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/COBRAMSEG2026.4/3

Alternativas de estabilização de talude em Vitória-ES

Gissele Rocha
Engenheira Geotécnica, Statum Geotecnia, Belo Horizonte, Brasil, gissele.rocha@statum.eng.br

Dorval Horta
Engenheiro Geológico, Statum Geotecnia, Belo Horizonte, Brasil, dorval.horta@statum.eng.br

Igor Andrade
Engenheiro Geotécnico, Statum Geotecnia, Belo Horizonte, Brasil, igor.andrade@statum.eng.br

Hermando Brito
Engenheiro Geotécnico, Vale S.A,, Espírito Santo, Brasil, hermando.brito@vale.com

RESUMO: A estabilização de taludes é uma prática essencial em projetos de infraestrutura linear, como rodovias e ferrovias, especialmente em regiões suscetíveis a processos erosivos e instabilizações geotécnicas. Este artigo apresenta os resultados do estudo de alternativas para estabilização geotécnica do talude localizado no município de Vitória-MG. A área estudada apresenta solos de alteração do arenito pertencente ao Grupo Barreiras, afetados por erosões e deficiência de drenagem superficial. Foram avaliadas três soluções de engenharia: (1) solo grampeado, (2) cortina atirantada, e (3) solução mista (solo grampeado + cortina atirantada). As análises atenderam à ABNT NBR 11.682/2009, sendo que todas as alternativas alcançaram fatores de segurança (FS) ≥ 1,50. A Alternativa 03 apresentou maior fator de segurança, porém com maior custo e complexidade. A Alternativa 01 se destacou por sua execução mais simples, menor impacto ambiental e financeiro, sendo considerada a solução adequada com menor escore (19) na matriz de impacto do estudo. Adicionalmente, foi previsto um sistema de drenagem superficial comum às três alternativas para assegurar o desempenho a longo prazo. Este estudo representou uma etapa preliminar de engenharia, com soluções sujeitas a ajustes conforme os resultados de futuras investigações geotécnicas. A abordagem adotada permitiu a escolha técnica embasada e sustentável, considerando os múltiplos aspectos que envolvem obras de estabilização em infraestruturas ferroviárias críticas.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade, Talude, Segurança.

ABSTRACT: Slope stabilization is an essential practice in linear infrastructure projects, such as highways and railways, especially in regions susceptible to erosive processes and geotechnical instabilities. This paper presents the results of a study on alternatives for geotechnical stabilization of the slope located in the municipality of Vitória-ES. The area of study consists of altered soils of sandstone belonging to the Barreiras Group, affected by erosion and deficient surface drainage. Three engineering solutions were evaluated: (i) anchored soil, (ii) tieback wall, and (iii) mixed solution (anchored soil + tieback wall). Analyses were conducted in accordance with ABNT NBR 11.682/2009, and all alternatives achieved safety factors (FS) ≥ 1.50. Alternative 03 exhibited the highest FS but also the greatest cost and complexity. Alternative 01 stood out as the most feasible solution, with lower environmental and financial impacts, achieving the lowest score (19) in the impact matrix. In addition, a surface drainage system is planned for all three alternatives to ensure long-term geotechnical performance. This study represents a preliminary stage of engineering design, with solutions subject to adjustments depending on the results of future geotechnical investigations. The adopted approach enabled a technically sound and sustainable choice, considering the multiple aspects involved in stabilization works for critical railway infrastructure.

KEYWORDS: Stability, Slope, Safety.

1 INTRODUÇÃO

Em projetos ferroviários, a estabilidade de taludes é um tema crítico, sendo amplamente abordada na literatura técnica e em normas específicas (ABNT NBR 11682, 2009; Hoek & Bray, 1981; Duncan & Wright, 2005; FRA, 2009). Taludes instáveis além de representarem riscos significativos à segurança de pessoas, à operação de empreendimentos e ao meio ambiente, podem ainda resultar em acidentes, paralisações logísticas e altos custos de reparo (Terzaghi et al., 1996; Network Rail, 2013). Por isso, estudos técnicos adequados, que considerem critérios geológicos, hidrológicos, econômicos e ambientais, são fundamentais para garantir a sustentabilidade e a eficiência de soluções de contenção e estabilização (FHWA, 2003; ABGE, 2010).

