

## **Estudo de caso: análise dos procedimentos executivos dos sistemas de estabilização de inclinação e do sistema de proteção contra queda de blocos**

### **Case study: analysis of executive procedures for tilt stabilization systems and block fall protection system**

DOI:10.34117/bjdv7n3-233

Recebimento dos originais: 08/02/2021

Aceitação para publicação: 01/03/2021

#### **Danilo César Wamser Ferreira**

Graduado em Engenharia Civil

Instituição de ensino: Universidade Federal de São João del Rei - UFSJ  
Rua José da Silva Fortes, 391 – Bloco J. Apto 104, Bairro: Funcionários. Cidade:  
Barbacena - MG.

E-mail: danilocesarwf@hotmail.com

#### **Samuel Azevedo Fonseca**

Graduado em Engenharia Civil

Instituição de ensino: Universidade Federal de São João del Rei - UFSJ  
Av. Benedito Valadares, n° 268, Bairro: Jardim Primavera. Cidade: Entre Rios de Minas  
– MG.

E-mail: safonseca92@gmail.com

#### **Paulo Roberto Borges**

Doutor em Engenharia Civil

Instituição de ensino: Universidade Federal de São João del Rei - UFSJ  
Rua Joaquim Gualberto Costa, n°84 – Condomínio Flamboyants. Cidade: Lavras – MG.

E-mail: prborges@ufsj.edu.br

#### **Marina Donato**

Doutoranda em Engenharia de Transportes

Instituição de ensino: Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ  
Rua Moeda, n°34. Bairro: Primeiro de Maio. Cidade: Ouro Branco – MG.

E-mail: donato@pet.coppe.ufrj.br

#### **Fábio da Silva Martino Fonte**

Mestrando em Engenharia de Transportes

Instituição de ensino: Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ  
Rua 1024, 76, St. Pedro Ludovico, Cidade: Goiânia – GO.

E-mail: fabiomartino@pet.coppe.ufrj.br

#### **Mayara Souza Gomes**

Doutoranda em Engenharia Civil

Instituição de ensino: Universidade de Brasília - UNB  
Rua Pará, Condomínio Praia Grande, n° 112, Chácara Brasil – Turu. Cidade: São Luís –  
MA.

E-mail: mayarabless@hotmail.com

## RESUMO

O Brasil possui aproximadamente 30.000 km de malha ferroviária, que visam o transporte de passageiros, minério, produtos industrializados, entre outros. Esse fato evidencia a necessidade de monitorar a estabilidade dos taludes, a fim de se evitar acidentes com graves consequências ambientais, sociais e econômicas. São apresentados no presente trabalho relatos do acompanhamento de uma obra de contenção realizada no município de Belo Vale/MG, onde se efetuou o uso de três métodos diferentes de contenções, a fim de prevenir a existência de algum acidente na linha férrea, que transporta grande parte do minério extraído na região com destino aos portos. Os relatos das experiências vivenciadas permitiram a compreensão dos procedimentos necessários para a instalação dos sistemas de estabilização de inclinação SPIDER® e TECCO® e do sistema de proteção contra queda de blocos de rocha RXE-2000.

**Palavras-chave:** Barreira, Contenção, Estabilização de Inclinação.

## ABSTRACT

Brazil has approximately 30,000 km of rail network, which aim to transport passengers, ore, industrialized products, among others. This fact evidences the need to monitor the stability of slopes in order to avoid accidents with serious environmental, social and economic consequences. This paper reports on the follow-up of a containment project carried out in the city of Belo Vale / MG, where three different methods of containment were used in order to prevent the existence of an accident on the railway line, which transports large part of the ore mined in the region bound for the ports. The reports of the experiments allowed the understanding of the necessary procedures for the installation of SPIDER® and TECCO® slope stabilization systems and the RXE-2000 rock block fall protection system.

**Keywords:** Barrier, Containment, Slope Stabilization.

## 1 INTRODUÇÃO

A maior parte das linhas férreas passa por locais onde foram realizadas obras de terraplenagem de corte e aterro. Essas áreas de corte, por sua vez, são compostas de taludes de rochosos com possibilidade de destacamento de blocos, tornando-as zonas extremamente perigosas. A queda de um bloco de grandes dimensões, numa ferrovia com tráfego de trens e operários, é suscetível de provocar descarrilamentos das composições e danos aos funcionários que ali circulam, causando acidentes pessoais e ferroviários.

É, portanto, de grande importância a utilização de mecanismos de proteção contra desprendimentos de blocos de rocha, que estejam aparentes e livres nas superfícies dos taludes. O uso de sistemas de estabilização de inclinação e barreiras flexíveis no auxílio da proteção da via férrea e na estabilização das rochas intemperizadas é um dos artifícios para se garantir que a circulação ocorra de maneira segura e com a máxima eficiência.

Desse modo, foram estudadas as alternativas de projeto adotadas pela concessionária ferroviária no controle dos problemas enfrentados e quanto à segurança operacional da circulação no local onde as obras foram executadas. O acompanhamento dos procedimentos executivos, por profissionais da área, permitiu a exposição de percepções obtidas durante as visitas técnicas realizadas.

## **2 COMPORTAMENTO E ESTABILIZAÇÃO DOS MACIÇOS ROCHOSOS**

O comportamento mecânico das rochas e maciços rochosos e as eventuais ações e reações às forças as quais estão submetidos pode ser obtido através do estudo da mecânica das rochas. Um aspecto de grande relevância para a análise do projeto executado está vinculado à caracterização das estruturas existentes no local de execução das obras. Desse modo, Nunes (2008) sugere que a estabilidade dos maciços rochosos é função de uma complexa combinação entre as propriedades da rocha, das descontinuidades e das condições em que o talude se encontra.

