



DETERMINAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A ESCORREGAMENTOS NA BR 356 NO MUNICÍPIO DE OURO PRETO – MG

André Luciancencov Redivo¹, Verônica Moreira Ramos¹, Renato Fontes Guimarães¹, Osmar Abílio de
Carvalho Júnior¹, Roberto Arnaldo Trancoso Gomes².

¹ Depto de Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília.

End.: Campus Universitário, ICC, Ala Norte. Asa Norte, Brasília – DF.

² Depto de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

End.: Av. Brigadeiro Trompovski, s/n, Prédio do CCMN, Ilha do Fundão

alredivo@unb.br

Resumo

As rodovias de um modo geral são empreendimentos que causam grandes impactos na paisagem. A implantação de rodovias, principalmente em ambientes de encostas, sem um planejamento correto acabam intensificando os processos erosivos, principalmente os escorregamentos. O uso de modelos matemáticos vem contribuindo na elaboração de diagnósticos de áreas afetadas por processos erosivos provenientes da implantação de uma rodovia. Neste sentido o objetivo deste trabalho é identificar as áreas de risco a escorregamentos na BR 356 no município de Ouro Preto, utilizando um modelo de previsão denominado Shalstab.

Palavras-chaves: Shalstab; Rodovias; Escorregamentos.

Eixo Temático: (5) Análise e Diagnóstico de Processos Erosivos

Introdução

As rodovias de um modo geral são empreendimentos que causam grandes impactos na paisagem, estes podem ser positivos, principalmente para a economia local e para a população que se beneficia com a rodovia. Em muitos casos junto com as rodovias observamos o aparecimento de diversos impactos negativos, como a fragmentação de um ambiente natural causando danos à fauna e a flora da região, o adensamento populacional das cidades cortadas pela rodovia, potencializando os problemas sociais destas cidades, etc.



A implantação de rodovias, principalmente em ambientes de encostas, sem um planejamento correto acabam intensificando os processos erosivos. Nos dias de hoje, os projetos de implantação de rodovias levam em consideração os aspectos físicos da área de forma a minimizar os impactos causados pela rodovia, porém a maior parte da malha viária do Brasil foi construída nas décadas de 60 e 70 e tais estudos muitas vezes não eram executados, levando-se em conta apenas os aspectos econômicos e técnicos para a viabilidade dos projetos.

O uso de modelos matemáticos vem contribuindo na elaboração de diagnósticos de áreas afetadas por processos erosivos, principalmente escorregamentos, provenientes da implantação de uma rodovia (Anderson e MacDonald, 1998, Larsen e Parks, 1997) (Montgomery, 1994). Recentemente, modelos desenvolvidos em bases físicas vêm obtendo resultados muito bons na previsão dos escorregamentos. Dentro desta linha, destaca-se o modelo SHALSTAB desenvolvido por Montgomery & Dietrich (1994). Este modelo obteve ótimos resultados nos EUA e em regiões tropicais, como destacado por Guimarães *et al.*, (1999), Ramos *et al.*, (2002).

Neste sentido o objetivo deste trabalho é aplicar o modelo Shalstab no município de Ouro Preto, identificar as áreas susceptíveis a escorregamentos na BR 356 e verificar se estas áreas estão localizadas dentro dos trechos com contratos de recuperação emergencial do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte (DNIT).

Área de Estudo

A área de estudo localiza-se ao longo da rodovia BR-356 no município de Ouro Preto situado na porção sudoeste do estado de Minas Gerais, na região denominada de Quadrilátero Ferrífero (**Figura 01**).

