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/COBRAMSEG2026.4/53

Controle Litológico e Hidrológico em Movimento de Massa do Tipo Rastejo em Solos Derivados de Filito no Quadrilátero Ferrífero (MG)

Hugo Alvarenga de Souza
Geólogo, Water Services and Technologies e Universidade Federal de Ouro Preto, Belo Horizonte, Brasil, hugo.alvarengas22@gmail.com

Luís de Almeida Prado Bacellar
Professor, Universidade Federal de Ouro Preto, Belo Horizonte, Brasil, bacellar@ufop.edu.br

RESUMO: A instabilidade de taludes desenvolvidos sobre solos derivados de filito constitui um importante desafio geotécnico no Quadrilátero Ferrífero (MG), devido à elevada alterabilidade dessas rochas e à presença de planos de foliação. Este trabalho investiga a dinâmica de um movimento de massa do tipo rastejo que afeta o bairro São Cristóvão, em Ouro Preto (MG). A área é composta por filitos alterados da Formação Cercadinho recobertos por colúvios heterogêneos. A investigação integrou mapeamento geológico, sondagens geotécnicas (SPT, DPL e trado), ensaios laboratoriais, monitoramento piezométrico e levantamento topográfico com GNSS em modo RTK, além de modelagem geológica tridimensional. Os resultados indicam predominância de solos silto-arenosos de baixa plasticidade, com baixa resistência ao cisalhamento. O monitoramento piezométrico evidenciou forte correlação entre a elevação do nível d'água durante períodos chuvosos e o aumento das deformações superficiais do talude. As análises de estabilidade indicaram redução do fator de segurança sob condições saturadas. Os resultados demonstram que a instabilidade está diretamente relacionada à interação entre litologia, grau de intemperismo e variações hidrológicas, ressaltando a importância do controle do nível freático para mitigação do risco.

PALAVRAS-CHAVE: Rastejo, instabilidade, filito, nível d'água subterrâneo.

ABSTRACT: Slope instability in soils derived from phyllite represents a significant geotechnical challenge in the Quadrilátero Ferrífero region (Minas Gerais, Brazil) due to the high weathering susceptibility of these rocks and the presence of foliation planes. This study investigates the dynamics of a creep-type mass movement affecting the São Cristóvão neighborhood in Ouro Preto (MG). The study area is composed of weathered phyllites from the Cercadinho Formation overlain by heterogeneous colluvial deposits. The investigation integrated geological mapping, geotechnical surveys (SPT, DPL, and auger drilling), laboratory soil testing, piezometric monitoring, and high-precision GNSS RTK surveys, as well as three-dimensional geological modeling. Results indicate the predominance of silty-sandy soils with low plasticity and low shear strength. Piezometric monitoring revealed a strong correlation between rainfall-induced groundwater level rise and increased surface deformation. Stability analyses indicate a reduction in the factor of safety under saturated conditions. The results demonstrate that slope instability is strongly controlled by the interaction between lithology, weathering degree, and hydrological variations.

KEYWORDS: Creep, slope stability, phyllite, groundwater level.

1 INTRODUÇÃO

Movimentos de massa representam um dos principais problemas geotécnicos em regiões montanhosas tropicais, sendo frequentemente desencadeados pela interação entre condições geológicas, geomorfológicas e hidrológicas (Tominaga, 2015). No Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, a ocorrência de rochas brandas altamente alteráveis, como os filitos, contribui significativamente para o desenvolvimento de instabilidades em taludes naturais e artificiais (Leão, 2017).

Na cidade de Ouro Preto, a ocupação urbana em encostas íngremes tem ampliado a exposição da população a processos de instabilidade. Entre os diferentes tipos de movimentos gravitacionais de massa, o rastejo (creep) destaca-se por apresentar baixa velocidade, grande extensão e evolução progressiva, frequentemente associada à elevação do nível d'água subterrâneo durante períodos chuvosos.