### **2.1 DESCONTINUIDADES E PLANOS DE FALHAS**

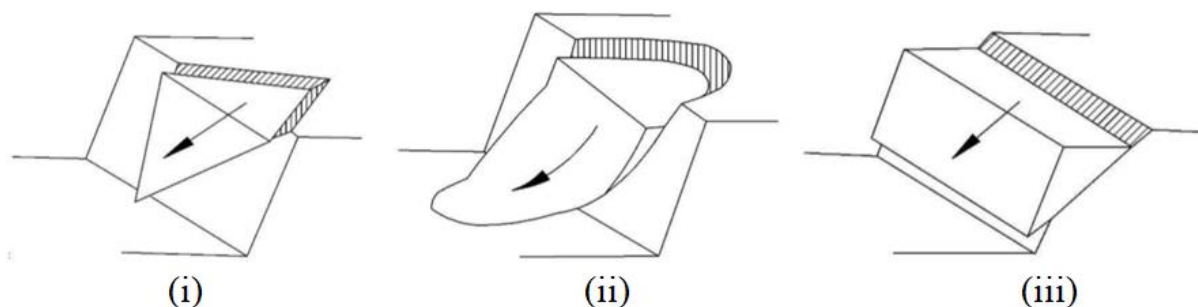
Os taludes rochosos são compostos geralmente de rochas intemperizadas, apresentando descontinuidades que acabam por favorecer as instabilizações mecânicas, gerando assim uma condição estrutural com alta probabilidade de ocorrência de futuros desprendimentos ou deslizamentos. As descontinuidades comumente vistas nos maciços rochosos são observadas na forma de juntas, falhas, contatos litológicos e foliações metamórficas (FIORI e CARMIGNANI, 2009).

Além dos processos de intemperismo sofridos, Maciel Filho e Nummer (2011) apontam que a composição heterogênea e anisotrópica dos maciços rochosos é mais intensa do que em rochas intactas. Essa é uma característica que afeta diretamente no número das descontinuidades apresentadas por esses materiais, implicando em condições de maior instabilidade.

Os maciços rochosos desprendidos da rocha intacta, aparentes, estão mais suscetíveis a ocorrência de rolamentos ou quedas de blocos. Essa condição de instabilidade apresentada pelo maciço rochoso leva a necessidade de compreensão dos movimentos de massas, sendo de suma importância para que seja possível aplicar os conceitos de estabilização globais dos maciços rochosos.

Os principais meios de instabilizações em taludes rochosos são representados pelas rupturas em cunha (i), circulares (ii) e planares (iii) na Figura 1, tombamentos e queda de blocos, segundo Hoek (2006 apud VILLELA 2011).

Figura 1: Tipos de rupturas em maciços rochosos.



Fonte: OLIVEIRA (2010).

Os principais mecanismos de instabilização observados na encosta estudada apresentavam predominância de tombamentos dos blocos e quedas de blocos.

O tombamento ocorre quando o maciço apresenta descontinuidades na vertical, paralelas ao talude. O tombamento consiste em uma rotação ou um tombamento para fora do talude em torno de um ponto que se localiza abaixo do centro de gravidade.

As quedas de bloco ocorrem, segundo Guidicini e Nieble (1983), em taludes muito íngremes, blocos de rocha, deslocados do maciço por intemperismo, caem por ação da gravidade. Este é um dos mecanismos de formação de depósitos de tálus. Uma queda de blocos é assim definida por uma ação de queda livre a partir de uma elevação, com ausência de superfície de movimentação.

Para Melo (2018) essa formação de blocos potencialmente instáveis devido a compartimentação do maciço segundo os planos das suas descontinuidades, gera blocos de volumes variados e podem ser de pequenas pedras a grandes blocos que podem atingir alta velocidade durante a queda.

Para Guidicini e Nieble (1983) as quedas de blocos de rocha ocorrem pela ação alternada de congelamento e degelo ao longo de fraturas e juntas, por ciclagem térmica em massas rochosas, por perda de apoio de blocos causada pela ação erosiva de veículo aquoso, por meio do processo de desconfinamento lateral de maciços rochosos, através do alívio de tensões de origem tectônica, mesmo em obras subterrâneas, por vibrações, por empuxo hidrostático ao longo de juntas verticais ou, então, por composição desses processos. De

acordo com Melo (2018) podem ocorrer também por conta da presença de animais próximos ao local e por obras nas imediações como escavações e detonações.

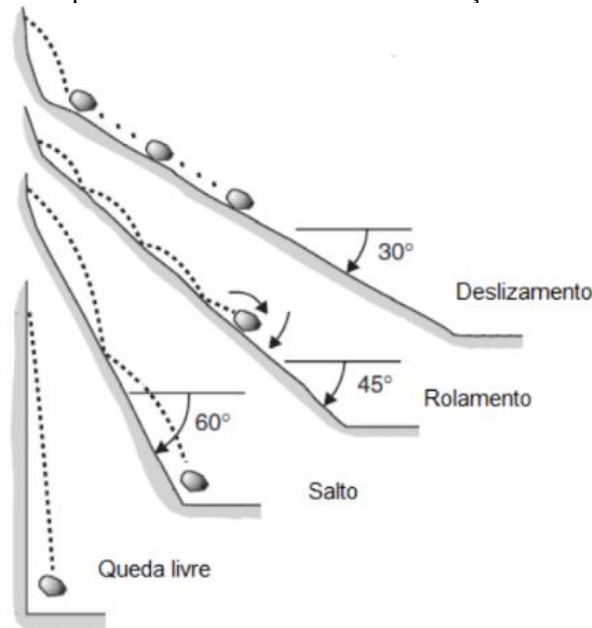
Neste grupo incluem-se, assim, movimentos das mais variadas proporções desde a queda isolada de um bloco até o colapso de enormes complexos rochosos (GUIDICINI E NIEBLE, 1983). O processo é muito comum no avanço remontante de cachoeiras e mais comum ainda como mecanismo de destruição de penhascos de borda marítima. Os termos tombamento ou basculamento são também usados com frequência para definir o processo, além de desmoronamentos.

