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/COBRAMSEG2026.4/107

Propostas de Intervenção Geotécnica para Contenção de Encostas em Vitória–ES

Katia Botelho Torres Galindo de Souza
Engenheira Geotecnica, TPF Engenharia, Recife-PE, Brasil, katia.galindo@tpfe.com.br

Vanessa de Souza Batista
Engenheira Geotecnica, TPF Engenharia, Natal-RN, Brasil, vanessa.batista@tpfe.com.br

Fernanda Yamaguchi Matarazo
Engenheira Geotecnica, TPF Engenharia, Nova Lima-MG, Brasil, fernanda.matarazo@tpfe.com.br

Ana Carolina Tomazi Ragassi Fontes
Engenheira, TPF Engenharia, Vitoria-ES, Brasil, ana.carolina@ctns.com.br

Queli Cristina Bernardo Xavier
Engenheira, TPF Engenharia, Vitoria-ES, Brasil, quelcrist@hotmail.com

RESUMO: Este estudo apresenta a avaliação de solução geotecnica para estabilização de encostas urbanas no município de Vitória, considerando as particulariddes geomorfológicas e o crescente adensamento urbano da região. A metodologia envolveu a análise de projetos executivos de contenção já implantados e a elaboração de um mapa de declividade, no qual foi utilizado para identificar setores com maior potencial de instabilidade e suscetibilidade de movimento de massa. A integração dessas informaçõespermitiu definir áreas prioritárias de intervenção e selecionar alternativas construtivas de estabilização adequadas às condições locais. Entre as soluções estudadas, destacou-se o emprego de solo grampeado associado a concreto projetado e sistemas de drenagem, técnica amplamente utilizada em ambientes urbanos devido sua versatilidade e capacidade de adequação a geometrias complexas. As análises de estabilidade foram conduzidas considerando cenários desfavoráveis de carregamento e diferentes níveis de saturação do solo, em conformidade aos critérios de segurança estabelecidos pelas normas técnicas vigentes. Os resultados demonstraram que o usode solo grampeado apresenta desempenho satisfatório contribuindo para o aumento dos fatores de segurança, para mitigação dos riscos geotécnicos e para a melhoria da segurança das áreas urbanizadas situadas em encostas.

PALAVRAS-CHAVE: Contenção de Encostas; Solo Grampeado; Vulnerabilidade Geotécnica; Mapa de Declividade; Estabilidade de Taludes.

ABSTRACT: This study presents the evaluation of geotechnical solutions for stabilizing urban slopes in the municipality of Vitória, Brazil, considering the region's geomorphological characteristics and increasing urban density. The methodology involved analyzing previously implemented retaining structure designs and developing a slope-steepness map used to identify areas with greater potential for instability and susceptibility to mass movement. Integrating these datasets made it possible to define priority intervention areas and select stabilization alternatives appropriate for local conditions. Among the solutions evaluated, the use of soil nailing combined with shotcrete and drainage systems stood out, a technique widely applied in urban environments due to its ability to adapt to complex geometries. Stability analyses were carried out considering unfavorable loading scenarios and different levels of soil saturation, in accordance with the safety criteria established by current technical standards. The results demonstrated that the use of soil nailing provides satisfactory performance, contributing to increased safety factors, mitigation of geotechnical risks, and enhanced safety in urbanized areas located on slopes.
KEYWORDS: Slope Retaining; Soil Nailing; Geotechnical Vulnerability; Slope Gradient Map; Slope Stability.

1 INTRODUÇÃO

A ocupação urbana de encostas representa um dos principais desafios da engenharia geotécnica no Brasil, especialmente em cidades caracterizadas por relevo acidentado e elevado adensamento populacional. A expansão urbana, frequentemente associada à ausência de planejamento territorial e à implantação inadequada de infraestrutura, tem intensificado a suscetibilidade a movimentos de massa, com impactos diretos sobre a segurança da população e a integridade das edificações. De acordo com Augusto Filho (2001), os escorregamentos em áreas urbanas são condicionados pela interação entre fatores naturais, como declividade, litologia e regime pluviométrico, e fatores antrópicos relacionados a cortes, aterros, sobrecargas e deficiência de drenagem.

