

Deliverable E 2.1.2: Relatório técnico suscetibilidade / perigosidade

**A deliverable of GT2: Cartografia de risco para o ordenamento do
território e proteção civil**

Activity 2.1: Cartografia de suscetibilidade / perigosidade

Due date of deliverable: 30/09/2020

Actual submission date: 11/09/2020

Lead contractor for this deliverable: IGOT-ULISBOA

Autores

José Luís Zêzere, Ricardo Garcia, Sérgio Oliveira, Susana Pereira, Raquel Melo, Eusébio Reis, Pedro Pinto Santos



ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	3
2.	MODELO DE AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE VERTENTE	5
2.1.	INVENTÁRIO DE MOVIMENTOS DE VERTENTE.....	5
2.2.	FATORES DE PREDISPOSIÇÃO	7
2.3.	MÉTODO ESTATÍSTICO – VALOR INFORMATIVO (VI).....	9
2.4.	CLASSIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE SUSCETIBILIDADE	10
3.	RESULTADOS - SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE VERTENTE	12
3.1	SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE VERTENTE – AJUSTE DOS MODELOS	12
3.2	SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE VERTENTE – AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE PREDITIVA.....	17
4.	CONCLUSÕES	28
5.	BIBLIOGRAFIA	28

1. INTRODUÇÃO

O GT2 tem por base o desenvolvimento de ferramentas cartográficas de prevenção de riscos para aplicação no ordenamento do território e planeamento de emergência. As principais ferramentas a desenvolver incluem a criação e atualização de cartografia de perigosidade, vulnerabilidade e risco nas regiões costeiras SUDOE, adaptadas a diferentes cenários de risco futuros decorrentes das alterações climáticas.

A Atividade 2.1 - Cartografia de suscetibilidade / perigosidade, do GT 2 do projeto RISKCOAST, tem como objetivo produzir cartografia de suscetibilidade para os perigos relevantes em cada região costeira do SUDOE, identificados com base nos inquéritos e inventários obtidos no GT1, com recurso a métodos de base estatística e/ou determinística.

O principal objetivo do presente relatório técnico (E.2.1.2) é, no caso da bacia do Rio Grande da Pipa (RGP), localizada na região norte de Lisboa (Fig. 1), definir o conjunto de procedimentos necessários para a avaliação da suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertente com base em métodos estatísticos. A instabilidade de vertentes é um dos principais perigos geomorfológicos que afetam a área de estudo (Garcia e Oliveira, 2020).

A cartografia de suscetibilidade baseou-se em métodos de base estatística, selecionados em função dos dados de base disponíveis. A cartografia de perigosidade poderá ser efetuada posteriormente a partir da análise da recorrência temporal do fator desencadeante, ou dos limiares a estabelecer no GT4.

No caso dos modelos de base estatística, os fatores de predisposição mais adequados para a predição espacial de cada tipo de perigo são ponderados por cruzamento com inventários de ocorrências. Os resultados são validados com curvas de sucesso e de predição e computação da AAC (área abaixo da curva). A concordância espacial dos diferentes mapas é avaliada numa comparação *pairwise*.

A coordenação do GT2 é assegurada pela equipa IGOT-ULISBOA que estabelece os procedimentos metodológicos de produção de ferramentas cartográficas de prevenção de riscos. A aplicação destas metodologias às diferentes áreas de estudo será desenvolvida posteriormente por cada um dos beneficiários participantes no GT2. A equipa IGOT-ULISBOA assegura a

cada um dos beneficiários o apoio técnico necessário à aplicação da metodologia proposta.

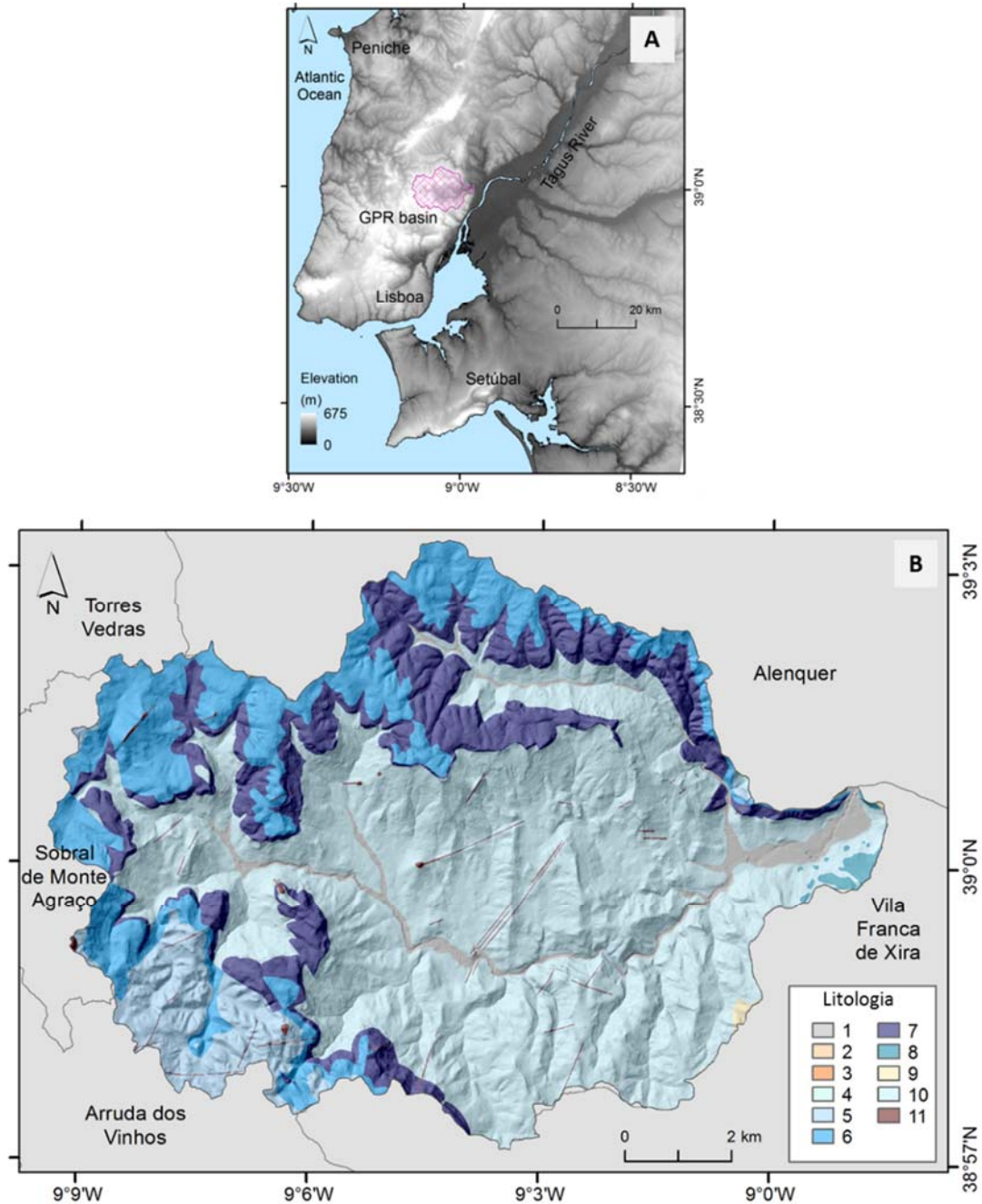


Figura 1 – Enquadramento geográfico da bacia do Rio Grande da Pipa (RGP) (A).
 Distribuição das diferentes unidades litológicas na área de estudo (B): 1 - Aluviões; 2 –
 Calcários com intercalações; 3 – Conglomerados, arenitos e argilas; 4 – Arenitos,
 margas e calcários; 5 – Calcários e margas; 6 – Argilas, arenitos, margas e calcários;
 7 – Calcários corálicos; 8 - Calcários; 9 – Arcoses; 10 – Margas, argilas e arenitos; 11
 – Filões e massas. Adaptado de Zbyszewski e Assunção (1965).

2. MODELO DE AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE VERTENTE

O modelo de avaliação da suscetibilidade a movimentos de vertente está dependente da aplicação de um conjunto de procedimentos estandardizados, esquematizados na Fig. 2, e que são: i) a elaboração de um inventário de movimentos de vertente; ii) a identificação dos fatores de predisposição; iii) a ponderação dos fatores de predisposição; iv) a elaboração do modelo preditivo e classificação do mapa de suscetibilidade; e v) a avaliação do desempenho do modelo, ajuste e capacidade preditiva.

O procedimento metodológico ilustrado é independente do número e do tipo de fatores de predisposição utilizados (variável independente), do tipo de inventário de movimentos de vertente (variável dependente) e do método estatístico de integração. Todas as variáveis são utilizadas na modelação com uma célula de 5 m x 5 m (25 m²).

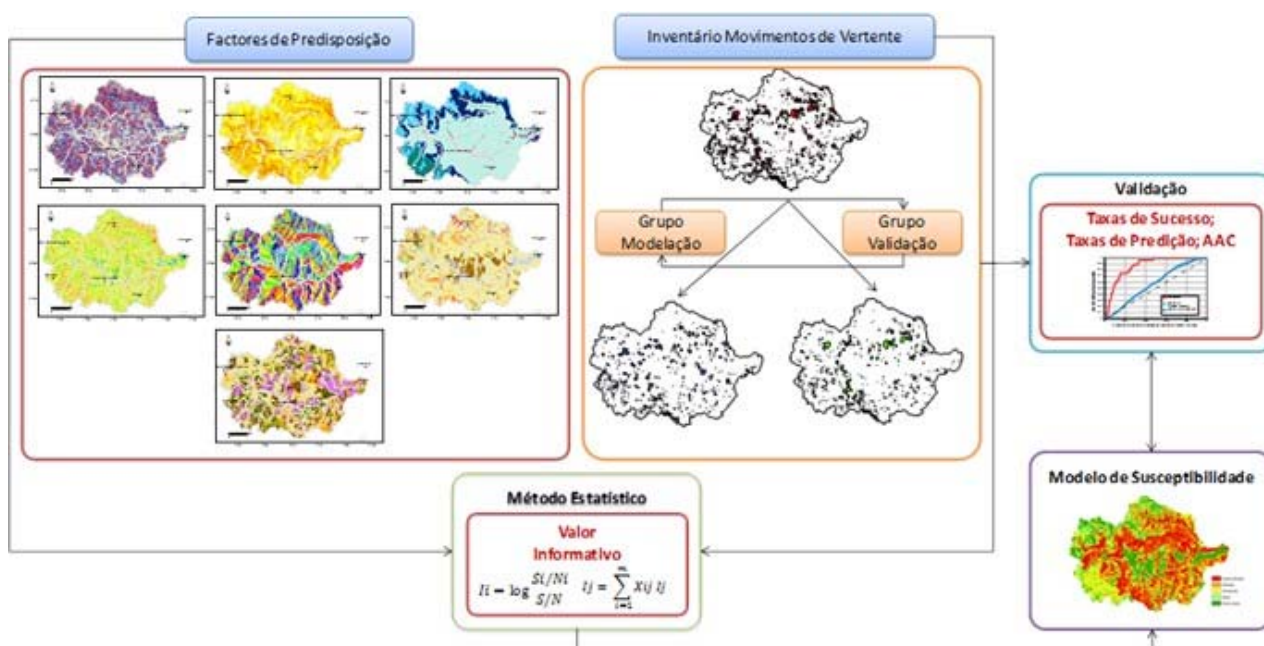


Figura 2 – Esquema metodológico de elaboração e validação de um modelo de suscetibilidade a movimentos de vertente com base em métodos estatísticos.