A compreensão dos mecanismos de instabilidade e a posterior decisão quanto às medidas de proteção a serem adotadas, requerem a previsão da trajetória dos blocos descritos durante a queda. A trajetória é influenciada pelo declive dos taludes, a existência de obstáculos durante o percurso, além das características físicas e mecânicas das rochas. O grau de inclinação do talude e a topografia local são os agentes condicionantes do comportamento do bloco durante a queda. Caso as superfícies dos taludes possuam irregularidades, há um aumento da possibilidade de os blocos realizarem saltos durante a queda, ocasionando assim um maior alcance da distância percorrida. Já para taludes com inclinações elevadas e/ou grandes alturas, o incremento de velocidade do corpo em queda, faz com que o bloco tenha um maior potencial destrutivo, segundo Melo (2018). Além dos aspectos já citados, a resistência dos blocos e o grau de fraturação também influenciam no movimento dos blocos.

Em relação a trajetória dos blocos, Ritchie (1963 apud MELO, 2018) propõe que os tipos base de movimento de um bloco podem ser descritos de acordo com o grau de inclinação dos taludes. Segundo Guidicini e Nieble (1983), a queda pode ser combinada com outros movimentos, quais saltos, rotação de blocos, ações de impacto no substrato, disso resultando uma fragmentação e uma diminuição de dimensões com o progresso da movimentação.

Ritchie (1963) propõe que a trajetória se divide em quatro tipos de movimento de um bloco durante a queda: deslizamento, rolamento, salto e queda livre. A Figura 2 ilustra os tipos de movimentos de quedas dos blocos.

Figura 2: Diferentes tipos de movimento dos blocos em função da inclinação do talude.



Fonte: RITCHIE (1963).

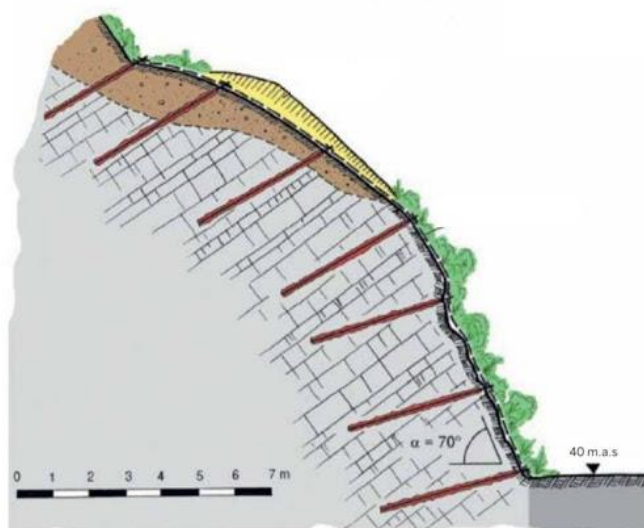
## 2.2 ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS E TALUDES

A estabilização de taludes e encostas é uma necessidade da maioria dos setores de infraestruturas de transportes. A maior parte das rodovias e ferrovias brasileiras passam por locais onde foram realizados cortes nos taludes a fim de atender traçados menos sinuosos (FREITAS, 2013). A busca pela proteção das infraestruturas existentes na base dos taludes, fez com que nos últimos anos houvesse uma evolução quanto os métodos e técnicas utilizados na estabilização de taludes e nos sistemas de proteção contra quedas de blocos de rocha.

Algumas medidas adotadas tentam fazer com que as deformações no maciço cheguem ao valor de zero ou pelo menos diminuir o avanço dos processos de intemperismo, fazendo assim com que o elemento que apresenta instabilidade seja estabilizado por meio de métodos físicos ou mecânicos.

A ABNT NBR 11682 recomenda a proteção superficial feita por meio do emprego de telas de aço galvanizadas (plastificadas ou não) fixadas com chumbadores, com ou sem gunitagem, em taludes rochosos fraturados com alterações localizadas, sujeitas a destaques frequentes de lascas ou blocos. A imagem abaixo (Figura 3) representa o corte transversal de um talude, que simula a aplicação de um sistema de estabilização de inclinação que utiliza telas de fios de aço.

Figura 3: Representação do corte transversal do talude com aplicação do sistema estabilização superficial.



Fonte: GEOBRUGG(2019a).

### 2.3 BARREIRAS FLEXÍVEIS

As barreiras flexíveis ou barreiras dinâmicas são estruturas de contenção utilizadas para impedir que blocos de rocha, que venham a se desprender dos maciços rochosos, saiam do repouso e venham a atingir, com energias potenciais elevados, pontos na base do talude em altas velocidades (MELO, 2018). Esses pontos podem ser rodovias, ferrovias ou outras infraestruturas existentes na base dos taludes.

