

Projeto Para Estabilização de Encosta da Rua Major Sabino em Congonhas-MG

Daniel de Carvalho Moreira

Universidade Federal de São João del Rei, Ouro Branco-MG, Brasil, danielcarvalho1444@aluno.ufsj.edu.br

Richard Matheus Ribeiro Rodrigues

Universidade Federal de São João del Rei, Ouro Branco-MG, Brasil, ribeirorichard23@aluno.ufsj.edu.br

Tales Moreira de Oliveira

Universidade Federal de São João del Rei, Ouro Branco-MG, Brasil, tales@ufsj.edu.br

Marcio Fernandes Leão

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil, marcio.leao@puc-rio.br

RESUMO: Os centros urbanos enfrentam desafios relacionados à ocupação desordenada, agravando processos de instabilidade em encostas. Este artigo apresenta o projeto de estabilização de um talude localizado na Rua Major Sabino, em Congonhas-MG, região afetada por movimentos de massa, especialmente após eventos pluviométricos intensos entre 2021 e 2022. A área apresentou escorregamentos planares, colocando em risco edificações próximas. A investigação geotécnica incluiu ensaios de sondagem SPT, cisalhamento direto, levantamentos topográficos e visitas técnicas. Os resultados indicaram a presença de solo residual jovem, predominantemente siltoso, com baixa coesão, elevada erodibilidade e estruturas planares provenientes de xistos com inclinação média de 75°, características que favorecem a instabilidade. As análises de estabilidade, realizadas no software Slide utilizando o método de Spencer e o critério de Mohr-Coulomb, indicaram fatores de segurança abaixo dos recomendados pela ABNT NBR 11682:2009. Foram propostas três soluções principais: cortina atirantada com drenagem, solo grampeado com face verde e berma de equilíbrio constituída de aterro compactado com material de demolição no pé de parte da encosta. Após as intervenções, os fatores de segurança aumentaram para valores entre 1,386 a 1,468, demonstrando a eficácia das soluções adotadas na mitigação dos riscos geotécnicos e na recomposição da estabilidade do talude em ambiente urbano consolidado.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização de encostas, instabilidade geotécnica, solo residual, cortina atirantada, fator de segurança.

ABSTRACT:

Urban centers face challenges related to unplanned occupation, which exacerbates slope instability processes. This article presents the stabilization design for a slope located on Rua Major Sabino, in Congonhas, Minas Gerais—an area affected by mass movements, especially after intense rainfall events between 2021 and 2022. The site experienced planar slides that put nearby buildings at risk. The geotechnical investigation included SPT borings, direct shear tests, topographic surveys, and site inspections. Results indicated a young residual soil, predominantly silty, with low cohesion, high erodibility, and planar structures associated with schists dipping at an average of 75°, characteristics that favor instability. Stability analyses, performed in Slide using the Spencer method and the Mohr–Coulomb criterion, indicated safety factors below those recommended by ABNT NBR 11682:2009. Three main solutions were proposed: an anchored retaining wall with drainage, soil nailing with a green facing, and a toe berm made of compacted fill using demolition material at the base of part of the slope. After the interventions, global safety factors increased to between 1.386 and 1.468, demonstrating the effectiveness of the adopted solutions in mitigating geotechnical risks and restoring slope stability in a consolidated urban environment.

KEYWORDS: Slope stability, urban geotechnics, mass movements, retaining structures, drainage, urban slopes.

1 INTRODUÇÃO

Movimentos de massa incluindo deslizamentos de encosta, fluxos de detritos e subsidência representam um risco crescente em áreas urbanas densamente ocupadas, impulsionados pela combinação de fatores geomorfológicos, climáticos e antrópicos. O contexto urbano amplifica estes fenômenos devido à impermeabilização do solo, drenagem inadequada, ocupação de encostas instáveis e consequente sobrecarga nos sistemas naturais e de infraestrutura.

