

Estabilização de Talude em Solo Residual por Solução Mista: Estudo de Caso em Congonhas-MG

Bruno de Matos Amancio

Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil, matosbruno316@gmail.com.

Gustavo Almeida Daudt

Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil, gustavodaudt13@gmail.com

Marcio Fernandes Leão

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

marcio.leao@puc-rio.br

Tales Moreira de Oliveira

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

RESUMO: Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre a aplicação de uma solução de engenharia mista para a estabilização de um talude de corte em solo residual na área urbana de Congonhas, Minas Gerais. O local apresentava instabilidade ativa, com um Fator de Segurança (FS) inicial de 1,00, no limiar da ruptura. A metodologia envolveu a caracterização geotécnica do maciço, composto por Cambissolo Háplico, e a modelagem da estabilidade pelo software Slide (Rocscience). A solução adotada combinou múltiplas técnicas: uma cortina de contenção com microestacas no topo do talude, um muro de gravidade de blocos de concreto segmentares na base, fundado sobre estacas hélice contínua, e a aplicação de bioengenharia com biomanta para controle da erosão superficial. A análise demonstrou a eficácia da abordagem integrada, que elevou o FS global para 1,32, atendendo aos requisitos normativos e garantindo a estabilidade da encosta e a segurança das edificações vizinhas.

PALAVRAS-CHAVE: Blocos Intertravados, Contenção por Gravidade, Estabilidade de Talude, Infraestrutura Urbana.

ABSTRACT: This paper presents a case study on the application of a mixed engineering solution for the stabilization of a cut slope in residual soil in the urban area of Congonhas, Minas Gerais, Brazil. The site showed active instability, with an initial Factor of Safety (FS) of 1.00, at the threshold of failure. The methodology involved the geotechnical characterization of the soil mass, composed of Haplic Cambisol, and stability modeling using the Slide software (Rocscience). The adopted solution combined multiple techniques: a retaining curtain with micropiles at the top of the slope, a segmental concrete block gravity wall at the base, founded on continuous flight auger piles, and the application of bioengineering with an erosion control blanket. The analysis of the results demonstrated the effectiveness of the mixed approach, which increased the overall Factor of Safety to 1.32, meeting regulatory requirements and ensuring the stability of the slope and the safety of adjacent buildings.

KEYWORDS: Interlocking Blocks, Gravity Retaining Structure, Slope Stability, Urban Infrastructure.

1 INTRODUÇÃO

Deslizamentos de terra em áreas urbanas configuram um dos desastres geológicos mais frequentes no Brasil, representando riscos significativos à vida, ao patrimônio e à infraestrutura (SANTOS et al., 2016). Esse quadro é especialmente crítico em regiões de clima tropical, como o Sudeste brasileiro, onde predominam solos residuais lateríticos de comportamento altamente heterogêneo e sensível às variações de umidade (BERBERIAN, 2015).

No município de Congonhas-MG, o talude analisado apresentava instabilidade ativa, com um Fator de Segurança (FS) de 1,00, caracterizando uma condição de equilíbrio limite que exigia intervenção imediata para preservar a segurança das edificações vizinhas. A alternância entre períodos secos e chuvosos intensos provoca variações bruscas na sucção matricial do solo, repercutindo direto na coesão aparente e, portanto, na sua resistência ao cisalhamento, e cuja perda pode deflagrar movimentos de massa (FISCINA et al., 2024).

A complexidade de cenários de instabilidade em áreas urbanas frequentemente demanda soluções integradas, que combinem diferentes técnicas de contenção e reforço. A literatura técnica recente tem evidenciado a eficácia de abordagens mistas, destacando a aplicação conjunta de microestacas, estruturas modulares e sistemas de drenagem (JAIN et al., 2021). Além disso, a associação de geossintéticos com cobertura vegetal tem demonstrado bons resultados na contenção de movimentos superficiais e no controle de processos erosivos, promovendo estabilidade e sustentabilidade (SONG et al., 2022; MAIRAING et al., 2024).

