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/COBRAMSEG2026.6/9

ESTUDO DOS FATORES CONDICIONANTES DE QUEDAS E ROLAMENTOS DE BLOCOS DE ROCHA EM MATRIZ DE MATERIAL INCONSOLIDADO

Dr.ª Larissa Regina Costa Silveira
Professora, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, larissaeng07@gmail.com

Giovana Pires Cardoso Gonçalves
Estudante, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, giovana.pcg1809@gmail.com

Maria Luiza Ferreira Soares
Estudante, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, marialuizafs05@gmail.com

Dr.ª Maria Giovana Parisi
Professora, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, mgparizzi18@gmail.com

RESUMO: Esse projeto tem como objetivo estudar os fatores condicionantes de quedas de blocos encrustados em matriz de solo, através de análises estatísticas e observações de campo. Um banco de dados já disponível contendo 56 taludes foi analisado, onde foram selecionadas as variáveis mais importantes para descrever a suscetibilidade a queda. Cada variável recebeu uma nota de 1 a 4, onde a nota 1 significa uma característica favorável a estabilidade, enquanto a nota 4 significa uma situação adversa. Dentre as técnicas estatísticas, a análise de agrupamento (kmeans) foi selecionada. Após análise dos resultados gerados, notou-se que o critério de agrupamento foi o somatório das notas obtidas em cada variável, possibilitando uma divisão inicial de classes de suscetibilidade. Os parâmetros mais influentes no agrupamento foram a altura do talude, o tamanho dos blocos e seu formato. As avaliações em campo foram feitas em uma encosta na cidade de Contagem (MG), onde a forte inclinação contribui para a predisposição a quedas de blocos. Além do mais, a presença de blocos grandes, densos e subangulosos potencializam o poder destrutivo, corroborando com os resultados das análises estatísticas.

PALAVRAS-CHAVE: Quedas de Blocos, Movimentos de Massa, Suscetibilidade, Taludes de Solo, Blocos em Solos.

ABSTRACT: This study investigates the conditioning factors controlling the rockfall embedded within a soil matrix through statistical analyses and field observations. An existing database comprising 57 slopes was analyzed, from which the most relevant variables describing rockfall susceptibility were selected. Each variable received a score from 1 to 4, where 1 indicates conditions favorable to stability and 4 represents adverse conditions. K-means cluster analysis was applied, and the results show that clustering was primarily governed by the cumulative sum of variable scores, enabling an initial classification of susceptibility levels. The most influential parameters were slope height, as well as block size and shape. Field investigations conducted on a slope in Contagem, Minas Gerais, Brazil, indicate that steep slope geometry increases the predisposition to rockfall. Additionally, the presence of large, dense, and subangular blocks enhances the destructive potential, corroborating the statistical findings.

KEYWORDS: Rockfall, Mass Moviment, Susceptibility, Soil Slopes, Blocks in Soils.

1 INTRODUÇÃO

Quedas de blocos são movimentos de massa rápidos e com grande poder destrutivo. Podem acontecer tanto em maciços rochosos quanto em materiais inconsolidados, como solos com blocos encrustados. Sendo assim, alguns pesquisadores, engenheiros e geólogos, vêm propondo, ao longo dos anos, metodologias de análise de perigo e de risco para esse tipo de movimento de massa, como é o caso de Silveira et al. (2024), Santi et al. (2009) e Pierson et al. (1990). Em comum, essas metodologias citadas são direcionadas para taludes rodoviários.

Entende-se por risco, um produto da probabilidade de um evento acontecer pelas suas consequências, onde a probabilidade está relacionada com a suscetibilidade, enquanto a consequência é função da vulnerabilidade. A suscetibilidade pode ser resumida como uma predisposição de um maciço em se movimentar, majoritariamente devido as suas caratcerísticas geológicas e geotécnicas. Mais detalhes sobre esses conceitos podem ser encontrados em Fell et al. (2008) e Brasil (2007).

