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/COBRAMSEG2026.4/49

Comparativo técnico de obras de estabilização para taludes rodoviários: Estudo de caso da BR-476

Tatiana Thaiza Koerner
Engenheira Civil de Infraestrutura, Blatt Engenharia, Joinville, Brasil, tatiana.koerner@gmail.com

Julián Asdrubal Buriticá García
Professor, Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, Joinville, Brasil, julianburitica@gmail.com

Eduardo Montoya Botero
Engenheiro Civil, Ministério das Cidades, Brasília, Brasil, embotero@gmail.com

RESUMO: O modal rodoviário é o principal sistema de transporte no Brasil; no entanto, a instabilidade de taludes em rodovias tem causado prejuízos significativos tanto aos usuários quanto à administração pública. Em razão disso, estudos sobre as causas dessas instabilidades e sobre métodos de estabilização, incluindo o uso de estruturas de contenção, tornaram-se essenciais. Este trabalho apresenta alternativas de estruturas de contenção para uma instabilidade de talude localizada no quilômetro 12,5 da rodovia BR-476/PR. A rodovia sofreu diversas rupturas ao longo de um trecho de 18 km, durante um período de precipitações acima da média da região. Foram realizadas análises de estabilidade determinísticas para diferentes soluções geotécnicas. A partir dos resultados obtidos, conclui-se que as alternativas 2 (cortina atirantada), 3 (solo grampeado) e 4 (solução mista cortina atirantada/solo grampeado) atendem aos fatores de segurança exigidos pela NBR 11682:2009. No entanto, observou-se que a solução com solo grampeado, em comparação às soluções mistas, é geralmente mais econômica. Além disso, variáveis como custo, prazos, disponibilidade de equipamentos, limitações geométricas da faixa de domínio, recursos disponíveis, condições ambientais, como a supressão vegetal, e a disponibilidade de áreas para bota-fora e empréstimos devem ser devidamente avaliadas

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade de taludes, Solo grampeado, Cortina atirantada, Estruturas de Contenção.

ABSTRACT: Road transportation is the primary mode of transportation in Brazil; however, the occurrence of slope instabilities on highways has caused significant losses to both users and the public administration. As a result, studies on the causes of these instabilities and methods for slope stabilization using retaining structures have become essential. This paper presents alternative containment structures for a slope instability located at kilometer 12.5 of the BR-476/PR highway. The highway experienced several ruptures along an 18 km stretch during a period with precipitation levels above the region's average. Deterministic stability analyses were performed for different geotechnical solutions. Based on the results obtained, it is concluded that alternatives 2 (anchored walls), 3 (soil nailing), and 4 (mixed solution: anchored walls/soil nailing) meet the safety factors required by NBR 11682:2009. However, it was found that the soil nailing solution is generally more cost-effective when compared to mixed solutions. Additionally, variables such as cost, timelines, equipment availability, geometric limitations of the right-of-way, available resources, environmental conditions (including vegetation clearance), and the availability of spoil disposal and borrow areas should be carefully evaluated.

KEYWORDS: Slope stability, Soil nailing, Anchored walls, Retaining walls.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico do Brasil está fortemente relacionado ao sistema de transporte rodoviário, uma vez que a matriz de transportes Brasileira é bastante desequilibrada. Segundo a Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2021), em 2021, o modal rodoviário foi responsável por 64,9% da matriz nacional de transporte de carga e mais de 90,0% do segmento de circulação de passageiros. Além disso, o setor garante o emprego de 1,5 milhão de pessoas e representa entre 6% e 7% do Produto Interno Bruto (PIB) (Souza,

2021). Tendo em vista o papel primordial que o sistema rodoviário exerce no país, o funcionamento e o estado de conservação das rodovias são fundamentais para garantir a segurança e conforto dos usuários, bem como para promover um transporte com eficiência e qualidade.