Esse tipo de movimento caracteriza-se por deformações contínuas e cumulativas, muitas vezes imperceptíveis em curto prazo, mas capazes de produzir danos significativos a edificações e infraestrutura ao longo do tempo (Augusto Filho, 1992; Highland & Bobrowsky, 2008).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo investigar os fatores geológicos, geotécnicos e hidrológicos associados ao desenvolvimento de um movimento de massa do tipo rastejo em um talude localizado no bairro São Cristóvão, em Ouro Preto (MG). Para isso, foram integrados dados de campo, ensaios laboratoriais, monitoramento piezométrico e modelagem tridimensional do maciço, visando compreender os mecanismos responsáveis pela instabilidade observada.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no bairro São Cristóvão, município de Ouro Preto, Minas Gerais, inserido no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero (Figura 1).

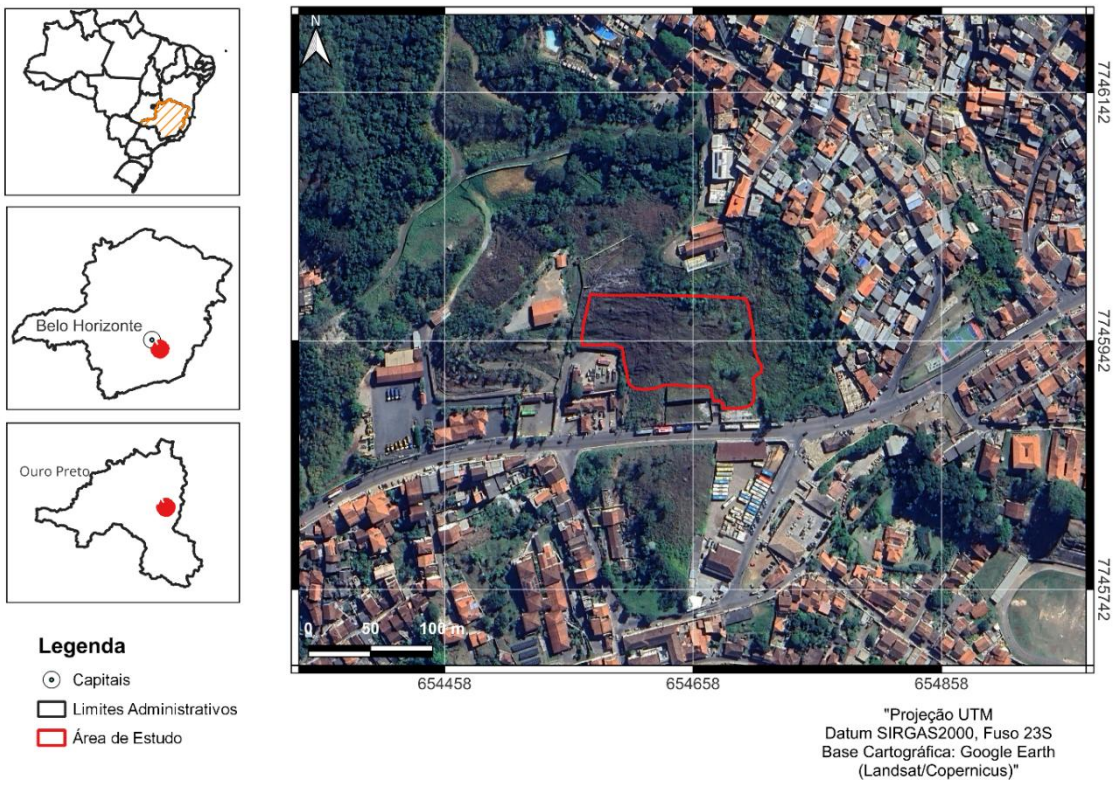


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo

O substrato geológico da região é composto por filitos pertencentes à Formação Cercadinho, unidade caracterizada por baixo grau metamórfico, elevada alterabilidade e presença marcante de planos de foliação (Endo *et al.,* 2019; Leão, 2019). Essas características favorecem o desenvolvimento de perfis de intemperismo espessos e heterogêneos, frequentemente associados à ocorrência de solos residuais e depósitos coluvionares.

