

Entre o Risco e a Solução: O Papel das Barreiras Dinâmicas na Proteção de Comunidades Vulneráveis: O caso da Comunidade Visconde de Sabóia – Rio de Janeiro

Rodrigo Ferreira França

Geólogo, Fundação GEO-RIO, Rio de Janeiro, Brasil, rodrigo.franca@prefeitura.rio

Bruno Vieira de Jesus

Engenheiro Geotécnico, Fundação GEO-RIO, Rio de Janeiro, Brasil, brunojesus@prefeitura.rio

Marcus Bergman

Engenheiro Geotécnico, Fundação GEO-RIO, Rio de Janeiro, Brasil, marcus.bergman@prefeitura.rio

Luiz Jose Rebelo Osorio Brandão da Silva

Geólogo, Fundação GEO-RIO, Rio de Janeiro, Brasil, luiz.brandao@prefeitura.rio

RESUMO: Este trabalho apresenta a avaliação do desempenho de um sistema de contenção implantado em 2010 na comunidade Visconde de Sabóia, Rio de Janeiro, área marcada por escarpa rochosa íngreme e ocupação urbana vulnerável. O sistema, composto por barreiras dinâmicas de até 500 kJ, malhas metálicas e ancoragens, foi projetado em um contexto em que o uso dessa tecnologia ainda era incipiente no Brasil. Após 14 anos de operação e eventos significativos em 2023 e 2024, foram realizadas análises volumétricas via fotogrametria com drones, inspeções técnicas e simulações no software RocFall. Os resultados indicaram discrepância entre a capacidade nominal do sistema e a energia requerida (≈ 800 kJ), revelando a necessidade de reforço e manutenção. Um achado relevante foi a contribuição parcial das malhas metálicas para a atenuação do impacto, ainda que limitada. O estudo destaca a importância de revisões periódicas em sistemas implantados e mostra como os avanços tecnológicos desde 2010, podem subsidiar tanto novos projetos quanto a formulação de políticas públicas voltadas à manutenção e segurança em comunidades vulneráveis.

Palavras-chave: Barreiras Dinâmicas, Rolamento de Blocos, Gestão de Riscos, Contenção, Engenharia Geotécnica.

ABSTRACT: This paper evaluates the performance of a rockfall containment system implemented in 2010 in the Visconde de Sabóia community, Rio de Janeiro, an area characterized by a steep rocky escarpment and vulnerable urban settlement. The system, composed of dynamic impact barriers with nominal energy absorption capacity of up to 500 kJ, high-strength meshes, and rock anchors, was designed to mitigate risks associated with rockfall and block rolling. Following significant rockfall events in 2023 and 2024, the system performance was assessed using volumetric data from photogrammetry, technical inspections, and absorption capacity simulations. Results indicate that the original system's energy capacity was insufficient to retain the larger blocks, emphasizing the need for reinforcement and maintenance. The study also highlights the potential partial energy absorption contribution of metallic meshes. Technological advancements since the system's installation, including the use of 3D modeling software and barriers with higher energy capacities, offer enhanced protection solutions. This work provides technical insights for the design, maintenance, and rehabilitation of containment structures in urban rock escarpments at geotechnical risk.

Keywords: Dynamic Barriers, Rockfall, Risk Management, Retaining Structures, Geotechnical Engineering.

1 INTRODUÇÃO

A crescente urbanização em áreas de encosta, particularmente em cidades brasileiras como o Rio de Janeiro, tem levado à ocupação de locais com alta suscetibilidade a fenômenos geodinâmicos, como a queda e o rolamento de blocos rochosos. A comunidade Visconde de Sabóia, em Cavalcanti, Zona Norte do Rio de Janeiro, representa um estudo de caso emblemático dessa problemática. Caracterizada pela ocupação em torno de uma antiga pedreira, a região apresenta uma escarpa rochosa íngreme, com mais de 90 metros de altura, onde os riscos são acentuados não apenas por fraturas geológicas naturais, mas também por fraturas mecânicas decorrentes de antigas atividades explosivas de extração de rocha (Figura 1).



Figura 1— Imagem da localização da comunidade, encaixada em antiga pedreira. Fonte: autor.