Justamente devido a complexidade das quedas de blocos, para estudar esse tipo de movimento e propor metodologias de análise de suscetibilidade, perigo e risco, é necessário compreender as particularidades do maciço e do ambiente envolvido. Diante disso, o objetivo desse trabalho é estudar os fatores condicionantes de quedas de blocos para os casos em que esses blocos estão em matriz de solo, a fim de dar subsídios para a elaboração futura de uma metodologia de análise de suscetibilidade e risco para esse tipo de maciço. Para isso, aliou-se o estudo estatístico em um banco de dados referente a queda de blocos em rodovias do Colorado (Estados Unidos) com avaliações de campo em um talude na cidade de Contagem (Minas Gerais, Brasil), sendo que o estudo estatístico apontou as variáveis mais relevantes, dentre as contidas no banco de dados do Colorado, enquanto as avaliações de campo mostraram quais eram as características mais críticas do talude estudado no Brasil.

2 METODOLOGIA

Na Figura 1 está o fluxograma do metodologia desenvolvida, explicada adiante.



Figura 1. Fluxograma do trabalho.

2.1 Avaliação do banco de dados

O banco de dados avaliado nesse trabalho foi utilizado previamente por Santi et al. (2009) e disponibilizado pelo mesmo autor. É composto por mais de 300 taludes de rodovias do Colorado (EUA), sendo 224 taludes em rochas cristalinas, 74 taludes em rochas sedimentares e 56 taludes cujos blocos de rocha estão encrustados em material inconsolidado (solo), sendo esse último caso o foco dessa pesquisa.

Para os 56 taludes de blocos em solos contidos no banco de dados, diversas variáveis foram avaliadas e já estavam pontuadas com notas entre 3 a 81 (3, 9, 27 e 81), conforme os critérios estabelecidos pelo Colorado Rockfall Hazard Rating System (CRHRS) (Santi et al., 2009), onde as condições mais favoráveis a segurança pontuavam 3 e as mais desfavoráveis, 81. Dentre as variáveis pontuadas, se destacam aquelas relacionadas à geometria do talude, condições climáticas, tamanho e forma dos blocos, condições de vegetação, condições de tráfego e características das rodovias e área de captação de blocos nas rodovias.

Como o intuito dessa pesquisa é determinar os principais fatores condicionantes de quedas de blocos em taludes cujos blocos estão encrustados em solo, o primeiro passo desse trabalho foi verificar no banco de dados original quais as variáveis estão relacionadas com a suscetibilidade a esse movimento e que podem ser observadas em qualquer talude nesse tipo de maciço, independente da localização geográfica. Logo, variáveis

relacionadas a rodovias e tráfego foram descartadas, bem como variáveis relacionadas a ciclos de congelamento e descongelamento. Na Tabela 1 consta as variáveis selecionadas, a sigla adotada, além da pontuação atribuída de acordo com as características. Não foi feita qualquer modificação referente aos critérios de pontuação das variáveis e suas características, preservando aquilo que já havia sido adotado por Santi et al. (2009). Nas variáveis selecionadas, os valores das pontuações 3, 9, 27 e 81 foram substituídas respectivamente por 1, 2, 3 e 4, a fim de facilitar as análises estatísticas. A variável Escore de inclinação do talude (Inc) pode ser obtida através do ábaco proposto por Maerz et al. (2005) (Figura 2).

Tabela 1. Variáveis selecionadas para compor o banco de dados (adaptado de Santi et al., 2009).