Na área estudada, o talude apresenta evidências claras de movimentação por rastejo, incluindo degraus de abatimento, inclinação de cercas e deformações superficiais do terreno. Parte da encosta foi modificada por intervenções antrópicas associadas à expansão urbana, incluindo cortes no talude e aterros utilizados na implantação de edificações Figura 2.

I. 

II. 

III. 

Figura 2. I) Imagem do Google Earth com delimitação de degraus de abatimento. II) Medição da altura do degrau de abatimento. III) Cerca inclinada evidenciando a movimentação do talude.

Os materiais superficiais são constituídos predominantemente por depósitos coluvionares inconsolidados, com espessura variável, sobrepostos a solos residuais derivados do intemperismo dos filitos. Esses materiais apresentam baixa resistência mecânica e elevada sensibilidade à variação do teor de umidade, fatores que contribuem para a suscetibilidade a movimentos gravitacionais.

3 METODOLOGIA

A investigação foi conduzida por meio da integração de diferentes técnicas de caracterização geológica e geotécnica.

Inicialmente foi realizado mapeamento geológico detalhado da encosta, com levantamento de estruturas geológicas, identificação das unidades geotécnicas e reconhecimento das feições associadas ao movimento de massa.

Foram executadas sondagens geotécnicas utilizando os métodos Standard Penetration Test (SPT), Dynamic Probing Light (DPL) e sondagens a trado, permitindo a definição do perfil estratigráfico e a coleta de amostras para ensaios laboratoriais.

A caracterização geotécnica dos solos incluiu ensaios de granulometria, limites de Atterberg, determinação da massa específica dos grãos e ensaios de cisalhamento direto, visando determinar os parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais.

Levantamentos geofísicos utilizando o método de eletrorresistividade foram realizados para auxiliar na identificação da distribuição dos materiais no subsolo e na estimativa da variação do nível d'água.

Adicionalmente, foi implementado um sistema de monitoramento composto por piezômetros de Casagrande e marcos superficiais de controle de deslocamento, permitindo avaliar a relação entre a variação do nível freático e o comportamento do talude. Os piezômetros também foram utilizados como pontos adicionais de controle de deslocamento, ampliando a densidade de monitoramento, uma vez que não estão instalados em maciço impenetrável e, portanto, podem refletir as deformações do material ao longo do tempo Figura 3.

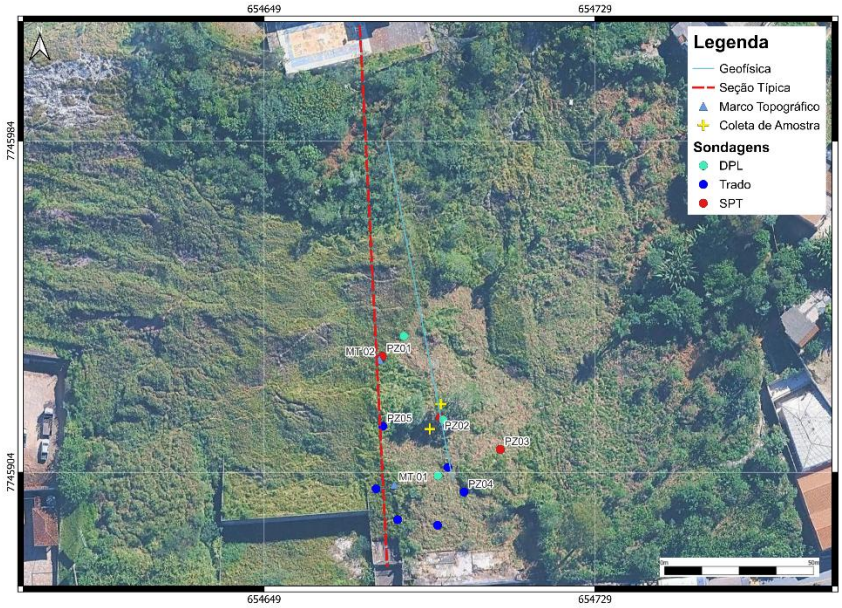


Figura 3. Localização das investigações realizadas na área de estudo

A compilação dos dados obtidos foi integrada em um modelo geológico tridimensional desenvolvido no software Leapfrog Works, possibilitando a visualização da distribuição espacial das unidades geotécnicas e auxiliando na interpretação dos mecanismos de instabilidade. A partir deste modelo dos dados obtidos no trabalho e dados compilados de bibliografia geotécnica, foram elaboradas seções para análise estabilidade do talude utilizando o Slide 2D

