

## Análise de estabilidade de talude urbano, Belo Horizonte, MG

M.G. Parizzi<sup>1</sup>, F.G. Sobreira<sup>2</sup>, T.C.B. Galvão<sup>3</sup>, P.R.A. Aranha<sup>1</sup>, M.A. Timbó Elmiro<sup>1</sup>,  
K.L. Silva<sup>1</sup> & E.A. Beirigo<sup>3</sup>

1 Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Av. Antônio Carlos 6627-Pampulha, BH, MG, CEP:31270-901, giece@uai.com.br, aranha@igc.ufmg.br, mtimbo@ufmg.br, kessilima@yahoo.com.br

2 Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Campus do Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, MG, CEP:35400-000, sobreira@degeo.ufop.br

3 Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Dep<sup>to</sup> de Geotecnia e Transportes, Rua Espírito Santo, 35 - Centro, BH, MG, CEP:31160-030, tccgalvao@msn.com, eabeirigo@yahoo.com.br

**Abstract** This study presents an analysis of the triggering factors and landslides mechanisms that have been occurring in an urban slope located at Belo Horizonte, Minas Gerais. The analyzed slope represents a common area susceptible to landslides of this region, and was named Patagonia Slope. Since the year of 1995, successive landslides have been occurring at the Patagonia Slope causing serious economic damages in the building located in front of the slope. The rock mass of the area is the decomposed phyllites of the Fecho do Funil Formation. Four types of failure mechanisms were observed. The failure mechanism type depends on the relationship between discontinuity orientations and the slope face orientation. When the slope face is oblique to the schistosity plane, erosion and wedge failures occur. These mechanisms are responsible for the changing on the slope geometry and the daylight of others discontinuities, such as the schistosity. Once exposed, the schistosity stimulates planar failures and toppling. A talus deposit composed by phyllite fragments is formed at the Patagonia slope face. Landslides from talus are common. The majority of the landslides that were observed occur in a progressive manner, depending on the changes in the slope geometry and on the weathering conditions of rock mass along the time. The geological factors are responsible for the failure type, while human activities, geomorphologic factors and water action are responsible for the failure susceptibility degree of the soils and rock masses. Accumulated rain is responsible for the frequency and the exact moment of landslide occurrence.

*Palavras-chave:* Estabilidade, talude urbano, filito, tálus, chuva.

**LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO GERAL** O Talude Patagônia (Fig.1) localiza-se na rua Patagônia, no Bairro Sion de Belo Horizonte.



Figura 1. Cicatriz de ruptura do Talude Patagônia

A área onde se localiza o talude está incorporada em Zona de Proteção, de acordo com o plano diretor

municipal, assim classificada em função de suas características topográficas e geológicas desfavoráveis à ocupação. Em 1995, o talude escorregou causando muitos estragos no edifício em frente, o que obrigou os moradores a abandonarem o local. Em janeiro de 2003, mês em que houve excepcionais índices pluviométricos, outro escorregamento ocorreu no talude, do tipo planar, novamente lançando lama e detritos na garagem do edifício abandonado. O escorregamento deixou no talude uma grande cicatriz de ruptura. Nenhuma obra de contenção foi realizada e, atualmente, o maciço rochoso desconfinado está instável e sofrendo outras rupturas em quase todos os períodos chuvosos.

O talude possui altura de 30m e sua inclinação é variável, com uma face escarpada no topo com ângulo de aproximadamente 60° suavizando para 35° a jusante. É constituído por maciço rochoso alterado, coberto parcialmente por depósito de tálus. Tal maciço rochoso caracteriza-se, em grande parte, por filitos alterados da Formação Fecho do Funil. No norte do talude, essa formação está em contato tectônico com os quartzitos finos e friáveis da Formação Taboões, que, por sua vez, estão em contato gradual com filitos grafitosos da Formação Barreiro,



todos pertencentes ao Grupo Piracicaba. Esse contato tectônico é marcado por plano de falha e dobramentos localizados, responsáveis pela variação do mergulho da foliação, que localmente passa de  $20^{\circ}$  ou  $30^{\circ}$  para  $55^{\circ}$ . A trama estrutural do maciço é representada por quatro famílias de descontinuidades (F1, J2, J3, J4) e pela falha inversa que marca o contato entre as formações Fecho do Funil e Taboões (Parizzi 2004). A denominação F1 representa a xistosidade e J1, J2 e J3 representam as famílias de fraturas. Ao longo do plano de falha, a água percola com facilidade, aprofundando sulco erosivo na parte central do talude. A feição erosiva, com profundidade média de 1 metro, tem a forma de um sulco no meio da face do talude. O sulco erosivo divide o talude em duas novas faces, uma ao norte, com direção de mergulho voltada para SE paralela ao plano da falha e à xistosidade, outra ao sul, paralela à família de fratura J1 (340/45).

