*XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*
*O Futuro Sustentável do Brasil passa por Minas*
*COBRAMSEG 2016 — 19-22 Outubro, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil*
*© ABMS, 2016*

# Proteção da PCH Jataí, GO Contra o Risco de Queda de Blocos Por Meio de Telas Metálicas

Clóvis Fernando de Moura Costa
Unilasalle, Porto Alegre, Brasil, purussaurus2@yahoo.com.br

Ricardo Lima Fernandes
Roxor Engenharia, Chapecó, Brasil, ricardo.dir@roxor.com.br

Matheus Camargo Garcia
Maccaferri do Brasil, Jundiaí, Brasil, matheus.garcia@maccaferri.com.br

RESUMO: O presente trabalho apresenta um caso de obra de estabilização de encosta rochosa na PCH Jataí. A PCH de Jataí está localizada no Rio Claro, a oito quilômetros da cidade de Jataí, e possui capacidade de abastecer a energia de trezentos mil consumidores. Este artigo tem o objetivo de mostrar como foi realizada a proteção da adutora da hidrelétrica contra o risco de queda de blocos rochosos a fim de não paralisar o abastecimento de energia da região trazendo prejuízos econômicos grandes aos acionistas. Para a análise do problema foi realizada uma vistoria no local a fim de realizar um levantamento geológico-geotécnico com um mapeamento das descontinuidades da rocha. Os taludes de rocha existentes são provenientes da remoção de material para instalação da adutora da PCH Jataí. A rocha é formada por um basalto são com fraturas provenientes do desmonte onde também ocorrem diaclases. Este sistema de fraturas é quase ortogonal e apresenta mergulhos em direção ao pé da encosta, o padrão de cisalhamento das rochas basálticas depende da posição em que elas se encontravam no derrame. A parte central é composta de basalto colunar com padrão de fraturas verticais e as partes superioras e inferiores são caracterizadas por fraturas horizontais. Esta situação estrutural tem provocado a queda de blocos pondo em risco a adutora. A partir dos dados obtidos no levantamento, definiu-se que a solução para o problema deveria ser a estabilização superficial da encosta rochosa com revestimento flexível, ou seja, aplicação de tela metálica faceando a superfície da rocha e a grampeando por meio de chumbadores inseridos em perfurações pré-estabelecidas com preenchimento do furo com nata de cimento. Será descrito nesse trabalho a metodologia de dimensionamento aplicada através do software MACRO 1 da Maccaferri que analisa o espaçamento, diâmetro e comprimento dos chumbadores, além de uma análise em Estado Limite Ultimo e de Serviço sobre a tela metálica. Para os blocos existentes na crista da encosta foi realizado um encapsulamento através de tela, que foi fixada por grampos. O artigo também tratará do processo executivo utilizado para essa obra, que foi realizada através de rapel, devido a falta de espaço disponível e maior agilidade no cronograma da obra. Como conclusão ao trabalho realizado, foi demonstrado que é possível alcançar níveis de segurança altos através da aplicação desse tipo de solução com metodologias de dimensionamento e execução adequadas às situações geológicas brasileiras.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização superficial; Telas metálicas; Hidrelétrica.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico aliado a necessidade de economia na execução de obras de infraestrutura tem gerado cada vez mais cortes verticais em taludes rochosos que podem ocasionar processos de instabilidade. O objetivo desse trabalho é apresentar uma metodologia

aplicada na estabilização da encosta próxima a adutora da PCH Jataí (Figura 1). A figura 2 mostra o talude do lado esquerdo da adutora que apresenta queda de blocos.

Figura 1. Vista Geral da PCH Jatai.

