

ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE UM TALUDE EM UMA ÁREA DE RISCO NO BAIRRO LIBERDADE, MUNICÍPIO DE PARAUPEBAS-PA

Isadora Morais Soares ¹; Cristiane Lima Marques Teixeira ²; Jorge Luis Sousa Rocha ³

Resumo – O rápido crescimento na cidade de Parauapebas foi impulsionado a partir da década de oitenta quando foi instalado o Projeto de Ferro Carajás, e foi em meio a esse cenário que pessoas oriundas de diversas regiões do Brasil se instalaram no município, modificando a malha urbana territorial e ocupando locais sujeitos aos riscos geológicos. A encosta está localizada na porção geológica da Formação Parauapebas Máfico, condicionada por rochas vulcânicas de contexto litológico complexo. Conforme o crescimento desordenado da cidade, os cortes de taludes também se intensificaram, aumentando a instabilidade e ocorrências de deslizamentos em bairros, como o Liberdade que sofre as consequências da ação antrópica, intensificando os desastres naturais, o que exhibe a ineficiência de projetos territoriais que visam garantir a segurança da população. Assim, este estudo objetiva compreender as causas dos deslocamentos de massa através da análise da estabilidade de um talude no bairro Liberdade. Foram utilizados boletins de sondagem (Standard Penetration Test) que forneceram os insights necessários, permitindo comparar, com a descrição tátil visual em campo, métodos de análise de sensibilidade, análise cinemática e cálculo de fator de segurança (método de equilíbrio limite), que inferiu o valor do fator de segurança da encosta em 1.19 e comparou aos parâmetros da norma ABNT/NBR 11:682 que mostraram altos níveis de instabilidade no talude.

Abstract – The rapid growth in the city of Parauapebas was boosted from the 80's when the iron project Carajás was installed, and it was in this scenery that people from many regions of Brazil established themselves in town, modifying the urban mesh and occupying areas subject to geological risks. The Slope is located in the geological portion of Parauapebas mafic formation, conditioned by volcanic rocks of a complex lithological context. As the city grows uncontrollably, the slopes' cuts are intensified, increasing the instability and landslides occurrences in neighborhoods like Liberdade, which suffers the consequences from the anthropic action, intensifying the natural disasters, showing the inefficiency of territorial projects that aim to guarantee the safety of the population. Thus, This study aims to understand the mass displacement's causes through the stability analysis of a slope in the Liberdade Neighborhood. Drilling bulletins (Standard Penetration test) were used, which provided the necessary insights, allowing to compare, with the in-field visual tactile description, sensibility analysis method, cinematic analysis and safety factor calculation (limit balance method), that inferred the safety factor value of the slope and were compared to the parameters from the norm ABNT/NBR 11:682, which showed high levels of stability in the slope.

Palavras-Chave – Crescimento desordenado, Deslizamentos, Instabilidade de taludes

¹ Graduanda em geologia, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, (94)984071895, isadora.morais@unifesspa.edu.br

² Geóloga, PhD, associada da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, (81)992425425, cristiane.marques@unifesspa.edu.br

³ Engenheiro Geólogo, Especialista, Progen Engenharia, (94)981348459, jorgerochageo@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A frequência e a intensidade dos deslizamentos de terra em áreas urbanas brasileiras têm registrado um aumento alarmante nos últimos anos e compreender suas causas e motivações é crucial para o entendimento dessa problemática. De acordo com o Centro nacional de monitoramento e de alertas naturais (Cemaden, 2023), em 2023 registrou-se o maior número de ocorrências de desastres no Brasil, 1.161 eventos, sendo 445 de origem geológica como deslizamentos de terras.

Em consonância com os estudos de Kobiyama *et al.* (2006), o rápido crescimento populacional aliado aos processos intensos de urbanização e a ocupação desordenada e irregular, promovem uma alta densidade populacional em áreas de risco. Conforme apontado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT, 2013), a ação antrópica no meio ambiente, especialmente através da construção civil e do manejo inadequado de resíduos, causa modificações significativas nas propriedades naturais do terreno, aumentando a vulnerabilidade a deslizamentos. Esse cenário é agravado pelo crescimento populacional descontrolado nos centros urbanos, o que resulta em construções em locais que não levam em consideração fatores topográficos, inclinação da encosta, solo e características geológicas da região.

O município de Parauapebas, interior do estado do Pará, cujo crescimento populacional desordenado foi impulsionado pelo intenso fluxo migratório em busca de oportunidades na mineração, resultou em ocupações irregulares e condições precárias de moradias. Essas ocupações se espalham de forma desordenada, especialmente na base e no topo de encostas, tornando essas áreas suscetíveis ao risco geológico. A cidade possui um histórico de deslizamentos de terra, eventos que se intensificam sazonalmente, sobretudo nos períodos de maior precipitação pluviométrica, agravados pela instabilidade geotécnica do terreno.

