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/COBRAMSEG2026.4/86

Implantação de Barreira Provisória Instrumentada para Liberação Segura da Via Durante a Execução da Obra

Tatiana Guimarães Dias
Engenheira Civil, Civil Master, Rio de Janeiro, Brasil, tatiana.dias@civilmaster.com.br

Yago Fernando Custódio Lucas
Engenheiro Civil, Civil Master, Rio de Janeiro, Brasil, yago.lucas@civilmaster.com.br

RESUMO: Este trabalho apresenta o desenvolvimento, implantação e desempenho de uma barreira provisória instrumentada, instalada de forma emergencial com o objetivo de identificar quedas de blocos e acionar alertas imediatos para interrupção segura da rodovia BR-277, no trecho entre Curitiba e Paranaguá (PR). A solução foi concebida após um evento de instabilidade ocorrido em novembro de 2024, que mobilizou material rochoso suficiente para atingir a pista e comprometer a segurança viária, exigindo resposta rápida para restabelecimento do tráfego.
Diante do curto intervalo entre a possível deflagração de novos movimentos e o atingimento da área de rolamento, estimado em aproximadamente 10 segundos, projetou-se um sistema composto por três anteparos instrumentados, cada um equipado com sensores lineares de deslocamento e chaves de acionamento redundantes, conectados a uma central de aquisição de dados e alerta. O sistema permitiu monitoramento local em tempo real, com acionamento automático de sinais sonoros e visuais sempre que os limites programados fossem ultrapassados.
Além de garantir a segurança das equipes que atuavam na área do talude, a solução desempenhou papel essencial para a segurança operacional da rodovia, fornecendo ao cliente condições técnicas para liberar o tráfego de forma imediata, mesmo antes da execução definitiva das obras de estabilização. A ação emergencial foi decisiva para permitir o tráfego seguro no período de maior movimento do ano, entre o Natal e o Ano Novo, quando a demanda por circulação na BR-277 é significativamente elevada.
A instrumentação possibilitou monitoramento contínuo da encosta e permitiu adoção de protocolos automáticos de fechamento da rodovia caso qualquer deformação relevante fosse detectada. O sistema cumpriu integralmente o objetivo proposto: oferecer monitoramento confiável, resposta rápida e suporte técnico para a tomada de decisão em cenário de instabilidade geotécnica.

PALAVRAS-CHAVE Monitoramento Geotécnico; Queda de Blocos; Barreira Instrumentada; Rodovia; Alerta.

ABSTRACT: This paper presents the development, implementation, and performance of an instrumented temporary barrier, installed on an emergency basis to identify rockfall events and trigger immediate alerts for the safe interruption of traffic on the BR-277 highway, between Curitiba and Paranaguá (PR). The solution was conceived following an instability event in November 2024, which mobilized sufficient rock material to reach the roadway and compromise traffic safety, requiring a rapid response to restore traffic flow.
Given the short interval between the potential triggering of new movements and the impact on the roadway—estimated at approximately 10 seconds—a system composed of three instrumented barriers was designed, each equipped with linear displacement sensors and redundant activation switches, connected to a central data acquisition and alert unit. The system enabled real-time local monitoring, with automatic activation of audible and visual signals whenever programmed limits were exceeded.
In addition to ensuring the safety of the teams working on the slope area, the solution played an essential role in the road's operational safety, providing the client with the technical conditions to immediately release traffic, even before the execution of definitive stabilization works. This emergency action was decisive in allowing safe traffic during the year's busiest period, between Christmas and New Year, when demand for circulation on BR-277 is significantly high.
The instrumentation enabled continuous monitoring of the slope and allowed for the adoption of automatic highway closure protocols if any relevant deformation was detected. The system fully met the proposed

objective: to offer reliable monitoring, rapid response, and technical support for decision-making in a scenario of geotechnical instability.

KEYWORDS: Geotechnical Monitoring; Rockfall; Instrumented Rockfall Barrier; Highway; Rapid Warning System.

1 INTRODUÇÃO

Taludes rochosos instáveis e blocos soltos representam riscos significativos à segurança, podendo resultar em perda de vidas humanas, danos materiais e impactos ambientais. Em áreas com infraestrutura viária, esses eventos assumem caráter ainda mais crítico, em função do potencial de interrupção do tráfego, danos aos usuários e prejuízos operacionais.

