

# Hierarquização e Estudo de Alternativas para Tratamento de 12 Pontos de Instabilidade Geotécnica em Condomínio Logístico

Álvaro Pereira

FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, alvaro@fgs.eng.br

Felipe Gobbi Silveira

FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, felipe@fgs.eng.br

Anderson Fonini

FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, fonini@fgs.eng.br

Camila Westphalen

FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, westphalen.camila@gmail.com

**RESUMO:** O presente artigo consiste na apresentação dos estudos desenvolvidos para proposição de soluções para estabilização/recuperação de taludes e sistema de drenagem superficial em uma área situada em Minas Gerais. A área de estudo consiste em um terrapleno que possui em torno de 225.000m<sup>2</sup> composto por regiões de corte e aterro. Os tipos de instabilidades verificadas estão relacionadas a processos erosivos superficiais, rupturas superficiais e um ponto de instabilidade de talude de grandes magnitudes. A maior parte dos taludes a serem tratados são acometidos por problemas associados a falhas no sistema de drenagem, que causam desde simples problemas de erosão superficial a severas condições de instabilidade. Foi realizada uma classificação dos principais tipos de instabilização e elaborada uma tabela de priorização de tratamentos aos pontos considerados instáveis, onde, além das condições de estabilidade de cada talude foram verificadas as condições das imediações de cada área (estruturas, fluxo de pessoas e veículos e danos ambientais), com o intuito de verificar a severidade das consequências em casos de ocorrência de eventos de instabilidades nos pontos levantados. A adoção deste procedimento visa à priorização dos tratamentos, ou seja, canalizar os recursos para os pontos de maior criticidade. Com a finalidade de definir esses pontos definida uma metodologia para a avaliação do risco envolvido através de dados obtidos em campo, sendo então realizada uma avaliação dos riscos através de uma pontuação a fim de se determinar a possibilidade de novas instabilidades ou reativação das existentes, auxiliando na priorização de áreas para o início da realização das obras de estabilização e drenagem. Com base neste diagnóstico a região foi setorizada em 12 áreas críticas a serem tratadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Instabilidade de taludes, Análise de risco, Priorização de tratamento, Erosão.

## 1 INTRODUÇÃO

A implementação de condomínios logístico geralmente está associada a grandes movimentações de terra, e consequentemente, regiões de corte e aterro. A ocorrência de taludes está diretamente relacionada as condições topográficas da região a qual a obra está sendo implementada. As alturas e inclinações dos taludes estão diretamente relacionadas às

características dos materiais locais e/ou importados, associadas a presença de água, superficial ou subsuperficial.

Todo o processo de execução da movimentação de terra deve estar associado a uma investigação geotécnica que possibilite o mínimo de conhecimento do comportamento geotécnico dos materiais envolvidos, possibilitando o desenvolvimento de um projeto de estabilidade de taludes garantindo os fatores

de seguranças mínimos exigidos pela norma vigente. Em função das grandes áreas, geralmente planas, envolvidas em condomínios logísticos, o sistema de drenagem superficial deve ser muito bem executado, tendo em vista os grandes volumes de água e a dificuldade de escoamento dos mesmos em função das declividades envolvidas.

O presente trabalho consiste de um terrapleno com área aproximada de 225.000m<sup>2</sup>, composto por regiões de corte e aterro. Após a execução de obras de terraplenagem, foram construídas ocupações industriais na área que cobrem cerca de 30.000m<sup>2</sup>. Com o término das obras foram identificadas ocorrências de instabilização de taludes. Os principais tipos de instabilidades verificadas estão relacionadas a processos erosivos superficiais, rupturas superficiais e em um ponto de instabilidade de talude de grande magnitude.

Tendo em vista a necessidade de intervenção em diversos pontos da área do condomínio, esta foi dividida em 12 subáreas específicas. Tendo em vista o grande número de áreas e com a finalidade de definir os locais mais propensos a instabilidades geotécnicas e suas consequências foi realizada uma análise de risco geotécnico.

Existe uma grande variabilidade nas metodologias adotadas e, conseqüentemente, nos resultados obtidos. Esse artigo apresenta uma metodologia para a avaliação do risco envolvido através de dados obtidos em campo e informações fornecidas pelo cliente em função das características do condomínio logístico localizado em Minas Gerais.

Após a classificação das áreas foi definida uma campanha de investigação geotécnica de campo e laboratório que possibilitou a construção de perfis geotécnicos para cada uma das áreas. Com base no perfil geotécnico foi realizado um modelo fenomenológico de cada área para o dimensionamento de intervenções para garantir a estabilidade e segurança de cada local.

