

PADRÕES DE RELEVO E CLASSES DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA NOS ESTADOS DO RS E SC: CORRELAÇÕES A PARTIR DOS PRODUTOS DO PROJETO CARTAS DE SUSCETIBILIDADE (CPRM)

Fabio de Lima Noronha ¹; José Luiz Kepel Filho ²; Marcelo Eduardo Dantas ³; Luiz Antônio Bressani ⁴

Resumo – Em atendimento às diretrizes da Lei Federal 12.608/2012, que estabelece a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), e sob coordenação do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), o Projeto Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações, desde o ano de 2013, tem executado o mapeamento na escala 1:25.000 de áreas suscetíveis a processos do meio físico, cuja dinâmica pode gerar desastres naturais. No caso dos movimentos de massa, a identificação das classes de alta, média e baixa suscetibilidade baseia-se em modelagem estatística que leva em conta fatores predisponentes do terreno frente à ocorrência de deslizamentos, destacando-se como insumos o mapeamento de padrões de relevo, declividades, densidade de lineamentos e as curvaturas das vertentes. Utilizando como universo amostral as cartas de 50 municípios mapeados pelo Projeto nos Estados do RS e SC, este trabalho avalia a correlação entre padrões de relevo e curvaturas de vertente com as classes de suscetibilidade a movimentos de massa, a partir de suas frequências de ocorrência em cada classe. Busca-se, assim, identificar os cenários geomorfológicos preferenciais à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa.

Abstract – According to federal law 12.608/2012, which establishes the protection and civil defense national politics (PNPDEC) and under coordination from the Brazilian Geological Survey (CPRM), the flooding and landslides susceptibility mapping project has been executing the mapping of susceptible areas to physical processes at 1:25.000 scale, which may cause natural disasters, since 2013. The classes of high, medium and low susceptibility to landslides are identified based on statistical modeling, which take into account predisposing factors of the terrain. The main inputs for the modelling process are the relief patterns, slope, lineament density and slope curvature. Using 50 cities charts, mapped by this project, on the states of RS and SC, this work evaluates the correlation between relief patterns and slope curvature with landslide susceptibility classes, by the frequency of occurrence in each class. This work aim for identifying the geomorphological sceneries in which landslides occurs the most.

Palavras-Chave – Movimentos de massa; suscetibilidade; padrões de relevo.

¹ Geól., MSc, Serviço Geológico do Brasil - CPRM, (51) 3406-7377, fabio.noronha@cprm.gov.br

² Geól., Serviço Geológico do Brasil - CPRM, (51) 3406-7388, jose.kepel@cprm.gov.br

³ Geóg., MSc, Serviço Geológico do Brasil - CPRM, (21) 2546-0420, marcelo.dantas@cprm.gov.br

⁴ Eng., Phd, Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre - RS, (51) 3300-3589, bressani@ufrgs.br

1. INTRODUÇÃO

Considerada uma ação preventiva à ocorrência de desastres naturais, a identificação de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa é um dos objetivos da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), estabelecida pela Lei nº 12.608 de 2012 (BRASIL, 2012). Desse modo, entre os anos de 2013 e 2014, o governo federal definiu como meta a elaboração de cartas de suscetibilidade em 286 municípios brasileiros. A coordenação deste trabalho foi delegada ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

As cartas de suscetibilidade apresentam a divisão da área estudada em domínios homogêneos, classificados segundo diferentes graus relativos de suscetibilidade (alta, média e baixa), os quais representam a maior ou menor propensão à deflagração dos processos naturais analisados. A identificação das classes de suscetibilidade a movimentos de massa baseia-se em modelagem estatística que leva em conta fatores predisponentes do terreno frente à ocorrência de deslizamentos (CPRM & IPT, 2014). Destacam-se como insumos da modelagem o mapeamento de padrões de relevo, as declividades, a densidade de lineamentos e as curvaturas das vertentes. Assim, a classe de alta suscetibilidade corresponde às áreas onde se espera a ocorrência de 90% dos deslizamentos. A média suscetibilidade se refere às áreas que agrupam o restante dos deslizamentos esperados, totalizando os 100%. Por fim, a baixa suscetibilidade representa as demais áreas cuja ocorrência de deslizamentos é nula ou desprezível (exemplo na figura 1).

