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/COBRAMSEG2026.4/66

Estabilização de encosta com ocupação desordenada no bairro de Passarinho, município do Recife-PE

Leilane de Almeida Silva
Mestranda, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, leilane.almeida@ufpe.br

Roberto Quental Coutinho
Professor, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, roberto.coutinho@ufpe.br

Bruna Barbosa Ordonio
Mestranda, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, bbo@poli.br

Danisete Pereira de Souza Neto
Professor, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, Brasil, danisete.neto@ufpe.br

RESUMO: O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar o comportamento geotécnico da encosta, identificar trechos críticos e propor soluções de estabilização tecnicamente compatíveis com as condições locais e com o contexto urbano desordenado. A caracterização da área envolveu levantamento planialtimétrico, execução de cinco sondagens SPT e três poços de inspeção com coleta de amostras deformadas e indeformadas, complementados por ensaios de caracterização física e resistência ao cisalhamento, com amostras na condição de umidade natural e inundada. Foram analisadas quatro seções críticas utilizando metodologia de equilíbrio limite. Antes das intervenções de engenharia, os fatores de segurança variaram entre 1,29 e 1,46, indicando margens insuficientes para as condições pluviométricas características do Recife. Com base nos resultados geotécnicos, foram projetadas soluções combinadas envolvendo solo grampeado com diferentes comprimentos e arranjos de linhas de grampos e muros de gravidade. A adoção dessas soluções elevou os fatores de segurança para valores entre 1,52 e 1,67, atendendo aos critérios de desempenho recomendados para taludes urbanos em áreas de risco geotécnico. Os resultados demonstram que a integração entre investigação geotécnica adequada, compreensão do comportamento do solo em diferentes condições de umidade e seleção criteriosa de técnicas de estabilização permite a reabilitação segura e adequada de encostas críticas em áreas densamente ocupadas.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de estabilidade, Taludes urbanos, Soluções de estabilização, Ocupação desordenada.

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the geotechnical behavior of a slope, identify critical sections, and propose stabilization solutions technically compatible with the local conditions and the surrounding unplanned urban environment. The site characterization included topographic survey, execution of five Standard Penetration Test (SPT) boreholes and three inspection pits with collection of disturbed and undisturbed soil samples, complemented by laboratory tests for physical characterization and shear strength determination under natural moisture and inundated conditions. Four critical sections were analyzed using limit equilibrium methods. Prior to engineering interventions, the factors of safety ranged from 1.29 to 1.46, indicating insufficient stability margins considering the typical rainfall conditions of Recife. Based on the geotechnical results, combined stabilization solutions involving soil nailing with different nail lengths and arrangements, as well as gravity retaining walls, were designed. The implementation of these solutions increased the factors of safety to values ranging from 1.52 to 1.67, meeting the performance criteria recommended for urban slopes in areas of geotechnical risk. The results demonstrate that the integration of adequate geotechnical investigation, understanding of soil behavior under different moisture conditions, and the appropriate selection of stabilization techniques allows the safe rehabilitation of critical slopes in densely occupied urban areas.

KEYWORDS: Slope stability, Urban slopes, Stabilization solutions, Informal urban occupation.

1 INTRODUÇÃO

A ocupação desordenada de encostas constitui um dos principais desafios geotécnicos enfrentados por centros urbanos brasileiros, especialmente em cidades inseridas em contextos geomorfológicos acidentados e sob regime pluviométrico intenso (Augusto Filho e Virgili, 1998; Gerscovich, 2016). No município do Recife-PE, as encostas são frequentemente ocupadas por populações de baixa renda, com infraestrutura urbana precária e ausência de sistemas adequados de saneamento, drenagem superficial e subsuperficial. Essa combinação de fatores naturais e antrópicos favorece a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, com impactos sociais, econômicos e ambientais significativos.

Os solos predominantes do Recife, associados às formações sedimentares do Grupo Barreiras, apresentam comportamento geotécnico fortemente influenciado pela variação do teor de umidade (Coutinho et al., 1998), resultando em redução da resistência ao cisalhamento durante eventos pluviométricos intensos. Nesse contexto, a avaliação da estabilidade de taludes urbanos requer investigação geotécnica detalhada, adequada definição de parâmetros de resistência e modelagem adequada das condições de carregamento e de saturação do solo.