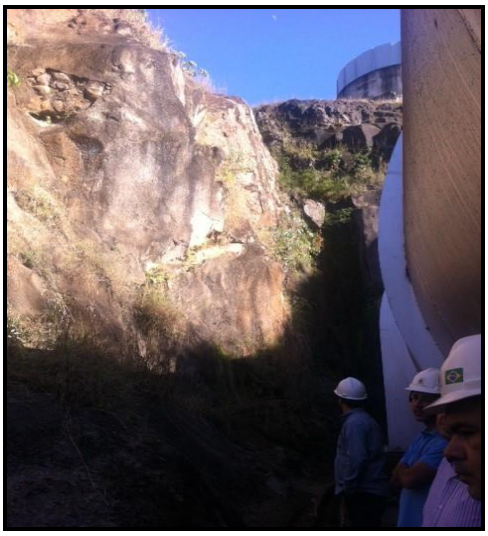

Figura 2. Detalhe da queda de blocos

## 2 CONCEPÇÃO DA SOLUÇÃO

Primeiramente, foi realizada uma inspeção em campo para o mapeamento da geologia e litologia do maciço rochoso exposto para o tratamento de estabilização, obtendo informações relativas ao tipo de rocha, contato entre tipos e derrames de rochas e suas estruturas. Constatou-se, pela face exposta do maciço rochoso escavado, uma formação rochosa colunar de basalto são, com a presença de um sistema de fraturas ortogonal, planos de diaclases que controlam a queda de blocos e ângulo de inclinação média do talude de 80° em relação ao plano horizontal, com alguns trechos obtendo blocos isolados com disposição negativa em relação ao talude, devido à perda de material abaixo deles por desplacamento de fragmentos de rocha. A solução indicada para estabilizar a superfície instrável da encosta foi projetar uma tela metálica com chumbadores sistematizados, onde os chumbadores estabilizam o maciço e a malha metálica controla o desprendimento de blocos. Os blocos existentes na crista foram encapsulados pela tela, que foi fixada por grampos. O dimensionamento do sistema foi realizado através do software MACRO 1 da Maccaferri.

## 3 METODOLOGIA DE CÁLCULO

### 3.1 Software MACRO 1

A estabilização da camada superficial instável é atingida principalmente através da inserção de barras de aço (chumbadores) no maciço rochoso, que são posteriormente preenchidos de nata de cimento e fixados por toda a extensão da encosta. Os chumbadores mobilizam forças resistentes de tração e cisalhamento ao longo de todo o seu comprimento e contribuem na melhora da estabilidade. No momento em que ocorra um deslocamento na junta, a resistência do chumbador é gerada de forma passiva.

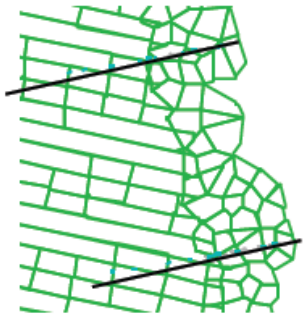

Figura 3. Esquema do maciço rochoso com chumbadores para estabilização da camada superficial da encosta.

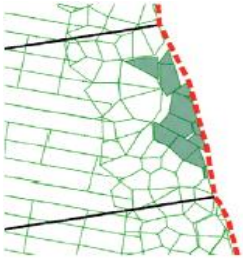

Figura 4. Esquema do maciço rochoso com chumbadores. A malha deve apenas controlar a porção de rocha instável entre chumbadores.

A retenção da superfície exposta as intempéries do maciço, reforçado com chumbadores, é obtida pela malha de aço. A função da malha é de conter o material entre os chumbadores através da limitação de seu movimento (possui também uma função estética). O revestimento com malha metálica é flexível (revestimento estrutural flexível) e trabalha em conjunto com os chumbadores apenas após o movimento de blocos entre chumbadores (Figura 5). Na realidade, este tipo de estabilização não pode ser considerado uma estrutura rígida, como um concreto projetado ou elementos pré-moldados, que limitam o deslocamento dos blocos em uma abordagem otimizada. O dimensionamento do revestimento estrutural flexível requer certa consideração a fim de minimizar quaisquer problemas relacionados às propriedades da malha e suas aplicações. O teste de puncionamento em escala real é fundamental para modelar a transmissão de forças para os chumbadores (Figura 5).

Figura 5. Ensaio de puncionamento em escala real em Pont Boset, desenvolvido pela universidade técnica de Turim em conjunto com Officine Maccaferri (Bertolo ET Al. 2009).

No passado, vários pesquisadores realizaram testes em amostras de diferentes dimensões e estruturas de fixação (Ruegger R., & Flum D., 2000; Bonati & Galimberti, 2004; Muhunthan B. et Al., 2005). Os testes mais interessantes foram desenvolvidos em Pont Boset (Aosta, Itália), onde um sistema realístico foi formado por chumbadores espaçados de 3.0 m x 3.0 m, similar ao que usualmente é adotado em encostas rochosas. Um dispositivo de punção mergulhando com uma inclinação de 45º em relação ao plano da malha foi instalado para reproduzir o movimento de um bloco rochoso (Bertolo et. Al. 2007; Bertolo et. Al. 2009).

