XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/68

Estabilização De Talude Ferroviário: Avaliação De Um Caso De Modificação De Escopo De Projeto Após Mobilização Da Obra

Alvaro Pereira
Engenheiro Civil, FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, alvaro@fgs.eng.br

Maurício Birkan Azevedo
Engenheiro Civil, FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, mauricio@fgs.eng.br

Felipe Gobbi
Engenheiro Civil, FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, felipe@fgs.eng.br

Bruno Denardin da Rosa
Engenheiro Civil, FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, bruno@fgs.eng.br

Fabiano Garcia Madrid
Geólogo, FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, madrid@fgs.eng.br

Christian Thalis de Araujo
Engenheiro Civil, Concremat Engenharia e Construções, Nova Era, Brasil, christiandearaujo@yahoo.com.br

Priscilla Rodrigues Araújo Gonçalves
Engenheira Civil, Vale, Belo Horizonte, Brasil, priscilla.rodriguess@live.com

RESUMO: O presente trabalho aborda o projeto de recuperação de área degradada (RAD) localizada a jusante de um talude ferroviário, no estado de Minas Gerais/Brasil, que teve avanços nos processos de instabilidade, principalmente relacionados a processos erosivos. A ferrovia está localizada a montante da crista deste talude, que apresenta altura superior a 100 metros, enquanto um curso da água está localizado no seu pé. Previamente, a região já havia sido objeto de intervenção com solução de terraplenagem (corte e aterro), associada a um sistema de drenagem superficial. O talude superior apresenta bermas bem definidas, que já receberam intervenções antigas (previamente à atual) em solo grampeado e drenagem, denominadas de projeto inicial. Porém, os processos erosivos na região agravaram-se principalmente no período chuvoso entre 2021 e 2022. As instabilidades recentes são predominantemente superficiais e localizadas entre bancadas, o que comprometeu parte da drenagem, resultando em assoreamento ou patologias estruturais verificadas no início dos trabalhos atuais, o que pode indicar que processos erosivos e carreamento e deposição de finos interromperam o fluxo e potencializaram instabilidades. Adicionalmente, o sistema em solo grampeado implantado anteriormente mostrou-se ineficiente pela falha do paramento. A nova intervenção proposta para a RAD consistia de recuperação dos taludes superiores com a solução de solo grampeado com faceamento em tela metálica associada a manta antierosiva e, para a porção inferior, a recuperação da geometria dos taludes e criação de bermas de equilíbrio com utilização de muro de pedra (aterro de enrocamento), associado à revisão de todo o sistema de drenagem, sendo esta a revisão 1. Com a mobilização da obra, questões relacionadas ao lindeiro e limitações ambientais, associadas à obtenção de informações geotécnicas complementares (investigações) e alterações nas premissas (diferentes valores de fator de segurança ao longo da encosta), levaram à necessidade de revisão do projeto. Nesta, foram utilizados dados de furos de reconhecimento realizados na obra, distribuídos ao longo da altura do talude, resultados de uma sondagem mista realizada na porção intermediária e ensaios de laboratório. O fator de segurança a ser atingido foi dividido em duas partes, para a porção superior (próximo à ferrovia) trabalhou-se com valor de 1,5 e, na porção inferior, com 1,3. O novo projeto de estabilização (denominado de revisão 2) manteve solo grampeado com faceamento em tela metálica e o conceito da drenagem no trecho superior e, para a porção inferior, foram propostas grelhas atirantadas, associadas a muretas de drenagem.

PALAVRAS-CHAVE: talude, estabilização, contenções, erosão.