O presente trabalho apresenta o estudo geotécnico e a análise de estabilidade de uma encosta localizada no bairro de Passarinho, no município do Recife-PE, caracterizada por declividade acentuada, ocupação urbana desordenada e histórico de instabilidade. Foram realizadas sondagens à percussão (SPT), poços de inspeção com coleta de amostras deformadas e indeformadas, além de ensaios laboratoriais de caracterização e resistência ao cisalhamento nas condições de umidade natural e inundada.

Com base nos dados obtidos, foram modeladas seções críticas utilizando metodologia de equilíbrio limite, visando avaliar os fatores de segurança nas condições atuais e subsidiar a definição de soluções de estabilização compatíveis com o contexto urbano. As intervenções propostas incluem estruturas de solo grampeado e muros de gravidade.

O estudo busca demonstrar que a integração entre investigação geotécnica adequada, análise numérica e seleção criteriosa de técnicas de contenção permite elevar os níveis de segurança de encostas urbanas, contribuindo para a mitigação de riscos geotécnicos em áreas densamente ocupadas.

2 ÁREA DE ESTUDO E INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo corresponde a uma encosta urbana localizada na Rua Chagas Ferreira, bairro de Passarinho, Região Político-Administrativa 3 (RPA 3) do município do Recife, Pernambuco. A encosta integra o conjunto de áreas de morro que compõem parcela significativa do território municipal, caracterizadas por relevo movimentado, ocupação urbana desordenada e histórico recorrente de instabilidades.

A área apresenta aproximadamente 300 m de extensão longitudinal e largura média da ordem de 35 m, com declividades elevadas e ocupação residencial implantada tanto no coroamento quanto ao longo do talude. A presença de edificações em proximidade direta com a face do talude, associada à ausência ou deficiência de sistemas adequados de drenagem superficial, contribui para a concentração de fluxos de água e infiltração no maciço.

Do ponto de vista geomorfológico, a encosta está inserida no domínio dos tabuleiros costeiros dissecados, associados predominantemente aos sedimentos da Formação Barreiras, frequentemente recobertos por depósitos coluvionares. Esses materiais apresentam heterogeneidade granulométrica e variabilidade nos índices físicos, com comportamento fortemente influenciado pelas variações de umidade, fator crítico em regiões submetidas a regime pluviométrico elevado como o Recife.

A ocupação urbana na área ocorreu de forma progressiva e sem planejamento urbanístico prévio, resultando em cortes íngremes, ausência de contenções estruturadas e utilização de soluções paliativas, como aplicação de lonas plásticas para proteção superficial temporária. Tais intervenções não estruturais são insuficientes para garantir estabilidade em eventos de precipitação intensa, típicos do clima tropical úmido da região.

A Figura 1 apresenta o modelo tridimensional da encosta estudada, obtido por meio de processamento aerofotogramétrico de imagens captadas por Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), permitindo a visualização da morfologia do terreno, da cobertura vegetal e da ocupação urbana no entorno.



Figura 1. Modelo tridimensional da área de estudo obtido a partir de levantamento aerofotogramétrico com ARP.

2.2 Investigação geotécnica

2.2.1 Ensaios de campo

A investigação geotécnica de campo foi realizada com o objetivo de caracterizar as condições geotécnicas do maciço que compõe a encosta estudada e subsidiar a definição dos parâmetros utilizados nas análises de estabilidade e no desenvolvimento das soluções de estabilização propostas. Para esse fim, foram executadas sondagens à percussão do tipo Standard Penetration Test (SPT) e poços de investigação destinados à observação direta do perfil do solo e à coleta de amostras indeformadas e amolgadas.

As sondagens SPT foram executadas de acordo com os procedimentos estabelecidos nas normas técnicas brasileiras aplicáveis, possibilitando a identificação das camadas de solo ao longo do perfil investigado, a obtenção do índice de resistência à penetração (N_{SPT}) e a coleta de amostras deformadas para fins de caracterização tátil-visual.