Gerscovich (2016) descreve que as quedas e desabamentos de blocos rochosos são tipos de movimentos bruscos, nos quais fragmentos de rocha se deslocam em queda livre ou ao longo de planos inclinados. Esses processos podem ser desencadeados por diversos fatores, tais como a ação do intemperismo, o aumento das pressões hidrostáticas nas fraturas, a perda de confinamento lateral.

Conforme Lacerda e Becker (2025), os blocos rochosos podem sofrer impactos, saltos e rolamentos ao longo da superfície do talude, caracterizando um dos processos de instabilidade de maior velocidade e de difícil previsão.

De acordo com o Manual Técnico de Encostas (Geo-Rio, 2014), a estabilização desses blocos pode ser realizada por meio de diferentes técnicas, que incluem a remoção de blocos instáveis, o desmonte total ou parcial do maciço rochoso, a contenção estrutural por meio de ancoragens, chumbadores e contrafortes, bem como a adoção de medidas de proteção, tais como instalação barreiras.

No entanto, a execução dessas soluções, além de expor as equipes a condições de risco durante as intervenções, frequentemente exige a interdição total ou parcial da via até a conclusão das obras e a efetiva mitigação do risco. Essa condição resulta em impactos operacionais, logísticos e econômicos significativos para as concessionárias e para os usuários da rodovia.

Nesse contexto, a busca por alternativas que viabilizassem simultaneamente a segurança das equipes atuantes na área do talude durante a implantação da solução definitiva e a liberação segura da rodovia motivou o desenvolvimento e a implantação de anteparos provisórios instrumentados. Cada anteparo foi equipado com sensores lineares de deslocamento e chaves de acionamento redundantes, conectados a uma central de aquisição de dados e alerta, permitindo o monitoramento em tempo real e o acionamento automático de sinais sonoros e visuais sempre que os limites programados fossem ultrapassados.

A instrumentação possibilitou o monitoramento contínuo da encosta e a adoção de protocolos automáticos de fechamento da rodovia caso qualquer deformação relevante fosse detectada, permitindo, simultaneamente, a liberação segura do tráfego durante o período de implantação da solução definitiva.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

A BR-277 constitui importante corredor logístico nacional, conectando o Porto de Paranaguá ao eixo oeste do Paraná e à região de Foz do Iguaçu, desempenhando papel estratégico no escoamento de cargas e na mobilidade regional.

Os trechos da rodovia que atravessam a Serra do Mar, no Sul do Brasil, caracterizam-se por taludes íngremes, afloramentos rochosos e elevada suscetibilidade a movimentos de massa, especialmente durante períodos de precipitação intensa.

Na madrugada de 25 de novembro de 2024, foi registrado um evento de instabilidade no km 42+953, que mobilizou fragmentos rochosos com energia suficiente para atingir a pista de rolamento e comprometer a segurança dos usuários. O material desprendido acumulou-se na base do talude e lançou blocos sobre a via, evidenciando não apenas a gravidade do evento inicial, mas também o potencial de novas mobilizações, em função das condições geomorfológicas locais e do histórico recente de instabilidade.



Figura 1: Evento ocorrido. Fonte: https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2024/11/25/deslizamento-de-pedras-br-277-litoral-parana.ghtml.

Embora a solução definitiva para a problemática envolvesse a implantação de uma barreira contra queda de blocos, a necessidade operacional de liberar a rodovia em prazo reduzido, coincidente com o período de maior fluxo anual de veículos, representou um desafio adicional ao processo de tomada de decisão. Estimou-se que o intervalo entre um eventual novo desprendimento e o atingimento da faixa de rolamento poderia ser inferior a 10 segundos, tornando inadequados os sistemas convencionais de monitoramento remoto, os quais não garantiriam resposta compatível com a necessidade.

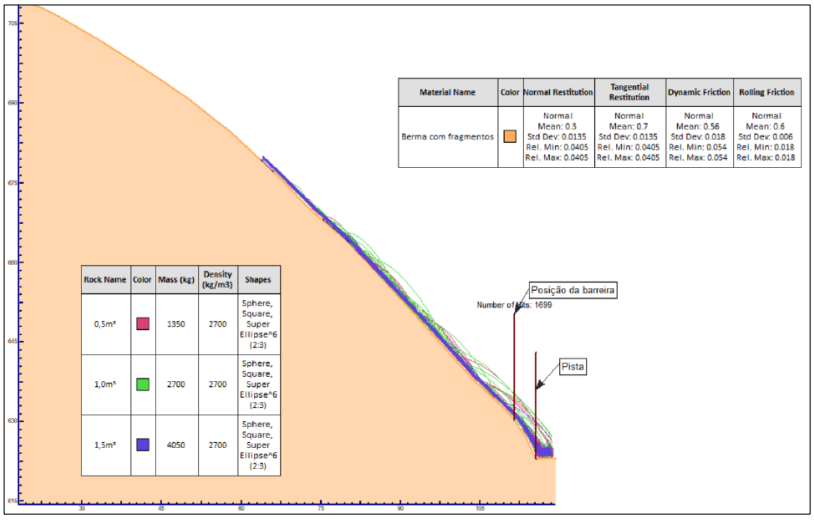


Figura 2: Análise de queda de blocos. Autor: FGS Geotecnia.

