

APLICAÇÃO DE DOIS MÉTODOS FÍSICO-MATEMÁTICOS PARA AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTABILIDADE DAS VERTENTES DA BACIA DO RIO RIBEIRÃO / PARANAGUÁ-PR

Josemar Pereira da Silva
Universidade Federal do Paraná
josemar@ufpr.br)

Claudinei Taborda da Silveira
Universidade Federal do Paraná
claudineits@ufpr.br

Alberto Pio Fiori
Universidade Federal do Paraná
fiori@ufpr.br

EIXO TEMÁTICO: GEOGRAFIA FÍSICA E GEOTECNOLOGIAS

RESUMO

No dia 11 de março de 2011, devido à intensa precipitação pluviométrica, diversos processos de escorregamentos foram desencadeados de forma simultânea na Serra do Mar Paranaense. Na literatura científica existem inúmeros métodos para identificação de áreas que são susceptíveis a estes fenômenos. A partir deste evento, foi possível a validação de dois métodos que são baseados na teoria do talude-infinito para avaliação das áreas susceptíveis a desestabilização das vertentes considerando o solo saturado. Para este trabalho adotou-se como área de estudo a bacia hidrográfica do Rio Ribeirão que se localiza no município de Paranaguá, onde foram identificadas 232 cicatrizes de escorregamentos. Os resultados dos dois métodos apresentam instabilidade nas áreas com maior declividade e solos rasos, sendo mapeado cerca de 27,76% para o método (1) e 40,11% para a método (2) com níveis de acerto respectivamente de 62,81% e 70,70% com base no inventário das cicatrizes de escorregamentos.

Palavras-chave: Fator de Segurança, Escorregamentos, Serra do Mar.

ABSTRACT

On March 11, 2011 due to intense rainfall, several landslides processes were triggered simultaneously in the Serra do Mar of Paraná. In scientific literature there are numerous methods for identifying areas that are susceptible to these phenomena. From this event, it was possible to validate the two methods that are based on the theory of infinite-slope for the evaluation of areas susceptible to destabilization of slopes considering the saturated soil. For this work it was adopted as the study area the watershed of Ribeirão river which is located in the city of Paranaguá, where it was identified 232 landslide scars. The results of the two methods show instability in areas with a greater slope and shallow soil, being mapped about 27.76% for the method (1) and 40.11% for the method (2) at levels of accuracy respectively of 62.81 % and 70.70% based on the inventory of landslide scars.

Keywords: Safety Factor, Landslides, Serra do Mar

JUSTIFICATIVA E PROBLEMÁTICA

Os escorregamentos são movimentos de massa que são mais frequentes nas regiões serranas principalmente devido as suas características naturais como a geologia, geomorfologia, pedologia e condições climáticas (TOMINAGA *et. al.*, 2009). Exemplo que cabe ser destacado ocorreu recentemente, em março de 2011, quando diversas áreas da Serra do Mar do litoral do Estado do Paraná, principalmente nas áreas que compreendem os municípios de Antonina, Morretes e Paranaguá, sofreram com a ocorrência de inúmeros escorregamentos, corridas de detritos e inundações.

Devido à complexidade da natureza dos movimentos de massa, existe uma grande dificuldade em se prever a configuração exata do mecanismo de ruptura e do volume a ser transportado. Neste sentido, dependendo das condições do terreno e de algumas suposições analíticas, o uso de modelos matemáticos teóricos adequados pode auxiliar na identificação das áreas mais propensas a estes fenômenos que normalmente ocorrem em ambientes serranos e com pluviosidade constante (FERNANDES *et. al.*, 2001)

