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/COBRAMSEG2026.4/32

Avaliação da estabilidade de um talude de construção de rodovia em Teresópolis-RJ

Nycole Mendes do Amorim Alves
Graduanda, Centro Universitário Fundação Educacional Serra dos Órgãos, Unifeso, Teresópolis-RJ, Brasil, nycolemendesalves@gmail.com

Maiara Matias de Souza
Graduanda, Centro Universitário Fundação Educacional Serra dos Órgãos, Unifeso, Teresópolis-RJ, Brasil, maiaras736@gmail.com

Thayná Campos Costa
Graduanda, Centro Universitário Fundação Educacional Serra dos Órgãos, Unifeso, Teresópolis-RJ, Brasil, thaycamposcs@gmail.com

Maria Eduarda Ramos de Moraes Pacheco
Graduanda, Centro Universitário Fundação Educacional Serra dos Órgãos, Unifeso, Teresópolis-RJ, Brasil, mariaeduarda.rpacheco@gmail.com

Gabriel de Oliveira Ribeiro Batista
Graduando, Centro Universitário Fundação Educacional Serra dos Órgãos, Unifeso, Teresópolis-RJ, Brasil, gabrielbatistap7@gmail.com

Bruno Cavalcante Mota
Professor, Centro Universitário Fundação Educacional Serra dos Órgãos, Unifeso, Teresópolis-RJ, Brasil, brunomota@unifeso.edu.br

RESUMO: O relevo de Teresópolis apresenta fortes declividades e escarpas íngremes, e a dinâmica de ocupação geoespacial faz com que parte da população resida em áreas de risco, favorecendo deslizamentos de grande magnitude, como o ocorrido em 2011. Além disso, a região serrana possui clima predominantemente úmido e elevada pluviosidade, fatores diretamente relacionados à estabilidade de taludes, uma vez que o aumento da saturação do solo reduz a resistência ao cisalhamento. O objetivo deste artigo é realizar a análise de risco geotécnico de um talude de construção de rodovia, no município de Teresópolis-RJ, bem como propor uma solução mitigadora. Para a análise, foram realizados ensaios laboratoriais de granulometria, teor de argila, índice de vazios e determinação do inchamento. Também foi calculado o fator de segurança do talude. Com base nos resultados obtidos, verificou-se que o solo possivelmente se enquadra como Argissolo. Para essas condições, os fatores de segurança estimados foram de 1,05 para a seção de corte e 2,37 para a seção de aterro. Como medida de mitigação, foi proposta uma solução de drenagem a ser implementada no talude, visando reduzir os riscos associados à diminuição das tensões efetivas devido ao aumento do teor de umidade no solo.

PALAVRAS-CHAVE: Solo argiloso, Estabilidade de talude, Teresópolis, Análise de risco.

ABSTRACT: The terrain of Teresópolis is characterized by steep slopes and escarpments, and the geospatial occupation dynamics have led part of the population to reside in risk-prone areas, favoring large-magnitude landslides such as the one that occurred in 2011. In addition, the mountainous region has a predominantly humid climate and high rainfall, factors directly related to slope stability, since increased soil saturation reduces shear strength. The objective of this study is to perform a geotechnical risk analysis of a highway cut slope in the municipality of Teresópolis, RJ, as well as to propose a mitigation solution. For the analysis, laboratory tests were conducted, including grain size distribution, clay content, void ratio, and swell potential determination. The slope safety factor was also calculated. Based on the results obtained, the soil was possibly classified as Argisol. Under these conditions, the estimated safety factors were 1.05 for the cut slope section

and 2.37 for the embankment section. As a mitigation measure, a drainage solution was proposed for implementation on the slope to reduce the risks associated with the decrease in effective stresses due to increased soil moisture content.

KEYWORDS: Clayey soil, Slope stability, Teresópolis, Risk analysis.

1 INTRODUÇÃO

O município de Teresópolis, localizado na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, possui população estimada de 176.735 habitantes em 2025, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). De acordo com o Censo de 2010, 45.772 pessoas encontravam-se expostas a áreas de risco, evidenciando a significativa vulnerabilidade socioambiental de parcela expressiva da população municipal.