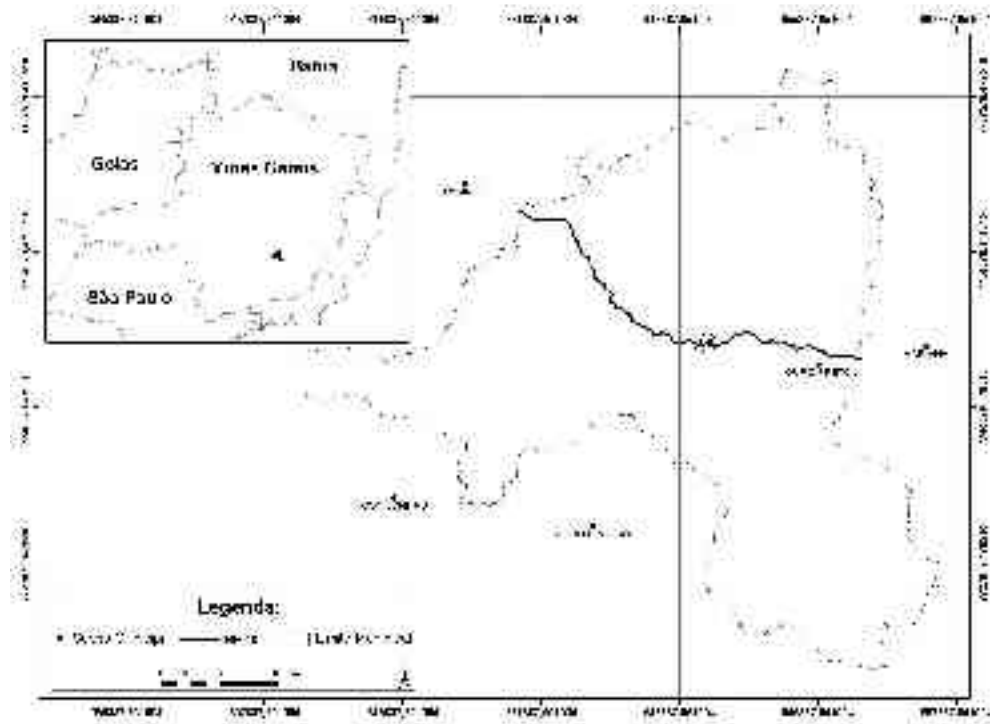


Figura 1 – Mapa de Localização

A geologia, o Quadrilátero Ferrífero, que se constitui em uma entidade geotectônica estabilizada no paleoproterozóico sobre o cráton arqueano do Paramirim (Almeida, 1981), é formado por unidades geológicas arqueanas a paleoproterozóica, localizadas na região extremo meridional do cráton do São Francisco. Possui metamorfismo regional crescente de oeste para leste, sendo compartimentado em: complexos metamórficos arqueanos, seqüência vulcano – sedimentares arqueanas e seqüência metassedimentares paleoproterozoicas e da base para o topo compreende as unidades básicas dos grupos Caraça, Itabira e Piracicaba (Ribeiro, 1998).

A área abrange uma única unidade geomorfológica com dois compartimentos de relevos diferentes: O Quadrilátero Ferrífero propriamente dito, a leste, e um conjunto de serras que forma o Alinhamento de Crista do Quadrilátero Ferrífero – Pará de Minas. A litologia é constituída predominantemente de granitos e gnaisses, filitos, quartzitos ferruginosos, quartzitos, micaxistos e conglomerados, além de pequenos depósitos sedimentares cenozóicos (RADAM BRASIL, 1981)

O relevo é constituído por cristas e linhas de cumeadas que formam modelados de dissecação diferencial isolados, com elevada altimetria e por modelados de dissecação homogênea. Este último forma a parte central do Quadrilátero Ferrífero, possuindo aspectos bastante diferenciados, que abrangem desde as formas colinosas um pouco alongada e de topos



convexos até formas de topos aguçados e tabulares. Os fundos dos vales são formados por materiais de colúvio nas elevações e por sedimentos fluviais nas partes inferiores (RADAM BRASIL, 1981)

O clima da área se caracteriza por apresentar um clima tropical úmido, com estação seca bem definida, temperatura anual variando em torno de 20°C e pluviosidade anual entre 1500 a 2000mm. (Menezes, 1988).

Os solos são predominantemente Podzólicos Vermelho-Amarelo, Cambissolos, Litólicos, Latossolos Ferríferos Húmicos e Latossolos Vermelho-Escuro. Nestes solos se desenvolvem as formações vegetais de Floresta Estacional Semidecidual, além de Savana (Cerrado) Gramíneo-Lenhosa, que já se encontram bastantes degradados pela intensa exploração mineral e ocupação humana (RADAM BRASIL, 1981).

Modelo SHALSTAB Sem Considerar a Coesão do Solo

O SHALSTAB é um modelo desenvolvido para prever as áreas mais susceptíveis a ocorrência de escorregamentos em que, combina um modelo hidrológico com um modelo de estabilidade de encosta. Este foi elaborado inicialmente em ambiente *ArcInfo* por Montgomery e Dietrich (1994) em linguagem AML (*ArcInfo Macro Language*). Recentemente, Dietrich *et al.* (2000) automatizou este modelo para linguagem *Avenue* do software *ArcView*, tornando sua aplicação mais fácil.

O modelo de estabilidade de encosta é expresso a partir da razão entre as tensões responsáveis pela sustentação do material da encosta (σ) e as tensões responsáveis por sua desestabilização (τ) (Coulomb *apud* Carson e Kirkby, 1972) (Equação 01).

$$\tau = C'(\sigma - u) \tan \phi \quad (01)$$

onde: τ é a tensão tangencial, σ é a tensão normal, μ é a poro-pressão, C' é a coesão efetiva e ϕ é o ângulo de atrito interno.

A teoria baseada no talude infinito, elaborada por Mohr-Coulomb, é a que melhor se ajusta aos escorregamentos translacionais rasos de contato abruptos solo-rocha, pois nesta



análise os efeitos causados pelo atrito nas laterais e nas extremidades são ignorados pois a análise é considerada em relação a um plano infinito sobre um plano inclinado.