Todo ano no Brasil, especialmente nas rodovias em regiões de serra, apresentam-se diversas ocorrências relacionadas a processos de instabilidade de taludes que geram perdas econômicas, perdas de vidas humanas e problemas ambientais.

As ocorrências de instabilidade de taludes podem ser minimizadas ou evitadas por meio da implementação de soluções técnicas, como obras de retaludamento, revestimento superficial, drenagem e diversos tipos de estruturas de contenção.

Considerando a relevância do tema, neste trabalho foi realizada uma avaliação técnica de alternativas de contenção para uma ocorrência de instabilidade de talude ocorridas na rodovia BR-476/PR depois de um período com precipitações intensas. Foram realizadas análises comparativas entre a técnica de retaludamento já existente, com alternativas de contenção, como solo grampeado e cortina atirantada. Posteriormente, foi analisada a solução conjunta com solo grampeado e cortina atirantada. Para isso, foram definidos parâmetros geotécnicos, foi criado um modelo geotécnico representativo da ocorrência e realizadas análises de estabilidade global das soluções propostas, permitindo, a partir dos resultados obtidos, a escolha da solução mais adequada.

2 METODOLOGIA

Neste trabalho foi realizado um estudo de caso onde foram analisadas várias alternativas de estruturas de contenção para uma ocorrência de instabilidade num talude rodoviário da BR 476-PR. Devido à exigência de altos níveis de segurança nas condições de projeto, as análises de estabilidade de taludes foram feitas por meio de simulações no programa Slope/W, pacote do software Geostudio 2023, utilizando o método rigoroso de Morgenstern e Price (1965).

2.1 Área de estudo

O local de estudo está situado na BR-476/PR, rodovia que possui cerca de 370 km de extensão, iniciando-se na divisa SP/PR, na Cabeceira Norte da ponte sobre o Rio Ribeira, e passando pelos municípios de Adrianópolis, Tunas do Paraná, Bocaiúva do Sul, Curitiba, Araucária, Contenda, Lapa e São Mateus do Sul, estendendo-se até o entroncamento com a BR-466(B), na divisa PR/SC, entre União da Vitória e Porto União. O trecho onde ocorreram as instabilidades é popularmente conhecido como “Rastro da Serpente”, devido à sinuosidade da estrada. A ocorrência estudada neste trabalho situa-se no km 12,5 e refere-se à instabilidade de um talude de corte, conforme mostrado na Figura 1.



Figura 1. Ocorrências analisada do km 12,5

2.2 Modelo geotécnico das ocorrências e condições iniciais

Para a obtenção dos parâmetros geotécnicos representativos, foram utilizados os resultados de um ensaio de cisalhamento direto realizado em uma amostra superficial, bem como correlações empíricas com base em quatro sondagens mistas executadas nas proximidades da ocorrência do km 12,5. O ângulo de atrito foi obtido por meio da média dos valores estimados pelas correlações empíricas utilizadas: Alonso (1983) e Teixeira

(1996) e Godoy (1983) Apud Cintra (2011). As sondagens mistas indicaram a presença de um solo superficial composto por silte argiloso marrom, de consistência mole, até 3,0 m de profundidade, com NSPT médio de 6 golpes. Em seguida, até 7,0 m de profundidade, foi identificado um silte argiloso marrom-avermelhado, de consistência média, com NSPT médio de 8 golpes. A partir dessa profundidade, até o final das sondagens, foi observado um silte argiloso marrom-escuro, com NSPT médio de 31 golpes. Em alguns casos, as sondagens indicaram a presença de saprólito de filito alterado. Mais detalhes sobre a justificativa dos parâmetros podem ser encontrados em Koerner (2024). O fator de segurança da condição inicial após os movimentos de massa, o perfil geotécnico e os parâmetros representativos dos materiais são apresentados na Figura 2.