Foram executados poços de investigação escavados manualmente, com o objetivo de permitir a inspeção direta dos materiais presentes nas camadas superficiais da encosta, bem como possibilitar a coleta de amostras indeformadas e amolgadas.

No total, foram executadas cinco sondagens SPT distribuídas ao longo da área da encosta e três poços de investigação, posicionados em locais representativos do maciço investigado. A definição da locação dos pontos de investigação considerou a geometria da encosta, a presença de edificações próximas ao talude e a necessidade de representar adequadamente as condições geotécnicas ao longo da área de estudo.

A Figura 2 apresenta a locação dos pontos de investigação geotécnica executados na área da encosta, incluindo as sondagens SPT e os poços de investigação utilizados para a coleta de amostras.



Figura 2. Locação das sondagens SPT e dos poços de investigação executados na área da encosta estudada.

2.2.2 Ensaios de laboratório

As amostras de solo coletadas durante a investigação de campo foram encaminhadas ao laboratório para realização de ensaios de caracterização física e determinação da resistência ao cisalhamento. Os ensaios foram realizados com o objetivo de definir os parâmetros geotécnicos necessários à interpretação do comportamento dos materiais presentes na encosta e à posterior realização das análises de estabilidade.

Esses ensaios permitiram identificar a composição granulométrica e as propriedades mecânicas dos materiais que compõem o perfil geotécnico investigado.

Os resultados obtidos nos ensaios de laboratório permitiram subsidiar a definição dos parâmetros geotécnicos adotados nas análises de estabilidade.

3 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

A avaliação da estabilidade da encosta foi realizada com base nos procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 11682 — Estabilidade de encostas, que define critérios e níveis de segurança para taludes naturais e encostas urbanas. As análises foram realizadas utilizando o método de equilíbrio limite, amplamente empregado em estudos de estabilidade de taludes e encostas, por meio da discretização da massa potencialmente instável em fatias verticais.

Nas análises foi adotado o método de Morgenstern-Price, que considera o equilíbrio de forças e momentos atuantes nas fatias, permitindo uma avaliação mais rigorosa da estabilidade global do maciço. A modelagem foi realizada a partir das seções geológico-geotécnicas definidas com base nas informações obtidas no levantamento topográfico e na investigação geotécnica.

Foram analisadas quatro seções críticas da encosta, selecionadas em função da geometria do talude, da distribuição das edificações próximas à encosta e das condições geotécnicas identificadas ao longo da área investigada. As análises foram realizadas utilizando software slide (*Rocscience*) para estabilidade de taludes.

Os parâmetros geotécnicos adotados nas análises de estabilidade foram definidos com base nas informações obtidas durante a investigação geotécnica realizada.

As análises de estabilidade foram realizadas considerando inicialmente a condição atual da encosta, sem a implementação de medidas de estabilização, com o objetivo de avaliar o nível de segurança do maciço nas condições naturais existentes.

Os resultados obtidos indicaram fatores de segurança variando entre 1,29 e 1,46 para as seções analisadas. Esses valores indicam uma condição de estabilidade limitada, próxima aos níveis mínimos recomendados para encostas urbanas, evidenciando a necessidade de intervenções de engenharia para garantir níveis adequados de segurança.

A Figura 3 apresenta um exemplo representativo das análises realizadas para uma das seções críticas da encosta, ilustrando a superfície potencial de ruptura identificada e o fator de segurança correspondente à condição atual do talude.