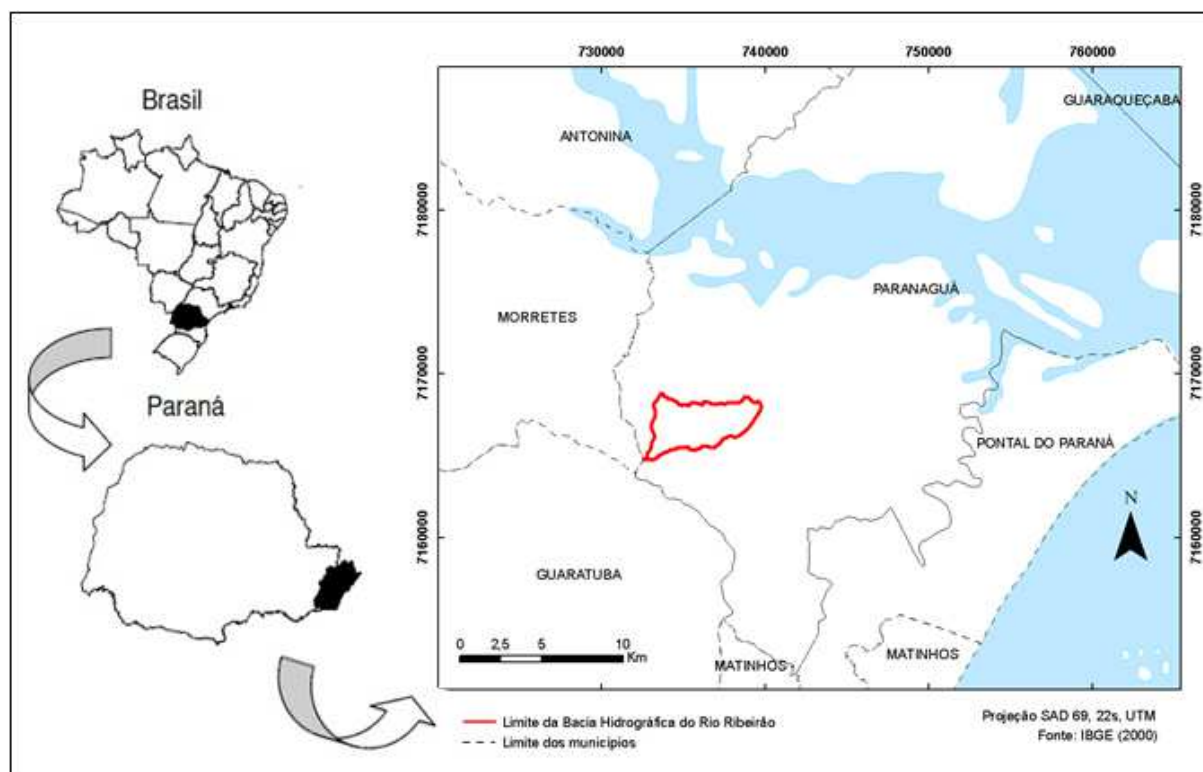
Diante desta problemática, uma das formas para mitigação destes eventos é a utilização de mapeamentos sistemáticos de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos. Com base nestas afirmações, foram adotadas duas equações matemáticas apoiadas em conceitos físicos para elaboração de dois mapeamentos de Índice de Estabilidade (SI), para identificação de áreas que apresentem certa susceptibilidade a escorregamentos translacionais, como os ocorridos em março de 2011 na Serra do Mar Paranaense.

Para validação destes métodos foi adotada a bacia hidrográfica do Rio Ribeirão (FIGURA 01) que se localiza integralmente no município de Paranaguá e que faz divisa com o município de Morretes. Possui uma área de aproximadamente 16,511km² e foi selecionada devido a sua representatividade, uma vez que se localiza dentro da área onde ocorreram alguns escorregamentos no episódio de março de 2011.

De acordo com Maack (2002) a área de estudo compreende a borda da Serra do Mar que é composta por um Cinturão Granitóide Costeiro onde se inclui o batólito Paranaguá. Este cinturão constitui-se de granito-gnaisses, migmatitos e outras rochas foliadas que sustentam um relevo acidentado de morros e serras, com vales profundos, estreitos e vertentes rochosas muito íngremes.

Segundo Almeida *et. al.*, (1998) a avaliação de instabilidade da Serra do Mar, bem como de outros terrenos submetidos à erosão acelerada, tem sido uma exigência, além de instrumento valioso para os estudos de prevenção e redução de desastres naturais.

FIGURA 01 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO RIBEIRÃO



OBJETIVOS

Desta maneira, o objetivo deste trabalho foi a aplicação, validação e comparação de dois métodos que utilizam como base a modelagem do fator de segurança (F_s). Esta modelagem visa quantificar a relação entre as forças de resistência e as que favorecem a ocorrência do deslocamento do material em uma vertente. Assim, caso o resultado seja superior a 1 ($F_s > 1$) indica estabilidade da vertente e o valor inferior a 1 ($F_s < 1$) indica instabilidade da vertente.

Os mapeamentos de Índice de Estabilidade (SI) elaborados neste trabalho seguiram as propostas metodológicas de FIORI e CARMIGNANI, (2009) denominado neste trabalho como método (1) e do software SINMAP (PACK, 1998) denominado como método (2);

Para conferir a confiabilidade dos métodos aplicados adotou-se a sobreposição de um inventário de cicatrizes de escorregamentos que foi elaborado logo após o evento de 11 de março de 2011 pelo Núcleo de Geoprocessamento do Departamento de Geologia da UFPR.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização deste trabalho foram utilizadas as bases cartográficas digitais disponíveis no sítio do ITCG (INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS DO PARANÁ, 2009). Os planos de informação utilizados foram: Pontos Cotados, Curvas de Nível e Drenagem da Bacia hidrográfica. Todos os dados estão disponíveis na escala 1:25.000, com projeção UTM, DATUM SAD 69 Fuso 22s. As curvas de nível apresentam as linhas com equidistância de 20 metros. A delimitação da bacia foi realizada com o auxílio do software ARCGIS 9.3.1 (ESRI,2006) seguindo a interpretação das curvas de nível e drenagem.