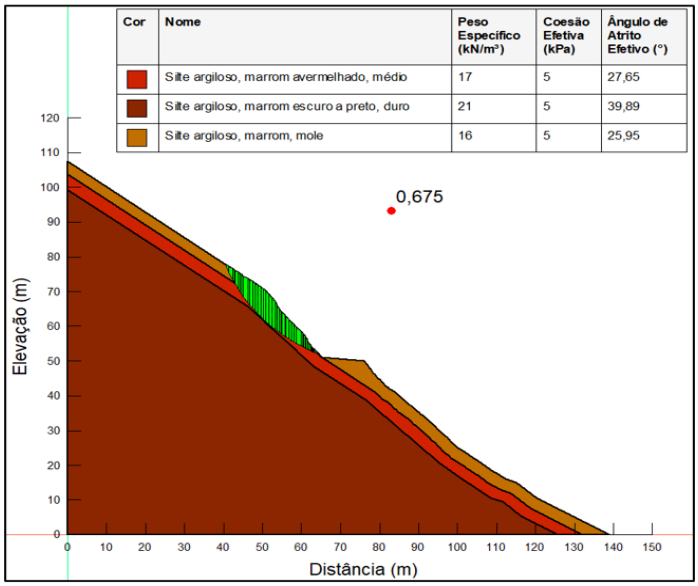


Figura 2. Fator de segurança na condição inicial e parâmetros dos materiais

Com base nos resultados obtidos, constata-se que o fator de segurança calculado não atende ao mínimo de 1,0, o que mostra que é um processo superficial ativo que representa uma situação de instabilidade. Assim, é necessário projetar uma solução de modo a tornar o talude seguro ao tráfego.

3 ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE CONTENÇÃO

A solução adotada pela empresa responsável da solução emergencial da ocorrência foi um retaludamento de 1H:1V com banquetas de 4 m de largura a cada 8 m de altura. A partir dessas informações, foi realizada uma nova avaliação de fator de segurança correspondente (Figura 3).

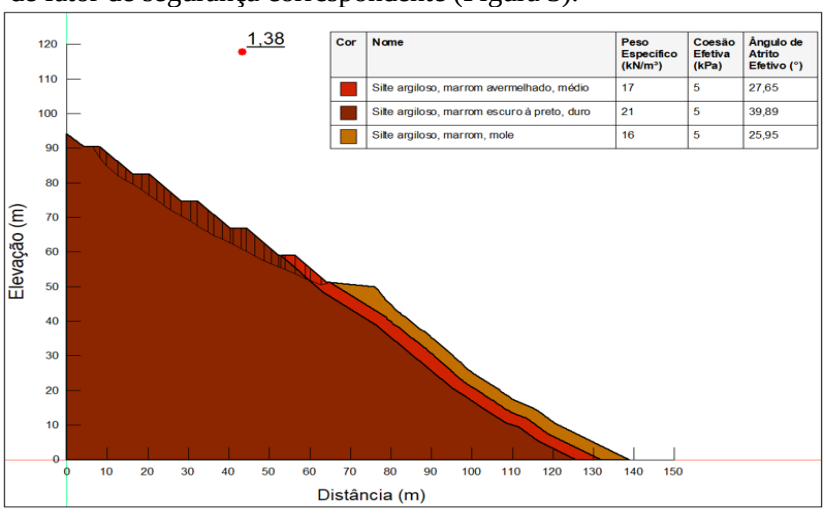


Figura 3. Fator de segurança para o retaludamento

O fator de segurança obtido para o retaludamento foi de 1,38 o que mostra que a solução é estável, mas apresenta um fator de segurança abaixo de 1,50 que é o recomendado para taludes rodoviários com essas características.

Para atender o fator de segurança mínimo de 1,5, neste trabalho foram realizadas análises comparativas de quatro possíveis soluções para a ocorrência em questão, considerando como possibilidades de solução a técnica de retaludamento, solo grampeado, cortina atirantada e soluções mistas.

