

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/192

# Concepção da Contenção de um Talude Ferroviário a partir de Trilhos Reutilizados

Juliana Tanabe Assad dos Santos

Engenheira Civil, Egis, São Luís, Brasil, juliana.tanabe@egis-group.br

Karina Tomoko Hentona

Engenheira Geotécnica, Vale, São Luís, Brasil, karina.hentona@vale.com

Maelckson Bruno Barros Gomes

Engenheiro Civil, IME, Rio de Janeiro, Brasil, bruno.gomes@ime.eb.br

Antonio Carlos Rodrigues Guimarães

Professor, IME, Rio de Janeiro, Brasil, guimaraes@ime.eb.br

José João Pires Oliveira Filho

Engenheiro Civil, Egis, São Paulo, Brasil, jose.filho@egis-group.br

**RESUMO:** No contexto da manutenção de vias férreas, existe grande ocorrência de problemas relacionados à estabilidade de taludes em função das elevadas alturas dos aterros e das elevadas cargas cíclicas decorrentes da passagem dos vagões. Ainda, é frequente a restrição de espaço construtivo por delimitação da faixa de domínio próximo ao pé de taludes de grandes alturas. Nesse sentido, contenções no pé dos taludes têm sido uma alternativa frequentemente aplicada e, mais recentemente, associada à cravação de trilhos, reduzindo a necessidade de aquisição de terreno de terceiros. No entanto, um dos desafios observados em relação à aplicação dessa tecnologia têm sido a necessidade de garantir as condições estruturais do trilho no que se refere à avaliação de esforços normais e cortantes. Dessa forma, o presente trabalho apresenta um estudo de caso realizado na Estrada de Ferro Carajás (EFC) no Maranhão, de um talude de aproximadamente 30 m de altura que apresentava problemas de estabilidade e limitação de utilização do terreno próximo ao pé do talude. A solução proposta para o ativo incluiu o tratamento com ensacado de solo-cimento, contenção de gabião-caixa e paliçada com cravação de trilhos reutilizados (descartados para uso na ferrovia) e fechamento com dormentes de concreto também reutilizados. Dentro do projeto, foram realizados estudos no sentido de dimensionamento do gabião, análise de estabilidade pelo método do equilíbrio limite, dimensionamento de ficha de cravação, e verificação das tensões normais e cisalhantes no perfil metálico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Contenção, Reutilização de trilhos, Estabilidade, Tensão de Escoamento, Manutenção de Ferrovias.

**ABSTRACT:** In the context of railway maintenance, there is a large occurrence of problems related to slope stability due to the high heights of embankments and the high cyclical loads resulting from the passage of wagons. Furthermore, construction space is often restricted due to the delimitation of the right-of-way near the foot of high slopes. In this sense, retaining walls have been a frequently applied alternative and, more recently, associated with the nailing of tracks, reducing the need to acquire land from third parties. However, one of the challenges observed in relation to the application of this technology has been the need to guarantee the structural conditions of the rail regarding the evaluation of normal and shear forces. Therefore, this work presents a case study carried out on the Estrada de Ferro Carajás (EFC) in Maranhão, of a slope approximately 30 m high that presented stability problems and limited use of the land near the slope. The proposed solution for the asset included treatment with bagged soil-cement, gabion-box containment and nailing of tracks (discarded for use on the railway). Within the project, studies were carried out to dimension the gabion, stability analysis using the limit equilibrium method, sizing of the crimping plug, and verification of normal and shear stresses in the metal profile.

