



# Soluções emergenciais de estabilidade de encostas na rodovia ERS-448 após evento climático extremo de 2024 no Rio Grande do Sul

Valéria Vaz Alonso

Engenheira, SF Engenharia Diferenciada, Porto Alegre, Brasil, valeria@souzafloriano.com

Cleber de Freitas Floriano

Diretor, SF Engenharia Diferenciada, Porto Alegre, Brasil, cleber@souzafloriano.com

**RESUMO:** O presente artigo apresenta os resultados obtidos durante a etapa de estudos preliminares para as obras de estabilização de encostas ao longo da rodovia ERS-448, no trecho entre Nova Roma do Sul e Farroupilha após intensos eventos pluviométricos que acometeram o estado do Rio Grande do Sul em abril e maio de 2024. Esses eventos desencadearam processos generalizados de instabilidade de taludes e encostas, exigindo intervenções emergenciais e estratégias de resiliência viária. A partir de inspeção de campo, incluindo abertura de trincheiras e realização de ensaios DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*), estudos geológicos e modelagem por retroanálise foi possível propor nove alternativas de soluções para os pontos de instabilidade: muros de gabião, grampeamento de solo, enrocamento, retaludamento, desmonte de rocha, limpeza e bate-choco, bioengenharia, muro de concreto estaqueado e muro New Jersey estaqueado. O estudo evidencia a relação das soluções propostas com às condições topográficas e os mecanismos de ruptura, bem como o uso de soluções mistas de engenharia para garantir segurança, durabilidade e recuperação funcional de infraestruturas rodoviárias impactadas por eventos climáticos extremos. Investigações geotécnicas mais especializadas deverão ser realizadas em etapas futuras a fim de fornecer embasamento técnico para tomada de decisão e realização de projetos executivos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Formação Serra Geral, estabilização de encostas, extremos climáticos, estudos preliminares

**ABSTRACT:** This article presents the results obtained during the preliminary study phase for slope stabilization works along the ERS-448 highway, in the section between Nova Roma do Sul and Farroupilha, following intense rainfall events that affected the state of Rio Grande do Sul in April and May 2024. These events triggered widespread slope and embankment instabilities, requiring emergency interventions and road resilience strategies. Based on field inspections—including trench excavations and Dynamic Cone Penetrometer (DCP) tests—along with geological studies and back-analysis modeling, nine alternative solutions were proposed for the unstable sites: gabion walls, soil nailing, rockfill, regrading, rock blasting, cleaning and scaling, bioengineering, concrete pile walls, and pile-supported New Jersey barriers. The study highlights the relationship between the proposed solutions, the topographic conditions, and the failure mechanisms, as well as the application of mixed engineering approaches to ensure safety, durability, and the functional recovery of road infrastructure impacted by extreme events. More specialized geotechnical investigations should be conducted in future stages to provide the technical basis for decision-making and the development of executive designs.

**KEYWORDS:** Serra Geral Formation, slope stabilization, extreme weather events, preliminary studies.

## 1. INTRODUÇÃO

Durante os meses de abril e maio de 2024 o estado do Rio Grande do Sul testemunhou a maior catástrofe climática da sua história. Além das inundações que atingiram os municípios gaúchos, os eventos de precipitação desencadearam processos generalizados de instabilidade de taludes e encostas, principalmente na região serrana. De acordo com o Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio



Grande do Sul, foram mapeados 16.682 pontos de ruptura (UFRGS, 2024). Esses processos geológicos afetaram intensamente a infraestrutura do estado, danificando amplamente o sistema rodoviário.