O município de Vitória, capital do estado do Espírito Santo, apresenta condições geomorfológicas particularmente desfavoráveis, com encostas íngremes, solos residuais e maciços rochosos submetidos a intenso processo de urbanização. Estudos de setorização de risco desenvolvidos pela CPRM (2018) indicam que as áreas com maiores declividades concentram as ocorrências de instabilidade, sobretudo durante eventos de precipitação intensa. Nesse contexto, a declividade do terreno configura-se como um parâmetro fundamental na avaliação da suscetibilidade a escorregamentos, sendo amplamente empregada em mapeamentos geotécnicos e análises de risco.

A mitigação dos riscos associados à instabilidade de encostas urbanas demanda a adoção de soluções geotécnicas que conciliem segurança estrutural, viabilidade econômica e compatibilidade com o meio urbano consolidado. Entre as alternativas disponíveis, o solo grampeado tem se destacado como técnica eficiente para estabilização de taludes em áreas urbanas, em função de sua adaptabilidade geométrica, rapidez construtiva e menor interferência nas condições existentes, quando comparado a sistemas convencionais de contenção. Conforme destacado por Gerscovich (2016), o solo grampeado atua como reforço do maciço, promovendo o aumento da resistência ao cisalhamento e a melhoria da estabilidade global e interna dos taludes.

O presente estudo tem como objetivo apresentar a análise de risco geotécnico em encostas urbanas e discutir alternativas de intervenção voltadas à mitigação de processos de instabilidade. A metodologia adotada envolve a caracterização geológico-geotécnica do terreno, análise de condicionantes geomorfológicos e identificação de indicadores de instabilidade, com o intuito de subsidiar a proposição de soluções de estabilização adequadas ao contexto analisado.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A área avaliada está inserida em uma região previamente classificada como setor de risco geológico-geotécnico elevado, conforme mapeamentos de risco elaborados em âmbito municipal. Essa classificação baseia-se na integração de diversos parâmetros condicionantes, incluindodeclividade do terreno, características geológicas, padrão de ocupação urbana e registro de ocorrências associadas a movimentos de massa. A combinação destes fatores permite identificar áreas com maior suscetibilidade à instabilidade de taludes, orientando ações preventivas e priorização de intervenções de mitigação. A Figura 1 ilustra a localização da área de estudo e a variação altimétrica do terreno, cujas cotas variam de aproximadamente 0 m, no nível da via de referência, até cerca de 58 m no topo da encosta. A representação hipsométrica é composta por curvas de nível associadas a um gradiente cromático que vai do verde ao vermelho, recurso utilizado para facilitar a visualização e a compreensão da variação de altitude no terreno. A área analisada está situada no bairro Santos Dumont, no município de Vitória, estado do Espírito Santo.