Estes sistemas de proteção contra queda de blocos de rochas são relativamente novos e ainda são poucas as literaturas que abordam o assunto. No Brasil, as primeiras barreiras contra escorregamentos superficiais foram instaladas no ano de 2007, no estado do Rio Grande do Sul (GOBBI; STRAUSS; AMORIM, 2012)

De acordo com Melo (2018), as barreiras flexíveis atuam como mecanismos dissipadores das energias geradas a partir do movimento dos blocos. Dessa forma, ocorre o recebimento dos corpos em queda que tem a interrupção de suas trajetórias pelas barreiras de proteção, impedindo que alcancem os pontos indesejáveis. Possuem a praticidade de serem alocadas em quaisquer pontos da encosta, de forma perpendicular ao sentido de caminhamento dos blocos.

Durante a absorção da energia cinética pelas barreiras flexíveis, não há a deformação das estruturas com o impacto dos blocos, minimizando a necessidade de substituição de alguns componentes do sistema (MELO, 2018). Antes que a capacidade máxima da rede seja atingida, os elementos de frenagem dos cabos são acionados, sendo os principais elementos de freios de fricção os anéis metálicos que se deformam

plasticamente, ganhando com isso maior tempo de colisão entre o bloco e a barreira, melhorando a capacidade de dissipação energética.

Outro aspecto vantajoso no emprego de barreiras flexíveis é a associação destes mecanismos a outras estruturas de contenção comumente utilizadas, como por exemplo, muros de Betão ou Gabião. Este tipo de sistema de proteção contra desprendimentos de blocos de rocha se adapta muito bem ao longo grandes extensões de áreas instáveis, possuindo maior rapidez e facilidade durante a instalação.

O perfil esquemático proposto por Wyllie (1996 apud VILLELA, 2011), representado na Figura 4, apresenta uma das primeiras concepções sobre este sistema de proteção. O sistema foi aprimorado nos últimos anos e tem tido um incremento na capacidade de suporte cada vez maior. Atualmente, a empresa Geobrugg AG (2019b), uma das pioneiras na confecção dos componentes utilizados na montagem de barreiras dinâmicas, apresenta sistemas com capacidade de absorção de energias de até 10.000 kJ.

Figura 4: Perfil esquemático das primeiras barreiras flexíveis propostas.



Fonte: GEOBRUGG (2019b).

A remoção dos blocos e detritos não precisa de intervenções complicadas, pois, se encontram em zonas de fácil acesso, reduzindo os custos de manutenção (NUNES, 2009).

### 3 METODOLOGIA

O estudo de caso foi o método escolhido para a elaboração deste trabalho. A metodologia consiste no uso dos relatos de experiências de forma descritiva acompanhadas de análises qualitativas das medidas e procedimentos adotados durante os procedimentos executivos.



As observações realizadas em campo e a revisão de literatura permitiram uma ampliação do conhecimento sobre o assunto abordado. Somado as percepções do acompanhamento da evolução do caso estudado, estão também acrescidos no presente trabalho o conhecimento adquirido por meio de troca de informações com os profissionais envolvidos e a experiência vivenciada durante a realização das cinco visitas de acompanhamento ao local.

## 4 ESTUDO DE CASO

### 4.1 DESCRIÇÃO GERAL

A obra de contenção, objeto de estudo deste trabalho, está localizada as margens de uma ferrovia que corta o município de Belo Vale, sendo esse município pertencente à mesorregião metropolitana de Belo Horizonte, estando a uma distância de aproximadamente 82 km da capital do estado de Minas Gerais.

A encosta apresentada na figura possui aproximadamente 87 m de altura e acompanha o traçado do rio Paraopeba, afluente do rio São Francisco. A via férrea em questão é a principal responsável pelo escoamento da extração do minério de ferro e também de produtos das indústrias da região até os portos de São Paulo e Rio de Janeiro.

Figura 5: Vista aérea do local da obra.



As obras de intervenção, realizadas com a finalidade de assegurar a estabilidade dos maciços rochosos presentes nessa região, foram realizadas ao longo de uma extensão de aproximadamente 157 m da malha ferroviária. A concessionária que administra a via férrea nesta região, possui um banco de dados onde há registro de ocorrência de pelo menos 3 acidentes ferroviários, onde houve descarrilamento da locomotiva piloto e outros 7

incidentes ferroviários, onde não há danos as composições, mas há a interrupção da circulação no trecho até que fossem retirados os blocos que obstruem a linha férrea. Todos esses eventos ocorreram desde o ano de 2016.

Os custos relacionados a paralisação da operação ferroviária e dos danos causados as composições devido à queda de blocos na malha, chamaram a atenção dos especialistas ferroviários, para a necessidade de se aplicar obras de intervenção a fim de prevenir a ocorrência desses episódios. A busca por alternativas de baixo custo e que atendessem as exigências de projeto, quanto à segurança operacional ferroviária e proteção dos componentes da via permanente, fez com que a empresa adotasse 3 tipos de sistema de proteção. Dentre os sistemas adotados, foram utilizados os sistemas de proteção contra desprendimento de rocha SPIDER®, de contenção de talude TECCO® e a barreira de proteção contra desprendimentos RXE, todos os sistemas desenvolvidos pela empresa GEOBRUGG (2019a,b,c).

#### 4.2 SISTEMAS DE ESTABILIZAÇÃO DE INCLINAÇÃO

O objetivo dos sistemas de estabilização de talude SPIDER® e TECCO® (Figura 6) é a estabilização dos maciços rochosos e taludes que apresentam algum tipo de instabilidade próximas a superfície e, dependendo das circunstâncias do subsolo predominante e, quando aplicável, também mecanismos de falhas com superfícies deslizantes mais profundas.