A análise dos mapas geológicos, geomorfológicos e hipsométricos indica que o município está inserido em contexto geológico caracterizado por embasamento cristalino Pré-Cambriano, com predominância de rochas ígneas e metamórficas associadas ao complexo da Serra dos Órgãos (CPRM, 2022; UERJ, 2019). O relevo é predominantemente montanhoso, com elevadas declividades, vales encaixados e cotas altimétricas superiores a 1.000 m, fatores que favorecem a intensa dissecação do terreno e aumentam a suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa. Essas características condicionam tanto a dinâmica ambiental quanto o padrão de ocupação urbana do município.

Teresópolis foi cenário de um dos maiores desastres socioambientais do Brasil, ocorrido na madrugada de 11 para 12 de janeiro de 2011, quando precipitações intensas resultaram em inúmeros deslizamentos de encostas e inundações de grande magnitude. O evento resultou em severos danos humanos e materiais, evidenciando a elevada vulnerabilidade da região frente a eventos pluviométricos extremos (Dias, 2012). As características topográficas e geológicas locais contribuem para a suscetibilidade natural a processos de instabilidade de taludes, sobretudo em áreas ocupadas de forma desordenada (Busch e Amorim, 2011).

Conforme definido por Gerscovich, Júnior e Campos (2023), talude corresponde a qualquer superfície inclinada de um maciço de solo ou rocha, podendo ser de origem natural ou antrópica. Taludes antrópicos são resultantes de operações de corte ou aterro, comuns em obras de infraestrutura. Na análise de taludes de corte, busca-se avaliar os riscos geotécnicos associados a possíveis mecanismos de ruptura, especialmente em áreas classificadas como de risco. Nesse contexto, a avaliação da estabilidade é etapa fundamental, sendo o Fator de Segurança (FS) um dos principais parâmetros empregados na análise geotécnica.

O Fator de Segurança (FS) é definido como a razão entre a resistência ao cisalhamento disponível e as tensões cisalhantes mobilizadas ao longo de uma superfície potencial de ruptura. Quando o FS é igual a 1,0, o talude encontra-se em condição de equilíbrio limite, caracterizando situação iminente de ruptura. Valores de FS superiores a 1 indicam condição estável, enquanto valores inferiores a 1 representam instabilidade. A norma brasileira NBR 11682 (ABNT, 2009) estabelece valores mínimos admissíveis do fator de segurança (FS_{adm}) em função do tipo de obra, da vida útil prevista e do nível de risco associado a perdas humanas e materiais. Em situações de elevada variabilidade nos parâmetros geotécnicos, recomenda-se majorar o FS_{adm} em 10% ou, alternativamente, adotar abordagem probabilística na análise de estabilidade (Gerscovich, Júnior e Campos, 2023).

Os riscos geotécnicos referem-se às incertezas associadas às condições do solo e do subsolo e envolvem fenômenos como deslizamentos, erosões, instabilidades de taludes e recalques diferenciais. A análise de risco pressupõe a seleção de áreas representativas de maior criticidade, definidas a partir de fatores topográficos, geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos, bem como das propriedades mecânicas dos materiais envolvidos (Costa, 2005). Em projetos de infraestrutura implantados em regiões de relevo acidentado, a correta identificação dos mecanismos potenciais de falha e a avaliação criteriosa dos fatores de segurança são essenciais para mitigar impactos técnicos, econômicos, sociais e ambientais.

Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma avaliação preliminar dos riscos geotécnicos em um talude de corte e aterro destinado à implantação de uma rodovia no bairro Caleme, no município de Teresópolis. O estudo baseou-se na caracterização física do material, na análise das condições geométricas do talude e na estimativa do fator de segurança, buscando identificar possíveis condicionantes

geotécnicos associados à estabilidade do maciço e propor medidas mitigadoras compatíveis com o cenário observado em campo.

2 MÉTODO DE PESQUISA

2.1 Análise de mapas geológicos e geomorfológicos

A primeira etapa da pesquisa consistiu na análise dos mapas geológicos e geomorfológicos da região de Teresópolis-RJ, com o objetivo de identificar os principais tipos de solos e formações rochosas presentes no município. A partir dessa caracterização preliminar, foi selecionado o talude objeto de estudo, localizado em trecho de obra de infraestrutura rodoviária implantada em área suscetível a deslizamentos, em função da proximidade com encostas naturais e das elevadas declividades locais. Optou-se pela investigação de um talude misto de corte e aterro, representativo das condições geotécnicas da área. O solo foi caracterizado por meio de ensaios laboratoriais de identificação e determinação de propriedades físicas e mecânicas, visando subsidiar a análise de estabilidade. A localização do talude analisado encontra-se ilustrada na Figura 1.