4 RESULTADOS

Os resultados indicam que o talude é constituído por um manto inconsolidado composto por colúvios heterogêneos sobrepostos a solos residuais jovens derivados de filito.

As análises granulométricas indicaram predominância de frações siltosas e arenosas, com baixa porcentagem de argila, resultando em solos com baixa coesão e elevada permeabilidade relativa. Os limites de Atterberg indicam baixos índices de plasticidade, e os valores de massa específica dos grãos são compatíveis com solos derivados de rochas metapelíticas Tabela 1. Com base nesses parâmetros, os materiais foram classificados segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) como solos silto-arenosos de baixa plasticidade (ML).

Tabela 1. Propriedades geotécnicas dos materiais da encosta

Síntese dos solos								
Material	Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	LL(%)	LP (%)	IP (%)	Ys (kN/m³)
Colúvio	2	51	36	11	25	NP	-	27,37
Solo residual jovem (SRJ)	21	25	50	4	28	NP	-	27,89

Os ensaios de cisalhamento direto evidenciaram valores reduzidos de resistência ao cisalhamento para o colúvio, indicando elevada suscetibilidade à deformação quando submetido à saturação Figura 4.

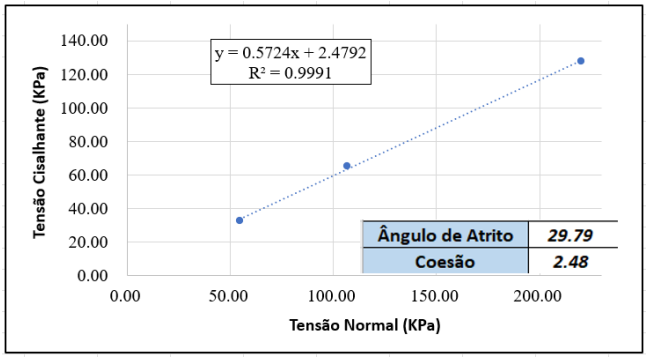


Figura 4. Resultado do ensaio de cisalhamento direto para o colúvio.

O monitoramento piezométrico revelou variações significativas do nível d'água ao longo do período chuvoso, com elevação da superfície freática associada ao aumento das deformações observadas no terreno Figura 5.