Os parâmetros geotécnicos utilizados basearam-se nos ensaios de cisalhamento direto realizados por Kozciak (2005) na bacia hidrográfica do rio Marumbi, sendo distribuídos de acordo com as unidades de mapeamento de solos, conforme TABELA 01:

TABELA 01 – PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

Unidades de solos	Profundidade do Solo	Ângulo de Atrito	Peso natural do solo (cm ³)	Coesão (kPa)
Gleissolos	200 cm	25,5°	1,845 g/cm ³	10,9 kPa
Latosolos	300 cm	21,7 °	1,716 g/cm ³	13,5 kPa
Cambissolos	100 cm	23,2 °	1,638 g/cm ³	14,8 kPa
Neossolos Litólicos	50 cm	23,5 °	1,729g/cm ³	17,0kPa

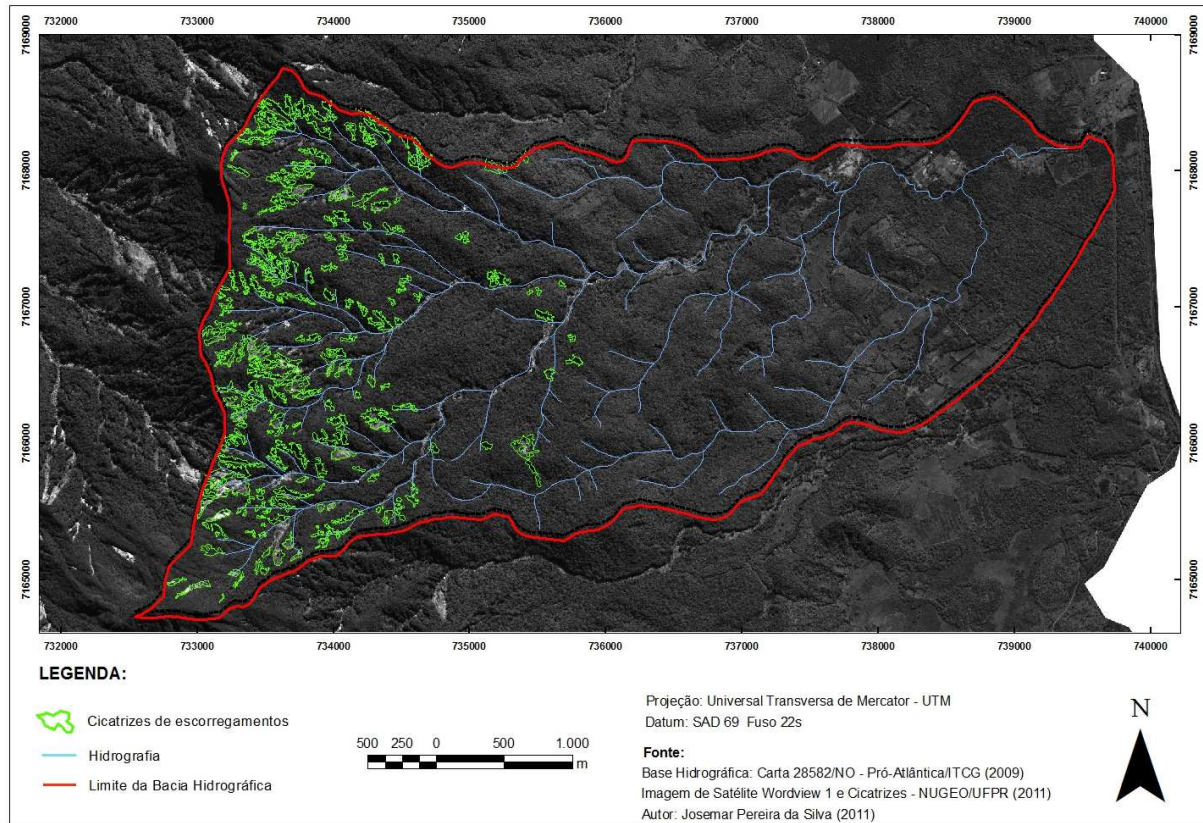
Fonte: Kozciak (2005)

Apesar das amostras terem sido coletadas fora da área do presente estudo, são representativas por tratar-se de uma bacia que apresenta características do meio físico muito semelhantes, como geologia, geomorfologia, solos, vegetação e clima. A resistência ao cisalhamento de um solo pode ser definida como a máxima tensão ao cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer ruptura, ou a tensão de cisalhamento do solo no plano em que a ruptura estiver acontecendo (FIORI e CARMIGNANI (2009).