No município de Vitória-ES, foi identificado um trecho da ferrovia em instabilidade, exigindo estudos detalhados para definição de intervenções adequadas. De acordo com o histórico do local e da inspeção realizada em campo, a área em questão foi afetada por escorregamentos, erosões e ineficiência dos dispositivos de drenagem superficial, que comprometeram a segurança e trafegabilidade da linha férrea, necessitando de levantamentos, estudos e intervenções imediatas para sua estabilização.

O presente artigo apresenta o estudo de alternativas para estabilização do talude, integrando diagnóstico geológico-geotécnico, análises de estabilidade, custos e impactos ambientais no qual são apresentadas alternativas para a sua estabilização, juntamente com a respectiva solução de drenagem superficial. Cabe destacar que todos os dados geológico-geotécnicos, nesta etapa de trabalho, basearam-se em observações de campo, na geologia regional e nos dados de investigações realizadas próximo a área de estudo.

2 METODOLOGIA

2.1 Estudos Geológicos

A área de mapeamento foi definida no entorno do talude e apresentou ocorrência de solos de alteração do arenito pertencente ao Grupo Barreiras. O mapa geológico-geotécnico elaborado para a região do talude de estudo é apresentado na Figura 1.

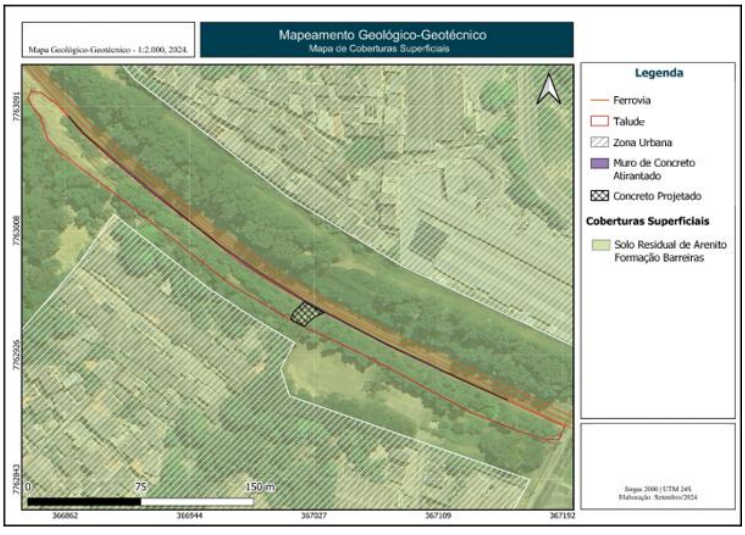


Figura 1. Mapa geológico-geotécnico de coberturas superficiais elaborado para a região do Talude Vitória.

2.1.1 Solo Residual de Arenito

Os produtos de alteração do arenito representam a ocorrência mais abundante em superfície no talude mapeado, e são associados ao Grupo Barreiras. Trata-se de um material areno-siltoso, localmente arenoso com presença de pedregulhos, de coloração rosada, apresentando tons mais amarelados nos locais onde é encontrado sob grau de alteração mais elevado (Figura 2).



Figura 2. Afloramentos de alteração do arenito, com coloração amarelada e rosada, identificados durante o mapeamento geológico-geotécnico da área.

2.2 Estudos Geotécnicos

O talude é formado por maciço terroso, com características granulométricas arenosas a siltosas. No entanto, em função da ausência, nesta fase de estudo, de investigações geológico-geotécnicas, algumas considerações foram necessárias para a definição dos parâmetros geotécnicos dos materiais que o compõem. Salienta-se que nessa fase do estudo, de modo conservador, considerou-se todo o talude composto por solo residual.

A priori, para definição dos parâmetros de resistência do solo residual, foram realizadas correlações com os valores de N_{SPT} referente as investigações realizadas próximo a área de estudo. Porém, devido a presença de concreções no solo, o valor obtido pode ser incoerente com a realidade, com isso, para uma melhor assertividade, foi realizada retroanálise na seção de estudo. Na Tabela 1, é apresentada a compilação dos parâmetros geotécnicos do material estimado para as análises de estabilidade da condição atual do talude, tais como peso específico natural (γ_{nat}), coesão efetiva (c') e ângulo de atrito interno efetivo (ϕ').