ABSTRACT: This study presents the design of a degraded area recovery project located downstream a railway slope in the Minas Gerais State, Brazil, which has shown progressive instability processes in recent years, specially related to erosion. The railway is located upstream of the crest of this slope, which has a total height exceeding 100 meters, while a watercourse is located at its toe. Previously, the region had already undergone a solution intervention involving earthworks (cut and fill), associated with a superficial drainage system. The upper section of the slope presents well-defined benches, which were previously treated with soil nailing system and drainage solutions, called here as initial project. However, the erosion processes in the area intensified specially during the rainy season between 2021 and 2022. Recent instabilities are predominantly superficial and occurred between benches, which compromised part of the drainage system, resulting in aggradation or structural pathologies identified at the beginning of the current works. This may indicate that erosive processes and the transport and deposition of fines interrupted the flow and intensified instabilities. Moreover, the previously installed soil nailing system proved to be ineffective due to the failure of the facing system. The new intervention proposed to the area consisted of the rehabilitation of the upper slopes using a soil nailing solution using wire mesh facing associated with an anti-erosion mat. For the lower region, the proposal included the restoration of the slope geometry and the creation of stabilization berms using a rock-fill wall (rock embankment), along with the revision of the entire drainage system, corresponding to revision 1. After the mobilization of the works, issues related to adjacent properties and environmental constraints, in addition to the acquisition of additional geotechnical information (investigations) and changes in the design assumptions (different safety factor values along the slope), led to the necessity for a project revision. In this revision, data from exploratory boreholes carried out on site, distributed along the height of the slope, were used, in addition to the results of a combined drilling investigation performed in the intermediate portion and laboratory tests. The target safety factor was divided into two parts: for the upper portion (near the railway), a value of 1.5 was adopted, while for the lower portion a value of 1.3 was considered. The new stabilization design (referred to as revision 2) kept the soil nailing system using wire mesh facing and the drainage concepts in the upper section. For the lower portion, anchored grids were proposed, associated with drainage walls.

KEYWORDS: slope, stability, retaining structures, erosion.

1 INTRODUÇÃO

Durante a estação chuvosa entre dezembro/2021 e março/2022, Minas Gerais/Brasil registrou precipitações extremas, com volumes de chuva acima da média, concentradas em curtos espaços de tempo. Consequentemente, instabilidades ocorreram em taludes ferroviários, rodoviários e urbanos ocasionando fatalidades e prejuízos econômicos. O presente estudo aborda o desenvolvimento de um sistema de estabilização de um talude ferroviário existente (para recuperação de uma área degradada, RAD) que apresentou séries de instabilidades por consequência do excesso de chuva.

Obras geotécnicas de estabilização de taludes, assim como, implementação de sistemas de drenagem, apresentam inúmeros desafios, como dificuldades de acesso, impossibilidade de investigação geotécnica durante etapa de projeto e questões ambientais. Esses desafios são potencializados quando o projeto e a execução devem ocorrer em um curto prazo, a fim de evitar progressões nas instabilidades existentes, as quais podem acarretar em danos mais severos, exigindo a necessidade de adequações no projeto após a mobilização da obra. Outro desafio fundamental na vida útil destas obras está relacionado à manutenção dos elementos executados, principalmente no que tange à limpeza dos sistemas de drenagem.

Este é o caso do presente estudo, em que, após finalizada a obra de recuperação do talude, poucos anos depois foram observadas séries de instabilidades que demandaram a elaboração de um novo projeto de recuperação e estabilização, finalizado em 2023. Entretanto, após a mobilização da obra, em 2024, foi necessária uma reavaliação dos conceitos e premissas inicialmente utilizadas no desenvolvimento do projeto.

Este artigo tem por objetivo abordar o diagnóstico da instabilidade do talude, o projeto inicialmente concebido e as modificações necessárias no projeto – identificadas no início da mobilização da obra – em virtude do acesso à frente de serviço e de complexidades executivas. Em paralelo, ainda se fez necessária uma verificação do projeto a partir de investigações de campo, apenas possíveis de serem executadas após a mobilização da obra. Mudanças nas premissas de fatores de segurança, a partir das interpretações de campo,

também foram realizadas. Ao longo deste artigo, o projeto anterior (realizado por outra empresa) é denominado de projeto inicial, enquanto a atual intervenção é dividida em revisão 1 (antes da mobilização da obra) e revisão 2 (após a mobilização da obra).

2 APRESENTAÇÃO DO TALUDE E DO PROBLEMA IDENTIFICADO

A área de interesse está situada no contexto geológico do Grupo Piracicaba, localmente Formação Cercadinho, próximo ao contato com o Grupo Sabará, na unidade da Formação Saramenha. A norte (pé do talude) este contato é marcado pela Zona de Cisalhamento São Vicente, estrutura tectônica que atua como a superfície de descolamento basal do Sistema de Nappes Ouro Preto, conforme indicado na Figura 1 (Endo et al., 2019). São encontrados, na encosta, filitos e xistos sericíticos, sugerindo um ambiente de deposição marinho característico deste contexto, em uma porção com pouca energia. O trecho ferroviário está posicionado na crista da encosta; enquanto o curso da água, no pé. A composição dos materiais ao longo da encosta, do ponto de vista geotécnico, pode ser caracterizada como um misto de solo residual e aterro, tendo passado por sucessivos processos erosivos ao longo dos anos. A diferença de nível total é superior a 100 m em um curto deslocamento.