Conforme Guimarães *et. al.* (2008), os mapas inventários tem a finalidade de representar a distribuição espacial dos movimentos de massa. O mapeamento dos processos de escorregamentos (FIGURA 02) que ocorreram no evento do dia 11 de março de 2011 nos municípios de Morretes e Paranaguá foi realizado com base na interpretação visual conforme a textura, cor, rugosidade, feição, padrões e geometria dos diferentes processos. Como suporte para a delimitação deste evento foi empregado a imagem de satélite Wordview 1 cujo o pixel equivale a 0,5 metros. Para o tratamento da imagem de satélite foi usado o software ENVI 4.7 (ITT, 2009).

Nesta área de estudo foram identificadas 232 cicatrizes de escorregamentos o que corresponde a uma área total de 824.900 m². Na FIGURA 02 estas cicatrizes são representadas por polígonos na cor verde limão e apresentam uma dimensão espacial da magnitude do evento.

FIGURA 02 – INVENTÁRIO DAS CICATRIZES DE ESCORREGAMENTOS



Organizador: Josemar (2011)

Para o cruzamento do inventário de escorregamentos com os mapas temáticos de Índice de Estabilidade (SI) elaborados, primeiramente procedeu-se a conversão do formato vetorial (original) para o formato *grid* com pixel de 5 metros.

Para elaboração dos mapas de Índice de Estabilidade (SI), primeiramente foi necessário a elaboração do modelo digital de terreno (MDT) e do mapa de solos a partir dos arquivos vetoriais disponíveis, sendo eles: curvas de nível, drenagem e pontos cotados. O modelo digital de terreno (MDT) foi gerado em forma de *grid*, onde cada pixel possui resolução espacial de 5 metros. Para isso, foi utilizado o método “topo to raster” do software ARCGIS 9.3.1.

Devido à inexistência de dados amostrais sobre algumas tipologias de solos da bacia do Ribeirão, foram adotadas médias entre as classes sobrejacentes e inferiores para substituir os dados amostrais ausentes. A distribuição foi apoiada em unidades preliminares de mapeamento de solos obtidas por técnicas de pedometria, apoiada na proposta de SILVEIRA (2010).

O primeiro mapa de Índice de estabilidade (SI) segue a proposta da equação 9-22 do fator de segurança proposto por Fiori e Carmagnani (2009). A fórmula adotada é denominada como equação (01) sendo descrita abaixo:

$$FS = \frac{CS + \left[\left(\gamma_{nat} - \frac{h_w}{h} \gamma_a \right) h \cos i + \sigma_a \cos i \right] \tan \varphi}{(h \gamma_{nat} + \sigma_a) \sin i + \sigma_{ve}} \quad (01)$$

Onde:

FS = Fator de segurança, CS = Coesão do solo, γ_{nat} = Peso específico natural, h_w = Altura da zona de solo saturado, perpendicular à vertente, h = Profundidade do solo, perpendicular à vertente, γ_a = Peso específico da água, i = Inclinação da vertente.

σ_a = Resistência devido ao atrito das raízes no plano de movimentação, φ = Ângulo de atrito interno do solo, σ_{ve} = Pressão exercida pelo vento sobre uma cobertura vegetal.

Com o emprego da ferramenta reclassify do software ArcGIS 9.3.1 (ESRI, 2006) foram gerados os temas espessura do solo, peso do solo natural, coesão dos solos e ângulo de atrito com base na área de calibração do tema solos, conforme os parâmetros adotados na TABELA 01. Os valores de σ_a e σ_{ve} são respectivamente 3,0 kPa (WOLLE & PEDROSA, 1981) e 1,0 kPa (FENDRICH & FERREIRA, 1995).

Para razão h_w/h foi adotado o valor de 1 para esta equação, levando em consideração a saturação completa do solo durante os eventos de escorregamentos.

O cálculo de fator de segurança (FS) foi realizado a partir da ferramenta Raster Calculator do software ArcGIS 9.3.1 (ESRI, 2006). Com base nos parâmetros adotados foi possível confeccionar o mapa de índice de estabilidade (SI), onde cada pixel representa um grau de estabilidade e instabilidade diferente a partir da equação aplicada.

O segundo mapa de Índice de Estabilidade (SI) seguiu o roteiro metodológico indicado pelo manual do software SINMAP (PACK, 1998), disponível no sítio oficial do mesmo.