**KEYWORDS:** Containment, Reuse of tracks, Stability, Flow Tension, Railway Maintenance.

## 1 INTRODUÇÃO

No contexto de avaliação de taludes de aterros associados à operação ferroviária, observa-se que fatores externos como intemperismos, aumento de carga ferroviária sem reavaliação da estrutura, deposição de elementos da própria ferrovia (trilhos e dormentes, por exemplo), etc podem influenciar no fator de segurança da estabilidade do talude. Quando a avaliação geotécnica indica a operação ferroviária sobre taludes com fator de segurança inferior ao recomendado por norma, vê-se a necessidade de manutenção da estrutura, e para isso são utilizadas técnicas de estabilização como retaludamento – com solo ou material pétreo –, utilização de sacos de solo-cimento, gabiões, contenções, etc.

Na Estrada de Ferro Carajás (EFC), cuja construção da primeira linha ocorreu no final do século XX, é comum a necessidade de intervenção em taludes ao longo do traçado, em função dos aspectos mencionados anteriormente. Um caso interessante para a engenharia geotécnica foi observado próximo à cidade de Vila Nova dos Martírios/MA, entre o km 599+5920 e o km 601+540 da EFC. Esse trecho (ao qual chamaremos a partir de então de “ativo”) consiste em um aterro composto por três taludes, em maior parte da sua extensão, composto por faces de 6 a 8 m e altura máxima total de aproximadamente 23 m. Nesse ativo, foram observados diversos pontos com escorregamentos superficiais generalizados em todos os taludes, mas de maneira mais intensa no talude superior, além de pontos com ausência de vegetação superficial e erosão. Observou-se também, que as canaletas de drenagem se encontram bastante danificadas pela disposição de trilhos e dormentes.

Desse modo, o presente trabalho apresenta um estudo de caso desse segmento, elencando as soluções geotécnicas utilizadas e, em especial, a dificuldade da utilização de trilhos reutilizados em contenções.

O desafio desse ativo encontra-se na necessidade de projetar uma solução geotécnica para um talude de grande dimensão sem que ultrapassasse a faixa de domínio da ferrovia, que se encontra adjacente ao pé do talude inferior. Assim, foi projetado um conjunto de soluções geotécnicas, incluindo: tratamento do talude superior com sacos de solo-cimento; estrutura de gabião-caixa no pé do talude; e contenção com trilhos com fechamento com dormentes para permitir a escavação no pé do talude para implantação do gabião.

Em relação à contenção, foi considerada a utilização de trilhos e dormentes que já haviam sido descartados da ferrovia em período de manutenção da superestrutura. Essa iniciativa teve como objetivo elaborar um projeto mais sustentável e permitindo dar uma finalidade a esses elementos que muitas vezes se encontram depositados próximo à ferrovia e podem ocasionar na redução do fator de segurança na análise de estabilidade e obstrução da passagem no caminho seguro, o que dificulta as atividades de manutenção e de visita técnica.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliação dos solos existentes no local, foi realizada uma campanha de investigação geotécnica composta de sondagens à percussão, sondagens a trado e penetrômetro dinâmico leve. Este último, teve seus resultados correlacionados com o número de golpes da sondagem à percussão (nSPT) por meio de metodologia desenvolvida pela Egis Engenharia e validada pela Vale para a EFC.

Esses resultados em conjunto permitiram a definição das camadas de solo em diferentes seções. Nesse estudo será apresentada a avaliação específica da seção do km 600+600. Esta apresentou um aterro em silte arenoso; Na fundação observa-se um silte-arenoso com nSPT variando entre 5 e 10 golpes seguindo, em profundidade, para um material mais resistente. No pé do talude, observa-se um material areno-siltoso com nSPT inferior, entre 1 e 5 golpes.

