

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/153

Análise de Estabilidade de Taludes Localizados em Municípios da Zona da Mata Sul de Pernambuco

Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello

Doutora em Engenharia Civil, PPGE CAM – UFPE, Caruaru - PE, Brasil, isabelamecvbello@hotmail.com

Waren Brendo Saraiva de Lira Oliveira

Engenheiro Civil, PPGE CAM – UFPE, Caruaru - PE, Brasil, waren.saraiva@ufpe.br

Tiago Barbosa Silva

Mestre em Engenharia Civil, PPGE CAM – UFPE, Caruaru - PE, Brasil, tgbarbosa91@hotmail.com

Alison Souza Noberto

Doutorando em Engenharia Civil, PPGE CAM – UFPE, Recife - PE, Brasil, alison_norberto@hotmail.com

RESUMO: A avaliação de segurança de taludes é essencial em projetos de engenharia, sendo normalmente expressa sob a forma de um coeficiente de segurança mínimo a ser estabelecido como critério de projeto. A Operação Reconstrução é um conjunto de ações destinadas a reestruturar os 41 municípios da Mata Sul e do Agreste pernambucano atingidos pelas enchentes de junho de 2010. Para construção de habitacionais foram realizados serviços de infraestrutura, por meio de movimentação de terra, com execução de grandes taludes de corte e aterro sobre os quais foram construídos os conjuntos habitacionais do município de Palmares, Catende, Xexéu, Cortês e Barreiro. Estes taludes estão sofrendo erosões, deslizamentos e rupturas, comprometendo as estruturas habitacionais. Análises de estabilidade foram realizadas em 16 taludes, considerando 24 seções, utilizando os softwares GeoStudio2022.1 e CIVIL 3D. Os parâmetros de resistência do solo foram obtidos através de correlações com índice de resistência a penetração (N_{SPT}). Os resultados mostraram que todos os taludes apresentam fatores de segurança abaixo de 1,5, indicando um risco iminente de ruptura, exacerbado por chuvas e construções adicionais na área. Recomenda-se, portanto, a desocupação imediata e a implementação de obras para estabilização, incluindo retaludamento, proteção superficial, drenagem e estruturas de contenção. Estas medidas são vitais para garantir a segurança das áreas afetadas.

PALAVRAS-CHAVE: Contenção, Erosão, Deslizamento, Ruptura, Drenagem.

ABSTRACT: Slope safety assessment is essential in engineering projects, usually expressed in the form of a minimum safety factor to be established as a design criterion. Operation Reconstruction is a set of actions aimed at restructuring the 41 municipalities of Mata Sul and Agreste of Pernambuco affected by the floods of June 2010. Infrastructure services were carried out for the construction of housing, through earthmoving, with the execution of large cut and fill embankments on which the housing complexes in the municipalities of Palmares, Catende, Xexéu, Cortês and Barreiros were built. These slopes are suffering erosion, landslides and ruptures, compromising housing structures. Stability analyzes were carried out on 16 slopes, considering 24 sections using GeoStudio2022.1 and CIVIL 3D software. Soil resistance parameters were obtained through correlations with penetration resistance index (N_{SPT}). The results showed that all slopes have safety factors below 1.5, indicating an imminent risk of failure, exacerbated by rain and additional construction in the area. It is recommended to immediately evacuate and implement stabilization works, including resurfacing, surface protection, drainage and containment structures. These measures are vital to ensure the safety of affected areas.

KEYWORDS: Stabilization, Erosion, Landslide, Rupture, Drainage.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Moraes (2023), a Companhia Estadual de Habitação e Obras firmou um termo de compromisso com a 15ª Procuradoria de Justiça Civil, se comprometendo perante o Ministério Público de Pernambuco (MPPE), a construir unidades habitacionais para um total de 19 famílias que vivem em situação

de riscos no município de Palmares, na Zona Mata Sul do estado. Essas situações de riscos também são relatadas em outros municípios da região.