O grau de segurança com que os sistemas irão trabalhar está atrelado à determinação correta das tensões máximas que atuam nos mecanismos de estabilização. Estas tensões são estabelecidas por métodos investigativos dos equilíbrios de forma simples, em cunha, e até mesmo falhas compostas, por meio de análises probabilísticas. O dimensionamento correto dos mecanismos, aliado ao uso de fatores de segurança, garante que o sistema de estabilização de taludes será capaz de absorver as tensões atuantes e transmiti-las para profundidades de maior estabilidade do subsolo.

Para que o sistema seja capaz de absorver as tensões atuantes durante toda a vida útil da obra, tendo em vista que esta é uma medida de proteção permanente, é necessário que sejam atendidas as especificações do fabricante quanto a proteção dos componentes que estejam suscetíveis a ações corrosivas, nesta obra foi adotada a proteção contra corrosão GEOBRUGG SUPERCOATING®, que é um método de proteção do arame que constitui a malha. Quando o sistema estiver exposto a intempéries, as medidas adicionais devem ser adotadas para minimizar o avanço de processos erosivos. Uma dessas medidas

pode ser o uso de um tapete de proteção contra erosão antes da malha de aço, estando bem acondicionado e disposto da forma adequada a inclinação do talude. Nesta obra foi empregada a TECMAT®, que permite a hidrossemeadura auxiliando com isso a estabilização por meio da propagação vegetal na face de taludes.

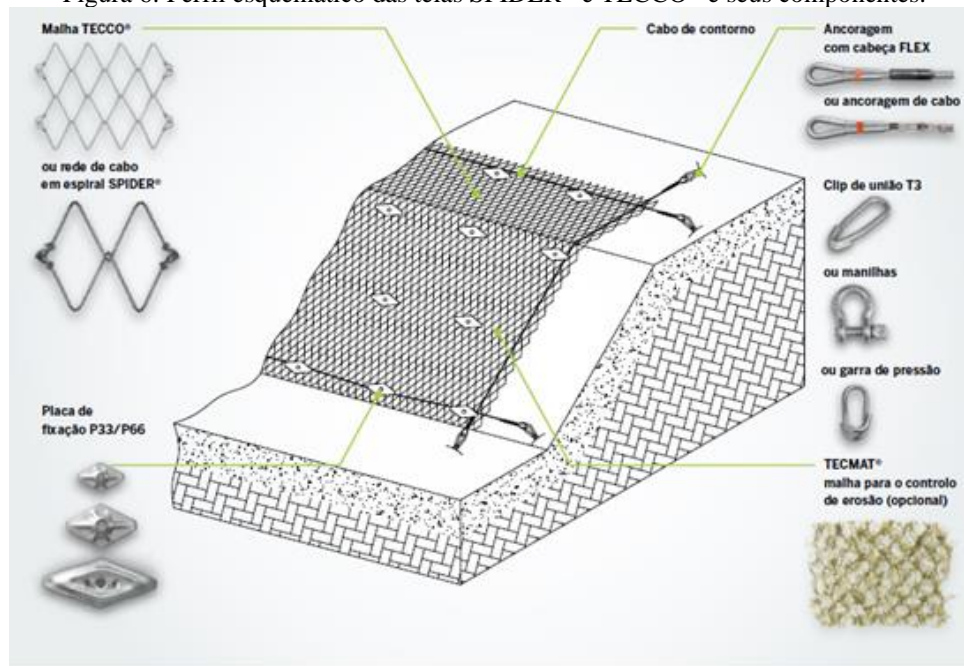
Como meio de proteção contra deslizamentos superficiais de pequenas proporções, foram utilizados dois tipos de barreiras.

As barreiras SPIDER® S3 - 130 estão projetadas para resistir à tração da malha de aço para esforços de até 220 kN/m. Contam com uma rede de cabos em espiral constituída de três arames torcidos, que tem como principal característica a sua alta resistência ao corte e ao mesmo tempo, sendo discreta, se ajusta aos blocos salientes. Esse tipo de tela é indicado para encostas rochosas com superfícies irregulares e mecanismos de deslizamento definidos, com pouca suscetibilidade ao intemperismo.

As barreiras TECCO® G65/3, por sua vez, estão projetadas para resistir à tração da malha de aço para esforços de até 150 kN/m. As Telas TECCO® também são construídas com aço de alta resistência. São indicadas para estabilizar encostas íngremes de materiais não consolidados e rochas, e para evitar que pedras e blocos em declives rochosos desintegrados, soltos ou intemperizados se quebrem e venham a se desprender. Pode ser combinada com três modelos diferentes de placas, sendo que a placa adotada para a fixação em todo o projeto foi a P33, inclusive nos locais onde foram utilizadas as telas SPIDER®. Outro ponto de grande impacto na tomada de decisão quando a alternativa de projeto a ser adotada, é o fato de que as telas apresentam um impacto ecológico mínimo ao meio ambiente e são quase imperceptíveis à distância.

Ambas as telas se adaptam a qualquer tipo de condição geológica e topográfica, e foi um dos motivos de terem sido adotadas como mecanismos de proteção contra deslizamentos e quedas de blocos. Além disso, apresentam uma melhor relação resistência-peso quando comparadas a outros métodos de estabilização convencionais. Outra característica importante, está associada ao fato de que os dois sistemas de proteção podem ser instalados com um mínimo de recursos, oferecendo uma poupança considerável de custo e tempo de instalação.

Figura 6: Perfil esquemático das telas SPIDER® e TECCO® e seus componentes.



Fonte: GEOBRUGG (2019c).