Considerando o histórico de deslizamentos no município, este estudo tem por objetivo avaliar a estabilidade de uma encosta no Bairro Liberdade que apresentava sinais de instabilidade conforme monitoramento da Defesa Civil. Assim, serão realizadas: verificação de agentes instabilizantes; coleta e caracterização de material através de comparação com dados de boletins de Standard Penetration Test (SPT); e compilação dos dados, sem considerar o grau de saturação do solo. Como produto, será elaborado um modelo de estabilidade com fator de segurança (FS) para a encosta.

2. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA ESTUDADA

A área de estudo se localiza no Bairro Liberdade, nos limites da área urbana (Figura 1) do município de Parauapebas-PA, que está localizada na mesorregião do Sudeste Paraense, inserida na Folha SB.22-Z-A-III, pertencente à Província Mineral de Carajás, à 720 km da capital Belém.

Na localidade ocorrem as unidades pertencentes ao Cinturão Itacaiúnas, localizado na borda leste do Cráton Amazônico. Na porção setentrional do Cinturão, conforme descrito por Araújo *et al.*, 1988, observa-se um embasamento Mesoarqueano (pré- 2,3 Ga) sequenciado por rochas metavulcanossedimentares e intrusões magmáticas formadas no Neoarqueano, entre 2,76 e 2,70 bilhões de anos (Machado *et al.*, 1991; Barros *et al.*, 2004; Sardinha *et al.*, Feio *et al.*, 2012).

Ortognaisse Bom Jesus

Este Ortognaisse tem idade Mesoarqueana, possui uma composição granodiorítica a tonalítica, com bandas/enclaves anfibolíticos. Exibe uma bandagem marcante, com biotita como principal mineral máfico definindo a forte xistosidade e estratificação composicional. Ocorrem bolsões leucossomáticos concordantes à oblíquos ao bandamento, de composição granodiorítica a granítica, conferindo um espaço magmático à unidade, conforme Feio *et al.*, 2013.