Nesse contexto, na rodovia ERS-448, localizada na serra gaúcha, foram identificados dezenas de escorregamentos translacionais seguido de fluimento da massa. As massas rompidas atingiram diretamente a rodovia danificando o pavimento e o sistema de drenagem. Como consequência, a rodovia apresenta problemáticas tanto de estabilidade de encosta quanto de recomposição de aterro rodoviário. Assim, ações emergenciais buscam reconstruir e promover resiliência à rodovia, de forma que seja capaz de suportar futuros eventos climáticos. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo apresentar os estudos preliminares de diagnóstico das instabilidades mapeadas nessa rodovia bem como propostas de alternativas e estratégias de resiliência viária, embasados em inspeções de campo.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A ERS 448 está localizada na região nordeste do Rio Grande do Sul e liga as cidades de Farroupilha e Nova Roma do Sul. É uma rodovia de pista simples que percorre um trecho da serra gaúcha responsável pela conexão de cidades de menor porte a maiores centros urbanos, devido a isso pode ser considerada uma rodovia de fluxo moderado. Essa região do estado está situada sobre a Bacia do Paraná, uma bacia intracratônica sul-americana, desenvolvida completamente sobre a crosta continental composta principalmente por rochas sedimentares e vulcânicas. Abrange uma área de aproximadamente 1.400.000 km<sup>2</sup> a qual se estende pelo Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina (ZÁLAN, 1991). A ERS 448 está localizada onde afloram as unidades referentes à supersequência Gondwana III, mais especificamente no contexto geológico da Serra Geral. De acordo com o mapeamento oficial da Bacia do Paraná (CPRM, 2022) a rodovia está inserida na formação Palmas e Vale do Sol (Figura 1), nas quais encontram-se principalmente sequências vulcânicas de rochas ácidas (dacitos e riolito) e rochas básicas (andesitos basálticos), respectivamente.

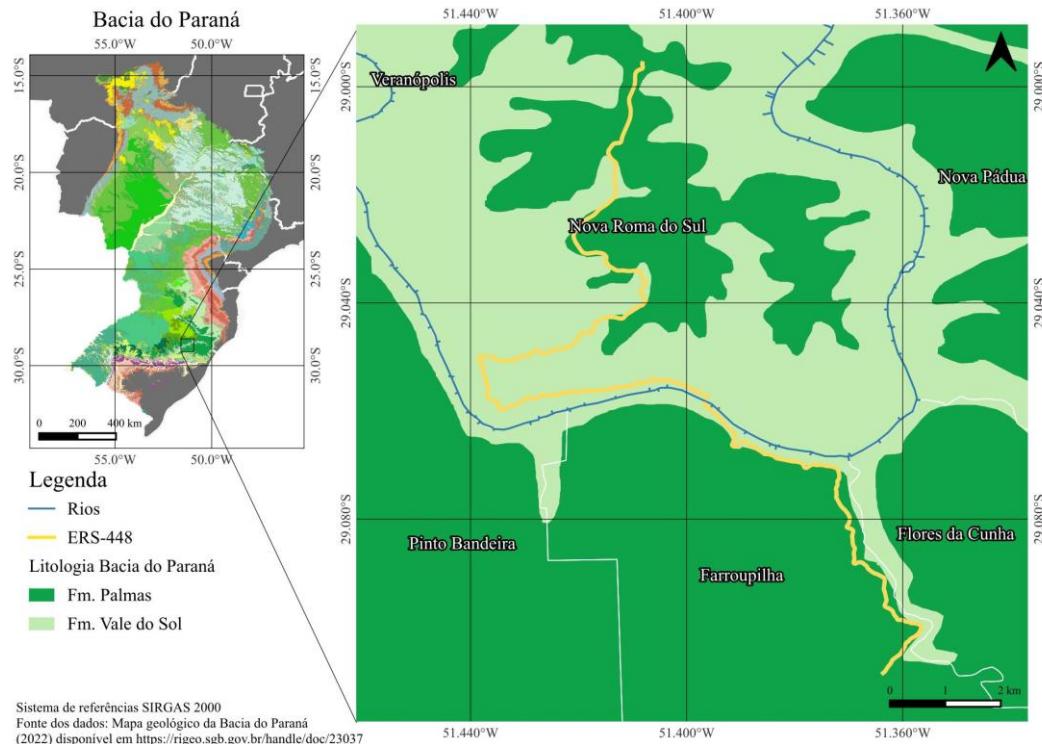


Figura 1. Mapa geológico da área de estudo.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A partir da inspeção inicial em campo foi possível identificar a geometria dos taludes, os materiais que os compõe e os mecanismos de ruptura das instabilidades registradas na rodovia. De posse dessas