Montgomery e Dietrich (1994) resolveram a equação 01 em função da coluna de solo saturado (h/z) (Equação 02) possibilitando assim a combinação deste modelo com o modelo hidrológico.

$$\frac{h}{z} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \quad (02)$$

O modelo hidrológico baseia-se no modelo desenvolvido por O'Loughlin (1986) que definiu um padrão de equilíbrio de saturação do solo a partir da análise da área de contribuição a montante, da transmissividade do solo e da declividade. Assim, para que exista uma zona de saturação (W) em uma encosta o produto entre a área drenada a montante (a) e a precipitação (Q) que passa por um elemento de contorno de comprimento (b) deve ser maior do que o produto da transmissividade do solo (T) e o seno da declividade local (θ) (Equação 03).

$$W = \frac{Qa}{bT \sin \theta} \quad (03)$$

Conforme Dietrich *et al.* (1993) a razão Q/T corresponde ao controle hidrológico, enquanto que a razão $a/b \sin \theta$ corresponde ao controle morfológico. Montgomery e Dietrich (1994) resolveram o modelo de O'Loughlin (1986) em função da razão de h/z , expressa pela seguinte formula:

$$\frac{h}{z} = \frac{Q}{T} \frac{a}{b \sin \theta} \quad (04)$$

A partir da razão h/z , Montgomery e Dietrich (1994) combinaram o modelo de estabilidade de encostas e o modelo hidrológico, que correspondem respectivamente às equações 02 e 04 e obtiveram a seguinte equação:



$$\frac{Qa}{bT \operatorname{sen} \theta} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \quad (05)$$

A partir desta equação identificamos os termos topográficos: a área de contribuição (a) por comprimento de contorno unitário (b) e o ângulo da encosta (θ), os quais foram obtidos numericamente para cada *pixel* no *grid* da área de estudo a partir do MDT; e parâmetros de propriedades do solo, que são a densidade do solo (ρ_s), o ângulo de atrito interno (ϕ) e a transmissividade do solo (T), além da precipitação efetiva (Q) (Guimarães, 2000).

Metodologia

A metodologia empregada neste trabalho diz respeito a aplicação do modelo SHALSTAB na BR 356 em Ouro Preto para identificar as áreas susceptíveis a escorregamentos e segue os seguintes procedimentos listados abaixo:

1. Confecção de um Modelo Digital de Terreno (MDT).

A confecção de um Modelo Digital de Terreno confiável e de detalhe é fundamental na aplicação do modelo SHALSTAB, visto que este é a base para a obtenção dos mapas de declividade (θ) e da área de contribuição (a). O método utilizado na obtenção do MDT foi o *Topogrid Interpolation*, módulo do *software Arcinfo*, pois este apresentou melhor resultado segundo Guimarães (2000) na aplicação de modelos hidrológicos.

A confecção do MDT foi feita a partir de cartas planialtimétricas da área de estudo na escala 1:50.000 com equidistância entre as curvas de nível de 20 metros, o que possibilitou a obtenção de um *grid* com um *pixel* de resolução de 10m.

2. Área de Contribuição (a).

A área de contribuição fornece o valor da área correspondente à bacia de cada *pixel* específico do *grid*. A metodologia usada na confecção do mapa de área de contribuição empregada neste trabalho é a do D_{∞} desenvolvida por Tarboton (1997), que considera a direção do fluxo e a declividade local para o cálculo da área de contribuição, sendo assim, este pode distribuir o



fluxo para apenas um *pixel* da matriz quando a direção do fluxo apresentar ângulo em sentido cardinal ($0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$) ou diagonal ($\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$), porém dependendo do ângulo o fluxo pode passar por dois *pixels* adjacentes, sendo este dividido proporcionalmente entre os dois *pixels*, como mostra a **Figura 2**.

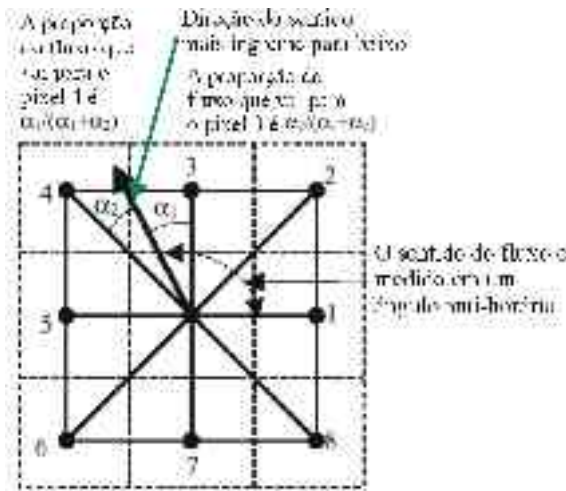


Figura 2 - O sentido de fluxo definido como a inclinação descendente a mais íngreme.

(Modificado de Tarboton, 1997).

3. Definição dos Parâmetros do Solo

Os valores dos parâmetros do solo foram obtidos por meio da bibliografia existente, pois não foi possível definir esses valores em campo.

Nesse trabalho, foi utilizado os valores de 1.7 g/cm^3 para a densidade do solo e 45° para o ângulo de atrito. A coesão do solo foi considerada nula, pois o modelo proposto aqui é concebido sem considerar a coesão do solo (modelo simples). Nesse modelo os parâmetros do solo são considerados constantes para toda a área de estudo.