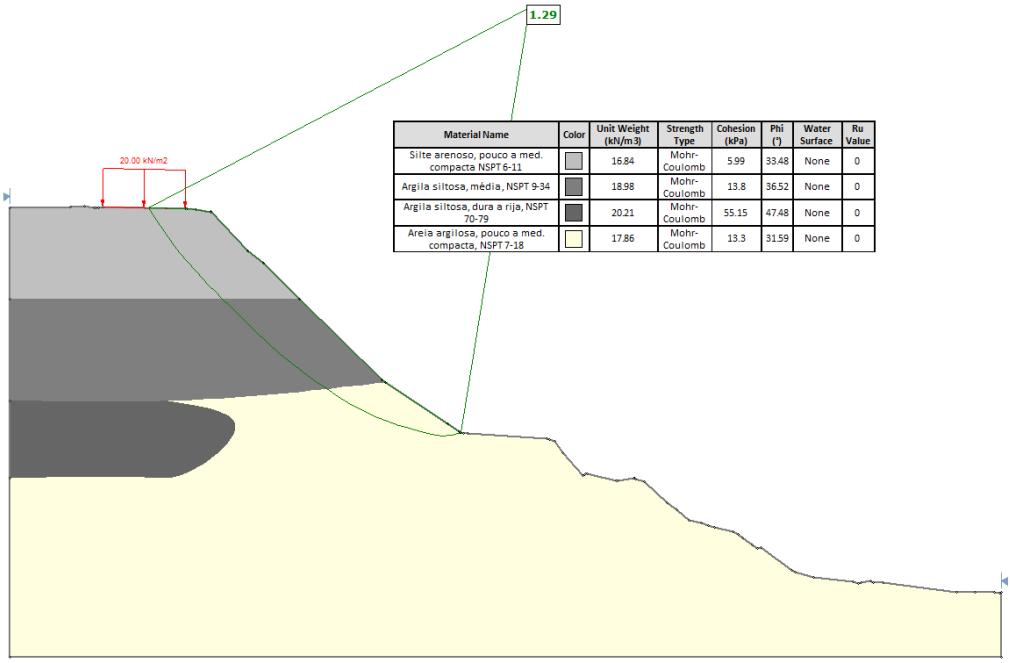


Figura 3. Análise de estabilidade da seção crítica da encosta localizada na estaca E11+10,00, na condição atual do talude, sem intervenção, indicando a superfície potencial de ruptura e o fator de segurança obtido.

A análise apresentada na Figura 3 mostra que a superfície potencial de ruptura intercepta a face do talude e se desenvolve ao longo do maciço de solo que compõe a encosta, indicando um mecanismo de instabilidade associado principalmente à geometria íngreme do terreno e às características geotécnicas dos materiais presentes.

Os fatores de segurança obtidos para as seções analisadas, variando entre 1,29 e 1,46, indicam que a encosta apresenta margens reduzidas de estabilidade nas condições atuais. Embora alguns valores se situem próximos aos níveis mínimos usualmente recomendados para encostas urbanas, a presença de ocupação próxima ao talude, associada à variabilidade das propriedades geotécnicas dos solos e à possibilidade de aumento da umidade do maciço durante eventos pluviométricos intensos, pode contribuir para a redução adicional da resistência ao cisalhamento e consequente diminuição do fator de segurança.

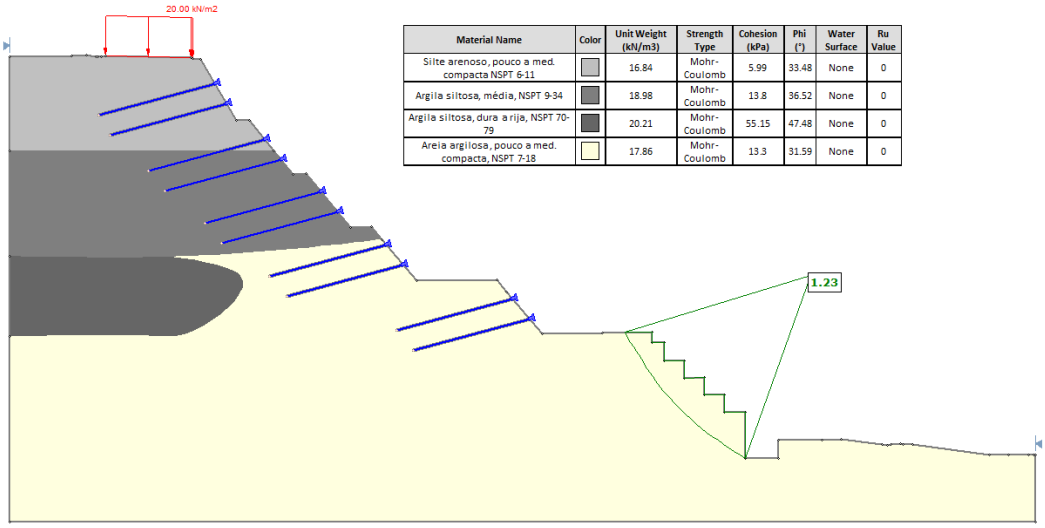
Dessa forma, os resultados obtidos nas análises de estabilidade indicam a necessidade de adoção de medidas de estabilização que permitam elevar os níveis de segurança da encosta, reduzindo o risco de ocorrência de movimentos de massa e garantindo condições mais adequadas de estabilidade para o cenário urbano existente.