Os parâmetros de para o peso específico e peso específico saturado foi considerado como referência o valor de  $17 \text{ kN/m}^3$  baseando-se na densidade máxima encontrada no ensaio de laboratório, no tipo de material e de acordo com as correlações apresentadas por Godoy (1972) para solos argilosos e solos arenosos. Para solos granulares, foram empregadas as correlações de Godoy (1983), Teixeira e Godoy (1996) e Hatanaka-Uchida (1996), com as seguintes expressões:

A fim de se verificar a potencialidade de uma possível ruptura dos taludes existentes no ativo, foi realizada uma avaliação numérica quanto à estabilidade dos mesmos considerando a carga proveniente do comboio ferroviário. Os seguintes critérios, parâmetros e premissas foram considerados na análise numérica:

- Análises de estabilidade realizadas pelo método do equilíbrio limite empregando a ferramenta computacional Rocscience Slide 2.0 (build 9.011);
- Cargas estática das composições ferroviárias no valor de 83 kPa;
- Critério de ruptura de Mohr-Coulomb, admitido ruptura do tipo circular e pesquisa de centro de ruptura por técnica de refinamento;
- Os parâmetros de resistência dos materiais foram obtidos em função da caracterização do material (sondagem a trado e ensaios laboratoriais), além da experiência do projetista com solos similares, bem como considerando a situação mais desfavorável, ainda, quando disponível de ensaios especiais de campanhas anteriores nas fases de projeto básico ou executivo.
- Fator de segurança (FS) admissível de 1,50 em consonância com o recomendado pela norma NBR 11682/2009 e admitido pela Vale.

Após a verificação de  $FS < 1.50$ , foram estudadas alternativas geotécnicas para restabelecer o valor mínimo de 1,50, em nível crescente de complexidade, com intuito de garantir uma solução menos onerosa. Durante o processo de dimensionamento foram observadas particularidades em relação à avaliação estrutural do trilho. Foram feitas avaliações quanto ao esforço normal e ao esforço cisalhante. Para tanto, foram consideradas condições dentro do processo elástico, ou seja, anterior às condições de escoamento do aço.

### 3 AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO ATUAL DO TALUDE

A geometria do lado esquerdo da seção do km 600+600 é constituída de banquetas a cada 7,0 m de altura e não apresenta problemas de instabilidades - apresenta fator de segurança superior a 1,5. Por sua vez, a geometria do lado direito da seção apresentou perda de definição das banquetas, em função de escorregamentos e de erosões, principalmente próximo à crista do talude. A análise de estabilidade nas condições atuais (Figura 1), utilizando a topografia obtida por fotointerpretação (LIDAR), indicaram um fator de segurança de 1,41 para uma ruptura global.

As sondagens indicaram aterro de material predominantemente silto arenoso e solo de baixa capacidade localizado no terreno de fundação ao pé do talude. Acredita-se que esse solo, aliado ao nível d'água (NA) elevado - próximo ao nível do terreno natural - tenha contribuído para o baixo FS da seção analisada.

