

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDE NA COMUNIDADE DE MURIBARA EM SÃO LOURENÇO DA MATA - PE: ESTUDO DE CASO GEOTÉCNICO

**SLOPE STABILITY ANALYSIS IN THE MURIBARA COMMUNITY IN
SÃO LOURENÇO DA MATA - PE: A GEOTECHNICAL CASE STUDY**

Débora Ranne Teixeira Barbosa

drtb@discente.ifpe.edu.br

Inaldo José Minervino da Silva

inaldo.jose@recife.ifpe.edu.br

RESUMO

Devido ao crescimento desordenado das habitações em áreas de encosta se faz necessário o aumento de obras de contenção para evitar colapsos. O escorregamento de solo nessas áreas tem se tornado frequente, principalmente em épocas onde a quantidade de água precipitada é maior, uma vez que esse fenômeno altera o nível do lençol freático, diminui as tensões efetivas e altera a distribuições de tensões nos solos. O propósito desse estudo foi avaliar o grau de estabilidade para a secção crítica de análise e verificar se os valores atendem a Norma Brasileira 11.682/09. Foi utilizada como metodologia ensaios realizados através de amostra indeformada, deformada e pela sondagem à percussão. A partir dos resultados obtidos nos ensaios foi realizado a modelagem através dos Softwares das empresas Geostudio e Maccaferri. Os resultados obtidos pelo método de Bishop e pelo método de Morgenstern-Price indicaram um fator de segurança de 1,547 e 1,494, respectivamente. Com a utilização de contenção de gabião, o fator de segurança aumentou significativamente para 1,765, e com o uso de grampos, o valor de 1,771. Por isso, conclui-se que a utilização dos meios de contenção é de suma importância para garantir a segurança no caso estudado.

Palavras-chave: grau de estabilidade; Geoslop. obras de contenção; talude.

ABSTRACT

Due to the disorderly growth of housing in hillside areas, it is necessary to increase containment works to avoid collapses. Landslides in these areas have become frequent, especially in times when the amount of precipitated water is greater, since

this phenomenon alters the water table level, decreases the effective stresses, and alters the stress distributions in the soils. The objective of this study was to evaluate the degree of stability for the critical section of analysis and verify whether the values comply with the Brazilian Standard 11.682/09. Tests were carried out using undisturbed and deformed samples and percussion sounding were used as methodology. From the results obtained in the tests, the modeling was carried out through the Software of the companies Geostudio and Maccaferri. The results obtained by the Bishop method and by the Morgenstern-Price method indicated a safety factor of 1,547 and 1,494, respectively. With the use of gabion containment, the safety factor increased significantly to 1,765, and with the use of clamps, the value of 1,771. Therefore, it is concluded that the use of containment means is of paramount importance to ensure safety in the case studied.

Keywords: grade of stability; Geoslop; containment works; slope.

1 INTRODUÇÃO

A especulação imobiliária na Região Metropolitana do Recife (RMR) contribuiu de maneira significativa na ocupação de solo de forma desordenada, acarretando uma série de consequências negativas decorrentes da falta de diretrizes sobre o uso e ocupação do território e de políticas de zoneamento (SOUZA, 2015). Ainda, intensificado pela questão social que está intrinsecamente relacionada à forma de ocupação das regiões. De tal forma que pessoas com renda mais alta, concentram-se em áreas privilegiadas, enquanto pessoas com renda mais baixa, concentram-se nas áreas remanescentes.

Existe uma correlação entre a construção histórica da RMR e o seu desenvolvimento imobiliário. Segundo Santos (2020) o processo de valorização e consumo do espaço acompanhou precisamente a transformação da insularidade natural em insularidade social. Em diferentes períodos históricos da Região foi observado comportamentos semelhantes, um exemplo disso é que no século XVI, os senhores de engenho viviam na Casa Grande, símbolo do poder e privilégio, as pessoas que os serviam eram forçadas a viver em senzalas, já na formação da classe média, os empregados residiam inicialmente no interior das casas ou em regiões periféricas invadidas, como as comunidades, o que reforçou ainda mais as diferentes condições econômicas e sociais.

Na década de 1970, devido a uma forte influência do fenômeno da La Niña, a RMR ficou inundada, esse evento foi considerado a maior catástrofe natural registrada na história, refletindo em centenas de pessoas desabrigadas. Foi incentivado, pelo governo local, a transferência dos moradores para áreas de morro. No entanto, foram estimuladas a migrarem sem haver qualquer planejamento urbano e adequação da infraestrutura local (SILVA, 2008).

