactadas devido à remobilização fomentada pelas práticas agrícolas, o que origina a rápida saturação destes solos e altera a sua estabilidade na vertente. Aliado aos contactos discordantes com a rocha sã promove a movimentação parcial ou total de toda a camada superficial. Estes movimentos de vertente são muito frequentes no sector

metassedimentar, e originam graves perdas financeiras, uma vez que arrasam os muros de suporte dos socalcos que suportam a vinha.

Neste sector, os fluxos de detritos, assumem um carácter ainda mais destrutivo, uma vez que as características geomorfológicas subjacentes, por si só já representam um factor de instabilidade, que aliadas à intervenção antrópica, designadamente com a alteração do perfil natural das vertentes (construção de patamares), promovem a acumulação de água que em conjunto com as precipitações intensas de curta duração, originam movimentações que podem percorrer centenas de metros a velocidades elevadas, com alto carácter destrutivo, não sendo deste modo possível a sua previsão.

Os desabamentos são outro tipo de movimento de vertente que ocorrem com frequência neste sector. Estes caracterizam-se pela queda brusca de uma parte de uma vertente, com a deslocação de solo ou rocha. A maioria dos casos registados ocorre em áreas de socalcos, com a ruptura total ou parcial dos muros de suporte. Esta movimentação é causada essencialmente pela saturação hídrica na base dos socalcos, que muitas das vezes se encontram em contacto directo com a rocha sã o que impede a infiltração/circulação da água. A saturação dos materiais detríticos aumenta substancialmente o peso dos materiais levando à cedência dos muros por falta de sustentação.

A conjugação dos dois tipos de movimentos de vertente anteriormente descritos dá origem a movimentos complexos, que em algumas situações podem desenvolver-se ao longo de dias com fases poligénicas diferenciadas e com factores condicionantes distintos. Todavia, realça-se sempre o facto da precipitação ou de grandes quantitativos de água (derivados da ruptura de condutas, tanques ou outras infra-estruturas hidráulicas), serem um importante factor desencadeante da instabilidade de vertentes nestes sectores.

Simultaneamente, é frequente a ocorrência de processo fluviais extremos (cheias repentinas), nos pequenos cursos de água que atravessam as povoações que se foram desenvolvendo ao longo das vertentes. Estes processos, normalmente têm como consequências avultados danos, com a destruição total ou parcial de infra-estruturas (canais de escoamento pluvial), sobretudo aquelas que foram mal dimensionadas tendo em consideração as precipitações médias na Região. Estas interações entre o meio físico e as actividades antrópicas aumentam consideravelmente a velocidade do escoamento, causado pela impermeabilização dos canais, o que a jusante se traduz num incremento da erosão basal e por outro lado acumulação

excessiva dos materiais transportados, podendo dar origem aos processos geomorfológicos anteriormente descritos.

Os processos hidrológicos assumem na RDD uma importância relevante e actuam muito como factor desencadeante dos movimentos de vertente, como já foi explicado, mas deve-se também em grande parte à quase inexistência de áreas de infiltração. As cabeceiras de linhas de água, designadamente as de 1ª e 2ª ordem, encontram-se na sua maioria desprovidas de vegetação e de coberto vegetal, que desempenha um factor elevado de retenção de água e de minimização do impacto torrencial das precipitações, existindo necessidade de conservação e expansão destes espaços.

Nas áreas onde ocorrem afloramentos rochosos ou as vertentes são mais escarpadas, ocorrem, por vezes, outros processos de vertente, designados por toppling a que se associa a queda de blocos. Estes desencadeiam-se sobretudo devido ao efeito da gravidade, que podem ter como origem, a erosão basal do substrato que os sustenta ou mecanismos de meteorização química ou mecânica. Estes movimentos de vertente, podem ocorrer igualmente no sector dos granitóides, todavia, tem maior expressão no sector metassedimentar. Apesar de menos frequentes, estes processos podem causar danos gravíssimos ou comportar implicações directas no normal funcionamento das infra-estruturas, sobretudo as ferroviárias, facto constantemente verificado ao longo da linha do Douro.