Para fase futura do estudo, foi elaborado um plano de investigações para identificar o perfil litológico do terreno, bem como os índices físicos e parâmetros de resistências dos materiais componentes do maciço em estudo.

Tabela 1. Parâmetros Considerados (Retroanálise).

Material	γ_{nat} (kN/m^3)	c' (kPa)	ϕ'(°)
Solo Residual de Arenito	20	15	32

2.3 Modelo Geológico-Geotécnico

O modelo geológico-geotécnico da seção de análise do talude foi desenvolvido considerando-se os dados obtidos no mapeamento, no diagnóstico geológico-geotécnico, na topografia, bem como na geologia regional presente mapeamento geológico do Espírito Santo, elaborado pelo Departamento de Geologia da Superintendência Regional de Belo Horizonte (CPRM, 2014). Vale ressaltar que o modelo geológico-geotécnico preliminar contempla o afloramento de solo de alteração de arenito, pertencente ao Grupo Barreiras, bem como sua continuidade em profundidade, incorporado às variações litológicas de alteração desse litotipo (solo residual e saprolito).

A Figura 3 ilustra a representação em planta da seção do modelo geológico-geotécnico do Talude, enquanto a Figura 4, o perfil do modelo desenvolvido para avaliação da estabilidade do talude, cujas análises são apresentadas nos itens conseguintes. Ressalta-se que para escolha da seção crítica, foi levado em consideração a inclinação e altura do talude.

Observa-se que, uma vez que não há informações relacionadas aos tirantes instalados ao longo do muro de concreto na base do talude, este estudo optou por desconsiderá-los nas análises para definição das alternativas de forma conservadora.

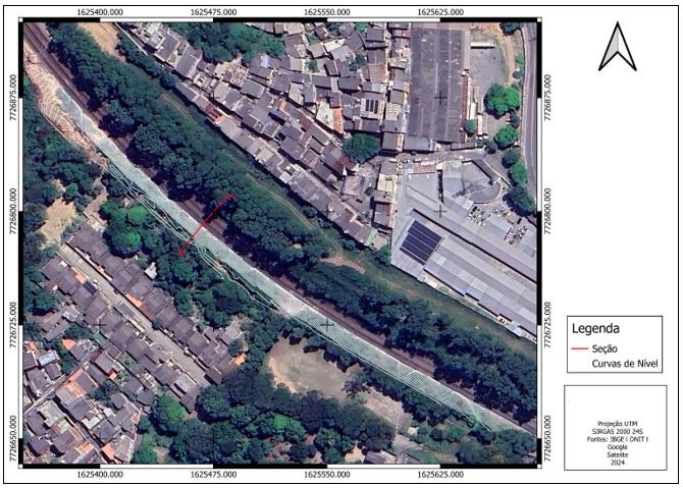


Figura 3. Representação, em planta, da seção de análise do Talude.

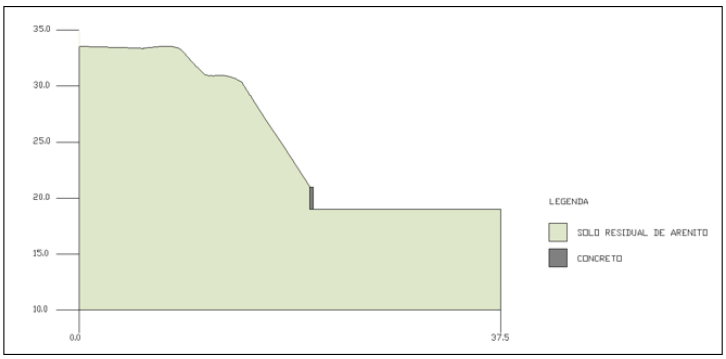


Figura 4. Perfil geológico-geotécnico do Talude.