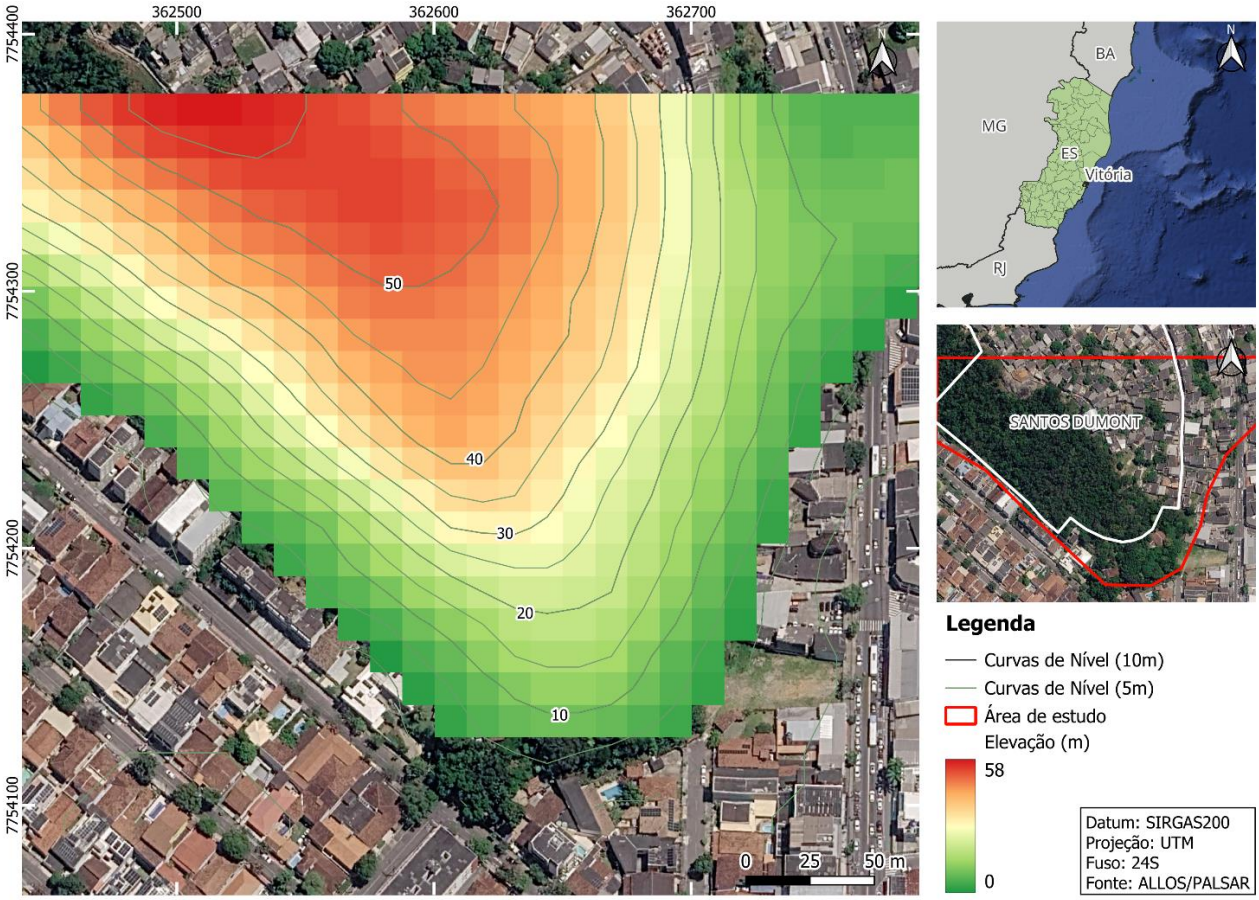


Figura 1. Localização da Região escolhida para intervenção.

No contexto geológico-geotécnico da área, observam-se predominantemente depósitos superficiais de origem coluvial ou de tálus, sobrepostos a solos residuais derivados do intemperismo de rochas cristalinas. Os depósitos coluviais são constituídps, em geral, por materiais areno-argilosos heterogêneos, frequentemente contendo fragmentos rochosos de dimensões variadas, característica que pode reduzir sua estabilidade quando associados a encostas de elevada declividade. Subjacente a essa unidade ocorre o solo residual, produto da alteração *in situ* da rocha matriz, apresentando textura predominantemente arenosa a areno-siltosa e coloração amarelada, além de comportamento mais estruturado quando comparado ao material coluvionar.

A análise geomorfológica e geotécnica evidencia que áreas com maiores declividades tendem a concentrar processos de instabilização, sobretudo quando associadas à ocupação urbana, intervenções antrópicas do relevo e condições de drenagemdeficientes. Nesse contexto, o mapeamento de declividade constitui ferramenta fundamental para a identificação preliminar de setores mais suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa, permitindo orientar o diagnóstico geoécnico e a definição de áreas prioritárias para intervenção.

Observa-se também que a presença de feições de instabilidade constitui um importante indicador da evolução de processos de movimentação do terreno, podendo refletir deformações progressivas que se desenvolvem no maciço ao longo do tempo. Essas feições funcionam como registros visíveis da perda gradual de resistência ou do rearranjo dos materiais, permitindo a identificação de estágios iniciais ou avançados de instabilidade. Entre as principais evidências observadas em áreas suscetíveis a escorregamentos destacam-se trincas no terreno, fendas de tração, fraturas de alívio, degraus de abatimento e deslocamentos diferenciais em estruturas edificadas.