informações foi possível propor nove grupos de possíveis soluções para a contenção e estabilização das encostas instáveis presentes na rodovia. Durante essa etapa preliminar, além do levantamento topográfico foram realizadas trincheiras de inspeção e execução de ensaio DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*), o que permitiu a correlação com o índice CBR (*California Bearing Ratio*) para estimar a capacidade de suporte de carga dos materiais. Para isso foi utilizado a Equação 1, na qual  $PR$  é a relação entre o número de golpes e a penetração do cone, normatizado pela ASTM (2018). Além disso, a resistência a compressão dos afloramentos rochosos foi estimada a partir do índice de dureza obtida por meio de ensaio de esclerômetro. Como a geometria da ruptura era conhecida com base nos levantamentos topográficos da área, também foram realizadas retroanálises das rupturas no software Geo5 a fim de calibrar os parâmetros geomecânicos do solo. Com base nas informações da região e apoiado na geologia local, foram propostos nove anteprojetos tipos que ilustram o funcionamento das soluções propostas de acordo com as necessidades e limitações de cada ponto.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

As técnicas de estabilização foram agrupadas em nove tipologias principais: muros de gabião, grampeamento de solo, enrocamento, retaludamento, desmonte de rocha, limpeza e bate-choco, bioengenharia, muro de concreto estaqueado e muro New Jersey estaqueado. A Figura 2(a) apresenta o registro fotográfico do talude no Km 35+400, onde propõe-se a execução de bate choco. É possível perceber que o maciço rochoso encontra-se bastante alterado, com diversas zonas de fratura, blocos soltos e o desenvolvimento de blocos em negativo, o que representa um risco para a utilização da rodovia, uma vez que blocos de grande proporção podem soltar-se atingindo automóveis ou danificando a pista. Esse cenário se repete ao longo da rodovia devido ao contexto geológico em que a mesma está inserida. Além do intemperismo atuante nos afloramentos rochosos, o qual acelera o processo de alteração desse material, foi identificado uma trinca de alívio de tensão originada pelo processo de formação do vale o que fragiliza ainda mais o material.

Em localidades em que foi identificado expressiva quantidade de afloramento rochoso alterado é possível a execução de desmonte, como no caso do talude no Km 27+600 (Figura 2(b)). De forma geral, na rodovia ERS-448 são encontrados afloramentos rochosos de Basaltos, Riolitos e Riódacitos, rochas caracterizadas pela sua resistência competente, como demonstra o gráfico na Figura 3. Diante disso, torna-se viável o reaproveitamento do material proveniente dos desmontes em outras obras, como por exemplo aterros de enrocamento, o que representa importante ganho de sustentabilidade e eficiência logística.



Figura 2: (a) Maciço rochoso alterado para execução de bate-choco. (b) Local para realização de desmonte de (destacado em vermelho) devido à condição fraturada do maciço.

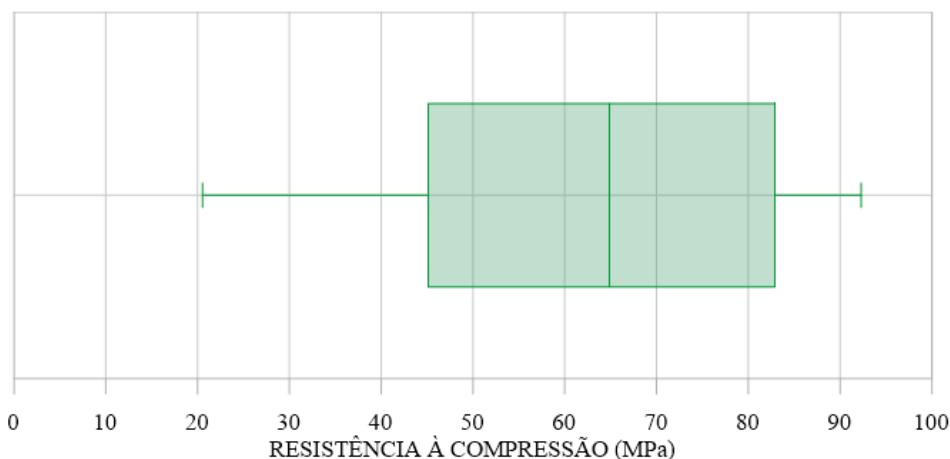


Figura 3: Variação da resistência a compressão das rochas localizadas na ERS-448.