A primeira alternativa consiste numa cortina atirantada de 10 metros de altura com espaçamento vertical e horizontal entre tirantes de 2m, seguido de um retaludamento de 1H:1V com a criação de banquetas de 4m. Para pré-dimensionamento dos tirantes foi utilizado o método de Bustamante e Doix (1985), considerando a ancoragem na camada de silte argiloso duro, com Nspt igual a 31 golpes.

Para o dimensionamento dos tirantes foi considerado tirante monobarra Dywidag ST 85/105 de Ø32mm com carga de trabalho de 350kN diâmetro e bulbo de 22,5 cm de diâmetro.

De acordo com CFEM (2006) e Gerscovich (2016), a profundidade do tirante é determinada pela distância do bulbo em relação à linha de ruptura, neste caso, (0,15).H, onde H representa a altura do corte. Como o corte do terreno apresenta uma altura de 10 metros, a distância entre o bulbo e a linha de ruptura é de 1,5 metros. Respeitando essa profundidade e o comprimento ancorado fixado em 5m, os comprimentos totais e o resultado da análise de estabilidade apresentam-se respectivamente na Figura 4.

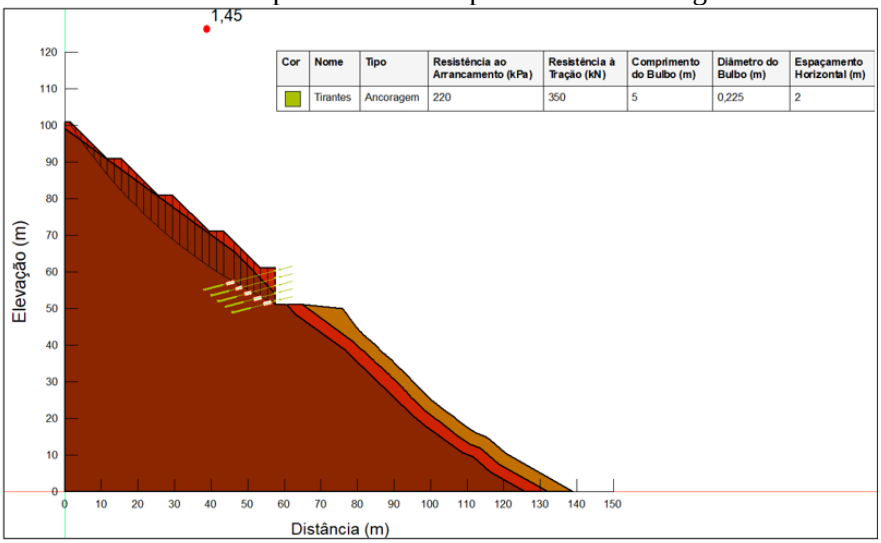


Figura 4. Alternativa 1 Cortina atirantada com tirantes Ø32mm, Sv=Sh=2,0m

A alternativa 2 (Figura 5) apresenta a mesma solução de cortina atirantada e retaludamento, com espaçamento vertical de 2,0 m e espaçamento horizontal de 1,75 m com a finalidade de atingir um fator de segurança mínimo de 1,50.