Diante do cenário de vulnerabilidade da comunidade Visconde de Sabóia, a Fundação Geo-Rio, órgão referência na gestão de riscos geotécnicos do Rio de Janeiro, implantou em 2010 um projeto inovador de contenção utilizando barreiras dinâmicas contra queda de blocos rochosos. Embora essa tecnologia já estivesse consolidada internacionalmente desde a década de 1990, especialmente em países europeus e nos Estados Unidos, seu uso no Brasil ainda era incipiente, principalmente em áreas urbanas complexas. Assim, o projeto da Fundação Geo-Rio representou uma aplicação pioneira e adaptada dessas soluções modernas para proteção da população e das estruturas a jusante em ambiente urbano (Hearn, 1995).

O sistema foi desenvolvido para mitigar os impactos de desprendimentos rochosos, absorvendo a energia cinética dos blocos mobilizados e prevenindo danos aos moradores e edificações abaixo do paredão rochoso. Este trabalho tem como objetivo principal apresentar uma avaliação detalhada do desempenho desse sistema após 14 anos de operação, com especial atenção aos eventos significativos de deslocamento de blocos rochosos ocorridos em 2023 e 2024. A análise pós-evento, que foca na eficácia das barreiras dinâmicas e demais estruturas complementares instaladas, busca fornecer subsídios técnicos para compreender a longevidade, as demandas de manutenção e as necessidades de reabilitação das obras, destacando o papel essencial dessas infraestruturas para a segurança das comunidades vulneráveis em contextos urbanos.

2 METODOLOGIA

Para análise volumétrica e mapeamento da área afetada, utilizou-se drone para obtenção de imagens aéreas e fotogrametria, realizada por meio do software SiteScan. Essa ferramenta baseada em nuvem permite o processamento preciso e detalhado das imagens, possibilitando estimativas confiáveis dos volumes deslocados, mapeamento das áreas de impacto e suporte técnico para o planejamento da reabilitação. A fotogrametria é uma técnica consolidada para medições geométricas em geotecnia, destacada por Silva e Sousa (2020) e Teixeira et al. (2019), garantindo a qualidade e precisão dos dados coletados.

Após os eventos, foram realizadas inspeções técnicas detalhadas para diagnóstico dos danos nas barreiras dinâmicas, abrangendo postes, cabos de aço e malhas metálicas. Com base nessas inspeções, foi elaborado um

plano de manutenção e substituição dos elementos danificados, visando restabelecer a funcionalidade plena do sistema.

A avaliação da capacidade de absorção das barreiras foi apoiada em dados quantitativos aproximados, obtidos a partir da fotogrametria e estimativas do volume deslocado (cerca de 50 m^3) e da densidade média do gnaiss (2,8 t/m^3). Esses dados permitiram calcular a energia cinética dos blocos envolvidos, alinhando a análise aos parâmetros de projeto das barreiras (capacidade até 500 kJ), o que confere suporte técnico à avaliação mesmo diante das limitações dos dados originais. A área atingida pelo evento pode ser observada na Figura 2, que apresenta vista aérea da zona impactada.



Figura 2—Vista aérea da área atingida pela queda de blocos, evidenciando a disposição dos volumes retidos pela barreira dinâmica após o evento. Fonte: autor.

Detalhes da barreira dinâmica e da malha metálica na interface com a escarpa são apresentados na Figura 3. Os blocos rochosos retidos pela barreira após o evento estão ilustrados na Figura 4, evidenciando a proximidade das edificações protegidas.



Figura 3—Detalhe da barreira dinâmica e da malha metálica na interface com a escarpa, destacando os efeitos do impacto dos blocos e a vegetação remanescente. Fonte: autor.



Figura 4 — Vista dos blocos rochosos retidos pela barreira dinâmica após o evento, com destaque para a proximidade das moradias e infraestrutura urbana a jusante. Fonte: autor.