Utilizando como universo amostral as cartas de 50 municípios mapeados nos Estados do RS e SC, este trabalho avalia a correlação entre padrões de relevo e curvaturas de vertentes com as classes de suscetibilidade a movimentos de massa, a partir de suas frequências de ocorrência em cada classe. Em outras palavras, o levantamento dessas frequências representa uma retroanálise, na qual os produtos finais das cartas (classes de suscetibilidade) são usados para identificar os cenários geomorfológicos (padrões de relevo) preferenciais à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa nestes municípios.

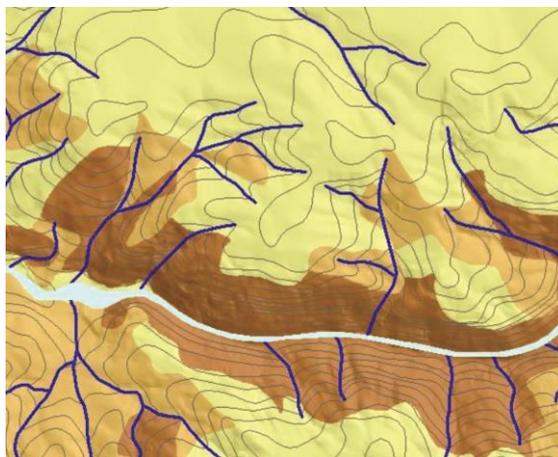


Figura 1: Trecho de zoneamento de suscetibilidade a deslizamentos, distinguindo-se as três classes pela tonalidade da cor marrom (mais escura: alta; intermediária: média; mais clara: baixa).

2. MAPEAMENTO DE PADRÕES DE RELEVO

O mapeamento de padrões de relevo é, essencialmente, uma análise morfológica do terreno com base em foto-análise da sua textura e rugosidade, a partir de diversos sensores remotos. Consiste no 3º *táxon* hierárquico da metodologia de mapeamento geomorfológico proposta por Ross (1992), no qual se busca a identificação de grandes conjuntos morfológicos passíveis de serem delimitados nesta escala, assim como os processos geomorfológicos atuantes, sem muitas preocupações quanto à gênese e evolução morfodinâmica das unidades em análise (figura 2).