No caso em estudo, mostra-se que a adoção de uma solução mista se mostrou viável, frente a complexidade do contexto urbano em que o talude de estudo se insere. Sobretudo pela existência de espaço confinado e vizinho a edificações já existentes mediante a necessidade de garantir fatores de segurança adequados. Assim, a combinação de diferentes técnicas de estabilização foi definida a partir de uma análise de custo-benefício, visando ao equilíbrio entre viabilidade econômica, eficiência estrutural e redução de riscos incluindo as construções vizinhas.

O presente trabalho busca contribuir ao apresentar um estudo de caso detalhando sobre a estabilização de um talude em solo residual localizado na área urbana de Congonhas-MG. O artigo descreve o diagnóstico geotécnico, o processo de concepção e dimensionamento da solução mista adotada. A proposta tem como foco demonstrar como a combinação estratégica de diferentes técnicas pode mitigar riscos geológicos em ambientes urbanos com restrições espaciais e condicionantes operacionais. A localização do caso estudado está representada na Figura 1.

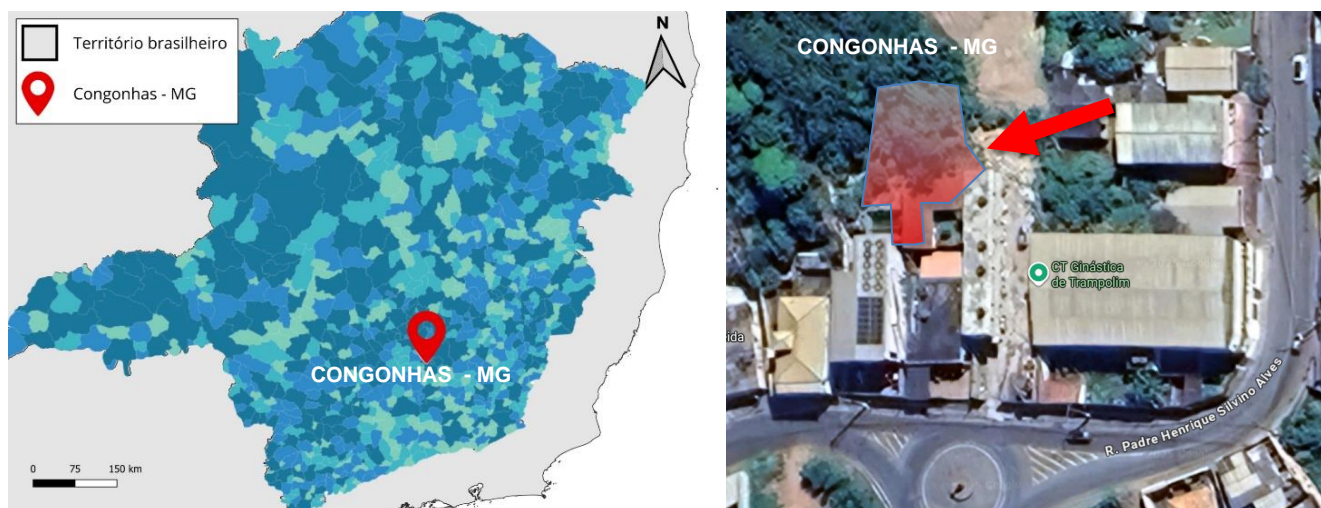


Figura 1. Localização da área de estudo (Congonhas–MG), acesso pela residência nº 356 na Rua Padre Henrique Silvino Alves.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada no projeto foi estruturada em etapas sequenciais, buscando soluções com desempenho compatível as necessidades locais e em função de peculiaridades como restrição de espaço, limitado na crista, e região hidromórfica no pé do talude onde se encontra um córrego temporário. Inicialmente, realizou-se a caracterização da área, com a execução de levantamento topográfico planialtimétrico detalhado e sondagens de simples reconhecimento (SPT), conforme os procedimentos da ABNT NBR 6484:2020. Foram também coletadas amostras indeformadas para ensaios de caracterização e ensaios triaxiais do tipo Consolidado e Drenado (CID) em laboratório. O corpo do maciço em estudo é pedologicamente classificado como um Cambissolo Háplico



de natureza filítica, um solo residual típico da região, caracterizado por baixa coesão e elevada suscetibilidade à instabilidade, especialmente sob variações de umidade.