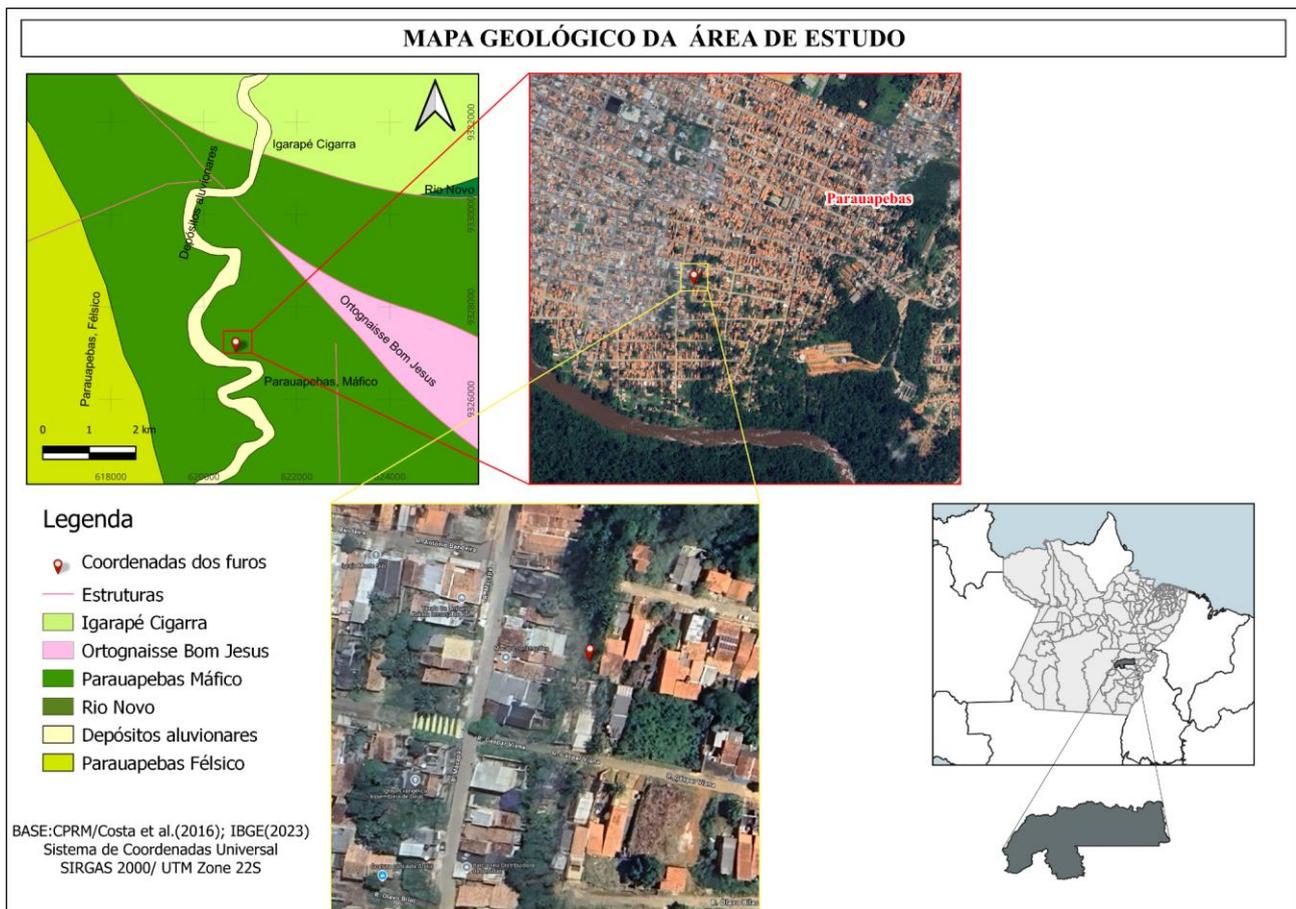


Figura 1: Contexto geológico da área de estudo, localização da área de estudo, distribuição dos pontos e localização do município no estado do Pará. Modificado de Costa *et al.* (2016).

Parauapebas Máfico

Esta formação engloba a área de estudo e apresenta um contexto litológico complexo. A sequência vulcânica da Formação Parauapebas, com espessura entre 4 e 6 km, exibe uma diversidade de rochas bimodais, como basaltos, doleritos e riolitos (Pinheiro & Holdsworth, 1997b). Conforme Meireles *et al.* (1984), a base do Grupo Grão Pará é identificada como Formação Parauapebas e marcada pela presença de riolitos em conjunto com metabasitos de origem extrusiva e intrusiva, desde espilitos e metabasaltos.

Parauapebas Félsico

Esta Formação é caracterizada por uma sequência vulcânica máfica-félsica que sofreu metamorfismo na fácies xisto-verde, sendo composta principalmente por metabasaltos e metadacitos. Zucchetti & Lobato (2004) analisaram rochas vulcânicas e piroclásticas/vulcanoclásticas dessa formação nos depósitos de Serra Norte (N4 e N5). As rochas extrusivas foram classificadas como basaltos e andesitos basálticos de afinidade cálcio-alcalina, que foram afetadas por processos de metamorfismo (espilitização) e hidrotermalismo associados a ambientes de fundo oceânico.

Grupo Rio Novo

Esta unidade, Mesoarqueana, foi inicialmente caracterizada por Hirata *et al.*, (1982) como a sequência Rio Novo, a partir da descrição de afloramentos de anfibólio-clorita xistos, associados a rochas félsicas, formações Ferríferas Bandadas (BIFs) e metacherts. Posteriormente, os mesmos autores levaram a possibilidade de uma unidade representar um terreno granito-greenstone, uma interpretação que também foi corroborada por Meireles *et al.*, (1984) e Araújo & Maia (1991).

Os corpos ultramáficos estão associados às rochas máficas e são compostos principalmente por tremolita e clorita, com menor presença de actinolita. A intrusão do complexo Luanga (2.763 ± 6 Ma, Machado *et al.* 1991) na sequência estabelece um limite inferior para a idade do Grupo Rio Novo.

Formação Igarapé Cigarra

A Formação Igarapé Cigarra, definida por Justo & Lopes (2014), é constituída por rochas metassedimentares clásticas, incluindo formações ferríferas e manganíferas bandadas, metagrauvacas, mica xistos, quartzo xistos, xistos grafitosos a aluminosos. Subordinadamente, ocorrem rochas metavulcânicas ácidas, metavulcanoclásticas e metabasaltos. Essas rochas exibem metamorfismo que varia da fácies xisto verde a anfíbolito (Justo & Lopes 2014).

Depósitos Aluvionares

São associados às coberturas cenozoicas descritos por Teixeira *et al.*, (2023), são depósitos aluvionares, definidos como depósitos de tálus e colúvio-aluvionares. Os depósitos aluvionares correspondem aos sedimentos clásticos não consolidados das planícies aluviais do Rio Parauapebas e seus afluentes. Os depósitos de tálus são observados nas encostas e na base das elevações. Os depósitos colúvio-aluvionares ocorrem no topo e na meia encosta das principais elevações da bacia.