Para este modelo os parâmetros de entrada são reconhecidos por serem incertos, ou seja, são especificados para o SINMAP em termos de limites máximos e mínimos. Neste trabalho optou-se em adotar os mesmos valores para os índices máximos e mínimos do software SINMAP, conforme a TABELA 02. Desta forma, foi possível obter uma comparação direta entre as equações de fator de segurança adotadas pelos dois métodos.

TABELA 02 – PARÂMETROS DE ENTRADA PARA A APLICAÇÃO DO MÉTODO (2)

Unidades de solos	Ângulo de Atrito φ	Coesão Adimensional	Transmissividade / Precipitação
Gleissolos	25,5	0,038	0,000
Latossolos	21,7	0,032	0,810
Cambissolos	23,2	0,068	0,210
Neossolos Litólicos	23,5	0,232	0,015

A inserção destes parâmetros segue uma área de multi-região, em formato de polígono (*shapefile*), que corresponde ao mapa de solos gerado conforme o método de SILVEIRA (2010). O método de multi-região foi adotado para identificação das áreas que possuem os mesmos parâmetros geotécnicos de calibração.

A equação 02 apresenta o fator de segurança adotado pelo SINMAP:

$$FS = \frac{Cr + Cs + \cos 2\theta [\rho_s \cdot g(D - Dw) + (\rho_s \cdot g - \rho_w \cdot g)Dw] \tan \varphi}{D \cdot \rho_s \cdot g \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta} \quad (02)$$

Onde:

Cr é a coesão da raiz [N/m²], Cs é a coesão do solo [N/m³], θ é da declividade da encosta [graus], ρ_s é a densidade do solo úmido [kg/m³], ρ_w é a densidade da água [kg/m³], g é a aceleração da gravidade [9.81 m/s²], D é a profundidade vertical do solo [m], Dw é o nível do lençol freático dentro da camada de solo [m], e φ o ângulo de atrito interno do solo [graus].

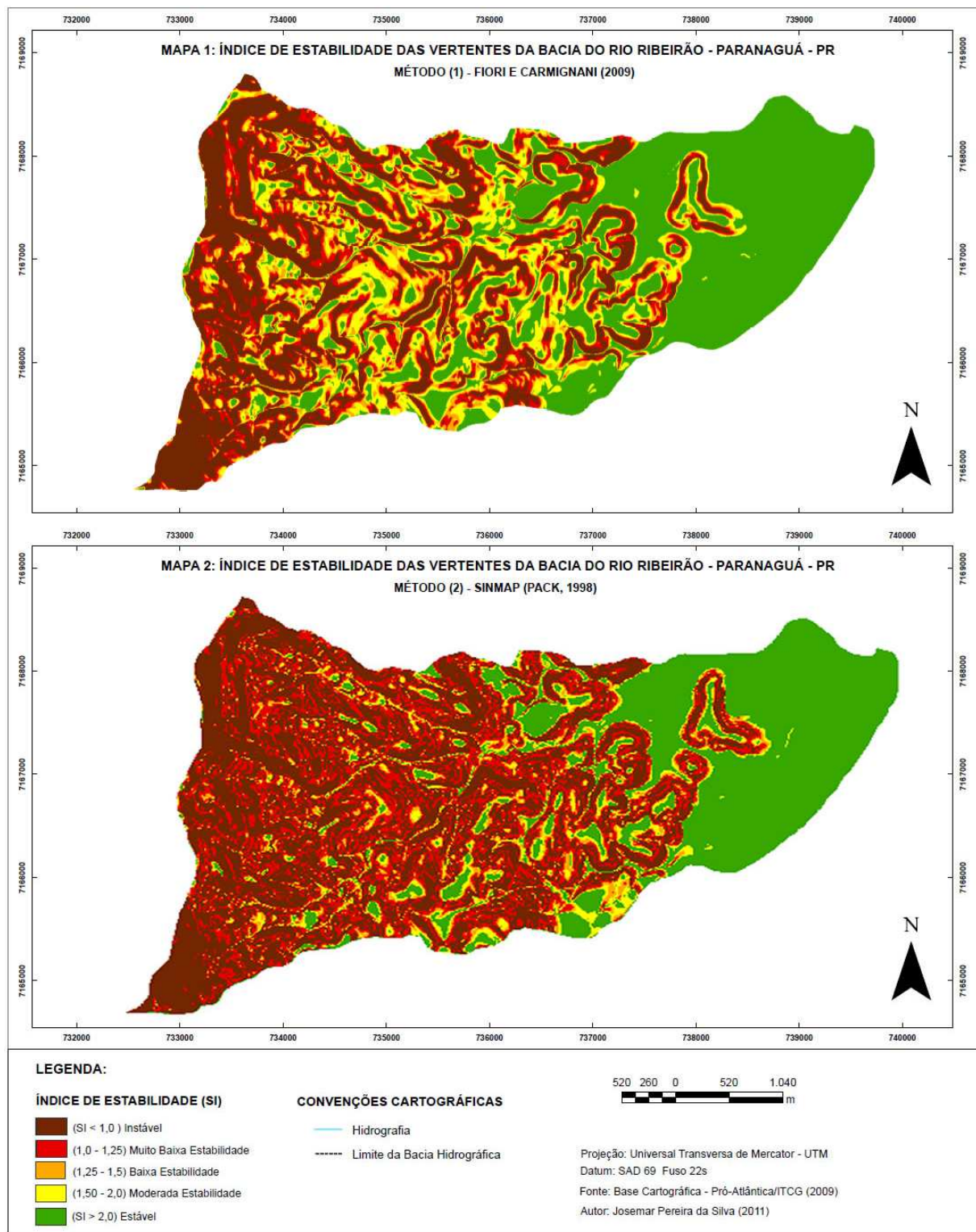
A rotina automatizada deste modelo consiste na geração dos temas: (1) Pit de preenchimento de correções, (2) Direção de Fluxo e (3) Acumulação de Fluxo. Estes parâmetros são utilizados pelo modelo para interpretação dos resultados, bem como pela extração dos parâmetros do *grid* que são utilizados para modelagem do fator de segurança deste modelo.