O maciço foi modelado no Slide por equilíbrio limite (Spencer, Morgenstern & Price e Sarma) com critério Mohr–Coulomb. O nível d'água considerado segue a situação observada (aflorante no pé em períodos chuvosos) baseado no resultado das sondagens SPT, adotando-se a condição mais crítica nas simulações. Para representar a a pré-intervenção proposta, realizou-se retroanálise para ajustar os parâmetros efetivos à situação de campo ($FS \approx 1,0$) tendo vista as trincas na residências lindeiras, cicatrizes no talude, e massa movimentada planarmente.

Por tanto o projeto teve sua execução norteada pelas seguintes etapas: i) visita técnica a área impactada por meio de incursão de campo; ii) análise das sondagens tipo SPT e levantamento planialtimétrico (topografia) executados e; iii) retirada de três amostradas indeformadas por execução de poço de inspeção com realização de ensaios triaxiais tipo CID em laboratório, permitindo a definição de um perfil geotécnico de projeto e sua análise de estabilidade.

As análises de estabilidade foram realizadas limitando-se as seções mais críticas, analisando inicialmente a condição natural da estabilidade global do talude, os quais posteriormente foram ajustados com uma cortina de Microestaca Arcos no topo do talude e aplicação de um muro de gravidade na base, composto por elementos segumentais pré-moldados de montagem em encaixe macho e fêmea, avaliando-se a estabilidade final local e global.

Os fatores de segurança foram estabelecidos conforme os critérios apresentados na NBR ABNT 11682:2009. Para o caso e em função dos riscos envolvidos sejam, nível de segurança contra danos a vidas humanos, e de segurança contra danos materiais e ambientais determinou-se o FS (Fator de segurança) mínimo de 1,3.

Os documentos relacionados abaixo na Tabela 1, utilizados na sua revisão mais recente, serviram como base de instruções e procedimentos metodológicos.

Tabela 1. Códigos e Normas.

NORMAS	DESCRIÇÃO
ABNT NBR 6502:2022	Terminologia de Rochas e Solos.
ABNT NBR 6484:2020	Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio.
ABGE - Boletim nº 03 - 2013	Manual de Sondagens 5ª Edição.
ABNT NBR 11682:2009	Estabilidade de encostas.
ABNT NBR 6118:2014	Versão Corrigida: 2014. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.
ABNT NBR 6122:2022	Projeto e execução de fundações.
ABNT NBR 8044:2018	Projeto geotécnico - Procedimento.
NBR 16920-2:2021	Muros e taludes em solos reforçados - Parte 2: Solos grampeados
ABNT NBR-7480:2022	Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado.
ABNT NBR-9061:1985	Segurança de escavação a céu aberto - Procedimento.
ABNT NBR-8681:2004	Ações e segurança nas estruturas - Procedimento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Diante dos resultados da topografia, sondagens percussivas, incursão de campo e resultados dos triaxiais, verifica-se que, geologicamente, a área de estudo encontra-se inserida no contexto do Quadrilátero Ferrífero, em uma suíte representada predominantemente por rochas félsicas de composição tonalítica a granodiorítica, de coloração cinza-média, contendo biotita e anfibólio como principais minerais máficos. Essas rochas apresentam granulação média a grossa, com foliação marcante e ocorrência eventual de bandamentos, bem como enclaves máficos centimétricos a métricos, geralmente orientados segundo a estrutura regional.