Nota CRHRS (Nota modificada)	3 (1)	9 (2)	27 (3)	81 (4)
Altura do Talude (m) - H	7,5 a 15	15 a 23	23 a 30	> 30
Frequência de queda – Freq	> 2 anos	1 a 2 anos	sazonal	o ano todo/eventos severos
Escore de inclinação do talude - Inc	0 a 2	2 a 4	4 a 8	> 8
Irregularidade na superfície do talude - Irreg	Nenhuma	Menores	Maiores	Extremas
Precipitação anual (mm) - Precip	< 250	250 a 500	500 a 900	> 900
Condição de água – H2O	Talude seco	Úmido	Gotejando	Com fluxo
Tamanho do Bloco (m) - Size	Até 0,3	0,3 a 0,6	0,6 a 1,2	> 1,2
Forma do bloco - Forma	Tabular	Maciço/compacto	Compacto angular	Arredondado
Vegetação - Veg	Vegetado	Desigual	Plantas isoladas	Nenhuma

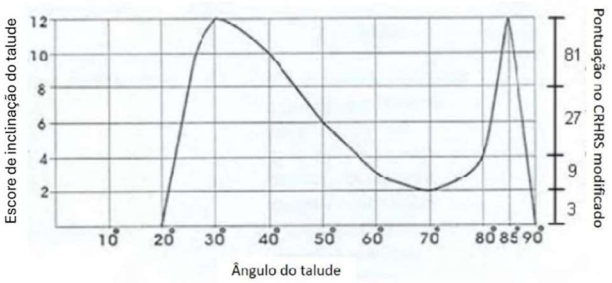


Figura 2. Ábaco de Maerz et al. (2005) para determinar o escore referente à inclinação do talude pelo CRHRS modificado (adaptado de Santi et al., 2009).

Com as variáveis selecionadas, o segundo passo foi verificar a adequabilidade da banco de dados para aplicação das tecnicas de estatística multivariada. Nessa etapa foi avaliado se o número de amostras é pelo menos 5 vezes maior que o número de variáveis (Hair et al., 2009), se o banco de dados possui variabilidade e se as variáveis são correlacionadas. A inspeção quanto ao tamanho da amostra e de sua variabilidade foi visual e gráfica. Para verificar se as variáveis são correlacionadas, foi aplicado o Teste de Esfericidade de Bartlett (Bartlett, 1951). Se o p-valor do teste for menor que 0,05, pode-se considerar, com 95% de confiança, que a matriz de correlação das variáveis é diferente da matriz identidade e, portanto, os dados são correlacionados.

2.2 Análise de agrupamento

A análise de agrupamento foi feita com o objetivo de verificar se há algum padrão de agrupamento das amostras e qual é esse padrão, além das variáveis mais influentes. A análise foi feita através do método de

otimização *kmeans*, que é método das médias ou centroides móveis, onde cada grupo é representado pelo centroide, que nesse caso é a média dos dados pertencentes a cada grupo.

Considerando um número *k* de grupos determinado previamente, o algoritmo agrupa os indivíduos ao seu centroide mais próximo através de cálculos de distâncias. Um maior detalhamento matemático sobre análise de agrupamento pode ser encontrado em Everitt et al. (2011) e Kassambara (2017). Todas as análises estatísticas nesse trabalho, incluindo os testes, foram feitas utilizando o *freeware* R (R Core Team, 2023).

Similar ao que foi feito por Silveira (2022) e Silveira et al. (2024), para o caso da análise de agrupamento, o número *k* de grupos foi determinado pela "regra da maioria", através da função fviz_nbclust(), do pacote NbClust (Charrad, et al., 2015) do software R, em que o melhor valor de *k* é aquele apontado como o ótimo pela maioria, dentre os 30 testes inseridos nessa função. A análise de agrupamento foi feita através da função *eclust() do* pacote *factoextra* (Kassambara & Mundt, 2020). Os resultados foram exportados para o Excel, onde foi possível identificar o padrão de agrupamento, bem como as variáveis que foram mais importantes.

2.3 Avaliação de campo

As avaliações de campo foram feitas no âmbito do Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) para a cidade de Contagem, Região Metropolitana de Belo Horizonte (Minas Gerais), nos anos de 2024 e 2025. A região escolhida é conhecida como Vila Morro dos Cabritos, que possui encostas com risco geológico alto e muito alto, onde um dos problemas é queda e rolamento de blocos de rocha encrustados em matriz de solo. O objetivo de utilizar as informações coletadas em campo foi de verificar se as variáveis apontadas na análise estatística como mais influentes nesse tipo de processo estudado são condizentes com o que foi observado como mais crítico nessas encostas, além de verificar outros parâmetros que são importantes, mas que não constavam no banco de dados utilizado nesse trabalho.