Nos mais diversos tipos de obras e outras intervenções humanas, a avaliação da segurança de taludes é o fator controlador de projetos, normalmente expresso sob a forma de um coeficiente de segurança mínimo a ser estabelecido como critério de projeto/implantação ou sob outras formas de expressar a segurança, como a probabilidade de ruptura (GERSCOVICH, 2016).

Os deslizamentos de massa são geradores de riscos preocupantes, causando consequências como bloqueio de vias, soterramento de casas, trazendo como resultado vítimas fatais, com danos ambientais que alteram a paisagem, tornando-a vulnerável a recorrências. A gestão das áreas de riscos é bastante delicada, pois está envolvida com fatores naturais, sociais e a expectativa dos moradores para solução dos problemas (FERREIRA, RICHTER, 2022; FILHO *et al.*, 2010).

A situação de escorregamentos acontecem de maneira natural, devido a tendenciosa pretensão da natureza à peneplanização, proporcionando com que os solos das encostas desçam até atingir o nível de base. Com a ocorrência de precipitação atípica ou até mesmo breves intervenção antrópicas ocorre o desencadeamento desse fenômeno. Consequentemente, se a superfície do solo não for classificada em meio horizontal, a componente gravidade tenderá a mover o solo para baixo (DAS, 2011; MASSAD, 2010).

Os movimentos coletivos do solo são classificados como escoamentos, escorregamentos e subsidências, se destacando mutuamente em mais de 30 classes principais. Um dos principais fatores causador desse fenômeno é o escoamento superficial das águas, provocando o surgimento de erosões, deflagrada no instante que se constata a saturação total do solo. Visto que, enquanto não ocorrer a saturação, a água infiltra (Fiori, 2016; Guidicini & Nieble, 1983) As análises da estabilidade de taludes construídos são realizadas com base na geometria do problema, na inclusão de possíveis carregamentos externos, no conhecimento das propriedades geomecânicas dos materiais e nos padrões de fluxo (GERSCOVICH, 2016)

Para o estado de Pernambuco, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2021) considera moderada a probabilidade de ocorrência de eventos de movimentos de massa e inundação, devido à previsão de chuva de intensidade fraca, associada aos acumulados registrados e com alta vulnerabilidade aos deslizamentos de terra e inundação dos municípios monitorados. Em 2010, ocorreu um fenômeno meteorológico conhecido como onda de leste que provocou uma chuva intensa de 180 mm em apenas 24h (aproximadamente 70% do esperado para os 30 dias do mês de junho), provocando uma elevação muito rápida dos níveis dos rios. Trinta municípios da zona da Mata Sul de Pernambuco que ficam as margens do Rio Panelas, e Batateira as margens do Rio Una foram afetados (Pernambuco) (APAC, 2021).

Operação Reconstrução é um conjunto de ações destinadas a reestruturar os 41 municípios da Mata Sul e do Agreste pernambucano atingidos pelas enchentes de junho de 2010. A iniciativa conta com o trabalho de 15 secretarias estaduais e um investimento de R\$ 2.19 bilhões destinados à assistência emergencial, à recuperação de infraestrutura e à construção de escolas, hospitais, estradas, pontes, barragens e casas. Estão sendo construídas aproximadamente 15 mil moradias para as famílias desabrigadas (CEHAB, 2022).

Para construção de habitacionais foram realizados serviços de infraestrutura, por meio de movimentação de terra, com execução de grandes taludes de corte e aterro sobre os quais foram construídos os conjuntos habitacionais do município de Palmares, Catende, Xexéu, Cortês e Barreiro. Após a conclusão da obra, os taludes vêm apresentando erosões deslizamento e rupturas que estão comprometendo as estruturas dos imóveis. Os processos erosivos se iniciaram há alguns anos e os maciços terrosos comprometidos encontram-se submetidos a constante e intensa ação dos agentes do intemperismo e à ação antrópica (CEHAB, 2021)

Este trabalho possui por objetivo analisar a estabilidade dos taludes localizados em conjuntos habitacionais dos municípios de Palmares, Catende, Xexéu, Cortês e Barreiros. São ao todo 24 seções transversais para análise de estabilidade de 16 taludes. Após a análise serão diagnosticados os problemas observados por meio do seu grau de risco, buscando mediante investigação criteriosa tomar as melhores decisões, visando a segurança da população local.