De acordo com estudos clássicos sobre movimentos de massa em encostas tropicais, escorregamentos planares em solos podem apresentar velocidades bastante variáveis, alcançando desde alguns metros por hora até metros por segundo, dependendo das condições de saturação, geometria da encosta e propriedades geotécnicas dos materiais envolvidos (Augusto Filho, 1992). Diversos autores também destacam ainda que a identificação e o monitoramento dessas feições superficiais constituem ferramentas fundamentais para

avaliação da evolução dos processos de instabilidade e para a definição de medidas de mitigação adequadas, permitindo a detecção precoce de possíveis rupturas (Cerri, 1993; Gusmão Filho et al., 1997).

2.2 Intervenções Propostas para Mitigação dos Riscos

Com base no diagnóstico geológico-geotécnico e na avaliação das condições de estabilidade da encosta, foram identificados setores prioritários para intervenção, nos quais distintas alternativas de estabilização foram analisadas com o objetivo de mitigar os riscos associados aos processos de instabilidade. A seleção das soluções considerou critérios técnicos, construtivos, ambientais e de viabilidade econômica, de modo a garantir a adoção de medidas compatíveis com as condições locais e com o desempenho esperado das estruturas de contenção.

Em um dos setores analisados, caracterizado pela presença de blocos rochosos de grandes dimensões associados a depósitos de tálus e colúvio sobre taludes de elevada inclinação, foram propostas soluções voltadas à estabilização desses blocos e ao reforço do maciço superficial. As medidas recomendadas incluem a instalação de telas de alta resistência combinadas com grampos para o confinamento da camada superficial, bem como a execução de contrafortes ancorados e ancoragens isoladas destinadas à estabilização de blocos potencialmente instáveis. Tais intervenções visam controlar mecanismos de deslizamento ou rolamento dos blocos e aumentar a segurança global da encosta.

Em outro setor da encosta, onde se observa concentração de tensões na base do talude e presença de materiais coluvionares suscetíveis à formação de superfícies de ruptura, as intervenções propostas concentram-se no reforço estrutural do maciço e no controle das condições hidrogeológicas. Para o incremento da estabolidade global, foram recomendadas ancoragens isoladas associadas à instalação de telas de alta resistência grampeadas, destinadas à estabilização da camada superficial. Complementarmente, prevê-se a implantação de drenos sub-horizontais profundos com a finalidade de promover a dissipação das poro-pressões, reduzir a influência do nível freático e minimizar o carregamento hidráulico atuante nos processos de instabilidade.

2.3 Análise de estabilidade para contenção de encosta

Com base nas inspeções de campo e na caracterização geotécnica da área, definiu-se como solução de estabilização a execução de solo grampeado, associado a sistemas de drenagem para controle das pressões neutras no maciço. A estabilidade global do talude foi avaliada por meio de análises numéricas realizadas no *software* Slide (Rocscience), utilizando métodos de equilíbrio limite e o critério de resistência de Mohr-Coulomb para estimativa dos fatores de segurança. O modelo geomecânico foi elaborado a partir do levantamento topográfico e dos parâmetros geotécnicos da região, considerando as condições mais desfavoráveis de resistência e reigme hidráulico a fim de representar de forma conservadora o comportamento do maciço.

Conforme preconizado pela ABNT NBR 11682:2009 para regiões com alto nível de sgurança contra danos a vidas humanas e médio nível de segurança contra danos materiais e ambientais, adotou-se o $Fs_{mín}$ de 1,5. Considerou-se uma sobrecarga de 20 kPa na crista do talude, representando possíveis carregamentos atuantes no topo da encosta. O solo foi modelado como material rígido-perfeitamente-plástico, admitindo-se o escorregamento do maciço ocorra ao longo de superfícies potenciais de ruptura com geometria aproximadamente cilíndrica ou esférica. As análises de estabilidade foram conduzidas de forma determinística, adotando-se valores médios representativos dos parâmetros geotécnicos.