Os resultados dos testes identificaram a pobre correlação entre os testes de laboratório com amostras de pequena dimensão e o comportamento real, destacando a necessidade de reproduzir as condições reais em que a malha é aplicada (Majoral et Al., 2008). Além disso, os resultados demonstraram que certas malhas desenvolvem resistências satisfatórias apenas após atingirem um deslocamento de vários decímetros sob carga desprezível. Por exemplo, o deslocamento do dispositivo de puncionamento carregando sobre uma malha hexagonal dupla torção, em 0.4 m, é a metade do obtido por uma malha em formato de diamante com arame de alta resistência (Figura 6). Dado este comportamento, é obvio que os deslocamentos de rocha envolvem os chumbadores de uma forma passiva, onde os elementos do revestimento não oferecem uma contribuição estabilizante. A estabilização irá apenas iniciar quando a malha selecionada gerar cargas transferidas para as ancoragens, frequentemente após o deslocamento de poucos decímetros.

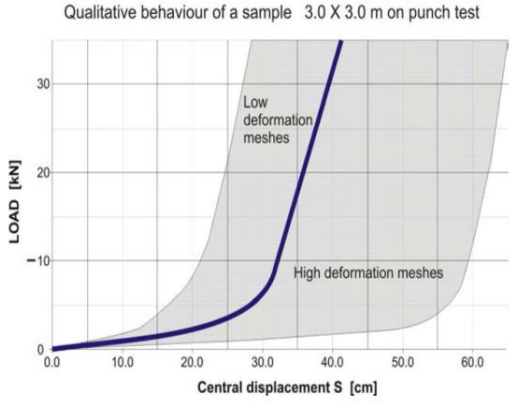


Figura 6. Curva carga x deslocamento.

Apesar de falta de evidências, frequentemente assume-se de forma errônea que o pré tensionamento do revestimento permite o desenvolvimento de pressões ativas que contribuem com a estabilização do talude. O pré-alongamento do revestimento é teoricamente realizado pelo pré tensionamento dos chumbadores, o que é feito parafusando a porca com um certo torque contra a placa, devido a isso, a malha é pressionada contra as concavidades da superfície, ou pelo alongamento tangencial da malha nas bordas do revestimento. No primeiro caso, o tensionamento dos chumbadores não fornece vantagens ao sistema, uma vez que qualquer pressão vinda da placa para a malha ou solo deverá gerar uma força igual e oposta, o que irá arrancar o chumbador, por isso não há nenhuma força estabilizante aplicada no sistema. No segundo caso, o pré-alongamento poderia ser implementado a princípio em superfícies planares, mas se os chumbadores já estão instalados, ou se a superfície do talude é irregular, fica quase impossível obter o tensionamento, devido ao atrito. Em ambos os casos, a deformabilidade da malha invalida o efeito do pré tensionamento. Portanto, mesmo que fosse possível pré tensionar a malha, as forças desenvolvidas seriam tangenciais ao plano do sistema e poderia ocorrer alguma pressão apenas na cavidade onde o chumbador foi instalado.

### 2.1.1 Dimensionamento dos Chumbadores

Considerando um comportamento passivo, o cálculo dos chumbadores assume que a porção instável do talude permanece em condição de equilíbrio limite, onde o fator de segurança é igual a 1.0. Portanto, as forças resistentes devem ser iguais às forças solicitantes. Utilizando o critério de resistência das juntas de Barton-Bandis e através da adoção de coeficientes de segurança para majoramento das forças solicitantes e diminuição das forças resistentes é possível encontrar a condição de estabilidade do maciço. Os chumbadores trabalham principalmente em proximidade a junta crítica que tende a deslizar, onde a barra é sujeita a cisalhamento e tração. Sua contribuição resistente depende da inclinação com relação a uma reta perpendicular à junta crítica, JRC e JCS da junta, espaçamento indicado dos chumbadores, espessura da camada instável e inclinação da junta. Considerando os dados citados é possível obter espaçamento e diâmetro dos chumbadores. Para avaliação do comprimento das barras deve ser considerado que o chumbador deverá ultrapassar a espessura instável e atingir a porção estável do maciço e que tanto a barra quanto o grout estarão expostos à ação do intemperismo. Os valores obtidos através dos cálculos do software deverão ser avaliados durante a perfuração e confirmados com testes de arrancamento.

