

Previsão de Alcances de Rupturas de Taludes de Belo Horizonte por meio de Retroanálise

Luciene Oliveira Menezes

PUC Minas, Belo Horizonte, Brasil, cienemenezes@yahoo.com.br

Gustavo Ferreira Simões

UFMG, Belo Horizonte, Brasil, gustavo@etg.ufmg.br

Maria Giovana Parizzi

UFMG, Belo Horizonte, Brasil, mgsparizzi18@gmail.com

RESUMO: O objetivo do trabalho é avaliar a aplicabilidade da metodologia de análise dinâmica para previsão de alcances de rupturas de taludes de Belo Horizonte, que pode ser utilizada em conjunto com a análise qualitativa já empregada no município. O programa utilizado foi o DAN-W - Dynamic Analysis of Landslides, versão 10. Esta ferramenta computacional permite a análise dinâmica de rupturas a partir de oito modelos reológicos, dentre eles merece destaque o modelo friccional, cujos parâmetros reológicos são o ângulo de atrito na base da superfície de ruptura e o coeficiente de poropressão ru. O talude escolhido para as análises, denominado Ponteio, possui características geológicas representativas da região de Belo Horizonte, geometria conhecida antes e após a ruptura, e ensaios de caracterização e resistência dos materiais realizados. Além de determinar os parâmetros reológicos deste talude por retroanálise, foi realizada uma aplicação destes parâmetros em uma outra ruptura que ocorreu no mesmo talude. Esta segunda ruptura aconteceu posteriormente ao evento utilizado na retroanálise e sua localização foi próxima à crista do talude, após ter sido implantada solução de estabilização com tela metálica e manta vegetal. O objetivo desta simulação foi verificar qual a contribuição da solução de estabilização implantada na diminuição do alcance da corrida de detritos. Obteve-se como resultado que a solução de estabilização adotada não conseguiu evitar a ruptura do talude, mas diminuiu o alcance da ruptura para aproximadamente 1/5 (um quinto) do alcance previsto pelo programa DAN-W, caso não houvesse a tela metálica e cobertura vegetal. A metodologia de previsão de alcances por meio de análise dinâmica mostrou-se aplicável a taludes de Belo Horizonte desde que atendam aos seguintes critérios: tenham características similares ao talude analisado, que a etapa de retroanálise de um caso similar ao talude que se deseja prever alcance seja realizada e os critérios de compatibilidade do modelo reológico sejam atendidos.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade de Encostas, Corrida de Detritos, Modelagem Numérica, Risco Geológico-geotécnico.

1 INTRODUÇÃO

As grandes cidades convivem com questões de crescimento desordenado, ocupação irregular em áreas predispostas ao risco, retirada de vegetação em taludes naturais, cortes e aterros inadequados em encostas. Estas questões associadas a fatores intrínsecos ao local, como a

litologia e hidrologia da região, podem desencadear rupturas de taludes com consequências materiais e sociais, inclusive com perdas de vidas humanas. A previsão de alcances de rupturas é uma das etapas da análise de risco e pode ser realizada por métodos qualitativos, baseados na observação de casos de rupturas registrados e na vasta experiência

dos profissionais que atuam nesta área; ou por métodos quantitativos, por exemplo com a utilização de modelos reológicos para análise dinâmica das rupturas, de forma a se obter medida objetiva para a previsão da extensão do deslizamento.

Na análise quantitativa (probabilística) do risco geológico-geotécnico, o mesmo pode ser obtido pela multiplicação entre suscetibilidade e vulnerabilidade, sendo a suscetibilidade a probabilidade de ocorrência de um acidente, e a vulnerabilidade as consequências ou danos deste acidente. Este tipo de análise é essencial para o estabelecimento de programas racionais de gerenciamento de risco, mas pouco testados em nosso país, pois, necessitam de um banco de dados consistente e medidas objetivas (Ministério das Cidades & UFPE, 2008). O risco pode ser minimizado ou erradicado por ações intervencionistas do homem, como obras de pequeno, médio ou grande porte, e ações preventivas e sociais de apoio à comunidade para uma convivência consciente com a situação de risco (Cerri, 2001).