Para os projetos de retaludamento e grampeamento foram realizadas retroanálises para a obtenção dos parâmetros do solo, uma vez que a superfície de ruptura foi identificada no campo e no levantamento topográfico. Os valores obtidos foram balizados a partir dos estudos de Perazzolo (2003) e Silveira (2008) realizados próximos a área de estudo. Com isso, obteve-se que o material coluvionar presente nessa região possui peso específico natural entre 16 kN/m<sup>3</sup> e 17 kN/m<sup>3</sup>, ângulo de atrito entre 28° e 32° e coesão entre 7kPa e 18 kPa. A Figura 4(a) ilustra a representação da ruptura identificada no Km 26+030 e a retroanálise realizada para o mesmo ponto é apresentada na Figura 4(b).

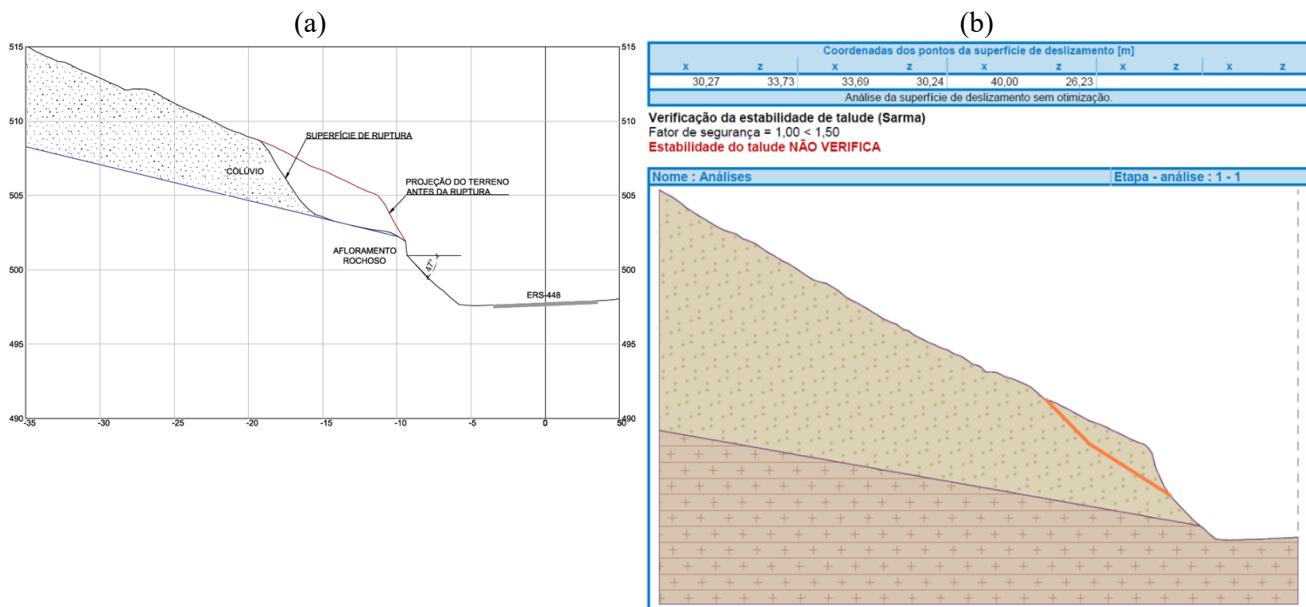


Figura 4: (a) Representação da ruptura e (b) retroanálise do Km 26+030.

A alternativa de retaludamento baseia-se na reconfiguração da geometria da encosta por meio da redução da declividade. É notório a importância da declividade como fator decisivo na estabilidade de encostas, entretanto estudos recentes destacam seu papel decisivo no que tange rupturas induzidas pela chuva. Schilirò *et al.*, 2019; Rahul E Tyagi, 2024 e Alonso, 2025 demonstram que a ruptura em encostas mais suaves exige prolongados eventos de precipitação e maior precipitação acumulada. Esse é uma opção de solução para os trechos da rodovia em que ocorreram rupturas locais e de menor porte (Figura 5). Além disso, a instalação de drenos profundos sub-horizontais (DHP) garante o rebaixamento do nível freático e a condução da água em direção aos canais de drenagem da rodovia evitando a saturação da encosta e a queda na resistência ao cisalhamento. Por fim, a utilização de bioengenharia na superfície da vertente auxilia na redução dos efeitos da erosão superficial.