Figura 1. Localização do talude investigado.

2.2 Ensaios de laboratório

Para a avaliação do comportamento físico do material, foram realizados ensaios de caracterização conforme as normas técnicas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A análise granulométrica foi conduzida de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 2025), a determinação do teor de argila seguiu a NBR 7218 (ABNT, 2010), o ensaio de inchamento foi executado conforme a NBR 6467 (ABNT, 2009), e o índice de vazios foi determinado a partir dos parâmetros obtidos nos ensaios de massa específica e caracterização física do solo.

As amostras foram coletadas em quantidade representativa, posteriormente destorroadas, homogeneizadas e quarteadas, garantindo-se a obtenção das massas mínimas exigidas por norma para cada procedimento experimental. Todo o preparo seguiu rigorosamente os critérios normativos, assegurando a confiabilidade e a reprodutibilidade dos resultados. A Figura 2 apresenta registros dos principais procedimentos laboratoriais realizados.



Figura 2. Ensaios realizados com o solo analisado.

2.3 Análises do talude estudado

Para a avaliação do talude selecionado, foi realizada vistoria técnica in loco, durante a qual foram obtidas as principais características geométricas, incluindo altura e ângulo de inclinação, além da coleta de amostras deformadas para caracterização laboratorial. Com base nas informações geométricas levantadas em campo e nos parâmetros obtidos na caracterização física do solo, procedeu-se ao cálculo do FS, com o objetivo de verificar a condição de estabilidade do maciço. Para a análise, considerou-se uma seção representativa de aproximadamente 30 m de extensão. No trecho correspondente ao talude de corte, a altura variou de 2,11 m (cota inferior) a 4,78 m (cota superior). Já no talude de aterro, as alturas variaram entre 4,71 m e 6,52 m. A Figura 3 apresenta a vista geral do talude analisado.

Como o presente estudo possui caráter preliminar e não contemplou ensaios de resistência ao cisalhamento, a estimativa do fator de segurança foi realizada por meio da análise de talude infinito, adotando-se parâmetros típicos de resistência para solos lateríticos argilosos descritos na literatura geotécnica regional. Foram considerados peso específico natural de 16 kN/m³, coesão efetiva de 2,5 kPa e ângulo de atrito efetivo de 15°, obtidos a partir de valores de referência apresentados por Pinto (2006). Os cálculos foram realizados manualmente utilizando a formulação clássica do equilíbrio limite.



Figura 3. Talude investigado neste estudo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a área previamente selecionada e considerando-se o histórico de uso e ocupação do terreno, procedeu-se à realização de ensaios geotécnicos visando à caracterização técnica do solo. O objetivo foi determinar suas propriedades físicas e compreender seu comportamento sob a ótica da Mecânica dos Solos. Durante a preparação das amostras, observou-se que o material apresentava elevada resistência quando seco, exigindo a aplicação de procedimentos de destorroamento e moagem para garantir adequada desagregação e homogeneização, conforme os critérios normativos, possibilitando sua utilização nos ensaios subsequentes, especialmente no peneiramento.

Os resultados da análise granulométrica indicaram predominância de partículas finas, com fração majoritária apresentando diâmetro inferior a 0,075 mm, caracterizando o solo como material de granulometria fina. Na sequência, foi realizado o ensaio de determinação do teor de argila, utilizando-se uma amostra inicial de 2,0 kg. Após a execução do procedimento, a massa remanescente foi de 0,407 kg, correspondendo a uma redução aproximada de 80% da massa original. Essa perda significativa evidencia elevada concentração de fração argilosa, corroborando os resultados da análise granulométrica e confirmando o predomínio de partículas finas no material estudado.

Essa interpretação é corroborada pela análise dos mapas geológicos e geomorfológicos da região. As Figuras 4 e 5 apresentam recortes cartográficos representativos, nos quais se observa a predominância de granitos (representados em tons amarelados), que constituem parcela significativa do embasamento cristalino local. Também são identificados gnaisses (tons mais escuros), correspondentes a rochas metamórficas antigas,

além de sienitos e monzonitos (tons rosados), associados a corpos ígneos intrusivos. Destacam-se ainda as zonas de cisalhamento (indicadas por linhas vermelhas), que representam estruturas tectônicas marcadas por intensa deformação, influenciando a compartimentação estrutural do maciço rochoso.