4. Modelo Shalstab sem Considerar a Coesão do Solo.

Após a confecção do MDT geraram-se os mapas de declividade e área de contribuição. De posse destes mapas aplicamos a rotina SHALSTAB automatizada para o *software Arcview* por Dietrich *et al.* (2000) a partir da equação 06.

$$\log \frac{Q}{T} = \frac{\text{sen}\theta}{(a/b)} \left[\frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi} \right) \right] \quad (06)$$



O valor do comprimento de contorno (b) é constante e igual a 10m; o valor da densidade do solo (ρ_s) é de 1,7 g/cm³ e o valor do ângulo de atrito interno (ϕ) é de 45°. Os valores para a declividade (θ) e área de contribuição (a) foram retirados dos respectivos mapas gerados a partir do MDT.

Resultados

Analisando o mapa de áreas susceptíveis a escorregamentos, obtido pela aplicação do modelo Shalstab, identificamos seis áreas críticas na BR 356 (Figura 3), sendo as áreas 1 e 2 localizadas na Serra do Chafariz e as outras quatro localizadas no perímetro urbano de Ouro Preto.

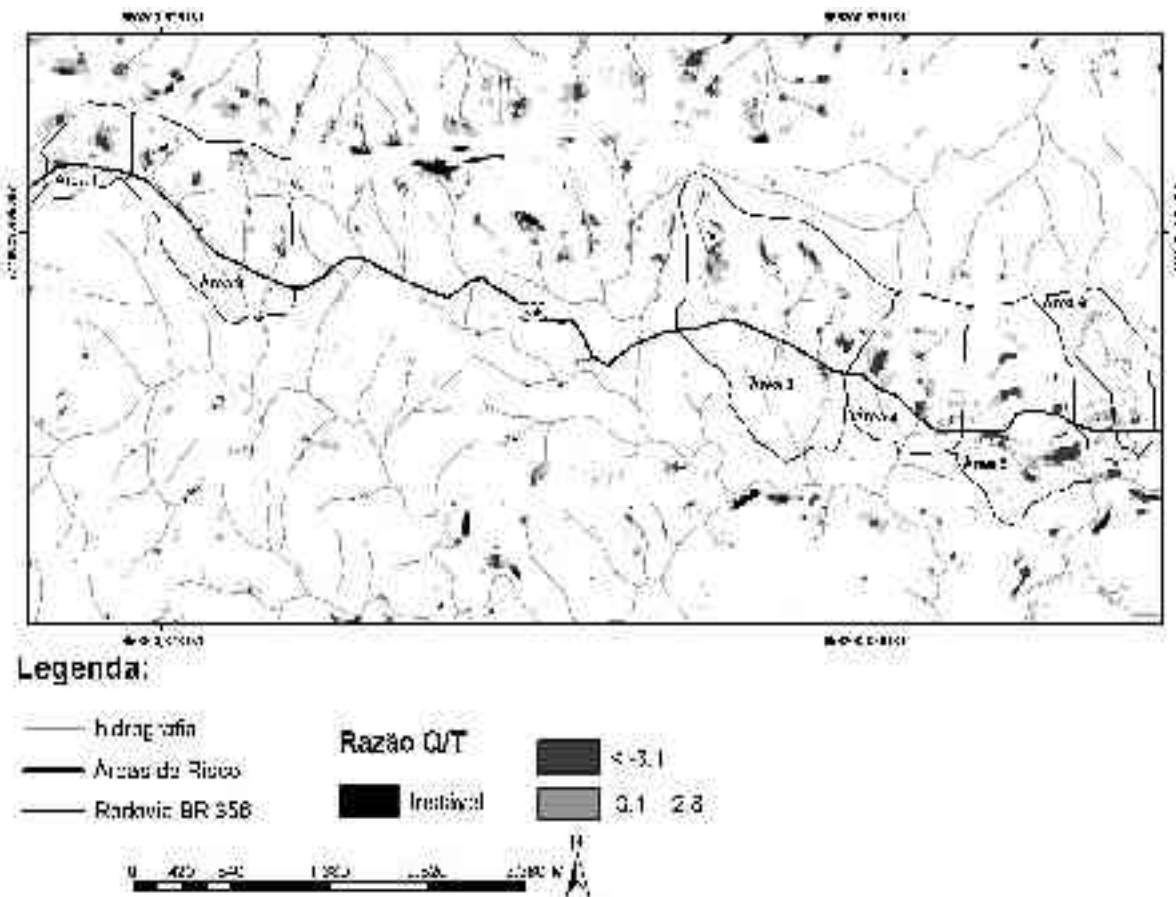


Figura 3 – Mapa de Áreas Susceptíveis a Escorregamentos na BR 356 no Município de Ouro Preto – MG



Com relação a geomorfologia nota-se que as seis áreas estão situadas nos locais com altitude elevadas (entre 1.200 a 1.500m) e nas porções côncavas do relevo (*hollows*) (**Figura 4**). As declividades das áreas também são elevadas, variando de 20 a 60% (**Figura 5**).