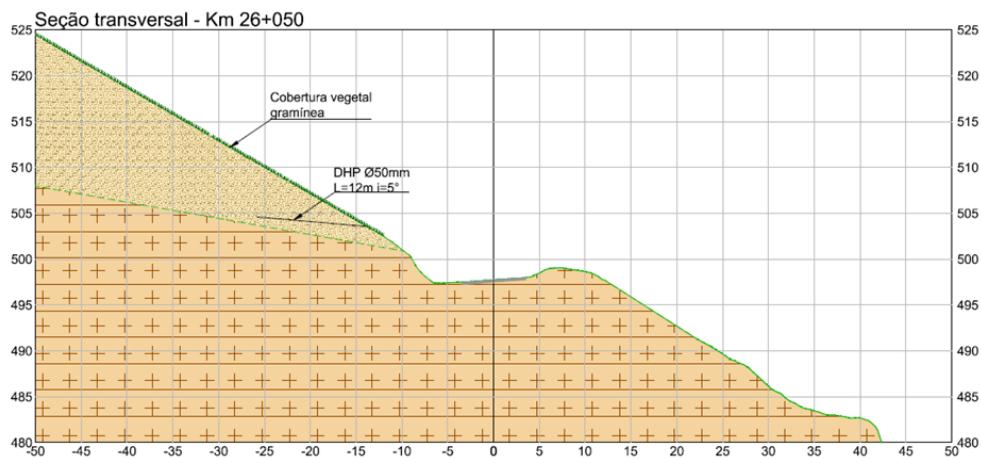
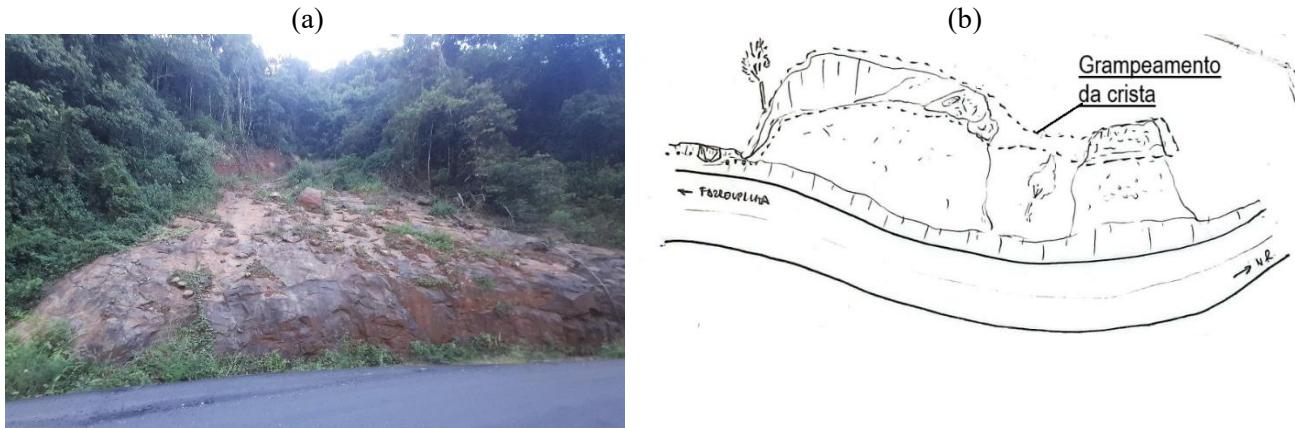


Figura 5: Projeto de retaludamento com DHP e bioengenharia para a ruptura do Km 26+030.

O uso de grampeamento de solo é uma alternativa para os pontos de instabilidade onde ocorreram escorregamentos translacionais, em que a superfície de ruptura se desenvolveu no contato entre a rocha e a camada de material coluvionar. Entende-se que esse tipo de instabilidade ocorreu devido as diferentes propriedades hidráulicas que afetam a redistribuição da água da chuva e resulta na saturação do material coluvionar e elevação da poropressão na base dessa camada. Em consequência disso a rocha fica exposta e a crista da ruptura, formada pelo solo coluvionar, potencialmente instável (Figura 6(a)). Nesse sentido, uma alternativa de estabilização é o grampeamento da crista, como exemplificado pelo croqui da Figura 6(b)) Aliado a isso, a instalação de DHPs conduz a água para o exterior do maciço de solo em direção ao sistema de drenagem da rodovia, evitando que novos caminhos preferenciais para o fluxo da água sejam criados acarretando na rupturas de áreas subjacentes.