Por meio de correlações paramétricas propostas por Berberian (2015), Teixeira & Godoy (1996), e Godoy (1983), juntamente com análises de ensaios triaxiais, é possível estimar que o solo mais superficial apresente, em condições efetivas, peso específico aparente na ordem de 17 kN/m^3 , coesão efetiva com valores na ordem de 8 kPa e ângulo atrito de 18° . Abaixo desta, encontram-se camadas mais competentes, conforme dados de sondagens



2 0 2 5

percussivas executadas na área, as quais identificaram o nível d'água que, no pé do talude, praticamente aflora. A linha freática, do topo para base, indica que o fluxo tende a buscar a linha de base no pé, onde se forma um pequeno córrego visível durante cerca de seis meses do ano.

Verifica-se, na Figura 2, o resultado da análise de estabilidade para a condição de risco avaliada, sendo possível identificar um carregamento na crista, que representa as cargas da edificação.

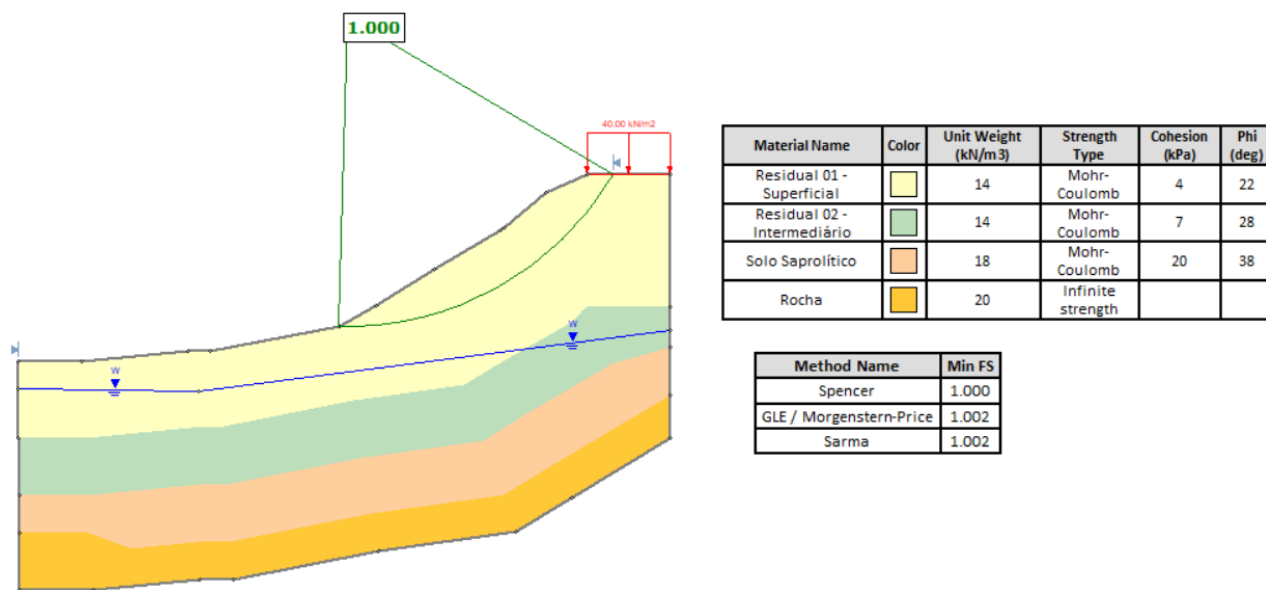


Figura 2. Análise estabilidade do perfil natural, método de Spencer – FS = 1,0.

Após a análise da seção geológico-geotécnica crítica de projeto, considerando os parâmetros geotécnicos apresentados anteriormente na Figura 2 e o perfil natural do terreno, propôs-se a execução de uma cortina construída de Microestacas Arcos no topo do talude, com o objetivo de viabilizar a estabilização da sua região superior. Essa proposta foi definida em função do pouco espaço disponível (1 metro de largura) e da necessidade de uma técnica de baixo impacto, dada a condição atual das edificações, que apresentam trincas resultantes de movimentações anteriores causadas pelo talude.