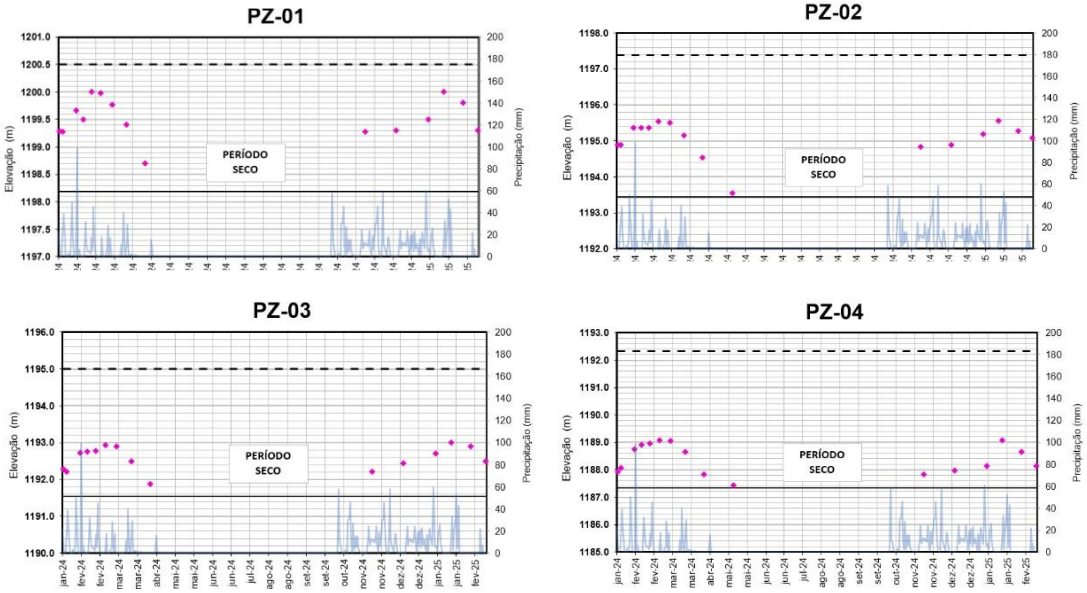


Figura 5. Piezômetros instalados na área evidenciando a rápida subida e descida no nível d'água controlada pelo regime pluviométrico

O levantamento topográfico realizado com receptores GNSS em modo RTK em dois períodos diferentes 1° seco, e 2° chuvoso, permitiu caracterizar a geometria da encosta e identificar desníveis de até 50 centímetros no instrumento MT-01, associados a degraus de abatimento, típicos de movimentos de massa do tipo rastejo Figura 6.



Figura 6. Localização dos pontos monitorados em diferentes datas. I) Mapa geral com sentido de deslocamento. II) Deslocamento nos pontos MT-01 e PZ-01.III) Deslocamento no PZ-02. IV)Deslocamento no PZ-03.

Os dados integrados de piezometria e RTK evidenciam a grande influência das chuvas para a movimentação do talude.

A modelagem geológica tridimensional permitiu identificar a geometria do depósito coluvionar e sua relação com a topografia local. Observou-se que o manto inconsolidado apresenta maior espessura nas porções inferiores da encosta, onde ocorre o acúmulo de água subsuperficial Figura 7.