#### 4.3 SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESPRENDIMENTOS RXE

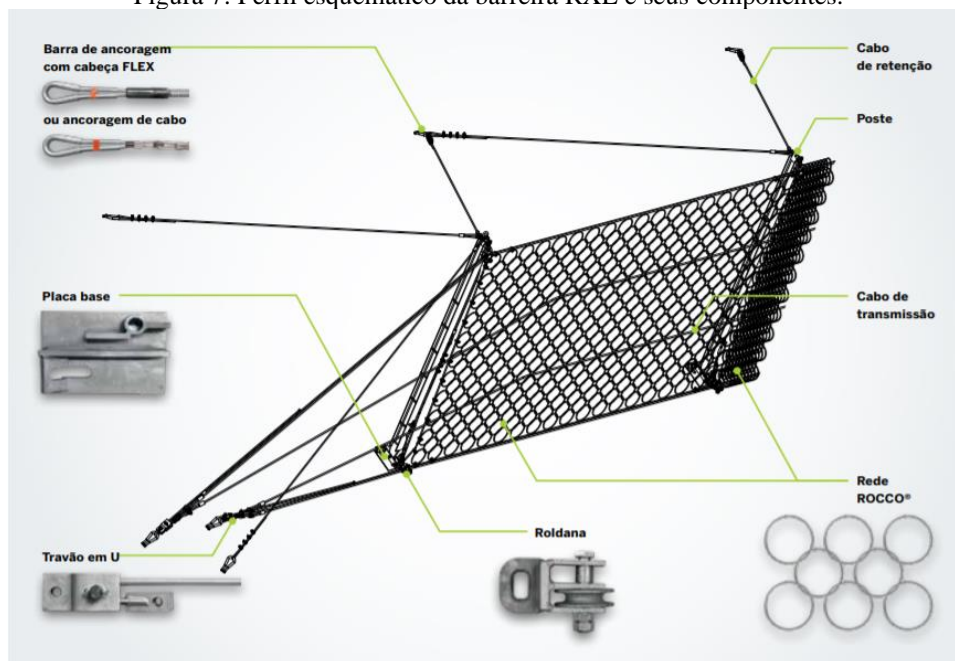
O objetivo dos sistemas de proteção contra desprendimentos RXE (Figura 7) é assegurar que durante a queda de rochas ou deslizamentos, esses corpos não ultrapassem essa barreira de proteção. Com um nível de deflexão especialmente baixo, oferecem a máxima confiabilidade na proteção da infraestrutura e das pessoas que transitam sobre o local. O sistema implantado foi projetado a fim de se minimizar os danos causados aos componentes da via permanente da superestrutura da via férrea, e até mesmo a proteção das composições que ali circulam.

Muitas das vezes, não é possível prever quedas de blocos e deslizamentos de terras. As causas que influenciam na ocorrência desses eventos, variam desde as atividades humanas próximas ao local até os fenômenos meteorológicos (temperatura, chuva, etc.). Devido à ampla variedade de gatilhos influenciadores destes eventos, não é possível desenvolver uma abordagem científica que garanta a segurança de pessoas e bens. No entanto, o risco de acidentes pessoais e materiais podem ser reduzidos significativamente através da aplicação da barreira de proteção RXE.

A determinação do tipo de barreira e local onde será instalada considera, com base em pesquisas detalhadas, a topografia local, a ocorrência de eventos anteriores de quedas de rochas, a frequência de ocorrência, o tamanho dos blocos, os cálculos de energia

cinética, e em alguns casos, até mesmo simulações computacionais. Tudo isso para se encontrar o ponto de maior eficiência do sistema de proteção a ser instalado.

Figura 7: Perfil esquemático da barreira RXE e seus componentes.



Fonte: GEOBRUGG (2019c).

O projeto analisado optou pelo uso da barreira de proteção RXE-2000, capaz de absorver e dissipar uma energia potencial gravitacional de até 2000 kJ. A Equação 1, representada abaixo, permite dizer que essa barreira de proteção é capaz dissipar a energia aplicada por um corpo de massa de até 2 toneladas, que se encontra em queda livre a partir do repouso de uma altura de até 100 m.

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (1)$$

Onde:

$E_p$  : Energia Potencial dada em kJ;

$m$  : massa do corpo em queda livre expressa em kg;

$g$  : aceleração gravitacional adotada de 9,81 m/s<sup>2</sup>;

$h$  : altura de queda do corpo dada em m.

Apesar de todas as garantias realizadas pelo fabricante, esses sistemas devem ser monitorados e mantidos para garantir o nível de segurança exigido. Este nível de segurança pode também ser diminuído, devido a incidentes, desastres naturais, dimensionamento insuficiente, falha de uso de componentes padrão, sistemas ou peças originais e corrosão,

sendo essa última causada por poluição ambiental, outros fatores humanos ou fatores externos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quando se efetua uma comparação entre as percepções tidas durante as visitas técnicas realizadas, acerca dos procedimentos executivos realizados nas frentes de serviço, e as informações encontradas nas principais literaturas e manuais de fabricantes, é possível perceber o desenvolvimento de um senso crítico quanto às medidas adotadas. Esse senso crítico possibilita a compreensão de que os fatores influenciadores das tomadas de decisão de ambos os lados (definições de projeto e processos executivos) são complementares, e muitas das vezes as medidas adotadas em campo necessitam de sofrer alterações para se adequar a uma realidade não prevista nas etapas de projeto.