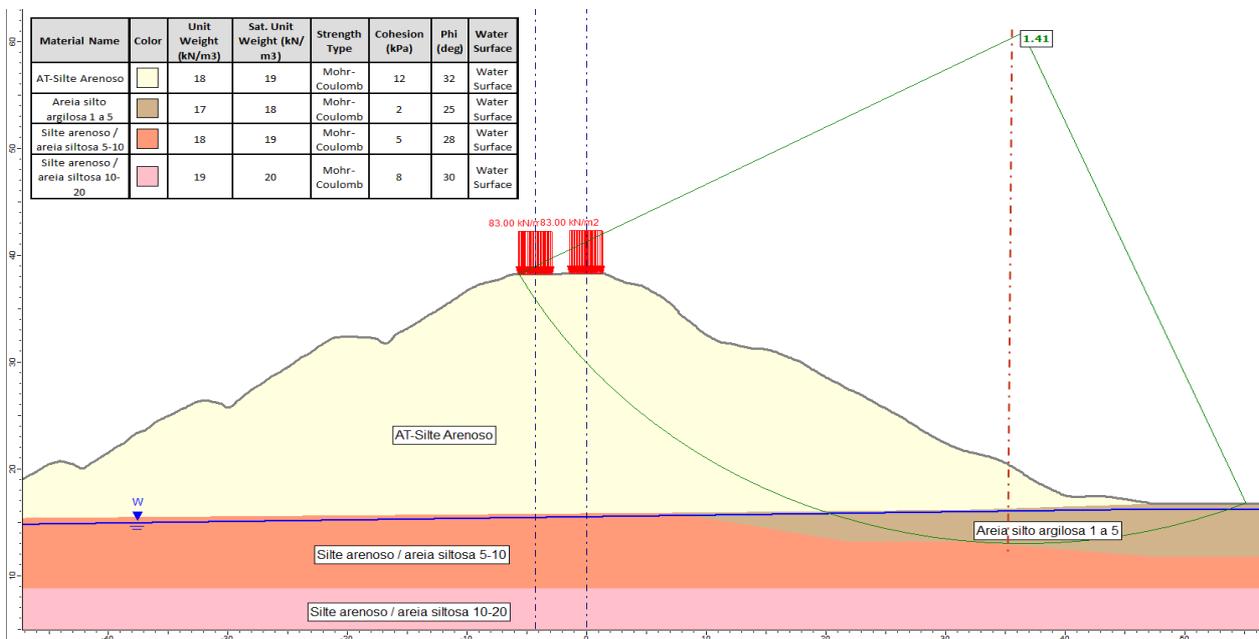


Figura 1. Análise de estabilidade da situação atual .

O resumo das propriedades consideradas nas análises de estabilidade é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Análise de estabilidade da situação inicial

Camadas geotécnicas	N SPT	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi^\circ$
AT-Silte arenoso	-	18	19	12	32
AT-Silte arenoso	1 - 5	17	18	6	26
Areia silto argilosa	1 - 5	17	18	2	25
Silte arenoso/areia siltosa	5 - 10	18	19	5	28
Silte arenoso/ areia siltosa	10 – 20	19	20	8	30

Assim, o estudo de tratativas partiu da correção da geometria do talude superior, seguindo soluções para aumentar o fator de segurança global do talude. Destaca-se nesse ponto a limitação da faixa de domínio que estava localizada 40 m do eixo ferroviário (linha tracejada vermelha) e, portanto, rente ao pé do talude existente. As soluções projetadas serão apresentadas nos tópicos seguintes.

### 3.1 TRATAMENTO DO TALUDE SUPERIOR COM SACO DE SOLO CIMENTO (TSC)

A solução de ensacamento de solo-cimento (TSC) foi proposta para correção da geometria do talude superior. Esta região contempla o local onde ocorreram as rupturas superficiais do talude. Devido às condições presentes, foi proposta uma solução baseada em uma contenção superficial utilizando-se de ensacados com material provenientes da mistura de solo e cimento nas suas devidas proporções. Tal solução foi indicada de modo a garantir a condição estrutural do talude devido ao baixo custo do mesmo, somado ao bom desempenho quando executado adequadamente.

A viabilidade técnica dessa alternativa foi verificada através de análises de estabilidade. Foi indicado como um material de peso específico equivalente a 20 kN/m<sup>3</sup> e propriedades de coesão e ângulo de atrito de 50 kPa e 35°, respectivamente.

### 3.2 UTILIZAÇÃO DE GABIÃO-CAIXA PARA ESTABILIDADE DO TALUDE

Uma alternativa simples para a correção do fator de segurança global dessa seção seria o ajuste da geometria do talude, permitindo a divisão em faces de menores alturas. No entanto, a proximidade com a faixa de domínio da ferrovia inviabilizou a possibilidade de reconformação. Assim, foi projetada uma solução de gabião-caixa no pé do talude, permitindo a contenção do aterro sem avançar o espaço permitido em termos legais.

O gabião-caixa consiste em uma estrutura flexível, auto-drenante e de grande durabilidade e resistência. Este elemento, foi indicado no projeto com malha de fios de aço doce recozido com diâmetro de 2,4 mm, exceto para as bordas que deve ser de 3 mm. Os fios possuem tensão de ruptura média de 38 a 48 kg/mm<sup>2</sup> e revestimento com liga zinco - 5% alumínio (Zn 5 Al MM) com a quantidade mínima de 244 g/m<sup>2</sup>, sendo amarrados em suas extremidades e vértices. Em seu interior, devem ser preenchidos com pedras.