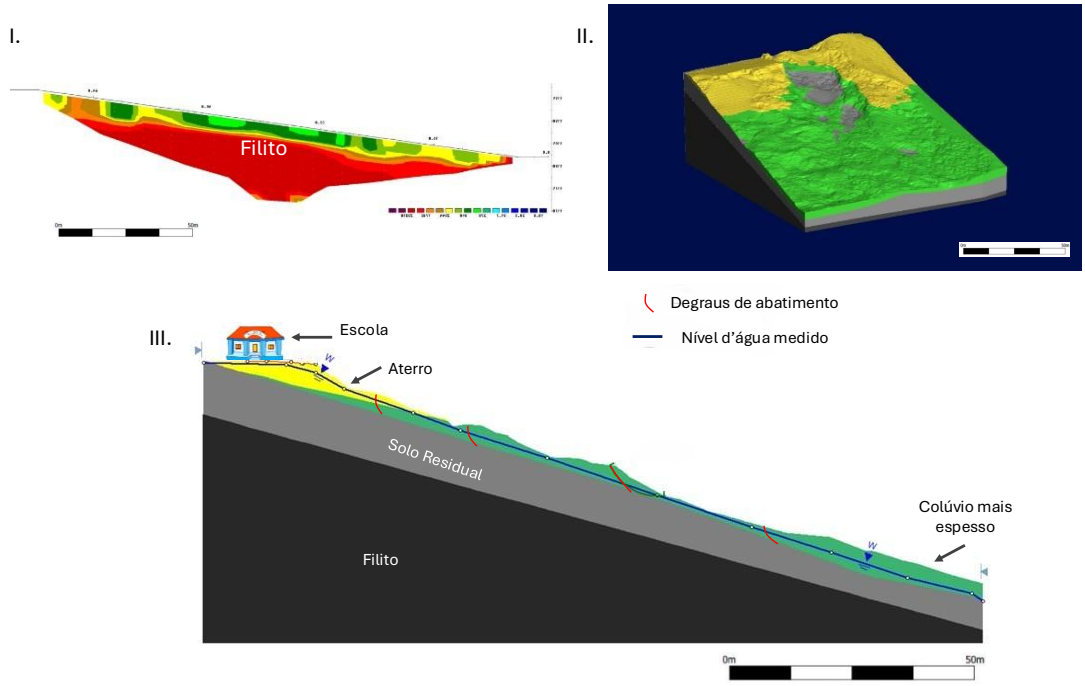


Figura 7. Geometria da área. I) Seção de eletrorresistividade delimitando o substrato rochoso. II) Modelo 3D da área e suas litologias. III) Seção A-A' com a distribuição geológica e evidenciando a maior espessura na base do colúvio.

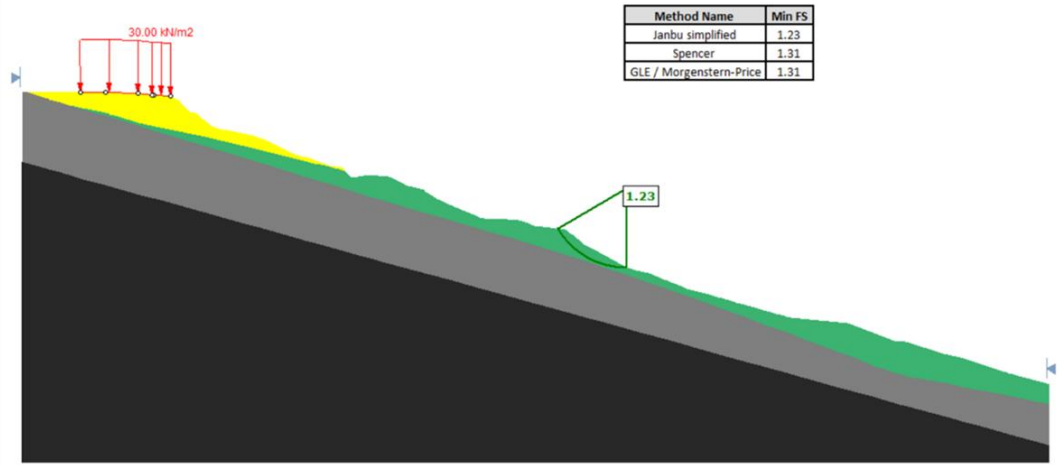
As análises de estabilidade indicaram redução significativa do fator de segurança com a elevação do nível d'água, confirmando o papel fundamental das condições hidrológicas na dinâmica do movimento de massa Figura 8.

I.

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)
Aterro		16	Mohr-Coulomb	9	32
Colúvio		27.37	Mohr-Coulomb	2.48	29.79
Solo Residual Jovem de Filito		27.89	Mohr-Coulomb	12	30
Filito		27	Mohr-Coulomb	150	35

II.

Method Name	Min FS
Janbu simplified	1.23
Spencer	1.31
GLE / Morgenstern-Price	1.31



III.

Method Name	Min FS
Janbu simplified	1.16
Spencer	1.27
GLE / Morgenstern-Price	1.27