Estudos policêntricos na Europa apontam que cerca de 48 milhões de pessoas vivem em regiões com alta suscetibilidade a deslizamentos, resultando em quase 4 000 eventos entre 2015–2017 e implicando 39 fatalidades e 155 pessoas feridas, além de considerável prejuízo material (Mateos et al., 2020). O crescimento urbano sem planejamento adequado, aliado a legislações deficitárias, agrava o risco de ocupação em zonas de risco. No Japão, eventos emblemáticos em áreas urbanas destacam o perigo real. Por exemplo, o deslizamento de Harabun–Cho (1997) destruiu seis residências, obrigou a evacuação de 146 pessoas por dois meses, e foi desencadeado por chuvas intensas sobre depósitos coluviais instáveis. Já o desastre de Atami (2021), causado por armazenagem irregular de terra e chuvas extremas resultou em 27 mortes e evidenciou falhas na fiscalização e planejamento urbano (Qin, 2020).

Nas últimas décadas, os centros urbanos vêm enfrentando desafios relacionados à ocupação desordenada e à falta de planejamento adequado, especialmente em áreas de relevo acentuado. Esse cenário é agravado por eventos climáticos extremos, que intensificam processos de instabilidade geotécnica, colocando em risco a segurança da população e a integridade de edificações. No município de Congonhas, Minas Gerais, episódios de chuvas intensas ocorridos nos anos de 2021 e 2022 desencadearam movimentações de massa ao longo da Rua Major Sabino e suas adjacências, evidenciando a necessidade de intervenções emergenciais. A Figura 1 e a Figura 2 apresentam a região de estudo analisada neste artigo.



Figura 1. Localização da área de estudo destacada em amarelo.



Figura 2. Talude Major Sabino.

A região, classificada como área de risco geotécnico, apresentou escorregamentos planares que motivaram o desenvolvimento de uma campanha de investigação geotécnica, com o objetivo de caracterizar as condições locais e subsidiar a elaboração de projetos de estabilização. A partir de janeiro de 2023, foram realizados estudos complementares, ensaios de sondagem (SPT), ensaios de cisalhamento direto, levantamentos topográficos e visitas técnicas, que permitiram propor soluções técnicas eficazes. As alternativas adotadas incluem a construção de cortinas atirantadas, solo grampeado e intervenções associadas a desapropriações e demolições, representados na Figura 3, além da implantação de sistemas de drenagem.