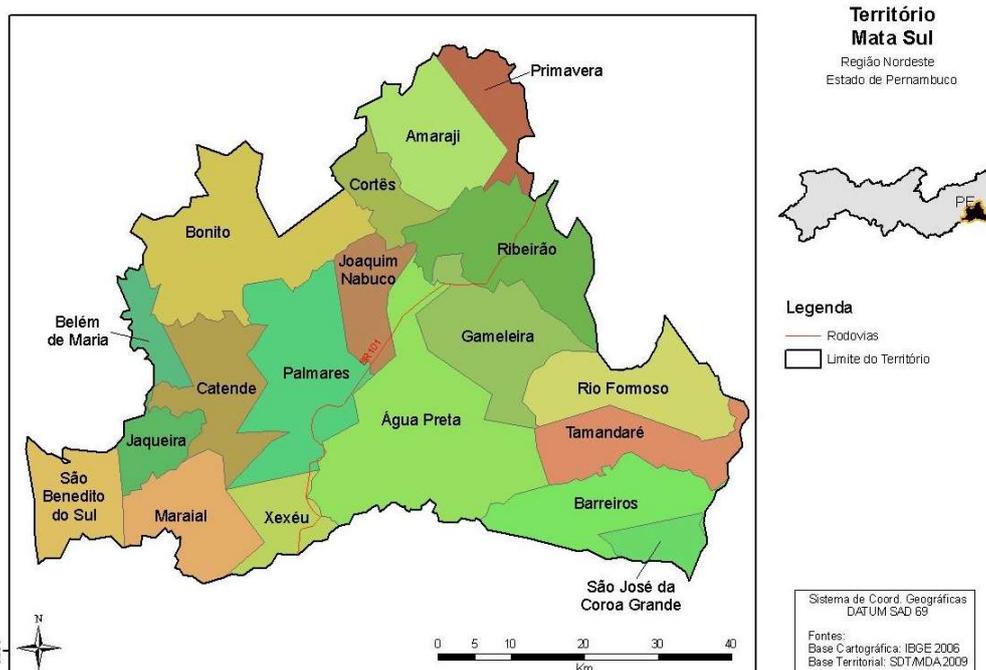
2 METODOLOGIA

A metodologia consistiu em caracterização das áreas de estudo, levantamento dos dados e análise de estabilidade.

2.1 Caracterização da região do estudo

A região do estudo engloba cinco municípios, sendo Palmares, Catende, Xexéu, Cortês e Barreiros, que de acordo com o censo, somam 148.670 habitantes com uma densidade demográfica total de 690,78 habitantes por quilômetros quadrados no ano de 2022. Os cinco municípios estudados estão situados na microrregião da Mata Sul Pernambucana, que possui uma área total de 4.524,1 km², sendo um território comumente procurado devido aos recursos naturais, como as praias, Mata atlântica, rios e estuários. Na Figura 2 é ilustrada a localização de todos os municípios que foram abordados.

Figura 2 – Localização dos Municípios Abordados na Zona Mata Sul de Pernambuco



Fonte: (Júnior et al., 2021)

As erosões encontradas nas áreas de construção dos residenciais foram resultados das implantações de terraplenagem para criação dos platôs para a infraestrutura de urbanização como, drenagem, esgoto, pavimentação, com muitos dos destinos direcionados para pontos mais baixos do platô, num escoamento natural, mas que, com tudo urbanizado e mais impermeabilizado, fez crescer bastante o volume e a velocidade do escoamento da água, gerando um processo de incremento desproporcional e que pode ser o motivo principal de todo processo erosivo que vem ocorrendo nos taludes de aterros (Figura 3).

2.2 Levantamento de dados

Os levantamentos planialtimétricos consistem em mapear as características da superfície de um terreno, estes são necessários para realização de qualquer projeto da construção civil. Faz-se necessário a representação dos acidentes geográficos e de outras características do relevo, evidenciando superfícies íngremes e planas.