De maneira geral, a Região Metropolitana do Recife apresenta áreas impermeáveis em sua parte baixa, devido à vasta área recoberta por asfalto e concreto, o que impede a absorção de água pelo solo. Já nas áreas altas, não há

infraestrutura necessária de drenagem e contenção para prevenir e/ou mitigar possíveis deslizamentos. Ainda, o clima da região apresenta, em alguns períodos do ano, um alto índice pluviométrico, o que contribui para uma alteração do nível do lençol freático e conseqüentemente, diminui as tensões efetivas e altera a distribuição de tensões nos solos (BANDEIRA, 2003; YAMANOUTH, 2011). Nesse sentido, torna-se importante a utilização de mecanismos que possam reduzir o risco provocado por esta instabilidade.

Segundo Gerscovich (2012) o talude é uma superfície, natural ou não, inclinada de um maciço de rocha ou solo. A estabilidade de talude tem como objetivo avaliar o grau de estabilidade de uma encosta, determinando o quão próximo se encontra do ponto de ruptura considerando todas as premissas pertinentes ao método de análise (SOUZA, 2014).

Nos últimos anos, tem-se observado um aperfeiçoamento significativo nos sistemas de obras de contenção, sobretudo com relação à velocidade de execução e à funcionalidade estrutural. Contudo, em algumas obras, devido ao curto prazo de entrega, as investigações dos solos que compõem os taludes são negligenciadas, resultando em estruturas superdimensionadas e um aumento considerável nos custos da obra, o que pode desestimular a sua execução (SANTANA, 2006).

As contenções têm como objetivo reduzir a instabilidade de um talude e evitar a possibilidade de movimentações de massa, tendo como exemplo os muros de arrimo e o uso de grampos ou tirantes. O muro de arrimo do tipo gabião é formado por telas de arame galvanizado preenchida por material pétreo e o seu funcionamento é baseado no peso próprio que se opõe aos empuxos horizontais do talude. (CAPUTO, 1987). Enquanto o método que utiliza o grampo ou tirante funciona como um reforço que tem como objetivo atenuar os deslocamentos do maciço através do acréscimo de forças internas contrárias ao seu sistema natural (ORTIGÃO et al., 1993).

A investigação de campo é de suma importância para o estudo geotécnico do talude a ser analisado. É nesta etapa que serão identificados critérios fundamentais para a análise de estabilidade e que garantirão que a solução seja dimensionada de forma mais adequada e precisa possível (SCHNAID e ODEBRECHT, 2012).

Os ensaios para a caracterização do solo podem ser em relação a mecânica dos materiais e aos aspectos físicos. O primeiro pretende atribuir a natureza do solo e tem como ensaios: análise granulométrica, compatibilização, determinação de massa e densidade volumétrica. Enquanto, o segundo está relacionado as análises de tensões de cisalhamento e de compressão axial (YAMANOUTH, 2011).

O local de estudo está localizado no bairro de Muribara, no município de São Lourenço da Mata – PE, na região metropolitana do Recife. A região encontra-se ao lado de uma comunidade e é próximo do acesso da BR-408.

Nesse contexto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o grau de estabilidade para a secção crítica de análise de acordo com a Norma Brasileira 11.682/09.

2 METODOLOGIA

A investigação geotécnica foi dividida em algumas etapas, são elas:

2.1. Sondagem à percussão

Foi obtido, através de relatório de empresa especializada, o perfil de três sondagens à percussão nomeadas como: SPT013, SPT014 e SPT015.

Figura 1 – Sondagem à percussão



Fonte: Autores (2023)

2.2 Amostra indeformada e deformada

Com a obtenção da amostra indeformada do solo foi possível realizar ensaios de cisalhamento direto, obtendo-se os valores referentes a ângulo de atrito e coeficiente de coesão. Através da amostra deformada foi possível obter a caracterização do solo e os valores correspondente ao seu peso específico. Os ensaios foram realizados na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Figura 2 – Amostra indeformada



Fonte: Autores (2023)

2.3 Análise de estabilidade

Os dados obtidos nos itens 2.1 e 2.2 foram utilizados para realizar as análises no Software Slope/w (GEOSTUDO, 2023) e MacStars (MACCAFERRI, 2023) para determinar o fator de segurança (FS) do talude com e sem a presença de carga e com a presença de contenções (muro de arrimo e uso de grampos/tirantes).