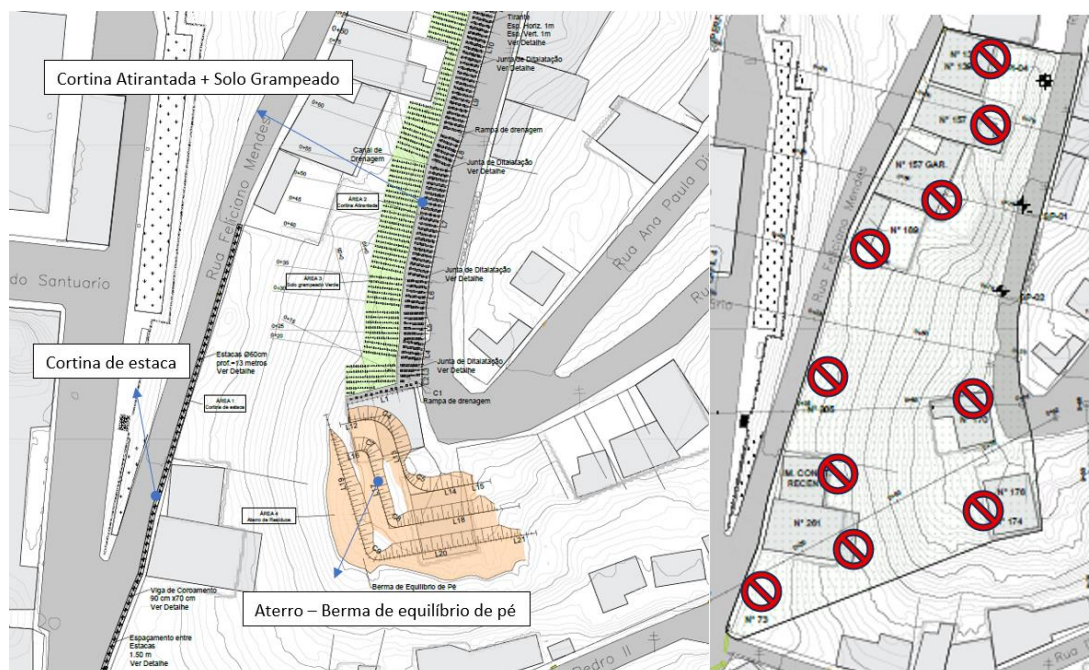


Figura 3. Arranjo geral das propostas de intervenção, as residências sugeridas a desapropriação (destacadas em vermelho).



Este artigo apresenta e discute um estudo de caso de estabilização de encosta em área urbana, documentando o arranjo executivo adotado (cortina atirantada com drenagem, solo grampeado e berma de equilíbrio), os parâmetros geotécnicos e critérios de segurança empregados, bem como os resultados de fator de segurança nas condições pré e pós-intervenção. Busca-se sistematizar lições aprendidas, incluindo premissas de modelagem, condicionantes de acesso/interferência, definição de critérios de desempenho por cenário de uso (com e sem ocupação) e compatibilização com o projeto urbano, de modo a subsidiar profissionais e gestores na seleção e no dimensionamento de soluções. Ao publicar o detalhamento técnico de um caso real, o trabalho apoia a comunidade na formulação de novas soluções, na replicabilidade de boas práticas e na evolução de metodologias comparativas aplicáveis a contextos semelhantes.

2 METODOLOGIA

A área de estudo está situada na Rua Major Sabino, no município de Congonhas-MG, caracterizada por apresentar relevante instabilidade geotécnica em função das suas condições geomorfológicas e geológicas. O local está inserido no Grupo Nova Lima, que faz parte do Supergrupo Rio das Velhas, composto predominantemente por xistos, filitos e rochas metavulcânicas. Tais materiais apresentam estruturas reliquias, com inclinação média em torno de 75° , fator que contribui diretamente para os processos de instabilidade observados em movimentos planares corridos.

Do ponto de vista pedológico e geotécnico, identificou-se um solo classificado majoritariamente como cambissolo, caracterizado por ser um material jovem, de baixa evolução, textura predominantemente siltosa e baixa coesão. Essa configuração resulta em alta suscetibilidade à erosão e à perda de resistência, especialmente em períodos de elevado índice pluviométrico, quando ocorre saturação parcial ou total dos materiais superficiais.

Para a análise das condições geotécnicas, foram realizados ensaios de sondagens à percussão (SPT) e ensaios de cisalhamento direto, além de levantamentos topográficos e inspeções em campo. Com base nesses dados, foi possível estabelecer os parâmetros geotécnicos do solo, destacando peso específico aparente médio de 17 kN/m^3 , coesão efetiva de aproximadamente 17 kPa e ângulo de atrito interno de 28° , valores que foram utilizados nas simulações de estabilidade.

As análises foram desenvolvidas utilizando o método de equilíbrio limite de Spencer, por meio do software Slide Rocscience, considerando ruptura não circular, condizente com a presença de planos de fraqueza paralelos, típicos dos xistos presentes na região. As simulações consideraram cenários críticos, especialmente sob condições de saturação do solo, representando a situação mais desfavorável, frequentemente associada aos períodos de chuvas intensas.