Ponto 6: (a) Registro fotográfico da ruptura no Km 33+630; e (b) exemplo de croqui do grampeamento da crista.

Barreiras do tipo muro de gabião associadas à aterro de enrocamento a montante são alternativas viáveis nos trechos da rodovia em que foram registradas rupturas de maior porte e que disponibilizam de área para instalação desse tipo de barreira. Pela sua característica drenante, esse tipo de contenção permite o fluxo e direcionamento da água até as galerias de drenagem da rodovia. Além disso, o peso do material pétreo utilizado no aterro age como uma parcela estabilizante da vertente. É importante destacar a utilização de geotêxtil atrás do muro, o qual atua como um filtro, permitindo o fluxo da água e impedindo a passagem de partículas finas para o interior do gabião, o que poderia prejudicar o poder drenante da solução. A definição dessa alternativa como solução definitiva envolve a análise do material de fundação, a fim de averiguar sua capacidade de carga. Para isso, a realização de trincheiras de inspeção e ensaios DCP compõe a etapa de estudos preliminares, além da retroanálise para obtenção dos parâmetros de resistência ao cisalhamento. A Figura 7 apresenta, como exemplo, os resultados obtidos com esta campanha de



2 0 2 5

investigação para a ruptura registrada no Km 36+490. A partir da relação entre os valores de CBR e a capacidade de suporte de carga foi possível concluir que o material encontrado na base da trincheira, a 1,10m da superfície, identificado como saprolito de rocha vulcânica, apresenta uma capacidade de suporte de carga igual a 313kPa.

