

# Estabilização de encosta com talude reforçado de 60 m de altura em Lona-Lases, Itália

Emília Mendonça Andrade

Huesker Ltda., São José dos Campos, Brasil, emilia@huesker.com.br

Pierpaolo Fantini

Huesker Trieste, Italy, p.fantini@huesker.com.it

**RESUMO:** O Monte Gorsa, localizado em Slavinac (Trento-Itália), foi acometido por uma grande ruptura em uma área de mineração sobre a estrada S.P.71 e o lago Lases, oferecendo sérios riscos às áreas próximas e seus habitantes. É feita referência, particularmente, a uma encosta com altura de 60m reforçada com geogrelhas em poliéster de alto módulo instaladas na base do talude, de forma a restaurar as condições de segurança pré-existentes à exploração mineral. Mais de 3,5 km de sistema de drenagem foram instalados, além de um sistema de monitoramento completo com uma rede de inclinômetros, piezômetros e medidores magnéticos de recalque. O conceito de se construir um talude reforçado com funções múltiplas resultou em um projeto extremamente eficiente, assim como a possibilidade de se ter uma face vegetada reduziu o impacto visual da estrutura localizada em uma área turística.

**PALAVRAS-CHAVE:** reforço de taludes, geogrelhas, estabilização de deslizamentos de encostas

## 1 INTRODUÇÃO

A região montanhosa próxima a Trento é historicamente marcada pela presença de atividades de pedreiras para a extração de pórfiro, um tipo de rocha utilizado nas atividades de construção (pavimentação, revestimento de edifícios, etc.). Devido a esta atividade, O Monte Gorsa, em sua face localizada sobre o Lago Lases, em Slavinac (Trento, Itália), foi acometido por um deslizamento sobre a área do lago e da rodovia S.P. “Fersina-Avisio”, oferecendo sérios riscos às áreas próximas e a seus habitantes.

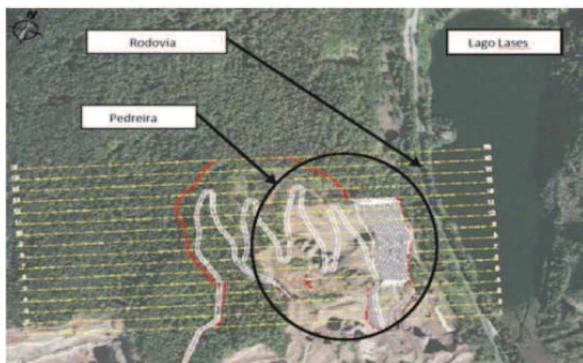


Figura 1. Área da antiga pedreira, próxima ao Lago Lases e da rodovia Fersina-Avisio.

Após um episódio de movimentos de terra no local, no ano 2000, foi solicitada uma consultoria técnica pelo Departamento de Prevenção de Desastres da Província de Trento ao Prof G. Barla (Universidade Politécnica de Torino) e Prof A. Cancelli (Universidade de Milão), para estudo do processo de deslizamento a fim de determinar as diretrizes de um projeto de recuperação da área. Além disso, foi solicitada uma análise de possíveis cenários decorrentes da aceleração do processo de deslizamento, com particular referência à avaliação do efeito de onda produzida pela queda de porções de rocha sobre o lago.

## 2 CONTEXTO HISTÓRICO

Os primeiros sinais de instabilidade foram observados durante o verão de 1976, quando as atividades da pedreira já haviam iniciado. Os deslizamentos foram atribuídos às seguintes condições:

- Inclinação acentuada do talude (cerca de 80%), condição de fraturamento da subcamada e presença de uma camada espessa de solo

desagregado (1,0 – 5,0m).

- Precipitação, escavações ao pé do talude e estresses ocasionados pela queda de rochas causada pelas atividades da pedreira.

Novos deslizamentos foram notados durante os anos seguintes, e as causas foram atribuídas às atividades de extração, a qual acontecia sempre a partir da parte inferior da pedreira.

Os primeiros monitoramentos realizados por meio de extensômetros aconteceram em 1996, e, durante 3 meses, foram registrados deslocamentos de 10,0 a 20,0 cm, principalmente no período de inverno, pela ocorrência frequente de chuvas. A caracterização geotécnica da área de deslizamento foi realizada indireta (investigação de atividade sísmica) e diretamente (perfuração mecânica para inserção de piezômetros e inclinômetros), por meio de dispositivos computadorizados, com registros automáticos.