De acordo com o Relatório 2 do PMRR de 2024 (PMRR, 2024), a Vila Morro dos Cabritos está inserida em um morro residual da região morfológica conhecida como Depressão Belo Horizonte, com topos entre 960 e 970 m de altitude. As encostas avaliadas têm cerca de 50 metros de altura e inclinação média entre 20 e 45 graus; porém há locais com inclinação maior que 45 graus. A Figura 3 mostra um esquema geológico-geomorfológico do Morro dos Cabritos. Observa-se na região que o manto de alteração é formado por um material avermelhado a amarelo claro gerado pelo intemperismo de gnaisses, sobreposto por um material vermelho escuro, típico de alteração de rochas básicas. É possível observar ocorrência de blocos métricos a seixos subangulosos.

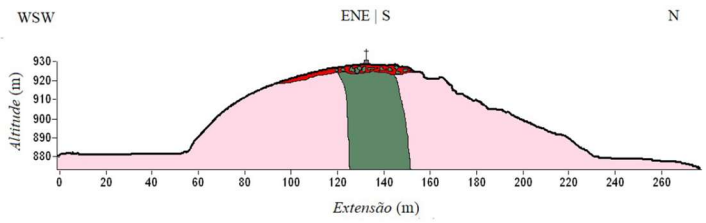


Figura 3. Esquema Geológico-Geomorfológico do Morro dos Cabritos ao longo da seção WSW-ENE / S-N, com identificação do manto de alteração de gnaisse (rosa), intrusão de rocha ultramáfica (verde) e colúvio da alteração da rocha ultramáfica (vermelho escuro) (PMRR, 2024).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Avaliação do banco de dados

Conforme mencionado no item 2.1, o banco de dados conta com 56 taludes e 9 variáveis. Sendo assim, o número de amostras é mais que 5 vezes maior que o número de variáveis, atendendo ao mínimo recomendado de acordo com Hair et al. (2009). Além do mais, o Teste de Esfericidade de Bartlett (Bartlett, 1951) apontou

um p-valor igual a $1{,}44 \times 10^{-4}$, logo, pode-se considerar que as variáveis são correlacionadas e, portanto o banco é adequado para análises de estatística multivariada. A variabilidade do banco de dados foi avaliada através de gráfico de frequência em barras (Figura 4).

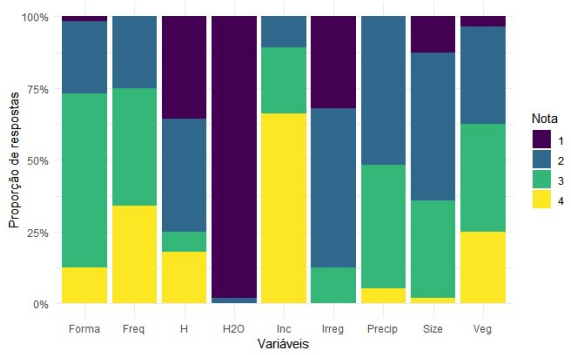


Figura 4. Gráfico de frequência de notas para as variáveis do banco de dados.

Algumas variáveis contam com taludes que pontuam em todas as notas de 1 a 4, como é o caso das variáveis forma (Forma) e tamanho dos blocos (Size), altura do talude (H) e vegetação (Veg). No entanto, as notas não são distribuídas de forma balanceada, sendo algumas notas consideravelmente mais frequentes que outras. Além do mais, alguns parâmetros não possuem variabilidade adequada, como a variável água (H2O), onde quase todos os indivíduos possuem nota 1. De todo modo, dada a importância de todas as variáveis contidas no banco e considerando que essa pesquisa ainda está em estágio exploratório, opotou-se por manter todas as variáveis.