Os métodos qualitativos (relativos) de análise de risco geológico-geotécnico são baseados na comparação entre situações de risco identificadas e no estabelecimento de níveis de risco (por exemplo, baixo, médio, alto e muito alto). Não são realizados cálculos probabilísticos quanto à ocorrência dos movimentos de massa, mas os conceitos de suscetibilidade e vulnerabilidade, onde se requer a previsão de alcances, são mantidos. Eles têm como característica a dependência da experiência do técnico que relatou a ruptura e dos critérios adotados na avaliação do risco. Os métodos qualitativos são recomendados pelo Ministério das Cidades para avaliação preliminar de risco nos municípios (Ministério das Cidades & UFPE, 2008).

Atualmente a previsão de alcance de rupturas de taludes no município de Belo Horizonte para mapeamento de risco é realizada qualitativamente, baseada na observação de inúmeros casos de rupturas registrados e na vasta experiência dos profissionais que atuam nesta área. Segundo Campos (2011) foram criados critérios relacionando as possibilidades de alcance ao risco, por exemplo, a relação

altura do talude versus afastamento da base do talude até a edificação de 1 para 1 indica risco baixo, a relação de 2 para 1 risco médio, e de 3 para 1 risco alto de dano a edificação e ou aos moradores. A Figura 1 apresenta desenho esquemático sobre a classificação qualitativa do risco no município de Belo Horizonte.

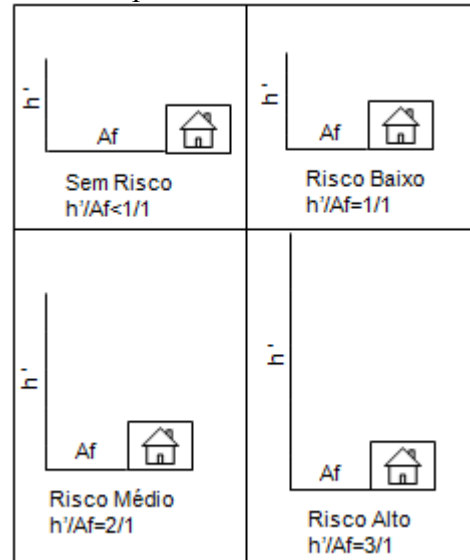


Figura 1. Relação utilizada pelo município de Belo Horizonte. Altura do talude e afastamento da moradia x risco.

O método de previsão de alcances avaliado neste trabalho utiliza modelos reológicos para análise dinâmica das rupturas. Esta metodologia é bastante utilizada e já testada largamente para previsão de alcances de corridas de massa, avalanches e similares de grande alcance (Hungry, 1995). Pretendeu-se nesta pesquisa avaliar a aplicabilidade da metodologia de análise dinâmica para corridas de massa e escorregamentos de pequeno alcance, típicos de taludes do município de Belo Horizonte. O objetivo foi contribuir com uma metodologia racional na previsão de alcances de rupturas, a ser utilizada em casos isolados de deslizamentos, ou em conjunto com a análise qualitativa da vulnerabilidade para mapeamento de risco, já empregada no município.

2 ANÁLISE DINÂMICA DE RUPTURAS

2.1 Conceitos

A partir da analogia entre a análise de estabilidade de taludes devido a processos de escorregamentos e a análise do comportamento

mecânico das corridas de massa, conceitos de análise de tensões e deformações em solos (Azevedo, 2007), pode-se dizer que para a resolução dos dois problemas temos, de um lado, as incógnitas e, de outro, as equações governantes. As incógnitas podem ser fatores de segurança, deslocamentos, tensões e velocidades. As equações governantes são as de equilíbrio de forças e momentos, equações de compatibilidade de deformações e deslocamentos, e equações constitutivas e/ou critérios de resistência, bem como as condições de contorno do problema. Quando o número de incógnitas for igual ao número de equações governantes mais as condições de contorno, temos que o problema é determinado.

Para a análise de estabilidade de taludes devido a escorregamentos, as equações governantes podem ser obtidas por um modelo da estática, como por exemplo, o método de equilíbrio limite das fatias de Bishop, acoplado com um critério de resistência, por exemplo, de Mohr-Coulomb. Já para a análise do comportamento das corridas de massa, as equações governantes podem ser obtidas por um modelo dinâmico, baseado na mecânica do contínuo, como por exemplo, a solução lagrangeana para as equações de movimento, acoplado com um modelo ou equações constitutivas, como por exemplo, um modelo reológico. O critério de resistência, para a primeira análise de estabilidade, e o modelo reológico, para a análise dinâmica, determinam o valor da resistência na superfície de ruptura, ou base da corrida de massa. Na Figura 2 apresenta-se um esquema desta analogia.