Ainda na Figura 1, na imagem da direita, ilustra-se um panorama geral do talude, em imagem aérea datada de junho/2022, época do início dos estudos atuais e anterior à mobilização das obras. O trecho superior apresenta bermas bem definidas, com intervenções anteriores de terraplenagem (corte e aterro) e drenagem (canaletas longitudinais e descidas de água em degraus – DAD's). Os dispositivos de drenagem se encontravam assoreados ou danificados em razão de patologias estruturais. Além disso, soluções em solo grampeado com faceamento em tela metálica, já existentes anteriormente à emissão da revisão 1 do projeto, foram identificadas no talude superior, à esquerda, em vista frontal, tendo apresentado falha do paramento e ruptura do sistema. Já o trecho inferior recebeu paliçadas revestidas em geotêxtil, também danificadas ou com significativa quantidade de material retido. Esta região apresenta menor frequência de bermas bem definidas.

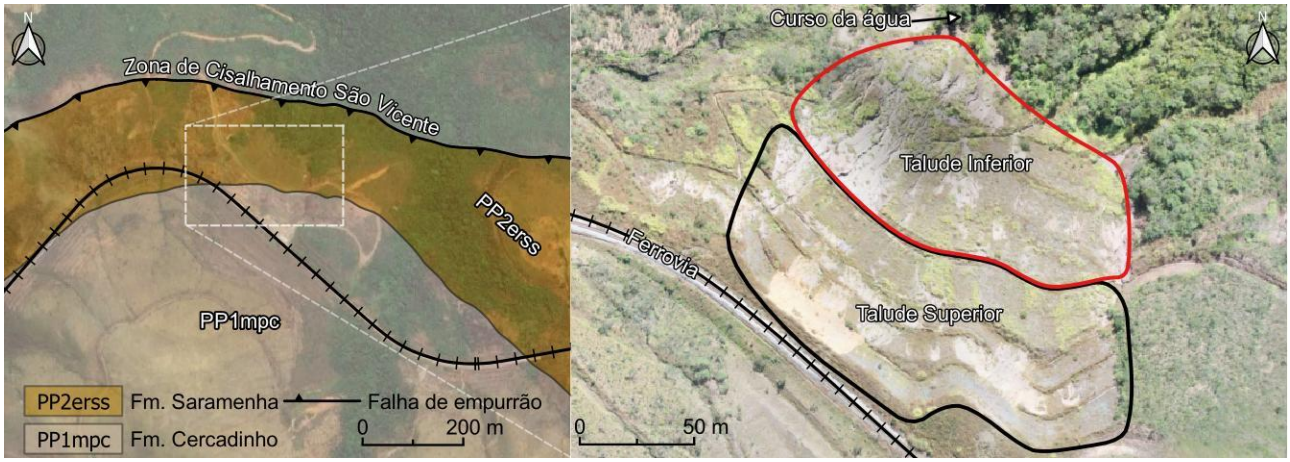


Figura 1. Contexto geológico local (esquerda) e panorama em ortoimagem aérea de junho/2022 (direita).

Na inspeção de campo, foi possível observar movimentações distintas. À época da revisão 1, não era possível afirmar se havia movimentação global, porém eventos envolvendo até duas ou três bancadas proporcionaram mobilização significativa de material para jusante. A maior parte das instabilidades ocorreram nos taludes entre bermas, sendo causadas por processos erosivos.

As instabilidades foram definidas inicialmente como independentes, sendo evidente que a deficiência no sistema de drenagem é um dos principais fatores causadores, seja por seu assoreamento ou por suas patologias estruturais, tendo como principal causa a baixa declividade dos dispostivos e elevada extensão até os pontos de desague, além do subdimensionamento do paramento da solução em solo grampeado executada anteriormente. Todavia, não é possível afirmar se o assoreamento ocorreu devido a pequenos processos erosivos, carreamento e deposição de finos que resultaram no galgamento da drenagem ou a movimentações superiores que interromperam o fluxo da drenagem e possibilitaram a movimentação dos taludes inferiores.