As análises de estabilidade do talude pelo método de equilíbrio limite confirmaram a importância dos padrões de poropressão nas condições de equilíbrio do talude.

Para prevenir a infiltração excessiva de água no corpo da zona de deslizamento, foi instalado um completo sistema de drenagem em toda a área, com trincheiras drenantes e impermeabilização das rupturas recentes com geomembrana de PEAD.

A presença de uma camada de solo de 1,50m de espessura constituída por elementos cataclásticos de pórfiro com partículas de areia fina e argila sobre camada de 2,0 a 3,0m de rochas fraturadas, além de resultados de novas sondagens, indicam claramente uma série de fraturas com grande profundidade. A profundidade do plano de deslizamento foi avaliada entre 19,0 e 15,0m. Entretanto, a causa principal da instabilidade da área foi atribuída à descontinuidade do pórfiro sobre a área fraturada, causada pelas atividades de escavação da pedreira.

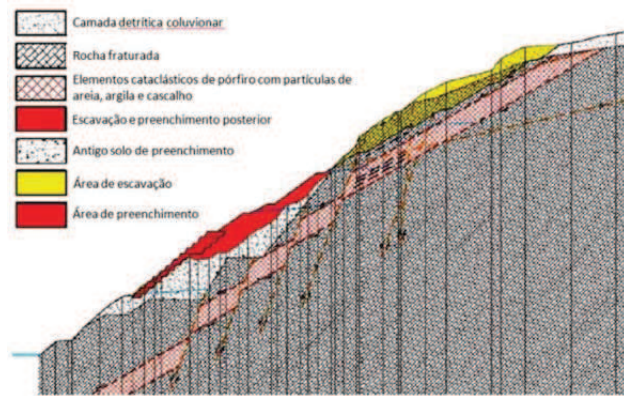


Figura 2. Seção do talude estudado, com indicação das falhas e planos de deslizamento.

### 3 SOLUÇÃO

A estabilidade global do talude foi verificada pelo método de Janbu, com uso do software SLOPE/W, considerando mecanismo de ruptura translacional com plano principal de rompimento dentro da zona cataclástica.

Para a definição da solução a ser adotada, três condições-limite foram examinadas, a fim de satisfazer um fator de segurança requerido  $FS \geq 1,3$ , de acordo com as normas italianas:

a) Situação atual: Análise para determinação de ângulos de atrito relativos do solo ( $\phi = 35^\circ$ ) com poropressão variando de 0 a 0,10, o que resulta num fator de segurança próximo a 1, justificando os deslizamentos. Outros parâmetros considerados foram peso específico  $\gamma = 25\text{kN/m}^3$  e coesão  $c = 0$ .

b) Preenchimento da porção inferior do talude sem a remoção do solo da parte superior, resultando fator de segurança FS 1,2.

c) Preenchimento da porção inferior do talude com a remoção do solo da parte superior, resultando fator de segurança FS 1,3.

Desta forma, apenas a terceira condição é aceitável em termos de estabilidade global, e foi adotada como a solução a ser empregada.

Com base na análise apresentada e na investigação geotécnica previamente realizada entre 1999 e 2003, os consultores indicaram uma série de premissas a serem consideradas para o projeto de estabilização do talude:

- recuperação das condições de contenção ao pé do talude para reestabelecer o estado de tensões existente antes das atividades de exploração do pórfiro.
- instalação de um sistema de drenagem interna

e no entorno da área, visando a prevenção do aumento da poropressão ao longo do plano de deslizamento.

De acordo com estas recomendações, o projeto executivo foi concebido em 2002, constituído das seguintes etapas:

- (1) Reconstrução morfológica por remoção do solo da parte superior e transporte para a parte inferior (Figura 3);
- (2) Execução de um talude íngreme reforçado com geogrelhas a partir da base do talude para permitir uma inclinação de 60°. A altura da estrutura de 60m é dividida em taludes de 5m de altura e comprimento total de talude reforçado de 100 m;
- (3) Execução de uma trincheira drenante para coletar toda a água de superfície e instalação de 48 tubos horizontais para microdrenagem.