Para determinar o fator de segurança (FS) do talude estudado, utilizou-se o software Slop/w em conjunto com o conceito da teoria do equilíbrio limite. Segundo essa teoria, a ruptura do talude ocorre quando as tensões atuantes se igualam às tensões resistentes (DUTRA, 2013).

Com base na teoria do equilíbrio limite, optou-se pelo método das lamelas com superfície circular para determinar a superfície de ruptura do talude. Esse método utiliza a razão entre o somatório dos momentos resistentes e dos momentos atuantes (VILAR,2004).

No processo de estabelecer os critérios para a análise de estabilidade do talude, tornou-se necessário selecionar o método de estudo mais apropriado. Para isso, optou-se por avaliar tanto um método rigoroso quanto outro não rigoroso. O método de Bishop (1995), embora considere a interação entre as lamelas, despreza a ação resultante das forças tangenciais nas faces laterais das lamelas, sendo considerado menos rigoroso. Já o método de Morgenstern-Price (1965) é tido como rigoroso por atender a todas as condições de equilíbrio por meio de equações diferenciais e por considerar todas as forças atuantes (FREITAS, 2011).

Tabela 1: Comparativo entre o método de Bishop e Morgenstern-Price

Método	Bishop	Morgenstern-Price
Grau de rigor	Não rigoroso	Rigoroso
Superfície de deslizamento	Circular	Não circular
Fatias	Verticais	Verticais
Força X	Não	Sim
Força E	Sim	Sim
Inclinação da resultante X/E	Horizontal	Vertical
$\sum FH = 0$	Não	Sim
$\sum FV = 0$	Sim	Sim
$\sum M = 0$	Sim	Sim

Fonte: Adaptado Oliveira (2014)

A NBR 16920 serviu de base para os parâmetros relacionados a simulação de contenção do tipo grampo ou tirante. Ao considerar os critérios necessários para a

modelagem, alguns deles, precisam da sensibilidade de quem o analisa, visto que é necessário fazer uma série de simulações para otimizar a solução. Nessa perspectiva, os critérios relacionando espaçamento, orientação, comprimento e distância foram simulados diversas vezes com o intuito de usar a menor quantidade de grampos com o menor comprimento seguindo as diretrizes estipuladas pela norma.

Ainda, foi preciso estabelecer alguns critérios seguindo referencial teórico, foram eles:

- Resistência ao arrancamento

Como não foi possível realizar o ensaio de arrancamento, a análise foi feita a partir da correlação proposta por Ortigão e Palmeira (1995):

$$RPO = \frac{D_{\text{perf}} \cdot L \cdot \pi}{L} \cdot (50 + 7,5 \cdot \ln. (N_{\text{SPT}}))$$

Onde:

RPO - Resistência ao arrancamento (kN/m);

D_{perf} - Diâmetro da perfuração ou grampo (m);

L - Comprimento do grampo (m);

N_{spt} – Índice de resistência a penetração do amostrador

- Resistência à tração

Foi considerado o item 9.1 da norma ABNT NBR 16920, que considera como premissa:

$$RT = \frac{D^2_{\text{barra}} \cdot \pi}{4} \cdot f_{yk}$$

Onde:

f_{yk} - Tensão de escoamento característica do aço (KPa)

RT - Carga resistente característica a tração da armação do grampo (kN)

2.4 Critérios de acordo com a NBR 11682/2009

Para a estabilidade global os valores são diferentes de acordo com o nível de segurança contra danos ambientais, materiais e contra perda de vidas humanas. A NBR 11682/2009 apresenta os fatores mínimos para deslizamentos (Tabela 2).

Tabela 2 – Fatores de segurança mínimos para deslizamentos

NIVEL DE SEGURANÇA CONTRA DANOS MATERIAIS E AMBIENTAIS	NIVEL DE SEGURANÇA CONTRA DANOS A VIDA		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	1,5	1,5	1,4
MÉDIO	1,5	1,4	1,3
BAIXO	1,4	1,3	1,2

Fonte: NBR11682 (2009)

Com base na NBR foi considerado o valor 1,5 para a estabilidade mínima, visto que existe potencial risco em relação a vida humana, material e ambiental devido a sua localização.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A classificação tátil visual das sondagens apontou que a maior parte do material é composta por areia fina, rica em argila e silte. Esse tipo de característica possui propriedades mecânicas importantes em relação a sua resistência, ao ângulo de atrito interno no solo (areia) e a coesão (argila). Para efeito de nomenclatura das camadas foi considerado a composição predominante da amostra.