2.2 A Ferramenta DAN-W

Segundo Hungr (1995) as corridas de massa, conhecidas em suas diversas formas como corridas de detritos, avalanches de detritos, corridas de terra ou lama e avalanches de rocha estão entre os mais perigosos e destruidores tipos de movimento de massa. Seu potencial para destruição frequentemente não pode ser reduzido por medidas de estabilização das áreas de origem. Engenheiros de análise de riscos precisam incluir na análise a estimativa do percurso das corridas. Parâmetros do percurso

incluem máxima distância atingida ou alcance, velocidades, espessura e distribuição dos depósitos, e o comportamento em curvas e obstáculos do caminho. Uma das maneiras de prever estes parâmetros é através da modelagem dinâmica, utilizando, por exemplo, uma ferramenta computacional como o programa DAN-W.

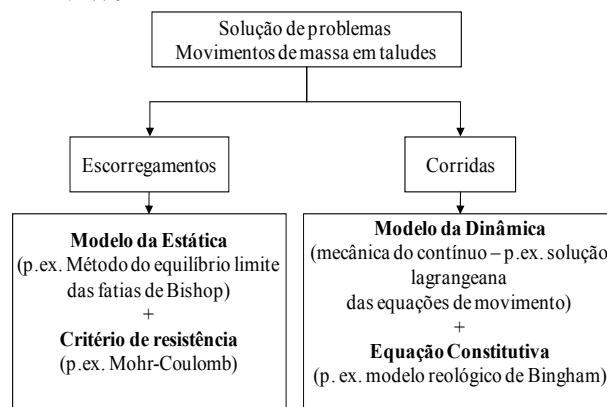


Figura 2. Analogia da análise de estabilidade de taludes e análise dinâmica de corridas de massa.

O programa DAN-W é baseado na solução Lagrangeana para a equação de movimento e permite a seleção de vários materiais reológicos, cujas propriedades podem variar ao longo do caminho de escorregamento ou dentro da massa mobilizada. O programa DAN-W realiza as análises em condições bidimensionais (2D) ou tridimensionais (3D), e sua resposta é apresentada em coordenadas curvilíneas conforme Figura 3.

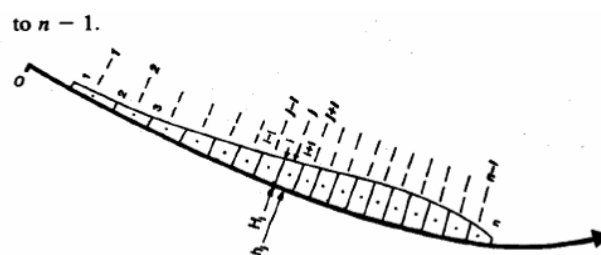


Figura 3. Solução Lagrangeana para a massa deslocada em coordenadas curvilíneas (Hungr, 1995).

Após o lançamento da geometria, um modelo reológico é escolhido para análise e são preenchidos os parâmetros de entrada para dar início à simulação de ruptura. Após o término da simulação a medida do alcance (A) é determinada conforme ilustrado na Figura 4.

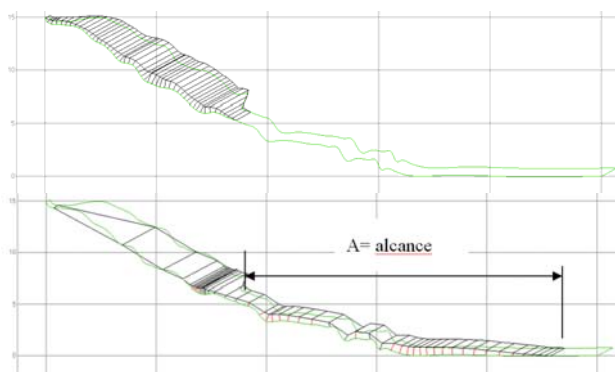


Figura 4. Tela do DAN-W antes e após a simulação da corrida.

Considerando as forças atuantes (P) e resistentes (T) indicadas na Figura 5, a força resultante F, agindo na base de cada bloco, consiste na componente tangencial do peso, mais a pressão resultante interna P, menos a força cisalhante resistente na base do deslizamento T.