**MÉTODOS DE ANÁLISE, RESULTADOS E CONCLUSÕES** Foram usados os sistemas de classificações RMR e Q para a caracterização do talude. De acordo com o sistema RMR, o maciço foi classificado como muito ruim, o que significa coesão menor que 100 kPa e ângulo de atrito menor ou igual a  $15^{\circ}$ . O sistema de classificação Q apontou o maciço como extrema-mente ruim e forneceu um valor de ângulo de atrito de  $14^{\circ}$ . Os dados obtidos foram ajustados pelo critério de Hoek & Brown por meio do uso do Programa Roclab (Parizzi 2004). Assim, obteve-se para o maciço uma coesão igual a 15 kPa e ângulo de atrito igual a  $13^{\circ}$ . Foi realizada uma análise cinemática após interpretação da projeção estereográfica das famílias de descontinuidades. Os dados obtidos pela análise cinemática estabelecem a susceptibilidade de ocorrência de rupturas em cunha, rupturas planares e tombamentos do talude. A ruptura em cunha seria estimulada pela orientação do corte do talude.

Rupturas planares ocorrem ao longo do plano de foliação (F1), estimuladas pelo desconfinamento dessas estruturas em todo lado norte do talude, após o processo erosivo. Os tombamentos dos planos de foliação (F1), por sua vez, ocorrem no lado sul do talude, estimulados pelo sistema de fraturas J2.

Em janeiro de 2003, após uma semana de chuvas intensas, o talude sofreu ruptura planar significativa em seu lado norte, seguida por pequenos escorregamentos do depósito de talus. No depósito de talus foi observada a ocorrência de pequenas rupturas circulares e também fluxos de detritos durante períodos chuvosos. Foram recolhidas 9 amostras do depósito para execução de ensaios geotécnicos, como caracterização física da matriz e ensaios de cisalhamento direto com amostras inundadas.

O talus caracteriza-se por fragmentos maiores (de até 30cm) de filitos da Fm. Fecho do Funil e de quartzitos e filitos grafitosos das formações Taboões e Barreiro, todos envolvidos por matriz mais fina. A espessura do depósito varia de 70 cm a 1,6m (valor estimado pela sondagem geofísica). A classificação para as amostras do talus variou entre silte arenoso, cascalho siltoso com areia, silte arenoso com cascalho e silte cascalhento com areia. A classificação da matriz do talus foi de silto-arenosa e de silte com argila. De um modo geral, os valores de índice de vazios (em média 0,8) e a porosidade (em média 44%) desse material foram considerados altos, de acordo com a classificação da IAEG (1979, 1981). Os ensaios de permeabilidade *in situ* forneceram condutividade hidráulica para esse depósito da ordem de  $10^{-4}$  cm/seg.

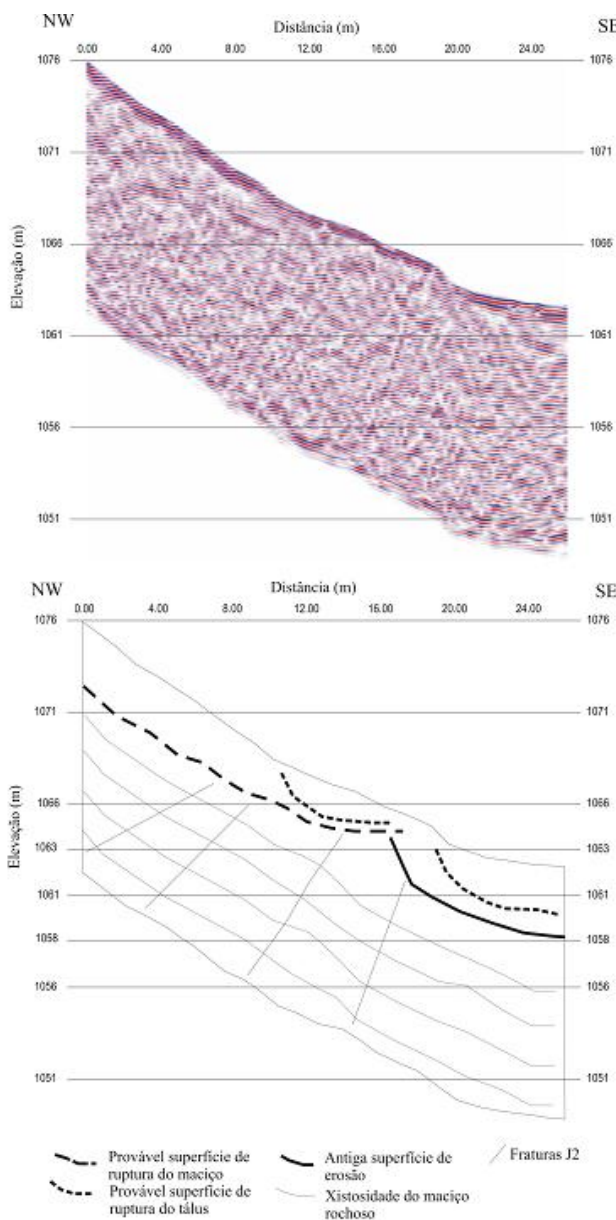
Normalmente, espera-se que solos com altos índices de vazios tenham alta permeabilidade, entretanto, isso não ocorre com o material estudado. Situações desse tipo podem ser explicadas a partir do conhecimento da composição e estrutura do solo.