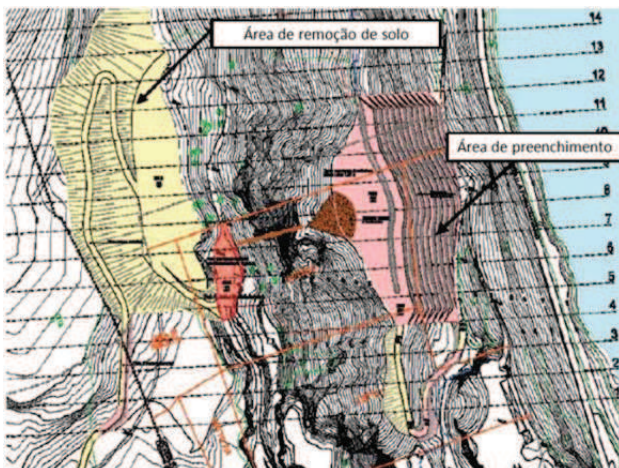


Figura 3. Áreas de intervenção: remoção do solo e preenchimento.

Foram executadas, além das descritas acima, as seguintes ações secundárias:

- trabalhos de recuperação para estabelecimento de uma vegetação permanente na área.
- construção de uma barreira sobre o talude reforçado para evitar a queda de rochas sobre a rodovia próxima.
- sistema de monitoramento automático com 5 inclinômetros, 6 piezômetros, 3 extensômetros, 2 medidores magnéticos de recalque e 25 marcos de monitoramento.

#### 4 A ESTRUTURA EM SOLO REFORÇADO

O talude reforçado foi construído com dois tipos de geogrelhas de reforço, ambas de poliéster com revestimento polimérico:

- geogrelha para o reforço primário, com resistência nominal à tração de 110 kN/m, comprimentos de ancoragem entre 8,0 e 31,0m e sobreposição de 1,50m, para garantir a estabilidade global e interna do talude.
- geogrelha para o reforço secundário, com resistência à tração nominal de 45 kN/m, comprimento de ancoragem de 4,0m e sobreposição de 0,5m, com a função de garantir a estabilidade local da face do talude.



Figura 4. Micro-drenos instalados.

Moldes feitos com malha de aço galvanizado (15 x 15 cm, 8mm de diâmetro) foram utilizados para a obtenção de uma face uniforme, com ângulo de 60°. Aplicou-se também uma biomanta de juta entre os moldes e a geogrelha, de modo a impedir a erosão da camada de 20cm de solo orgânico aplicado na face para facilitar o crescimento da vegetação.





Figura 5. Execução dos moldes metálicos.

Como material de preenchimento, foi utilizado exclusivamente o pórfiro obtido da remoção feita na porção superior. Para que fosse realizada uma compactação adequada e evitar danos à geogrelha, foi determinado o tamanho máximo de 10cm para as partículas de pórfiro, sendo este triturado e peneirado para obtenção da granulometria apropriada.

Ainda assim, o material apresentou-se demasiadamente afiado, e a adoção de um fator de redução para a resistência da geogrelha devido a danos mecânicos foi necessária. Um teste de danos mecânicos foi realizado em campo, resultando em um fator de redução necessário de 1,14 para geogrelhas de PET. Foi adotado então, para este caso,  $f_{mr}=1,20$ .



Figura 6. Teste de campo para determinação do fator de redução por danos mecânicos.

A figura a seguir ilustra uma seção transversal típica do trecho mais alto, com indicação dos reforços primários e secundários

executados no talude.

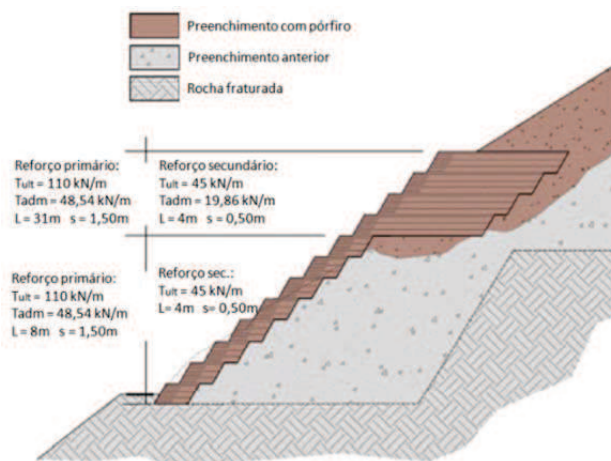


Figura 7. Seção do talude de 60m de altura, com indicação dos reforços empregados.

A resistência à tração admissível para cálculos de projeto ( $T_{adm}$ ) foi calculada a partir do método de fatores de redução parciais, indicado pelo British Standard BS 8006:1995, por meio da seguinte equação:

$$T_{adm} = \frac{f_{cr} \cdot T_{ult}}{f_{mr} \cdot f_m \cdot f_e}$$

Onde:

$f_{cr}$ : fator de redução por creep;

$f_m$ : fator de redução por incertezas na produção;

$f_{mr}$ : fator de redução por danos mecânicos;

$f_e$ : fator de redução por danos químicos e ambientais;

Resistência admissível em longo prazo para o projeto.

