

Interpretação de cicatrizes de movimento gravitacional de massa em imagens de alta resolução do sensor ADS 80 na geração de mapa de risco de deslizamentos em trecho do projeto do trem de alta velocidade brasileiro

Fausto Batista Mendonça¹,
Noris Costa Diniz²,
Gustavo Macedo de Mello Baptista²

¹ SHIS QI 5 Área Especial 12
CEP 71615 - 500 - Lago Sul - DF, Brasil
faustobm@hotmail.com

² Instituto de Geociências, UnB Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC – Ala Central
CEP 70910-900 - Brasília - DF, Brasil
{noris, gmbaptista}@unb.br

Abstract. The design of high speed train to be built in Brazil will connect the Campinas city in São Paulo to Rio de Janeiro city. It is a linear work unprecedented in the Country, which will go through various types of land experiencing different conditions. This job presents a risk mapping of landslides in the region of the fourth section of the planning route, on a region near the city of Itatiaia in Rio de Janeiro. Landslides were inventoried by means of photointerpretation using ADS 80 sensor images. Thematic maps of the region with data from pedology, geomorphology, land use and land cover, lithology and hypsometry were used for the map algebra which generates the risk and hazard maps. The results indicate the existence of high risk to the occurrence of landslides in almost section four showing the need of a very thorough geotechnical evaluation of the slopes geological conditions that will suffer interventions during engineering work. This article was based on a publication relative to the conclusion job of the author's post graduation – Landslide hazards analysis of Itatiaia massif talus associated to the project of high speed Brazilian train – presented in March of 2012, on the University of Brasília, in cooperation with the SIPAM (Amazon Protect System) and Brazilian Air Force.

Palavras-chave: remote sensing, geographic information system, landslides, geological risk, sensoriamento remoto, sistema de informação geográfica, deslizamentos, risco geológico.

1. Introdução

Os desastres naturais sempre acompanharam a história da humanidade, observam-se exemplos como o soterramento da Cidade de Pompeia na Itália pelas cinzas do vulcão Vesúvio, próximo ao ano 79 d.C. (GÓIS, 2009). Recentemente foi possível observar as forças da natureza devastando cidades na Ásia, como tsunamis gerados por terremotos submarinos no ano de 2004. No Haiti, em 2010, ocorreu também um terremoto de magnitude 7 que causou milhares de mortes e mergulhou o país num verdadeiro colapso administrativo, econômico e social. Em 2012, a costa leste dos Estados Unidos sofreu sérios danos após o furacão Sandy.

As inundações e deslizamentos causados por chuvas intensas fazem parte de catástrofes que costumam assolar a humanidade. O verão de 2010 foi marcado por uma série de MGM (Movimento Gravitacional de Massa) gerados por fortes chuvas na cidade de Angra dos Reis no estado do Rio de Janeiro, além de fortes enxurradas e enchentes nas ruas. Em 2011 Teresópolis e Nova Friburgo foram atingidas por centenas de deslizamentos gerados por chuvas de grande intensidade.

Prever um deslizamento é quase impossível, entretanto prevenir os resultados oriundos desta movimentação de terra é uma prática possível, conforme alguns trabalhos publicados neste sentido, como Varnes (1984), Wolle e Carvalho (1989), Fernandes e Amaral (1996) e Guzzetti e

Tonelli (2004).

Conhecer o histórico de movimentos de massa na região estudada é um passo importante no mapeamento das possíveis áreas a serem atingidas. Diversos autores desenvolveram estudos levando em conta informações semelhantes, como registros de movimentos de massa remotos e recentes.

O planejamento de uso e ocupação do solo é uma ferramenta que auxilia na tomada de decisão quanto ao melhor aproveitamento de áreas superficiais para as diversas finalidades. Obras de engenharia carecem de dados relativos ao comportamento geomecânico, além da natureza da ocupação das áreas a serem afetadas, como por exemplo, o impacto em áreas inundadas para a construção de uma barragem.