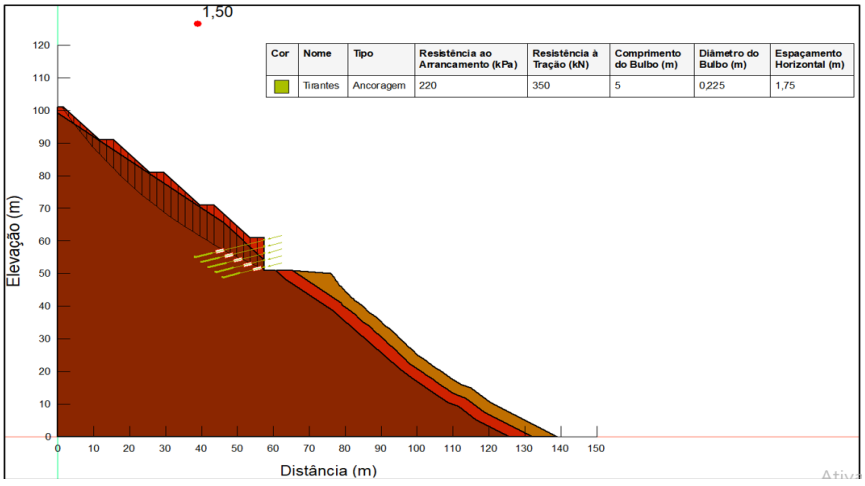


Figura 5. Alternativa 2 Cortina atirantada com tirantes Ø32mm, Sv=Sh=1,75m

A Figura 6 apresenta um detalhamento da distribuição dos tirantes e os seus respectivos comprimentos para a alternativa 1 e alternativa 2. Nestas duas soluções a única diferença é o espaçamento horizontal. Para a alternativa 1 o espaçamento horizontal é de 2,0 m e para a alternativa 2 o espaçamento horizontal é de 1,75.

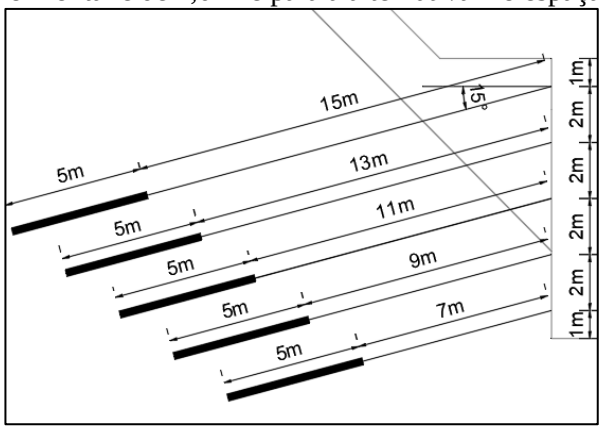


Figura 6. Detalhes dos tirantes para a alternativa 1 e alternativa 2.

A alternativa 3, é uma solução de solo grampeado e retaludamento com ângulo de 60º, face de 8m com duas bermas de 4m. A resistência a tração dos grampos CA-50 de Ø32mm, com carga de trabalho de 200kN e diâmetro de perfuração de 10 cm.

O espaçamento vertical e horizontal é de 1,25m, com 6 linhas de grampos em cada face de inclinação do talude; O espaçamento do topo do talude até a primeira fileira de grampos é de 0,95m. O espaçamento entre a última fileira de grampos e o pé do talude é de 0,80m. A inclinação dos grampos adotado é de 15º em relação a horizontal com comprimento dos grampos limitado em 15m.

Se deve garantir uma aderência entre o grampo e o solo de no mínimo 76,40kPa, e como calculado anteriormente, conforme literatura, se pode conferir que para solo de silte argiloso mole com no Nspt de 6 golpes, a aderência é de 99,72kPa, ou seja, é satisfatório para o grampo utilizado. Á seguir, apresenta-se o resultado da análise de estabilidade para essa proposta (Figura 7).