Com os dois mapas de Índice de Estabilidade (SI) finalizados os mesmos foram comparados entre si e cruzados com o Inventário de cicatrizes de escorregamentos em formato de *grid* utilizando a ferramenta Raster Calculator do software ArcGIS 9.3.1 (ESRI, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os diferentes graus de estabilidade/instabilidade obtidos nas duas simulações estão representados na FIGURA 03. Pode ser observado nesta figura que, os dois procedimentos metodológicos admitem maior instabilidade na porção oeste da área de estudo.

FIGURA 03 – MAPAS DE ÍNDICE DE ESTABILIDADE (SI) DA BACIA DO RIO RIBEIRÃO



Nota: A porção oeste da bacia concentra as maiores declividades e altitudes da área de estudo.

Esta porção da bacia que compreende 67% da área de estudo e apresenta alta dissecação com declividades superiores a 12%. Estas são condicionadas pelas discontinuidades das estruturas geológicas, como juntas e falhas antigas, que são aproveitadas pela água e pelos lentos processos de denudação associados que assim promovem o desenvolvimento em profundidade das massas de solos

e rochas decompostas que acabam sendo afetadas pela atividade erosiva incessante (ALMEIDA, 1998).

TABELA 03 – ÍNDICES DE ESTABILIDADE (SI)

(SI)	(FS)	Fiori (2009)		SINMAP	
		Área da bacia (m ²)	% bacia	Área da bacia (m ²)	% bacia
Instável	0 – 1	4.583.300	27,76%	6.623.000	40,11%
Muito Baixa Estabilidade	01 – 1,25	2.290.600	13,87%	3.774.675	22,86%
Baixa Estabilidade	1,25 – 1,5	1.561.475	9,46%	969,450	5,87%
Moderada Estabilidade	1,5 – 2,0	2.316.600	14,03%	791.575	4,79%
Estável	FS > 2,0	5.759.450	34,88%	4.352.775	26,36%

TABELA 04 – QUANTITATIVO DA OCORRÊNCIA DE ESCORREGAMENTOS

(SI)	(FS)	Ocorrência de escorregamentos	
		Fiori (2009)	SINMAP
Instável	0 – 1	62,81%	70,70%
Muito Baixa Estabilidade	01 – 1,25	19,52%	24,67%
Baixa Estabilidade	1,25 – 1,5	8,19%	2,92%
Moderada Estabilidade	1,5 – 2,0	6,94%	0,70%
Estável	FS > 2,0	2,55%	0,30%

As declividades superiores a 39% com associação de Neossolos Litólicos + Cambissolos são definidas como áreas com fator de segurança instável (FS<1) pelo método (1).