Os estudos topográficos tem como objetivo a preparação de base planialtimétrica cadastral, considerando como base de dados a literatura preexistentes. Os dados foram levantados no SBG – Sistema Geodésico Brasileiro (SIRGAS 2000), projetado em coordenadas UTM - Universal Transversa de Marcator, Fuso 25S. Os levantamentos foram embasados na NBR 13.133/2021 que norteia a execução e precisão do levantamento topográfico planialtimétrico.

Tendo como fundamento os ensaios de sondagem SPT (*Standard Penetration Test*) realizados nas poligonais dos projetos estes para a construção do perfil estratigráfico do solo. Esse perfil caracteriza integralmente o talude destinado à intervenção, proporcionando a estratificação detalhada dos tipos de solo identificados e seus respectivos parâmetros geotécnicos.

Figura 3 - Localização dos residenciais: (a) Palmares; (b) Xexéu; (c) Catende; (d) Cortês; (e) Barreiros.



Fonte: (CEHAB, 2021)

Com utilização das correlações propostas por Teixeira (1972) e Godoy (1983), obteve-se os parâmetros de resistência para os horizontes estratigráficos (γ - peso específico, c - coesão e ϕ - ângulo de atrito, a partir do N_{SPT} (índice de resistência a penetração). Ensaios de laboratório também foram realizados posteriormente.

2.2 Análise da estabilidade dos taludes

As análises de estabilidade foram realizadas em 24 seções transversais para de 16 taludes (Tabela 1), distribuídos nos 5 municípios estudados, através do programa computacional GeoStudio2022.1, garantindo uma abordagem abrangente na verificação da estabilidade em diferentes pontos de interesse. Para o desenho dessas seções, além dos dados obtidos no SPT, foram utilizados os resultados do levantamento topográfico, realizado nos locais de estudo. A verificação da estabilidade das soluções propostas foi conduzida considerando uma sobrecarga de 20 kN/m, conforme recomendação da Norma Brasileira de Estabilidade de Encostas NBR 11682/2009, sendo utilizado o método de Morgenstern & Price (1965).

Tabela 1 - Total de seções analisadas por local.

CIDADE	TALUDE (LOCAL)	Nº DE SEÇÕES	SEÇÕES	FS
BARREIROS (6 seções)	HABITACIONAL BAETÊ (Gleba B)	1	1+0,00	1,353
	SANTA CLARA II (ETE)	1	1+5,00	1,259
	SANTA CLARA II (Platô 7)	1	0+10,0	1,358
	SANTA CLARA II (Platô 8)	1	1+5,00	1,383
	SANTA CLARA II (Acesso principal)	2	0+10,00 1+10,00	1,235 1,174
CATENDE (1 seção)	MONTE ALEGRE	1	3+5,00	1,160
CORTÊS (2 seções)	TALUDE DO RESERVATÓRIO	1	3+5,00	1,319
	TALUDE DA ETE	1	0+5,00	1,381
PALMARES (13 seções)	QUILOMBO DOS PALMARES II	1	1+5,00	1,328
	PLATÔ 2	1	1+0,00	1,403
	PLATÔ 3 (Erosão 1)	2	0+0,00	1,374
			1+0,00	1,148
	PLATÔ 6	2	3+5,00	1,377
			1+15,00	1,347
			2+0,00	1,078
			4+5,00	1,274
	PLATÔ 7	5	5+20,00	1,336
			7+20,00	1,398
			10+0,00	1,479
			PLATÔ 1	1
	XEXEU (2 seções)	CAMPOS FRIOS	2	1+10,00
1+5,00				1,006
TOTAL		24		

A NBR 11682/2009 recomenda a definição do fator de segurança (FS) considerando os níveis de segurança contra perda de vidas humanas e contra danos materiais e ambientais. A área em torno dos taludes pode ser classificada como nível alto de exigência de segurança em relação à possibilidade de perdas de vidas humanas. Em relação à possibilidade de danos materiais e ambientais o grau de exigência de segurança é médio. Sendo assim, o fator de segurança considerado é igual a 1,5.