## 2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, PEDOLÓGICA E GEOTÉCNICA DA ÁREA

### 2.1 Caracterização Geológica

Do ponto de vista geológico a área de estudo encontra-se em uma região pertencente ao domínio dos ortognaisses migmatíticos que

compõem o Complexo Varginha-Guaxupé (CPRM, 2003).

As rochas que compõem este domínio apresentam elevada heterogeneidade geomecânica e hidráulica. Além disso, mostram grande diversificação mineralógica e textural, sendo muito deformadas. Os processos deformacionais geram descontinuidades em várias direções com ângulos de mergulho diversos. Estas descontinuidades geomecânicas e hidráulicas facilitam o processo intempéricos heterogêneos, sendo então comum a ocorrência de matacões imersos na massa de solo. Ainda segundo CPRM (2010) as rochas pertencentes ao grupo dos granitóides deformados apresentam normalmente alto grau de coesão, com elevada resistência à compressão, baixa porosidade e boa resistência ao intemperismo. Estas rochas exibem comportamento anisotrópico.

### 2.2 Caracterização Pedológica

Do ponto de vista pedológico a região se caracteriza pela ocorrência de latossolos vermelho-amarelo. De maneira geral, os solos, quando muito evoluídos, no caso da ocorrência de latossolos, por exemplo, são pouco erosivos, moderadamente plásticos e de boa capacidade de compactação. Apresentam alta porosidade e boa capacidade hídrica.

Os latossolos originados dos granitos deformados se alteram de forma diferenciada do tipo esferoidal, quase sempre deixando blocos e matacões em meio ao solo. Estas rochas alteram-se para solos argilosos, silto-arenosos e arenosos muito susceptíveis à erosão e com grande potencial para ocorrência de movimentos de massa. (CPRM, 2010).

### 2.3 Comportamento Geotécnico

De forma geral pode-se distinguir materiais de duas categorias: solo natural e aterro. O solo natural apresenta variabilidade resultante do processo de pedogênese e varia de silte arenoso a silte argiloso. O aterro se mostra relativamente homogêneo, mas destacam-se os valores de NSPT significativamente mais baixos que os medidos na prospecção do terreno natural. Estes resultados ratificam a separação feita em terreno natural e aterro.

O comportamento dos materiais envolvido na

área em questão está condicionado a problemas relacionados a processos erosivos em função da rocha de origem. Por se tratar de uma área com grande movimentação de terra com utilização de material local o comportamento geotécnico fica diretamente relacionado às características do aterro executado.

### 3 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE INTERVENÇÃO

Tendo como base as informações e dados disponíveis da área, foi possível definir e classificar quais os principais tipos de instabilidades que se manifestam dentro da área abordada neste estudo. Para tal, foram realizadas visitas em campo para mapear as áreas com indícios de ocorrência de instabilização. Posteriormente foi realizado o cruzamento destas informações com os resultados de sondagens e ensaios laboratoriais, a fim de determinar com certeza qual o problema associado a cada ponto.

A área foi dividida em 12 subáreas específicas, nomeadas de área 1 a área 12. A figura 1 apresenta a localização dessas áreas no terreno, sendo a descrição das mesmas apresentadas na sequência.



Figura 1. Localização das áreas.

A área 1 corresponde a um talude do aterro, com ocorrência de processos erosivos. Como consequência da ausência de cobertura vegetal e deficiência do sistema de drenagem, os processos erosivos tendem a ocorrer de forma mais acelerada.

Na área, verifica-se a ocorrência de erosão que já atinge o estágio em que passa a ser denominada voçoroca. A ausência de vegetação no platô e a confluência das águas neste ponto condicionam ocorrência deste processo. A causa

associada a este evento foi o rompimento de uma tubulação.

A porção denominada área 3 diz respeito a um platô onde verifica-se o acúmulo de água proveniente de precipitações que, posteriormente, infiltra no terreno ou escoam superficialmente, facilitando a ocorrência de processos erosivos. O acúmulo de água é ocasionado pela ineficiência de drenagem aliada à significativa extensão do platô e baixa declividade do terreno.

A área 4 corresponde aos taludes e platô onde verifica-se que a drenagem não tem se mostrado eficiente na remoção de água do talude. Parte das canaletas existentes encontra-se assoreadas e a vegetação que recobre o talude é escassa. Assim, algumas rupturas superficiais (máximo 1m de espessura) ocorreram. Cabe mencionar que nesta área é constante a permanência de pessoas e caminhões.

No talude da área 5 há uma ruptura com cerca de 80 cm de espessura que requer tratamento. Além disso, existem indícios de outros movimentos rasos, porém não confirmados. Embora existam elementos de drenagem, estes são insuficientes e há água em excesso no maciço.