Os parâmetros da coesão e ângulo de atrito (ϕ) foram obtidos pelo ensaio de cisalhamento direto. A partir do estudo de correlação e bibliográfico, de maneira mais conservadora possível, foi possível estimar os parâmetros para determinação das características das camadas do solo.

Tabela 3 - Parâmetros das camadas do solo de análise

CAMADA	ϕ	γ_{sat}	γ_h	Coesão
Aterro	34,0	20,2	19,2	17,0
Areia fina superficial	28,0	19,0	18,0	6,0
Areia fina creme	27,0	19,8	19,8	45,0
Areia média cinza	37,0	20,0	20,0	37,0

Fonte: Autores (2023)

É importante mencionar que na região estudada existe duas sobrecargas distribuídas, uma próxima a crista de 20KPa, e outra à direita do término da carga de 60 KPa, correspondendo a uma área que contém uma edificação.

Nessa perspectiva, foram realizadas as seguintes considerações para a realização da modelagem no Slop/w:





Tabela 4 - Parâmetros das camadas do solo de análise

TIPO DE ANÁLISE	FUNÇÃO LATERAL	MODELO DO MATERIAL	DIREÇÃO DO MOVIMENTO	SLIP SURFACE OPTION
Bishop	-	Mohr-Coulomb	Direita para esquerda	Grade (30x30) e raio (35)
Morgenstern-Price	Meia-senóide	Mohr-Coulomb	Direita para esquerda	Grade (30x30) e raio (35)

Fonte: Autores (2023)

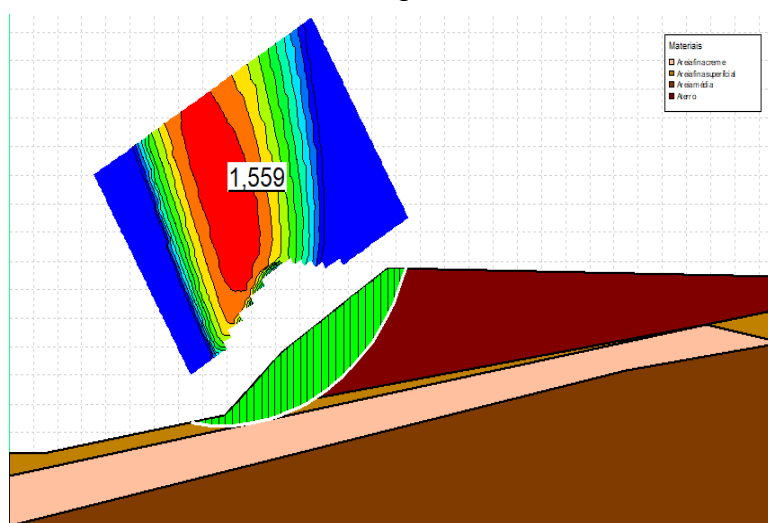
Para visualizar o impacto da presença da sobrecarga distribuída no talude foram realizadas duas simulações, a primeira sem (Figura 1,3) e a segunda com carregamento (Figura 2,4).

Tabela 3: Legenda considerada nas análises

Materiais	
	Areia fina creme
	Areia fina superficial
	Areia média
	Aterro

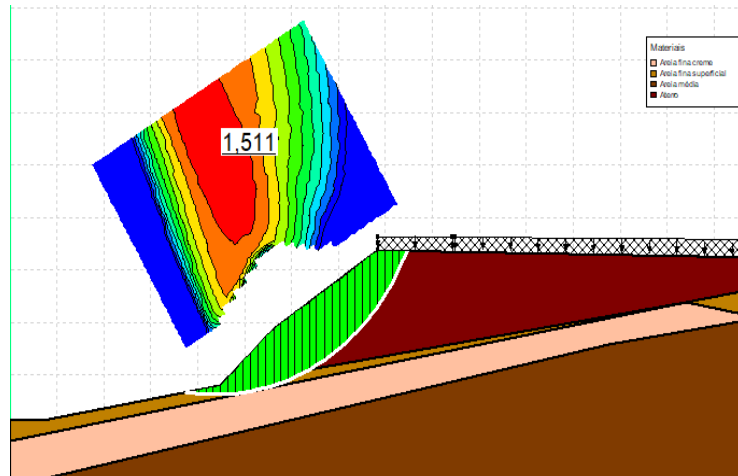
Fonte: Autores (2023)