3 ALTERNATIVAS PROPOSTAS

O talude em estudo se trata de um talude de corte subverticalizado, com altura total de, aproximadamente, 15,00 m, com presença de cobertura vegetal e existência de estrutura ferroviária a jusante.

As análises de estabilidade foram desenvolvidas considerando-se os critérios discriminados na norma ABNT NBR 11.682/2009, que apresenta as diretrizes para a estabilidade de encostas. Avaliou-se três diferentes métodos de análises (Spencer, Morgenstern e Sarma), sendo considerados como fatores de segurança resultantes as análises obtidas por Sarma. Ademais, foram considerados os níveis de segurança alto, referente a perda de vidas humanas, e médio, referente a danos materiais e ambientais, uma vez que a instabilização do talude pode inviabilizar a operação da ferrovia por um período. Portanto, definiu-se, como valor de fator de segurança (FS) mínimo admissível para o talude, 1,50. Em função das características do solo identificado na região do talude, as análises de estabilidade foram conduzidas admitindo-se análises não circulares.

Para a condição atual do talude, como não foi identificado surgência na base, o NA foi inferido em maior profundidade. Realizou-se a análise de sensilibilidade do nível d'água e verificou-se que ele não influencia nos resultados das análises. A posição da freática adotada pode ser visualizada nas alternativas apresentadas nos itens subsequentes.

Vale observar que, as soluções propostas nas três alternativas, foram aplicadas acima do muro existente. O muro presente na base do talude foi mantido, uma vez que não é possível afirmar que a sua remoção poderá ou não desencadear alguma movimentação no talude, por isso foi prevista a instalação de duas linhas de grampo (na base e no topo). Chama-se a atenção que em alguns trechos do muro, os tirantes foram danificados (romperam ou perderam a proteção da cabeça do tirante), podendo ser observada pequena movimentação entre alguns desses módulos. Recomenda-se que esses tirantes sejam recuperados e se necessário sejam instalados novos tirantes para substituição dos tirantes danificados.

Ressalta-se que foi considerada sobrecarga no talude, segundo a norma NBR 11.682/2009 que preconiza que em toda obra de contenção deverá ser adotada uma sobrecarga acidental mínima de 20 kPa.

3.1 Alternativa 01 – Solo Grampeado

Para esta alternativa é proposta a execução de linhas de grampo (solo/rocha grampeado), de maneira a garantir a estabilidade do maciço. O solo grampeado é uma técnica passiva de reforço do terreno natural ou escavado que consiste, basicamente, na intrusão do grampo no terreno, sendo a estabilidade assegurada pelas forças de atrito que se desenvolvem na interface solo-grampo. Os grampos, por serem elementos passivos, só são mobilizados quando ocorre deformação da massa de solo reforçada.

Para a execução da estabilização, foi considerada a instalação de 8 linhas, com comprimento de 9,00 m, inclinação de 15º em relação à horizontal, no qual foram distribuídos em duas malhas, sendo, as 06 primeiras linhas (topo para a base) com uma malha de 1,80 m na vertical por 2,00 m na horizontal, e as últimas 02 linhas (porção inferior do talude) com malha de 1,50 m na vertical por 2,00 m na horizontal. Além disso, as análises foram desenvolvidas adotando-se barras de aço GEWI 32 mm (ou similar), instaladas em furos com diâmetro de 100 mm (Figura 5). Ademais, como proteção de face do talude, sugere-se a implantação de geocomposto formado por geomanta e tela metálica ou a execução de concreto projetado, a fim de se evitar carreamento de solo, conter processos erosivos existentes e prevenir contra o desencadeamento de novos processos instabilizantes. Indica-se também a instalação de barbacãs na base do talude, de maneira a drenar eventuais fluxos percolados no talude.