3 REVISÃO 01 DO PROJETO

A revisão 01 foi realizada entre os anos de 2022 e 2023 e demandou uma série de inferências e simplificações em função da inacessibilidade ao local na época, impossibilitando investigações de subsuperfície, como sondagens mistas (SM) ou furos de reconhecimento (FR). Entretanto, foram coletados blocos indeformados para realização de ensaios de laboratório, sendo os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Principais resultados dos ensaios de laboratório.

Bloco	γs (kN/m³)	φ' (º)	c' (kPa)	γ (kN/m³)	Índice vazios	IP (%)	Granulometria
Bl-01	28,48	36,5	106,9	19,5	0,59	NP	Silte arenoso
Bl-02	30,40	27,5	20,5	17,3	1,26	23	Silte argilo-arenoso
Bl-03	28,86	31,6	17,3	22,0	1,40	NP	Silte arenoso c/ pouca argila

3.1 Diagnóstico, Setorização e Soluções geotécnicas

Conforme abordado na apresentação do problema, as instabilizações consistem principalmente de processos erosivos e algumas rupturas de pequeno e médio porte entre bancadas. As intervenções geotécnicas almejaram três objetivos principais: recuperar o sistema de drenagem local, evitar o carreamento de materiais para o curso de água a jusante e evitar o desenvolvimento de novos processos erosivos e/ou avanço de instabilidades já existentes.

Buscando otimizar a identificação e proposição de intervenções, o talude foi setorizado, conforme a vista frontal na imagem aérea apresentada na Figura 2. Desta forma, o tratamento foi individualizado para cada setor, buscando atingir o fator de segurança alvo de FS=1,50 localmente, de modo a atender aos critérios mais rigorosos da ABNT NBR 11682 (ABNT, 2009).



Figura 2. Setorização proposta para o talude (vista frontal).

Os setores 1 e 5, no trecho de bermas bem definidas, apresentaram movimentações mais superficiais (com espessura variando entre 0,50 e 1,50 m). A solução adotada nestes locais foi de solo grampeado com faceamento em tela metálica, sendo o espaçamento entre grampos – após dimensionamento – reduzido em relação ao sistema anteriormente instalado no local e que apresentou rupturas devido ao subdimensionamento. Já o setor 2 apresenta processos erosivos de maiores dimensões (ravinas), associados a instabilidades superficiais, resultando em grande movimentação de material para jusante. Para estabilização desta região, foi considerada a execução de chaves granulares intermediárias, complementadas por muro de pedra (aterro de enrocamento), formando bermas de equilíbrio. A Figura 3 apresenta seção tipo dos setores 1 e 5 e do setor 2. O dimensionamento geotécnico nesta etapa utilizou a simplificação de um perfil homogêneo, em razão da impossibilidade de realização de investigação de campo. O dimensionamento desta etapa – assim como a da revisão 02 – atendeu a ABNT NBR 11682 (ABNT, 2009) e a ABNT NBR 16920-2 (ABNT, 2021).

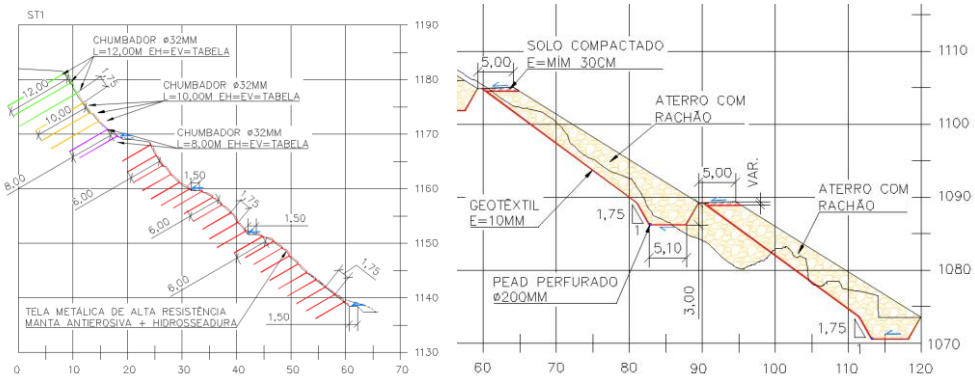


Figura 3. Projeto original – Seções tipo dos setores 1 e 5 (esquerda) e 2 (direita).