Como critério de resistência adotou-se o modelo de Mohr-Coulomb e nível d'água posicionado no contato solo/rocha para simular chuvas prolongadas (condição crítica). Os fatores de segurança globais foram calculados conforme a ABNT NBR 11682:2009, mantendo-se verificações locais das estruturas de contenção. As campanhas e as simulações iniciais representam a condição pós-evento (2021–2022). O arranjo segue composto por: (i) cortina atirantada no talude principal a jusante da Rua Major Sabino, com tirantes em malha $1,0 \times 1,0 \text{ m}$, comprimento total de 12 m (sendo 7 m de bulbo), inclinação 15° e carga de trabalho $\approx 200 \text{ kN}$; (ii) solo grampeado a montante da cortina e em trechos superiores, com grampos em malha $1,0 \times 1,0 \text{ m}$, comprimento ancorado 8 a 9 m , inclinação 10° e carga $\approx 100 \text{ kN}$; (iii) berma de equilíbrio de pé na parte inferior da encosta (Rua Major Sabino), com reutilização do material de demolição e acabamento com solo da terraplenagem da cortina; (iv) cortina de estacas na crista (Rua Feliciano Mendes).

Os resultados das análises indicaram que, na condição pós-eventos de 2021–2022, os fatores de segurança globais (FS) variaram entre $0,742$ e $0,987$, valores significativamente abaixo do patamar recomendado para áreas com edificações habitadas em ambiente urbano (inclusive usos públicos), situação em que se adota $FS \geq 1,50$. Esses resultados são compatíveis com as patologias observadas em campo, trincas em edificações, fissuras em calçadas e com registros históricos de movimentos de massa na região.

Se a ocupação fosse mantida, o alvo permaneceria em $FS \geq 1,50$. Como, neste caso, a área será desocupada, demolida e convertida em área verde não edificável, aplica-se $FS \geq 1,30$; este é o cenário considerado nas verificações finais de projeto.

Diante desse cenário, e como comentado foram propostas intervenções que contemplam a execução de uma cortina atirantada com tirantes metálicos, grampeamento do solo na parte superior da encosta com sistema de face verde, além da implantação de berma de equilíbrio de pé e controle de processos erosivos. As soluções de drenagem foram incorporadas ao projeto com DHP na cortina para interceptação de surgências e níveis d'água, barbacãs e canaletas retangulares entre a crista da cortina e a faixa grampeada, em

concreto simples, conectada à drenagem existente na via, para disciplina do excedente pluviométrico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises de estabilidade foram conduzidas no Slide (método de Spencer) para a condição pós-escorregamentos (2021–2022) com nível d'água elevado no contato solo/rocha, resultando em FS_{global} pré-intervenção entre 0,742 e 0,987, ver Figura 4. Com a cortina atirantada com drenagem, o solo grampeado a montante e a berm de equilíbrio de pé, os FS_{global} pós-intervenção variaram de 1,386 a 1,468 nas seções críticas avaliadas (Figuras 5 e 6). Esses valores atendem ao critério aplicável ao cenário definitivo de pós-desapropriação ($FS_{global} \geq 1,30$); se a ocupação fosse mantida, o alvo seria $FS_{global} \geq 1,50$. As verificações locais (arrancamento, estabilidade interna e de face) foram satisfeitas segundo as respectivas normas.