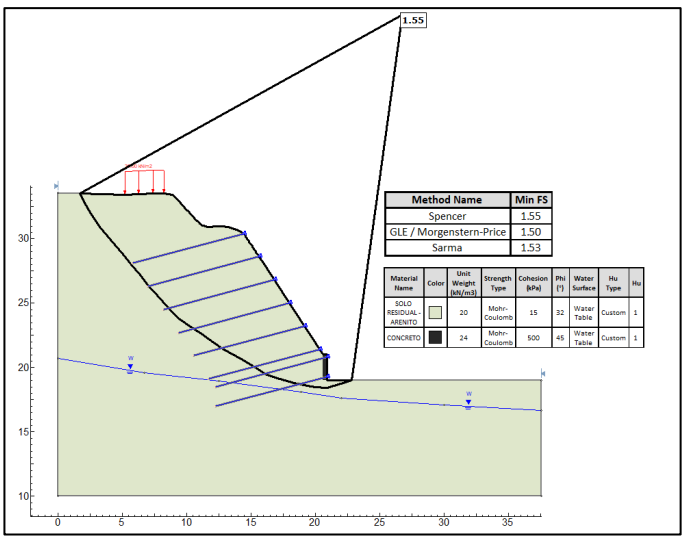


Figura 5. Solo Grampeado – Ruptura não circular.

3.2 Alternativa 02 – Viga/Cortina Atirantada

A solução de engenharia proposta como Alternativa 02 consiste na execução de linhas de tirantes em toda face do talude, sendo executado como vigas/cortinas atirantadas, este último na porção inferior do maciço, de forma a garantir a estabilidade global. A viga/cortina atirantada é uma técnica ativa de estabilização de maciços terrosos e rochosos que consiste, basicamente, na intrusão do tirante e a sua protenção no maciço, sendo o elemento intrusivo dividido em dois trechos: o livre e o ancorado em uma zona resistente (bulbo de tensão).

Para a execução da estabilização, foi definido tratamento composto por 8 linhas de tirantes, sendo as 06 primeiras (topo para a base) considerando vigas atirantadas, com 9,00 m de comprimento, possuindo um trecho ancorado de 50%, inclinação de 15º em relação à horizontal, distribuídos em uma malha de 1,80 m na vertical e 2,0 m na horizontal. Já as últimas duas linhas, com emprego de cortina atirantada, com comprimento de 8,00 m, possuindo um trecho ancorado de 50 %, inclinação de 20° em relação a horizontal e uma malha de 1,50 m

na vertical e 2,0 m na horizontal. Além disso, as análises foram desenvolvidas adotando-se barras de aço GEWI 32 mm (ou similar), instaladas em furos com diâmetro de 100 mm (Figura 6). Ademais, como proteção de face do talude, sugere-se a implantação de concreto projetado, para se evitar carreamento de solo, conter processos erosivos existentes e prevenir contra o desencadeamento de novos processos instabilizantes.

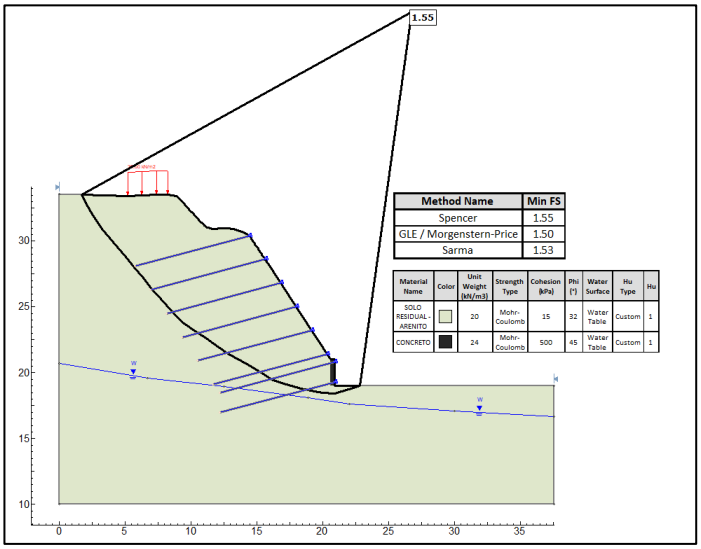


Figura 6. Viga/Cortina Atirantada – Ruptura não circular.

3.3 Alternativa 03 – Solução Mista (Solo Grampeado + Cortina Atirantada)

Para a Alternativa 03 é proposta uma solução mista, com a junção das alternativas 01 e 02 apresentadas nos itens 3.1 e 3.2. Para a execução do solo grampeado, foi considerada a instalação de 7 linhas (topo para a base), com comprimento de 9,00 m, inclinação de 15º em relação à horizontal, no qual foram distribuídos em uma malha 1,50 m na vertical por 2,00 m na horizontal.