No que se refere ao mapa geomorfológico, verifica-se a predominância de serras escarpadas (tons vermelho-terra), caracterizadas por encostas íngremes e elevada suscetibilidade a processos de instabilidade, especialmente escorregamentos. Observam-se também serranias isoladas e relevos locais (tons alaranjados), que correspondem a elevações intermediárias típicas do contexto montanhoso da Serra dos Órgãos. Essas características geológicas e geomorfológicas reforçam a compreensão do comportamento geotécnico dos solos residuais desenvolvidos na região, bem como a propensão natural à ocorrência de movimentos de massa em áreas com elevada declividade.

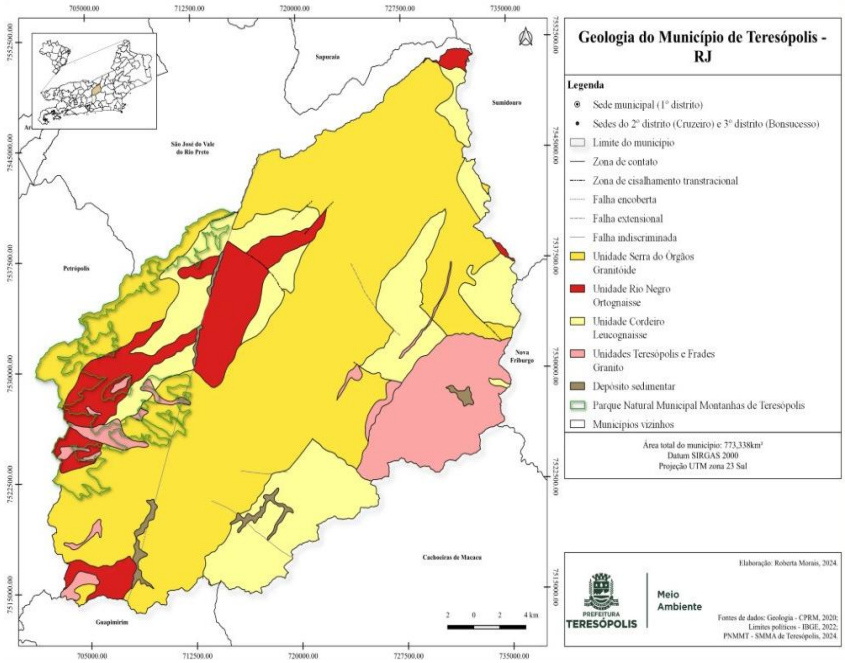


Figura 4. Mapa da Geologia de Teresópolis. Fonte: Prefeitura de Teresópolis.

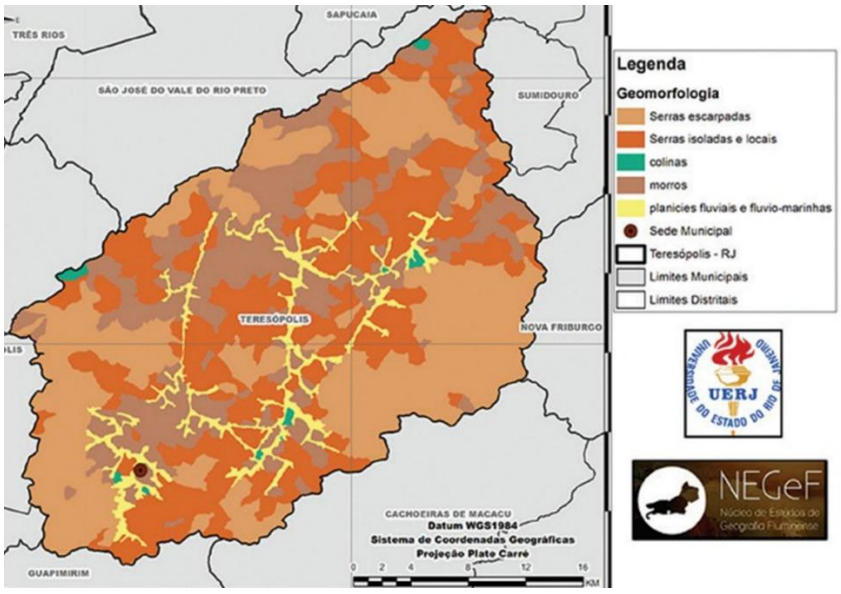


Figura 5. Mapa Geomorfológico de Teresópolis. Fonte: UERJ (2019).