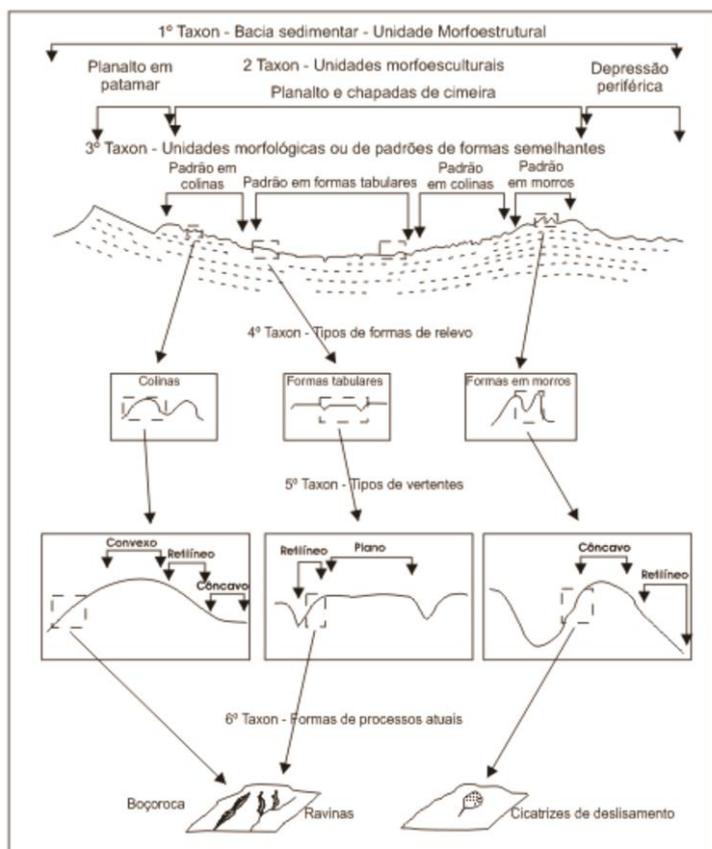


Figura 2: Representação esquemática das unidades taxonômicas proposta por Ross (1992).

Para a sua utilização nas cartas de suscetibilidade, o mapeamento do relevo adota como referência inicial os critérios e parâmetros de classificação de IPT/Emplasa (1990) e, complementarmente, os de Ponçano *et al.* (1981) e Ross (1992), a partir da conjugação de fatores morfométricos básicos, como amplitude e declividade (figura 3). Considerando que a escala de trabalho é 1:25.000, também são avaliadas as informações dos taxa de maior detalhe (Ross, 1992), tais como curvatura das vertentes, presença de feições erosivas, cicatrizes de deslizamentos e depósitos de cobertura de encostas (tálus e colúvio).

Padrões de relevo	Amplitudes predominantes	Declividades predominantes	
		graus	%
Planícies e terraços fluviais	< 20m	< 5°	< 8%
Terraços fluviais	< 20m	< 5°	< 8%
Planícies fluviomarinhas (mangues)	< 5m	< 2°	< 5%
Planícies fluviomarinhas (brejos)	< 5m	< 2°	< 5%
Planícies fluviolacustres (brejos)	< 5m	< 2°	< 5%
Planícies e terraços marinhos (cordões litorâneos)	< 20m	< 5°	< 8%
Aterros (depósitos tecnogênicos)	< 5m	< 2°	< 5%
Rampas de alúvio-colúvio	variável	5° a 10°	8 a 20%
Vertentes recobertas por depósitos de encostas (colúvios e tálus)	variável	10° a 20°	20 a 40%
Campos de dunas	< 40m	< 11,3°	< 20%
Colinas	30 a 60m	< 11,3°	< 20%
Morrotos baixos	40 a 50m	>16,7°	>30%
Morrotos	40 a 120m	11,3 a 16,7°	20 a 30%
Morros baixos	70 a 120m	11,3 a 16,7°	20 a 30%
Morrotos altos	60 a 90m	16,7 a 21,8°	30 a 40%
Morros altos	120 a 250m	16,7° a 21,8°	30 a 40%
Serras	> 300m	> 16,7°	> 30%
Escarpas	>100 m	>31°	>60%

Figura 3: Padrões de relevo e parâmetros básicos. A listagem contempla somente os padrões de relevo identificados nos municípios analisados.

Por revelarem importantes características predisponentes à ocorrência de movimentos de massa, os padrões de relevo são utilizados como insumo da modelagem de suscetibilidade, assim como são referenciados na descrição das características das classes nos quadros-legenda das cartas (figura 4).

Desse modo, em virtude de possuírem conotação com a declividade, a amplitude e a curvatura de vertente e por constituírem informação presente em todas as cartas, sendo passível a comparação, os padrões de relevo foram utilizados para a correlação proposta neste trabalho.