Para dimensionamento do gabião-caixa, foram feitas verificações quanto aos seguintes aspectos:

- Deslizamento: O deslizamento da estrutura ocorre quando a resistência de atrito ao longo da base da estrutura, somada ao empuxo passivo disponível à sua frente, não é suficiente para se contrapor ao empuxo ativo e ao empuxo de sobrecarga;
- Tombamento: O tombamento da estrutura pode ocorrer quando o valor do momento solicitante supera o valor do momento resistente; e
- Fundação: A tensão aplicada pela estrutura deve ser inferior à admissível pelo solo de fundação.

Assim, foi definida a utilização de um gabião de altura total de 4,0 m e base também de 4,0 m. Foi verificado o baixo fator de segurança contra ruptura da fundação devido à baixa capacidade de suporte do material da fundação da estrutura, uma areia silto-argilosa com nSPT variando de 1 a 5 golpes. Para induzir um aumento desse FS, foi indicado o agulhamento de um metro de rachão e substituição de dois metros de solo por rachão.

### 3.3 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SOLUÇÃO FINAL

As tratativas utilizadas nesse projeto, foram representadas na análise de estabilidade. As propriedades desses elementos no que se refere a peso específico e resistência são apresentadas na Tabela 2 e o resultado final da análise encontra-se na Figura 2.

Tabela 2. Análise de estabilidade da situação atual .

Camadas geotécnicas	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi^\circ$
TSC Ensacado de solo-cimento	20	21	50	35
Rachão (fundação do gabião)	16	17	1	35
Gabião	15	16	Tipo de força: infinita	
Reaterro	18	19	10	28