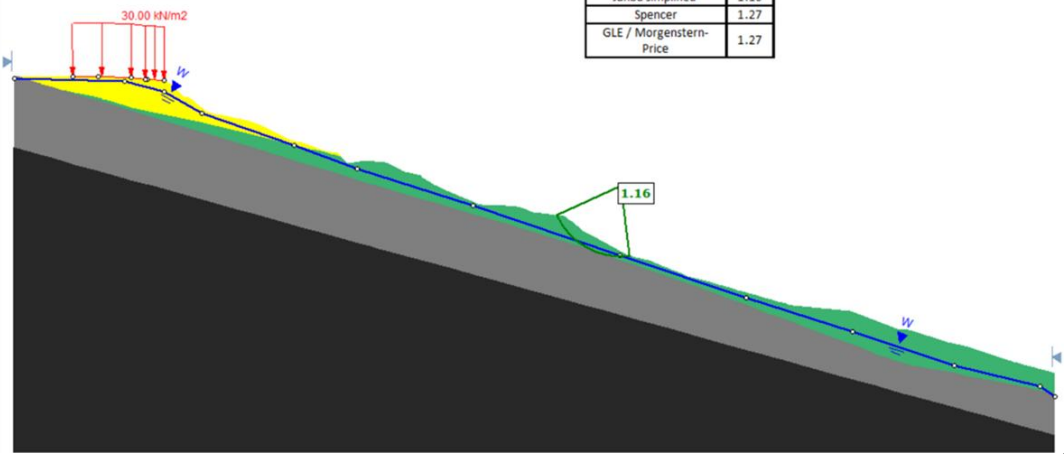


Figura 8. Análise de estabilidade do talude. I)Resumo das propriedades geotécnicas dos materiais. II) Análise de estabilidade no período seco com FoS mínimo de 1,23. III) Análise de estabilidade no período chuvoso com FoS mínimo de 1,16. (Souza *et al.,* 2024).

5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos indicam que o processo de instabilidade observado na área está diretamente associado à interação entre características litológicas, grau de intemperismo e variações hidrológicas.

Os filitos da Formação Cercadinho apresentam elevada alterabilidade e baixa resistência mecânica, favorecendo a formação de solos residuais e depósitos coluvionares susceptíveis à deformação.

A presença de planos de foliação paralelos à encosta também pode atuar como superfícies preferenciais para a infiltração de água e desenvolvimento de zonas de cisalhamento.

Durante períodos chuvosos, a elevação do nível freático promove a redução das tensões efetivas no solo, diminuindo a resistência ao cisalhamento e favorecendo a mobilização progressiva do colúvio.

Esse comportamento é compatível com o modelo de rastejo sazonal descrito na literatura para encostas compostas por materiais inconsolidados submetidos a variações cíclicas de umidade.

6 CONCLUSÕES

O estudo permitiu identificar os principais fatores responsáveis pelo movimento de massa do tipo rastejo observado no talude do bairro São Cristóvão.

Os resultados demonstram que a instabilidade está associada à presença de colúvios inconsolidados sobre solos residuais derivados de filitos altamente alterados, materiais que apresentam baixa resistência mecânica e elevada suscetibilidade à saturação.

O monitoramento piezométrico evidenciou forte correlação entre a elevação do nível d'água e o aumento das deformações superficiais, indicando que a variação da pressão neutra desempenha papel determinante na dinâmica do movimento.

Dessa forma, medidas de mitigação voltadas para o controle da drenagem subterrânea são fundamentais para reduzir a suscetibilidade à instabilidade. Os resultados contribuem para o entendimento dos mecanismos de rastejo em encostas sustentadas por filitos alterados no Quadrilátero Ferrífero

Os resultados contribuem para o entendimento dos mecanismos de rastejo em encostas sustentadas por filitos alterados no Quadrilátero Ferrífero, um contexto geológico ainda pouco documentado na literatura geotécnica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Augusto Filho, O. (1992) Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE. p. 721-733.

Endo, I. et al. (2019). Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000: Uma celebração do cinquentenário da obra de Dorr (1969). Ouro Preto, Departamento de Geologia da Escola de Minas – UFOP - Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero. Available at: www.qfe2050.ufop.br.

Highland, L.M., Bobrowsky, P. (2008) O manual de deslizamento–um guia para a compreensão de deslizamentos. Reston, Virginia: US Geological Survey Circular, v. 1325.

Leão, M. F. (2017) Comportamento Geomecânico de Frente de Intemperismo em Filito da Região do Quadrilátero Ferrífero. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro / UFRJ, 178p.

Souza, H.A., Pereira, L., Lima, A., Resende, F., Silva, J.V. (2024) Compilação de parâmetros de resistência do quadrilátero ferrífero. XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica.

Tominaga, L. K., Santoro, J., Amaral, R. DO (ORGS). (2015) Desastres naturais: conhecer para prevenir. Livro. Instituto Geológico, São Paulo. 3ª ed.196 p.