3.2 Análise de agrupamento

A análise de agrupamento foi feita conforme explicado no tem 2.2. O número ótimo de grupos (k) apontado pela "regra da maioria" foi 3, sendo assim, esse foi o valor de k adotado para a análise. O resultado gerado pelo algoritmo no R (R Core Team, 2023) foi exportado para o Excel, onde foi possível identificar que o padrão de agrupamento foi o somatório das notas das variáveis.

O grupo 1 (G1) gerado pelo algoritmo é composto por 20 taludes, cujo somatório de notas ficou majoritariamente entre 20 e 22 pontos. O grupo 2 (G2) é composto por 18 taludes em que o somatório da maioria das notas é a partir de 23 pontos. No grupo 3 (G3) restaram 18 taludes cujas notas estavam, em maioria, entre 17 e 20. Como as notas maiores para as variáveis (Tabela 1) são as mais críticas, pode-se considerar que somatórios maiores representam taludes mais suscetíveis a apresentar queda de blocos, enquanto os menores somatórios indicam que as condições dos taludes não são tão adversas, ou seja, a suscetibilidade é baixa. Diante disso, pode-se considerar que o critério de agrupamento indica, preliminarmente, uma classificação quanto a suscetibilidade a quedas e rolamentos de blocos nos taludes presentes no banco de dados, sendo o G3 o grupo de baixa suscetibilidade, o G1 de média suscetibilidade e o G2 de alta suscetibilidade.

No G2 (alta suscetibilidade), a maioria dos taludes obtiveram notas 3 e 4 nas variáveis altura do talude, forma dos blocos, tamanho dos blocos e vegetação. No G3 (baixa suscetibilidade), ocorreu o oposto para as variáveis altura e tamanho dos blocos, onde praticamente todos os taludes tiveram notas 1 ou 2. Isso indica que as variáveis altura do talude e tamanho dos blocos foram as mais relevantes para definir os critérios de agrupamento, seguidas por forma dos blocos e vegetação.

Geotecnicamente, o resultado da análise de agrupamento faz sentido, visto que encostas mais altas e com grandes blocos podem ser mais propensas a movimentações. O fato de essas encostas não estarem vegetadas adequadamente pode contribuir para processos erosivos e descalçar os blocos, que, quanto mais arredondados, maior a facilidade para se movimentarem. No entanto, deve-se levar em consideração algumas observações importantes quanto ao banco de dados, sobretudo em relação aos problemas de variabilidade.

Ao observar a Figura 4, nota-se que as únicas variáveis que possuem indivíduos pontuando em todas as notas são exatamente as mesmas que foram mais relevantes para definir o agrupamento, ou seja, altura do talude, tamanho e forma dos blocos e vegetação. As demais variáveis, embora importantes, não foram tão relevantes em termos estatísticos justamente devido a variabilidade, por terem muitos indivíduos com a mesma

nota. Um exemplo interessante para ilustrar essa situação é a variável inclinação do talude (Inc). No grupo de alta suscetibilidade, a maioria dos taludes tiveram nota 3 e 4 em Inc, mas ao observar a Figura 4, a maioria dos taludes do banco de dados possuem nota 3 ou 4, logo, a contrubuição estatística não é representativa.

Um outro problema do banco de dados que pode ter impactado o resultado e até mesmo a própria variabilidade é o tamanho do banco. Como o banco de dados é composto por 9 variáveis pontuando de 1 a 4, o somatório mínimo possível seria 9 e o máximo, 36. No entanto, no banco de dados só existem taludes pontuando entre 17 e 28. Talvez, com um banco de dados mais extenso, mais tipos de taludes poderiam ter sido considerados, aumentando a variabilidade e alterando o resultado. De todo modo, a análise de agrupamento se mostrou uma ferramenta relevante para análise exploratória das variáveis mais importantes do processo e também promissora para análises posteriores, já com foco em classificação de taludes quanto a suscetibilidade a movimentações. Ressalta-se que a análise estatística foi feita considerando apenas os taludes do Colorado. Taludes de Contagem não estão no banco de dados.