Os setores 2.5 e 3 apresentam processos erosivos superficiais com espessuras de até 0,5 m. Para estes, a proposição final das soluções abordou apenas regularização manual do talude, compactação manual da face do talude e execução de bioengenharia. Já o setor 4 apresenta a mesma solução do setor 2, sendo uma continuação deste.

3.2 Soluções de drenagem

Visto que falhas no sistema de drenagem existente constituíram o principal gatilho das instabilidades ocorridas, é fundamental que um novo sistema de drenagem – complementar aos tratamentos geotécnicos – seja implantado. O local anteriormente apresentava canaletas de bancadas (danificadas) e DAD's no flanco oeste do talude, além de alguns dispositivos em uma região na porção inferior do talude.

Foi diagnosticado que os processos erosivos estavam mais avançados no flanco oeste, possivelmente devido à concentração do escoamento para esta região, e nos taludes inferiores, onde existiam poucos dispositivos. Ademais, os dispositivos longitudinais (canaletas) existentes nas bermas apresentam comprimentos aproximados de 200 m, com um único local de deságue, portanto com grande potencial de prejuízos em caso de falha.

A principal proposta para o sistema de drenagem objetivou reduzir as distâncias percorridas pelo fluxo ao longo dos dispositivos longitudinais nos patamares, inserindo mais alinhamentos de direcionamento de água para jusante, por meio de DAD's. Foram implantados três alinhamentos de drenagem transversais ao talude, de modo a reduzir estas distâncias. Nos trechos onde não há bermas que permitam a instalação de canaletas trapezoidais ou retangulares longitudinalmente, foram propostas muretas triangulares.

3.3 Problemas executivos

Ao mobilizar a obra para executar esta revisão 01 do projeto, problemas executivos ocorreram em virtude da complexidade do acesso ao local. O talude apenas era acessível via túnel da ferrovia (por sua crista), demandando percorrer uma distância de cerca de 1 km pelo gabarito ferroviário, o que apresenta grandes desafios logísticos. Já o acesso por seu trecho intermediário demandava passar pelo terreno lindeiro.

Um acesso foi executado a partir do trecho intermediário do talude, passando pelo citado terreno lindeiro. Todavia, novas instabilidades ocorreram ao realizar as escavações para o mesmo, agravadas pela elevada inclinação da encosta. O acesso ocasionou novas instabilidades no talude cortado, que tiveram de ser incorporadas no projeto.

O trecho inferior, onde estava previsto tratamento em aterro de enrocamento, demandou alteração por questões ambientais e de dificuldades para carregamento dos materiais previstos para tal intervenção.

3.4 Campanha de investigação executiva

A revisão 01 de projeto previa a execução de sondagens mistas e coletas de amostras indeformadas para ensaios de laboratório ao longo do talude. As citadas sondagens não foram executadas naquele momento, em

virtude da dificuldade do acesso de equipamentos de grande porte, por questões operacionais e de segurança. Já a coleta de amostras apenas pôde ser realizada em alguns locais, não tendo sido realizada de forma completa.

Com a mobilização da obra, uma sondagem mista (SM-01) pôde ser realizada em um ponto intermediário do acesso. Adicionalmente, visto que equipamentos para execução de solo grampeado estavam mobilizados, foram realizados furos de reconhecimento ao longo do talude, a fim de permitir refinar a interpretação do perfil geotécnico do local. A Figura 4 apresenta a localização destes pontos de investigação, bem como o acesso executado da obra e as áreas de tratamento (a de solo grampeado e a que demandou alteração de projeto). Esta figura foi realizada sobre imagem do *Google Earth Pro* datada de março/2025, após a mobilização da obra.



Figura 4. Imagem após mobilização da obra indicando acesso e investigações geotécnicas executadas (Fonte da imagem de satélite: *Google Earth Pro).*

3.5 Novas interpretações, revisões dos setores e soluções geotécnicas

A seção geotécnica da Figura 5 foi reinterpretada no *Leapfrog Works* a partir da interpolação dos dados da sondagem SM-01 e dos FR's O material natural foi classificado como filito em diferentes graus de intemperismo e a espessura do aterro foi definida com base nos FR's. O refinamento do modelo de alteração considerou a taxa de avanço (min/m) como indicador indireto, associando maiores tempos de perfuração a materiais menos alterados e, consequentemente, mais resistentes. A imagem da direita na Figura 5 mostra, em cada FR, uma escala gráfica indicando o tempo de perfuração. Nota-se que ele é crescente com a profundidade, indicando menor grau de intemperismo à medida que a perfuração atinge profundidades mais elevadas.