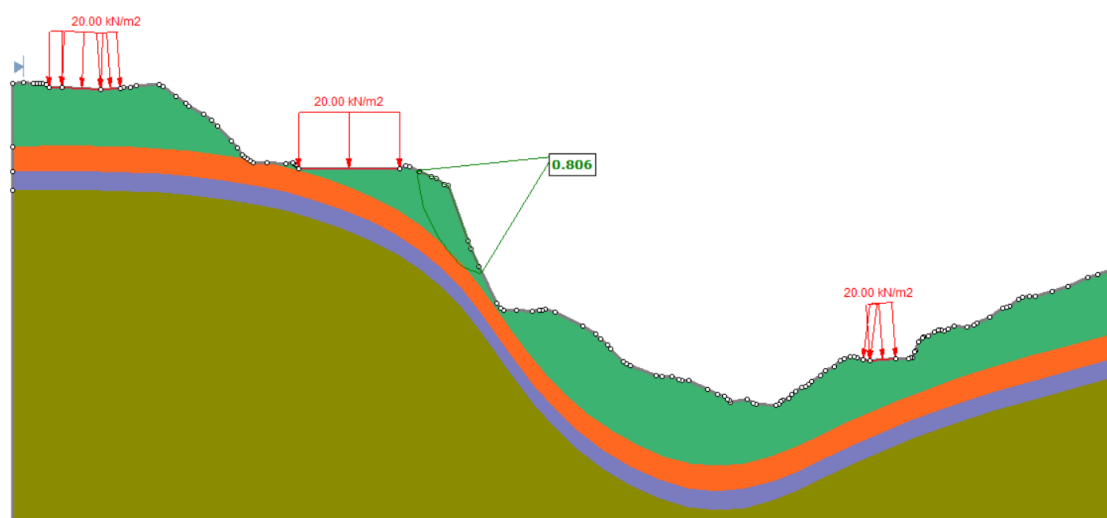


Figura 4. Arranjo Perfil 2 análise de estabilidade – Método de Spencer – Fator de segurança igual a 0,806.

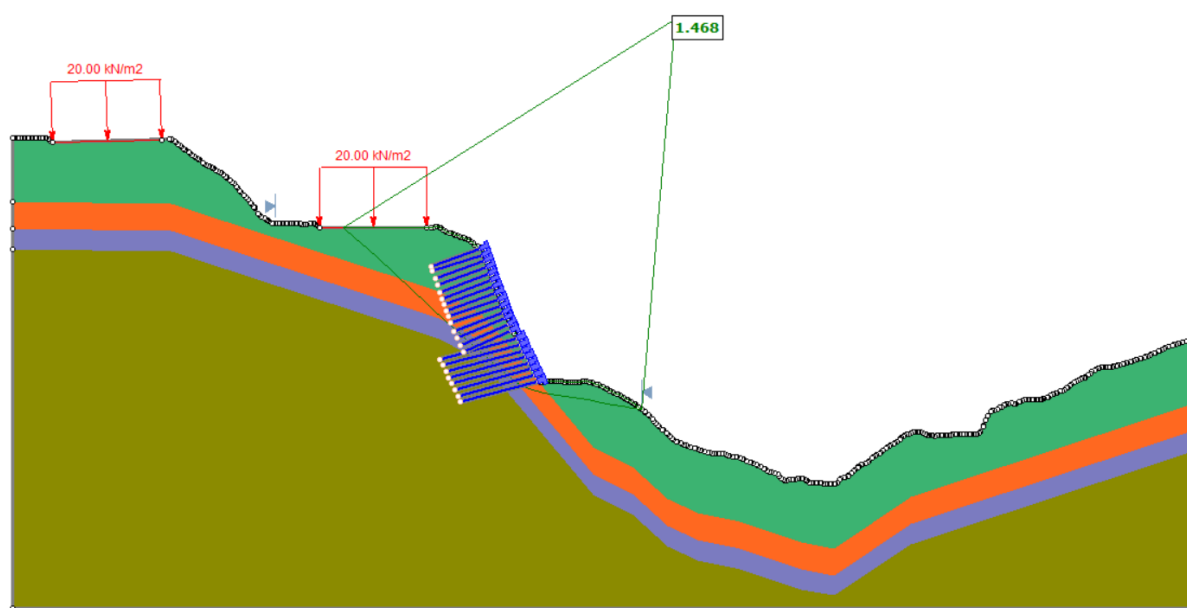


Figura 4. Analise estabilidade, seção crítica, perfil 02 contendo cortina e solo grampeado – Spencer - $FS = 1,468$.