2.1. INVENTÁRIO DE MOVIMENTOS DE VERTENTE

Na bacia do Rio Grande da Pipa (RGP), foram inventariados 1434 movimentos de vertente (Fig. 3) que correspondem a um total de área instabilizada de 6.484.402 m², cerca de 5,9 % da área de estudo que tem

aproximadamente 110,6 km² (110.574.830 m²) e a uma densidade de 13 movimentos de vertente/km². A densidade expressa pela área instabilizada é de 58.629 m²/km². A dimensão média dos movimentos de vertente é de 4698 m², e a dimensão máxima e mínima dos movimentos de vertente é 262,194 m² e 6,6 m², respectivamente. Na área de estudo foram identificados os seguintes tipos de movimentos de vertente: D) Desabamento; B) Balançamento; R) Deslizamento rotacional profundo; RS) Deslizamento rotacional superficial; RSA) Deslizamento rotacional superficial em talude; T) deslizamento translacional profundo; TS) Deslizamento translacional superficial; TSA) Deslizamento translacional superficial em talude; E) Escoada.

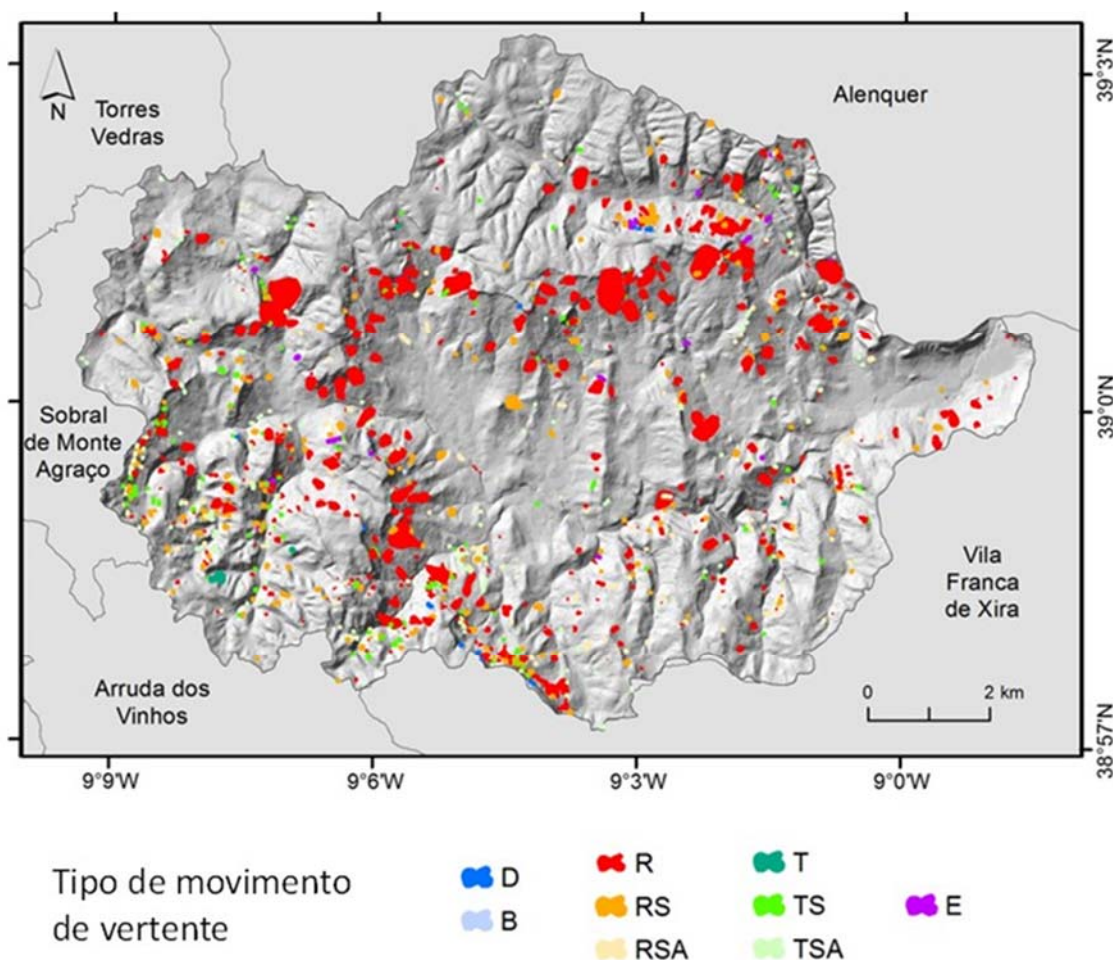


Figura 3 – Inventário com a totalidade dos 1434 movimentos de vertente, separados por tipo de movimento. D) Desabamento; B) Balançamento; R) Deslizamento rotacional profundo; RS) Deslizamento rotacional superficial; RSA) Deslizamento rotacional superficial em talude; T) Deslizamento translacional profundo; TS) Deslizamento translacional superficial; TSA) Deslizamento translacional superficial em talude; E) Escoada.

A cronologia relativa dos movimentos de vertente na bacia do RGP é efetuada por verificação sistemática da presença/ausência dos movimentos nas fotografias aéreas e ortofotomapas disponíveis (Oliveira, 2012). A incerteza relativa à idade absoluta dos movimentos é bastante grande. O grupo mais importante é constituído pelos movimentos anteriores ao início do trabalho de campo em 2006 (quase 600 dos 1434 movimentos de vertente do inventário), seguido dos grupos relacionados com os dois eventos de instabilidade, de 1983 e de 2010, para os quais se obteve um inventário completo para a área de estudo. Alguns movimentos de grande dimensão aparentam ser bastante antigos e não há a garantia de terem sido desencadeados por precipitação (Oliveira, 2012).

2.2. FATORES DE PREDISPOSIÇÃO

A escolha dos fatores de predisposição que geram a instabilidade de vertentes constitui uma tarefa importante na avaliação da suscetibilidade, uma vez que daqueles fatores é esperada a capacidade discriminatória para capturar as condições que geraram a instabilidade dos terrenos no passado e no presente. Estes fatores de predisposição inerentes ao terreno são estáticos, condicionando o nível de instabilidade potencial das vertentes e determinando a variação espacial do grau de suscetibilidade do território à instabilidade (Zêzere, 2005).

A elaboração de um Modelo Numérico de Elevação (MNE) para a bacia do RGP teve por base um conjunto de procedimentos descritos por Reis (2006) com vista à correcção dos erros decorrentes: (i) dos dados de origem; (ii) do método de interpolação, e (iii) dos erros derivados de incorrecções locais. De acordo com Oliveira (2012), foi utilizado um modelo altimétrico à escala 1:10.000, com curvas de nível com uma equidistância de 5 m, e pontos cotados, informação disponibilizada pela Associação de Municípios do Oeste, tendo esse modelo sido devidamente compatibilizado com os dados altimétricos provenientes da Câmara Municipal de Vila Franca de Xira, à mesma escala e igual equidistância entre curvas de nível, para o sector da área de estudo inserido na Área Metropolitana de Lisboa.

Na avaliação da suscetibilidade a movimentos de vertente foram considerados sete fatores de predisposição com relevância regional (Fig. 1; Fig. 4): litologia (ULIT); solos (SOLO); uso e ocupação do solo (USOL), declive (DCV); exposição (EXP); curvatura (CURV); e o inverso do wetness

index (IWI) que na prática é definido nos trabalhos mais recentes como “slope over area ratio”. Os últimos quatro fatores são derivados do MNE referido acima.