Para a avaliação da estabilidade global, empregou-se o método das fatias, considerando superficies de ruptura não circulares, com aplicação dos métodos de equilíbrio limite de Morgenstern & Price (1965) , Spencer (1967) e Sarma (1973). Adicionalmente, utilizou-se o algoritmo *Particle*

Swarm Optimization (PSO) como estratégia de busca de cunhas, permitindo a explorar simultâneamente múltiplas superfícies potenciais de ruptura. Essa abordagem ampliou a capacidade de identificação tanto de superfícies críticas globais quanto de superfícies locais de menor extensão, que podem emergir durante o processo iterativo de otimização.

3 RESULTADOS

3.1 Definição dos Parâmetros

Os parâmetros geotécnicos adotados (Tabela 1) foram estimados com base em resultados de ensaios SPT executados em áreas adjacentes, complementados por correlações empíricas utilizadas para solos residuais tropicais a partir da metodologia de Teixeira (1995) e pela experiência da equipe de engenharia com materiais da região. Esses valores ainda foram ajustados com base em referências da literatura técnica, de modo a garantir a representatividade e coerência com o comportamento esperado do maciço analisado.

Tabela 1. Parâmetros Geotecnicos.

Material	Coesão	Ângulo de Atrito
Colúvio	6	25
Solo Residual	15	33
Rocha Alterada	25	35

3.1 Análise de Estabilidade

A seguir são apresentados os resultados das analises de estabilidade para a região com e sem a intervenção proposta, Figura 2.Observa-se que, com a implantação da solução geotécnica, o fator de segurança (FS) atinge valores superiores a 1,5 conforme preconizado pela NBR 11682:2009. A solução de contenção adotada consiste na execução de grampos de aço CA-50de 25mm de diâmetro, dispostos emuma malha de 2,5x1,5m com comprimento variando entre 6m e 13m, dimensionados de modo a garantir o reforço necessário ao maciço e a melhoria global das condições de estabilidade.

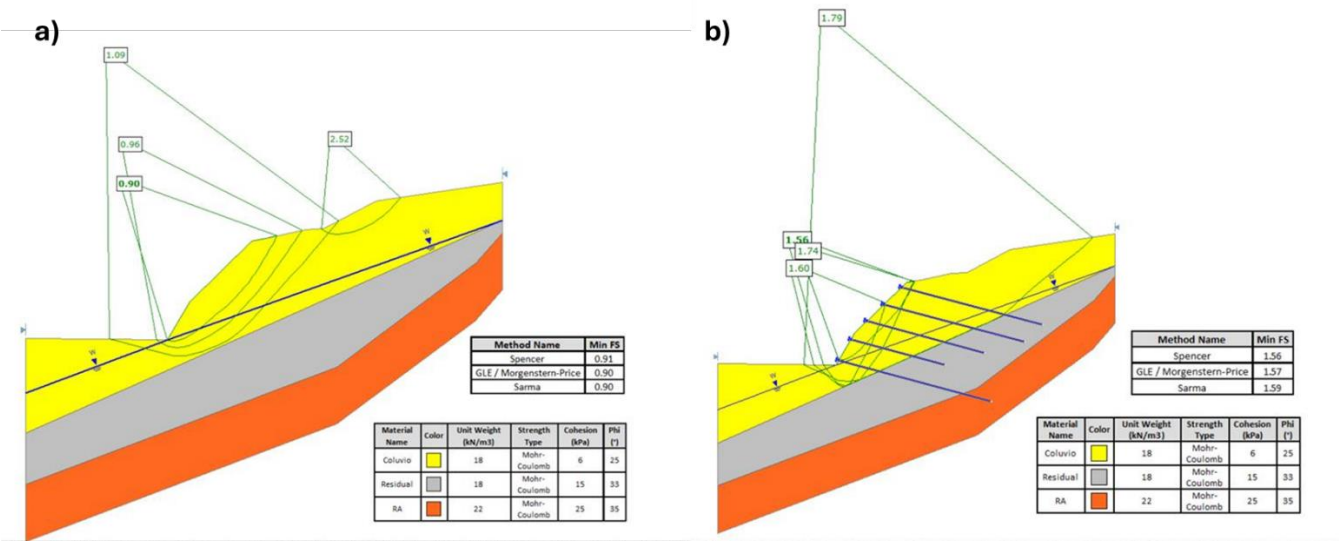


Figura 2. Análise de estabilidade (a) sem intervenção e (b) com intervenção.