Diante desse cenário, o principal desafio consistiu em viabilizar a liberação segura da rodovia durante a execução da solução definitiva, sem comprometer a segurança dos usuários e das equipes que atuavam na área do talude. Para tanto, tornou-se necessária uma solução capaz de detectar deformações de forma praticamente instantânea, acionar alertas locais de maneira automática e operar de forma independente de sistemas de comunicação remota, assegurando resposta imediata em caso de novos movimentos.

Nesse contexto, optou-se pela implantação de uma barreira provisória instrumentada, constituída por anteparos instalados estrategicamente ao longo do talude. Esses anteparos apresentavam capacidade limitada de retenção, tendo como função principal a detecção precoce de deformações e o acionamento imediato de alertas, possibilitando a interrupção segura da via em tempo hábil. Foram instalados três anteparos, de modo a abranger todas as regiões potenciais de origem de desprendimentos, sendo um destinado à detecção de novas rupturas e dois voltados à remobilização de massas previamente instáveis.

A solução adotada permitiu a liberação emergencial do tráfego com monitoramento contínuo, garantindo condições adequadas de segurança tanto para a operação rodoviária quanto para as equipes envolvidas na execução das obras definitivas de estabilização.

3 SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO E ALERTA

Foram instalados três anteparos em diferentes cotas (S1, S2 e S3), distribuídos de forma a interceptar e detectar possíveis remobilizações no trecho afetado do talude. Cada estrutura foi composta por malhas metálicas, cabos de aço e ancoragens, dimensionados para apresentar capacidade resistente da ordem de 6,6 kN/m.

Os anteparos foram concebidos com dupla finalidade: promover a retenção de pequenos volumes de material e transmitir deformações aos sistemas de instrumentação instalados nos cabos de ancoragem. O dimensionamento priorizou a eficiência na transmissão dos deslocamentos, a rapidez de instalação, a compatibilidade com o ambiente de mata densa e a confiabilidade mínima necessária frente ao nível de risco identificado.



Figura 3. Anteparo instalado.

A concepção estrutural privilegiou o comportamento dinâmico do dispositivo, de modo que a estrutura apresentasse deformabilidade suficiente para detectar eventos com antecedência, compatível com a necessidade de interrupção imediata da via, sem comprometer sua estabilidade global. Pequenos detritos, por sua vez, não geram deformações suficientes para o acionamento do sistema, contribuindo para a redução da ocorrência de falsos alarmes.

A instrumentação de cada anteparo incluiu sensores lineares de deslocamento e chaves de atuação redundantes. A definição dos limiares de acionamento considerou o equilíbrio entre sensibilidade e robustez operacional. A chave mecânica, com disparo a partir de aproximadamente 2 cm de deslocamento, foi configurada como gatilho conservador para eventos dinâmicos iniciais, privilegiando detecção precoce. Já o sensor linear, com limiar de 5 cm, foi adotado como critério confirmatório, reduzindo a probabilidade de alarmes indevidos decorrentes de pequenas deformações locais ou acomodação de detritos.

A arquitetura foi concebida segundo princípio de redundância funcional. Caso o sensor linear apresentasse falha (por rompimento de cabo ou perda de sinal), a chave mecânica permaneceria apta ao acionamento. De modo análogo, eventual falha da chave não impediria o disparo pelo sensor linear. A lógica

de alarme foi configurada em modo fail-safe, de modo que perda de alimentação ou anomalia elétrica resultassem em estado de alerta ou bloqueio operacional.

O movimento da malha foi transferido aos sensores por meio de um cordão de transmissão costurado à malha metálica, garantindo resposta direta às deformações estruturais. Cada sensor foi conectado à unidade central por meio de cabos blindados, assegurando confiabilidade na transmissão dos sinais.