QUADRO-LEGENDA A - SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA		
Classe	Foto ilustrativa	Características predominantes
Alta		<ul style="list-style-type: none"> •Relevo: Morros altos; •Forma das encostas: convexas a retilíneas e côncavas; •Amplitudes: 50 a 200 m; •Declividades: > 25°; •Litologia: Granitóides (Granito Santana, Granito Ponta Grossa, Granito Viamão e Granito Santa Galo); •Densidade de lineamentos/estruturas: alta; •Solos: pouco evoluídos e moderadamente profundos; •Processos: deslizamento, queda de rocha e rastejo.
Média		<ul style="list-style-type: none"> •Relevo: Morros altos, morros baixos e morrotes; •Forma das encostas: convexas a retilíneas e côncavas; •Amplitudes: 30 a 100 m; •Declividades: 8 a 25°; •Litologia: Granitóides (Granito Santana, Granito Ponta Grossa, Granito Viamão e Granito Santa Galo); •Densidade de lineamentos/estruturas: média; •Solos: evoluídos e moderadamente profundos; •Processos: deslizamento e rastejo.
Baixa		<ul style="list-style-type: none"> •Relevo: planícies e terraços fluviais, rampas de alúvio/colúvio e colinas; •Forma das encostas: convexas suavizadas e topos amplos; •Amplitudes: < 30 m; •Declividades: < 8°; •Litologia: Gnaisses, depósitos aluvionares e colúvio-aluvionares e cordões arenosos; •Densidade de lineamentos/estruturas: baixa; •Solos: aluviais; evoluídos e profundos nas colinas; •Processos: rastejo.

Figura 4: Quadro-legenda das classes de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa presente nas cartas. Exemplo de Porto Alegre – RS.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a avaliação da correlação entre os padrões de relevo e curvaturas de vertente com as classes de suscetibilidade a movimentos de massa foram selecionadas como universo amostral as cartas finalizadas de 41 municípios no Estado de Santa Catarina e 9 municípios no Estado do Rio Grande do Sul (figura 5).

As informações referentes às características de cada classe de suscetibilidade à movimentos de massa, contidas nos quadros-legenda das cartas foram inventariadas na forma de tabela, de modo a permitir sua análise. A tabela gerada identifica a relação de ocorrência dos padrões de relevo e a curvatura das vertentes frente às classes de suscetibilidade em termos de frequências absolutas e relativas.

Por fim, a partir da análise da tabela foram gerados gráficos para ilustrar a correlação entre os padrões de relevo mapeados nos municípios amostrados e as classes de suscetibilidade a movimentos de massa.

Municípios Analisados		
SC		RS
Alfredo Wagner	José Boiteux	Alto Feliz
Anitápolis	Lages	Capão do Leão
Antônio Carlos	Luiz Alves	Dom Pedrito
Araranguá	Mafra	Eldorado do Sul
Balneário Camboriú	Navegantes	Estrela
Blumenau	Nova Trento	Igrejinha
Botuverá	Nova Veneza	Novo Hamburgo
Brusque	Palhoça	Porto Alegre
Camboriú	Ponte Alta	São Lourenço do Sul
Corupá	Pesidente Getúlio	
Criciúma	Rio do Campo	
Florianópolis	Rio Fortuna	
Garuvá	Rio Negrinho	
Gaspar	Rodeio	
Ilhota	São José	
Itajaí	Taió	
Itapema	Timbé do Sul	
Ituporanga	Timbó	
Jacinto Machado	Urubici	
Jaraguá do Sul	Vidal Ramos	
Joinvile		

Figura 5: Relação dos municípios dos Estados de SC e RS que tiveram as suas cartas analisadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados das cartas dos 50 municípios amostrados permitiram identificar que 81% dos terrenos inseridos na classe de alta suscetibilidade a movimentos de massa são traduzidos por padrões de relevo com amplitudes acima de 120 metros e declividades acima de 16,7°, do tipo morros altos (37%), serras (27%) e escarpas (17%) (figura 6). Principalmente em municípios que apresentam relevos com maior denudação, a classe alta ainda pode ser representada por morros baixos (14%) e morrotes (5%). No que diz respeito à curvatura das vertentes (figura 7), a classe de alta suscetibilidade é igualmente representada por perfis côncavos (46%) e retilíneos (45%), mostrando pouca correlação com perfis convexos (9%).