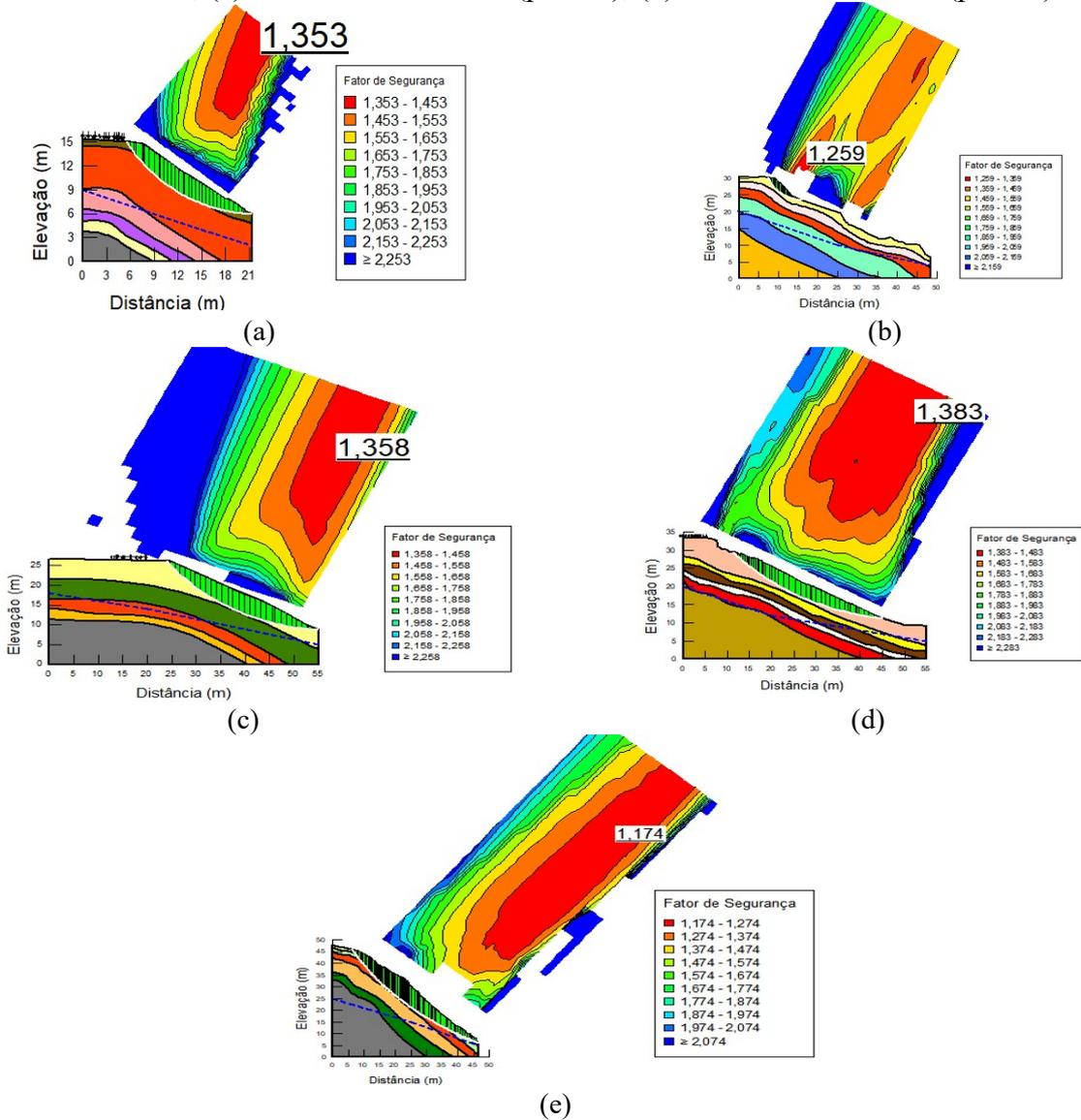
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Figuras 4, 5, 6, 7 e 8, respectivamente, são mostradas as análises de estabilidade para a cidade de Barreiros, Catende, Cortês, Palmares e Xéxeu. Destaca-se que todos os valores dos fatores de segurança ficaram abaixo de 1,5, na maioria das análises caracterizando uma ruptura nas camadas de solos com consistência mole a média ou compactidade fofa ou pouco compacta.