### 2.1.2 Dimensionamento da Malha: Estado Limite Último

Devido ao movimento de blocos entre chumbadores num plano com inclinação menor que a inclinação do talude a malha é solicitada, e depende da espessura da camada instável e do espaçamento vertical entre chumbadores. Como a carga gerada é assimétrica e a malha se deforma desigualmente, as forças atuantes na malha são representadas com o esquema abaixo:

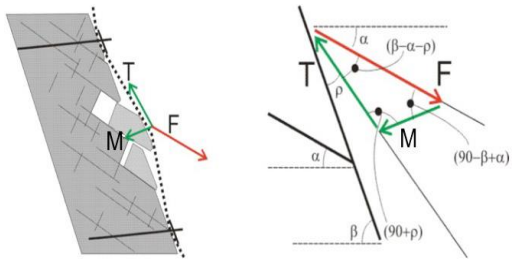


Figura 7. Esquema das forças atuantes na malha

F - Força desenvolvida pelos blocos deslizantes; T - Resistência à tração da tela; M - Resistência da tela a força de puncionamento, quão maior for a rigidez da tela melhor será seu desempenho. As forças F, M e T são calculadas com base na inclinação da descontinuidade crítica, inclinação do talude, espessura da porção instável e espaçamento entre chumbadores.

### 2.1.2 Dimensionamento da Malha: Estado Limite de Serviço

O estado limite de serviço fornece as seguintes

informações:

- Manutenção requerida no sistema;
- Interferência entre a infraestrutura e o revestimento como consequência de deslocamentos excessivos.

Esse estado limite é satisfeito se o deslocamento gerado pelo movimento dos blocos for menor que o deslocamento admissível da tela com base nos testes realizados pela Maccaferri, segundo a norma UNI 11437.

## 3 METODOLOGIA EXECUTIVA

### 3.1 Levantamento Plani-Altimétrico

Após a limpeza da vegetação na maior parte do local de tratamento, foi possível a realização de levantamento topográfico para determinação da plani-altimetria, gerando seções transversais a cada 2.0 m no eixo traçado paralelamente às cristas dos taludes (direito e esquerdo) a serem tratados (Figura 8), permitindo o levantamento do volume rochoso instável, bem como o dimensionamento da disposição das telas, grampos e cabos de aço a serem aplicados.

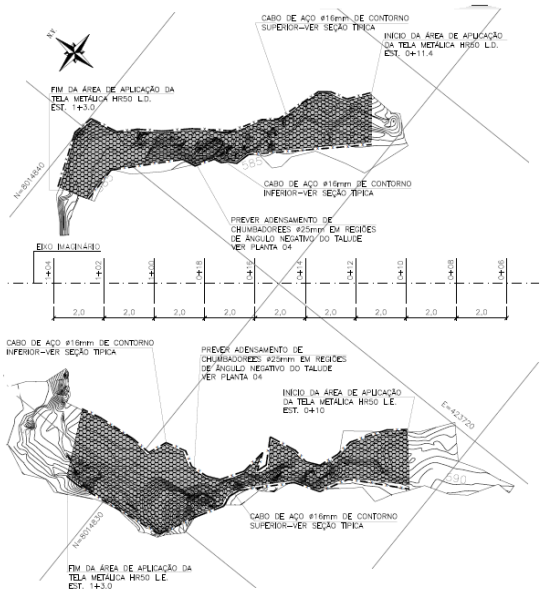


Figura 8. Vista em planta da região de aplicação da tela metálica com malha de chumbadores. Local do tratamento para estabilização do maciço rochoso.

### 3.3 Procedimento Executivo

#### 3.3.1 Preparação da Frente de Trabalho

Como as condições de relevo na área das atividades são muito irregulares, o primeiro serviço realizado foi a instalação de uma linha de vida com cabo de aço no perímetro da crista dos taludes, para o tráfego seguro da equipe nesta região. Devido à falta de acesso ao longo dos taludes e a impossibilidade de uso de equipamentos de içamento de carga como guindastes, a equipe de profissionais envolvida foi escolhida com proficiência e certificação em rapel industrial, pois todo o trabalho foi realizado com esta técnica.

#### 3.3.2 Preparação da Equipe e das Condições de Segurança no Local de Trabalho

Todos os colaboradores envolvidos passaram por treinamentos de integração à obra, onde foram apresentados todos os riscos do local e riscos intrínsecos dos serviços. As placas de sinalização de segurança foram instaladas, bem como as placas de advertência para uso obrigatório de equipamentos de segurança individuais e coletivos (EPI's e EPC's). Com a linha de vida instalada (Figura 9), foram instalados pontos de ancoragem em rocha para a fixação das cordas de rapel, certificadas para este fim, de acordo com a NR 35. Os colaboradores envolvidos estavam presos em uma corda específica para este fim com o uso de trava-queda, além de estarem equipados com perneiras, luvas de raspa, capacete com jugular, óculos incolores, protetores auriculares, protetor solar nas regiões da pele expostas à irradiação solar, botinas e uniformes.