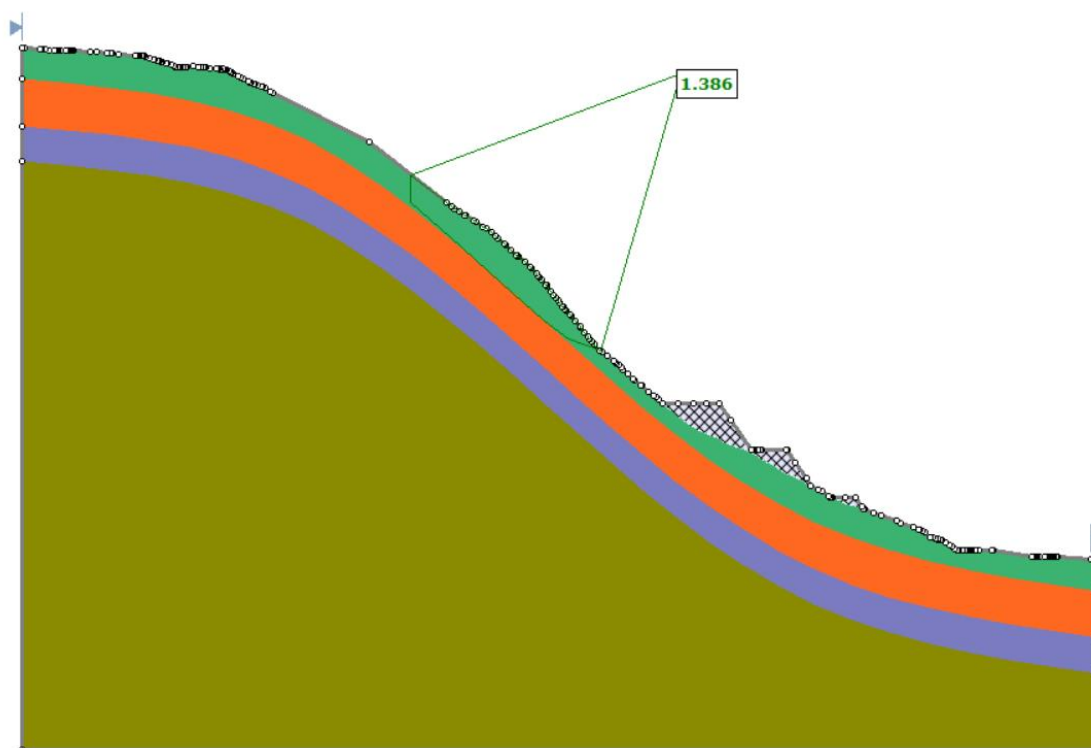


Figura 5. Análise estabilidade, seção crítica, perfil 06 contendo ajuste da demolição no topo do terreno e aterro com material de demolição (berma de equilíbrio para o pé) – Spencer - FS = 1,386.

Os resultados das simulações indicam que as principais causas da instabilidade estão associadas às características do solo residual da região. Além disso, a ocupação desordenada, com cortes no pé do talude e construções em locais inadequados, agravou o quadro de risco sobre tudo em uma região de alta declividade.

Após a implementação das simulações com as intervenções propostas, obtém-se elevações satisfatórias dos fatores de segurança, atingindo valores entre 1,313 e 1,468 por tanto atendendo as condições normativas. A comparação entre as condições pré e pós-intervenção evidencia que a aplicação combinada de técnicas de contenção, reforço do maciço e sistemas de drenagem é capaz de gerar ganhos na estabilidade do talude.

No cenário definitivo de pós-desapropriação e conversão em área verde, os FS_global de 1,386 a 1,468 atendem ao critério aplicável ($FS_{global} \geq 1,30$). Caso a ocupação fosse mantida, aplicar-se-ia $FS_{global} \geq 1,50$ o que não seria capaz de ser atingido com as técnicas aplicadas e seriam necessários reforços adicionais; não é o caso do arranjo final, que elimina a permanência de pessoas e edificações na zona de influência.

De forma geral, os resultados obtidos são compatíveis com a realidade operacional da área urbana analisada, contudo, destaca-se a importância da continuidade no monitoramento das condições do maciço, da manutenção periódica dos sistemas de drenagem e da adoção de medidas preventivas que restrinjam ocupações irregulares em áreas de risco. Este artigo reforça a relevância de uma abordagem integrada entre engenharia geotécnica, planejamento urbano e gestão de riscos, como instrumento fundamental para garantir a segurança da população e a sustentabilidade das intervenções que podemos denominar de resiliência urbana.