Santos (2004) realizou análise micromorfológica da matriz do talus do Talude Patagônia. Os resultados permitiram explicar a influência da estrutura e constituição da matriz do talus no valor de permeabilidade encontrado. Os ensaios de cisalhamento direto com duas amostras inundadas da matriz do talus forneceram coesão nula e o ângulo de atrito na ordem de  $28^{\circ}$ . Outra amostra forneceu coesão de 9 kPa e ângulo de atrito de  $32^{\circ}$ . Esses valores foram utilizados durante a análise de estabilidade do depósito de talus.

Foi realizada uma investigação geofísica (Fig. 2) no Talude Patagônia após o escorregamento de janeiro de 2003, objetivando detectar a profundidade e geometria das superfícies de ruptura, tanto do maciço rochoso quanto do talus. Outro objetivo era obter a espessura do depósito de talus e observar a relação entre a orientação das descontinuidades e as superfícies de ruptura. De acordo com as reflexões obtidas foi possível visualizar anomalias nas duas linhas. As reflexões mais nítidas refletem bem as superfícies de ruptura, tanto do talus quanto do maciço rochoso. Superfícies de ruptura e contatos destacam-se por apresentarem reflexões mais fortes. Foram detectadas três superfícies de ruptura. Duas delas são menos extensas, ocorrem à profundidade média de 1,3m e possuem formas circulares.

Acredita-se, que as duas primeiras sejam superfícies de ruptura do talus, devido sua forma circular e profundidade mais rasa e, a terceira seja superfície de ruptura planar do maciço de filito ao longo da xistosidade. Outra anomalia semelhante a uma superfície curva, que ocorre entre as cotas de 1063m e 1058m foi interpretada como antiga

superfície de erosão preenchida pelo tálus. Essa interpretação foi suportada por observações de campo. Após todas as investigações realizadas foi possível observar que a ruptura planar, condicionada pela xistosidade, é a mais susceptível a ocorrer no talude e também a que mobiliza maior volume de material talude abaixo, como o escorregamento ocorrido em janeiro de 2003.



**Figura 2.** Perfil de geofísica (GPR), seguido de interpretação

Com base no modelo das superfícies de ruptura visualizadas pelo GPR e utilizando-se o programa *Plane Failure Analysis*, elaborou-se um modelo para o bloco rochoso que sofre a ruptura planar. Como a resistência do maciço é muito baixa, principalmente das litologias das formações Barreiro e Taboões, o bloco menos espesso e mais extenso, adquire uma

forma mais circular na base, devido ao cisalhamento desse material provocado pela pressão do maciço deslocado acima.