A intervenção antrópica nas vertentes do Douro, executada da forma tradicional, contribui para a conservação dos solos não expostos à erosão, designadamente pela construção dos socalcos. Estas práticas juntamente com a organização da drenagem (hidráulica agrícola) contribuem para a correcta utilização das vertentes, particularmente os pequenos canais de drenagem paralelos às curvas de nível e que desviam a água do centro dos socalcos, não permitindo desta forma a concentração e saturação dos mesmos. Todavia, estas práticas tendem a ser abandonadas, com a introdução da vinha ao alto, com a destruição dos muros (que exigem grandes custos de manutenção), das estruturas de drenagem e com a construção de caminhos de acesso em áreas de fortes declives, o que incrementará o grau de susceptibilidade a movimentos de vertente de uma forma acelerada. Nos novos sistemas de armação do terreno são construídas estruturas de drenagem, cuja eficácia é questionável. Em muitos casos, estas não seguem as linhas de drenagem antigas, são colocadas ao longo das curvas de nível e/ou são subdimensionadas, fazendo com que os caminhos agrícolas funcionem como linhas artificiais de escoamento quando ocorrem precipitações extremas.

### **3.3 A IMPORTÂNCIA DA PRECIPITAÇÕES NA INSTABILIDADE DE VERTENTES**

O principal factor desencadeante dos movimentos de vertente nesta área é a precipitação. A presença de água no solo e subsolo em grandes quantidades é uma das condições fundamentais ao aumento da tensão tangencial, na medida que as características iniciais dos materiais são fortemente alteradas, passando do estado sólido ao estado fluído-viscoso, o que permite a sua movimentação sob efeito da gravidade.

A análise dos valores de precipitação é fundamental no estudo dos movimentos de vertente, uma vez que nos permite compreender não só a sua distribuição, mas sobretudo a sua concentração. A RDD é marcada por um regime pluviométrico vigoroso com registos de precipitações médias anuais na ordem dos 825 mm, sendo que em alguns locais, sobretudo próximos da Serra do Marão estes valores possam atingir os 2500 mm. Este dado é fundamental, uma vez que ajuda a explicar a abundância de água nas vertentes, sobretudo durante o período chuvoso. Porém, por si só, não é suficiente para gerar movimentações nas vertentes. Assim, a partir destes dados é necessário analisar as séries de precipitações de longa duração e os qualitativos acumulados no sentido de compreender os limiares empíricos de intensidade/duração de precipitação para o desencadeamento de fluxos de detritos e deslizamentos.

Por outro lado, torna-se fundamental o estudo das precipitações intensas de curta duração. Estes registos ajudam a compreender, não só o momento de desencadeamento do processo, mas também a variabilidade de ocorrência de processos hidrológicos e geomorfológicos em simultâneo. Isto acontece, decorrente da concentração em curtos espaços de tempo de elevados valores de precipitação, que não permitem às vertentes responderem eficazmente em todas as fases do ciclo hidrológico, sobretudo na fase de escoamento e infiltração. Existem vários exemplos na RDD, deste tipo de processos, muitos deles ocorridos no ano hidrológicos de 2001/2002, tal como os movimentos de Ariz e Alvações do Corgo.

Por último, interessa realçar, o papel das situações sinópticas no desencadeamento dos movimentos de vertente, em especial em situações meteorológicas caracterizadas por depressões muito cavadas (com uma descida acentuada da pressão no centro mecanismo depressionário), localizadas sobre o Oceano Atlântico. Estas situações são pautadas por superfícies frontais dominantes, carregadas de ar com forte teor de humidade, dotadas de

grandes quantitativos de vapor de água. A conjugação destes factores em confluência com o relevo acentuado da RDD, desencadeiam precipitações muito intensas e concentradas, com forte instabilidade do ar podendo os ventos atingir velocidades na ordem dos 130km/h.