3 RESULTADOS

As simulações realizadas com o software RocFall indicaram que barreiras com capacidade de absorção energética de ao menos 800 kJ são necessárias para proteger a comunidade contra 90% dos eventos previstos, considerando um cenário com mil eventos simulados. Em contrapartida, as barreiras atualmente instaladas possuem capacidade nominal de 500 kJ, indicando que não deveriam ter sido capazes de conter integralmente os blocos de rocha. Essa disparidade explica os danos observados e reforça a necessidade de reforço ou substituição para garantir maior eficiência e segurança.

A estimativa do volume deslizado, obtida por meio de fotogrametria, foi aproximadamente 50 m³, correspondendo a cerca de 140 toneladas de gnaiss, considerando densidade média de 2,8 t/m³. Esses dados são essenciais para análise quantitativa da energia cinética envolvida nos eventos e servem de base para avaliar a adequação da capacidade das barreiras (Figura 5).

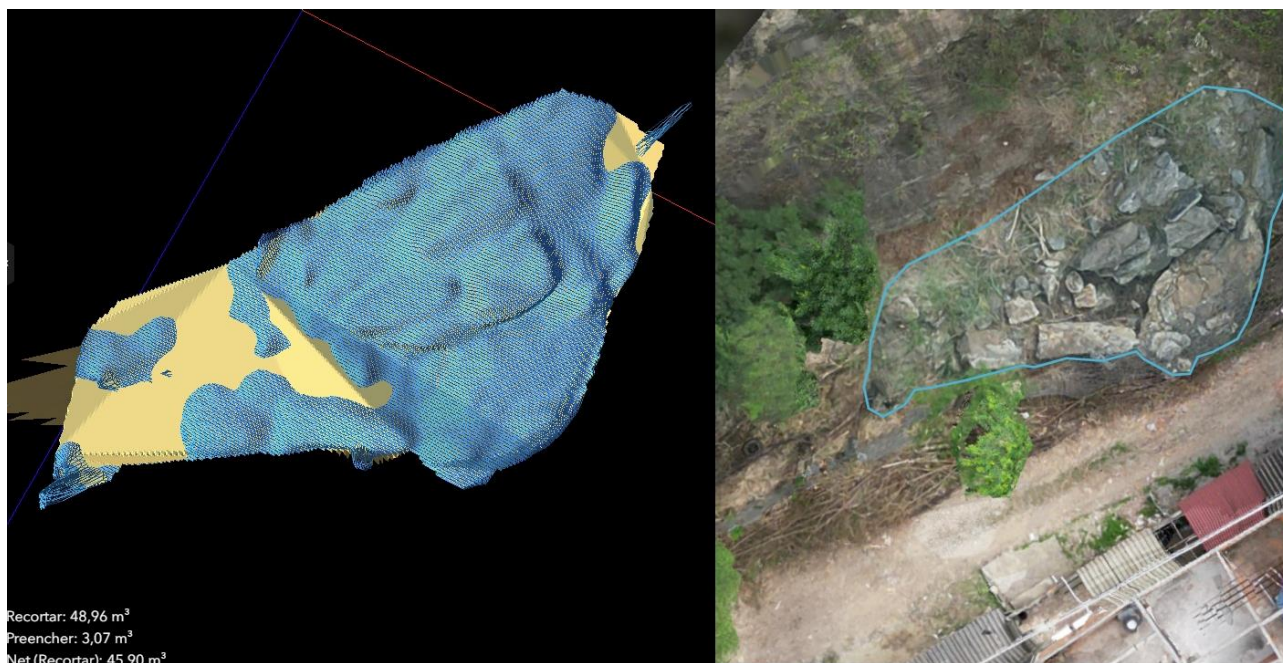


Figura 5 — Representação dos blocos contidos pela barreira após o evento de deslizamento: modelo tridimensional volumétrico (esquerda) e ortofoto delimitada (direita). Fonte: autor.

Nas inspeções pós-evento, foram identificados danos pontuais nas barreiras dinâmicas, principalmente em postes, cabos de aço e na malha metálica de proteção. Foi elaborado um projeto de manutenção contemplando a substituição dessas partes danificadas.

Observou-se que a malha metálica fixada na crista superior da escarpa foi rompida antes da energia dos blocos atingir a barreira principal. Levanta-se a hipótese de que essa malha tenha absorvido uma parte do impacto, ainda que pequena, contribuindo para a atenuação do risco.