Os ensaios de laboratório como caracterização e cisalhamento direto, foram realizados posteriormente a análise de estabilidade. Os parâmetros obtidos foram novamente inseridos nas análises mas não verificou-se diferença importante nos valores dos fatores de segurança.

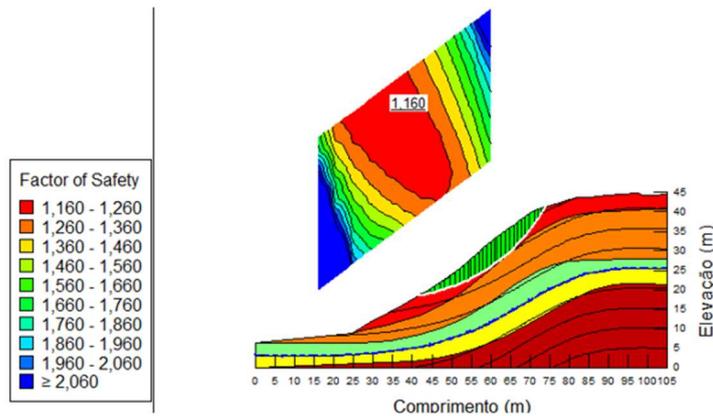
Considera-se o talude em risco de ruptura geral iminente, podendo ser deflagrada por exemplo, com a saturação do solo causada pela chuva, aumento das erosões e construções realizadas próxima da área acrescentando cargas ao talude. Recomenda-se a desocupação da área, de imediato, e a realização de obras estruturadoras que possibilitem condições de estabilidade, como soluções de retaludamento, de proteção superficial, de drenagem, obras de estrutura de contenção e combinações dessas alternativas. Estas medidas são vitais para garantir a segurança dos residentes nas áreas afetadas.

Figura 4 – Análise de estabilidade no terreno natural - Barreiros: (a) talude da Gleba B; (b) talude Santa Clara II – ETE; (c) talude Santa Clara II (platô 7); (d) talude Santa Clara II (platô 8)



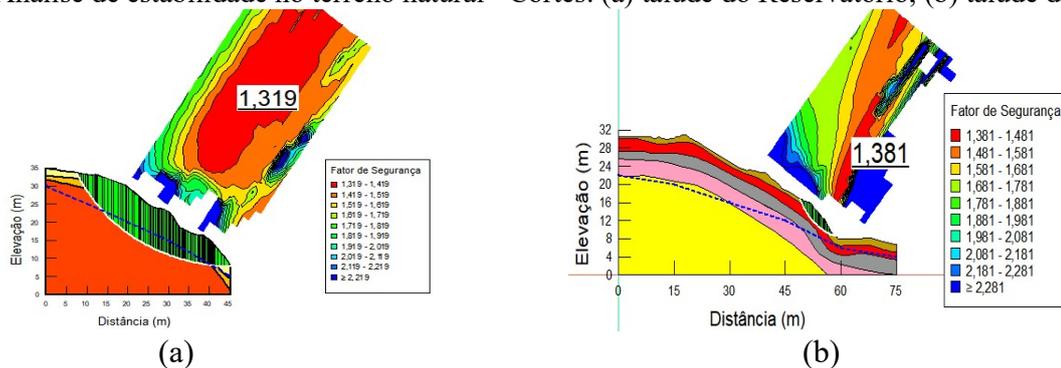
Fonte: (Os autores, 2024).