A ocorrência destas situações, desencadeia uma série de processos hidro-geomorfológicos, com especial ênfase para as vertentes expostas e vales encaixados, onde muitas das vezes canais de escoamento intermitente transformam-se em canais de escoamento torrencial.

#### **4. CONCEPÇÃO E VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA DE ZONAMENTO DA SUSCEPTIBILIDADE A MOVIMENTOS DE VERTENTE**

De acordo com os objectivos e natureza deste projecto, a equipa de trabalho formulou um conjunto de procedimentos que permitiram a elaboração de cartografia de susceptibilidade a erosão por movimentos de vertente. O trabalho decorreu das seguintes etapas:

- Pesquisa de ocorrências de movimentos de vertente na área de estudo em bases de dados pré-existentes no sentido de estruturar elementos que permitam a validação da cartografia final por cálculo da taxa de sucesso.
- Foram adquiridos dados cartográficos em colaboração com as entidades participantes no SUVIDUR (altimetria, litologia, usos do solo) e convertidos para modelação espacial em Sistemas de Informação Geográfica. Não foi possível obter, até ao momento os sistemas de armação do terreno em formato shapefile. Esta informação é essencial para diminuição do grau de incerteza da modelação da susceptibilidade a movimentos de vertente.
- Processamento do Modelo Digital de Elevação, derivado das curvas de nível, da cartografia militar com uma equidistância de 10 metros. A partir daqui foram derivados os declives. As unidades morfológicas foram derivadas do Modelo Digital de Elevação e dos Ortofotomapas do IGP, à escala 1:5000.
- Definição de critérios heurísticos de zonamento da susceptibilidade a movimentos de vertente (Quando 1). A classificação da susceptibilidade a movimentos de vertente foi elaborada, tendo em conta a ponderação de vários factores (uso do solo, litologia, declives e unidades morfológicas), adaptados à escala de trabalho 1: 50 000. A susceptibilidade a movimentos de vertente resulta da identificação da dinâmica geomorfológica conhecida para os vários sistemas geomorfológicos. A produção dessa cartografia em ambiente SIG utiliza a noção de unidades territoriais relativas à geomorfologia no sentido de determinar diferente susceptibilidade natural. Essas unidades podem sofrer a ponderação de alguns factores diferenciadores á escala média tal como são a litologia e os declives. Os primeiros permitem identificar os zonamentos mais propícios ao desenvolvimento de níveis de estabilidade (diferenciam o conjunto de forças de atrito ao nível das vertentes). Os segundos permitem

identificar os sectores mais susceptíveis de desencadear processos de instabilidade (diferenciam diferentes graus de importância das forças tangenciais).