Resistência à tração do geossintético.

As Geogrelhas de PET têm as características mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Características das geogrelhas.

Material	Fortrac 45	Fortrac 110
Descrição	Geogrelha de PET com revestimento polimérico	
Resistência à tração (longitudinal)	45 kN/m	110 kN/m
Alongamento	12,50%	12,50%
<i>f<sub>cr</sub></i> : fator de redução por creep (120 anos)	0,6	0,6
<i>f<sub>m</sub></i> : fator de redução por incertezas na produção (120 anos)	1,1	1,1
<i>f<sub>mr</sub></i> : fator de redução por danos mecânicos (pórfiro)	1,2	1,2
<i>f<sub>e</sub></i> : fator de redução por danos químicos e ambientais ( $4 \leq \text{pH} \leq 9$ )	1,03	1,03
Resistência admissível em longo prazo para o projeto (120 anos)	19,86 kN/m	48,54 kN/m

As características e fatores de redução das geogrelhas foram acreditados em laboratórios certificados e em testes de campo.

No mês de janeiro de 2005, as obras se iniciaram com a escavação do antigo material de preenchimento da pedra, na porção inferior do talude, onde foi executada a primeira camada de geogrelhas do reforço primário, com 8,0m de comprimento de ancoragem.

O material da porção superior do talude foi, ao mesmo tempo em que era removido, utilizado para preenchimento da estrutura reforçada da parte inferior.

As geogrelhas foram instaladas usando o método “wrap-around”, com camadas de solo compactado de 30 cm.



Figura 8. Instalação de geogrelha do reforço primário.



Figura 9. Execução de uma camada de solo compactado.

De acordo com testes realizados previamente pelas diretrizes da Swiss Standard (SNV 671307), a compactação foi realizada sempre visando atingir um módulo acima de 40N/mm<sup>2</sup> e densidade maior que 90% do Proctor Modificado, de acordo com a AASHTO.

Foram escavados, no total, 750.000m<sup>3</sup> de solo e aterrados 300.000m<sup>3</sup>, resultando em 10.000m<sup>2</sup> de face da estrutura de solo reforçado e 3,5km de micro-drenos horizontais. Foi realizado também um processo de hidrossemeadura na face do solo reforçado, para minimização dos impactos visuais. Para auxiliar no desenvolvimento da vegetação durante o longo período de seca, foi instalado um sistema de irrigação automático.



Figura 10. Face do talude, com crescimento da vegetação, durante o verão de 2005.



## 5 CONCLUSÕES

O projeto apresentado neste trabalho caracteriza-se como um complexo trabalho geotécnico para recuperação de uma área extremamente degradada e de alto risco para a população local e ao meio ambiente.

A recuperação e estabilização do talude por meio de uma estrutura de solo reforçado com geogrelhas provou ser a alternativa mais segura do ponto de vista técnico e ambiental.

Além disso, a solução também permitiu uma face vegetada, o que foi de grande importância na minimização do impacto visual de tamanha estrutura em uma área turística.



Figura 11. Vista da área recuperada.

As obras foram concluídas em setembro de 2005 e o sistema de monitoramento mede continuamente o comportamento da estrutura.

Este projeto caracteriza-se como um marco no conceito de se construir um talude reforçado com funções múltiplas – contenção, recuperação e estabilização – resultou em um projeto extremamente interessante e eficiente, considerando que algumas das ideias expostas podem ser usadas futuramente em casos semelhantes.

## REFERÊNCIAS

- BBA – British Board of Agreement. *Roads and Bridges Certificate No 01/R125*.
- British Standard BS 8006:1995. *Code of practice for Strengthened/reinforced soils and other fills*.
- D.M. LL.PP. 11.03.1988. *Technical Regulation on soil investigation and slope stability design and execution*.
- Dalla Torre, A., Benigni, C. & Cesarini Sforza, G., Fantini, P.. *Reinforced steep vegetated slope 60 m height for landslide stabilization in Lona-Lases (Trento-Italy)*. Geosynthetics, J. Kuwano & J. Koseki(eds). 2006 Milpress, Rotterdam, ISBN 905966044.
- Eurocode EC7 – *Geotechnical Design – General Rules*