3. METODOLOGIA

Para análise da estabilidade da encosta foram utilizados dados de dois ensaios de SPT (Standard Penetration Test), cedidos pela Secretaria Municipal de Obras do município, que forneceu boletins técnicos da área de interesse. Para os dados topográficos visuais de alta resolução, foi realizado um levantamento aéreo com drone, equipado com sistema RTK/PPK para georreferenciamento de alta precisão. As imagens capturadas foram processadas no Software Qgis (gratuito), utilizando técnicas de fotogrametria, para gerar um modelo digital de superfície (MDS) e uma ortofoto georreferenciada da área.

Adicionalmente foi realizada uma vistoria em campo descrevendo dois pontos (Figura 1) com intuito de apresentar as características do solo para validação da sondagem, permitindo a identificação de camadas de rocha alterada na base do talude e descrição tátil-visual da camada superficial nos pontos de furos de sondagem. Para tais constatações, com apoio da Defesa Civil do município, foi possível acessar algumas construções residenciais de famílias afetadas pelo processo de instabilização do solo.

Com base nos estudos de Joppert (2007) foi realizada a descrição do material considerando análises de sensibilidade que busca identificar quais parâmetros têm maior influência no Fator de Segurança (FS) de um talude e a retroanálise buscando reconstruir as condições que levaram ao deslizamento.

Para investigação da estabilidade da encosta adotou-se o método de Spencer (1967), que é conceituado um dos mais rigorosos, pois atende aos critérios de todas as equações de equilíbrio e momentos. Este método fundamenta-se na premissa que as forças entre as fatias de massa de solo deslizada mantêm um paralelismo constante, definido por um único ângulo, determinado na fundamentação para a obtenção cálculo da encosta em questão. O valor fator de segurança (FS) foi determinado com o Soft Slide 2 da Rocscience baseado na análise de equilíbrio limite.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A descrição do material no local indicou que o solo da área é predominantemente constituído por argila-siltosa de coloração avermelhada, associados à Formação Parauapebas, que é marcada pelo intenso intemperismo de rochas vulcânicas máficas, resultando na formação de solos vermelhos, utilizados como critério de mapeamento de campo (Pereira, 2009). Esses solos apresentam textura fina, baixa permeabilidade e elevada plasticidade, características que os tornam

altamente suscetíveis à variação de umidade e a processos de retração e expansão volumétrica. A norma ABNT/NBR 7250:1982 estabelece que a plasticidade é a propriedade que permite aos solos finos deformarem-se extensivamente, sem romper ou fissurar, em um intervalo considerável de umidade. Além disso, a presença de material saprolítico em diferentes graus de intemperismo pode influenciar diretamente na estabilidade geotécnica da região, especialmente em condições de saturação.

O Furo de Sondagem SP01 (Figura 2A), com profundidade de 9,28 metros, revelou um perfil estratificado. Nos primeiros 5 metros, os valores do ensaio SPT variaram entre 2 e 5 golpes, caracterizando um solo de consistência mole, classificado como silte argiloso brando, conforme observações *in loco*. A partir dos 5 metros de profundidade, os valores de NSPT apresentaram incremento significativo, variando entre 23 e 52 golpes, indicando a transição para um material de resistência elevada, interpretado como solo residual jovem. A perfuração foi interrompida em 9,28 metros devido à presença de matacões ou rocha impenetrável ao trépano de lavagem, registrando NSPT 31/10 na última camada. A interrupção está em conformidade com a ABNT/NBR 6484:2001, que estabelece critérios para suspensão de sondagens diante de obstáculos impenetráveis.

No Furo SP02, (Figura 2A) com profundidade de 8,12 metros, foi identificado um perfil de silte argiloso com pedregulho, de coloração vermelha e consistência mole a dura. Os valores de NSPT nas camadas superficiais (até 6 metros) variaram entre 2 e 5 golpes, compatíveis com um solo de baixa resistência. A partir de 6 metros, observou-se um aumento abrupto nos valores de NSPT (acima de 30 golpes), sugerindo a transição para um material mais competente, possivelmente associado a solo residual consolidado. A sondagem foi finalizada em 8,12 metros com NSPT 31/10, indicando a presença de um obstáculo rígido (matacão ou rocha), também seguindo os critérios da ABNT/NBR 6484.

Os resultados dos furos SP01 e SP02 indicam um perfil heterogêneo, com uma camada superficial de aproximadamente 5 metros de espessura, composta por solo coluvionar de baixa resistência, contendo fragmentos de rocha. Subjacente a essa camada, identifica-se uma zona de solo residual maduro, com elevada resistência ao SPT, compatível com processos de intemperismo avançado. A visita de campo corrobora as observações, evidenciando material friável na crista do talude e rocha alterada na base (Figura 2B), condizente com as dificuldades de avanço da perfuração registradas nos boletins de sondagem.