Factor Condicionante	Classe	Ponderação da Susceptibilidade
<b>Declives</b>	<5	0,15
	5 a 10	0,3
	10 a 15	0,45
	15 a 20	0,6
	20 a 25	0,75
	25 a 30	1
	>30	1
<b>Litologia</b>	Granito de grão grosseiro a médio, porfiróide de duas micas	0,8
	Granito de grão médio de duas micas	0,8
	Granito de grão médio a grosseiro com esporos megacristais, de duas micas	0,8
	Granito de grão médio, às vezes porfiróide, moscovítico, com turmalina e/ou sulfuretos e/ou fosfatos	0,8
	Granito e granodiorito porfiróide de grão médio a grosseiro, essencialmente biotíticos	0,8
	Filões e massas de aplitos	0,4
	Filões e massas de aplopegmatitos	0,4
	Formação de Desejosa: filitos cloríticos com níveis de metassiltitos e metagrauvaques	1
	Formação de Desejosa: metagrauvaques carbonatados	1
	Formação de Desejosa: quartzitos	0,8
	Formação de Pinhão: filitos, quartzofilitos cloríticos e metagrauvaques	1
	Formação de Rio Pinhão: metagrauvaques e filitos cloríticos	1
	Formação de Pardelhas: xistos ardósiferos, xistos carbonosos com intercalações de metassiltitos na base	0,6
	Formação do Quartzito Armoricano: quartzitos superiores, Xisto intermédios e quartzitos inferiores	0,8
	Formação de Quinta da Ventosa: quartzofilitos com intercalações de metarenitos	0,8
	Plano de água	0
	Cascalheiras poligénicas, arenitos e argilas (terraços fluviais)	0,4
	Formação de Campanhó/Ferradosa: xistos negros carbonosos	0,8
	Areias e cascalheiras fluviais	0,4
	Aluviões actuais	0,4
Brechas	0,8	
Depósitos de vertente e/ou eluviões	0,8	
Filões de quartzo	0,4	
<b>Unidades Morfológicas</b>	Interflúvios	0,5
	Vertentes controladas pela tectónica	1
	Planície de Inundação	0
	Abruptos Rochosos	1
	Vertentes Dissecadas pela Rede Hidrográfica	0,8
<b>Usos do Solo</b>	Vinhas	0,8
	Agricultura com esporos naturais e semi-naturais	0,4
	Florestas abertas, cortes e novas plantações	0,4
	Florestas mistas	0,4
	Planos de água	0
	Sistemas culturais e parcelares complexos	0,4
	Tecido urbano descontínuo	0
	Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	0,4
	Florestas de resinosas	0,4
	Olivais	0,4
	Vegetação herbácea natural	0,4
	Matos	0,4
	Vegetação esparsa	0,4
	Florestas de folhosas	0,4
	Pomares	0,4
	Tecido urbano contínuo	0
	Culturas temporárias de sequeiro	0,4
Cursos de água	0	

Quadro 1 - Factores condicionantes e respectiva ponderação heurística da susceptibilidade.

- Modelação da susceptibilidade em ambiente SIG, segundo métodos heurísticos. Deste processo de inter-relacionamento da cartografia resultaram quatro classes de susceptibilidade que variam entre Fraca e Muito Forte.
- O zonamento proposto da susceptibilidade foi validado com recurso aos registos de grandes movimentos de vertente existentes na Base de Dados de Movimentos de Vertente da Região Norte (Pereira 2009).
- É de salientar, que a introdução dos sistemas de armação de terreno (em shapefile) na modelação da cartografia seria fundamental para um maior detalhe da cartografia final, mesmo tratando-se da escala 1:50000.

## 5. RECOMENDAÇÕES DE MINIMIZAÇÃO/MITIGAÇÃO DOS RISCOS ASSOCIADOS À SUSCEPTIBILIDADE A MOVIMENTOS DE VERTENTE NA RDD.

As tarefas relacionadas com a identificação e definição das boas práticas preventivas de instabilidade de vertentes centram-se em dois pontos fundamentais: os sistemas de drenagem eficazes e a avaliação das condições de instalação de estruturas de suporte ao plantio da vinha (muros de pedra em seco ou taludes em terra). O relacionamento entre estes dois tipos de elementos conduz a uma multiplicidade de situações que podem potenciar, tanto a estabilidade como o desencadeamento de movimentos de vertente. Para que se proceda a uma cabal definição de boas práticas há que desenvolver um conjunto de procedimentos que transportem a análise para a escala de muito detalhe, só assim compatível com a actividade sobre o terreno.