Para a região de base, concebeu-se uma estrutura em muro de gravidade, destinada a permitir a suavização do talude a montante, com consequente compactação do material de retroaterro lançado e posterior proteção por meio de revegetação, aplicando-se técnicas de bioengenharia.

Portanto, diante do diagnóstico de instabilidade, foi desenvolvida uma solução de engenharia mista, conforme ilustrado na Figura 3 (recorte do projeto executivo), integrando diferentes técnicas compatíveis com as restrições locais. O conjunto completo foi então modelado, possibilitando a verificação numérica do comportamento do talude e a obtenção do novo fator de segurança final.

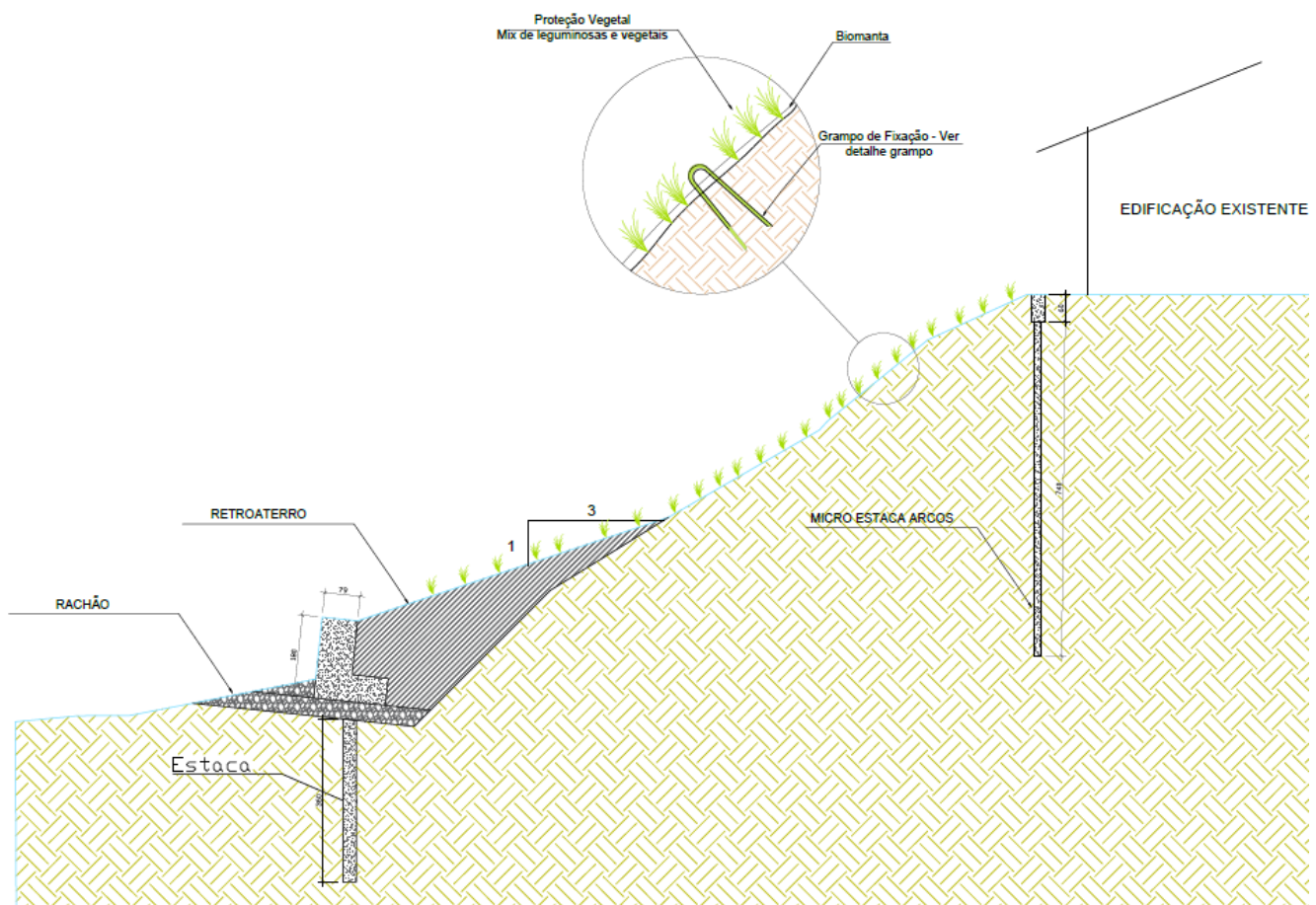


Figura 3. Corte esquemático da seção crítica de projeto apresentando as estruturas propostas para estabilização.

A modelagem da encosta em sua condição original, por meio do método de Spencer (Figura 2), indicou uma superfície de ruptura circular profunda e um Fator de Segurança (FS) de 1,00. Esse valor caracteriza uma condição de equilíbrio limite e quantifica de forma técnica a instabilidade ativa observada em campo, na qual as forças motrizes se igualam às forças resistentes do solo e a presença de um movimento ativo progressivo gerando patologias. Tal comportamento é amplamente descrito na literatura especializada, especialmente em solos residuais tropicais, cuja estabilidade é fortemente impactada pela perda de sucção matricial (FISCINA et al., 2024). Após a inserção dos componentes da solução mista no modelo computacional, uma nova análise indicou um Fator de Segurança global de 1,32, validando a eficácia técnica da intervenção proposta (Figura 4).