Quanto ao ensaio de inchamento, observou-se que o material apresenta um inchamento progressivo à medida que o teor de umidade aumenta de 1% a 9%, evidenciado pela redução contínua do peso do material

seco. Esse fenômeno indica que a água cria uma película de tensão superficial ao redor das partículas, aumentando o volume aparente da amostra e reduzindo sua massa específica, o que significa que o material ocupa mais espaço com menos massa real de sólidos. A Figura 6 indica que o ponto de inchamento máximo para o material é aproximadamente 7,50%.

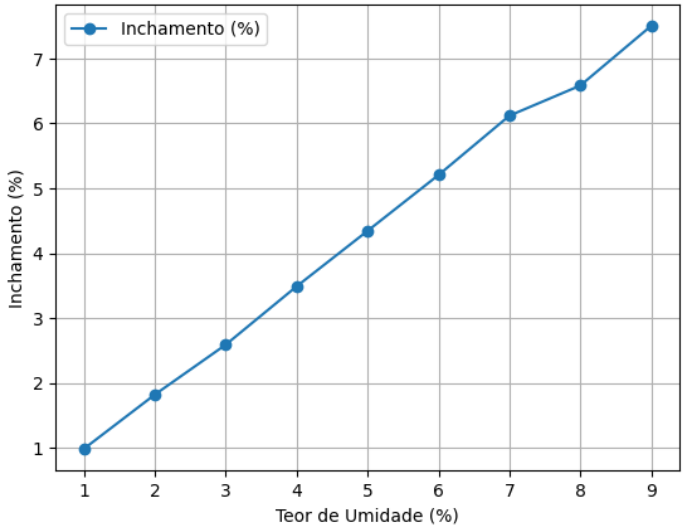


Figura 6. Teor de inchamento do material analisado.

Quanto ao talude, foi identificado que ele tinha um ângulo de inclinação de 60° na seção de corte e 41° na seção de aterro, conforme Figura 7. A medição foi realizada com trena eletrônica, enquanto que o ângulo foi medido com auxílio de aplicativo para smartphone. Considerando que o solo foi classificado como um latossolo, a partir da composição granulométrica, índice de inchamento e teor de argila, obteve-se um peso específico natural de 16 kN/m³, um índice de vazios de 1,52 e uma porosidade de 60,33%. Dessa forma, estimou-se um FS igual a 1,05 para a seção de corte e de 2,37 para a seção de aterro, com a geometria analisada.