Figura 5 – Análise de estabilidade no terreno natural – Catende: talude Monte Alegre



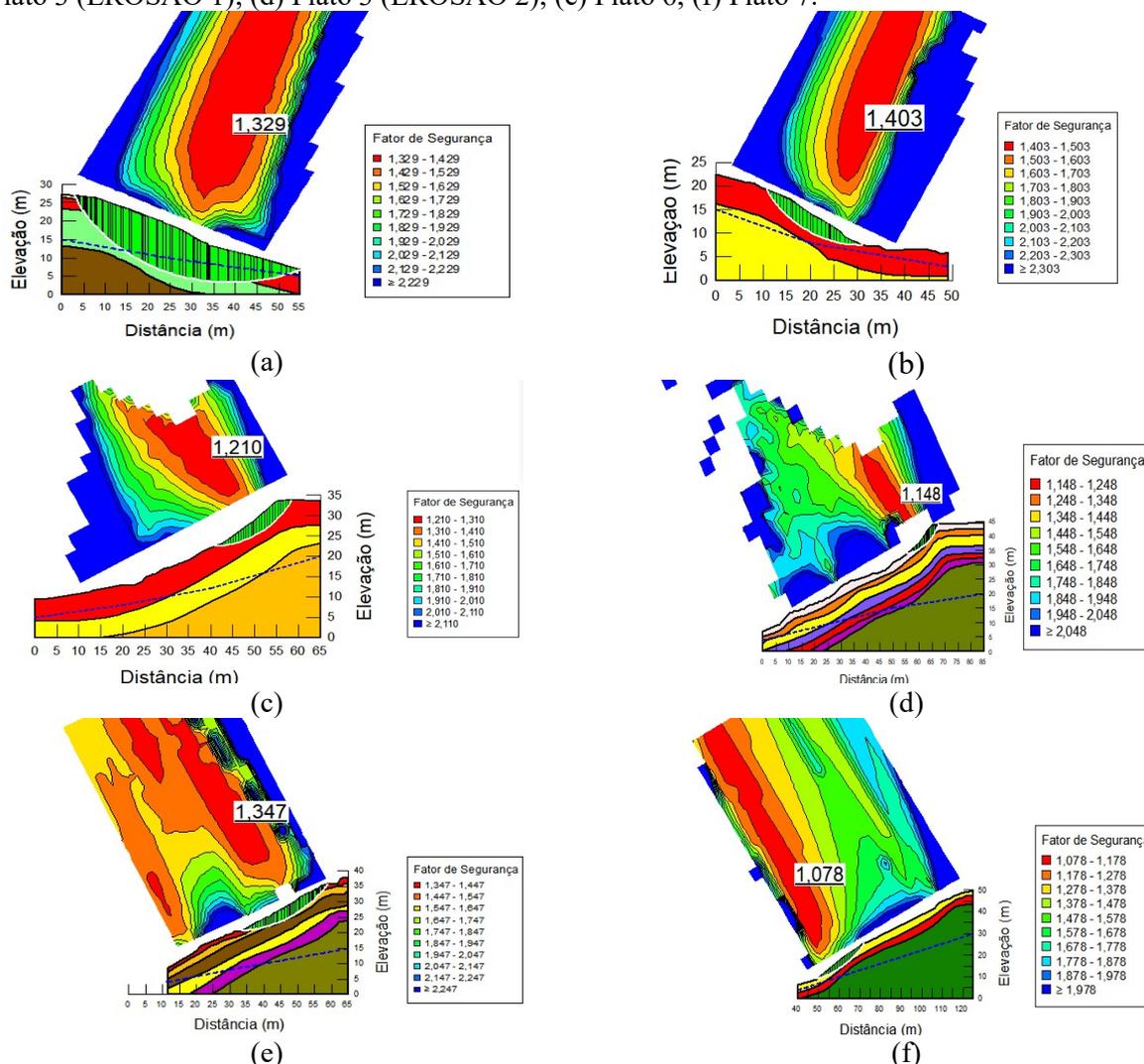
Fonte: (Os autores, 2024).

Figura 6 – Análise de estabilidade no terreno natural - Cortês: (a) talude do Reservatório; (b) talude da ETE.



Fonte: (Os autores, 2024).

Figura 7 – Análise de estabilidade no terreno natural - Palmares: (a) Quilombo dos Palmares II; (b) Platô 2; (c) Platô 3 (EROSÃO 1); (d) Platô 3 (EROSÃO 2); (e) Platô 6; (f) Platô 7.