Figura 9. Atividades sendo realizadas com a técnica a rapel e com o uso de uma linha de vida ancorada em rocha.

### 3.3.3 Instalação das Telas e Grampos

Toda a superfície do tratamento foi limpa com a retirada do restante da vegetação estabelecida nas fraturas do maciço (Figura 10) e o abatimento manual de pequenos blocos e fragmentos de rocha já soltos (Figura 11).

Figura 10. Retirada da vegetação sob poda mecanizada.

Figura 11. Abatimeto manual de blocos e fragmentos de rocha soltos (*"bate-choco"*).

Com o talude completamente exposto e os dispositivos de segurança instalados, os marteleteiros iniciaram as atividades de perfuração para a aplicação dos grampos metálicos, através de equipamentos pneumáticos rotopercussivos manuais. Enquanto isso, o restante da equipe fez a conferência, separação e transporte do material até a frente de trabalho (Figura 12). Os furos localizados na crista do talude foram iniciados primeiramente para a fixação da tela antes de seu lançamento para baixo, em seguida, os demais furos da malha também foram realizados. Após a instalação dos grampos na crista do talude com calda de cimento com fator A/C: 0,5 (Foto 13), as telas foram lançadas, conformando-as sobre a superfície do maciço (Fotos 14).

Figura 12. Transporte do material até a frente de trabalho com técnica de rapel e tirolesa.

Figura 13. Injeção de calda de cimento com relação água-cimento igual 0,5.

Figura 14. Processo de fixação na borda superior da tela e lançamento sobre o talude.

Os grampos, antes de serem instalados, foram preparados com espaçadores plásticos que garantiram a centralidade do elemento metálico no eixo do furo. Após o lançamento das telas, as conexões laterais com os dispositivos de clips foram realizadas, conforme detalhamento dos desenhos de projeto. Assim, a malha de grampos foi instalada com a perfuração

rotopercussiva em rocha, injeção de calda de cimento (A/C: 0,5) e instalação dos grampos metálicos centralizados pelos espaçadores plásticos (Foto 15).

Figura 15. Perfuração da malha de grampos com técnica de rapel.

As extremidades da tela nas bordas laterais, superior e inferior têm ancoragens específicas detalhadas nos desenhos de projeto e foram instaladas adequadamente (Fotos 16, 17, 18, 19 e 20).

Figura 16. Perfuração, injeção de calda e instalação de grampos na malha sobre o talude.

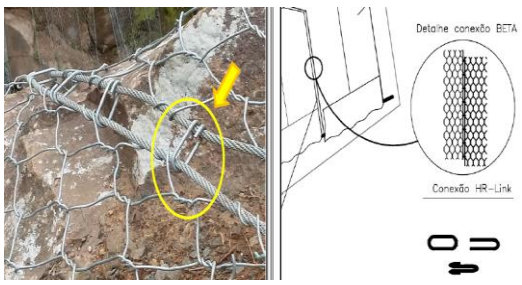


Figura 17. Detalhe do processo construtivo realizado de acordo com o projeto. Ligação lateral entre telas.

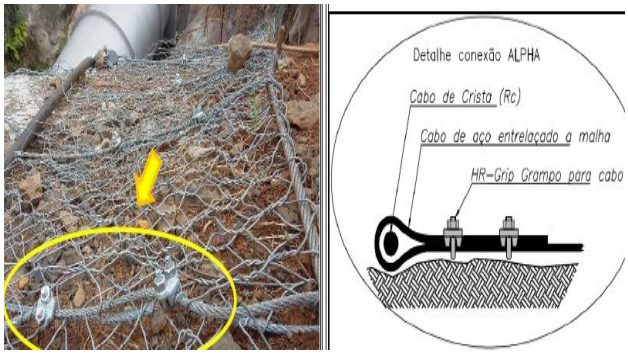


Figura 18. Detalhe do processo construtivo realizado de acordo com o projeto. Ligação superior envolvendo o cabo de aço na crista do talude.

Figura 19. Detalhe do processo construtivo realizado de acordo com o projeto. Amarração na borda superior. Sobreposição da tela para a conexão Alpha.

Figura 20. Instalação do cabo de aço de sustentação das telas na crista do talude.