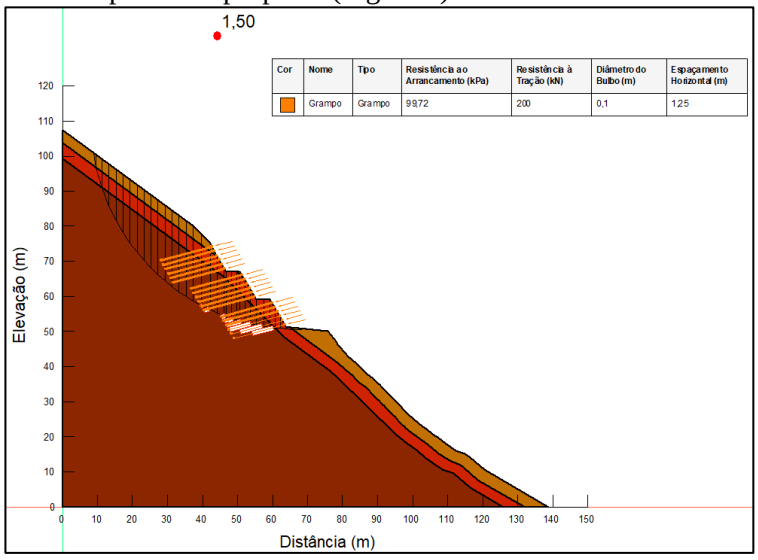


Figura 7. Alternativa 3. Solo grampeado CA-50 Ø32mm

A alternativa 4 é uma solução mista de cortina atirantada e solo grampeado. A altura da cortina atirantada foi mantida em 10m e o pré-dimensionamento dos tirantes da alternativa 1 foi mantido, com tirantes permanentes do tipo Dywidag ST 85/105 de Ø32mm com carga de trabalho de 350kN, espaçados a 1,75m horizontalmente e a cada 2,00m verticalmente com comprimento de ancoragem definido em 5m.

Após banqueta de 4m, terá a aplicação de grampos na região retaludada com inclinação de face em 60º, o pré-dimensionamento dos grampos será mantido o apresentado na alternativa 3, sendo do tipo CA-50 de Ø32mm, com carga de trabalho de 200kN, espaçamento horizontal e vertical de 1,25m e comprimento total de

20m. Como houve aumento no comprimento dos grampos, a aderência necessária entre o grampo e o solo permanece sendo menor do que a aderência que o solo apresenta. A solução proposta pode ser observada na Figura 8.

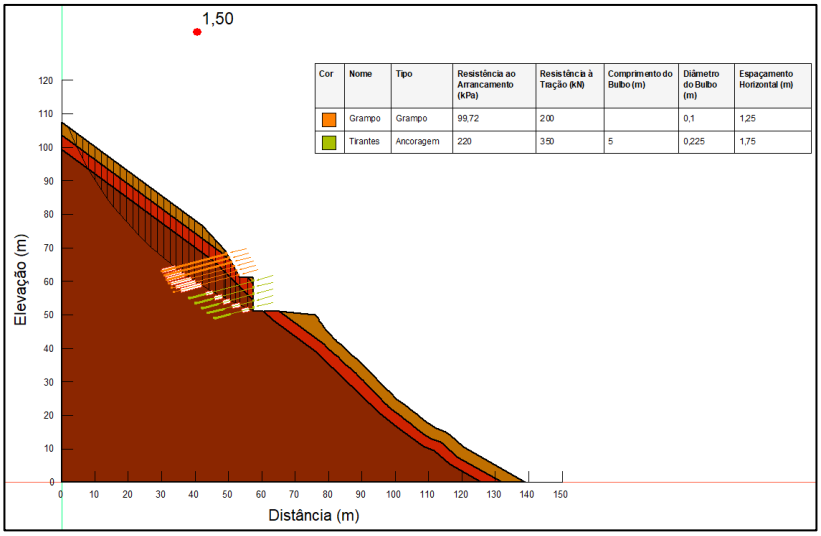


Figura 8. Alternativa 4 Cortina atirantada com solo grampeado

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Após as análises, observa-se que as alternativas 2, 3 e 4 alcançaram o fator de segurança mínimo de 1,50 exigido pela norma. A alternativa 1, embora próxima desse valor, não atingiu o fator de segurança mínimo e, em comparação às demais propostas, foi a que apresentou o fator de segurança mais próximo daquele obtido na análise da técnica de retaludamento executada. Isso evidencia que nem sempre a solução mais robusta é, necessariamente, a melhor opção. Entretanto, outras variáveis, como custo, prazo, recursos disponíveis e a importância da segurança para o projeto em questão, também devem ser avaliadas. O Quadro 1 apresenta um resumo comparativo das soluções propostas neste trabalho acadêmico.