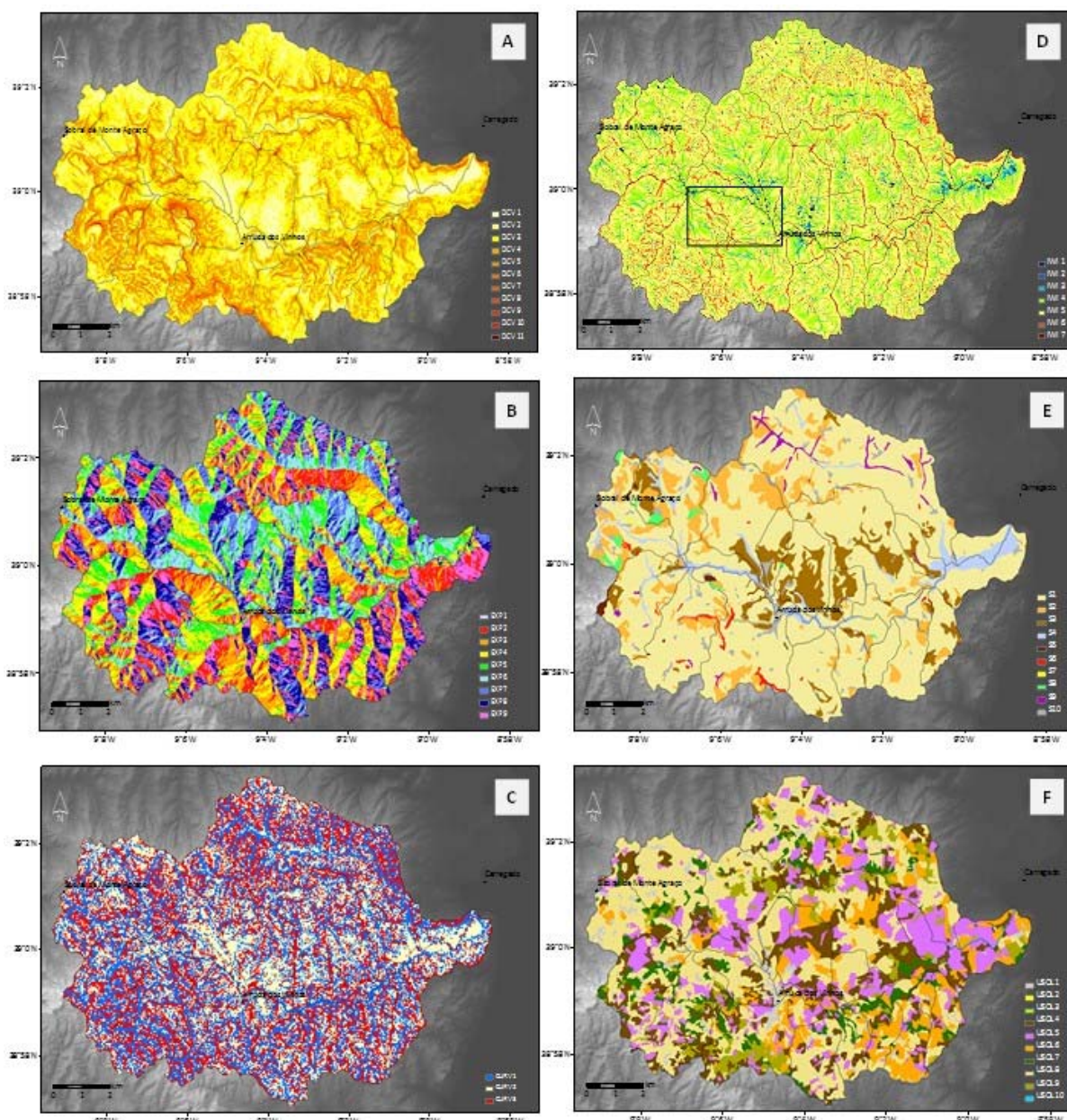


Figura 4 – Fatores de predisposição para a ocorrência de movimentos de vertente, utilizados na bacia do Rio Grande da Pipa: A) Declive (DCV); B) Exposição (EXP); C) Curvatura (CURV); D) Inverso do Wetness Index (IWI); E) Solos (SOLO); e F) Uso e ocupação do solo (USOL).

2.3. MÉTODO ESTADÍSTICO – VALOR INFORMATIVO (VI)

O método estatístico do Valor Informativo (Yin e Yan, 1988; Yan, 1988; Zêzere, 2002), bivariado e de suporte bayesiano, tem sido aplicado com sucesso na área de estudo e na região a norte de Lisboa para avaliar a suscetibilidade a movimentos de vertente (Oliveira et al., 2009; 2015, 2017; Zêzere et al., 2017).

O método do Valor Informativo (VI) descreve quantitativamente a relação entre cada classe de cada variável independente (variável X_i) e um conjunto de movimentos de vertente sob a forma de um *score* (pontuação), obtido pela Eq. 1.

$$I_i = \ln \frac{S_i/N_i}{S/N} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: S_i é o número de Unidades de Terreno (UT) com movimentos de vertente e a presença da variável X_i ; N_i é o número de UT em cada variável X_i ; S é o número de UT com movimentos de vertente na área de estudo; e N é o número total de UT da área de estudo.

O valor final de suscetibilidade é determinado para cada UT (pixel) pela soma do VI obtido para cada uma das variáveis utilizadas como factor de predisposição (Eq. 2).

$$I_j = \sum_{i=1}^m X_{ij} I_j \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: m é o número de variáveis; e X_{ij} é 1 ou 0 consoante a variável está presente ou ausente na UT, respectivamente.

O método do VI permite a quantificação da suscetibilidade por intermédio de um *score* mesmo em áreas (unidades de terreno) ainda não instabilizadas (Zêzere, 2002).

Este método bivariado, de suporte Bayesiano, sustenta-se na transformação logarítmica da razão entre a probabilidade condicionada de encontrar um movimento de vertente numa determinada classe de uma variável (fator de

predisposição) e a probabilidade *a priori* de encontrar um movimento de vertente na totalidade da área de estudo (e.g., Zêzere, 2010).

Apesar da sua base bayesiana, os resultados finais não exprimem um valor de probabilidade (0-1), mas o posicionamento da variável (classe), ou UT, em relação à densidade média. A variável é tanto mais importante para o condicionamento dos movimentos quanto maior for a sua distância ao valor zero (ln 1). Um valor nulo indica que a variável em causa tem uma densidade de movimento idêntica à densidade média registada na área em estudo, pelo que a sua relação com a instabilidade é inconclusiva. As variáveis que têm uma densidade superior à média, indicando maior possibilidade de ocorrência de movimentos, apresentam *scores* de VI positivos, sucedendo o oposto com as variáveis com densidade inferior à média que, como tal, terão *scores* com sinal negativo. A mesma interpretação deve ser efetuada para o VI da unidade de terreno, onde o sinal positivo indica propensão para ocorrência de movimentos de vertente, tanto maior quanto mais elevado o valor do *score*. Os valores de VI negativos caracterizam as áreas menos suscetíveis à instabilidade das vertentes (Garcia, 2012).

2.4. CLASSIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE SUSCETIBILIDADE

Para a classificação dos mapas de suscetibilidade definiram-se os limites de classes de forma a que a classe de suscetibilidade mais elevada tenha a área necessária para validar, no mínimo, 70 % da área deslizada, cumprindo o critério estabelecido nas orientações para a delimitação da figura de “Áreas de Instabilidade de Vertentes” da Reserva Ecológica Nacional (REN). Na Tabela 1 estão expressos os limites que caracterizam as cinco classes de suscetibilidade a adotar neste trabalho, a capacidade preditiva de cada classe e a forma de representação cromática. A designação está de acordo com algumas propostas expressas na literatura (e.g., Baeza e Corominas, 2001).

Tabela 1 – Classes de suscetibilidade a movimentos de vertente, caracterização da capacidade preditiva de cada classe e forma de representação cromática adoptadas para a bacia do Rio Grande da Pipa

Código da classe	Designação	% Acumulada de área deslizada	Capacidade preditiva da classe (%)	Cor
I	Muito Elevada	0-70	70	Red
II	Elevada	70-85	15	Orange
III	Moderada	85-95	10	Yellow
IV	Baixa	95-99	4	Green
V	Muito Baixa	99-100	1	Light Green

Os valores propostos estão igualmente de acordo com a progressão em termos de dimensão da classe verificada em alguns trabalhos de referência (e.g., Blahut et al., 2010), cujos limites das classes são definidos aos 75%, 85%, 95% e 99%).

A avaliação dos mapas de suscetibilidade é efetuada através da computação gráfica de curvas de sucesso/predição (e.g., Chung e Fabbri, 1999; 2003; 2005), onde é demonstrada graficamente em termos percentuais, ou numa escala que varia entre 0 e 1. No eixo das abcissas é definida a área de estudo classificada por ordem decrescente de suscetibilidade e no eixo das ordenadas uma função de distribuição cumulativa da área deslizada. Para a elaboração das curvas de sucesso (ajuste do modelo), o mapa de suscetibilidade é cruzado com os mesmos movimentos de vertente que foram utilizados para treinar o modelo de suscetibilidade. Para a elaboração das curvas de predição (avaliação da capacidade preditiva) o mapa de suscetibilidade é cruzado com os movimentos de vertente que não foram utilizados para treinar o modelo.

A determinação da área abaixo de cada curva de sucesso/predição, adiante designada de Área Abaixo da Curva - AAC, possibilita a avaliação quantitativa da capacidade de ajuste/preditiva global de cada modelo de suscetibilidade (e.g., Bi e Bennett, 2003; Beguería, 2006; Zêzere, 2010) e varia numa escala entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1 for o valor da AAC, maior a capacidade preditiva do modelo. Os valores abaixo de 0,5 evidenciam modelos com uma capacidade de ajuste/preditiva pior que o aleatório, pelo que não devem ser considerados (Bi e Bennett, 2003; Beguería, 2006).

A expressão matemática da AAC é dada pela Eq. 3 (e.g., Garcia et al., 2007).

$$AAC = \sum_{i=1}^n \left[(L_{S_i} - L_i) * \frac{a_i + b_i}{2} \right] \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde, $L_{S_i} - L_i$ é a amplitude de cada classe; a_i é o valor da ordenada correspondente a L_i ; e b_i é o valor da ordenada correspondente a L_{S_i} .

3. RESULTADOS - SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE VERTENTE

Da análise sensitiva efetuada ao número de fatores de predisposição ideal para a avaliação da suscetibilidade a movimentos de vertente na área de estudo, Oliveira (2012) concluiu que a utilização de todos os sete fatores de predisposição considerados neste trabalho, possibilita o aumento da capacidade preditiva dos mapas de suscetibilidade a movimentos de vertente. O autor conclui ainda que quando tal não se verifica, o aumento do número de fatores de predisposição acima do estritamente necessário (entre 1 e 7 fatores) não causa entropia que justifique a necessidade de os excluir.

3.1 SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE VERTENTE – AJUSTE DOS MODELOS

Pela aplicação da Eq. 1, foram determinados os *scores* de VI por cada classe de cada uma das sete variáveis independentes consideradas como fatores de predisposição para a ocorrência de cada um dos diferentes tipos de movimentos de vertente inventariados na bacia do Rio Grande da Pipa (Tabela 2).

Na Fig. 5 são apresentados os mapas de suscetibilidade classificados para cada um dos tipos de movimentos de vertente, elaborados com a totalidade dos 7 fatores de predisposição e aplicação das Eq. 1 e 2. Da análise é possível verificar que os diferentes tipos de movimentos de vertente possuem diferentes padrões de distribuição espacial, que se reflectem em diferentes zonamentos da suscetibilidade.

Tabela 2 – Scores de Valor Informativo (VI), por tipo de movimento, e por classe de fator de predisposição.