### 3.3.4 Blocos Soltos Isolados

Em regiões de formação negativa do talude e em locais pontuais que haviam blocos isolados soltos, porém, que não foram possíveis de serem removidos manualmente, foi projetado um maior adensamento de chumbadores para o revestimento do maciço em forma de encapsulamento destes blocos (Figura 21).

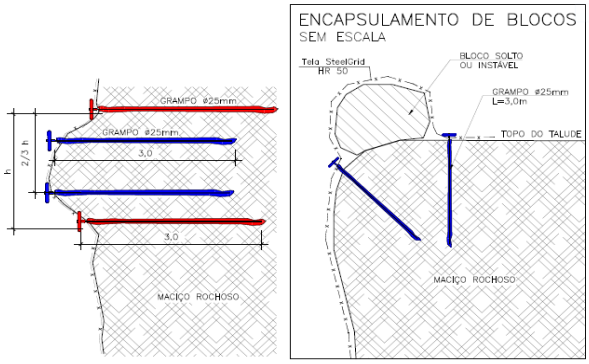


Figura 21. Detalhamento para taludes negativos e encapsulamento de blocos soltos de grandes dimensões.

## 3.4 Dados de Produção

Foram aplicados 199 tirantes de 3.0 metros de comprimento e 25 mm de diâmetro e também 1050.0 m² de tela metálica SteelGrid HR 50. Nas extremidades da tela, foram aplicados 100.0 m de cabo de aço com bitola de 16 mm. Os taludes da direita e esquerda hidráulica na lateral do conduto forçado adutor foram revestidos em sua porção de rocha escavada, garantindo a segurança do empreendimento com a contenção de desplacamentos de blocos e fragmentos rochosos, que possam atingir as estruturas hidromecânicas. Após a conclusão deste tratamento, foi realizada uma limpeza em todas as áreas adjacentes, desmobilizando todas as interferências do processo construtivo.

Figura 22. Tela aplicada após a finalização dos tratamentos de estabilização do maciço rochoso. Vista da parte superior.

# 4 CONCLUSÕES

A execução da obra apresentada neste trabalho durou três meses e foi realizada sem nenhum imprevisto, permitindo assim atingir os níveis de segurança exigindo no projeto a fim de proteger a adutora. Pode-se concluir que a solução é eficiente na estabilização superficial de encostas rochosas.

# REFERÊNCIAS

Bertolo P. , Giacchetti G., 2008 - An approach to the design of nets and nails for surficial rock slope revetment – in Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection, June 23-25 2008, Morshach, Switzerland.

Bertolo P., Ferraiolo F., Giacchetti G., Oggeri C., Peila D., e Rossi B., (2007): Metodologia per prove in vera grandezza su sistemi di protezione corticale dei versanti – GEAM Geoingegneria Ambientale e mineraria, Anno XLIV, N. 2, Maggio-Agosto 2007.

Bonati A., e Galimberti V., (2004): Valutazione sperimentale di sistemi di difesa attiva dalla caduta massi – in atti “Bonifica dei versanti rocciosi per la difesa del territorio” - Trento 2004, Peila D. Editor.

Ferraiolo F., e Giacchetti G., (2004): Rivestimenti corticali: alcune considerazioni sull’applicazione delle reti di protezione in parete rocciosa – in atti “Bonifica dei versanti rocciosi per la difesa del territorio” – Trento 2004, Peila D.

Majoral R., Giacchetti G., Bertolo P., 2008 – Las mallas en la estabilizaciòn de taludes – II Curso sobre protecciòn contra caida de rocas – Madrid, 26 – 27 de Febrero. Organiza STMR Servicios técnicos de mecànica de rocas (in Spanish).

Muhunthan B., Shu S., Sasiharan N., Hattamleh O.A., Badger T.C., Lowell S.M., Duffy J.D., (2005): Analysis and design of wire mesh/cable net slope protection - Final Research Report WA-RD 612.1 - Washington State Transportation Commission Department of Transportation/U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.

Pellet F., e Egger P., (1995): Analytical model for the behaviour of bolded rock joints and practical applications. In proceedings of international symposium Anchors theory and practice. Widmann R. Editor. A.A. Balkema.

Phear A., Dew C., Ozsoy B., Wharmby N.J., Judge J., e Barley A.D., (2005): Soil nailing – Best practice guidance - CIRIA C637, London, 2005.

Ruegger R., e Flumm D., (2000): High performance steel wire mesh for surface protection in combination with nails and anchors – Contribution to the 2nd colloquium “Contruction in soil and rock” – Accademy of Esslingen (Germany)