4 DISCUSSÃO

Os resultados indicam uma considerável discrepância entre a capacidade nominal das barreiras instaladas, de 500 kJ, e a energia necessária estimada pelas simulações RocFall, que apontam para a necessidade de barreiras com capacidade mínima de 800 kJ para conter 90% dos eventos previstos. Essa diferença sugere que, em condições ideais, as barreiras existentes não seriam suficientes para conter integralmente os blocos de rocha rolantes, o que se refletiu nos danos observados durante os eventos recentes (Figura 6).

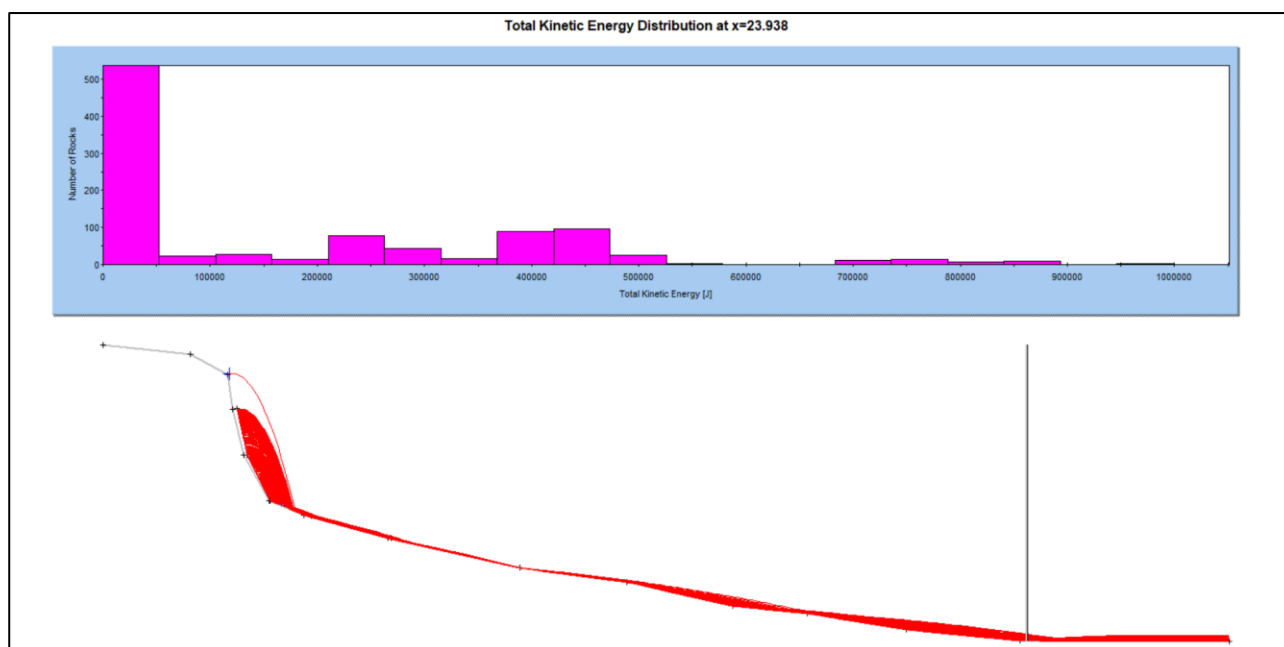


Figura 6— Distribuição da energia cinética total dos blocos simulados e trajetória dos blocos rolantes no talude, conforme resultado das análises de estabilidade. Fonte: autor.

Entretanto, a malha metálica fixada na crista superior da escarpa, embora tenha sido rompida, pode ter contribuído para absorver uma pequena fração da energia do impacto. Essa contribuição, ainda que limitada, reforça a importância de avaliar a interação entre os diferentes elementos do sistema de contenção, pois essa soma das proteções pode influenciar a eficácia geral na mitigação dos riscos associados à queda de blocos.

O cenário reforça a importância de reavaliar e ajustar os parâmetros de projeto das barreiras dinâmicas para que sua capacidade energética esteja adequada às condições reais do talude e ao potencial de impacto das massas rolantes. Além disso, evidencia a necessidade de um programa contínuo de manutenção e reforço das infraestruturas, garantindo a proteção efetiva e a segurança das comunidades vulneráveis.