	ITotal	R	RS	RSA	TS	TSA
CURV 1	0,17639	0,1764	0,1864	-0,0636	0,2904	0,1657
CURV 2	0,05546	0,0555	-0,1152	0,1107	-0,6263	-0,1872
CURV 3	-0,31457	-0,3146	-0,1143	-0,0580	0,1172	-0,0161
EXP 1	-2,84357	-2,8436	-2,3890	-1,8296	-4,0295	-3,9793
EXP 2	-0,07455	-0,0745	0,7761	0,2215	0,2560	-0,5015
EXP 3	0,14473	0,1447	0,5933	0,2508	0,2593	0,8717
EXP 4	0,11501	0,1150	0,0944	-0,1509	0,5785	0,2612
EXP 5	0,12535	0,1254	-1,0559	-0,1671	-0,6380	-0,2248
EXP 6	0,36991	0,3699	-0,8565	-0,6172	-1,2490	-1,0551
EXP 7	0,10696	0,1070	-0,4733	-0,7751	-0,2887	-0,4463
EXP 8	-0,53649	-0,5365	-0,3256	0,3903	-0,0566	-0,2643
EXP 9	-0,80285	-0,8028	-0,3671	0,3020	-0,2036	-0,2686
DCV 1	-3,11515	-3,1152	-2,3851	-2,6131	-3,5924	-2,4735
DCV 2	-2,37551	-2,3755	-2,1791	-1,7643	-3,2545	-2,7888
DCV 3	-0,10357	-0,1036	-0,4227	-0,4026	-2,7535	-1,1360
DCV 4	0,48809	0,4881	0,4817	0,6181	0,1083	0,2344
DCV 5	0,55433	0,5543	0,9062	0,7234	1,1076	0,7364
DCV 6	0,54832	0,5483	1,0206	0,9408	1,8454	1,5130
DCV 7	0,64725	0,6472	1,0119	0,6905	2,2907	2,3543
DCV 8	0,86663	0,8666	1,1982	0,3763	2,8684	2,8409
DCV 9	1,09187	1,0919	1,3988	0,2981	3,0324	2,3836
DCV 10	1,23217	1,2322	1,0308	-0,2730	2,2442	1,0341
DCV 11	1,26107	1,2611	0,0041	-3,6149	1,3759	-3,9793
ULIT 1	-2,30256	-2,3026	-1,0101	-3,6148	-2,3969	-3,9793
ULIT 2	-5,02720	-5,0272	-2,5520	-3,6149	-4,0295	-3,9793
ULIT 3	-5,02720	-5,0272	-2,5520	-3,6149	-4,0295	-3,9793
ULIT 4	-5,02720	-5,0272	-2,5520	-3,6149	-4,0295	-3,9793
ULIT 5	-1,21195	-1,2120	0,3377	-0,2203	0,3105	0,7684
ULIT 6	-1,70837	-1,7084	-0,5190	0,0799	-0,1219	-0,3701
ULIT 7	-0,12830	-0,1283	-0,4108	-0,7504	0,7007	0,8844
ULIT 8	-0,00801	-0,0080	-1,6304	-3,6149	-4,0295	-0,9108
ULIT 9	-5,02720	-5,0272	-2,5520	-3,6149	-4,0295	-3,9793
ULIT 10	0,32717	0,3272	0,1766	0,1864	-0,2460	-0,4328
ULIT 11	-0,39092	-0,3909	0,9854	0,1009	-1,1016	-2,2163

Tabela 2 (continuação) – Scores de Valor Informativo (VI), por tipo de movimento, e por classe de fator de predisposição.

	ITotal	R	RS	RSA	TS	TSA
SOLO1	0,23275	0,2328	0,1496	0,2099	0,0555	-0,1435
SOLO 2	-0,76394	-0,7639	-0,4412	-2,3897	-0,2067	-1,3703
SOLO 3	-1,43319	-1,4332	-0,2931	-0,4157	-2,1117	-0,9726
SOLO 4	-1,84211	-1,8421	-1,6105	-0,8255	-1,6000	-1,9162
SOLO 5	-1,74476	-1,7448	1,4156	-1,7836	-0,5657	-3,9793
SOLO 6	1,00021	1,0002	0,0757	1,0679	3,0316	3,6797
SOLO 7	-5,02720	-5,0272	-2,5520	-3,6149	-4,0295	-3,9793
SOLO 8	-5,02708	-5,0271	-2,5520	-3,6149	-4,0295	-3,9793
SOLO 9	-1,84532	-1,8453	0,0260	-0,0399	0,9586	-2,0470
SOLO 10	-1,52344	-1,5234	-1,6582	-0,7814	-4,0294	1,3541
USOL 1	-1,33862	-1,3386	-2,5519	0,6234	-2,0839	-0,2720
USOL 2	1,42144	1,4214	-2,5520	-3,6149	-4,0295	6,2922
USOL 3	-5,02720	-5,0272	-2,5520	-3,6149	-4,0295	-3,9793
USOL 4	-0,07412	-0,0741	0,0568	-0,3157	0,1461	-0,1314
USOL 5	0,02128	0,0213	0,1488	-0,2892	-0,5252	-0,4287
USOL 6	-0,25659	-0,2566	0,1727	-0,0802	-0,5856	-1,0836
USOL 7	-0,00701	-0,0070	0,5319	-0,4072	0,9619	-0,9172
USOL 8	-0,03881	-0,0388	-0,3409	0,2782	-0,3098	-0,3532
USOL 9	0,78038	0,7804	0,5105	-0,7898	1,1334	1,1926
USOL 10	-5,02720	-5,0272	-1,7509	-3,6149	-4,0295	-3,9793
IWI 1	-2,01511	-2,0151	-0,9974	-1,2586	-1,2570	-1,2732
IWI 2	-2,12005	-2,1201	-0,9550	-1,8747	-1,0623	-3,9793
IWI 3	-0,34041	-0,3404	-1,2349	-1,3255	-1,2550	-3,9792
IWI 4	0,26110	0,2611	-0,1884	-0,2795	-1,2833	-1,2994
IWI 5	-0,04193	-0,0419	0,1414	0,1424	0,1075	0,1775
IWI 6	-0,25337	-0,2534	-0,0979	0,1426	0,9966	0,8519
IWI 7	0,13793	0,1379	-0,3704	-3,6149	1,5246	-3,9793

NOTA: os valores a vermelho representam as classes de cada variável independente onde não existem movimentos de vertente do tipo (y) e onde não foi possível determinar o valor de VI. O score de VI para esses casos foi definido por um valor uma milésima abaixo do valor mínimo encontrado para esse tipo de movimento de vertente, considerando a totalidade dos factores de predisposição.

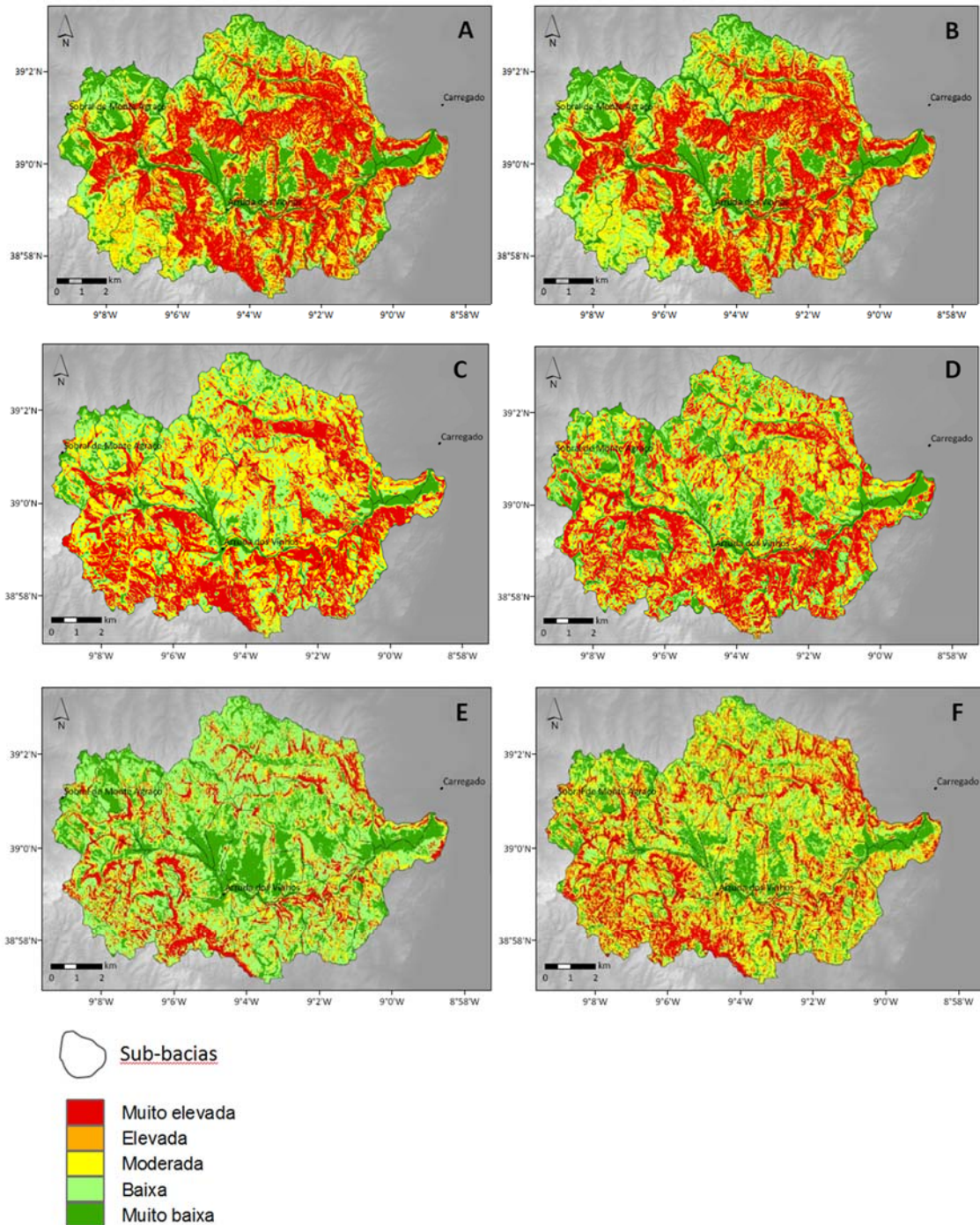


Figura 5 – Mapas de suscetibilidade a movimentos de vertente na bacia do RGP. A) Todos os movimentos de vertente; B) Deslizamento rotacional profundo (R); C) Deslizamento rotacional superficial (RS); D) Deslizamento rotacional superficial em talude (RSA); E) Deslizamento translacional superficial (TS); F) Deslizamento translacional superficial em talude (TSA).

O padrão espacial dos deslizamentos rotacionais profundos (Fig. 5B), assim como o correspondente ao conjunto dos movimentos (Fig. 5A), configura-se nas vertentes talhadas no complexo de margas e argilas. Os deslizamentos rotacionais superficiais (RS e RSA) são mais prováveis em vertentes expostas, grosso modo, ao quadrante Norte e, no caso do sector SE da bacia do RGP, também em vertentes expostas a W e E (Fig. 5C, 5D). Os restantes tipos de movimentos (TS e TSA) estão mais relacionados com áreas declivosas, nomeadamente com as que se caracterizam pela proximidade às cornijas talhadas nos calcários corálicos (Fig. 5E, 5F).

Resultante dos procedimentos de validação, isto é, do cruzamento de cada um dos mapas de suscetibilidade representados na Fig. 5 com os respetivos inventários de movimentos de vertente separados de acordo com o tipo de movimento de vertente (Fig. 2) é possível representar graficamente as curvas de sucesso (fig. 6) e determinar, pela aplicação da Eq. 3, a respetiva AAC (Tabela 3).