A implantação de uma ferrovia, assim como de uma estrada, implica em diversas interações com o terreno. Execução de cortes e aterros, áreas de bota-fora, de empréstimo, além da busca de jazidas de materiais de construção nas proximidades dos canteiros, para reduzir o custo logístico do suprimento de material são alguns exemplos. Entretanto, o conhecimento da geologia da região é primordial para a implantação de estradas, sejam de ferro ou asfaltada. Copons e Vilaplana (2008) falam sobre a necessidade de conhecer a geomorfologia do terreno para a sua correta utilização, reduzindo os riscos.

As novas tecnologias de Sensoriamento Remoto (SR) têm sido largamente aplicadas nestes estudos, além das ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) na geração de mapeamento de áreas de risco geológico.

O presente estudo visa à geração de uma proposta de mapa de risco de deslizamentos utilizando imagens de alta resolução na interpretação de áreas com maior suscetibilidade a ocorrência de MGM.

2. Material e Métodos

As imagens ortoretificadas geradas pelo voo do 1^o/6^o Grupo de Aviação do COMGAR (Comando-Geral de Operações Aéreas), que opera o sensor ADS80 (*Airborne Digital Sensor*) da Leica *Geosystems*, foram cedidas pelo CENSIPAM (Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia) para a realização deste trabalho. As ortofotos utilizadas para a vetorização das áreas de cicatrizes de MGM apresentavam resolução espacial de 50 cm e sistema de projeção WGS 84, foram obtidas no dia 30 de agosto de 2011 a uma altura de voo de 30.000 pés, com a aeronave Learjet, entre 08:30h e 15:30h. Van Westen et al. (2008) afirmam que o levantamento de informações sobre MGM, utilizando imagens obtidas por sensores aero-embarcados por meio de fotointerpretação, é altamente indicado para o estudo detalhado de uma área suscetível. O trabalho de vetorização das cicatrizes de MGM foi feito por meio do *software* ArcGis 9.3 de forma manual em um processo de fotointerpretação, como pode ser observado na Figura 1.

Cicatrizes remotas de deslizamentos, formando anfiteatros, e cicatrizes recentes foram mapeadas por este processo. O trabalho foi feito tomando por base as especificações do Guia para Elaboração de Mapas Geomorfológicos da Espanha (Martín-Serrano et al., 2004).

Foram obtidos mapas temáticos junto ao Parque Nacional do Itatiaia e a CPRM, mapas de geomorfologia, litologia, uso do solo e cobertura vegetal, hipsometria e pedologia, que receberam os registros de deslizamento sobre suas classes. Em seguida, a frequência de ocorrências de deslizamentos foi consolidada em cada classe, assim obteve-se a quantidade relativa de registros de MGM nas classes de cada tema. As classes receberam pesos, que obedeceram à razão entre porcentagem de ocorrência e porcentagem de área movimentada, quanto maior o valor deste quociente, maior o peso, conforme Pimentel (2010) e Mendonça (2012). De posse desse

resultado, as classes dos mapas temáticos foram submetidas a uma álgebra de mapas para fornecerem as áreas que apresentavam maior suscetibilidade a deslizamento, o resultado foi o mapa de perigo da área. Regueiros e González-Barros (2008) classificam o grau de suscetibilidade conforme a Tabela 1.