A grande correlação desta classe com perfis côncavos corrobora estudos que apontam as zonas de *hollows* (concauidades) como as mais favoráveis à ocorrência de deslizamentos, por serem zonas de convergência de sedimentos e fluxos d'água, favorecendo a saturação dos horizontes pedológicos (Fernandes *et al.*, 2001). A igualmente expressiva ocorrência de vertentes retilíneas sugere a sua importância como palco de ocorrência de processos erosionais e movimentos de massa de alta velocidade e rasos (Selby, 1985), como os deslizamentos planares.



Figura 6: Gráfico de frequências relativas traduzindo a correlação entre os padrões de relevo identificados nos municípios amostrados e a classe de alta suscetibilidade a movimentos de massa.



Figura 7: Gráfico de frequências relativas traduzindo a correlação entre as curvaturas das vertentes e a classe de alta suscetibilidade a movimentos de massa.

Por representar características de transição, a classe de média suscetibilidade a movimentos de massa é abrangida por um maior número de padrões de relevo. Entretanto, ao observarmos as informações da figura 8 e as características elencadas na figura 3, constata-se que 85% desta classe é representada por terrenos com amplitude mínima de 40 metros e limite inferior de declividade de $11,3^\circ$, sendo 27% morros baixos, 26% morros altos, 17% serras e 15% morrotes. Os padrões com correlação menor correspondem aos sopés das serras (9%), colinas dissecadas (4%) e morrotes baixos (1%) e altos (1%). O caráter de transição desta classe também se reflete na curvatura das vertentes (figura 9), visto que há uma distribuição semelhante entre os perfis convexos (35%), retilíneos (34%) e côncavos (31%).

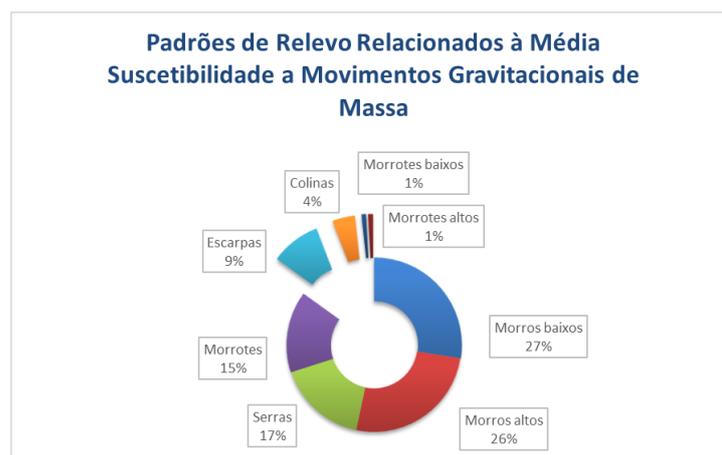


Figura 8: Gráfico de frequências relativas traduzindo a correlação entre os padrões de relevo identificados nos municípios amostrados e a classe de média suscetibilidade a movimentos de massa.



Figura 9: Gráfico de frequências relativas traduzindo a correlação entre as curvaturas das vertentes e a classe de média suscetibilidade a movimentos de massa.

Formas de relevo mais suaves como planícies e terraços fluviais, cordões litorâneos, colinas e sopés de morrotes correspondem a 78% das áreas de baixa suscetibilidade. Porções de sopé e topos de morros baixos, morros altos, serras e escarpas representam os 22% restantes (figura

10). A figura 11 demonstra a grande correlação desta classe com os perfis de vertente convexos (89%), que, por terem comportamento oposto aos *hollows*, favorecem a dispersão de fluxo d'água, tanto em superfície como em sub-superfície (Troeh, 1965). Cabe salientar que, embora não favoreçam a concentração de água no perfil de solo (o que poderia gerar poro-pressões críticas à deflagração de deslizamentos), o perfil convexo pode estar associado à ocorrência de rastejo (Bloom, 1970).



Figura 10: Gráfico de frequências relativas traduzindo a correlação entre os padrões de relevo identificados nos municípios amostrados e a classe de baixa suscetibilidade a movimentos de massa.