Propõe-se, assim, que se considerem o conjunto dos seguintes pontos:

### Geral

- **Constituir/reforçar a análise do risco como elemento de decisão** no âmbito do Ordenamento do Território;
- Reavaliar os **Planos Municipais de Emergência**, promovendo a sua **interligação com outros instrumentos de planeamento** e consolidando as competências técnicas e materiais da sua intervenção;
- **Estudar pormenorizadamente as vertentes onde existam formações superficiais** (não há cartografia deste parâmetro que possa ser integrado na avaliação da susceptibilidade) tanto do ponto de vista da sua distribuição espacial como das características lito-sedimentológicas, designadamente nos contextos caracterizados pela existência de depósitos superficiais ou de mantos de alteração (com espessura muito variável, no caso dos granitóides);
- Promover a **cartografia inter-escalar da susceptibilidade a mecanismos de ruptura do tipo flow-slide** ou de outros que possam ser considerados igualmente importantes para o desencadear de condições de instabilidade nas vertentes;
- **Construir modelos de previsibilidade temporal/espacial** de ocorrência de movimentos de vertente, assim como a sua actualização e avaliação de soluções técnicas adequadas;

### Organizativo

- **Promover e sensibilizar as populações** e respectivas organizações para uma consciência do risco (identificando casos de instabilidade), para que desenvolvam

**comportamentos de coexistência com a dinâmica do meio físico** mitigando as consequências que daí possam advir;

- **Elaborar uma base de dados uniformizada e completa para o registo de ocorrências** de movimentos de vertente, que estabeleçam elementos informativos da organização e prevenção dos mesmos;
- Constituir uma **rede meteorológica na RDD como elemento base informativo de forma a concretizar mecanismos de alerta e previsão**, potenciando informação já disponível instalada para outros fins;
- Criar e desenvolver um **Sistema de Informação Geográfica a nível da RDD** capaz de organizar, compilar, analisar e gerir toda a informação relativa à susceptibilidade de movimentos de vertente;

### **Interventivo**

- **Realizar o zonamento** das áreas sujeitas a perigo de instabilidade de vertentes e definir os respectivos usos compatíveis a **escalas de grande pormenor**;
- **Identificar os locais de instabilidade de vertentes** responsáveis por situações de risco declarado em áreas urbanas e definir as medidas para a sua estabilização/sustentabilidade;
- **Realizar a cartografia de pormenor da susceptibilidade e da vulnerabilidade** a movimentos de vertente;
- Assegurar a manutenção de muros de suporte de pedra em seco dos terraços agrícolas, **conservando as estruturas de drenagem tradicionais**, prevenindo os processos morfodinâmicos activos nas vertentes que podem originar movimentos de vertente;
- **Fazer o levantamento sobre o terreno e acompanhamento e monitorização das situações mais críticas** com implicações ao nível das populações e propor soluções para minimizar os eventuais danos decorrentes da dinâmica natural;
- Criar ou **manter estruturas de drenagem tradicionais orientadas segundo o declive** e criar **estruturas de drenagem dos patamares agrícolas com taludes em terra que drenem para fora das áreas côncavas e até à base das vertentes** impedindo processos de concentração hídrica;
- Promover o **levantamento detalhado da avaliação das condições de estabilidade decorrentes da aplicação dos métodos de intervenção ajustados a cada exploração agrícola** previamente ao processo de intervenção.
- **Identificar/Avaliar o relacionamento dos factores hidro-geomorfológicos** (sistemas de drenagem e sistemas de contenção) ao nível das explorações agrícolas que pretendam alterar os sistemas de cultivo;

- **Elaborar um manual de boas práticas/procedimentos hidro-geomorfológicos na RDD** para a prevenção de movimentos de vertente ao nível da exploração agrícola (livro de bolso/campo).
- Elaborar e divulgar **fichas de monitorização** dos sistemas de drenagem e dos sistemas de contenção que permita ao agricultor avaliar por antecipação os potenciais problemas de instabilidade. A divulgação deve ser acompanhada de informação/formação específica sobre o tema junto dos agentes e proprietários.
- Desenvolver um **estudo de avaliação dos impactes da estrutura dos socalcos ou de patamares sem estruturas de suporte na estabilidade** morfodinâmica das vertentes; avaliar em cada intervenção quais as implicações hidro-geomorfológicas de instalação das estruturas de suporte ou da sua ausência. Esta avaliação deverá incidir em etapas temporais diferentes: em sede de projecto, em fase de concretização de obra e na fase de monitorização posterior.
- Apoiar a **criação de modelos laboratoriais** para a simulação e avaliação da instabilidade das condições **das estruturas projectadas numa intervenção**.