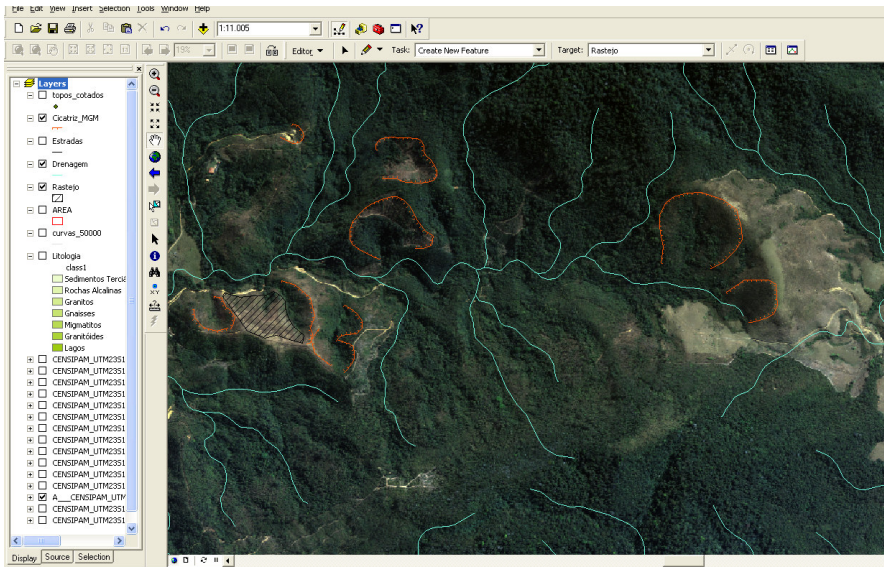


Figura 1. Vetorização das cicatrizes de MGM na ferramenta ArcGis 9.3. As linhas em laranja destacam anfiteatros de deslizamentos remotos.

Ao associar o elemento sob risco, que é a ferrovia a ser construída, por meio de uma interseção com o mapa de suscetibilidade foi obtido o mapa de risco de deslizamento no trecho analisado.

Tabela 1. Níveis de suscetibilidade a MGM. Adaptado de Regueiros e González-Barros (2008).

Declividades	Suscetibilidade	Representação
0° - 3°	NULA	Blue
3° - 7°	BAIXA	Green
7° - 15°	MÉDIA	Yellow
15° - 30°	ALTA	Orange
> 30°	MUITO ALTA	Red

Um teste estatístico foi realizado para verificar se a distribuição dos pontos de registro de MGM é equidistante ou não.

3. Resultados e Discussão

A operação *sumarize* consolida a quantidade de ocorrências de MGM e das áreas movimentadas em cada classe dos temas considerados. De posse desse resultado, consegue-se relacionar as classes atingidas de cada tema, atribuir pesos e efetuar a álgebra de mapas para a obtenção das áreas de perigo de ocorrência de MGM e trechos de risco de deslizamentos no traçado proposto para o TAV (Trem de Alta Velocidade). A Tabela 2 traz o resultado da operação sobre o tema de uso do solo e cobertura vegetal.

O Parque Nacional do Itatiaia possui o cadastro de uso e cobertura da região, de posse desses dados, cruzando a tabela de MGM registrados por fotointerpretação, foi possível visualizar quais

os tipos de uso e cobertura da região que apresentaram maiores índices de movimentos de massa. Varnes (1984), Corominas *et al.* (1992), Cruden e Varnes (1996) e van Westen *et al.* (2008), ressaltam a importância da cobertura do solo na avaliação de suscetibilidade e risco.

O mapa que apresenta as áreas de uso do solo e cobertura vegetal sendo sobreposto pelos registros de MGM, obtidos por fotointerpretação nas imagens do sensor ADS80, pode ser visto na Figura 2.

Tabela 2. Consolidação dos registros de MGM no tema uso do solo e cobertura vegetal.

Cobertura observada	Legenda	Área (km ²)	Área (%)	Área MGM (km ²)	Área MGM (%)	Freq. MGM	Freq. MGM (%)
Pecuária	Ap	173,09	40,13%	2,80	50,72%	207	60,35%
Floresta Estacional Semidecidual	F	10,41	2,41%	0,32	5,72%	20	5,83%
Floresta Ombrófila Densa	D	223,13	51,74%	1,86	33,68%	75	21,87%
Florestamento / Reflorestamento	R	0,81	0,19%	0,04	0,65%	2	0,58%
Agricultura	Ac	0,42	0,10%	0,05	0,97%	3	0,87%
Influência Urbana	Iu	18,85	4,37%	0,20	3,64%	15	4,37%
Savana Florestada	Sd	1,89	0,44%	0,08	1,48%	9	2,62%
Vegetação Secundária Inicial	Vsi	2,68	0,62%	0,17	3,14%	12	3,50%
TOTAL		431,28	100%	5,53	100%	343	100%