A heterogeneidade do perfil reflete a transição entre solos coluvionares pouco consolidados e solos residuais compactados, com presença pontual de blocos rochosos, reforçando a necessidade de considerações específicas para a estabilização de taludes na área.

Para avaliar o comportamento geotécnico dos materiais da área de estudo, parâmetros geotécnicos foram estimados por meio de correlações empíricas com base em dados bibliográficos (Joppert, 2007). Visando aprimorar a confiabilidade dos resultados, foram conduzidas análises de sensibilidade e retroanálises, ajustando os valores preliminares às observações de campo e à experiência técnica da equipe. A tabela 1 sintetiza os parâmetros geotécnicos obtidos para os materiais identificados nas sondagens SPT, incluindo Peso específico (γ) em kN/m^3 , Coesão efetiva (c') em kPa, Ângulo de atrito (ϕ') em graus, conforme o Critério de Resistência de Mohr-Coulomb.

Os parâmetros geotécnicos obtidos para os tipos de materiais estão alinhados à literatura técnica, reforçando a consistência metodológica. A análise de sensibilidade incorporou variáveis observadas em campo como compactidade e presença de pedregulhos, refinando os parâmetros para representar adequadamente o comportamento geotécnico local.

Embora os resultados preliminares com correlações empíricas não substituam a análise com ensaios laboratoriais diretos (ex: cisalhamento direto), os parâmetros ajustados foram utilizados em modelagens preliminares de estabilidade do talude, indicando resultados satisfatórios sob as condições analisadas.



Figura 2: a) Detalhe do furo de sondagem SP 01, (solo coluvionar argiloso avermelhado) e SP 02 (solo residual siltoso-argiloso). b) Cicatriz de deslizamento no quintal da residencial, localizado na base do talude de rocha alterada da Formação Parauapebas máfico.

Tabela 1. Parâmetros geotécnicos usados para calcular Fator de Segurança a partir do Método de Equilíbrio Limite com o Soft Slide 2 da Rocscience

| Nome do Material | Cor | Peso específico (KN/m ³) | Critério | Coesão (Kpa) | Angulo de atrito(°) |
|-------------------------------------|---|--------------------------------------|--------------|--------------|---------------------|
| Silte Argiloso- Coluvionar (nSPT<5) |  | 17 | Mohr-Coulomb | 15 | 23 |
| Silte Argiloso- Residual (nSPT>30) |  | 18 | Mohr-Coulomb | 30 | 25 |
| Saprolito |  | 20 | Mohr-Coulomb | 40 | 50 |

A Norma Brasileira NBR 11.682:2009 define critérios mínimos de segurança para taludes, relacionando o fator de segurança (FS) à resistência ao cisalhamento do material e às condições geotécnicas. A tabela 2, que estabelece valores de FS conforme o tipo de análise e risco envolvido, taludes naturais em áreas urbanas devem apresentar FS mínimo entre 1,3 e 1,5 para garantir a estabilidade e preservar vidas e estruturas. Neste estudo, o talude analisado apresenta aproximadamente 15 m de altura (Figura 3C), com ângulo global 70°, variando entre 60° no topo e 80° sub-verticalizado na base, avaliado por meio do método de equilíbrio limite (critério de Spencer), que considera o equilíbrio de forças e momentos em superfícies de deslizamento divididas em fatias verticais. A simulação determinística, realizada no software Slide, resultou em FS = 1,19 para a condição insaturada do solo, ou seja, sem considerar a influência de infiltração pluvial ou falhas no sistema de drenagem.

Ao comparar o FS obtido (1,19) na (Figura 4), com os valores mínimos exigidos pela tabela 2 da NBR 11.682:2009 (1,3 a 1,5), verifica-se que o talude não atende aos requisitos normativos, indicando risco elevado de ruptura. Essa não conformidade sugere instabilidade geotécnica, com potencial para deslizamentos que podem comprometer vidas e a infraestrutura no entorno. É importante ressaltar que a análise não incorporou fatores críticos, como a ação da água pluvial – que reduz a resistência do solo ao aumentar a pressão neutra – e possíveis falhas no direcionamento do sistema de drenagem urbana. Ambos os cenários poderiam reduzir o FS para valores inferiores a 1,19, ampliando a vulnerabilidade do maciço.

Diante disso, a discrepância entre o FS calculado e os parâmetros normativos reforça a necessidade de intervenções urgentes, incluindo a revisão do sistema de drenagem para controle hídrico, o monitoramento contínuo do talude com instrumentação geotécnica e análises complementares que considerem condições hidrológicas realistas. Portanto, mesmo na condição insaturada, o talude já opera em desacordo com a NBR 11.682:2009, exigindo medidas mitigadoras para evitar cenários críticos.