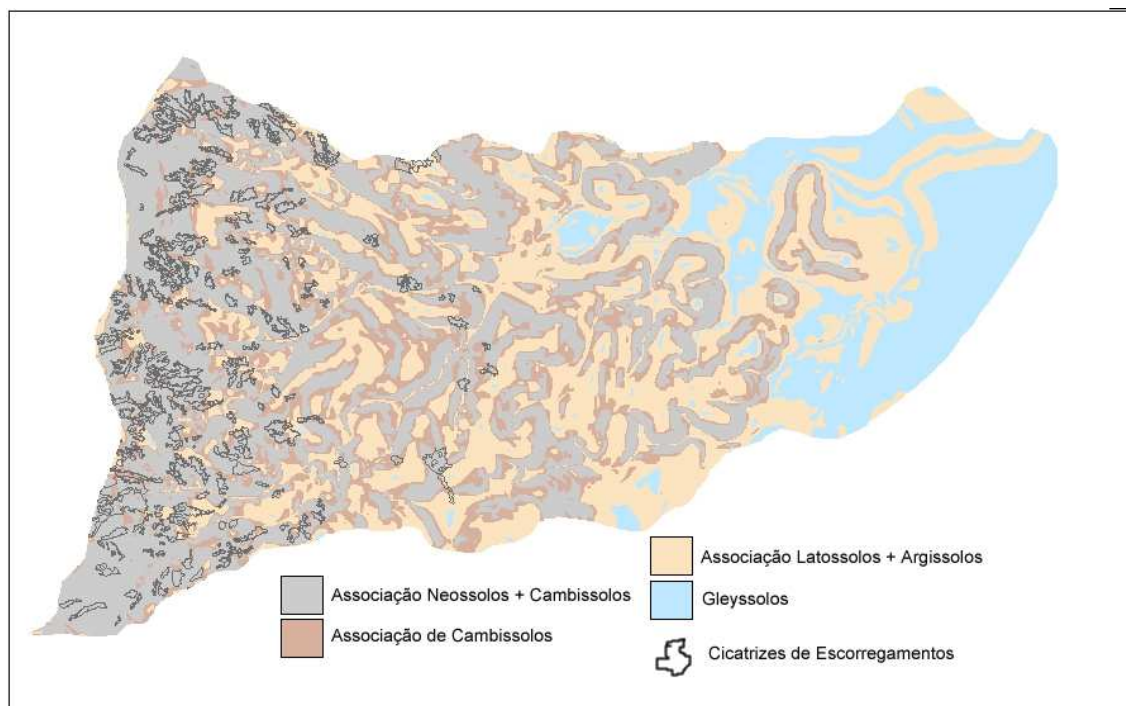
O método (2) considera áreas instáveis a partir das declividades com 24%. Os solos para essa classe compreendem parte da associação de Cambissolos, sendo que a maioria é constituída pela associação de Neossolos Litólicos + Cambissolos.

O método (1) demarcou 27,76% da área como Instável, resultando em um acerto de 62,81%. Desta área de classificação, 57% coincidem com a classificação do SINMAP. O método (2) demarcou 40,11% da área como Instável (FIGURA 03), tendo um total de acerto 70,70% em relação os escorregamentos para esta classe.

No geral, os escorregamentos estão situados em declividades superiores a 34%, acima de 400 metros de altitude sobre forte presença da associação de Neossolos Litólicos + Cambissolos e uma pequena parcela dos tipos de associação de Cambissolos, conforme mostra a FIGURA 04. De acordo

com os mapeamentos realizados, cerca de 79,23% dos escorregamentos estão concentrados entre as declividades de 36% a 67%.

FIGURA 04 – CONCENTRAÇÃO DE CICATRIZES E UNIDADES DE SOLOS PRELIMINARES



Nota: Unidades pedológicas conforme a proposta de SILVEIRA (2010).

No método (1) as áreas consideradas como Muito Baixa Estabilidade representam 13,87%. Sua distribuição espacial é por toda a bacia e tem a ocorrência de 19,52% dos escorregamentos. Estes escorregamentos podem ser justificados pela localização adjacente desta classe nas bordas das áreas Instáveis. A declividade varia de 28% a 40% com a combinação das associações de Cambissolos e Neossolos+Cambissolos.

Para a classe Muito Baixa Estabilidade, 33,34% das áreas do método(1) são idênticas espacialmente ao método (2). O SINMAP considerou 22,86% da bacia com Muito Baixa Estabilidade, sendo que 24,67% dos escorregamentos ocorreram nesta classe, cujas tipologias dos solos alternam entre as associações de Latossolos+Argissolos, Cambissolos e Neossolos+Cambissolos.

O método (1) considerou as áreas com baixa estabilidade com declividades entre 25% a 32% com predominância da associação de Cambissolos.

As áreas definidas como de Baixa Estabilidade para método (1) correspondem a 9,46%, sendo que 8,19% dos escorregamentos ocorreram nestas áreas. Esta classe possui apenas 3% de relação espacial com a mesma classe adotada pelo SINMAP.

O SINMAP adotou a classe de Baixa Estabilidade para as declividades entre 14% a 17% com associação dos solos Latossolos+Argissolos e associação de Cambissolos.

O método (1) delimitou as áreas de Moderada Estabilidade (1,5-2,0) principalmente sobre as áreas de associação de Latossolos+Argissolos e algumas áreas com associação de Cambissolos. Os perfis para essa classe são planares e côncavos que variam entre as declividades de 12% até 29%°.