O valor obtido de $FS = 1,32$ atende ao critério mínimo de 1,30 estabelecido pela ABNT NBR 11682, decorrente da sinergia entre os elementos empregados como solução. A cortina de microestacas injetadas ARCOS, instalada no topo do talude, atua como um reforço, interceptando a superfície de ruptura e aumentando a resistência ao cisalhamento do conjunto solo-reforço. Na base, o muro de gravidade com blocos segmentares atua como estrutura de contenção, cujo peso próprio se contrapõe ao empuxo do solo e permite um leve retaludamento, reduzindo a inclinação geral e, conseqüentemente, as forças motrizes. Cabe destacar que as estacas do tipo hélice contínua monitorada (HCM) foram projetadas para fornecer capacidade de suporte ao muro de gravidade, sendo particularmente adequadas neste caso, pois a fundação está localizada em uma região com nível freático elevado e material de baixa capacidade de suporte.

A interação entre os elementos da solução mista apresenta soluções pouco empregadas onde a cortina de microestacas alivia os esforços internos no maciço e atua como reforço profundo, enquanto o muro de gravidade com blocos segmentares estabiliza a base do talude, impedindo a progressão de uma ruptura de pé que poderia comprometer a fundação da cortina superior. Complementarmente, a proteção superficial com biomanta, embora



2025

não considerada nos cálculos de estabilidade global, é essencial para a durabilidade da intervenção, reduzindo a exposição do solo aos agentes erosivos. Conforme apontado por Luz et al. (2021) e Mairaing et al. (2024), a cobertura vegetal associada a geossintéticos contribui significativamente para o controle da erosão, a prevenção de ravinas e a manutenção das condições de umidade do solo, compondo uma estratégia de engenharia integrada e ambientalmente sustentável.