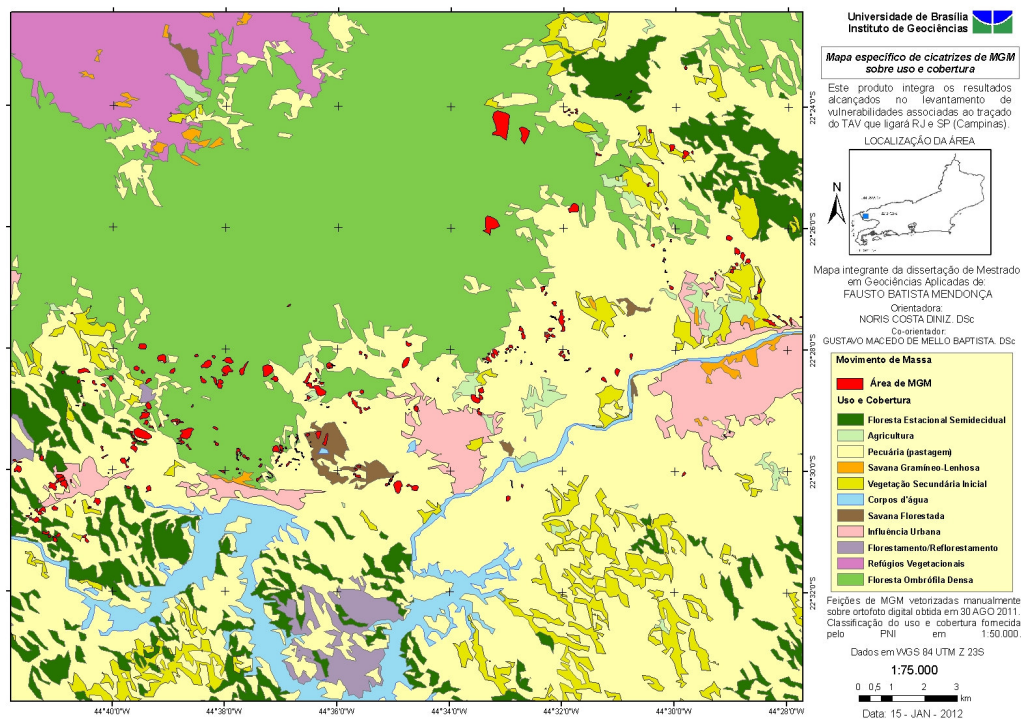


Figura 2. Mapa de uso do solo e cobertura vegetal sobreposto pelas cicatrizes de MGM obtidas por fotointerpretação nas imagens do sensor ADS80.

Os outros temas foram submetidos ao mesmo processo de análise. Os seus valores consolidados de forma análoga a Tabela 2.

3.1 Mapa de Perigo

De posse dos dados avaliados foi realizada uma álgebra de mapas entre as feições de hipsometria, litologia, uso e cobertura, geomorfologia e pedologia para a geração de áreas de perigo de MGM na região de passagem do traçado do TAV, tal procedimento é realizado com os arquivos no formato matricial. Para essa operação fez-se a distribuição dos pesos entre os temas e as classes que os compõem. O resultado fornece um mapa temático com as áreas da região avaliada classificadas quanto ao perigo de ocorrência de MGM que pode ser visualizado na Figura 3.