#### **Nota final.**

A extrema diversidade de situações potencialmente desencadeantes de movimentos de vertente determina que a avaliação dos processos de concentração e saturação dos solos deva ser feita a escalas muito detalhadas. Esse facto, implica que a avaliação da instabilidade se faça a escalas de grande detalhe. A cartografia agora apresentada dá indicações importantes sobre os sectores a privilegiar. As áreas são extensas o que perspectiva um trabalho extenso e de longo prazo.

#### **A curto prazo afigura-se essencial garantir:**

- a) **Bons sistemas de drenagem ao longo de toda a vertente.**
- b) **Evitar todo o tipo de concentração de drenagem ao longo das vertentes.**
- c) **Instalação de sistemas de drenagem dispostos de forma a que a sua eficácia seja permanentemente monitorizável (observação directa sobre o terreno).**
- d) **Drenar as áreas côncavas das vertentes.**
- e) **Não desenvolver processos de transferência da drenagem entre bacias hidrográficas de 1ª ordem.**
- f) **Avaliar a importância dos sistemas de drenagem e dos caminhos rurais que atravessam várias bacias hidrográficas nos processos hidrológicos.**
- g) **Identificação de indícios de (ins)estabilidade (por exemplo: deformações de muros, identificação de fendas no terreno, inclinações de estruturas de suporte da vinha, ...).**

- h) Avaliar as propriedades (textura, coesão, plasticidade, resistência ao corte, ...) das diversas formações que suportam as estruturas de contenção.**
- i) Fazer a drenagem dos materiais que suportam a base das estruturas de contenção dos socalcos.**
- j) Garantir sistemas de drenagem nas próprias estruturas de contenção, tanto na base de implantação como em toda a sua extensão.**
- k) Não instalar estruturas de contenção sobre materiais de forte componente argilosa, sobretudo em áreas de forte declive. Em alternativa garantir, por intervenção programada/estudada, que esses materiais não serão objecto de um processo de saturação, o que implica uma avaliação dos processos de infiltração e fluxo interno da água no local.**
- l) Garantir a avaliação das condições hidro-geomorfológicas de estabilidade antes, durante e pós projecto de intervenção.**

## **6. CONCLUSÃO**

Os últimos estudos sobre os movimentos de vertente elaborados na Região do Douro têm vindo reforçar o conhecimento da sua dinâmica, mas tendem sobretudo para a fundamentação dos mecanismos de prevenção a aplicar. É imperativo o conhecimento das formações superficiais, da distribuição espacial das diversas componentes das formações metassedimentares, das precipitações e da hidrologia de vertentes na caracterização da susceptibilidade a movimentos de vertente. Esse trabalho de análise e avaliação deve ser permanente, designadamente na RDD onde as novas tendências de reorganização da vinha estão a introduzir alterações na dinâmica de vertentes, sobretudo no que respeita ao número e dimensão dos movimentos registados.