Durante a elaboração deste artigo, um evento de chuva de 85.4mm³ foi registrado (Hidroweb/ANA 2025), que possivelmente desencadeou um deslocamento de penetração de massa no local visitado durante a etapa de campo (Figura 5B). Esse trágico acontecimento corrobora resultados apresentados, evidenciando a alta criticidade da encosta analisada e os significativos riscos geotécnicos que ameaçam a segurança dos moradores do local.

Tabela 2. Fatores de segurança mínimos (FS) para análise de estabilidade de taludes, conforme a ABNT/NBR11:682, discriminados por níveis de risco de danos materiais e ambientais.

| Nível de segurança contra danos materiais e ambientais \ Nível de segurança contra danos a vidas humanas | Alto | Médio | Baixo |
|--|------|-------|-------|
| | Alto | 1,5 | 1,5 |
| Médio | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| Baixo | 1,4 | 1,3 | 1,2 |

NOTA 1 No caso de grande variabilidade dos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela acima devem ser majorados em 10 %. Alternativamente, pode ser usado o enfoque semiprobabilístico indicado no Anexo D.

NOTA 2 No caso de estabilidade de lascas/blocos rochosos, podem ser utilizados fatores de segurança parciais, incidindo sobre os parâmetros γ , ϕ , c , em função das incertezas sobre estes parâmetros. O método de cálculo deve ainda considerar um fator de segurança mínimo de 1,1. Este caso deve ser justificado pelo engenheiro civil geotécnico.

NOTA 3 Esta tabela não se aplica aos casos de rastejo, voçorocas, ravinas e queda ou rolamento de blocos.

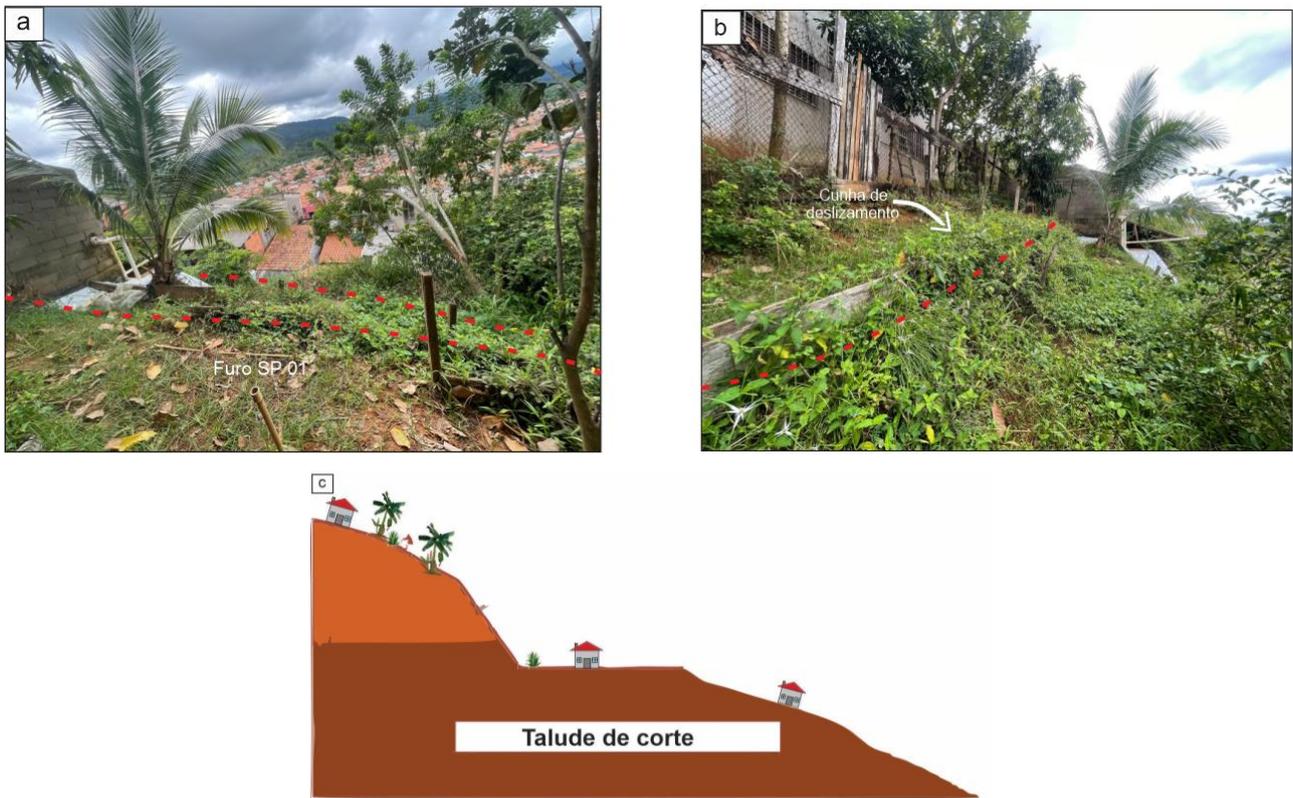


Figura 3. a) Visão panorâmica da crista do talude demonstrando o sentido do deslizamento e as residências em risco na base. b) Vista Panorâmica da lateral esquerda, destacando cunha de deslizamento, e a residência impactada pela instabilização do solo. c) Ilustração esquemática da encosta, elaborada no Software CorelDraw, representando uma altura de aproximada de 15 metros e a presença de plantações de bananeiras que intensificam os riscos de deslizamentos.