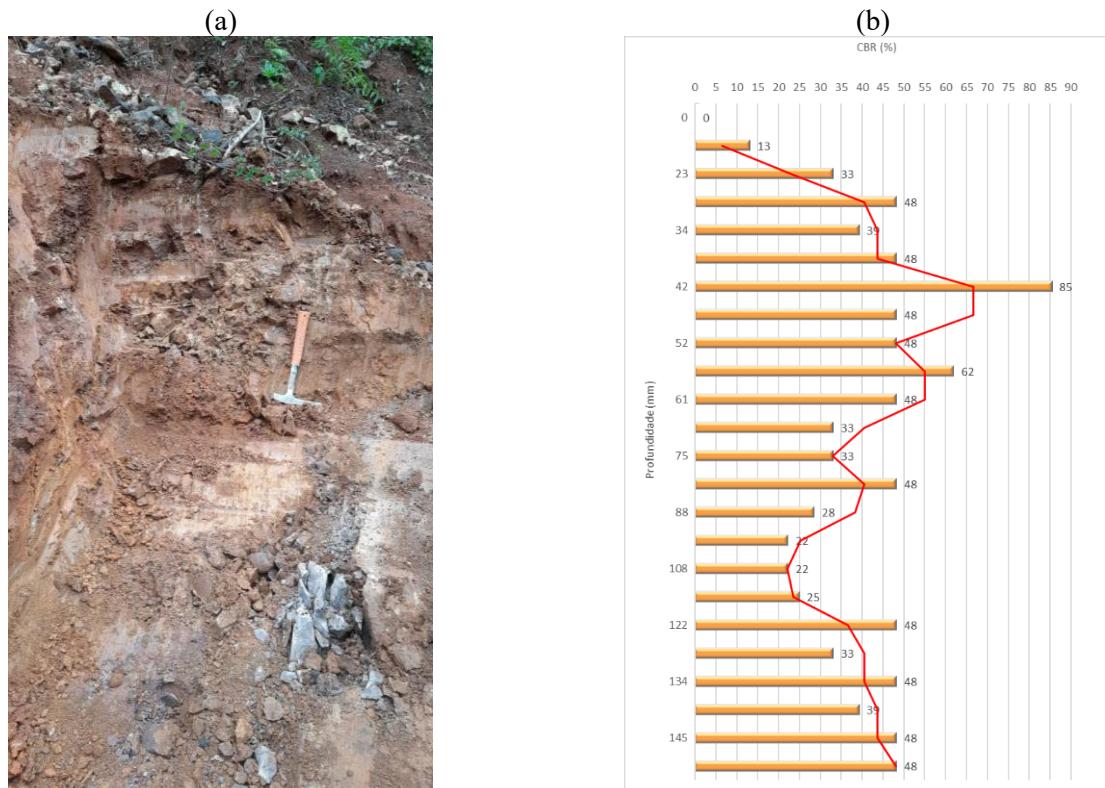


Figura 7: (a) Perfil geológico e (b) boletim do ensaio DCP para o Km 36+490.

Os danos causados pelas rupturas a montante da rodovia não se limitaram apenas à pista. O sistema de drenagem foi diretamente afetado tanto pela destruição estrutural das galerias pluviais quanto pela obstrução dos canais pela massa rompida, formada pela mistura de lama e blocos de rocha. Em consequência disso, o fluxo de água passou a desenvolver-se abaixo da pista da rodovia o que resultou no arraste, pela , das partículas finas solo. A perda desse material afetou a estrutura da matriz do solo, resultando no abatimento da pista, como mostra a Figura 8.



Figura 8: Abatimento na pista no Km 41+060.



Nessas condições, três alternativas podem ser vistas como possíveis soluções para recomposição do aterro, as quais dependem da topografia do trecho. Nas situações em que a topografia é mais suave torna-se possível a execução de aterro em enrocamento apoiado em fundação para recomposição e alargamento da pista permitindo a execução de uma faixa de acostamento ou área de escape, como mostra o croqui da Figura 9(a)). Nos trechos em que a encosta é mais íngreme, a execução de aterro pode resultar em elevados volumes de material pétreo, elevando o custo da obra. Nesses casos, é possível a execução de um muro de concreto estaqueado como travamento de saia do aterro de enrocamento (Figura 9(b)). Por fim, nas encostas em que o relevo é muito íngreme, impossibilitando a execução de obras a jusante da pista, é possível a execução de muro do tipo New Jersey estaqueado a fim de também oferecer segurança viária à rodovia (Figura 9(c)).

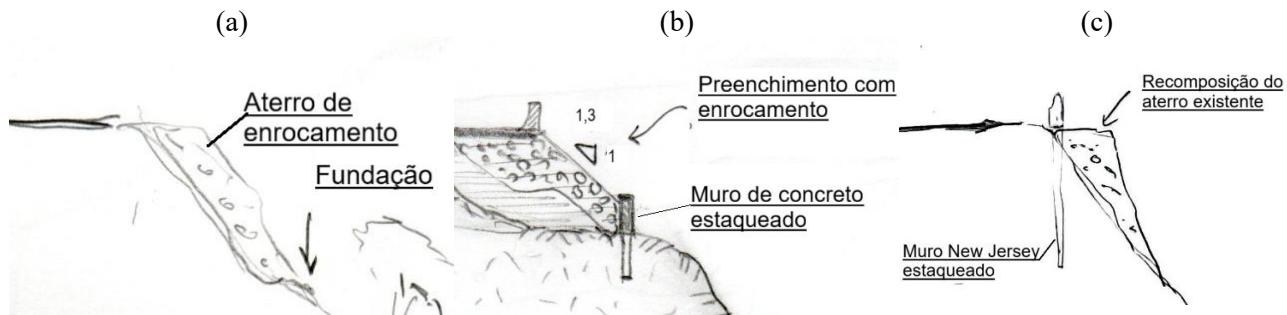


Figura 9: Croqui das soluções para recomposição de aterro: (a) aterro de enrocamento apoiado em fundação;  
 (b) Muro New Jersey estaqueado; e (c) Muro de concreto estaqueado em travamento de saia de aterro.

As nove alternativas idealizadas para a reconstrução da ERS-448 demonstram a importância da adaptabilidade das obras de contenção com o mecanismo de ruptura, relevo e geologia do local. As condições ímpares identificadas nas mais de 30 rupturas registradas na rodovia ressaltam a importância dos estudos preliminares para definição da melhor alternativa para cada caso individual, apoiados em estudos geológicos, inspeções em campo e retroanálises. Em etapas futuras, resultados de ensaios de campo, como sondagens mistas e ensaios laboratoriais, fornecem embasamento técnico necessário para a tomada de decisão e projeto das soluções definitivas.