Quadro 1 - Resumo das alternativas para km 12.5

Solução	**Especificação técnica**	**Alternativa**	**FS calculado**	**FS mín.**
Retaludamento (Executado)	1H:1V e a cada 8m a criação de bermas de 4m	-	1,37	1,50
Cortina atirantada + retaludamento	Tirantes: Dywidag ST 85/105 Ø32mm Sv = Sh = 2,0m Retaludamento: 1H:1V e a cada 10m a criação de bermas de 4m	1	1,45	
Cortina atirantada + retaludamento	Tirantes: Dywidag ST 85/105 Ø32mm Sv = 2,0m Sh = 1,75m Retaludamento: 1H:1V e a cada 10m a criação de bermas de 4m	2	1,50	
Solo grampeado	Grampos: CA-50 Ø32mm Sv = Sh = 1,25m	3	1,50	
Cortina + Solo grampeado	Tirantes: Dywidag ST 85/105 Ø32mm Sv = 2,0m Sh = 1,75m Grampos: CA-50 Ø32mm Sv = Sh = 1,25m	4	1,50	

Fonte: Autora (2024).

Quanto ao retaludamento executado, entende-se que um fator de segurança de 1,37 pode ser considerado aceitável, dependendo do contexto do projeto e das tolerâncias de risco envolvidas. No entanto, a presença de rupturas locais indica que, mesmo com um fator de segurança aparentemente aceitável, ainda existem áreas do talude sujeitas à instabilidade. Isso fica evidenciado na Figura 9, por meio de imagens capturadas por drone alguns meses após a execução do retaludamento na ocorrência em questão.

Analisando as alternativas que atingiram o fator de segurança mínimo, observa-se que a alternativa 2 combina cortina atirantada e retaludamento; a alternativa 3 propõe solo grampeado; e a alternativa 4 contempla

uma solução mista com cortina atirantada e solo grampeado. Todas são opções viáveis de contenção, cuja implementação deve considerar segurança estrutural, otimização de custos, durabilidade ao longo da vida útil da obra e menor impacto ambiental possível.



Figura 9. Solução de retaludamento executada com rupturas parciais

Embora o retaludamento seja uma técnica simples, de fácil implantação, que utiliza equipamentos comuns e não requer mão de obra especializada, sua aplicação implica a movimentação de grande volume de terra. Além disso, demanda áreas licenciadas para bota-fora, que podem ser limitadas em regiões montanhosas e ambientalmente sensíveis, além de gerar impactos sobre a biodiversidade e a paisagem. Assim, caso o retaludamento represente uma limitação para o projeto, as alternativas 1 e 2 podem não ser as mais adequadas.

Na alternativa 3, a estabilização é garantida pela técnica de solo grampeado, que envolve, basicamente, escavação, instalação de grampos CA-50 de Ø32 mm e jateamento de concreto. Diferentemente do retaludamento executado, essa solução não demanda grandes alterações na topografia existente e apresenta boa adaptação a diferentes inclinações do maciço, com uso de equipamentos leves e de fácil transporte. Suas principais desvantagens são o impacto visual e o custo associado à quantidade de grampos necessários.

Na alternativa 4, foi proposta uma solução mista com cortina atirantada e solo grampeado. Assim como a alternativa 3, essa solução preserva a área útil do terreno e evita grandes alterações topográficas. Entretanto, a combinação de duas técnicas distintas aumenta a complexidade executiva, por envolver diferentes materiais, mão de obra especializada e maior controle tecnológico. A utilização de tirantes requer equipe treinada, equipamentos específicos, protensão e ensaios de controle, o que contribui para o maior custo dessa alternativa em comparação às demais propostas.