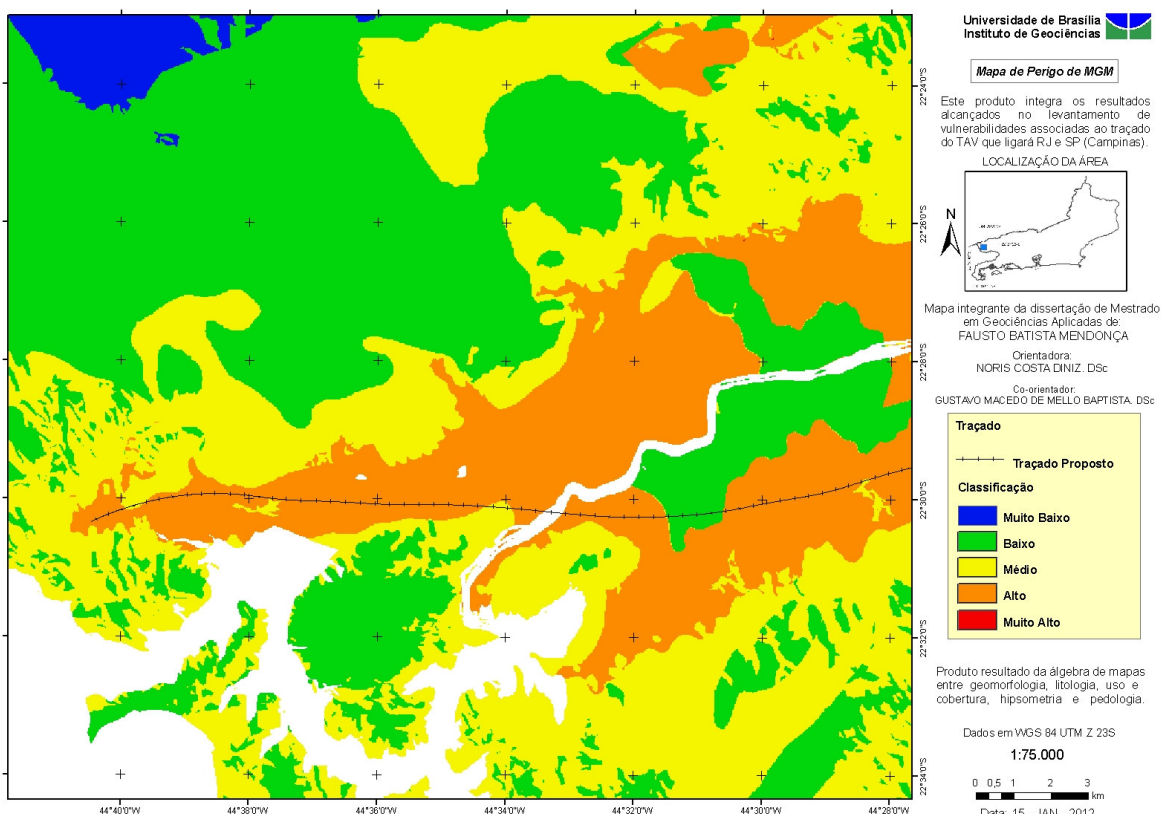


Figura 3. Mapa de perigo de MGM gerado pela álgebra de mapas aplicando a ferramenta *weighted overlay* do Arc Gis 9.3.

3.2 Mapa de Risco

Após uma operação de interseção, no comando *Analysis Tools* do ArcGis 9.3, sem ponderações de pesos, entre o mapa de perigo da área, no formato matricial, Figura 3, e o traçado proposto para a ferrovia, no formato vetorial, foi obtido o mapa de risco a movimento gravitacional de massa no trecho. Nesta operação de interseção considera-se o perigo de MGM (mapa de perigo) e o elemento em risco (ferrovia). O resultado é apresentado na Figura 4.

Os elementos ao fundo do traçado, como área do PNI em verde, cidades em magenta e curvas de nível, hidrografia e estradas, são apenas para a ilustração da região, pois são vetores que não foram utilizados na álgebra do *software* para a geração do mapa de risco.