Figura 1: Análise do FS sem carregamento com o método de Bishop



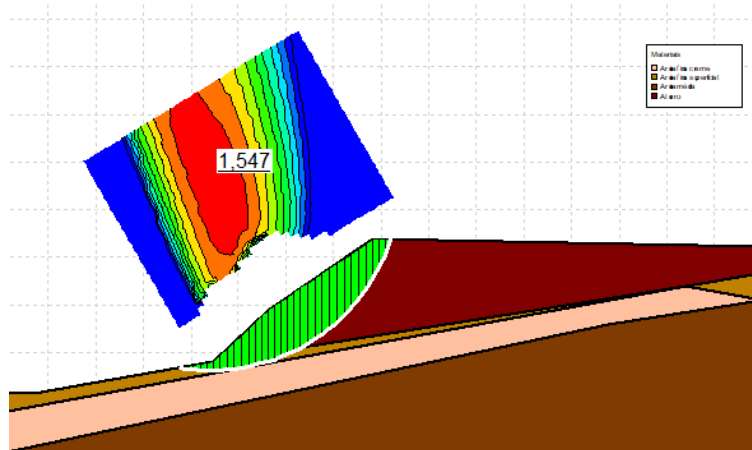
Fonte: Autores (2023)

Figura 2: Análise do FS com carregamento com o método de Bishop



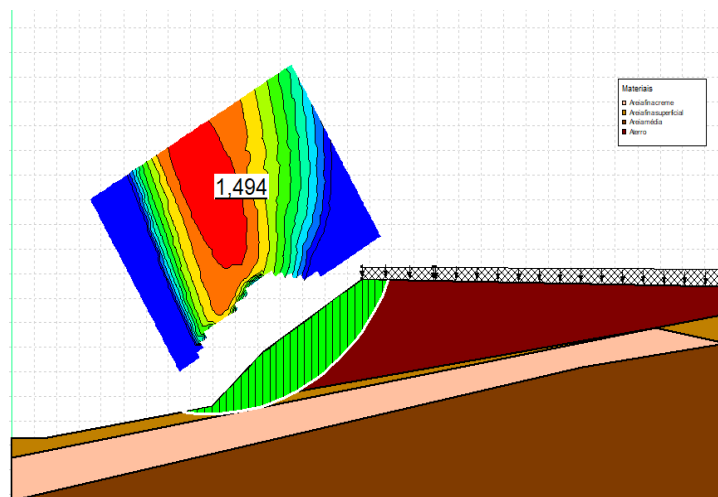
Fonte: Autores (2023)

Figura 3: Análise do FS sem carregamento com o método de Morgenstern-Price



Fonte: Autores (2023)

Figura 4: Análise do FS com carregamento com o método de Morgenstern-Price

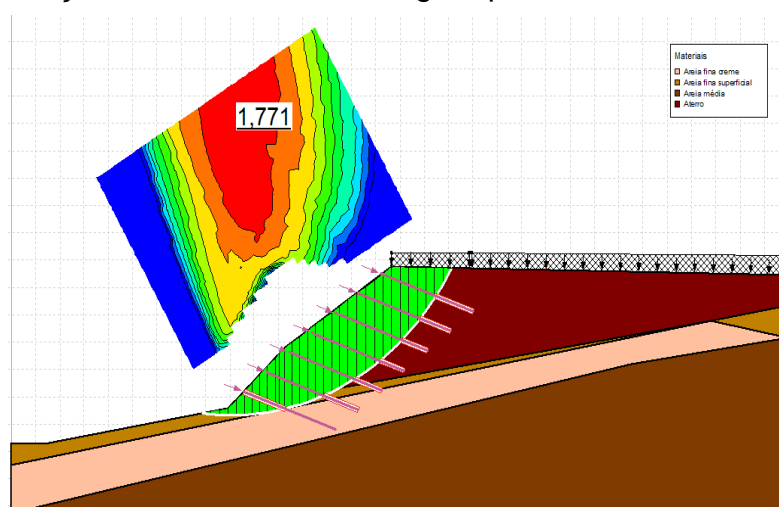


Fonte: Autores (2023)

Os valores obtidos, nos casos acima, com relação ao FS, atendem o valor mínimo de 1,5 estabelecido pela NBR11682. No entanto, no cenário com carregamento, utilizando o método de Morgenstern-Price, os valores obtidos do FS não atenderam ao valor mínimo da NBR11682.