Situação análoga foi registrada por Ribeiro et al. (2025) em Recife, onde intervenções com drenagem profunda e reforço do maciço elevaram o FS de valores críticos para patamares ainda abaixo do ideal de 1,5, compatíveis com os 1,313 a 1,468 obtidos em Congonhas após simulações. Gerscovich et al. (2011) reforçam que, em solos residuais saturados por eventos pluviométricos intensos, a perda de sucção matricial reduz significativamente o FS, exigindo soluções integradas. A influência da ocupação antrópica, cortes inadequados na base do talude e impermeabilização descontrolada são destacados por Guimarães et al. (2016) como fatores agravantes da instabilidade, demonstrando que intervenções pontuais, sem planejamento urbano coordenado, não são suficientes para garantir a segurança a longo prazo. Nesse contexto, Teixeira (2014) ressalta que a infiltração da água pluvial em solos residuais induz variações temporárias nos parâmetros geotécnicos, o que justifica a necessidade de sistemas de drenagem eficientes



e monitoramento contínuo das encostas urbanas, como defendido no trecho analisado. Assim, a convergência dos estudos científicos reforça a abordagem integrada entre engenharia geotécnica, planejamento urbano e gestão de riscos como caminho necessário para a mitigação efetiva dos movimentos de massa em áreas urbanas densamente ocupadas.

4 CONCLUSÃO

A complexidade e vulnerabilidade crescendo em centros urbanos exigem abordagens integradas que combinem legislação adequada, engenharia tradicional, bioengenharia e tecnologia de monitoramento para que seja possível desenvolver soluções resilientes capazes de enfrentar as mudanças climáticas. Neste sentido a solução para os centros urbanos requerem planejamento territorial robusto, uso de ferramentas analíticas avançadas e fiscalização eficaz, condições indispensáveis para mitigar riscos e construir resiliência urbana sustentável. Portanto, a combinação das soluções estruturais e de drenagem adotadas se mostrou tecnicamente viável e eficiente, reduzindo o risco geotécnico da área, além de oferecer uma alternativa compatível com o ambiente urbano existente, preservando a segurança dos moradores e a funcionalidade da via pública.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2009). NBR 11682:2009 – Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro.

Gerscovich, D. M. S.; Vargas JR., E. A.; Pereira de Campos, T. M. (2025) Back analysis of a landslide in a residual soil slope in Rio de Janeiro, Brazil. *Soils and Rocks*, v. 34, n. 2, p. 139–149, 2011.

Guimarães, R. F.; Hurtado Espinoza, A. M.; Campos, T. M. (2016) Does parameterization influence the performance of slope stability model results? A case study in Rio de Janeiro, Brazil. *Landslides*, v. 13, p. 1303–1314.

Mateos, R. M.; López-Vinielles, J.; Poyiadji, E.; Tsagkas, D.; Sheehy, M.; Hadjicharalambous, K.; Liscák, P.; Podolski, L.; Laskowicz, I.; Ladanza, C.; Gauert, C.; Todorović, Auflíč, S.M.J.; Maftai, R.; Hermanns, R. L.; Kociu, A.; Sandić, C.; Mauter, R.; Sarro, R.; Béjar, M.; Herrera, G. (2020) Integration of landslide hazard into urban planning across Europe, *Landscape and Urban Planning*, 196:103740.

Pereira, F. C.; Oliveira, F. L. D.; Assis, L. E.; Santos, T. B. dos. (2019). Three-dimensional stability analysis of an urban slope located in João Monlevade, Brazil. *Research, Society and Development*, v. 8, n. 11, e168111449.

Qin, Y. (2020) Urban Flooding Mitigation Techniques. (2020). *MDPI Water*, 12(12):3579.

Ribeiro, P. G. S.; Coutinho, R. Q.; Souza Neto, D. P.; Gomes, I. F. (2025) Stability analysis of an urban slope under human activities and critical rainfall: case study of Recife, Brazil. *Geotechnical and Geological Engineering*, v. 43, p. 1–17.

Teixeira, E. K. C. (2014) Estudo da influência da infiltração de águas pluviais na estabilidade de um talude de solo residual. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.