Finalmente, o caso também destaca o papel complementar dos diferentes sistemas de contenção instalados no local, evidenciando a necessidade de um conjunto integrado de soluções para o manejo de riscos em taludes rochosos urbanos.

5 CONCLUSÃO

A avaliação dos eventos recentes de deslocamento de blocos rochosos na comunidade Visconde de Sabóia evidenciou a eficácia parcial do sistema de contenção implantado em 2010. As simulações indicam que a capacidade energética requerida para proteção adequada é superior à nominal das barreiras instaladas, o que justifica os danos observados e reforça a necessidade de revisão e reforço do sistema.

Adicionalmente, destaca-se que, enquanto o projeto de contenção implantado em 2010 utilizou barreiras com capacidade nominal limitada e softwares de análise predominantemente em 2D, a tecnologia atual permite o uso de barreiras com capacidades muito superiores e a aplicação de modelagens tridimensionais mais complexas para avaliação do risco e dimensionamento. Atualmente, diversas ferramentas avançadas de simulação tridimensional estão disponíveis e vêm sendo incorporadas nas análises geotécnicas, possibilitando uma avaliação mais precisa e realista das condições do terreno e do comportamento dos blocos rolantes. Esses



avanços ampliam as possibilidades de proteção e indicam que contenções em obras com riscos associados semelhantes ao presente caso podem se beneficiar significativamente dessas tecnologias para elevar a segurança dos sistemas de contenção.

Por fim, é fundamental estabelecer um programa contínuo de monitoramento, manutenção e atualização das estruturas de contenção, garantindo a segurança das áreas urbanas vulneráveis e a eficácia das intervenções geotécnicas adotadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABMS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA. Manual de Estabilidade de Taludes Naturais e Escavados. São Paulo: ABMS, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL (ABGE). Anais do 17º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, São Paulo, 2023.
- CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S. D. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios. Brasília: Ministério das Cidades/IPT, 2007.
- COSTA, H. M.; MARTINS, R. M.; MORAES, R. Soluções para contenção de quedas de blocos em escarpas rochosas: Experiências recentes no Brasil. In: Anais do COBRAE 2011, Curitiba, 2011.
- ESRI. Site Scan for ArcGIS. [S.l.]: ESRI, 2025. Software de mapeamento e análise baseado em nuvem para drones. Disponível em: <https://www.esri.com/arcgis/products/arcgis-reality/products/site-scan-for-arcgis>. Acesso em: 22 set. 2025.
- FUGANTI, A.; GOMES, L.; SILVA, F. A. Análise de Desempenho de Barreira Dinâmica no Rio de Janeiro. In: Anais do GEOSUL/COBRAE 2018, Florianópolis, 2018.
- GEO-RIO. Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização do Município do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Fundação Geo-Rio, 2020.
- GEO-RIO. Manual de Inspeção e Manutenção de Obras de Contenção. Rio de Janeiro: Fundação Geo-Rio, 2014.
- HEARN, G. J. (1995). Development of Effective Rockfall Barriers. Journal of Geotechnical Engineering, 121(6), 507-514.
- HEIMANN, D. C.; HEITZ, K. Rockfall hazard mitigation using flexible barriers. In: Engineering Geology, Elsevier, v. 103, p. 1–8, 2009.
- ROCSCIENCE. RocFall: Versão 4.039. Toronto, Canadá: Rocscience Inc., 2004. Disponível em: <https://www.rocscience.com/>.
- SILVA, J. R.; SOUSA, A. M. Fotogrametria com VANT em áreas de encosta: uma ferramenta para diagnóstico e projeto. In: Anais do Congresso da ABGE, Belo Horizonte, 2020.
- TEIXEIRA, L. S. G. et al. Aplicações de VANTs na Geotecnia e na Avaliação de Riscos Geológicos. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 8, n. 2, 2019.
- WENDLAND, W. et al. Rockfall Protection and Impact Energy. In: Proceedings of the ISRM International Symposium, Estocolmo, 2005.