Para obter o valor do FS com o uso de grampos no talude foi necessário definir alguns parâmetros. Foi utilizado como base os mesmos critérios aplicados no caso geral utilizando o método de Bishop. Ainda, foi considerado como espaçamento horizontal 1,5m, resistência ao arrancamento de 20,29KPa, resistência à tração de 3926,99 kN (aço CA-50), comprimento de 8m, a distância entre os reforços de 2m, diâmetro do bulbo de 0,14m e ancorado na face.

Figura 5: Simulação do FS com o uso de grampos utilizando o método de Bishop



Fonte: (Autores, 2023)

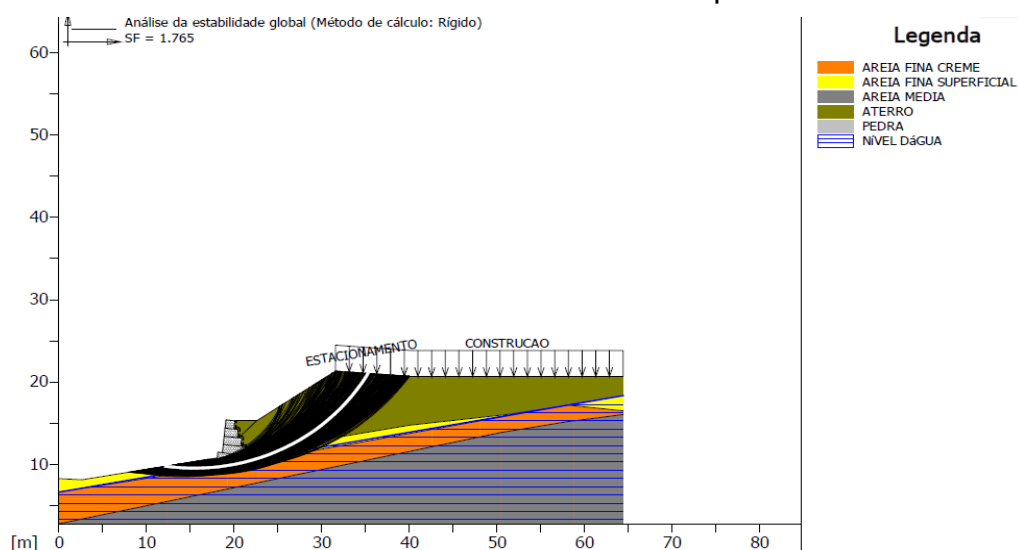
Para a contenção do tipo muro de arrimo foi utilizado uma contenção proposta pela empresa Maccaferri para a área de estudo e em paralelo comparada com a simulação realizada pelo Software MacStar utilizando o método de Bishop, nessa fase o intuito foi comparar o resultado entre os dois métodos.

Figura 6: Seção crítica do talude com a contenção em gabião fornecida pela Maccaferri



Fonte: (MACCAFERRI,2021)

Figura 7: Simulação do FS com o uso da contenção proposta pela Maccaferri utilizando o método de Bishop



Fonte: (Autores, 2023)

Com base nos resultados apresentados na Tabela 3, verificou-se que a análise de estabilidade global realizada com o método de Bishop atendeu ao valor mínimo estipulado pela NBR 11682, enquanto o método de Morgenstern-Price não obteve o valor mínimo. A investigação fundamentada em dois métodos distintos de análise permitiu compreender como o talude se comporta frente a diferentes premissas.

Tabela 3: Requisitos mínimos para a análise estudada conforme a NBR 11682/09

Condição estudada	Requisito mínimo (NBR11682)	Fator de segurança (FS)
Estabilidade Global - Método Bishop	1,5	1,547
Estabilidade Global - Método Morgenstern-Price	1,5	1,494
Estabilidade com uso de contenção (grampo)	1,5	1,771
Estabilidade com uso de contenção (gabião)	1,5	1,765

Fonte: (Autora 2023)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos métodos escolhidos foi possível determinar o grau de estabilidade e indicar o quão estável é o talude. Após verificar que um dos métodos não atingiu um valor mínimo estabelecido pela NBR11682 ficou perceptível que o uso de contenções não é opcional e sim obrigatório visando o risco envolvido por sua ausência.