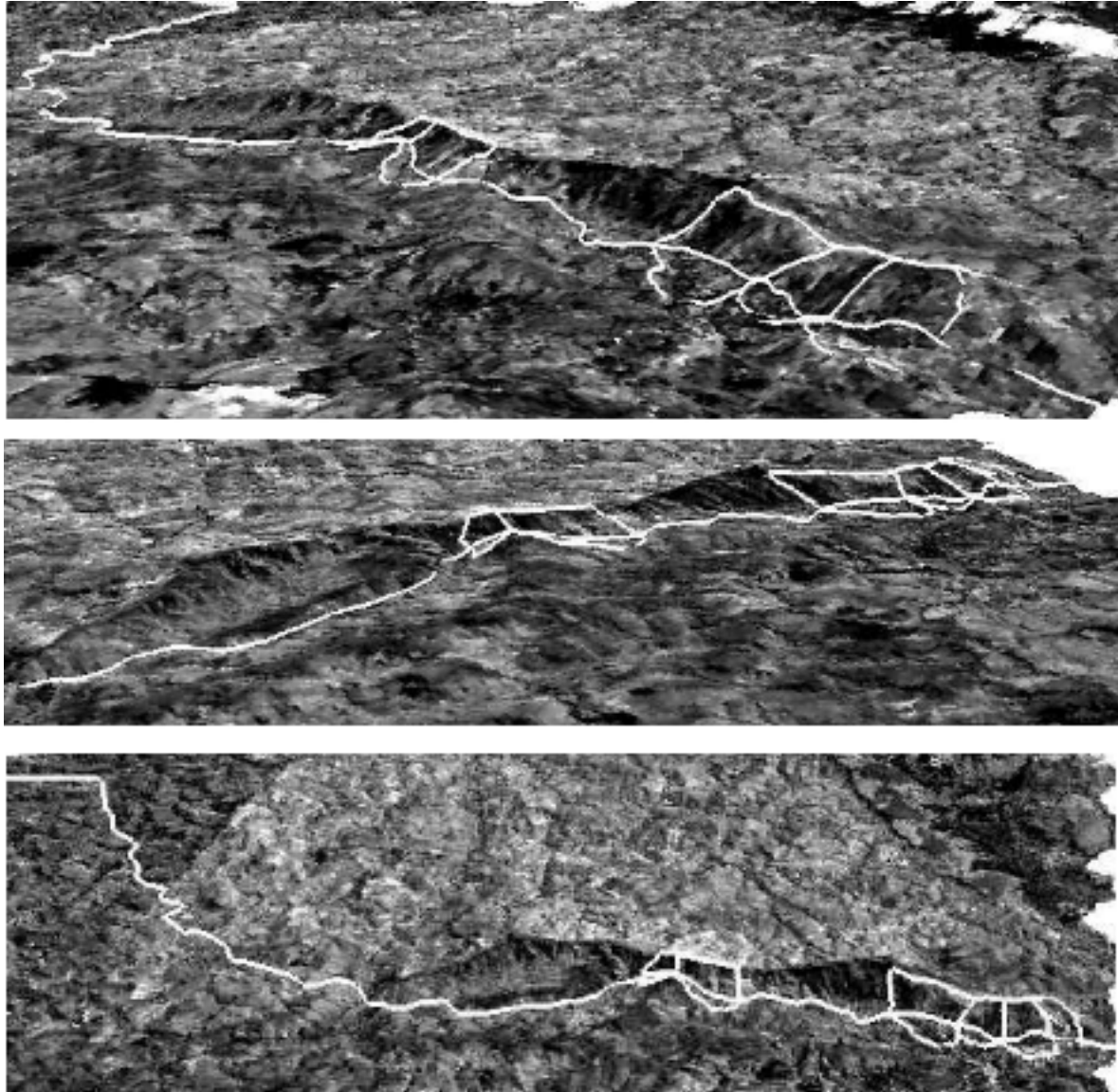


Figura 4 – Representação Tridimensional das Áreas Identificadas

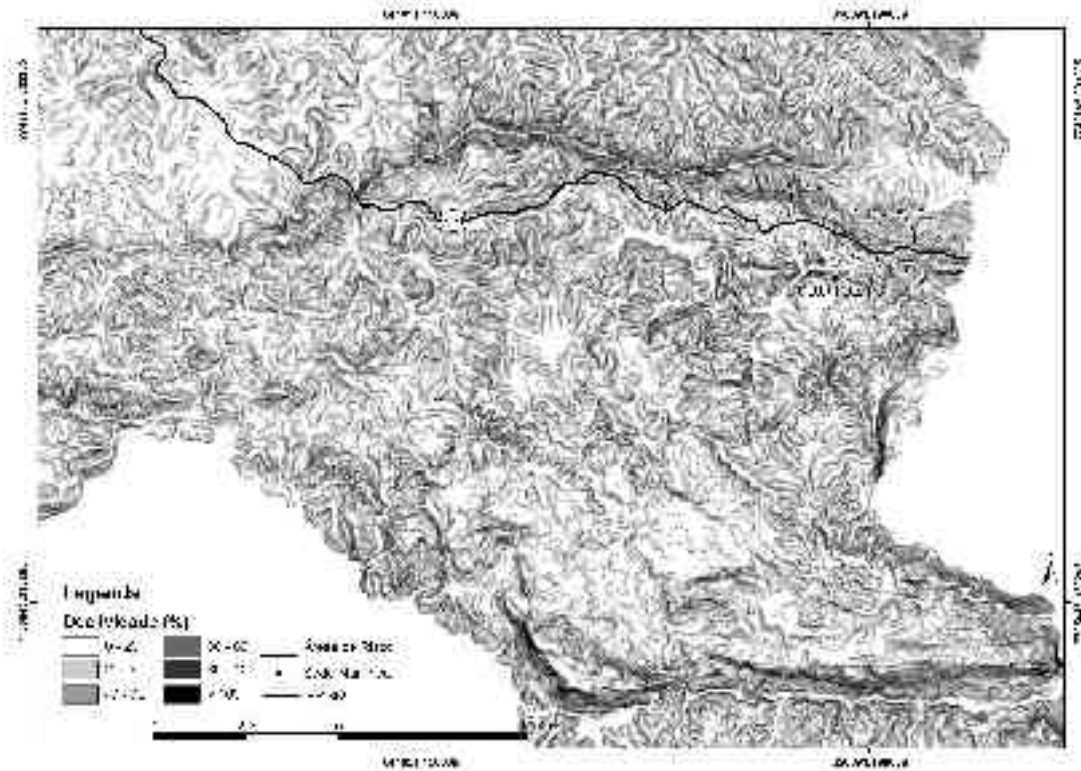
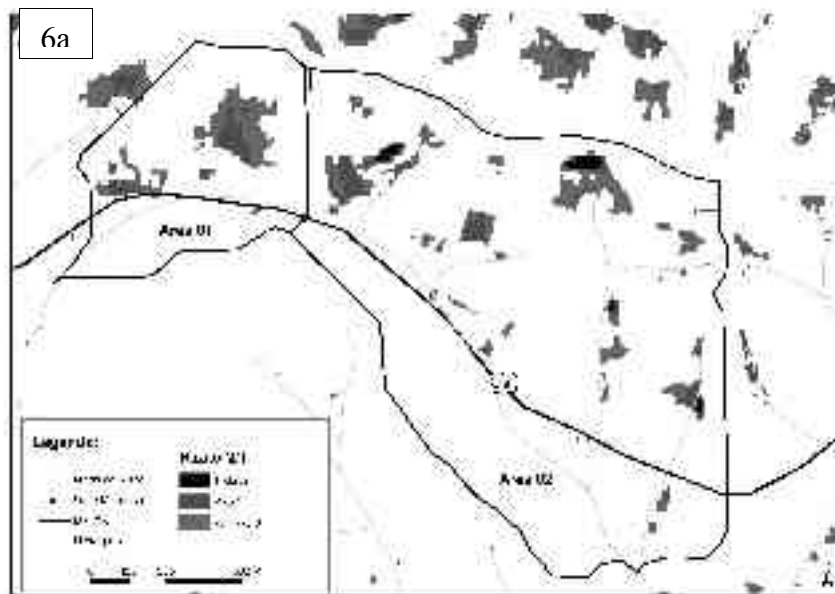


Figura 5 – Mapa de Declividade

As áreas 2, 3, 4 e 6 estão associadas a micro-bacias com canais permanentes, o que pode potencializar os escorregamentos, transformando-os em corridas de lama caso estes alcancem os cursos d'água, aumentando os danos causados pelo fenômeno. Nas áreas 1 e 5 não existem canais permanentes (Figura 6a, 6b e 6c)