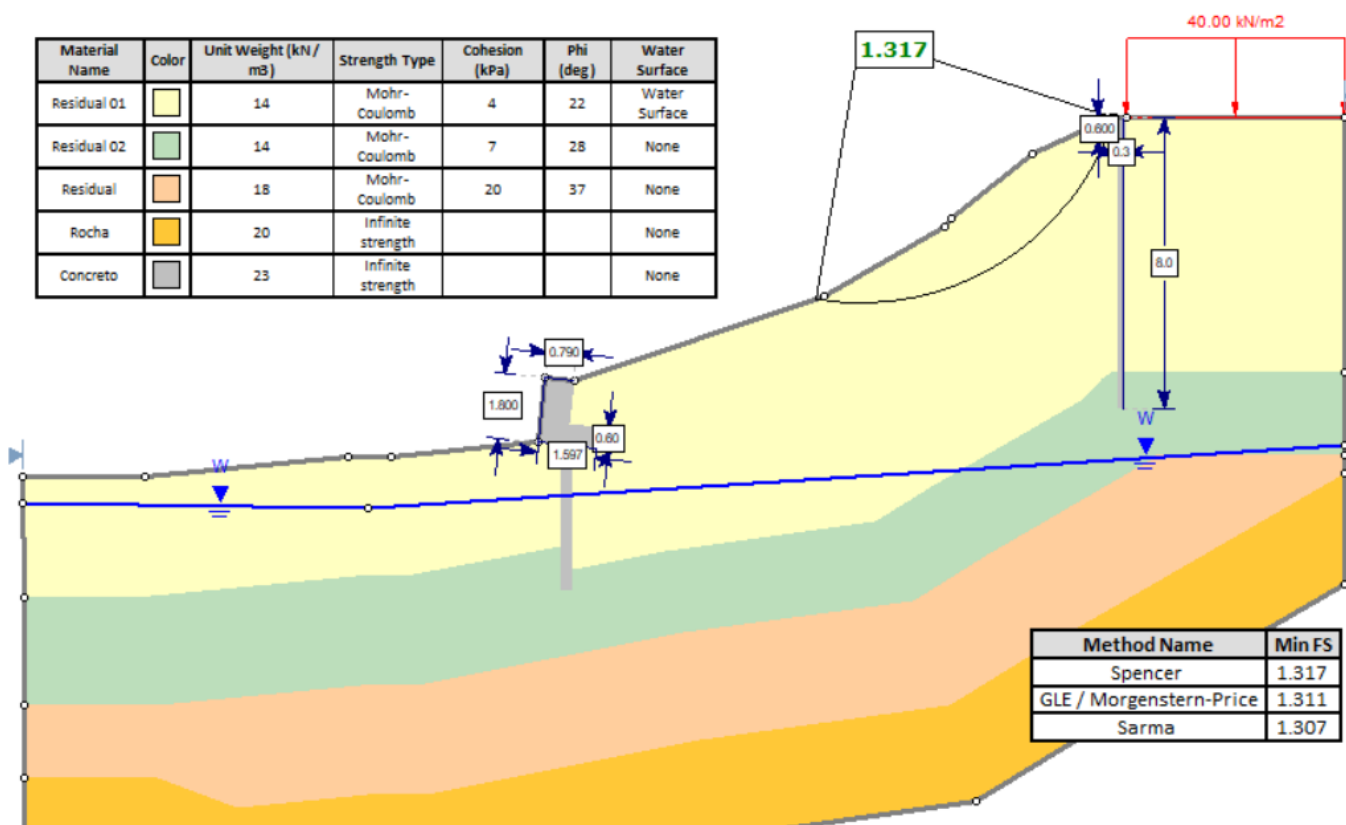


Figura 4. Análise estabilidade, seção crítica de projeto, apresentando as diferentes soluções—Spencer - FS = 1,32