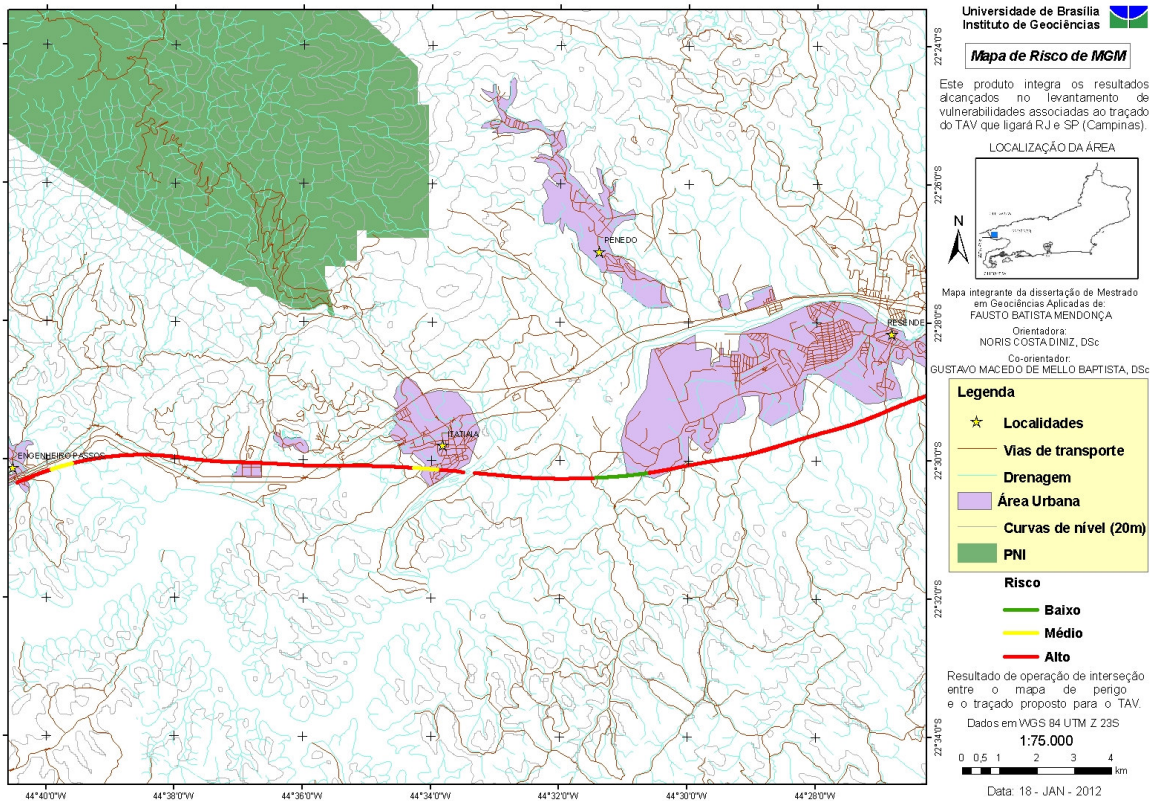


Figura 4. Mapa de risco de MGM gerado pelo comando *intersect* no *Analysis Tools* do Arc Gis 9.3.

3.3 Teste Estatístico

Foi feita a verificação do padrão de distribuição das ocorrências de MGM na área de estudo. A distribuição χ^2 (Qui Quadrado) parte da premissa que a distribuição é equidistante, segundo Montgomery e Runger (2003). A divisão em subáreas foi feita na quadrícula do mapa conforme a Figura 5, num total de 40 subáreas (k) de igual tamanho. O número total de registros de movimentos de massa (N) foi de 264.

Foi computada a quantidade de pontos de MGM em cada quadrícula. Adotou-se um nível de significância de 5%. Os graus de liberdade (v), que permitem mediar a possibilidade de combinações ao acaso, é o resultado de 40 – 2 subáreas, 38.

Com estes valores na tabela de χ^2 tem-se o valor crítico de 53,37 para o nível de significância adotado.

O teste de hipóteses foi feito da seguinte forma:

H0: o padrão de distribuição de pontos é uniforme.