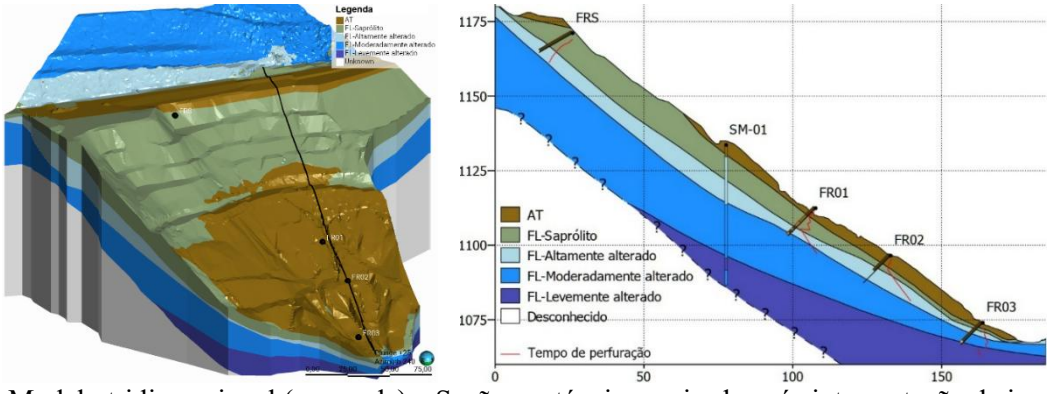


Figura 5. Modelo tridimensional (esquerda) e Seção geotécnica revisada após interpretação da investigação (direita).

4 REVISÃO 02 DO PROJETO

Em função dos problemas encontrados para a execução da porção inferior da obra (item 3.3), foi solicitada a revisão do projeto de forma que a metodologia executiva fosse descencional, sem acessar a porção inferior do talude pela área do lindeiro. Por consequência, dado o elevado volume de material pétreo inicialmente previsto, esta foi a principal necessidade de mudança. Associado a isso, com a investigação realizada e a definição de um modelo geotécnico mais assertivo – além de indicação da revisão de premissas de projeto, principalmente no que tange os fatores de segurança – foi iniciada a revisão do projeto executivo.

A execução do acesso na porção intermediária do talude acabou por gerar um ponto de atenção em termos de estabilidade geral da porção superior do talude como um todo. Em relação às premissas, avaliando as questões relacionadas à definição de FS da ABNT NBR 11682 (ABNT, 2009) e diretrizes internas do cliente, não sendo identificados indícios de possibilidade de rupturas globais de grande porte (envolvendo toda a altura do talude), optou-se por trabalhar com fatores de segurança de 1,5 entre bancadas e entre a crista do talude e o acesso, além de um fator de segurança global e para a porção inferior do talude de 1,3.

Foi realizado um estudo de alternativas contemplantado diferentes soluções substitutivas para o trecho que receberia obras de terraplenagem no projeto original. Para a porção superior do talude, não houve alteração em relação à solução do projeto, exceto para o talude do acesso onde foi dimensionada uma linha de grelhas atirantadas, compensando a escavação do pé do talude. Para a porção inferior, foram estudadas grelhas atirantadas, com diferentes linhas, cortinas atirantadas e soluções mistas de grelha e cortina.

A solução escolhida consistiu em 7 linhas de grelhas atirantadas, com 2 linhas de tirantes em cada grelha. Os tirantes atenderam às especificação da ABNT NBR 5629 (ABNT, 2018). A Figura 6 apresenta o resultado da análise de estabilidade, indicando o FS crítico que ocorre entre o acesso e o pé (FS=1,317).