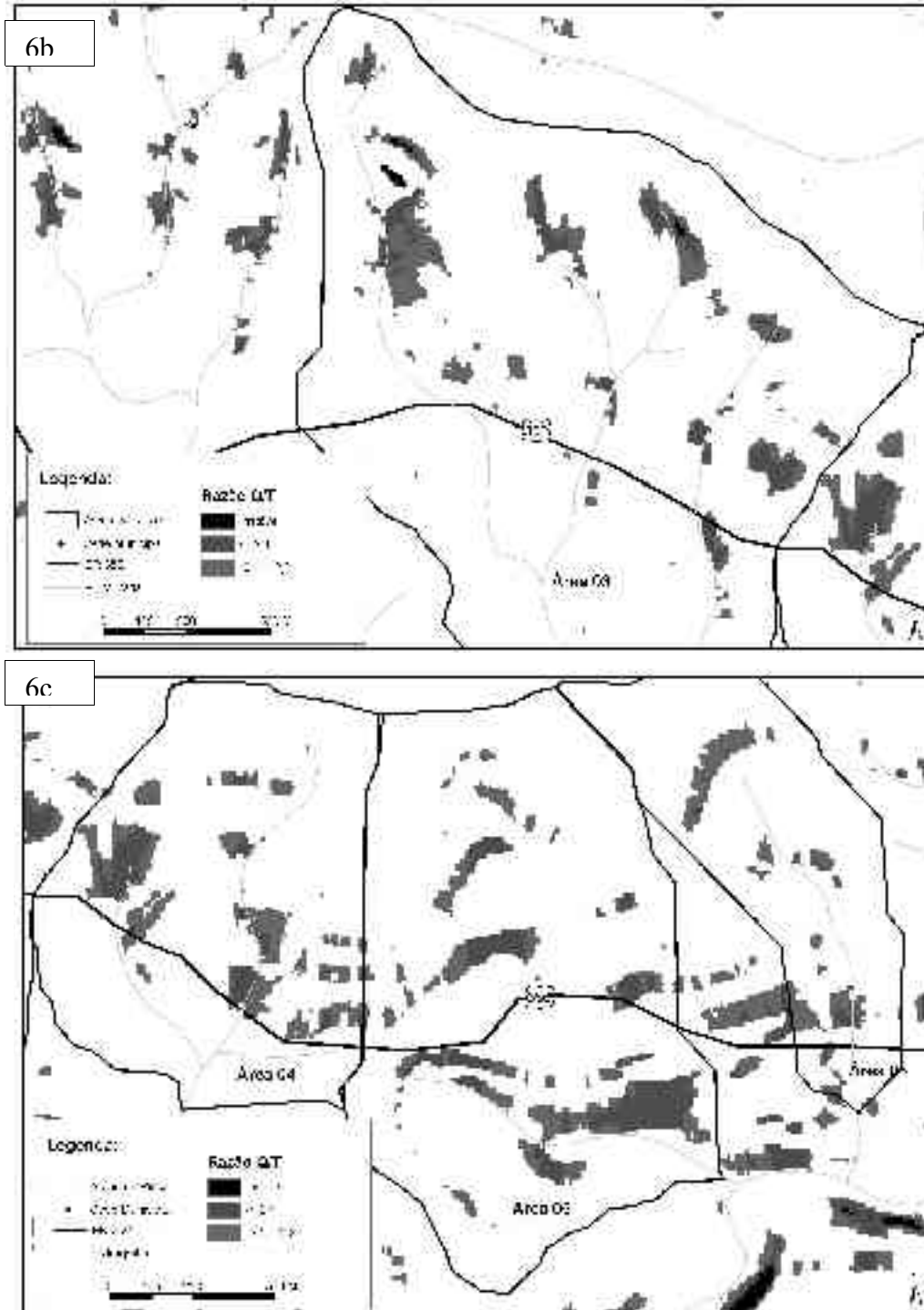


Figura 6a, 6b e 6c – Áreas Suscetíveis a Escorregamentos na BR 356 no Município de Ouro Preto



A partir de informações obtidas no Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte (DNIT) constatamos que as seis áreas de risco identificadas, estão em um trecho que possui um contrato de recuperação emergencial (**Figura 7**), este fato confirma a eficácia do modelo em identificar áreas de risco a escorregamentos nas encostas da rodovia BR 356.

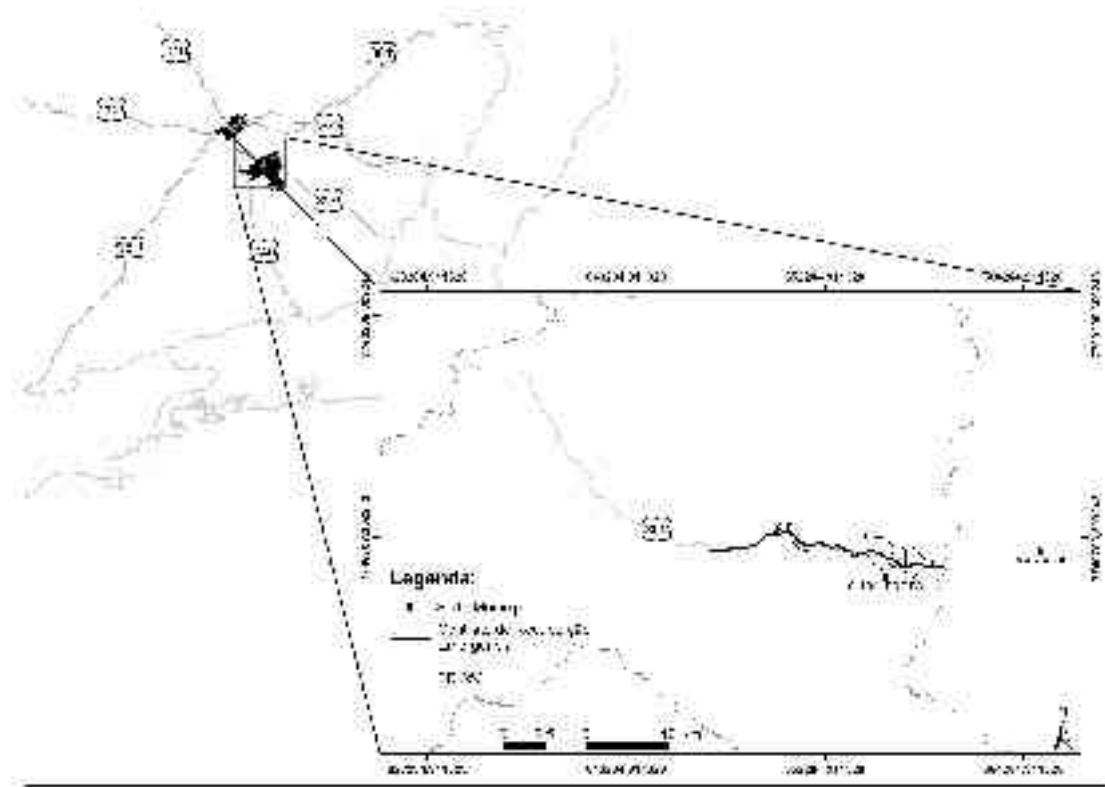


Figura 7 – Mapa com a localização das áreas de risco identificadas e com a extensão do contrato de recuperação emergencial.