Figura 4. Instrumentação dos anteparos. Fontes: Civil Master e FGS Geotecnia

O sistema foi integrado a uma central de aquisição de dados e alarme, composta por data logger, sirenes e sinalizadores visuais, responsável pelo processamento das informações e pelo acionamento automático dos alertas sempre que os limites programados fossem ultrapassados. A unidade central realizava varredura dos sinais analógicos a uma frequência de 20 Hz, ou seja, a latência máxima teórica por ciclo de varredura é da ordem de 0,05 s, o que garante resposta compatível com o curto tempo de propagação da instabilidade. Os dados eram registrados em intervalos de 5 minutos, e qualquer acionamento — seja por sensor ou por chave — ativava alarmes sonoros e visuais contínuos, os quais somente cessavam mediante desligamento manual.

O sistema operava com baterias internas, com autonomia aproximada de 24 horas sem recarga. Durante a fase inicial de operação, foram identificadas falhas associadas à subtensão, o que exigiu intervenções corretivas e a substituição do equipamento de controle, que retornou ao campo com operação estável. A tensão do sistema passou a ser verificada diariamente, sendo a recarga realizada sempre que necessário por meio de geradores portáteis.

Os sensores e as chaves de atuação eram testados diariamente por acionamento manual, assegurando a confiabilidade do sistema, a segurança das equipes envolvidas nas obras de estabilização e a operação segura da rodovia. Inspeções visuais complementares permitiam verificar a integridade dos anteparos e a eventual acumulação de material, o qual era removido sempre que necessário.

4 IMPLANTAÇÃO EM CAMPO E OPERACIONALIDADE

O sistema foi instalado em 19 de dezembro de 2024, inicialmente operando apenas com sensores lineares de deslocamento. Durante a fase inicial de funcionamento, foram identificadas falhas na unidade de controle, o que motivou sua substituição. O sistema retornou ao campo em 9 de janeiro de 2025, já com a incorporação das chaves de acionamento redundantes, aumentando a confiabilidade operacional do conjunto.

Ao longo de todo o período de operação, o sistema permaneceu funcional, sendo realizadas apenas manutenções pontuais, sem prejuízo ao seu desempenho. Os testes diários dos sensores e dispositivos de acionamento apresentaram resultados satisfatórios, e os anteparos retiveram apenas pequenas massas de

material, sem que os limites de disparo dos alarmes fossem ultrapassados. Durante esse intervalo, não foi registrado qualquer episódio de instabilidade significativa no talude monitorado.

Com a conclusão da instalação da barreira dinâmica definitiva, o sistema provisório foi desinstalado em 10 de fevereiro de 2025. Durante o processo de retirada, verificou-se que as baterias se encontravam descarregadas, em decorrência da interrupção do ciclo regular de recarga, o que resultou em danos parciais ao equipamento. Tais danos, entretanto, não comprometeram a capacidade de acionamento do sistema durante o período em que esteve em operação, nem afetaram sua função principal de monitoramento e alerta.



Figura 5. Anteparo atingido com acúmulo de pequenos detritos

5 RESULTADOS

Os resultados obtidos durante o período de operação demonstraram o desempenho satisfatório do sistema provisório instrumentado como medida preventiva em cenário de instabilidade geotécnica. Não foi registrado qualquer acionamento real do sistema por movimentos de massa, indicando que, no intervalo monitorado, não ocorreram remobilizações de magnitude significativa no trecho analisado.

Foram observadas retenções pontuais de pequenos fragmentos, especialmente nos níveis S1 e S3, sem que essas ocorrências resultassem no acionamento dos alarmes. Esse comportamento evidenciou que o sistema apresentou sensibilidade adequada, sendo capaz de diferenciar eventos irrelevantes de situações potencialmente críticas, o que contribuiu para a redução de alarmes falsos. Apesar de não ter nenhum episódio de acionamento que levasse ao fechamento da via, o anteparo apresentou boa eficiência para proteção dos colaboradores envolvidos na atividade retendo detritos e pequenos blocos que poderiam ter atingido a equipe.

A operação do sistema manteve-se contínua e estável ao longo de todo o período de monitoramento, sustentada por rotinas diárias de teste e manutenções pontuais. A inclusão das chaves de acionamento redundantes ampliou a confiabilidade operacional, reforçando a segurança do sistema frente a possíveis falhas individuais dos sensores.

Considerando o curto tempo de propagação dos eventos, estimado em poucos segundos, o sistema apresentou resposta compatível com o nível de risco identificado, atendendo ao objetivo de possibilitar a interrupção imediata da via em caso de necessidade. Dessa forma, a solução demonstrou efetividade como medida preventiva, proporcionando segurança às equipes envolvidas nas atividades de estabilização e permitindo a operação rodoviária ininterrupta e segura durante toda a execução das intervenções.