### 5.1 ASPECTOS POSITIVOS

O primeiro aspecto a ser analisado, diz respeito ao tempo de execução das atividades de montagem dos sistemas de estabilização de taludes e da montagem dos sistemas de proteção contra queda de blocos. A agilidade no tempo de execução da obra é tida como uma vantagem quando comparada a obras onde se tem o uso de concreto como principal elemento constituinte dos mecanismos de estabilização. As atividades no canteiro de obras se iniciaram em janeiro de 2018, e foram finalizadas no final do mês de junho de 2018, totalizando seis meses de duração. O tempo previsto para a execução da obra era, inicialmente, de cinco meses, porém, segundo relatos de um dos engenheiros responsáveis, nesse período houve precipitações pluviométricas superiores as esperadas pela meteorologia. Com isso, as superfícies das encostas, predominância rochosa, se tornam escorregadias e acabam por colocar em risco os operadores que trabalham com os equipamentos de rapel. Ainda assim, o tempo de execução é consideravelmente pequeno e se torna um atrativo na hora de se optar por esse tipo de obra de contenção.

A padronização no uso dos componentes dos sistemas e nos diâmetros de furação para instalação dos chumbadores e âncoras favoreceu a minimização dos erros de execução, o emprego de menor tempo na troca de ferramental para adequação e atendimento de diferentes especificações de projeto e também a facilitação nos processos de compra dos componentes.

O uso de equipamentos de grande porte é dispensável para este tipo de obra e isso permite que seja realizada em locais remotos, onde o transporte rodoviário se torne um

empecilho, exigindo a necessidade de abertura de caminhos específicos para que fossem transportados os equipamentos de grande porte. A maioria dos componentes pode ser transportada por pequenos caminhões ou até mesmo por helicópteros. O local onde foi realizada a obra exigia que os veículos realizassem a transposição de um córrego para obter acesso ao local onde se encontravam as frentes de serviço. Um agente facilitador do processo foi o transporte de alguns dos componentes pela própria ferrovia a ser protegida. A circulação ferroviária próxima à frente de serviço permitiu o abastecimento das equipes com os suprimentos necessários para a continuidade das atividades essenciais a execução da obra. Dessa forma, pode-se dizer que, no que diz respeito ao quesito acessibilidade, as equipes de trabalho não enfrentaram dificuldades durante os seis meses de atividades.

O sistema de estabilização de inclinação de taludes SPIDER® e TECCO® e o sistema de proteção contra queda de blocos de rochas RXE-2000, desenvolvidos pela GEOBRUGG (2019c), possuem poucos componentes para se efetuar a montagem. Alguns dos componentes apresentam uma pré-montagem de fábrica, o que acelera o procedimento de montagem dos sistemas em campo. Grande parte dos componentes podem ser trocados quando houver a necessidade de se realizar manutenções nos sistemas. A montagem dos sistemas pode ser feita através do acompanhamento dos manuais e guias práticos de instalação fornecidos pelo fabricante. Os manuais e guias práticos de instalação possuem bastantes ilustrações, o que facilita a compreensão de todas as etapas de montagem.

Além dos aspectos positivos citados acima, a necessidade de obras de intervenção é baixa, pois os sistemas se adaptam bem a topografia local. A relação estabelecida entre a capacidade de suporte dos sistemas e o peso imposto sobre o talude pela estrutura é desprezível e favorece que sejam içados até mesmo por cordas ou cabos de aço com o auxílio de guinchos automatizados de pequeno porte.

## 5.2 ASPECTOS NEGATIVOS

Dentre as principais observações realizadas, que chamaram a atenção para a contestação do que orienta as literaturas da área geotécnica, está o fato do desconhecimento das propriedades petrográficas do local de execução da obra pela empresa executante e pela empresa solicitante. A investigação geotécnica muitas das vezes é deixada de lado por parte das corporações, grande parte das vezes devido à falta de agentes fiscalizadores, que venham a exigir documentos que comprovem a adequação do projeto as propriedades químicas, físicas e mineralógicas do material presente do local.

Um dos ensaios recomendados pela literatura é a investigação geológica e geotécnica por meio de sondagem rotativa, que permite a coleta de amostras indeformadas para que seja feita a posterior caracterização dos materiais existentes. De poder dessas informações é possível determinar alternativas de projetos mais precisas e menos onerosas.

As perfurações realizadas, pelos equipamentos roto percussivos, podem causar um acréscimo no número de fraturas nos maciços rochosos, com isso, há um aumento no risco de instabilidade das fixações, que por sua vez, perdem a eficiência esperada no momento em que forem acionadas pelos esforços solicitantes. O desconhecimento das propriedades petrográficas implica na necessidade de perfurações de maior profundidade devido ao uso de fatores de segurança mais elevados, conseqüentemente, há um aumento do volume de aço a ser utilizado, maior desgaste dos equipamentos roto percussivos, mais tempo de operação dos maquinários e dos operadores, entre outros aspectos que favorecem o aumento dos custos de projeto.

Algumas placas de fixação utilizadas nos chumbadores dos sistemas SPIDER® e TECCO® não ficaram posicionadas da forma correta. O fabricante recomenda que a direção da medida de menor dimensão da placa de fixação esteja voltada para a vertical. Essa orientação visa garantir que o eixo de maior inércia esteja voltado para cima e com isso diminuir a deformação causada nas placas durante o acionamento do sistema de estabilização de inclinação. Após a retirada das cordas de rapel que permitem o acesso dos operadores aos locais onde se encontram as placas, não há possibilidade de se corrigir a orientação das mesmas, pois os locais são praticamente inacessíveis.

Durante a montagem do sistema de proteção contra desprendimentos RXE-2000, não houve a passagem dos cabos intermediários pelas linhas de anéis que o fabricante indica durante a montagem. Esse erro de etapa executiva gera um desperdício do tempo de serviço das equipes, pois há a necessidade de se desfazer toda a montagem que já havia sido realizada para efetuar a passagem dos cabos pelos anéis e, posteriormente, realizar a montagem novamente.