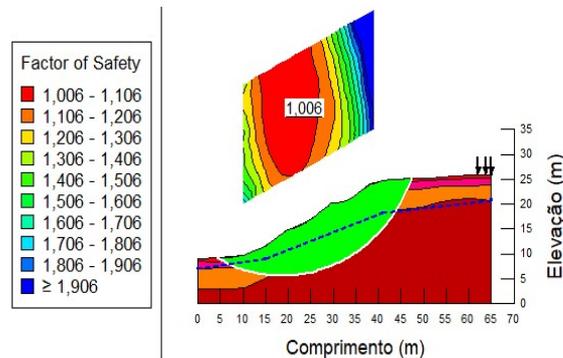
Fonte: (Os autores, 2024).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados obtidos a partir da análise de estabilidade foram sugeridas propostas de soluções para recuperação e estabilização de taludes como retaludamento, proteção superficial, drenagem superficial e

interna, estrutura de contenção e combinações dessas alternativas. Este estudo contribui para gestão do município quanto a identificação e avaliação dos riscos a escorregamentos dessas áreas, visando auxiliar a formulação e implementação efetiva das políticas públicas e iniciativas governamentais.

Figura 8 – Análise de estabilidade no terreno natural – Xéxeu: talude Campos Frios



Fonte: (Os autores, 2024).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pelo financiamento da pesquisa desenvolvida através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), campus Caruaru.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APAC (2022). Agência Pernambucana de Águas e Cimas. www.sirh.srh.pe.gov.br/apac.
- CEHAB (2022). Companhia Estadual de Habitação Obras. Operação Mata Sul. <http://www.cehab.pe.gov.br/web/cehab/operacao-mata-sul>.
- CEHAB (2021). Companhia Estadual de Habitação Obras. *Termo de referência: Apontamento de causas e soluções, estabilização de taludes e aterro, nos conjuntos habitacionais localizados nos municípios de Palmares, Barreiros, Catende, Cortês e Xéxeu*. 2021.
- Das, B. M. (2011). *Fundamento de engenharia geotécnica* (6th ed.). Cengage Learning.
- Ferreira, C. O.; Richter, M. (2022). Tem risco, mas na minha casa não: análise da percepção ambiental de risco da comunidade Amazonas, Petrópolis – RJ. *Geography Department University of Sao Paulo*, 42, e190274. <https://doi.org/10.11606/eissn.2236-2878.rdg.2022.190274>
- Filho, R., Cortez, A. ; Filho, A. R.; Caceres Cortez, A. T. (2010). A problemática sócioambiental da ocupação urbana em áreas de risco de deslizamento da Suíça Brasileira. *Revista Brasileira de Geografia Física*. v.3.
- Fiori, A. P. (2016). *Estabilidade de taludes : exercícios práticos*. Oficina de Textos.
- Gerscovich, D. M. S. (2016). *Estabilidade de taludes* (2nd ed.). Oficina de Textos.
- Guidicini, G.; Nieble, C. M. (1983). *Estabilidade de taludes naturais e de escavação* (2nd ed.). Edgard Blucher.
- Júnior, J. F. S., Machado, Y. C., Filho, W. B. R., Castro, M. F., Filho, L. F. M. C.; Figueiroa, J. G. (2021). *Embrapa: Território Mata Sul Pernambucana*. 2021. <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio>
- Massad, F. (2010). *Obras de terra : curso básico de geotecnia* (2nd ed.). Oficina de Textos.
- Moraes, K. (2023). *Sob pressão do MPPE, Governo se compromete a construir habitacionais para famílias em Pernambuco*. 2023. <https://jc.ne10.uol.com.br/pernambuco/2023/01/15156536-sob-pressao-do-mppe-governo-se-compromete-a-construir-habitacionais-para-familias-em-pernambuco.html>
- Morgenstern, N.R., Price, V.E. (1965). *The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces*. Géotechnique, 15, pp.79–93.
- Teixeira, A. T.; Godoy, N. S. *Análise, Projeto e Execução de Fundações Rasas*. Fundação: Teoria e Prática. São Paulo, SP, PINI, 1996.