H1: o padrão de distribuição de pontos não é uniforme.

O valor esperado em cada subárea (E) é dado pelo quociente entre número total de observações ($O_i = 264$) e o número de subáreas (40), que é 6,60.

O valor de χ^2 é dado pela Equação 1.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E)^2}{E} \quad (1)$$

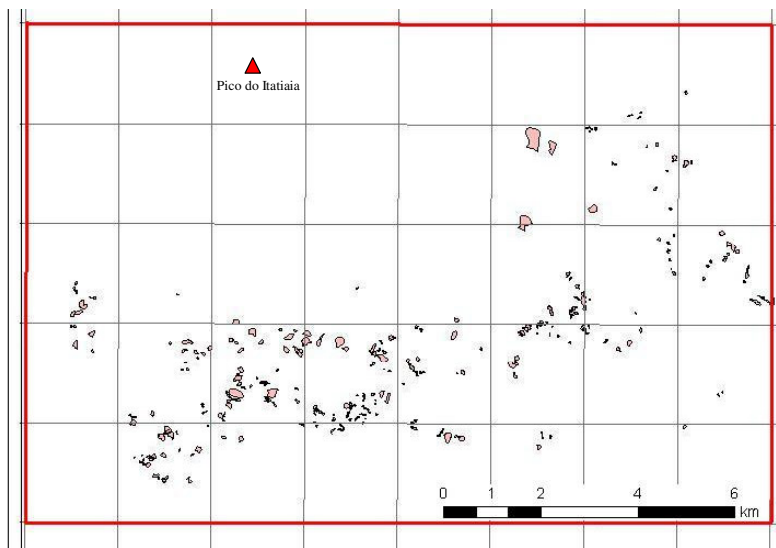


Figura 5. Divisão de subáreas para o teste de hipóteses.

Como o valor de χ^2 obtido é maior que o valor crítico ($656 > 53,37$), rejeita-se a hipótese. O padrão de distribuição de pontos não é uniforme.

Ao reduzir a área avaliada pelo teste, tomando uma região no sopé do Pico do Itatiaia, tomou-se um trecho de maior concentração de ocorrências para verificar se a distribuição é uniforme nesta região. Para isto foi feita uma nova divisão em subáreas, totalizando 15 subáreas e um total de 156 registros de MGM. O valor de χ^2 é maior que o valor crítico ($109 > 22,36$), rejeita-se a hipótese novamente. O padrão de distribuição de pontos continua não sendo uniforme.

No mapa da Figura 5 nota-se que o padrão de distribuição de pontos de ocorrência de MGM não é uniforme na área, mas segue a base do sopé do Pico do Itatiaia. É possível visualizar que a distribuição segue a geomorfologia da região, uma vez que a concentração dos registros de MGM está no sopé do maciço alcalino do Pico do Itatiaia.

4. Conclusões

Constatou-se, que a região apresenta perigo ou suscetibilidade ao surgimento de movimentos gravitacionais de massa, mesmo sem a intervenção de obras de corte nas encostas, trata-se de uma característica natural. Essa afirmação é comprovada pela área de alta suscetibilidade a deslizamento observada no mapa de perigo.

A realização de cortes no depósito de tálus, desestabilizando a encosta, confere um risco ao TAV por MGM na região classificada como perigosa, que não pode ser desprezado na realização do empreendimento. Os mapas de risco ao TAV, de atingimento por MGM, gerados nesse trabalho apontam boa parte do trecho avaliado como de alto risco.

As ortofotos, geradas no aerolevanteamento do 1º/6º Grupo de Aviação do COMGAR com a câmera ADS 80 (CENSIPAM), configuraram fator determinante no sucesso deste trabalho. As imagens demonstraram possuir altíssima qualidade de resolução espacial, conferindo real potencialidade de aplicação em outros projetos semelhantes ou de análises ambientais.

As áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa foram mapeadas por meio de ferramentas de SIG. Ao final desse processo, foi possível verificar que a distribuição espacial dos pontos de ocorrência não é uniforme na região considerada para análise, uma vez que as ocorrências se distribuíram no sopé da formação do pico do Itatiaia.

Recomenda-se que análises sobre raio de alcance de deslizamento e de rastejo das massas

movimentadas poderiam auxiliar na prevenção de eventos de MGM durante atividades futuras na obra da via do TAV, proporcionando maior segurança para o empreendimento. A metodologia aplicada no trecho avaliado poderia ser considerada para os outros trechos, auxiliando nas fases de estudo e planejamento. Claro que as particularidades de cada trecho demandariam outras informações que não foram consideradas.

Agradecimentos

Ao Comando-Geral de Operações Aéreas (COMGAR), ao Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM) e ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (UnB).

Referências Bibliográficas

- Copons, R.; Vilaplana, J. M. 2008. Rockfall susceptibility zoning at a large scale: from geomorphological inventory to preliminary land use planning. **Rev. Engineering Geology**, 102:142-151.
- Corominas, J.; Baeza, C.; Saluela, I. 1992. The influence of geometrical slope characteristics and land use on the development of shallow landslides. In: D. H. Bell (eds.) 6th International Symposium on Landslides, **Anais**, p. 919-924.
- Cruden, D. M.; Varnes, D. J. 1996. Landslide types and processes. In: A. K. Turner & R. L. Schuster (eds.) **Landslides, Investigation and Mitigation. Transportation Research Board, Special Report 247**, Washington D.C., p.: 36-75.
- Fernandes, N. F.; Amaral, C. P. 1996. Movimento de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: A. J. T. Guerra & S. B. da Cunha (eds.) **Geomorfologia e meio ambiente**, 3, BCD União de editoras S.A., p.: 123-186.
- Góis, G. L. **O poder destrutivo de um vulcão?** Projeto Academia e Ciência. 2009. Disponível em: < <http://www.academiadeciencia.org.br/curiosidades/28112009.shtml> > Acessado em 01.set.2011.
- Guzzetti, F.; Tonelli, G. 2004. Information system on hydrological and geomorphological catastrophes in Italy (SICI): a tool for managing landslide and flood hazards. **Rev. Natural Hazards and Earth System Sciences**. 4:213-232.
- Martín-Serrano, A.; Salazar, A.; Nozal, F.; Suarez, A. 2004. **Mapa geomorfológico de España a escala 1:50.000: Guía para su elaboración**. Instituto Geológico y Minero de España, 128p.
- Mendonça, F. B. **Análise de perigo de movimentos gravitacionais de massa do Tálus do maciço de Itatiaia associado à implantação do trem de alta velocidade: TAV Brasil**. 2012. 191 p. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2012.
- Montgomery, D. C.; Runger, G. C. 2003. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Tradução da segunda edição por Verônica Calado, Rio de Janeiro, Editora Livro Técnico e Científico, 462 pp.
- Pimentel, J. 2010. **Projeto áreas de risco na região de Angra dos Reis, RJ: modelagem espacial de dados em SIG para a geração de mapa previsorial de áreas de risco geológico** – Rio de Janeiro – CPRM – Serviço Geológico do Brasil e KIGAM – Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources. 113p.
- Regueiros, M.; González-Barros. 2008. **Riesgos naturales y planificación territorial. Guía metodológica para la elaboración de cartografías de riesgos naturales en España**, 2, Gobierno de España, Ministerio de Vivienda, Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, p.: 79-95.
- van Westen, C. J.; Castellanos, E.; Kuriakose, S. L. 2008. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. **Rev. Engineering Geology**., 102:112-131.
- Varnes, D. J. 1984. **Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice**, Paris, United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, p.: 10-26.
- Wolle, C. M.; Carvalho, C. S. 1989. Deslizamentos em encostas na serra do Mar - Brasil. **Rev. Solos e Rochas**. V 12, n° único: 27-36.