Cabe ressaltar que a área em que o talude está localizado é considerada crítica, uma vez que margeia uma rodovia de grande movimentação, o que demanda uma

abordagem mais cautelosa nas análises realizadas. Após a inclusão das contenções, verificou-se um aumento considerável no fator de estabilidade, o que demonstra a importância do seu uso nesse tipo de situação

Por conta de limitações com relação ao valor mão de obra especializada para instalação não foi possível realizar o levantamento do custo-benefício entre os dois métodos, visto que apenas o valor do material não poderia ser considerado já que a mão de obra especializada não tem valor similar.

O tema estudado se mostrou de extrema relevância, visto que na RMR existem várias regiões críticas com risco de colapso, o que pode resultar em perdas humanas e materiais significativas.

5 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: **Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro: 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16920: **Muros e taludes em solos reforçados. Parte 1: solos reforçados em aterros. Parte 2: solos grampeados**. Rio de Janeiro: 2021
- BANDEIRA, A.P. **Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no Município de Camaragibe-PE**. Dissertação de mestrado – UFPE. Recife: 2003
- BISHOP, A. W., **The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Earth Slopes**, *Geotechnique*, vol. 5, n.1, pp. 7-17. 1995.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. V. 2, ed. 6. LTC. Rio de Janeiro: 1987
- DUTRA, V. A. S. **Projeto de Estabilização de Taludes e Estruturas de contenção englobando Dimensionamento Geotécnico e Estrutural**. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola Politécnica – Rio de Janeiro: 2013.
- FERRAZ, B. M. **De que lado você mora? Rupturas morfológicas e legislativas na zona noroeste da cidade do Recife**. Recife: 2021
- FREITAS, M.A.C. **Análise de estabilidade de taludes pelo método de Morgenstern-Price e Correia**. Dissertação de mestrado. Universidade do Porto. Portugal: 2011
- GEO-SLOPE INTERNATIONAL: Slope/W Versão 2023.1. Disponível em: <https://www.geoslope.com/products/geostudio> . Acesso em: 03/05/2023
- GERSCOVICH, D. **Estabilidade de Taludes**. Ed. Oficina de Textos, São Paulo: 2012
- MACCAFERRI. **Proposta Técnica Para O Residencial Vila Brasil (Planta De Camadas Ref.: Dr-17795-R1: Gabião)**. Recife: 2021
- MORGENSTERN, N.R., PRICE, V.E. **The analysis of the stability of general slip surfaces**. *Géotechnique*, Vol 15.1965
- OLIVEIRA, J. F. C. M. **Análise da Estabilidade de Taludes pelo Método de Sarma**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Portugal: 2014.

- ORTIGÃO, J. A. R.; PALMEIRA, E. M.; ZIRLIS A. C. **Experience with soil mailing in Brazil: 1970-1994**. Geotechnical Engineering, Vol.113, p. 93-106. 1995.
- ORTIGÃO, J. A. R.; ZIRLIS, A. C.; PALMEIRA, E. M. **Experiência com solo grampeado no Brasil-1970-1993**. Solos e rocha, v. 16, n. 4, p. 291–304. São Paulo: 1993.
- SANTANA, R. G. **Análise de soluções de engenharia para estabilização de encostas ocupadas na Região Metropolitana do Recife – PE. Estudo de caso: Ruptura ocorrida em encosta com ocupação desordenada no UR 2, Ibura**. Recife: 2006.
- SANTOS, O.A.A. **A fragmentação do espaço no Recife**. 1ª Ed. Recife: 2020
- SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**, 2. Ed. Oficina de Textos. Volume único. São Paulo: 2012.
- SILVA, L.H. **A verticalização do espaço urbano: o caso do bairro do Prado-Recife/Pe**. Dissertação de Mestrado – UFPE. Recife: 2008
- SOUZA, A.P.L. **Estudos geotécnicos e de estabilidade de taludes da encosta do alto o padre Cícero no município de Camaragibe-Pe**. Dissertação de mestrado - UFPE - Recife: 2014
- SOUZA, K. M. **Forma urbana e controle de uso e ocupação: Um estudo do impacto da legislação de uso e ocupação do solo na cidade do Recife**. Recife: 2015
- VILAR, O. M.; BUENO, B DE S. **Mecânica dos Solos: volume II**. Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo: 2004.
- YAMANOUTH, M. **Caracterização geotécnica de um solo residual de granulito envolvido em uma ruptura de talude em Gaspar**. Porto Alegre: 2011.