Outro aspecto, tão relevante quanto o desconhecimento das propriedades petrográficas, foi o emprego de uma rede com um número de linhas de anéis que não corresponde a rede indicada pelo fabricante para o tamanho dos postes utilizados, que foram de 3,0 m. A rede utilizada apresenta um número de dezenove anéis, enquanto que, o fabricante recomenda o uso de uma rede com quinze linhas de anéis. O uso da rede ROCCO® de forma inadequada, ocasionou a passagem incorreta dos cabos de aço



intermediários, de modo que o fabricante apresenta em seus manuais o perfil esquemático que auxilia na montagem correta dos sistemas.

Não se pode precisar quais os prejuízos que podem ser acarretados pela falha de montagem, porém, é plausível dizer que a empresa realiza simulações e ensaios para testar a qualidade dos seus sistemas, sendo esses montados da forma como são indicados nos manuais de instalação. Os valores obtidos nas deformações causadas pela queda de blocos, para a montagem que foi realizada, só podem ser encontrados a partir de simulações computacionais, que seriam capazes de indicar quais as grandezas das deflexões ocorreriam nestas condições.

Para uma área onde as incidências de acidentes e interdições da via eram frequentes, estes sistemas se mostraram muito eficientes, visto que acabaram com tais problemas, mas para total eficiência do sistema, alguns pontos importantes deveriam ter sido respeitados, como descrito. Por ser uma das poucas obras deste tipo realizadas no Brasil, possivelmente esses sistemas no futuro possuirão uma maior eficiência e melhor desempenho quando instaladas por profissionais com maior experiência e conhecimentos sobre o assunto. O desenvolvimento do senso crítico, acerca das eventualidades que ocorrem em campo e os estudos dos manuais e técnicas adotadas, auxiliam na compreensão de algumas decisões tomadas durante as etapas executivas.

## 6 CONCLUSÃO

A utilização do sistema de estabilização de inclinações de taludes e o uso de barreiras flexíveis para controle de quedas de detritos se mostraram as escolhas mais acertadas, tendo em vista as condições nas quais a obra foi realizada. Mesmo sendo alternativas relativamente novas em nosso país, são métodos de grande efetividade no controle de queda de blocos de rocha e proteção da infraestrutura ferroviária que é uma área que tem pouca atenção das entidades públicas. A possibilidade de se realizar essas obras em lugares de difícil acesso, sem uma grande mobilização de máquinas de grande porte e a adaptabilidade apresentada pelos sistemas a topografia do local é, sem dúvida, um dos maiores benefícios do emprego desse tipo de sistema. Estes sistemas se demonstram muito mais eficientes que alguns outros métodos de contenção de taludes mais comumente utilizados.

Como grande parte das peças são pré-montadas pelo próprio fabricante, o tempo de execução se torna muito menor e transforma o sistema menos susceptível a falhas de montagem, além de assegurar tempos recordes de execução.

Contudo, durante a execução, alguns pontos se mostraram falhos, indo contra as especificações técnicas contidas nos manuais do fabricante, como por exemplo a utilização de uma rede com um número de linhas de anéis maior do que o fabricante recomenda para os postes de fixação utilizados. Essa montagem incorreta pode ocasionar alguma falha do sistema que não pode ser prevista por nenhuma das entidades envolvidas.

Para uma área onde as incidências de acidentes e interdições da via eram frequentes, estes sistemas se mostraram muito eficientes, visto que acabaram com tais problemas, mas para total eficiência do sistema, alguns pontos importantes deveriam ter sido respeitados, como descrito. Por ser uma das poucas obras deste tipo realizadas no Brasil, possivelmente esses sistemas no futuro possuirão uma maior eficiência e melhor desempenho quando instaladas por profissionais com maior experiência e conhecimentos sobre o assunto.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682: Estabilidade de Taludes**. Rio de Janeiro, p. 39. 1991.
- FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas**. 2<sup>a</sup> ed. Curitiba: UFPR, 2009.
- FREITAS, A. S. **Análises Numéricas de Casos de Quedas de Blocos Rochosos**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- GEOBRUGG. **Manual SPIDER® S3-130 Rock protection system**. 2019a.
- GEOBRUGG. **Manual TECCO® SYSTEM Slope Stabilization System**. 2019b.
- GEOBRUGG. **Product Manual RXE-500 Rockfall Barrier**. 2019c.
- GOBBI, F. S. M.; AMORIM, L. B. **Barreiras flexíveis na Rota do Sol, RS**. Soluções para proteção contra queda de blocos, fluxo de detritos e escorregamentos superficiais. 8<sup>o</sup> Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, GEOSUL 2012, Porto Alegre, RS, 1-5.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: Bluncher, 1983.
- MACIEL FILHO, C. L.; NUMMER, A. V. **Introdução Geologia de Engenharia**. 4<sup>a</sup> ed. Santa Maria: UFSM, 2011.
- MELO, M. S. S. **Contributos para a verificação das condições de segurança em vertentes íngremes de formações rochosas com possibilidade de destacamento de blocos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2018.
- NUNES, A. L. L. S. **Estabilidades de Taludes Rochosos em Estradas**. Anais do 6<sup>o</sup> Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Geosul 2008. Florianópolis, 11p., 2008.
- NUNES, A. L. L. S. **Barreiras flexíveis para mitigação de fluxo de detritos**. 5<sup>a</sup> Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas, 2009. São Paulo, SP, 1-10.
- OLIVEIRA, N. C. D. **Soluções para estabilização de taludes em linhas férreas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.
- RITCHIE, A. M. **Evaluation of rockfall and its control**. Highway research record, 1963.
- VILELA, R. J. **Uso de Barreiras Flexíveis para o Controle de Quedas de Blocos de Rocha**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.