Conclusão

O modelo Shalstab mostrou-se eficaz na identificação das áreas susceptíveis a escorregamentos na BR 356 no município de Ouro Preto, mesmo sendo aplicado sobre uma base cartográfica regional (1:50.000).

A incorporação dos parâmetros de solo da região pode melhorar os resultados do modelo e determinar novas áreas de risco na rodovia, bem como o uso de bases cartográficas em escala local.



Estudos deste tipo podem subsidiar os projetos de construção de rodovias, evitando desta forma que as rodovias cortem estas áreas, ou no caso de não haver alternativa para a mudança do traçado, que sejam feitas as devidas obras para conter este fenômeno.

No caso de rodovias construídas, a identificação das áreas de risco pode ser usada para que os órgãos responsáveis pela manutenção das rodovias tomem as medidas cabíveis para a contenção do fenômeno e em casos extremos para a mudança no traçado destes trechos.

Bibliografia

- ALMEIDA, F. F. M. (1981) **O Crato do Paramirim e suas Relações com o do São Francisco**. Anais do Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas marginais, 10p.
- ANDERSON, D. M., MACDONALD, L. H. (1998) **Modeling road surface sediment production using a vector geographic information system**. In: Earth Surface Processes and Landforms, vol. 23, p. 95-107
- CARSON, M. A. e KIRKBY, M. J. (1972) **Hillslope form and process**. Cambridge University Press, Cambridge.
- DIETRICH, W. E., BELLUGI, D., ASUA, R.R., STANZIANO, L. (2000) **Using SHALSTAB tools to map shallow landslide potencial**. In: <http://socrates.berkeley.edu/~geomorph/shalstab>.
- DIETRICH, W. E., WILSON, C.J., MONTGOMERY, D.R. e McKEAN, J. (1993) **Analysis of erosion thresholds, channel networks and landscape morphology using a digital terrain model**. The Journal of Geology, v. 110. p. 259 - 278.
- GUIMARÃES, R. F. (2000) **Utilização de um modelo de previsão de áreas susceptíveis à escorregamentos rasos com controle topográfico: adequação e calibração em duas bacias de drenagem**. Tese de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro.
- GUIMARÃES, R. F., MONTGOMERY, D. R., GREENBERG, H. M., GOMES, R. A. T., FERNANDES, N. F. (1999) **Application of a model for the topographic control on shallow landslides to catchments near Rio de Janeiro**. In: IAMG99 – Annual Conference of the International Association of Mathematical Geology, Trondheim, Noruega. P 349-354.
- LARSEN, M. C., PARKS, J. E. (1997) **How wide is a road? The association of roads and mass-wasting in a forested montane environment**. In: Earth Surface Processes and Landforms, vol. 22, p. 835-848.
- MENEZES, M. G. (1988) **Geologia e Ocorrências Auríferas da Faixa Maquina a Sul da Quadrícula de Capanema, Quadrilátero Ferrífero – MG**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências (UnB), Brasília. 39p.



- MONTGOMERY, D. R. (1994) **Road surface drainage, channel initiation, and slope instability.** In: Water Resources Research, vol. 30 n° 6, p. 1925-1932.
- MONTGOMERY, D. R. e DIETRICH, W. E. (1994) **A physically-based model for the topographic control on shallow landslide.** In: Water Resources Research, v. 30. p. 1153 - 1171.
- O'LOUGHLIN, E. M. (1986) **Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis.** In: Water Resources Research, v. 22. p. 794 - 804.
- RAMOS, V. M., GUIMARÃES, R. F., REDIVO, A. L., GOMES, R. A. T., FERNANDES, N. F., CARVALHO JÚNIOR, O. A. (2002) **Aplicação do modelo shalstab, em ambiente arcview, para o mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos na região do Quadrilátero Ferrífero (MG).** In: Espaço & Geografia, vol. 5, n° 1, p. 49-57.
- RIBEIRO, R. K. (1998) **Mineralogia, Geoquímica e Gênese das Ocorrências Auríferas no Flanco Norte do Anticlinal de Mariana, Quadrilátero Ferrífero: Uma Nova Tipologia de Minério Denominada Bugre.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências (UnB), Brasília. 115p.
- RADAMBRASIL (1981) **Levantamento de recursos naturais.** Ministério de Minas e Energia – Secretaria Geral, v 26, 620 p.
- TARBOTON, D. G. (1997) **A New Method for the Determination of Flow Directions and Upslope Areas in Grid Digital Elevation Models.** In: Water Resources Research, v.33, p.309-319.