Já para execução da cortina atirantada, foi definido tratamento composto por 2 linhas de tirantes, com 9,00 m de comprimento, possuindo um trecho ancorado de 50%, inclinação de 15º em relação à horizontal, distribuídos em uma malha de 1,50 m na vertical e 2,0 m na horizontal (Figura 7).

Além disso, as análises para o grampeamento e para a cortina atirantada foram desenvolvidas adotando-se barras de aço GEWI 32 mm (ou similar), instaladas em furos com diâmetro de 100 mm. Como proteção de face do talude, sugere-se a implantação de geocomposto formado por geomanta e tela metálica ou a execução de concreto projetado.

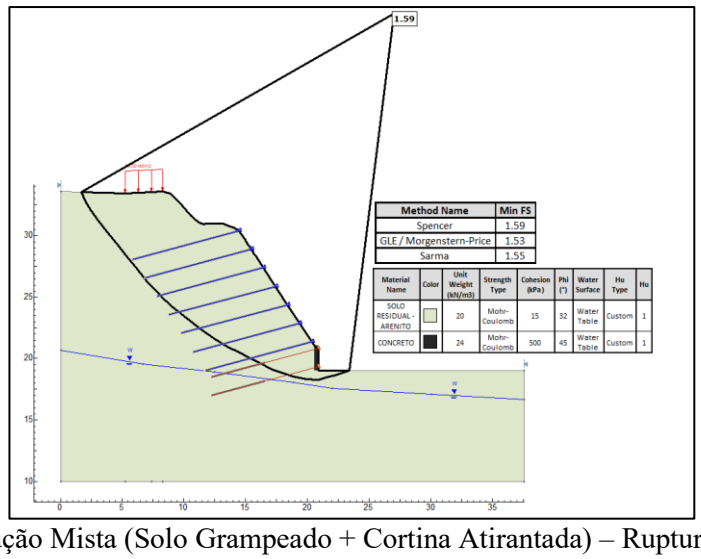


Figura 7. Solução Mista (Solo Grampeado + Cortina Atirantada) – Ruptura não circular.

3.4 Matriz de Impacto

Segundo a NBR 11.682 (ABNT, 2009), a escolha da solução a ser adotada no projeto de estabilização deve levar em conta a caracterização do mecanismo de instabilização, a elaboração de modelo geológico-geotécnico das condições locais e um estudo de alternativas de projeto em que sejam considerados: acessos, condições de operação de equipamento, disponibilidade de materiais, local adequado para bota-fora; dificuldades construtivas, interferências com instalações existentes, implicações ambientais, dificuldades de manutenção, segurança da equipe e dos equipamentos envolvidos na construção, além dos custos e prazos do empreendimento.

Para tal, foi elaborado a Matriz de Impacto da Obra, baseada nas experiências da projetista e da contratada, a fim de elencar as soluções apresentadas em cada trecho. Devido a tal indicação, os níveis de impactos foram definidos a partir dos seguintes aspectos semiquantitativos: a) Tempo de obra; b) Impacto ambiental, devendo considerar emissões de carbono; c) Impacto nas comunidades locais, ou pelos caminhos de acesso, com pessoas, equipamentos e materiais; d) Financeiro; e) Risco relacionados a Saúde & Segurança e f) Técnica adotada.

Os impactos foram mensurados de maneira quantitativa, no qual cada critério possui um peso relativo a cada uma das três soluções apresentadas para o talude em estudo. Conforme a metodologia, o impacto de cada solução é dado pela somatória dos pesos de cada um dos níveis de impacto. Quanto maior o impacto maior a nota do nível do impacto. Considerando que todas as classes de impacto possuem o mesmo peso, o menor resultado da soma das notas desses impactos, relativas as opções A, B e C será eleita a 1ª colocada.