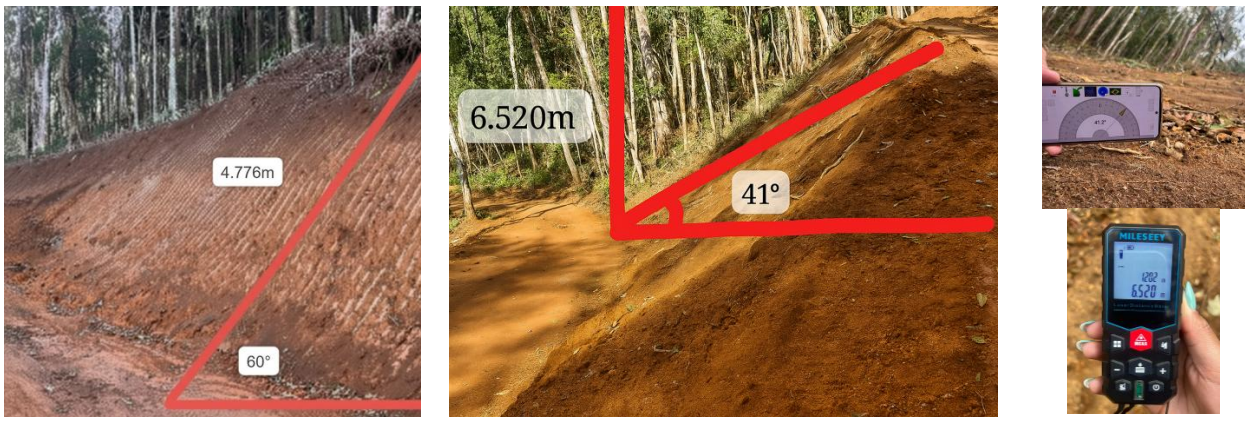


Figura 7. Geometria do talude analisado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo avaliou um talude associado a uma obra de infraestrutura viária no município de Teresópolis-RJ. Embora não tenham sido realizados ensaios de cisalhamento direto para a determinação experimental dos parâmetros de resistência, foi possível estimar o Fator de Segurança (FS) com base nos dados geométricos e na caracterização física do material. Os valores de FS variaram entre 1,05 e 2,37, em função da seção analisada (corte ou aterro), considerando alturas compreendidas entre 4,78 m e 6,52 m.

O solo foi identificado como Latossolo, caracterizado por elevada fração fina e comportamento típico de solos tropicais altamente intemperizados. Observou-se ainda a ausência de dispositivos adequados de drenagem no talude. Nessas condições, variações no teor de umidade podem induzir retração volumétrica durante períodos de secagem, favorecendo a formação de trincas. Adicionalmente, o valor reduzido do fator de segurança na porção superior do talude indica proximidade ao estado limite de resistência, o que pode contribuir para o surgimento de fissuras iniciais e, consequentemente, para a evolução de mecanismos de instabilidade e movimentos de massa, conforme evidenciado em campo.

Diante desse cenário, recomenda-se a implementação de sistema de drenagem eficiente, com a instalação de dispositivos adequados, como drenos horizontais profundos ou drenos verticais, a fim de minimizar o acúmulo de água e reduzir a pressão neutra no maciço. Recomenda-se, ainda, a realização de investigação geotécnica complementar, incluindo ensaios de resistência ao cisalhamento e análises de estabilidade mais detalhadas, para definição de soluções de engenharia específicas e tecnicamente fundamentadas.

Embora a presente análise tenha caráter preliminar, baseada em inspeção de campo e ensaios laboratoriais de caracterização, os resultados obtidos contribuem para evidenciar a relevância do contexto geológico, geotécnico e geomorfológico de Teresópolis-RJ na avaliação de obras de infraestrutura, reforçando a necessidade de abordagens preventivas para a mitigação de riscos e a garantia da segurança da população local.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Unifeso pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2009). *NBR 6467:* Solo - Ensaio de inchamento. Rio de Janeiro: ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2010). *NBR 7218:* Solo - Determinação do teor de argila. Rio de Janeiro: ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2025). *NBR 7181:* Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT.

Busch, A., Amorim, S. (2011). *A tragédia da Região Serrana do Rio de Janeiro em 2011:* procurando respostas. Brasília: Escola Nacional de Administração Pública - ENAP, 2011. Disponível em: https://bibliotecadigital.enap.gov.br/bitstream/1/328/2/A%20trag%C3%A9dia%20da%20regi%C3%A3o%20serrana%20do%20Rio%20de%20Janeiro%20em%202011%20proc urando%20respostas.pdf. Acesso em: 13 jan. 2026.

Costa, E.A. (2005). *Avaliação de ameaças e risco geotécnico aplicados à estabilidade de taludes*. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. (2022) *Carta geológica e geomorfológica do município de Teresópolis – RJ*. Rio de Janeiro: CPRM. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18181. Acesso em: 7 jan. 2026.

Dias, A.B., Farias, C.A., Dias, N.S., Volker, P.M. (2012). Análise das duas áreas urbanas afetadas pela chuva de janeiro de 2011 na região serrana do Estado do Rio de Janeiro: município de Teresópolis. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, III, Goiânia. *Anais...* IBEAS, p. 1-6.

Gerscovich, D.M.S., Vargas, E.A., Campos, T.M.P. (2023) Estabilidade de taludes. *Solos Não Saturados no Contexto Geotécnico*, [S.L.], p. 867-891. http://dx.doi.org/10.4322/978-65-992098-3-3.cap25.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2023). *Bases cartográficas e informações geomorfológicas do município de Teresópolis – RJ*. Rio de Janeiro: IBGE.

Pinto, C. S. (2006). *Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas*. 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos.

UERJ – UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. (2019). *Mapas geológicos e geomorfológicos do município de Teresópolis – RJ*. Rio de Janeiro: NERJ/IGEOG.