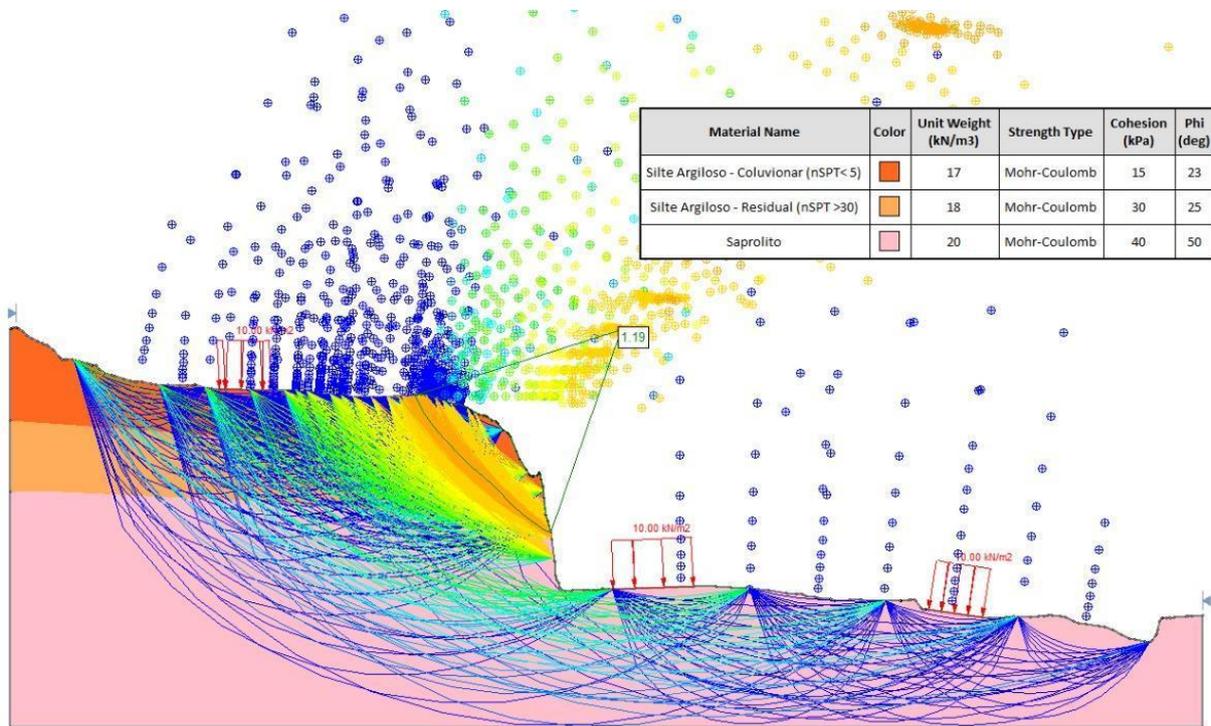


Figura 4. Modelo geológico esquemático para representação do Fator de segurança (FS) do talude, elaborado a partir da comparação dos parâmetros dos boletins de sondagem e da caracterização em campo, utilizando o Soft Slide 2 da Rocscience.



Figura 5. a) Registro da Cicatriz de deslizamento em residência, evidenciando área de risco (02/02/2025). b) Registro da Defesa Cível do município, mostrando o deslizamento subsequente na encosta (06/02/2025).