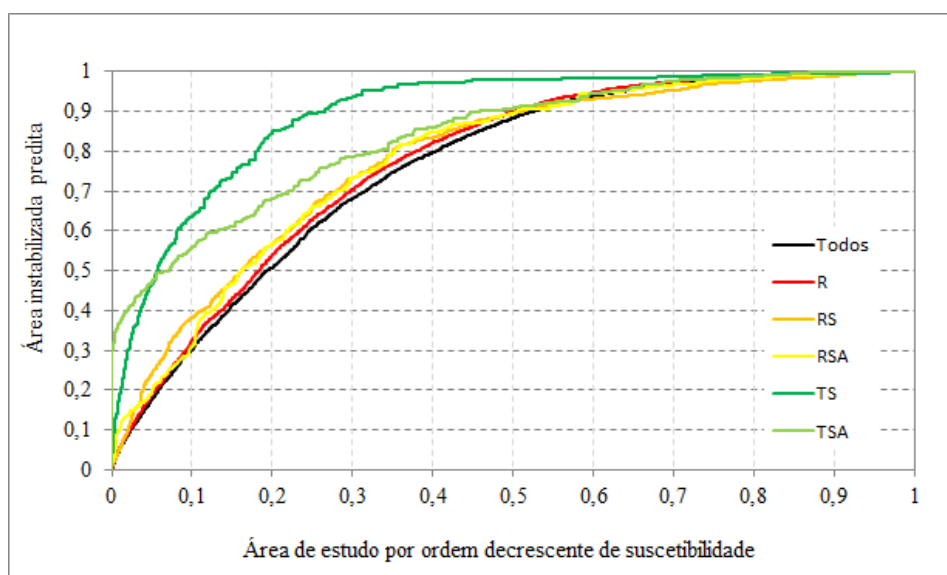


Figura 6 - Curvas de sucesso para cada um dos modelos de suscetibilidade elaborados por tipo de movimento de vertente.

Tabela 3 – Valores de AAC para cada um dos modelos de suscetibilidade elaborados por tipo de movimento de vertente

	Todos	R	RS	RSA	TS	TSA
AAC	0,761	0,773	0,781	0,781	0,896	0,839

Os modelos de suscetibilidade produzidos para a área de estudo apresentam um ajuste aceitável a muito bom em relação aos inventários de movimentos de vertente que lhes deram origem, comprovado pela variação de valores de AAC entre 0,761 e 0,896. O modelo a que corresponde este último valor de AAC traduz-se no modelo com melhor ajuste, explicado neste caso pelo controlo que as áreas mais declivosas têm na ocorrência dos deslizamentos translacionais superficiais. Leitura semelhante pode ser associada à ocorrência de deslizamentos translacionais superficiais associados a taludes antrópicos (TSA) como sejam as áreas de talude associadas aos aterros/desaterros elaborados na construção das estradas. No caso dos modelos elaborados para os deslizamentos rotacionais, predominantes na área de estudo, os modelos apresentam valores mais baixos e muito semelhantes deixando transparecer a maior complexidade de condições a que estão associados e ao maior controlo litológico. Neste caso, o facto de na área de estudo a ULIT 10, composta maioritariamente por margas e argilas, ocupar quase 60% da área de estudo, concorre para a diminuição da capacidade de ajuste dos inventários aos mapas de suscetibilidade.

3.2 SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE VERTENTE – AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE PREDITIVA

A avaliação da capacidade preditiva dos modelos de suscetibilidade aos diferentes tipos de movimentos de vertente foi efetuada com base na partição aleatória dos inventários. Para o efeito, cada inventário de movimentos de vertente foi dividido em dois grupos com o mesmo peso (número de movimentos de vertente), cerca de 50% dos movimentos no grupo A e os restantes 50% no grupo B. Estes grupos foram utilizados, alternadamente, como grupo de treino e grupo de validação dos modelos de suscetibilidade.

No total, foram criados 12 modelos de suscetibilidade, 2 por cada um dos 6 tipos de inventários pré-definidos na seção anterior, utilizando o grupo A e grupo B para treinar os modelos de suscetibilidade. Na validação foram igualmente contempladas as partições A/B dos inventários de movimentos de vertente, pelo que foram definidas, para cada modelo, as respetivas taxas de sucesso (validação efetuada com o grupo de movimentos utilizado para treinar o modelo de suscetibilidade) e taxas de predição (validação efetuada

com o grupo de movimentos não utilizado para treinar o modelo de suscetibilidade).

Na Fig. 7 é ilustrada a partição aleatória do inventário de deslizamentos rotacionais profundos (R) em grupo A e grupo B. Na Tabela 4 são sumariadas as principais características dos principais inventários de movimentos de vertente utilizados.

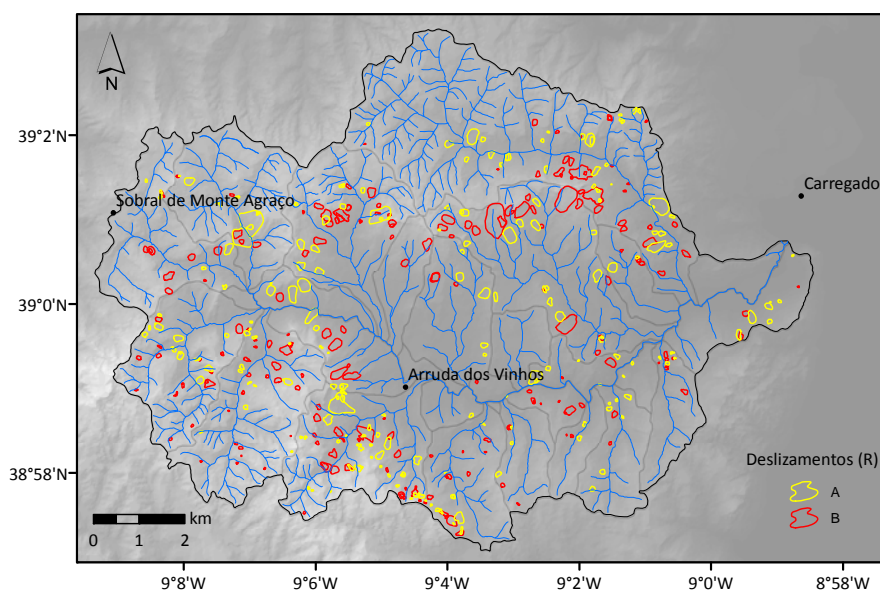


Figura 7 – Partição aleatória do inventário de deslizamentos rotacionais profundos (R) em grupo A e grupo B numa base 50-50%.

Tabela 4 – Dados relativos aos inventários de movimentos de vertente obtidos por partição aleatória (Grupo A e Grupo B) a partir do inventário global

	# Total de movimentos	GRUPO A				GRUPO B			
		# Mov.	Amv (matricial)			# Mov.	Amv (matricial)		
			# Células	Área (m ²)	Área (%)		# Células	Área (m ²)	Área (%)
Todos	1434	717	128473	3211825	2,90	717	121530	3038250	2,75
R	424	212	108663	2716575	2,46	212	115110	2877750	2,60
RS	382	191	8637	215925	0,20	191	10229	255725	0,23
TS	169	84	1119	27975	0,03	85	992	24800	0,02

Nota: A soma das partes não tem que ser necessariamente igual ao total, uma vez que a sobreposição espacial de alguns movimentos se repercute na conversão da área instabilizada para o formato matricial. Mov.= Movimentos de vertente.

Na Tabela 5 são apresentados os *scores* de VI por classe de cada fator de predisposição para a ocorrência de cada um dos diferentes tipos de movimentos de vertente, considerando a partição aleatória dos inventários.

Na Fig. 8 e 9 são apresentados, como exemplo, os mapas de suscetibilidade, não classificados, a deslizamentos rotacionais profundos (R) com base nas partições aleatórias A e B do inventário, respetivamente.

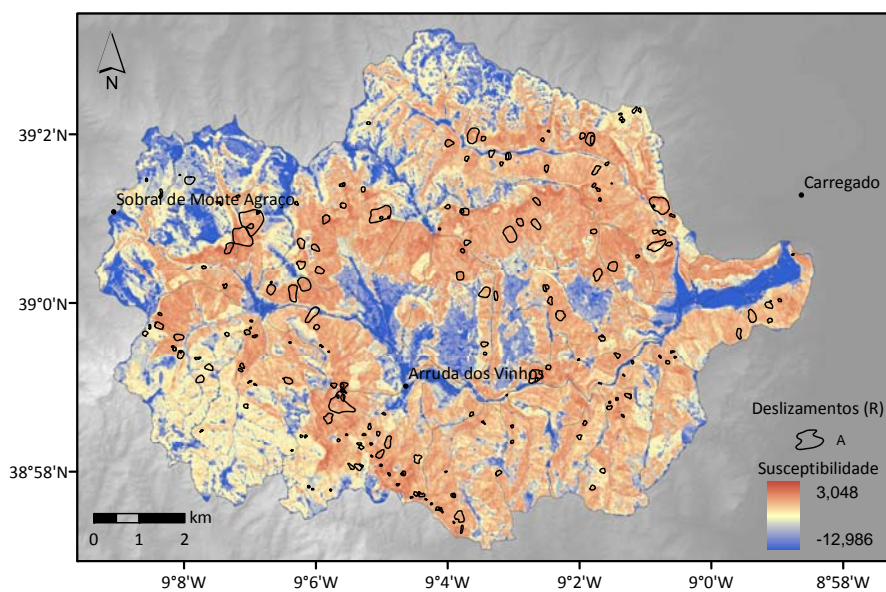


Figura 8 – Mapa de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais profundos (R) obtido a partir da partição A.

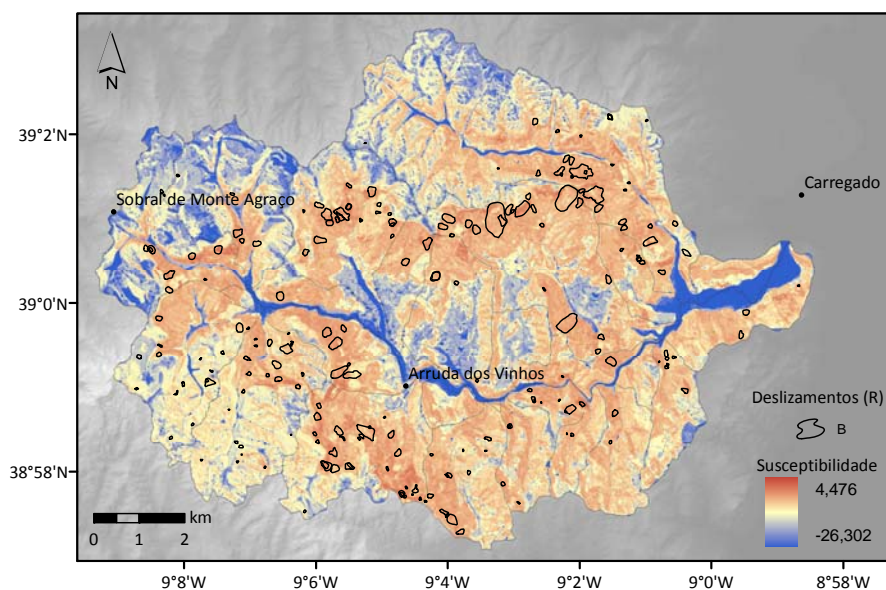


Figura 9 – Mapa de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais profundos (R) obtido a partir da partição B.