O objetivo central deste estudo é apresentar as aplicações menos usuais na estabilização de taludes urbanos, trazendo uma referência de possibilidades com o uso de tecnologias emergentes e adaptadas ao contexto brasileiro. Nesse cenário, destaca-se a aplicação combinada da microestaca injetada Arcos, tradicionalmente utilizada em reforço de fundações, e do sistema de blocos segmentares de concreto pré-moldado, inspirado em modelos europeus patenteados e desenvolvidos pela Elite Precast Concrete e Tellus Design, no Reino Unido, mas já disponíveis no Brasil nas regiões do Alto Paraopeba e Vale do Aço, com a denominação de Valebloco. Os blocos segmentares de concreto pré-moldado, possuem uma usinagem com encaixe tipo macho-fêmea (Figura 5), dispensando argamassa e possibilitando montagem modular. No Brasil, existem obras com essa proposta nas cidades de Ipatinga, Timóteo, Ouro Branco. Verifica-se na sua execução uma praticidade que pode se adaptar a diferentes contextos na área urbana.



Figura 5. Aplicação de blocos segmentares de concreto pré-moldado em contenção em obra brasileira.

4 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que a proposta projetada adotando um misto de soluções foi tecnicamente eficaz para a estabilização do talude em Congonhas-MG, elevando o Fator de Segurança de um nível crítico de 1,00 para um patamar seguro de 1,32. A combinação de microestacas, muro de gravidade e revestimento vegetal demonstrou ser uma abordagem robusta e resiliente para cenários geotécnicos complexos em solos residuais tropicais. A intervenção não apenas atendeu aos requisitos normativos de segurança, mas também demonstrou a viabilidade de uma solução que equilibra aspectos de segurança, em um ambiente urbano com restrições espaciais, representando um caso alternativo na mitigação de riscos geológicos.

Mais do que relatar um estudo sobre contenção e estabilização de taludes, este trabalho teve como propósito central apresentar ao meio técnico soluções mistas compostas por técnicas nem tanto usuais, aplicadas com critério geotécnico em ambiente urbano restrito. A adoção da microestaca injetada como reforço profundo no topo do talude, associada ao sistema blocos segmentares de concreto pré-moldado, ilustra como técnicas consolidadas em outros usos estruturais podem ser reconfiguradas para a estabilização de encostas. A experiência relatada reforça o potencial dessas soluções em obras similares, incentivando a busca por uma engenharia geotécnica criativa, em diálogo com as necessidades contemporâneas de infraestrutura segura, adaptável e eficiente e resiliente as mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 11682: *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009.

ABNT NBR 6122: *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022.

Alves, D. M. et al. *Estudo da resistência ao cisalhamento de solos coluvionares: comparação entre os métodos direto e triaxial*. Revista Brasileira de Geotecnia, v. 39, n. 1, p. 45–56, 2023.



- Arcos Engenharia. *Soluções em microestacas injetadas*. Disponível em: <https://www.arcosengenharia.com.br>. Acesso em: 09 jul. 2025.
- Cunha, R. P.; Andrade, J. B. de; Santos, G. M. dos. *Análise do desempenho de muros segmentares em obras urbanas*. Revista Geotecnia Aplicada, v. 15, n. 2, p. 23–38, 2022.
- Geostudio. GeoStudio 2019 – *SLOPE/W User's Guide*. Vancouver: Geo-Slope International Ltd., 2019.
- Luz, A. B. et al. *Desempenho de soluções superficiais para controle de erosão em taludes*. Geotecnia Brasileira, v. 30, n. 2, p. 87–98, 2021.
- Mairaing, R. et al. *Integração de geossintéticos e cobertura vegetal em encostas urbanas: estudo de caso*. Revista Engenharia Sustentável, v. 12, n. 1, p. 101–112, 2024.
- Valério, A. S. *Estudo de soluções de contenção em solos tropicais com restrição de espaço*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Valério, A. S.; Melo, M. M. *Soluções mistas aplicadas em áreas urbanas com restrição de fundações profundas*. Revista Brasileira de Geotecnia, v. 25, n. 3, p. 112–126, 2015.
- Valemix. *Sistema de contenção em blocos segmentares ValeBloco*. Disponível em: <https://www.valemix.com.br>. Acesso em: 09 jul. 2025.