3.3 Avaliação de campo

De forma geral, os processos geológicos mais comuns no Morro dos Cabritos são quedas de blocos, deslizamentos e erosões, por vezes associados. Observa-se na região, devido ao processo de urbanização, diversos cortes verticalizados que expõem os blocos de rocha encrustados no solo residual, bem como a presença de depósito de tálus mais instável, formado por blocos removidos de um determinado local e lançados sem planejamento em outro local. Ressalta-se que esses blocos são densos e subangulosos. Na Figura 5a está a vista parcial de um corte vertical que mostra os blocos expostos em uma das áreas mapeadas como risco muito alto; na Figura 5b é possível ver um bloco arredondado rolado em um beco de uma região mapeada como risco alto. Todas essas informações integram os estudos realizados pela equipe da Universidade Federal de Minas Gerais para o PMRR 2024/2025 de Contagem (MG).



Figura 5. a) Blocos encrustados em solo expostos devido a corte vertical; b) Bloco arredondado rolado em área residência (PMRR, 2024).

O solo vermelho de intemperismo dos diques e blocos de rochas básicas possui uma estrutura agregada, o deixando mais poroso e permeável. Os solos residuais de gnaisse são silto-arenosos, pouco permeáveis e pouco coesos, o que os torna suscetíveis à erosão superficial. O ponto de contato entre esses dois tipos de solo, além de ser uma descontinuidade natural do maciço, facilita a percolação de água, intensificando a erosão, o que ajuda no processo de descalçamento e exposição dos blocos. A água nesse local também aumenta a poropressão, estimulando escorregamentos. Com isso, tem acontecido ao longo do tempo o recuo do Morro dos Cabritos, resultando em escarpas elevadas propensas a deslizamentos volumosos de solo e quedas de blocos.

As avaliações de campo no Morro dos Cabritos mostram o quanto o processo de quedas e rolamento de blocos é complexo e multifatorial, dependente não só da geologia do local, mas também do histórico de urbanização. Dentre todos os fatores atuando juntos, nota-se que a geometria das encostas, bem como o tamanho e o formato dos blocos são variáveis importantes, visto que regiões mais escarpadas e com mais blocos maiores e, portanto, mais pesados se mostraram mais propensas a problemas. Blocos mais arredondados se deslocam com mais facilidade por longas distâncias. Isso corrobora com os resultados encontrados nas análises estatísticas.

A percolação de água é fundamental para que ocorram processos erosivos, que expõem os blocos, além de contribuir com deslizamentos ao aumentar a poropressão do maciço. Nas análises estatísticas a água não foi relevante devido à baixa variabilidade dessa variável no banco de dados. Também deve-se considerar a presença das estruturas geológicas, contatos litológicos e propriedades mecânicas dos materiais. Essas variáveis não estavam presentes no banco de dados, mas devem ser levadas em consideração em análises mais detalhadas sempre que possível.

A indicação da suscetibilidade desse talude de acordo com a classificação sugerida pela análise de agrupamento não foi feita, visto que a classificação apresentada ainda é preliminar e precisa de refinamento. Além do mais, para classificar os taludes da região de Contagem estudada nesse trabalho, é necessário um levantamento e medição mais exata das variáveis inseridas na Tabela 1, o que será feito futuramente.

4 CONCLUSÕES

Quedas e rolamentos de blocos são movimentos de massa complexos e dependentes de diversos fatores que vão além da geologia. Os estudos estatísticos e de campo realizados nesse trabalho apontam, em comum, que a geometria do talude, o tamanho e a forma dos blocos são variáveis fundamentais para classificar um talude com blocos encrustados em solos quanto à suscetibilidade à queda. No entanto, é importante também que seja levado em consideração a presença e percolação de água e as características mecânicas do maciço, visto que esses fatores são relevantes para o estudo da erodibilidade de solos e exposição de blocos e também escorregamentos.