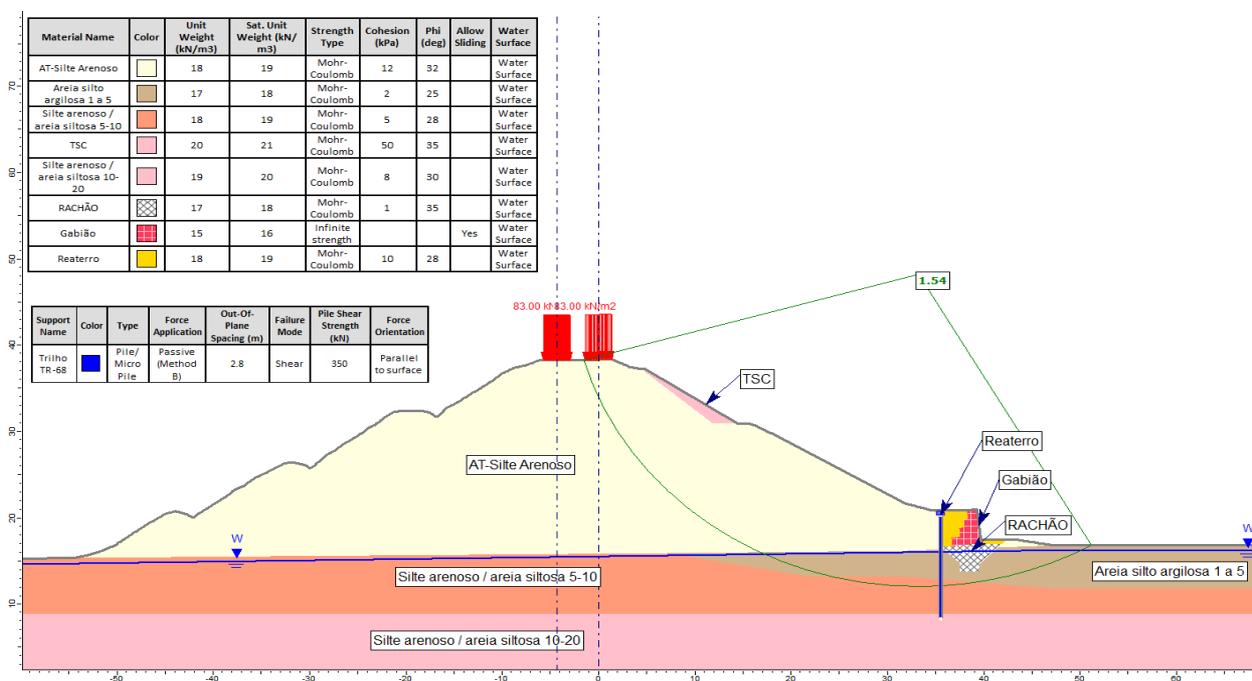


Figura 2. Análise de estabilidade após implantação da solução.

Os resultados encontrados mostram fatores de segurança da solução indicada iguais ou superiores a 1,50, sendo este valor maior do que o recomendado pela norma NBR 11682/2009 e admitido pela Vale (1,50), o que atesta para uma condição de estabilidade deste talude referente à solução proposta.

### 3.4 SOLUÇÃO DE CONTENÇÃO EM TRILHOS PARA ESCAVAÇÃO NO PÉ DO TALUDE

Conforme apresentado nos tópicos anteriores, o conjunto de soluções apresentadas foram suficientes para ajustar o talude a condições de estabilidade com FS superior a 1,5. No entanto, ao avaliar a construtibilidade da solução de gabião no pé do talude, identificou-se uma situação de risco: uma escavação de 4 m da base do aterro e ainda a escavação do material da fundação para substituição por rachão. Com isso, foi projetada ainda uma solução provisória de contenção com trilhos TR-68 para permitir essa atividade.

O dimensionamento da contenção com trilho e fechamento com dormentes de madeira foi realizado através do método convencional que consiste no estabelecimento do diagrama de tensões, de modo a estimar a ficha mínima necessária para garantir a estabilidade da estrutura de contenção, considerando FS=1,5 (obras provisórias de acordo com a NC-03) na minoração do empuxo passivo.

Para escavações com altura entre 3,85 e 4,25, considerou-se o espaçamento de 0,50 m e entre os trilhos foi verificada a necessidade de peças com 14 m de comprimento e com ficha mínima de 8,0 m. As tensões e momentos atuantes em profundidade no perfil metálico são apresentados na Figura 3.

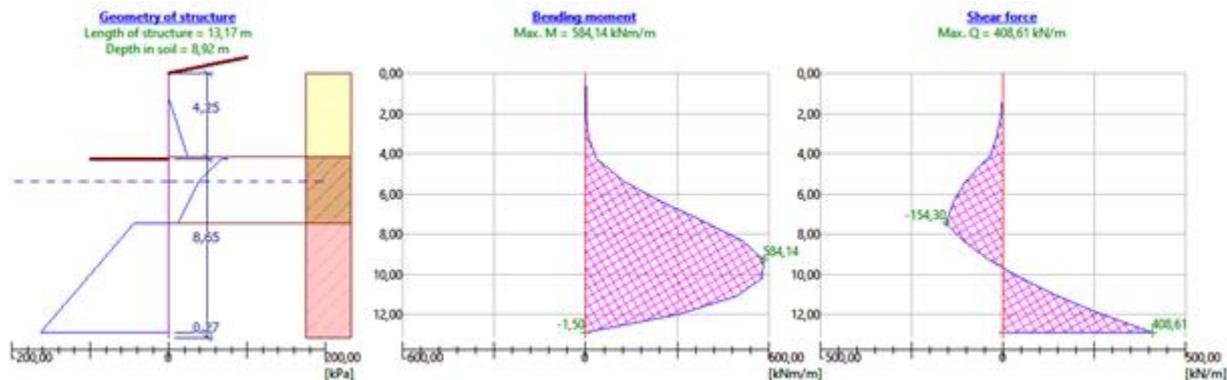


Figura 3. Da esquerda para a direita: geometria da estrutura, diagrama de momento fletor e diagrama de esforço cortante no trilho.