O método (2) considerou que as áreas de Moderada Estabilidade estão compreendidas entre as declividades de 10% até 13% com predomínio da associação de Latossolos+Argissolos. O que chama atenção para essa classe é que as duas técnicas empregadas também não coincidem espacialmente, aonde cerca de 3% da área mapeada pelo SINMAP é a mesma que o método (1). A maior parte das áreas moderadas da classificação gerada pelo SINMAP localiza-se no lado leste da bacia, enquanto o método (1) distribui as áreas moderadas por toda a bacia.

O método (1) considerou as áreas com até 14% de declividade como estáveis e o método (2) considerou até 18%. Isso pode ser visualizado facilmente no mapa pela diferença do tamanho das classes e sua distribuição na bacia. Mesmo assim, os dois procedimentos metodológicos apresentam uma grande proximidade na classificação para esse índice de estabilidade, aonde cerca de 68% do SINMAP é igual ao método (1). Em ambos os métodos existe a predominância estável para a classificação dos solos Gleissolos que ocorrem nas áreas mais aplainadas e com associação de Latossolos+Argissolos.

Os dois métodos adotaram as áreas com maior declividade como as que apresentam maior instabilidade, ou seja, quando a condição ($SI < 1$). Portanto, constata-se que para os modelos, a declividade da vertente tem maior representatividade na caracterização das classes de estabilidade para cada pixel.

A dificuldade maior está nas delimitações das cicatrizes de escorregamentos que podem interferir nos resultados finais, uma vez que no momento da ruptura do solo parte do material pode ser transportado das áreas mais críticas e sendo depositado nas áreas inferiores ou que apresentam maior estabilidade.

Para os dois métodos, a geomorfologia da vertente demonstrou ser o atributo de maior representatividade considerando os valores geotécnicos adotados para as quatro áreas de calibração.

CONCLUSÕES

Os resultados mostram que o Índice de Estabilidade (SI) apresentado pelo método (2) obteve um maior número de acerto para área mais instável em relação ao inventário de cicatrizes de escorregamentos utilizado do que o apresentado pelo método (1). As áreas de Moderada Estabilidade e Estável do método (1) também registraram um menor percentual de ocorrências de escorregamentos.

Não foi possível correlacionar todas as classes de estabilidade indicadas pelos dois métodos, pois estas se apresentaram com distribuição espacial diversificada entre as mesmas classes para ambos os mapeamentos.

O emprego de modelos matemáticos que são fundamentados em fenômenos físicos permite que sejam calculadas as variabilidades espaciais dos valores de fator de segurança (Fs) para grandes áreas. Nesta perspectiva, os dois métodos possibilitam que diversas simulações sejam efetuadas com base em equações que procuram representar as condições de instabilidade geotécnica da área de estudo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M. e CARNEIRO, C.D.R - 1998 - **Origem e evolução da Serra do Mar**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.28, n.2, p. 135-150.
- FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. (2009) **Fundamentos de Mecânica dos solos e das rochas: aplicação na estabilidade de taludes** – Ed. UFPR – Curitiba, PR.
- FENDRICH, R. e FERREIRA, M. A. (1995). **Rosa de Frequência dos Ventos no Estado do Paraná**. Revista Acadêmica da PUC/PR. Vol. 11, p. 49 – 57.
- FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. (2001). **Condicionantes geomorfológicos dos 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.
- GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; GOMES, R.A.T.; FERNANDES, N.F. **Movimentos de Massa**. In: FLORENZANO, T. G. (Orgs). **Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais**. São Paulo: Oficina de Texto, 2008. Cap. 6, p. 159-184.
- KOZCIAK, S. **Análise Determinística da Estabilidade de Vertentes na Bacia do Rio Marumbi – Serra do Mar – Paraná**. Curitiba, 2005, p. 151. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental). Universidade Federal do Paraná.
- PACK, R. T., D. G. TARBOTON AND C. N. GOODWIN, "The SINMAP Approach to Terrain Stability Mapping," Paper Submitted to 8th Congress of the International Association of Engineering Geology, Vancouver, British Columbia, Canada 21-25 September 1998.
- SILVEIRA, C. T. "Análise Digital do Relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos: integração de atributos topográficos em sistemas de informações geográficas e redes neurais artificiais". Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 3º. edição. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002.
- TOMINAGA, L. K. (Org.); SANTORO, J. (Org.); AMARAL, R. (Org.) . **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. 1ª. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. v. 01. 196 p.
- WOLLE, C. M. e PEDROSA, J. A. B. (1981). **Horizontes de Transição Condicionam Mecanismo de Instabilidade de Encostas na Serra do Mar**. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, ABGE, vol. 2, p. 121 – 135. Itapema – SC.