A cartografia de susceptibilidade é fundamental na compreensão, previsão e prevenção dos movimentos de vertente, sendo um valioso instrumento no processo de Ordenamento do Território e Planeamento de Emergência, uma vez que possibilita a tradução dos processos por áreas classificadas segundo a classe de susceptibilidade e antecipa a possibilidade de eventuais intervenções que possam minimizar o risco associado.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Almeida, J. R. N. (1990). Vitivinicultura Duriense. Observatório - Revista do Sector de Acção Cultural da Câmara Municipal de V. N. de Gaia. V. N. de Gaia, 1: 17-30.
- Andresen, T. (2006). A paisagem do Alto Douro Vinhateiro: evolução e sustentabilidade. Congreso Homenaje al Douro/Duero y sus ríos. U. d. Salamanca. Zamora.
- Bateira, C. (2006). TERRISC: Recuperação de paisagens de terraços e prevenção de riscos naturais (SUDOE III B). Porto.
- Bateira, C., A. Seixas, et al. (2005). Notícias de Catástrofes do Douro: uma leitura geográfica da dinâmica do meio físico. Douro, Estudos e Documentos (Actas do 2º Encontro Internacional da História da Vinha e do Vinho no Vale do Douro). I: 319-344.
- CCDR-N - Comissão de Coordenação da Região Norte .(2007). Plano Regional de Ordenamento do Território – Relatório Temático – Riscos Extensivos. Porto
- Daveau, S. (1977). Répartition et Rythme des Précipitations au Portugal. Lisboa, Centro de Estudos Geográficos.
- Daveau, S. (2000). Portugal Geográfico. Lisboa.
- Ferreira, A. B. (2004). O Noroeste (Minho e Trás-os-Montes Ocidental). O Relevo de Portugal: grandes unidades regionais. S. D. M. Feio. Coimbra, APGEOM: 111-125.
- Ferreira, A. B. (2004). O Norte da Beira. O relevo de Portugal: grandes unidades regionais. S. D. M. Feio. Coimbra, Associação Portuguesa de Geomorfologias. vol. II: 97-110.
- Ferreira, D. d. B. (2005). O Ambiente Climático. Geografia de Portugal. C. A. Medeiros. Lisboa, Círculo de Leitores. I - Ambiente Físico: 495.
- Ferreira da Silva, A. et al. (1989). Notícia Explicativa da Folha 11-C, Torre de Moncorvo. Carta Geológica de Portugal, escala 1: 50 000 Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal.
- Gomes, M. E. P. and M. L. Plaza (2006). Itinerários geoturísticos: um suporte aos percursos de barco nas albufeiras do Douro Internacional (Arribas do Douro). Congreso Homenaje al Douro/Duero y sus ríos. U. d. Salamanca. Zamora.
- INAG (1999). Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Douro, INAG.
- López-Moro, F. J., López-Plaza, M., Franco, P. , Gomes, E.P. (2005). El control litológico y los cursos de Agua: Las Cascadas del Pozo de los Humus (Salamanca) y Faia da Agua Alta (Bemposta). Encontro Ibérico de Património Geológico. Freixo de Espada à Cinta: 34-37.
- Martin-Serrano, A. (1988). El relieve de la región occidental zamorana. La evolución geomorfológica de un borde del Macizo Hespérico. Zamora, Instituto de Estudios Zamoranos “Florian de Ocampo”.
- Pereira, D. (2004). Dos aspectos gerais a algumas particularidades da geomorfologia do Nordeste Transmontano e Alto Douro. In , Geomorfologia do Noroeste da Península Ibérica. A. G. M. Araújo. Porto, Faculdade de Letras da Universidade do Porto.: 71 - 91.
- Pereira, S. (2009). Perigosidade a movimentos de vertente na região Norte de Portugal Porto, Universidade do Porto. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física apresentada na Faculdade de Letras da Universidade do Porto: 354.

- Ribeiro, A. (2004). O Nordeste (Trás-os-Montes Oriental). O relevo de Portugal: grandes unidades regionais. S. D. M. Feio. Coimbra, Associação Portuguesa de Geomorfologia. II: 127-131.
- Sousa, Bernardino de, M.; e Sequeira, A.(1989). Noticia Explicativa da Folha 10-D, Alijó. Carta Geológica de Portugal, escala 1: 50 000 Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal.
- Zêzere, J. L. (1997). Movimentos de Vertente e Perigosidade Geomorfológica na Região a Norte de Lisboa. Lisboa. Dissertação de doutoramento em Geografia Física apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa.
- Zêzere, J. L. (2000). Rainfall triggering of landslides in the North of Lisbon. Landslides in Research: Theory and Practice 3. N. D. B. E., & I. M. London, Thomas Telford: 1629-1634.