Tabela 5 – Scores de Valor Informativo (VI), para os dois grupos de movimentos de vertente (A e B) definidos de forma aleatória, por tipologia de movimento e por fator de predisposição.

Variável	ITotal		R		RS		RSA		TS		TSA	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
CURV 1	0.16	0.1883	0.1807	0.1745	0.0129	0.3019	-0.12	-0.0257	0.3061	0.2683	0.2168	0.2163
CURV 2	0.0435	0.0343	0.0654	0.0504	-0.0304	-0.1674	0.2138	0.0292	-0.6351	-0.6206	-0.1748	-0.146
CURV 3	-0.2686	-0.304	-0.3378	-0.3034	0.0173	-0.2494	-0.1374	-0.0037	0.101	0.1423	-0.0988	-0.1272
EXP 1	-2.4031	-3.568	-2.2033	-5.0178	-2.7157	-2.1917	-1.0129	-3.0385	-3.3966	-5.1403	-3.2350	-3.5626
EXP 2	-0.064	0.1313	-0.3323	0.1521	0.9214	0.6528	0.5314	-0.1169	0.5391	-0.2112	-0.2291	-1.0292
EXP 3	0.1356	0.2548	-0.0943	0.3198	0.3409	0.7526	0.2425	0.2505	0.4011	0.0659	0.8928	1.1505
EXP 4	0.1186	0.1131	0.2062	0.0676	0.2162	-0.0257	-0.7772	0.1601	0.6666	0.4643	0.0801	0.2163
EXP 5	0.1366	-0.0269	0.1024	0.1125	-1.0761	-1.0562	-0.449	0.0038	-1.5312	-0.1298	-0.1428	-0.487
EXP 6	0.4516	0.1181	0.3247	0.3981	-0.8411	-0.8873	-1.9837	-0.1603	-1.4197	-1.0895	-0.5667	-2.0931
EXP 7	0.1497	-0.0667	0.2515	-0.0923	-0.3449	-0.6159	-0.6591	-0.8844	0.0139	-0.8039	-0.7927	-0.4058
EXP 8	-0.8112	-0.2578	-0.2093	-0.9761	-0.3702	-0.3007	0.4219	0.3621	-0.6955	0.3677	-0.2406	-0.4808
EXP 9	-0.9078	-0.5703	-0.7439	-0.854	-0.5195	-0.1997	0.7059	-0.1548	-0.7494	0.2132	-0.3488	-0.382
DCV 1	-2.6922	-3.6399	-3.081	-3.1863	-2.3176	-2.4643	-2.3841	-2.8476	-2.9595	-5.1403	-3.2350	-2.0235
DCV 2	-2.0727	-2.8534	-2.5041	-2.3008	-2.3276	-2.0844	-2.3629	-1.4662	-2.6957	-5.1402	-2.3929	-3.5625
DCV 3	-0.0971	-0.1916	-0.0567	-0.1668	-0.3315	-0.4893	-0.3092	-0.4873	-2.3795	-3.4783	-1.0534	-1.4116
DCV 4	0.4677	0.5065	0.3901	0.5791	0.5079	0.4605	0.4667	0.7297	-0.1373	0.3248	0.2134	0.133
DCV 5	0.5371	0.6561	0.5831	0.5386	0.7861	0.9827	0.9685	0.4683	1.0602	1.1548	0.8814	0.5096
DCV 6	0.618	0.6528	0.6451	0.4692	0.9277	1.0802	1.2009	0.666	1.9495	1.7087	1.3650	1.7089
DCV 7	0.6114	0.8548	0.803	0.4997	0.9258	1.0732	0.4552	0.8374	2.4115	2.1295	2.2258	2.614

DCV 8	0.8117	1.1187	1.0165	0.7396	1.0814	1.28	-2.3842	0.9527	2.8816	2.8853	2.8863	2.9937
DCV 9	1.0833	1.2841	1.2767	0.9542	1.3312	1.436	-2.3842	0.8745	3.1838	2.8237	2.4549	2.5527
DCV 10	0.9398	1.4901	1.4187	1.033	0.7381	1.2107	-2.3842	0.3033	2.0885	2.3913	-3.2350	1.4841
DCV 11	0.9031	1.4642	1.3145	1.2255	0.3706	-0.4917	-2.3842	-3.0385	1.7211	0.7429	-3.2350	-3.5626
ULIT 1	-1.9482	-2.3743	-1.6008	-5.0179	-1.3948	-0.785	-2.3842	-3.0384	-1.7641	-5.1403	-3.2350	-3.5626
ULIT 2	-4.1827	-4.5326	-3.0811	-5.0179	-2.7158	-2.7702	-2.3842	-3.0385	-3.3966	-5.1403	-3.2350	-3.5626
ULIT 3	-4.1827	-4.5326	-3.0811	-5.0179	-2.7158	-2.7702	-2.3842	-3.0385	-3.3966	-5.1403	-3.2350	-3.5626
ULIT 4	-4.1827	-4.5326	-3.0811	-5.0179	-2.7158	-2.7702	-2.3842	-3.0385	-3.3966	-5.1403	-3.2350	-3.5626
ULIT 5	-1.0649	-0.579	-1.1336	-1.3359	-0.3042	0.679	-0.192	-0.25	-0.2974	0.7225	1.2249	-0.1096
ULIT 6	-1.6631	-1.2894	-1.3555	-2.2228	-0.4679	-0.5803	-0.0502	0.1654	-0.1025	-0.1485	-0.4958	-0.4631
ULIT 7	-0.2524	-0.0276	0.0851	-0.3617	-0.6321	-0.2675	-0.7643	-0.7462	0.9861	0.2282	0.5539	1.2764
ULIT 8	-0.497	0.3463	0.4328	-0.3872	-0.8585	-2.7702	-2.3842	-3.0385	-3.3966	-5.1403	-0.1666	-3.5626
ULIT 9	-4.1827	-4.5326	-3.0811	-5.0179	-2.7158	-2.7702	-2.3842	-3.0385	-3.3966	-5.1403	-3.2350	-3.5626
ULIT 10	0.3426	0.265	0.2599	0.3842	0.2345	0.1293	0.2142	0.167	-0.4339	-0.0653	-0.3112	-0.7483
ULIT 11	-0.316	-0.0954	-0.6019	-0.2521	1.6961	-1.2346	0.4068	-0.239	-0.4687	-5.1403	-3.2350	-1.7663
SOLO1	0.2248	0.2248	0.2376	0.2291	0.1192	0.1761	0.2444	0.1828	-0.0036	0.1143	0.0163	-0.4384
SOLO 2	-0.6524	-0.7935	-0.9132	-0.6232	-0.4295	-0.445	-1.9784	-2.9119	-0.2409	-0.1308	-1.2546	-1.6824
SOLO 3	-1.4768	-1.1015	-1.3047	-1.6183	-0.0869	-0.5296	-0.2844	-0.5402	-1.6901	-3.0166	-1.2500	-0.9689
SOLO 4	-1.4079	-2.6024	-1.1714	-4.6843	-1.6385	-1.6044	-2.3842	-0.2491	-2.0658	-1.2521	-1.5287	-2.6702
SOLO 5	-0.5069	-1.1241	-1.8937	-1.6576	2.1876	-2.7702	-2.3842	-1.2072	-3.3966	0.1876	-3.2350	-3.5626
SOLO 6	1.0054	0.9865	0.553	1.2632	0.1545	-0.0147	-2.3842	1.6443	3.2197	2.7604	3.5193	4.103
SOLO 7	-4.1827	-4.5326	-3.0811	-5.0179	-2.7158	-2.7702	-2.3842	-3.0385	-3.3966	-5.1403	-3.2350	-3.5626
SOLO 8	-4.1826	-4.5325	-3.0811	-4.3829	-2.7158	-2.7702	-2.3842	-3.0385	-3.3966	-5.1403	-3.2350	-3.5626

SOLO 9	-2.0595	-1.1397	-1.2987	-3.1411	-0.7089	0.3782	-1.2156	0.3898	1.5914	-5.1403	-3.2350	-1.597
SOLO 10	-2.1409	-1.145	-1.9709	-1.2603	-1.2206	-2.3135	-1.0293	-0.6278	-3.3965	-5.1403	0.1219	1.7859
USOL 1	-1.7823	-1.0302	-1.5234	-1.2256	-2.3597	-2.7701	1.1168	-0.0864	-2.5497	-1.7361	-0.4322	-0.3407
USOL 2	0.6357	1.9729	-3.0811	2.0656	-2.7158	-2.7702	-2.3842	-3.0385	-3.3966	-5.1403	5.4306	6.7422
USOL 3	-4.1827	-4.5326	-3.0811	-5.0179	-2.7158	-2.7702	-2.3842	-3.0385	-3.3966	-5.1403	-3.2350	-3.5626
USOL 4	-0.0548	-0.0416	0.0595	-0.1857	0.2112	-0.1042	0.0225	-0.6969	0.1534	0.1337	-0.0093	-0.451
USOL 5	-0.192	0.2073	0.1912	-0.2006	0.1662	0.1629	-0.5678	-0.1199	-0.481	-0.5817	-0.3192	-0.7338
USOL 6	-0.2382	-0.1777	-0.1888	-0.3263	0.3252	0.0415	0.381	-0.7104	-0.174	-1.4491	-1.7099	-0.9055
USOL 7	0.0153	0.049	-0.0812	0.0399	-0.1275	0.8615	-0.3482	-0.4633	1.0063	0.9315	-0.5406	-1.6458
USOL 8	0.0563	-0.2144	-0.1166	0.0226	-0.3702	-0.3295	0.0281	0.4429	-0.5742	-0.0803	-0.0712	-0.8786
USOL 9	0.7453	0.8025	0.569	0.9715	0.5279	0.4818	-1.1969	-0.5618	1.2359	0.9991	1.1496	1.5452
USOL 10	-4.1827	-3.6231	-3.0811	-5.0179	-0.9789	-2.7702	-2.3842	-3.0385	-3.3966	-5.1403	-3.2350	-3.5626
IWI 1	-1.589	-2.2854	-1.5111	-3.0744	-0.9186	-1.0878	-0.6931	-2.1862	-1.0942	-1.4846	-1.6276	-1.2286
IWI 2	-1.9098	-2.0204	-2.0608	-2.2223	-0.8389	-1.0841	-2.3842	-1.2983	-0.7171	-1.6953	-3.2350	-3.5626
IWI 3	-0.2041	-0.7158	-0.3724	-0.3393	-1.1076	-1.3763	-1.4738	-1.2287	-0.6734	-3.4974	-3.2349	-3.5626
IWI 4	0.2309	0.2056	0.318	0.1989	-0.1417	-0.2165	-0.2999	-0.2589	-0.735	-3.0423	-1.0306	-1.8213
IWI 5	-0.0402	-0.001	-0.0718	-0.0111	0.1254	0.1532	0.1488	0.1371	0.0072	0.2075	0.2048	0.2107
IWI 6	-0.1967	-0.232	-0.2949	-0.2103	-0.1155	-0.098	0.1373	0.1401	1.0017	0.999	0.6395	0.8727
IWI 7	0.1222	0.1778	0.0094	0.232	0.1138	-1.154	-2.3842	-3.0385	2.1574	-5.1403	-3.2350	-3.5626

NOTA: os valores a vermelho representam as classes de cada variável onde não existem movimentos de vertente do tipo (y) e onde não foi possível determinar o valor de VI. O score de VI, para esses casos, foi definido por um valor uma milésima abaixo do valor mínimo encontrado para esse tipo de movimento de vertente, considerando a totalidade dos factores de predisposição.