4 PROPOSTA DE SOLUÇÃO DE ESTABILIZAÇÃO

Inicialmente, foi analisado um cenário considerando a realização dos cortes necessários no talude para implantação das estruturas de contenção, adequando a geometria da encosta às condições construtivas da solução proposta. As análises de estabilidade para essa configuração foram realizadas utilizando o mesmo

procedimento adotado anteriormente, baseado no método de equilíbrio limite com o método de Morgenstern-Price.

Os resultados obtidos para essa condição indicaram fatores de segurança variando entre 1,22 e 1,42. A Figura 4 apresenta um exemplo representativo da análise de estabilidade considerando a geometria resultante dos cortes necessários para execução da solução de estabilização.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface	Ru Value
Silte arenoso, pouco a med. compacta NSPT 6-11		16.84	Mohr-Coulomb	5.99	33.48	None	0
Argila siltosa, média, NSPT 9-34		18.98	Mohr-Coulomb	13.8	36.52	None	0
Argila siltosa, dura a rija, NSPT 70-79		20.21	Mohr-Coulomb	55.15	47.48	None	0
Areia argilosa, pouco a med. compacta, NSPT 7-18		17.86	Mohr-Coulomb	13.3	31.59	None	0

Figura 4. Análise de estabilidade da seção crítica da encosta localizada na estaca E11+10,00, considerando a geometria do talude após a execução dos cortes necessários para implantação da solução de estabilização.

Considerando as características geométricas da encosta, as condições geotécnicas identificadas na investigação de campo e as restrições impostas pela ocupação urbana existente, foi adotada uma solução combinada de estabilização composta por muro de arrimo em pedra argamassada na base da encosta e sistema de contenção em solo grampeado no talude superior.

O muro de arrimo em pedra argamassada foi projetado com a função de promover a contenção da porção inferior da encosta e garantir estabilidade local da base do talude, além de possibilitar a conformação da plataforma necessária para a execução da solução de estabilização. O dimensionamento do muro considerou as verificações usuais de estabilidade externa, incluindo deslizamento, tombamento e capacidade de carga da fundação. Além dessas verificações, foi também avaliada a estabilidade global do conjunto solo–estrutura, por meio de análises de equilíbrio limite, garantindo níveis adequados de segurança para o sistema de contenção proposto.

Na porção superior da encosta foi adotado o sistema de solo grampeado, técnica amplamente empregada na estabilização de taludes naturais e cortes em solos (Clouterre, 1991; Lazarte et al., 2015).

O dimensionamento do sistema de solo grampeado considerou parâmetros geotécnicos obtidos na investigação realizada, bem como critérios usuais de projeto para esse tipo de estrutura, incluindo o comprimento dos grampos, espaçamento entre elementos e inclinação das perfurações. A Figura 5 apresenta uma seção representativa da solução de estabilização adotada para a encosta, composta pelo muro de arrimo e pelo sistema de solo grampeado.

Cabe observar que a superfície potencial de ruptura associada ao menor fator de segurança global desenvolve-se de forma mais profunda e envolvente, contornando a região reforçada pelo sistema de solo grampeado. Esse comportamento é coerente com a função dos grampos: ao promoverem o reforço interno do maciço, elevam significativamente o fator de segurança das superfícies de ruptura localizadas que interceptam os elementos de reforço, de modo que tais superfícies deixam de ser as mais críticas. Dessa forma, as rupturas localizadas no interior da massa reforçada encontram-se controladas pela resistência mobilizada nos grampos, restando como condição crítica a superfície global externa à zona reforçada, cujo fator de segurança atende aos níveis mínimos estabelecidos pela ABNT NBR 11682.