Figura 6. Atividades sendo executadas sem interrupção da rodovia

A ausência de acionamentos reais não indica falta de utilidade do sistema, mas reflete o fato de que o período monitorado não apresentou eventos de instabilidade relevantes. O registro de acúmulo de pequenos detritos e fragmentos nos anteparos, sem disparo dos alarmes, confirma que o sistema se mostrou robusto e eficiente, evitando acionamentos indevidos associados a acúmulos progressivos de material.

6 CONCLUSÃO

A implantação de anteparos provisórios instrumentados na rodovia BR-277 demonstrou que estruturas simples, quando adequadamente concebidas e instrumentadas, podem proporcionar um incremento significativo de segurança operacional em cenários emergenciais de instabilidade geotécnica. O sistema desenvolvido apresentou capacidade efetiva de detecção potencial de movimentos, com tempo de resposta compatível com o nível de risco identificado, além de confiabilidade operacional, especialmente após os ajustes realizados durante a fase inicial de implantação.

A solução contribuiu de forma direta para a segurança das equipes envolvidas na execução da barreira dinâmica definitiva, ao mesmo tempo em que forneceu suporte técnico confiável para a liberação segura do tráfego junto aos órgãos competentes e à sociedade.

A adoção dos anteparos instrumentados mostrou-se uma alternativa eficaz para situações emergenciais caracterizadas pela necessidade de alerta rápido, monitoramento local contínuo e independência de sistemas de comunicação remota. Entre os principais pontos fortes observados destacam-se a sensibilidade adequada a pequenos deslocamentos, a redundância dos dispositivos de acionamento, a rapidez de instalação, o baixo volume de materiais empregados e a boa adaptação ao ambiente de mata densa, características que favoreceram sua aplicação no cenário analisado.

Apesar do desempenho satisfatório, a experiência também evidenciou oportunidades de aprimoramento. Recomenda-se, para aplicações futuras, a adoção de componentes com maior eficiência energética, o aumento da autonomia do sistema, preferencialmente com integração a fontes auxiliares de energia, como painéis solares, além do aperfeiçoamento dos mecanismos de registro de dados, de modo a reduzir perdas associadas a falhas da unidade de controle. A possibilidade de transmissão remota de alertas e de integração direta com os centros de comando dos operadores rodoviários também representa um avanço relevante para a ampliação da funcionalidade do sistema.

Mesmo com essas limitações, o sistema cumpriu plenamente seu propósito principal, ao proteger a integridade física de trabalhadores, operadores e usuários da rodovia durante uma intervenção geotécnica

caracterizada por alto risco imediato. A experiência reforça o potencial dessa abordagem para aplicação em outros contextos, nos quais haja risco iminente e necessidade de monitoramento local com resposta imediata.

Conclui-se, portanto, que a barreira provisória instrumentada configurou-se como uma solução inovadora, eficaz e economicamente viável, compatível com o caráter emergencial do cenário analisado, atendendo simultaneamente às exigências de segurança e operação da rodovia e apresentando elevado potencial de replicabilidade em obras geotécnicas emergenciais.



Figura 7. Serviço de estabilização concluído sem acidentes, sem interupção da rodovia e com segurança aos colaboradores, operadores e usuários.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à EPR pela confiança depositada para o desenvolvimento da solução. Agradecem, igualmente, à FGS Geotecnia pelos ensinamentos técnicos, pela parceria e pelo suporte integral prestado nas etapas de concepção, implantação e operação do sistema de instrumentação, cuja contribuição foi fundamental para o sucesso da solução adotada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FGS GEOTECNIA. Relatório de Sistema de Monitoramento e Alerta – BR-277 km 43, Curitiba–Paranaguá. Curitiba, 2025. 10 p. Relatório técnico contratado pela Civil Master.

GEO-RIO, Prefeitura do Rio de Janeiro. Manual Técnico de Encostas. Rio de Janeiro, 2014.

GERSCOVICH, D. M .S. et. al.. Estabilidade de Taludes. 2ª Edição. Oficina de Texto, 2016, São Paulo, SP, Brasil.

LACERDA, Willy Alvarenga; BECKER, Leonardo de Bona. Estabilidade de taludes em solos residuais e coluvionares: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2025. LACERDA, Willy Alvarenga; BECKER, Leonardo de Bona. Estabilidade de taludes em solos residuais e coluvionares: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2025.