Na Fig. 10 são apresentadas, como exemplo, as curvas de sucesso e de predição do mapa de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais profundos (R), cujo treino foi efetuado com a partição aleatória A. Para a validação independente (curva de predição) o mapa de suscetibilidade foi cruzado com a partição B.

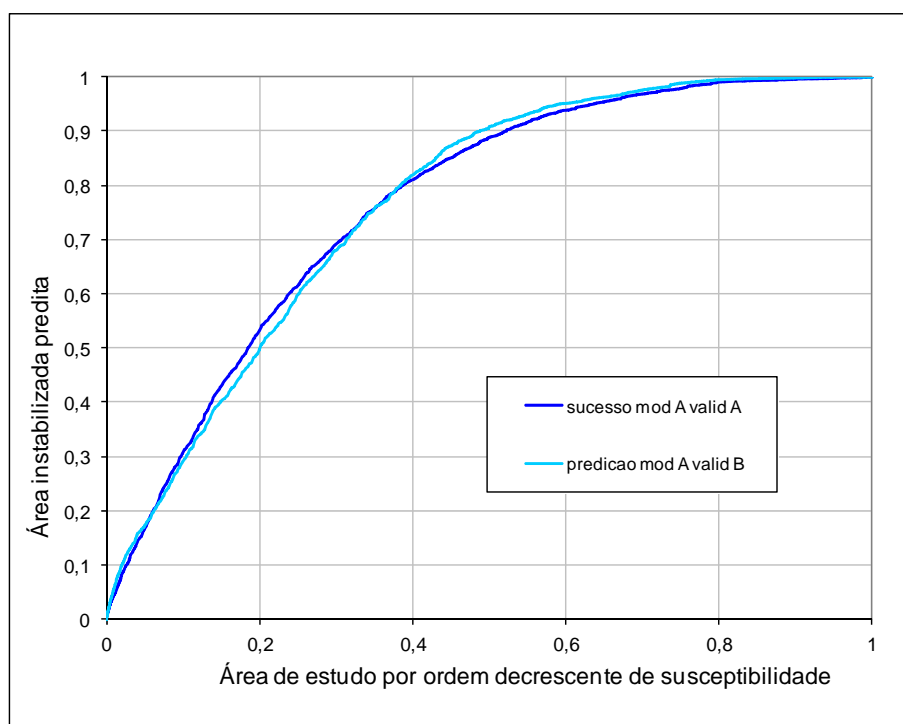


Figura 10 – Curvas de sucesso (azul escuro) e de predição (azul claro) do mapa de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais profundos (R) gerado com a partição aleatória A.

A expressão quantificada do ajuste e capacidade preditiva dos diferentes mapas de suscetibilidade é definida pelos respetivos valores de AAC. Na Tabela 6 são sumariados os valores de AAC, considerando o ajuste dos modelos (taxas de sucesso) e a sua capacidade preditiva (taxas de predição). Como seria de esperar, os valores de AAC são sistematicamente mais elevados quando avaliado o ajuste dos mapas aos dados utilizados para treinar o modelo (taxas de sucesso). A maior exigência de validação, quando cruzados com um inventário independente não utilizado para treinar o modelo, traduz-se em valores de AAC mais baixos por comparação com os obtidos nas taxas de sucesso. Ainda assim, as diferenças encontradas são pouco significativas. Com efeito, apenas no caso dos deslizamentos do tipo RSA se verificou uma diferença entre as AAC sucesso e de predição superior a 0,1.

Os modelos de suscetibilidade apresentam um ajuste e uma capacidade preditiva considerada aceitável a muito boa, o que é comprovado pela quase totalidade dos modelos com valores de AAC acima de 0,73, sendo os modelos de suscetibilidade construídos para os deslizamentos translacionais superficiais (TS) e para os deslizamentos translacionais superficiais em talude (TSA) aqueles que apresentam melhor ajuste e melhor capacidade preditiva. A exceção a estes bons resultados foi a validação independente (com a partição B) do modelo RSA Model A, em que se obteve um valor de AAC de 0,67.

Tabela 6 – Valores de AAC das curvas de sucesso e de predição dos modelos de suscetibilidade baseados na partição aleatória do inventário total, por tipologia de movimento de vertente.

	Área Abaixo da Curva (AAC)		
	Taxas de sucesso	Taxas de predição	Diferença
Itotal_Model A Valid B	0,78	0,75	-0.03
Itotal Model B Valid A	0,76	0,75	-0.01
R Model A Valid B	0,77	0,77	0.00
R Model B Valid A	0,80	0,74	-0.06
RS Model A Valid B	0,79	0,77	-0.02
RS Model B Valid A	0,80	0,73	-0.07
RSA Model A Valid B	0,82	0,67	-0.15
RSA Model B Valid A	0,79	0,73	-0.06
TS Model A Valid B	0,90	0,88	-0.02
TS Model B Valid A	0,91	0,85	-0.06
TSA Model A Valid B	0,83	0,88	0.05
TSA Model B Valid A	0,88	0,80	-0.08

Os mapas de suscetibilidade a um qualquer tipo de movimento de vertente com base na partição aleatória dos inventários tendem a ser muito semelhantes, no que respeita ao padrão da suscetibilidade. Isto, desde que a partição divida a série em dois grupos relativamente homogéneos, como observado nas Fig. 7 e 11. Os quatro mapas de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais profundos (R), apresentados na Fig. 11, foram gerados pelos grupos A (mapas 1 e 2) e B (Mapas 3 e 4) e classificados de acordo com as respectivas curvas de sucesso (mapas 1 e 3) e de predição (mapas 2 e 4). Visualmente os mapas não diferem significativamente,

principalmente no que respeita à classe de suscetibilidade mais elevada (a vermelho).

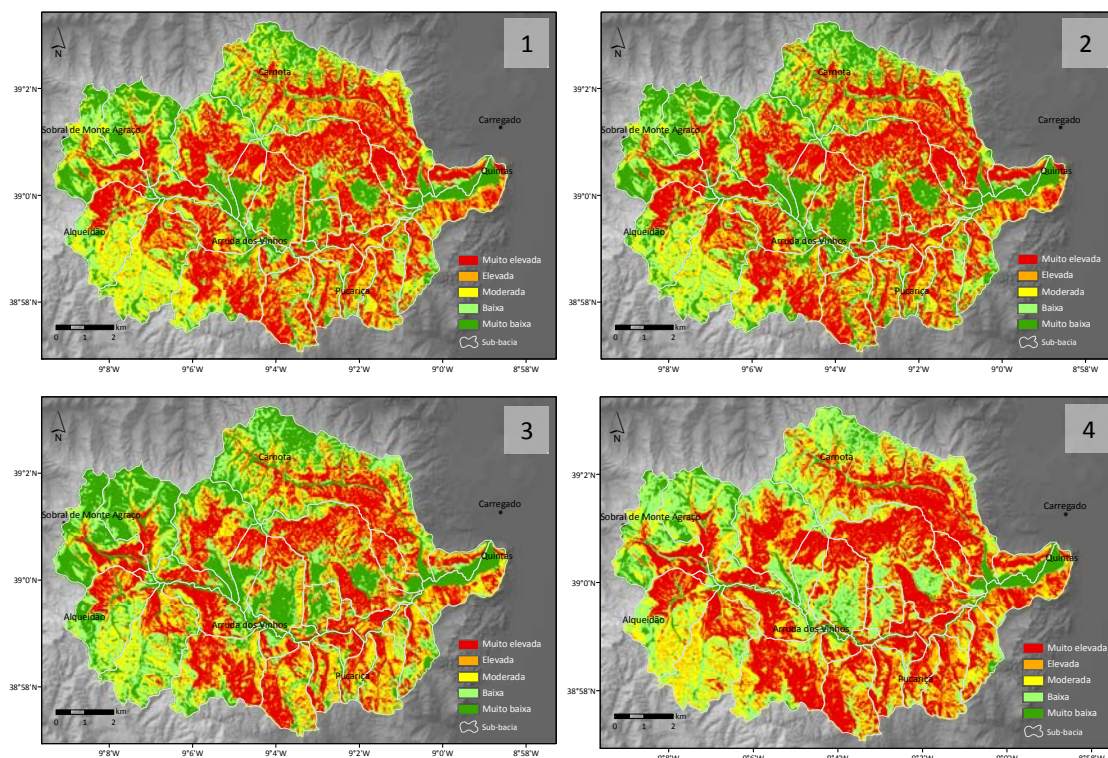


Figura 11 – Mapas de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais classificados de acordo com os valores definidos pelas curvas de sucesso (1 e 3) e pelas curvas de predição (2 e 4). 1) Treino - grupo A, Validação – grupo A; 2) Treino – grupo A, Validação – grupo B; 3) Treino - grupo B, Validação – grupo B; 4) Treino – grupo B, Validação – grupo A.

No caso dos modelos com um desempenho preditivo semelhante, como é o caso, a aplicação da ferramenta rank difference tool permite avaliar a variação espacial do padrão de suscetibilidade. A verificação da concordância espacial dos diferentes mapas de suscetibilidade produzidos para os deslizamentos rotacionais profundos (R), classificados de acordo com as respetivas curvas de sucesso e de predição, é apresentada na Fig. 12. A verificação *pairwise* entre os 4 mapas de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais profundos R (Fig. 11), permite aferir as diferenças espaciais, para cada pixel, da concordância relativamente à classificação da suscetibilidade em cada um dos mapas elaborados com base nas partições A e B do inventário de deslizamentos rotacionais profundos (R) e com base na

classificação através das respetivas curvas de sucesso (Cs) e de predição (Cp).