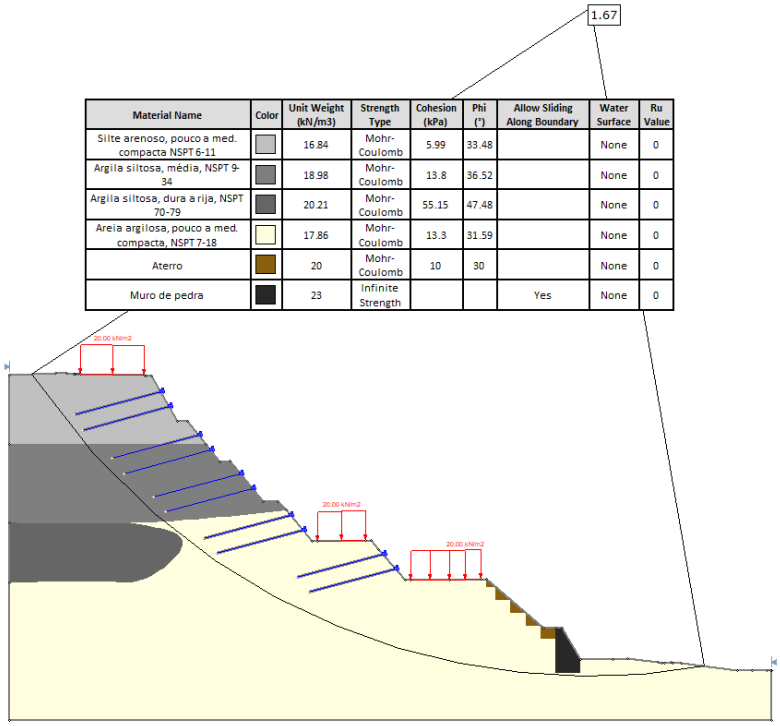


Figura 5. Análise de estabilidade da seção crítica da encosta localizada na estaca E11+10,00, composta por muro de arrimo na base e sistema de contenção em solo grampeado no talude superior.

A solução combinada adotada, composta por muro de arrimo em pedra argamassada na base da encosta e sistema de solo grampeado no talude superior, foi definida considerando o mecanismo de ruptura identificado nas análises de estabilidade e as características geotécnicas dos materiais que compõem o maciço.

A implantação do muro de arrimo na base da encosta tem como principal função garantir a estabilidade local do pé do talude, reduzindo a possibilidade de deslocamentos na região basal e proporcionando suporte à massa de solo situada a montante. Além disso, a execução do muro permite a regularização da geometria da encosta e a criação de uma plataforma intermediária necessária à implantação do sistema de reforço no talude superior.

O sistema de solo grampeado atua promovendo o reforço interno do maciço, aumentando a resistência ao cisalhamento mobilizada ao longo das superfícies potenciais de ruptura. A instalação dos grampos ao longo do perfil do talude contribui para restringir os deslocamentos relativos entre as porções do maciço e redistribuir os esforços internos, resultando em um aumento da estabilidade global da encosta.

A associação entre o muro de arrimo na base e o sistema de solo grampeado ao longo do talude permite que as duas estruturas atuem de forma complementar no processo de estabilização. Enquanto o muro garante a estabilidade da porção inferior da encosta e controla os deslocamentos na base do talude, os grampos promovem o reforço do maciço ao longo da encosta, aumentando a resistência global do sistema solo–estrutura.

A comparação entre os cenários analisados mostra o ganho progressivo de estabilidade obtido com a implantação das medidas de engenharia. Enquanto a encosta na condição atual apresentou fatores de segurança entre 1,29 e 1,46, a geometria resultante dos cortes necessários para implantação da solução indicou fatores entre 1,22 e 1,42. Após a implementação da solução combinada de estabilização, os fatores de segurança foram elevados para valores entre 1,52 e 1,67, atendendo aos critérios recomendados para encostas urbanas.