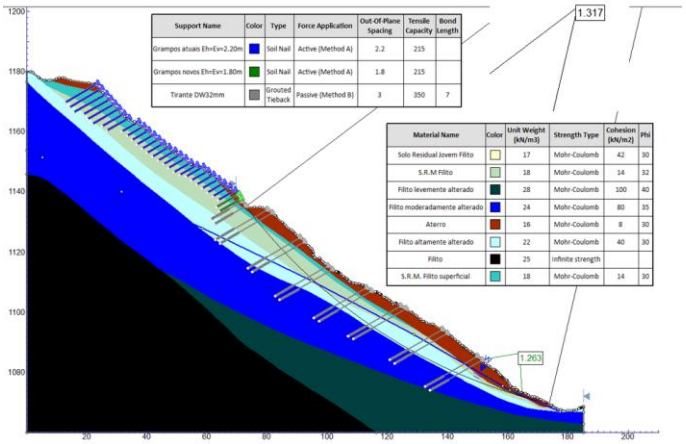


Figura 6. Resultado da análise de estabilidade para projeto revisado.

Novos trechos de tratamento tiveram de ser incorporados em função das mobilizações ocorridas após a abertura do acesso (ao mobilizar a obra) e também em virtude de novas instabilidades (recentes ou não identificadas quando das avaliações iniciais). Estes receberam intervenções de bioengenharia e solo grampeado com faceamento em tela metálica, além de uma linha adicional de grelha atirantada a montante do acesso. A Figura 7 apresenta a configuração final das áreas de tratamento.

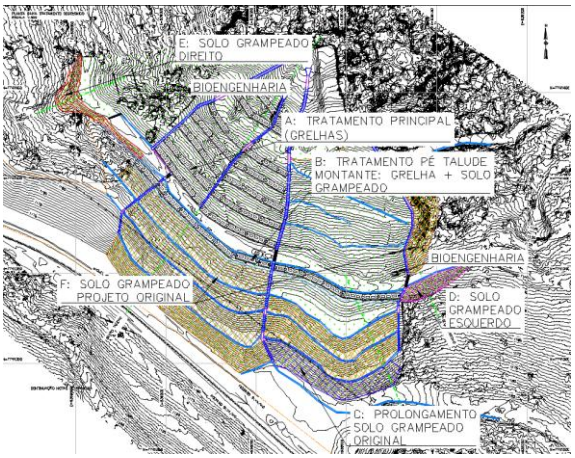


Figura 7. Projeto revisado – configuração final das áreas de tratamento.

O projeto de drenagem buscou seguir as mesmas premissas da revisão 01. Os alinhamentos foram revisados no novo levantamento topográfico para o trecho superior. As diferenças mais importantes estão no trecho inferior, visto que intervenções de terraplenagem foram suprimidas, o que interfere substancialmente no sistema de drenagem. As grelhas foram projetadas para trabalharem tendo sua parede superior atuando como mureta de drenagem, otimizando a execução. Ainda, criou-se um alinhamento de drenagem adicional, sendo este apenas no trecho abaixo do acesso, como pôde ser visualizado na Figura 7 (alinhamentos em azul).

5 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou duas etapas de um projeto de estabilização de talude ferroviário (além da intervenção anterior realizada por outra projetista). É importante destacar o fato que projetos geotécnicos possuem a característica de demandarem adequações com a realidade de campo. Neste caso, ao mobilizar a obra, avaliações puderam ser refinadas, tal condição é frequente em projetos deste tipo. No entanto, outras condições (acesso, necessidade de mudança de escopo) demandaram uma revisão completa do projeto.

O acesso executado ao iniciar a obra permitiu a realização da investigação geotécnica de campo, que possibilitou refinar o modelo geotécnico. No entanto, o mesmo acesso promoveu novas instabilizações, que tiveram de ser incorporadas ao projeto. Devido às questões com o lindeiro e ambientais, o trecho inferior necessitou ter seu escopo alterado, tendo sido modificada uma solução que envolvia terraplenagem (aterro de enrocamento) por uma solução com elementos ativos para atingir o fator de segurança alvo.

A partir da mobilização da obra para execução do novo projeto, acompanhamento técnico será mantido para assegurar que o projeto seja implantado com assertividade, bem como avaliar possíveis modificações necessárias.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às equipes envolvidas em projeto e execução desta obra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). NBR 16920-2. *Muros e Taludes em solos reforçados – Parte 2: Solos grampeados*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 5629. *Tirantes ancorados no terreno – Projeto e Execução*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682. *Estabilidade de Encostas*. Rio de Janeiro.

Endo, I. et al. (2019). *Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000: uma celebração do cinquentenário da obra de Dorr (1969)*. Departamento de Geologia da Escola de Minas – UFOP; Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero. Ouro Preto, MG, BR, 480 p.