## 5. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta os resultados obtidos com os estudos preliminares para as obras emergenciais de reconstrução e resiliência da ERS-448. Nove tipologias principais foram apresentadas como alternativas de estabilização: muros de gabião, grampeamento de solo, enrocamento, retaludamento, desmonte de rocha, limpeza e bate-choco, bioengenharia, muro de concreto estaqueado e muro New Jersey estaqueado. Os anteprojetos destacam a importância do relevo e do mecanismo de rupturas na definição de soluções. Soluções mais simples como o retaludamento podem ser executadas em regiões de ruptura local, por outro lado, rupturas de maior porte, as quais disponibilizam de maiores áreas para execução da obra permitam a utilização de muro de gabião como solução estabilizante. Da mesma forma, para recomposição de aterro foram apresentadas três alternativas de estabilização, as quais dependem das condições do terreno a jusante da pista. Além disso, ressalta-se o uso combinado de técnicas em pontos críticos, como grampeamento e DHP, promovendo reforço e controle hidráulico em taludes rochosos e utilização de bioengenharia nos retaludamentos reforçando a capacidade de retenção superficial e promovendo o crescimento vegetativo. A possibilidade do reaproveitamento do material pétreo oriundo do desmonte de rochas em outras obras acrescenta um caráter sustentável e eficiência logística às obras realizadas na rodovia.

O estudo evidencia a importância da integração entre inspeção de campo, estudos geológicos e modelagem a partir de retroanálise durante a etapa de estudos preliminar na condição de obras emergências. No que tange o planejamento das investigações, estes serão considerados conforme as diretrizes e necessidades normativas vigentes. Cabe salientar que os perfis estatigráficos analisados são mistos, de rocha, de contato rochoso exposto e raramente somente de solos envolvendo as rupturas em solo. Neste caso a interpretação geológico-geotécnica passa a ser preponderante no entendimento sobre o ambiente geológico



local. Os resultados obtidos complementarão as informações da região permitindo a tomada de decisão sobre a definição das soluções bem como a realização dos projetos executivos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Construtora Dalfovo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, V. V. (2025). *Prognóstico de deslizamentos translacionais em vertentes naturais sob condições de chuvas transientes baseado em SIG e Python: estudo de caso em Campos do Jordão (SP)*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos / USP, 196p.
- ASTM International (2018). ASTM D-6951 Standard Test Method for use of the dynamics cone penetrometer in shallow pavement applications. *ASTM International*, 7p.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. (2022). *Mapa geológico da Bacia do Paraná*. CPRM, Escala 1:1000000
- Perazzolo, L. (2003). *Estudo geotécnico de dois taludes da Formação Serra Geral, RS*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 170p.
- Rahul, S.; Tyagi, A. (2024) Physics-based time-of-failure determination of rainfall-induced instability in lateritic soil slopes. *Engineering Geology*, v. 344.
- Schilirò, L.; Djuwywp, G. P.; Eposito, C.; Mugnozza, G. S. (2019) The Role of Initial Soil Conditions in Shallow Landslide Triggering: Insights from Physically Based Approaches. *Geofluids*.
- Silveira, R.M. (2008). *Comportamento Geotécnico de um Solo Coluvionar de São Vendelino (RS)*. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 302p.
- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (2025). **Nota Técnica Conjunta IGEO/CEPSRM - 01/2025:** Dimensão de danos em estradas e propriedades rurais decorrentes dos movimentos de massa ocorridos no Rio Grande do Sul em abril/maio de 2024, uma análise preliminar. Porto Alegre, UFRGS, 2025.
- Zálan, P. V.; Wolff, S.; Conceição, J. C. J.; Marques, A.; Astolfi, M. A. M.; Vieira, I. S.; Appi, V. T.; Zanotto, O. A. (1990) Bacia do Paraná. In: GABAGLIA, G. R. R.; MILANI, E. J. (coord.) *Origem e evolução de bacias sedimentares*. Rio de Janeiro: PETROBRÁS.