Para trabalhos futuros, sugere-se uma revisão dos parâmetros selecionados do banco de dados do Colorado. Variáveis com pouca variabilidade não possuem contribuição relevante em análises estatísticas, logo, poderiam ser retiradas, mesmo que geotecnicamente sejam importantes, como é o caso da variável Água nesse banco de dados. Além do mais, é importante rever a caracterização dos parâmetros adotados no CRHRS e fazer as adaptações necessárias. Por exemplo, a variável Inclinação do Talude no CRHRS tem um viés de distância de alcance dos blocos (Maerz et al., 2005) que já se desprenderam e isso se relaciona mais com as consequências da queda do que com a suscetibilidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Secretaria Nacional de Periferias do Ministério das Cidades pela oportunidade e apoio, à equipe do PMRR de Contagem (MG) – UFMG 2024/2025, à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), sobretudo à Pro-Reitoria de Pesquisa e ao Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa (CPMTC) do Instituto de Geociências da UFMG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bartlett, M. S. (1951). The Effect Of Standardization On A Chi Square Approximation In Factor Analysis. *Biometrika*; 38:337 44.

BRASIL. Ministério das Cidades; IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. (2007) *Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios.* Brasília: MCidades; IPT, 2007. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/ publicacoes/publicacoes-periferias. Acesso em 10 fev. 2026.

Charrad M.; Ghazzali N.; Boiteau V.; Niknafs A. (2015). *Nbclust: Determining The Best Number Of Clusters In A Data Set*. R Package, Version 3.0. In: Https://CRAN.Rproject. Org/Package=Nbclust.

Everitt, B. S.; Landau, S.; Leese, M.; Stahl, D. (2011). *Cluster Analysis*. 5ª Ed. Chichester: Wiley. 330 P. ISBN: 978-0-470-74991-3.

Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage W.Z. (2008). Guidelines For Landslide Susceptibility, Hazard And Risk Zoning For Land Use Planning. *Engineering Geology* 102 (2008) 85 98. www.elsevier.com/locate/enggeo.

Hair, J.F.; Black, W. C.; Babin, B. J.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L. (2009). *Análise Multivariada De Dados*. Porto Alegre: Bookman, 688 P.

Kassambara, A. (2017) *Practical Guide to Cluster Analysis In R Unsupervised Machine Learning*. London: STHDA.

Kassambara, A. and Mundt, F. (2020) *Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses*. https://CRAN.R-project.org/package=factoextra

Maerz, N.H.; Youssef A., Fennessey, T.W. (2005) New Risk-Consequence Rockfall Hazard Rating System For Missouri Highways Using Digital Image Analysis. *Environmental And Engineering Geoscience* 11, 229 249 2005.

Pierson, L. A.; Davis, S. A. Van Vickle, R. (1990). *Rockfall Hazard Rating System Implementation Manual Federal Highway Administration (FHWA)*, Report FHWA OR- EG-90-01, FHWA, U.S. Dep. Of Transp.

PMRR - Plano Municipal de Redução de Riscos. (2024) *Relatório 2: Mapeamento de Riscos de Contagem (MG).* Universidade Federal de Minas Gerais. Periferia Sem Risco. Ministério das Cidades.

R Core Team (2023). R: *A Language And Environment For Statistical Computing*. R Foundation For Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.r project.org/.

Santi, P. M.; Russel, C. P.; Higgins, J. D.; Spriet, J. I. 2009. Modification and Statistical Analysis of The Colorado Rockfall Hazard Rating System. *Engineering Geology* 104 (2009) 55 65.

Silveira, L. R. C. (2022) *Proposta de sistema de análise de risco para queda de blocos em taludes rodoviários*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Núcleo de Geotecnia, Escola de Minas/ UFOP, 170 p.

Silveira, L.R.C., Lana, M.S. & dos Santos, T.B. (2024) A Quantitative Rockfall Risk Analysis System for Highway Rock Slopes. *Geotech Geol Eng* **42**, 1131–1152. https://doi.org/10.1007/s10706-023-02609-z