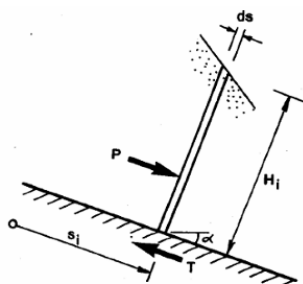


Figura 4. Forças agindo no contorno de um bloco deslizante infinitesimal (Hung, 1995)

A equação de equilíbrio é descrita, conforme Equação 1.

$$F = \gamma H_i B_i ds \cdot \sin \alpha + P - T \quad (1)$$

Em que:

γ – peso específico do material (kN/m³);
 H_i – média das alturas adjacentes a cada bloco.
 B_i – largura do bloco;
 ds – espessura infinitesimal;
 α – ângulo da base do bloco com a horizontal.

A resistência na base do fluxo, força T, depende do modelo reológico adotado e é função de diferentes parâmetros da corrida. A relação entre T e outros parâmetros é baseada na hipótese que a tensão cisalhante no plano tangencial à base da corrida aumenta linearmente com a profundidade normal. Isto, juntamente com uma dada equação constitutiva reológica, determina a distribuição do perfil da

velocidade com a profundidade e a equação de T. Oito alternativas reológicas são disponibilizadas no programa DAN-W, com suas respectivas equações de T (Tabela 1).

Tabela 1. Equações de T (resistência na base da corrida), segundo Hung, 1995.

Modelo	Fórmula da resistência na base da corrida
Friccional	$T = A_i \cdot \gamma \cdot H_i \left(\cos \alpha + \frac{a_c}{g} \right) (1 - r_u) \tan \phi$ A_i – area da base do bloco; γ – peso específico natural (kN/m³); H_i – media das alturas adjacentes ao bloco; a_c – aceleração centrífuga; r_u – coeficiente de poropressão; ϕ – ângulo de atrito (°).
Newtoniano	$T = \frac{3A_i v_i \mu}{H_i}$ v – media das velocidades; μ – viscosidade dinâmica do fluido
Plástico	$T = c A_i$ c – cte de resistência ao cisalhamento (p. ex. Su)
Turbulento	$T = A_i \gamma_i^2 n^2 H^{(-\frac{1}{3})}$ n – coeficiente de rugosidade
Bingham	$v_i = \frac{H_i}{6\mu} \left(\frac{2T}{A_i} - 3\tau \right) \left[\frac{\tau^3 A_i^2}{2T^2} \right]$ μ – viscosidade de Bingham τ – tensão de escoamento
Coulomb-Viscoso	$\tau = \gamma H_i \left(\cos \alpha + \frac{a_c}{g} \right) (1 - r_u) \tan \phi$
Voelmy	$T = A_i \left[\gamma H_i \left(\cos \alpha + \frac{a_c}{g} \right) \tan \phi + \gamma \frac{v_i^2}{\xi} \right]$ ξ – coeficiente de turbulência

3 CARACTERIZAÇÃO DO TALUDE ANALISADO

3.1 Localização e histórico

Sucessivas movimentações foram registradas no talude denominado Ponteio desde o corte efetuado para a abertura da rodovia BR 356. O talude Ponteio localiza-se nesta rodovia, em frente ao Shopping Ponteio, nº 2500. Escorregamentos planares, em cunha e tombamentos da rocha filito deram origem a detritos que se acumulavam na superfície do talude formando um depósito de tálus. Em períodos chuvosos o tálus sofria corrida de detritos, interrompendo parte da rodovia e causando transtornos no trânsito. A Figura 5 apresenta uma foto da situação do talude em 2010.



Figura 5. Vista do Talude Ponteio em 2010

Um ponto de ônibus que se localizava no pé deste talude foi interditado no início de 2010 para evitar acidentes envolvendo pessoas. As análises apresentadas deste talude dizem respeito à sua situação antes de 2010. Após este ano a prefeitura realizou obra de contenção no talude, com cortina atirantada e concreto projetado, o que solucionou a questão de corrida de tálus e escorregamentos.