Figura 11: Gráfico de frequências relativas traduzindo a correlação entre as curvaturas das vertentes e a classe de baixa suscetibilidade a movimentos de massa.

5. CONCLUSÕES

A compilação e análise dos dados de suscetibilidade a movimentos de massa das cartas de 50 municípios dos Estados do RS e SC permitiram a identificação de correlações entre as classes de suscetibilidade e os padrões de relevo presentes nestas áreas, em termos de frequências absolutas e relativas de ocorrências.

O levantamento dessas frequências representa uma retroanálise, na qual classes de suscetibilidade a movimentos de massa foram usados para identificar os cenários geomorfológicos (padrões de relevo) preferenciais à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa nestes municípios.

Assim, os resultados demonstram que a classe de alta suscetibilidade a movimentos de massa está fortemente relacionada a cenários geomorfológicos com amplitudes acima de 120 metros, declividades acima de 16,7° e vertentes com perfis de curvatura côncavos (46%) e retilíneos (45%). Os padrões de relevo que melhor traduzem este cenário para os municípios amostrados são os morros altos (37%), serras (27%) e escarpas (17%). Para a classe de média suscetibilidade, que representa características de transição, a correlação com os padrões de relevo e perfis de curvatura não é tão direta. Entretanto, de acordo com os parâmetros básicos da

biblioteca de relevos usada nas cartas, constata-se que 85% desta classe é representada por terrenos com amplitude mínima de 40 metros e limite inferior de declividade de 11,3°. Formas de relevo mais suaves e em zonas de divergência de fluxos d'água (perfil convexo) representam o cenário relacionado à classe de baixa suscetibilidade, visto que 78% dos padrões de relevo observados são de planícies e terraços fluviais, cordões litorâneos, colinas e sopés de morrotes; sendo 89% dos registros com curvatura de vertente do tipo convexo.

Salientamos que a confiabilidade dos resultados está intimamente ligada ao tamanho do universo amostral utilizado, que no caso deste trabalho, esteve limitado ao número de cartas já finalizadas. Assim, tão logo mais cartas sejam executadas nestes estados, recomenda-se sua inclusão para a reavaliação dos resultados aqui expostos.

Por fim, embora os autores reconheçam que mais estudos devam ser feitos para investigar a possível correlação cruzada que possa haver entre os padrões de relevo aqui utilizados e os índices utilizados para definir a suscetibilidade a escorregamentos dos terrenos (CPRM & IPT, 2014), a potencialidade de uso mais geral destes padrões não deve ser minimizada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos pesquisadores em geociências da CPRM Sandra Silva (Sureg BH), Angela da Silva Bellettini (Sureg PA) e Eliel Martins Senhorinho (Sureg PA) pelas orientações e contribuições prestadas.

REFERÊNCIAS

BLOOM, A. (1970). *"Superfície da Terra"*. S. Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Diário Oficial da União, Brasília, 11 abr. 2012.

CPRM & IPT (2014). *"Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações : 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa"* / coordenação Omar Yazbek Bitar. -- São Paulo : IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo ; Brasília, DF : CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

FERNANDES, N. F. et al. (2001). *"Condicionantes Geomorfológicas de Escorregamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis"*. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 2, n. 1, p. 51-71.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo – EMPLASA (1990). *"Carta de aptidão física ao assentamento urbano, escala 1:50.000 - guia de utilização"*. São Paulo: IPT/ Emplasa, 1990.

PONÇANO, W. L. et al. (1981) *"Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo"*. São Paulo: IPT. 2 v. (Publicação IPT, 1 183; Monografias, 5).

ROSS, J. L. S (1992). O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, v. 6, p. 17-29.

SELBY, M. J. (1985). *"Earth's Changing Surface"*. Oxford: Clarendon Press.

TROEH, F. R. (1965) *"Landform equations fitted to contour maps"*. American Journal of Sciences (263):616-627.