Para o efeito são criados 6 modelos de comparação *pairwise*: modelo R_rank_dif_1 (R_modelo-A_Cs - R_modelo-A_Cp); modelo R_rank_dif_2 (R_modelo-A_Cs - R_modelo-B_Cs); modelo R_rank_dif_3 (R_modelo-A_Cs - R_modelo-B_Cp); modelo R_rank_dif_4 (R_modelo-A_Cp - R_modelo-B_Cs); modelo R_rank_dif_5 (R_modelo-A_Cp - R_modelo-B_Cp); e modelo R_rank_dif_6 (R_modelo-B_Cs - R_modelo-B_Cp).

Na Tabela 7 são quantificadas as percentagens de área afectas à alteração do grau de suscetibilidade na comparação *pairwise*. Para o efeito, os mapas de suscetibilidade foram classificados de 1 a 5, sendo que ao 1 corresponde o valor de suscetibilidade mais elevado e ao 5 o valor de suscetibilidade mais baixo. Nos mapas da Fig. 12, o valor 0 indica áreas classificadas de igual forma em ambos os mapas. Os tons quentes representam áreas onde o valor de suscetibilidade do mapa de comparação apresentava um valor de suscetibilidade mais baixo por comparação com o mapa de base, e os tons verdes as áreas onde sucede o contrário (incremento da suscetibilidade).

Da comparação *pairwise*, é possível definir que o grau de concordância espacial entre os 4 mapas de suscetibilidade (valor 0 na Fig. 12 e Tabela 7) é sempre superior a 50%. Se a estes juntarmos as áreas onde o desvio ao valor de suscetibilidade inicial foi de apenas uma ordem de grandeza (+1 ou -1) a área envolvida é sempre superior a 96%. De acordo com Poli e Sterlachini (2007), este é um bom indicador da concordância espacial entre os diferentes modelos de suscetibilidade.

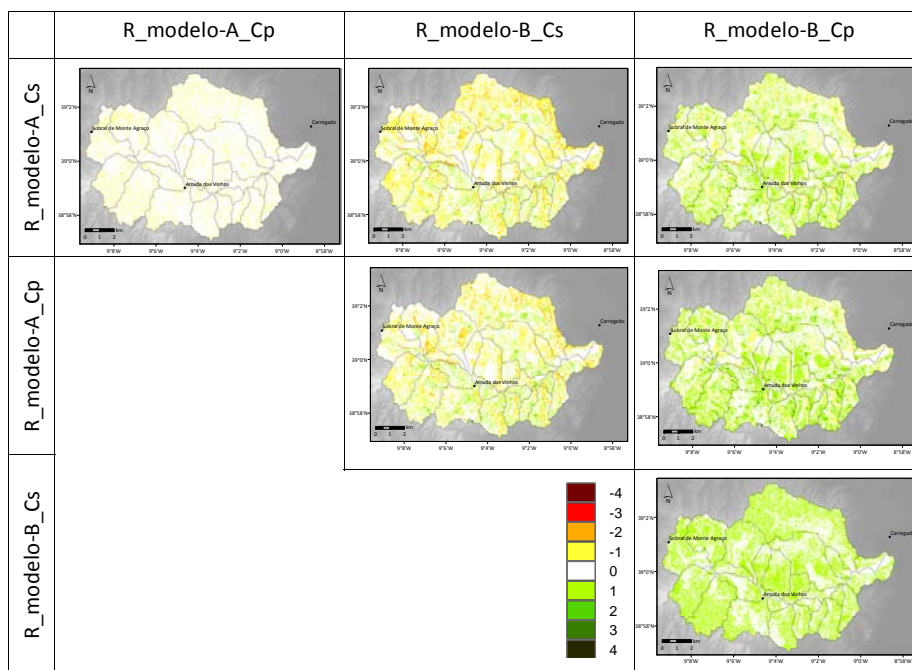


Figura 12 – Diferença espacial entre pares de mapas de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais profundos (R) produzidos com partição aleatória do inventário. A matriz reflecte as possibilidades de comparação dos mapas de suscetibilidade definidos na Fig. 11.Cs) classificação do mapa de suscetibilidade com base em curva de sucesso; Cp) classificação do mapa de suscetibilidade com base em curva de predição.

Tabela 7 – Quantificação da diferença espacial (área afectada a cada grau de diferença entre o mapa de base e o de comparação) entre pares de mapas de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais (R).

Comparação pairwise	R_rank dif_1	R_rank _dif_2	R_rank _dif_3	R_rank _dif_4	R_rank _dif_5	R_rank _dif_6
-4	--	0,0	--	0	--	--
-3	--	0,1	0,0	0,1	0	--
-2	--	3,5	0,3	3,2	0,3	--
-1	10,1	25,2	8,5	19,4	6,8	--
0	89,2	63,6	61,5	66,9	57,3	53,5
1	0,7	7,4	28,2	9,8	32,6	46,5
2	--	0,2	1,4	0,6	3,0	--
3	--	0,0	0	0	0	--
4	--	0,0	0	0	0	--
Soma +1-1	10,8	32,6	36,7	29,2	39,3	46,5
Soma 0+1-1	100,0	96,2	98,2	96,1	96,7	100
Dif acima - 1+1	0	3,8	1,8	3,9	3,3	0

4. CONCLUSÕES

A bacia do Rio Grande da Pipa corresponde, no contexto da região a norte de Lisboa e mesmo a nível nacional, a uma das áreas com maior predisposição para a ocorrência de movimentos de vertente. Na área de estudo foram inventariados mais de 1400 movimentos de vertente que totalizam quase 6% da área de estudo. A grande maioria destes movimentos ocorreu antes de 2006. O inventário global inclui dois eventos de instabilidade desencadeados, em 1983 por precipitações intensas e de curta duração, e em 2010 por chuva persistente e prolongada. Para ambos os eventos foi possível obter inventários de evento completos na área de estudo. A avaliação da suscetibilidade a movimentos de vertente, separada por tipo de movimento, foi calculada considerando para o efeito o método estatístico bivariado do Valor Informativo. Da análise aos mapas de suscetibilidade foi possível verificar que os diferentes tipos de manifestações de instabilidade possuem diferentes padrões de distribuição espacial, que se refletem em diferentes zonamentos da suscetibilidade, isto é, diferentes fatores de predisposição. Todos os modelos apresentam um desempenho aceitável a muito bom, como expresso pela amplitude de valores de AAC das curvas de sucesso e de predição, com exceção de um modelo, entre 0,73 e 0,91.

5. BIBLIOGRAFIA

Baeza, C.; Corominas, J. (2004) – Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landform*. 26: 1251 – 1263.

Beguería, S. (2006) – Validation and evaluation of predictive models in hazard assessment and risk management. *Natural Hazards*. 37: 315 – 329.

Bi, J.; Bennett, K. P (2003) – Regression Error Characteristic Curves. *Proceedings of the Twentieth International Conference on Machine Learning (ICML-2003)*. Washington DC.

Blahut, J.; van Westen, C. J.; Sterlacchini, S. (2010) – Analysis of landslide inventories for accurate prediction of debris-flow source areas. *Geomorphology*. 119: 36 – 51.

Chung, C-J. F.; Fabbri, A. G. (1999) - Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 65(12): 1389 – 1399.

Chung, C-J. F.; Fabbri, A. G. (2003) – Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natural Hazards*. 30: 451 – 472.

Chung, C-J. F.; Fabbri, A. G. (2005) – Systematic procedures of landslide hazard mapping for risk assessment using spatial prediction models in Glade, T.; Anderson, M.; Crozier, M. J. (Eds.) *Landslide Hazard and Risk*. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester: 139 – 174.

Garcia, R. A. C. (2012) – Metodologias de Avaliação da Perigosidade e Risco associado a movimentos de vertente. Aplicação na bacia do rio Alenquer. Dissertação de doutoramento em Geografia na Especialidade em Geografia Física. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa.

Garcia, R.A.C.; Oliveira, S.C. (2020) Portugal landslide hazardscapes. G. Vieira; J.L. Zêzere; C. Mora (eds.), *Landscapes and Landforms of Portugal, World Geomorphological Landscapes*, https://doi.org/10.1007/978-3-319-03641-0_4. Springer Nature Switzerland AG 2020 pp. 63-71.

Garcia, R. A. C.; Zêzere, J. L.; Oliveira, S. C. (2007) – A importância do processo de classificação de dados na cartografia: um exemplo na cartografia de susceptibilidade a movimentos de vertente. *Dinâmicas geomorfológicas. Metodologias. Aplicação. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*. Vol. V. Lisboa: 265 – 279.

Oliveira, S. C. (2012) Incidência espacial e temporal da instabilidade geomorfológica na bacia do rio Grande da Pipa (Arruda dos Vinhos). Dissertação de doutoramento em Geografia na Especialidade em Geografia Física. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa.

Oliveira, S. C., Zêzere, J. L., Catalão, J. and Nico, G. (2015) The contribution of PSInSAR interferometry to landslide hazard in weak rock-dominated areas, *Landslides*, 12(4), 703–719, doi:10.1007/s10346-014-0522-9.

Oliveira, S. C., Zêzere, J. L., Lajas, S. and Melo, R. (2017) Combination of statistical and physically based methods to assess shallow slide susceptibility at the basin scale, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 17, doi:10.5194/nhess-17-1091-2017.

Reis, E. J. M. (2006) – As bacias hidrográficas das ribeiras da serra de Grândola: dinâmica hidrológica e factores condicionantes. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. Lisboa.

Yan, T. Z. (1988) - Recent advances of quantitative prognoses of landslides in China in Bonnard, C. (Ed.) *Landslides. Proceedings of the 5th ISL, Lausanne*. Vol. 2. Balkema, Rotterdam: 1263 – 1268.

Yin, K. L.; Yan, T. Z. (1988) - Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks in Bonnard, C. (Ed.) Landslides. Proceedings of the 5th ISL, Lausanne. Vol. 2. Balkema, Rotterdam: 1269 – 1272.

Zbyszewski, G.; Assunção, C. Torre de (1965) – Notícia explicativa da folha 30-D (Alenquer). Carta Geológica de Portugal (1:50 000). Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.

Zêzere, J. L. (2002) – Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon (Portugal). Natural Hazards and Earth System Sciences. 2: 73 – 82.

Zêzere, J. L. (2005) – Dinâmica de vertentes e risco geomorfológicos (Programa). Centro de Estudos Geográficos. Área de Geografia Física e Ambiente. 41. Lisboa.

Zêzere, J. L. (2010) – Relatório do programa de Perigosidade, Vulnerabilidade e Riscos no Território: aplicação aos movimentos de vertente. Provas de Agregação. Universidade de Lisboa.

Zêzere, J. L., Pereira, S., Melo, R., Oliveira, S. C. and Garcia, R. A. C. (2017) Mapping landslide susceptibility using data-driven methods, Sci. Total Environ., 589, 250–267, doi:10.1016/j.scitotenv.2017.02.188.