A Figura 6 ilustra a conformação final da encosta após a implantação da solução combinada de estabilização, evidenciando a integração entre o muro de arrimo na base e o sistema de solo grampeado ao longo do talude, bem como a reorganização geométrica do maciço resultante das intervenções de engenharia propostas.

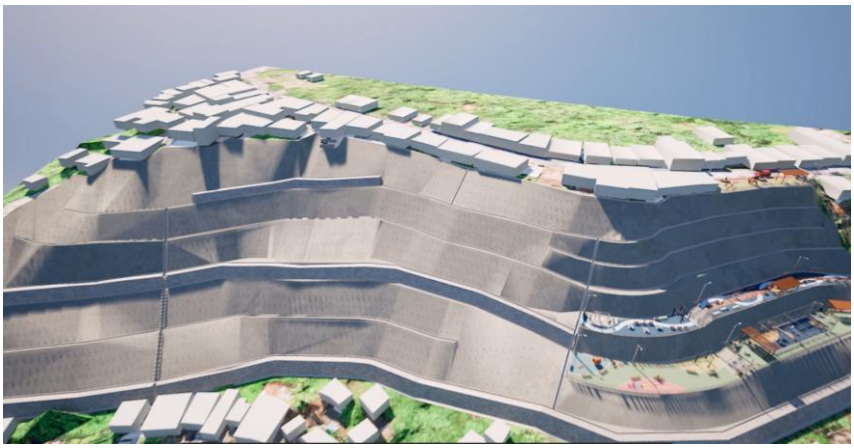


Figura 6. Representação tridimensional da encosta após a implantação da solução de estabilização, evidenciando a conformação final do talude com o sistema de contenção executado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo geotécnico realizado na encosta localizada no bairro de Passarinho, Recife-PE, permitiu caracterizar os materiais que compõem o maciço e avaliar suas condições de estabilidade. Os resultados dos ensaios laboratoriais indicaram significativa redução da resistência ao cisalhamento nas amostras ensaiadas na condição inundada, comportamento frequentemente observado em solos tropicais parcialmente saturados (Fredlund & Rahardjo, 1993).

As análises de estabilidade realizadas por meio do método de equilíbrio limite indicaram fatores de segurança entre 1,29 e 1,46 para a condição atual da encosta, caracterizando margens reduzidas de estabilidade para um talude urbano ocupado. A solução de estabilização adotada, composta por muro de arrimo em pedra argamassada na base e sistema de solo grampeado no talude superior, mostrou-se adequada às condições geométricas e geotécnicas da área, elevando os fatores de segurança para valores entre 1,52 e 1,67 e atendendo aos critérios recomendados pela ABNT NBR 11682.

Os resultados obtidos demonstram que a integração entre investigação geotécnica, análise de estabilidade e seleção adequada de técnicas de contenção constitui etapa fundamental para a estabilização de encostas urbanas submetidas a processos de ocupação desordenada.

Considerando o regime pluviométrico intenso característico da Região Metropolitana do Recife e a recorrente ocupação de áreas de morro, estudos dessa natureza contribuem para subsidiar intervenções de engenharia voltadas à redução do risco geotécnico em áreas urbanas densamente ocupadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682. *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro.

Augusto Filho, O., Virgili, J.C. (1998). Estabilidade de taludes. In: Oliveira, A.M.S., Brito, S.N.A. (Eds.). *Geologia de Engenharia*. ABGE, São Paulo

Clouterre (1991). *Soil Nailing Recommendations*. French National Project Clouterre, Paris.

Coutinho, R.Q., Oliveira, A.T., Bello, M.I.M. (1998). Engineering properties of Barreiras Formation soils in northeastern Brazil. In: *Proceedings of the International Conference on Geotechnical Engineering for Tropical Soils*. Singapore.

Fredlund, D.G., Rahardjo, H. (1993) *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*. John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 517 p.

Gerscovich, D.M.S. (2016) *Estabilidade de Taludes*. Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil, 192 p.

Lazarte, C., Robinson, H., Gómez, J., Baxter, A. (2015) *Geotechnical Engineering Circular No. 7 – Soil Nail Walls*. Federal Highway Administration – FHWA, Washington, DC, USA, 226 p.