5. CONCLUSÕES

Assim, conclui-se que: a) a falta de planejamento urbano resultou em ocupações irregulares e precárias no município; b) Os principais fatores de instabilidade observados foram: ângulo de corte de talude inadequado; solo de baixa resistência; índices pluviométricos recordes no ano de 2025; ausência no direcionamento da água; redução da coesão do solo; aumento do peso no solo; c) os fatores anteriormente citados evidenciam ausência de medidas eficazes para intervenções construtivas e escoamento de água; d) a segurança da encosta mostrou-se abaixo do recomendado pelas normas geotécnicas; e) as análises revelaram um (FS) de 1.19, inferior ao mínimo exigido, o que reforça a urgência de integralização destes dados para o quadro de riscos geotécnicos do município. Portanto, os dados obtidos mostraram que, independentemente da precipitação pluviométrica, a área apresenta risco de deslocamento de massa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Secretaria Municipal de Obras (SEMOB) pela disponibilização dos Boletins de Sondagem essenciais para realização deste trabalho e à Defesa Cível (SEMSI), cujos dados e apoio em campo foram fundamentais.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 6484:2001. Solos: execução de sondagens de simples reconhecimento - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.
- ABNT NBR 11682:2009. Estabilidade de taludes. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT NBR 7250:1982. Solos: identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 1982.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Hidroweb: Sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 12 mar. 2025.
- Araújo O.J.B., Maia R.G.N., Jorge-João, X.S. Costa, e J.B.S., 1988, A megaestruturação da folha Serra dos Carajás. In: Congresso Latino Americano de Geologia, 7, pp. 324-333.
- Araújo O.J.B., Maia, R.G.N. 1991. Projeto Grande Carajás, folha SB.22-Z-A-Serra dos Carajás.
- Barros CEM, Macambira MJB, Barbey P, Scheller T (2004) Dados isotópicos Pb–Pb em zircão (evaporação) e Sm–Nd do Complexo Granítico Estrela, Província Mineral de Carajás, Brasil: implicações petrológicas e tectônicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 34:531–538.
- Feio, GRL, Dall’Agnol, R, Dantas, EL, Macambira, MJB, Gomes, ACB, Sardinha, AS, Oliveira, DC, Santos, RD, e Santos, PA., 2012, *Geochemistry, geochronology, and origin of the Neoproterozoic*

Planalto Granite suite, Carajás, Amazonian craton: A-type or hydrated charnockitic granites?. *Lithos*, 151: 57-73.

Feio, G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Santos J.O.S., Althoff F.J., e Soares J.E.B., 2013, Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: Implications for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research*, 227:157-186
Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, 3(4):215-242.

Hirata W.K., Rigon, J.C., Kadokaru K., Cordeiro A.A.C., Meireles E.M. 1982. *Geologia Regional da Província Mineral de Carajás*. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, Anais, 1: 100-108.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Relatório técnico n. 131.384-205.

Justo, A.P. & Lopes, E.S., 2014, Programa Geologia do Brasil-PGB. Serra dos Carajás. Folha SB.22-Z-A-II. Estado do Pará. Carta Geológica. Belém: CPRM, 2014, 1 mapa colorido, 103 x 77 cm. Escala 1:100.000

JOPPERT, I. *Fundações e Contensões de Edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução*. 1.ed. São Paulo, Pini, 2007.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.S.F.; RUDORFF, F.M. 2006. *Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos*. Curitiba: Ed. Organic Trading. 109 p. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/publicacoes.html>.

Machado, N., Lindenmayer, D.H., Krough, T.E., e Lindenmayer, Z.G., 1991, U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research*, 49:329-354.

MCT. Em 2023, Cemaden registrou o maior número de ocorrências de desastres no Brasil. GOV.BR, janeiro de 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/01/em-2023-cemaden-registrou-maior-numero-de-ocorrencias-de-desastres-no-brasil>. Acesso em, 19 mar. 2025.

Meireles E.M., Hirata W.K., Amaral A.F., Medeiros Filho C.A., Gato W.C. 1984. *Geologia das Folhas Carajás e Rio Verde, Província Mineral de Carajás, Estado do Pará*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, Anais...Rio de Janeiro, SBG, 33(5):2164-2174.

PEREIRA, R. M. P. *Geologia da região sul da Serra Norte e características do minério de ferro do depósito N8, Província Mineral Carajás*. 2009. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

Pinheiro R.V.L., Holdsworth R.E. 2000. The Anatomy of shallow – crustal transpressional structures: insights from the Archean Carajás fault zone, Amazon, Brazil. *Journal of Structural Geology*, 22: 1105-1123.

Sardinha, A.S., Barros, C.E.M. & Krymsky, R. (2006): Geology, geochemistry and U–Pb geochronology of the Archean (2.74 Ga) Serra do Rabo granite stocks, Carajás Metallogenic Province, northern Brazil. *J. S. Am. Earth Sci.* 20, 327-339.

SPENCER, A.E. *A method of the analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces*. London, 1967.

TEIXEIRA, Sheila Gatinho; IRIS, Celeste Nascimento Bandeira. *Geodiversidade da área de influência da atividade minerária em Carajás, PA*. Escala 1:100.000. Belém: CPRM, 2023.

Zucchetti M., Lobato L.M. 2004. Alteração hidrotermal a ferro das rochas máficas associadas aos depósitos de ferro N4 e N5, província mineral de Carajás, PA. In: Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, Ouro Preto, maio 2004, Anais.