3.1 Características geológico-geotécnicas

O Talude Ponteio localiza-se no domínio das rochas metasedimentares, que representa 30% do território de Belo Horizonte, cuja litologia é diversa, representada por uma sucessão de litologias representadas por: itabirito da

Formação Cauê, dolomito e filitos da Formação Gandarela, quartzito e filitos da Formação Cercadinho, filitos da Formação Fecho do Funil, quartzitos e filitos subordinados das formações Taboões e Barreiro e filitos e xistos do Grupo Sabará. Os tipos de ruptura predominantes para este domínio foram rupturas planares, em cunha e tombamentos, condicionados pela relação entre descontinuidades, fraturas, foliações e face do talude. Fatores geomorfológicos, como concavidade da encosta, e fatores antrópicos, como cortes inadequados, atuam como agentes preparatórios aos escorregamentos. A intensidade e duração das chuvas determinam o momento e frequência das rupturas. O Talude Ponteio é constituído por quartzitos e filitos intercalados, pertencentes à Formação Cercadinho, parcialmente cobertos por depósitos de vertentes (Parizzi, 2004).

Os parâmetros de resistência do tálus e do filito, bem como o peso específico destes materiais foram obtidos por Parizzi (2004) por meio de ensaios, e estão resumidos na Tabela 2, exceto pelo fator γ que foi estimado a partir de retroanálises de casos similares. A matriz do tálus, desprezada a fração pedregulho, foi classificada como Silte Arenoso de acordo com o sistema unificado de classificação SUCS.

Tabela 2. Caracterização geotécnica do solo.

Solo	Fator γ	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Tálus	0,12 a 0,23	13,0 a 17,0	0 a 6	29
Filito	0,12 a 0,23	13,0 a 17,0	15	17

4 METODOLOGIA

Para atingir o objetivo de avaliar a aplicabilidade da análise dinâmica pelo programa DAN-W para previsão de alcances de rupturas de taludes do município de Belo Horizonte, bem como obter parâmetros reológicos dos materiais, a seguinte sequência metodológica foi adotada (Menezes, 2011):

- Definição de um talude em área representativa de unidade litológica frequente em Belo Horizonte;
- Definição dos dados de entrada para cada modelo reológico;

- c. Realização das simulações de alcance pelo programa DAN-W;
- d. Comparação das previsões com os alcances observados em campo;
- e. Avaliação de compatibilidade do modelo reológico com o tipo de material geotécnico. Para isto, três critérios devem ser atendidos:
 - *Critério 1*: A curva de simulações de alcances do programa DAN-W para o modelo reológico interceptou a reta do alcance de campo.
 - *Critério 2*: A curva de simulações de alcances do programa DAN-W para o modelo reológico possui comportamento lógico e definido.
 - *Critério 3*: Os parâmetros retroanalizados pelo programa DAN-W são coerentes com parâmetros de retroanálises da superfície de ruptura obtidos em literatura técnica;
- f. Definição dos parâmetros reológicos retroanalizados;
- g. Aplicação de previsão de alcance com parâmetros obtidos na retroanálise;
- h. Análise de potencialidades e limitações do programa DAN-W.

5 RESULTADOS

Foram realizadas retroanálises considerando os modelos Friccional, Plástico, Bingham e Coulomb-Viscoso. Porém, aplicando-se os critérios de compatibilidade do modelo reológico com o material geotécnico conforme descritos no item 4e observou-se que o Modelo Friccional apresentou melhores resultados, sendo então apresentados neste artigo. A seguir os resultados da retroanálise a partir de uma ruptura ocorrida em 2002 (item 5.1), e os resultados da previsão de alcance de ruptura hipotética com os parâmetros obtidos na retroanálise, e comparação com uma ruptura ocorrida em 2005 (item 5.2).

5.1 Retroanálises

Na Figura 6 pode-se observar os croquis do perfil longitudinal do talude antes e após a ruptura de 2002, tendo 15,2 m de altura e inclinação média de 23,5°. No ano de 2002 Parizzi (2004) observou uma corrida de

detritos, com alcance de 3,3m, ou seja, ocupou todo o passeio de 4,8m (a geometria antes da ruptura já ocupava 1,5m do passeio). Com o alcance conhecido, foi possível a retroanálise dos parâmetros reológicos.

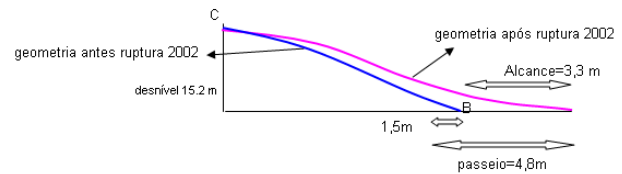


Figura 6. Croquis da geometria do Talude Ponteio antes e após a ruptura de 2002.