A partir desses resultados, foram utilizados momento máximo e tensão cisalhante máxima para verificação estrutural dos trilhos, conforme apresentado nas Equações 1 e 2:

$$\sigma = \frac{M_{Sd}}{W_{tr}} = \frac{584,14 \cdot 100 \cdot \frac{kNcm}{m} \cdot 0,5m}{462,12 \text{ cm}^3} = 63,41 \frac{kN}{cm^2} = 632,02 \text{ MPa} < 695,65 \text{ MPa} \quad (1)$$

$$\tau = \frac{\left(408,61 \frac{kN}{m} \cdot 0,5m\right) \cdot 464 \text{ cm}^3}{3920,90 \text{ cm}^4 \cdot 1,75 \text{ cm}} = 13,79 \frac{kN}{cm^2} = 137,95 \text{ MPa} < 417,39 \text{ MPa} \quad (2)$$

Portanto, entende-se que o dimensionamento com o comprimento de 14,0 m e o espaçamento entre trilhos de 0,5 m atende aos critérios estruturais do trilho quanto aos esforços normais e cisalhante.

Durante o dimensionamento da solução, considerou-se o afastamento entre os trilhos de 1,0 m. No entanto, verificou-se que os momentos recebidos pela estrutura considerando essa condição, indicariam a falha desses elementos. Assim, foi feita a segmentação dos trechos conforme a altura de escavação.

Ainda, o pouco distanciamento entre os trilhos gerou a preocupação com o amolgamento do solo para o sequenciamento de trilhos. Assim, foi proposta uma cravação alternada, de forma a evitar movimentação dos elementos após a cravação.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou um estudo de caso demonstrando um possível conjunto de soluções geotécnicas para um talude que apresenta fator de segurança global inferior ao recomendado nos documentos normativos

técnicos. A solução encontrada consistiu em tratamento do talude superior com sacos de solo-cimento; no pé do talude, foi projetada uma estrutura de gabião-caixa com reforço da fundação com rachão; Ainda, para permitir a escavação da fundação do gabião, foi feito um estudo de contenção com trilhos e dormentes reutilizados.

A reutilização de trilhos e dormentes que haviam sido descartados da ferrovia em período de manutenção, evidencia o aspecto sustentável no sentido de dar finalidade aos elementos da ferrovia que haviam sido descartados de forma indevida e evitar a utilização de outras soluções que implicaram na obtenção de mais matéria prima não renovável.

A abordagem do problema e as soluções propostas neste trabalho irão contribuir para o tratamento de taludes com questões de instabilidade e erosão, na qual o retaludamento não seja uma solução viável devido à limitações relacionadas à faixa de domínio ou habitações no entorno do traçado ferroviário.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem de igual modo à Egis Engenharia e Consultoria, à Vale S.A. e ao Instituto Militar de Engenharia (IME) por permitirem a disseminação do conhecimento.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) NBR 11682. Estabilidade de encostas, Rio de Janeiro, 33 p.
- Godoy, N. S. (1972). Notas de Aula - Fundações, Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos, SP.
- Godoy, N.S.; Estimativa da capacidade de carga de estacas a partir de resultados de penetrômetro estático. Palestra. São Carlos, SP, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 1983.
- Teixeira, A. H.; Godoy, N. S. (1996). Fundações: teoria e prática. São Paulo: Pini. p. 227-264
- Hatanaka, M.; Uchida, A. (1996). Empirical Correlations Between Penetration Resistance and Internal Friction Angle of Sandy Soils. Soils and Foundations, v. 36, n.4, p. 1-9.