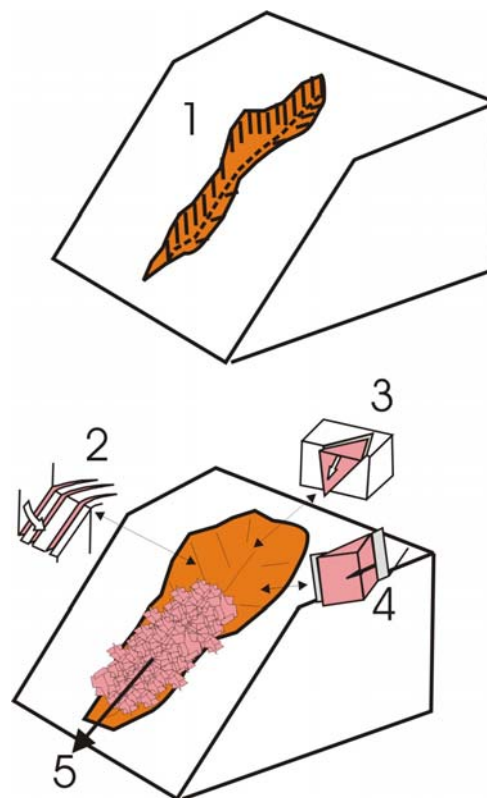
A ruptura planar estimulou a movimentação simultânea do depósito de tálus pré-existente no talude, que fora acrescido de novas camadas que se formaram durante esse período. Uma retroanálise do escorregamento do tálus foi executada com o auxílio do programa *Xslope*, visando reconstituir as condições geotécnicas e geométricas prevaescentes no talude no momento da ruptura. Os parâmetros utilizados para a execução da retroanálise incluíram os valores de coesão e atrito, obtidos nos ensaios de cisalhamento direto com amostras inundadas da matriz do depósito, e a geometria da superfície de ruptura obtida pela prospecção geofísica. Os valores de poro-pressões foram simulados com o auxílio do coeficiente  $r_u$ , desenvolvido por Bishop & Morgenstern (1960). A poro-pressão de 12 kPa foi calculada como atuante ao longo da superfície de ruptura. No período do escorregamento os índices pluviométricos foram excepcionais, com valores diários de 217 mm, e valores acumulados em 4 dias de 282mm.

Após as investigações consideradas puderam-se sistematizar os mecanismos de ruptura do Talude Patagônia da seguinte maneira:

- o corte realizado antes de 1995, com direção e mergulho 40/68, favoreceu a aceleração de processos erosivos ao longo de planos de foliação e da falha. Esse processo modificou a geometria do talude e provocou o desconfinamento da xistosidade e do plano de falha que marca o contato entre as Formações Fecho do Funil, Barreiro e Taboões;
- a partir do desenvolvimento da erosão duas novas faces ficaram expostas no talude: Uma ao sul do talude (340/60), onde rupturas em cunha, tombamentos e queda de blocos passaram a ocorrer, e outra ao norte (160/55 ou 160/30), onde rupturas planares ao longo do plano de xistosidade passaram a ocorrer. Essas rupturas geraram depósito de tálus inconsistente que preenche sulcos erosivos e repousa na face do talude (Fig. 3);
- durante períodos de precipitação contínua e intensa, escorregamentos planares ao longo da xistosidade e escorregamentos do depósito de tálus ocorrem simultaneamente, gerando mais de uma superfície de ruptura, como visualizado pela investigação geofísica;
- a ruptura do depósito de tálus ocorre ao longo de superfície circular rasa limitada pelo o contato entre depósito e maciço, e
- pelas análises realizadas, o estado de equilíbrio limite do talude, com relação à ruptura ao longo dos planos de foliação, é alcançado com uma

porcentagem de preenchimento por água nas descontinuidades de 81% e, para o depósito de tálus, atuação de poro-pressões da ordem de 10 kPa. Poro-pressões de 10 kPa em depósito relativamente de pequena espessura podem ser justificadas pela alta taxa de pluviosidade ocorrida no período de ocorrência do escorregamento e às características estruturais e composicionais da matriz do tálus (poros com raras conexões, obstruídas por constituintes micáceos).

Em cada um desses grupos, a associação dos condicionantes geológicos, geomorfológicos naturais e físicos, incluindo a ação interna da água nos maciços rochosos e de solo e os processos intempéricos, funcionam como agentes predisponentes e preparatórios às movimentações, causando a redução da resistência do material. As atividades antrópicas e as chuvas atuam causando o aumento das forças cisalhantes, e pode-se dizer que as chuvas funcionam como desencadeadoras do processo.



*Figura 3. Modelos de processos ocorridos no Talude Patagônia: 1- Erosão, 2- Tombamento, 3- Ruptura em cunha, 4- Ruptura planar, 5- Escorregamento do tálus*

### Referências

- BISHOP A.W. & MORGENSTERN N. 1960. Stability Coefficients for earth slopes. *Geotechnique*, **10** (4):129-147
- IAEG. 1979. Classification of rocks and soils for engineering geology mapping. Part 1: rock and soil materials. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*. Krefeld. **19**:364-371.
- IAEG. 1981. Rock and soil description and classification for engineering geological mapping. *Bulletin of the international Association of Engineering Geology*, **24**:235-274.
- PARIZZI M.G. 2004. *Condicionantes e Mecanismos de ruptura de Taludes da Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG*. UFOP, Ouro Preto, (Tese de Doutorado), 213p.
- SANTOS R.M. 2004. *Caracterização Micromorfológica de Materiais Originados de Diferentes Litologias, em Áreas com Ocorrência de Movimentos de Massa na Região de Belo Horizonte e Rio Acima*. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Dissertação de Mestrado, 119p.