5.1.1 Dados de entrada para modelo friccional

No modelo friccional os parâmetros reológicos a serem obtidos pela retroanálise são o ângulo de atrito da interface entre o tálus e o filito e o fator r_u . Os dados de entrada necessários para as simulações estão apresentados a seguir, e tiveram como base os parâmetros apresentados na Tabela 2:

- Peso específico: valor fixado em seu limite superior de 17 kN/m^3 . A variação do peso específico não influencia o alcance pelo programa DAN-W, conforme simulações realizadas pelos autores.
- O fator r_u variou entre 0,12 e 0,23.
- O ângulo de atrito de interface variou entre 17° e 30° . Limite inferior definido como o ângulo de atrito do filito, e limite superior um grau acima do ângulo de atrito do tálus.
- O ângulo de atrito do tálus foi fixado em 29° .

5.1.2 Simulações no DAN-W

Na Figura 7 apresentam-se os resultados de 84 simulações de alcances para pares de variação de ângulo de atrito de interface e fator r_u .

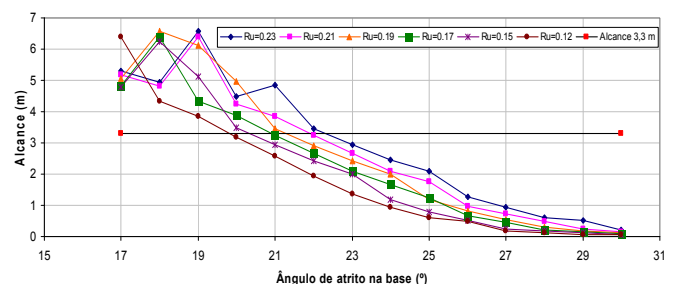


Figura 7. Alcance x ângulo de atrito da interface no modelo friccional- Talude Ponteio I

O ponto de encontro entre as curvas e a reta correspondente ao alcance de campo (3,3 m) é o resultado da retroanálise paramétrica, que se encontra no item 5.1.3.

5.1.3 Parâmetros obtidos

A análise das simulações apresentadas na Figura 7 e dos resultados das retroanálises apresentados na Tabela 3 permite os seguintes comentários:

- Quanto maior o fator r_u , maior o alcance. Foram observados alguns pontos fora desta tendência, o que pode ter sido causado pela menor precisão do programa para pequenos alcances.
- Quanto maior o ângulo de atrito da interface tálus/filito menor o alcance.
- Para fator r_u entre 0,12 e 0,23 os ângulos de atrito de interface retroanalizados pelo programa DAN-W estão entre 19,8° e 22,3°.

Tabela 3. Resultado da retroanálise no modelo friccional, Talude Ponteio

Fator	Ângulo de atrito da
0.12	19.8
0.15	20.4
0.17	20.9
0.19	21.3
0.21	21.9
0.23	22.3

5.2 Previsão de alcance a partir de parâmetros retroanalizados.

Após a ruptura de 2002, o tálus que estava depositado no passeio foi retirado, e o Talude Ponteio recebeu solução de estabilização com grampos, tela metálica e tela vegetal. Porém, em 2005, uma nova ruptura iniciada na crista do talude ocorreu, com alcance aproximado de 3,3 m (novamente o tálus ocupou toda a largura do passeio).

A partir de parâmetros retroanalizados da ruptura de 2002 (Tabela 3), realizou-se a previsão de alcance da ruptura de 2005, simulando a situação do talude sem a solução de bioengenharia. Desta forma obteve-se um alcance da corrida de detritos com média de 17,7m conforme Tabela 4. Este resultado é 5,4 vezes maior que o alcance observado em

campo, de 3,3m. Portanto, esta simulação indica que a solução de tela metálica e bioengenharia adotada não conseguiu evitar a ruptura do tálus, porém, minimizou os danos quando diminuiu o alcance da corrida para aproximadamente 1/5 (um quinto) do alcance previsto pelo DAN-W.