Os resultados das simulações indicaram que, na condição atual, a encosta apresenta fatores de segurança inferiores aos recomendados pela NBR 11682:2009, sobretudo nos cenários que ocorre a elevação do nível d'água, condição esta que reduz significamente a resistência ao cisalhamento do maciço e favorece a formação de superfícies criticas de ruptura. Com a implantação do sistema de solo grampeado associado a medidas de drenagem, verificou-se um incremento expressivo na estabilidade estabilidade global da encosta.As analises numéricas evidenciaram fatores de segurança superiores a 1,5, atendendo aos critérios normativos e garantindo condições satisfatórias de desempenho e segurança para o talude.

5 CONCLUSÕES

Este estudo avaliou soluções geotécnicas para a estabilização de encostas urbanas em Vitória, integrando mapeamento de declividade, diagnóstico geológico-geotécnico, inspeções de campo e análises numéricas de estabilidade. O conjunto de evidencias obtidas indicou que a encosta, na condição atual, apresenta tendencia à instabilidade, particularmente em cenários de elevação do nível d'água e aumento de poro-pressões, resultando em fatores de segurança abaixo dos valores recomendados pela norma vigente. A solução de solo grampeado associada a medidas de drenagem mostrou-se tecnicamente apropriada ao contexto urbano e às características dos materiais locais (colúvio/tálus sobre solos residuais), promovendo incremento expressivo do desempenho global do maciço.

As simulações demonstraram que a intervenção proposta eleva o fator de segurança global para valores superiores à 1,5, atendendo aos critérios normativos e mitigando os riscos geotécnicos identificados. Além de compatível com restrições de canteiro típicas de áreas consolidadas, uma vez que a técnica apresenta adaptabilidade a geometrias de taludes irregulares e heterogeneidade de materiais, quando combinada a um arranjo de drenagem capaz de controlar as pressões neutras e reduzir a susceptibilidade a superfícies críticas de ruptura.

Do ponto de vista prático, recomenda-se a execução e manutenção de sistema de drenagem (superficiais e sub-horizontais, quando pertinentes) como condição indispensável para perenidade do desempenho, instrumentação e monitoramento para verificação do desempenho e eventual recalibração dos parâmetros e plano de inspeções periódicas para detecção precoce das feições de instabilidade (trincas, degraus de abatimento, deslocamentos diferenciais).

Como limitações, destaca-se a dependência de parâmetros estimados a partir de correlações empíricas adotando valores de N_{SPT}, além da natureza determinística das análises. Os estudos futuros devem incorporar ensaios geotécnicos complementares para refinamento dos parâmetros, empregar abordagens probabilísticas de segurança para quantificar as incertezas e a avaliação de cenários transientes de recarga e eventos extremos de chuva, incluindo modelagem hidro-geotécnica acoplada.

Em síntese, os resultados comprovam que o solo grampeado com drenagem constitui solução eficaz e compatível com o ambiente urbano avaliado, restabelecendo margens de segurança e contribuindo para a redução do risco de movimentos de massa, desde que acompanhada de um programa continuo de manutenção e monitoramento.

AGRADECIMENTOS

À TPF Engenharia, pelo apoio e pela disponibilização de materiais, que constituíram condições essenciais para condução das atividades experimentais e para a consolidação dos resultados apresentados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11682: Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro, 2009.

AUGUSTO FILHO, O. Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela – SP. 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

AUGUSTO FILHO, O. Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.

CERRI, L. E. S. Riscos geológicos associados a escorregamentos. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1993.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Setorização de áreas de risco geológico no município de Vitória (ES). Brasília: CPRM, 2018.

CLOUTERRE. Soil Nailing Recommendations – Clouterre Project. Paris: Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, 1991.

GUSMÃO FILHO, J. A.; CERRI, L. E. S.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa em encostas. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Org.). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1997.

GERSCOVICH, D. M. S. Estabilidade de Taludes**.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.