Para o trecho do Talude Vitória, foram apresentadas as seguintes soluções avaliadas pela Matriz de Impacto: (i) Solução A: Solo Grampeado; (ii) Solução B: Viga/Cortina Atirantada; e (iii) Solução C: Solução Mista (Solo Grampeado + Cortina Atirantada). Para a quantificação apresentada na matriz foi considerada a classificação crescente para os valores de 1 a 5, portanto, o valor um (1) representa o menor nível de impacto identificado e o valor cinco (5) o maior nível. A Figura 8 apresenta a classificação obtida para o Talude Vitória.

NÍVEL DO IMPACTO	1	2	3	4	5
IMPACTO TEMPO			A		
					B
				C	
IMPACTO AMBIENTAL			A		
			B		
			C		
IMPACTO COMUNIDADES				A	
				B	
				C	
IMPACTO FINANCEIRO			A		
					B
				C	
IMPACTO SAÚDE & SEGURANÇA			A		
				B	
				C	
IMPACTO TÉCNICO			A		
				B	
				C	

Figura 8. Matriz de Impacto das 3 soluções do talude.

A Tabela 2 apresenta a somatória dos níveis de impactos de cada uma das soluções, no qual o menor valor da somatória indica o menor impacto. A solução A (Alternativa 01 – Solo Grampeado) por possuir nível com valor de 19, é considerada a solução com menor impacto.

Tabela 2. Nível de impacto total.

Soluções	Nível de Impacto Total
A	19
B	25
C	23

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base em mapeamento geológico-geotécnico, inspeções de campo e dados secundários, foram propostas três soluções de engenharia: (1) Solo Grampeado, (2 Viga/Cortina Atirantada, e (3) Solução Mista (Solo Grampeado + Cortina Atirantada). Cada alternativa foi analisada em termos de estabilidade, viabilidade técnica, impacto ambiental, custo e segurança operacional, utilizando como base os critérios da norma ABNT NBR 11.682/2009. Foi realizada também a análise de sensilibidade devido à incerteza do nível d'água (N.A.) e verificou-se que o N.A. não é fator predominante neste estudo.

As análises de estabilidade indicaram que todas as alternativas apresentaram fator de segurança superior ao mínimo exigido (FS ≥ 1,50). A Alternativa 03 (solução mista) apresentou maior fator de segurança, porém com maior custo e complexidade construtiva. A Alternativa 01 (solo grampeado) se destacou por sua execução mais simples, menor impacto ambiental e financeiro, sendo considerada a solução com menor impacto segundo a matriz de impacto desenvolvida para o estudo.

A matriz de impacto semiquantitativa avaliou seis critérios: tempo de obra, impacto ambiental, impacto nas comunidades, custo, saúde e segurança, e complexidade técnica. A Alternativa 01 obteve o menor escore de impacto (19), seguida pelas alternativas 03 (23) e 02 (25), sendo indicada como a mais vantajosa no contexto atual do estudo. Adicionalmente, foi previsto um sistema de drenagem superficial comum às três alternativas, composto por canaletas e descidas d'água em degraus, para assegurar o desempenho geotécnico a longo prazo.

Este estudo representou uma etapa preliminar de engenharia, com soluções sujeitas a ajustes conforme os resultados de futuras investigações geotécnicas. A abordagem adotada, apesar das simplificações consideradas nas análises realizadas e as limitações dos resultados, permitiu a escolha técnica embasada e sustentável, considerando os múltiplos aspectos que envolvem obras de estabilização em infraestruturas ferroviárias críticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (2010). *Cartilha de Estabilidade de Encostas.* Rio de Janeiro.

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

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). (2014). *Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil – PLGB.* Brasília: CPRM.

Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*. John Wiley & Sons, p.228.

Federal Railroad Administration (FRA). (2009). *Track Design Handbook for High-Speed Rail*. Washington, DC.

Federal Highway Administration (FHWA). (2003). *Soil Slope and Embankment Design*. Publication No. FHWA-NHI-05-123.

Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). *Rock Slope Engineering*. Institution of Mining and Metallurgy.

Network Rail (UK). (2013). *Earthworks Technical Specification* NR/L2/CIV/086.

Terzaghi, K., Peck, R.B. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd ed., McGraw Hill, New York, NY, USA, 685 p.