Tabela 4. Previsão de alcance da ruptura de 2005, sem solução de bioengenharia

Fator r_u	Ângulo de atrito da interface	Alcance a partir do ponto B (Figura 6)
0.12	19.8	17,64
0.15	20.4	17,76
0.17	20.9	17,62
0.19	21.3	17,80
0.21	21.9	17,52
0.23	22.3	17,81

6 COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

6.1 Previsão de alcances por retroanálises como contribuição para a gestão de risco

A medida da distância da massa rompida em deslizamentos foi revista na ficha de vistoria de ocorrências de deslizamentos em vilas e favelas de Belo Horizonte (Campos, 2011). Portanto, em curto prazo será possível realizar retroanálises em maior número de casos, desde que se conheça a geometria antes e após ruptura e as características do material geotécnico. Com os parâmetros obtidos nas retroanálises será possível prever alcances de rupturas de taludes típicos de Belo Horizonte com maior assertividade.

Em longo prazo, a previsão de alcances de rupturas por meio de retroanálises pode auxiliar na transição de um modelo atual de cadastramento de risco qualitativo, que já se mostra eficaz segundo opinião dos autores, para um modelo de zoneamento de risco avançado, com modelos numéricos para modelar os alcances de rupturas conforme indicação de Fell et al. (2008), e, eventualmente, associar os modelos numéricos aos modelos baseados em SIG (Sistema de Informações Geográficas).

6.2 Potencialidades e limitações da análise dinâmica na previsão de alcances

A análise dinâmica para previsão de alcances é uma metodologia quantitativa, com análise dos dados através de cálculos exatos. A objetividade da análise de risco é influenciada pela análise dos dados, mas também pela coleta de dados. A análise de dados quantitativa, mas, com estimativas (mesmo que quantitativas) na coleta de dados geram uma média objetividade na análise de risco. Porém, se a coleta de dados e análise for quantitativa e com cálculos exatos a análise de risco é considerada com alta objetividade (Hansen, 1984, apud Cerri, 2001). Medidas de alcances e profundidade de superfícies de ruptura, utilizadas nas retroanálises, obtidas por meio de estimativas, diminuem a objetividade da análise de risco geotécnico com utilização do programa DAN-W. Recomenda-se, por exemplo, que os alcances de rupturas de taludes de Belo Horizonte sejam registrados por levantamento topográfico, antes e após ruptura; ou, na impossibilidade deste procedimento, medidas com equipamento tipo trena. A elaboração de inventários das rupturas com medidas objetivas de alcance e outras variáveis facilitarão futuras aplicações de modelagem reológica e avaliações quantitativas de risco. Estimativas de alcance por fotografias, ou inferências a partir do volume do material mobilizado, diminuem a objetividade do processo. As superfícies de ruptura também podem ser obtidas por investigações geofísicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seu agradecimentos à CAPES (Coordenação para o Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior); à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo contínuo apoio financeiro, e ao Prof. Oldrich Hungr por ter cedido a licença do programa DAN-W.

REFERÊNCIAS

- Azevedo, I. C. D. (2007). *Análise de Tensões e Deformações em Solos*. Viçosa: Ed. UFV.
- Cerri, L. E. da S. (2001). *Subsídios para a seleção de alternativas de medidas de prevenção de acidentes geológicos*. 79 p. Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista – Unesp, para o concurso público de títulos e provas para a obtenção do título de Livre-Docente, na Disciplina Geologia Ambiental, do Departamento de Geologia Aplicada, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, do Câmpus de Rio Claro (SP).
- Campos, L. C. (2011). *Proposta de reanálise do risco geológico - geotécnico de escorregamentos em Belo Horizonte - Minas Gerais*. 2011. 139p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Fell, R.; Corominas, J.; Bonnard, C.; Cascini, L.; Leroi, E.; Savage, W. Z. (2008). *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning*. Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes. Engineering Geology 102, pp. 84-111.
- Menezes, L. O. (2011). *Previsão de alcances de rupturas de taludes de Belo Horizonte por meio de retroanálises: uma contribuição para a gestão do risco*. 120p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Ministério das Cidades & UFPE (2008). *Curso de Capacitação - Gestão e Mapeamento de Riscos Sócioambientais*. <
<http://www.eproinfo.mec.gov.br>>.
- Hungr, O. (1995). *A model for the runout analysis of rapid flow slides, debris flow, and avalanches*. Canadian Geotechnical Journal, 32: p. 610-623.
- Parizzi, M. G. (2004). *Condicionantes e mecanismos de ruptura em taludes da região metropolitana de Belo Horizonte, MG*. Contribuições às Ciências da Terra – Série D, v.10, 211p. Tese (Doutorado em Geociências, concentração em Geodinâmica Ambiental e Conservação de Recursos Naturais) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.