5 CONCLUSÕES

Por se tratar de uma obra emergencial, foram realizadas apenas sondagens mistas, sem uma quantidade suficiente de ensaios de laboratório para definir com precisão os parâmetros de resistência do solo. Assim, esses parâmetros foram estimados por meio de correlações empíricas, adotando-se condições conservadoras. Embora essa abordagem seja útil em situações com dados limitados, ela pode não representar integralmente a condição real do talude, influenciando os fatores de segurança calculados e conduzindo a uma avaliação potencialmente conservadora da estabilidade.

A partir dos resultados das análises de estabilidade, conclui-se que as estruturas de contenção propostas nas alternativas 2, 3 e 4 atendem aos fatores de segurança estabelecidos pela NBR 11682:2009. No entanto, observa-se que a solução em solo grampeado, quando comparada à solução mista, tende a ser mais econômica e menos complexa. Dessa forma, do ponto de vista técnico, a alternativa 3 pode ser considerada a opção mais adequada para o reforço do maciço.

Em comparação com o retaludamento executado, o solo grampeado apresenta custo mais elevado. Entretanto, o retaludamento envolve grande movimentação de terra, necessidade de transporte e disposição do material escavado, além de impactos ambientais mais significativos. Em regiões serranas, esses fatores podem representar limitações importantes, especialmente em razão da distância até áreas de bota-fora e da maior suscetibilidade à erosão após a modificação geométrica do talude. Assim, embora mais oneroso, o solo grampeado pode apresentar vantagens em termos logísticos, ambientais e de manutenção a longo prazo.

Este estudo evidenciou que a escolha da solução de contenção envolve diversas variáveis, como localização da obra, características geotécnicas do solo, parâmetros de resistência, custo, condições construtivas e impactos ambientais. Portanto, o custo inicial não deve ser o único fator de decisão, sendo necessária uma análise técnico-econômica mais abrangente. Ressalta-se que este trabalho possui finalidade acadêmica, sendo recomendada a realização de estudos complementares e orçamentos detalhados para a escolha da solução mais eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso, U.R. (1983). Exercícios de fundações. São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682. *Estabilidade de encostas. 2. ed*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 5629. *Tirantes ancorados no terreno – projeto e execução. 3. ed*. Rio de Janeiro.

Bustamante, M., Doix, B. (1985). *Une méthode pour le calcul des tyrants et des micropieux injectées*. Bulletin des Liaison des Laboratoire des Ponts et Chaussées, nº 140.

Cintra, J., Aoki, N., Albiero, J.H. (2011). Fundações diretas: projeot geotécnico. São Paulo, Oficina de textos.

CFEM. 2006. Canadian Foundation Engineering Manual. 4 th Edition. Canadian Geotechnical Society, Technical Committee on Foundations, BiTech Publishers Ltd., Richmond, B.C

CNT (2021). Pesquisa CNT de rodovias 2021 – Brasília : CNT : SEST SENAT.

Das, B.M. (2011). *Fundamento de engenharia geotécnica. 7. ed*. Cengage Learning, 2011.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2016). *Diagnóstico final das soluções de contenção e estabilização de taludes na rodovia BR-476/PR.*

Koerner, T. T. (2024) *Comparativo Técnico-Econôimico de Obras de Estabilização Para Taludes Rodoviários: Estudo de caso da BR-476.* Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharias da Mobilidade, Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville / UFSC, 137 p.

Morgenstern, N.R., Price, V.E. (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. *Géotechnique*, 15(1): 79-93.

Gerscovich, D. M. S. (2016). Estabilidade de taludes. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos.

Ortigão, J. A. R.; Palmeira, E. M. (1997). Optimised design for soil nailed walls. In: 3rd Int. Conf. on Ground Improvement Geosystems.

Ortigão, J. A. R.; Zirlis, A. C.; Palmeira, E. M. (1993). Experiência com solo grampeado no Brasil – 1970-1993. *Solos e Rochas*, v. 25, n. 4, p. 291-304.