A área 6 diz respeito ao talude junto ao acesso superior, onde ocorre uma ruptura cuja massa movimentada tem cerca de 75 cm de espessura, e não apresenta indícios de continuidade do movimento.

A área 7 corresponde a um talude à jusante do acesso superior, onde ocorre uma ruptura com cerca de 1 m de espessura, não sendo verificada presença de água, apesar de haver indícios de piping. Conforme observação de campo, parece haver ocorrência de erosão do solo exposto na cicatriz gerada pela ruptura.

A área 8 corresponde a um talude junto a cerca de divisa. Existe no talude um sistema de drenagem que se encontra obstruído pela presença de vegetação e detritos. À montante desse sistema ocorreu uma ruptura superficial com cerca de 30m de extensão, cuja espessura é variável. Devido a sua posição, a mesma, em estágio mais avançado, poderá deflagrar rupturas maiores no talude.

A área 9 diz respeito ao problema mais severo observado no terreno. Trata-se de uma ruptura de grande porte, aparentemente rotacional, que se inicia no topo do aterro, em uma área destinada à ampliação, e se estende até o pé do aterro. Ao

longo deste talude existe um sistema de drenagem pluvial, mas que se encontra parcialmente obstruído por detritos. Além disso, em função do movimento da massa rompida os deslocamentos sofridos pela rede de drenagem geram perda de eficiência e reorientação do fluxo.

A área 10 corresponde a um talude integro, contudo, a drenagem pluvial é deficiente permitindo o escoamento lateral pela canaleta e pela escada d'água.

A área 11 consiste em uma voçoroca de porte significativo em um talude parcialmente vegetado. Esse evento foi ocasionado pela falha do sistema de condução de águas pluviais. O platô onde se inicia a voçoroca não contém cobertura vegetal, contudo foi executada uma leira para que não haja escoamento pelo seu eixo. Próximo à voçoroca existe uma lagoa de armazenamento de água passível de assoreamento com a continuidade do processo erosivo.

A área 12 corresponde ao platô central do terreno, onde se verifica deficiência e necessidade de um sistema de drenagem pluvial. Trata-se de uma área bastante extensa, com declividades muito baixas, onde ocorre a infiltração de significativa de água. A adoção de intervenções nesta área impacta positivamente todos os taludes no entorno, visto que haverá menor escoamento e infiltração de água, agentes importantes na deflagração de escorregamentos.

Simplificadamente é possível afirmar que todos os taludes a serem tratados são acometidos por problemas associados a falhas no sistema de drenagem, que causam desde simples problemas de erosão superficial a severas condições de instabilidade. No local são observados processos de erosão superficial leve, desenvolvimento de voçorocas e rupturas, tanto superficiais quanto profundas.

#### 4 HIERARQUIZAÇÃO DAS ÁREAS PARA INTERVENÇÃO

Quando todas as informações disponibilizadas são analisadas em conjunto possibilita-se uma melhor tomada de decisão, considerando riscos e alocação de recursos. Como ferramenta de análise foi utilizada uma hierarquização baseada em análise de risco.

A hierarquização foi utilizada nas doze áreas nas quais foram identificadas necessidade de

intervenções, em função da relação probabilidade de ocorrência e consequência. A metodologia utilizada para a avaliação do risco envolvido através de dados obtidos em campo e informações pertinentes.

O risco pode ser definido como o produto do perigo de ocorrência de determinado evento e as consequências por ele geradas. Matematicamente pode-se representar o risco (R) pela equação:

$$R = H \cdot E \cdot V \quad (1)$$

Onde (H) é o perigo, (E) os elementos submetidos ao risco e (V) a vulnerabilidade destes elementos. Sendo que, perigo é definido como a suscetibilidade de ocorrência de um evento em um local específico e em um período específico de tempo, os elementos em risco são as pessoas e propriedades e a vulnerabilidade é o grau de perda de um determinado elemento.

Para uma avaliação de risco dos pontos apresentados tecnicamente foi definida uma metodologia de pontuação para cada ponto vistoriado, onde fatores relevantes à estabilidade dos taludes foram considerados e pontuados a fim de se determinar a suscetibilidade a ocorrência de novas instabilidades ou a reativação das existentes de cada local.

A fim de se determinar a pontuação de cada ponto adotou-se como base a metodologia relatada no manual produzido pela National Highway Institute (1991), intitulado Rockfall Hazard Rating System, o qual introduz o conceito de avaliação de grau de risco através de cruzamentos entre a suscetibilidade, elementos em risco e vulnerabilidade, para taludes com instabilidades em maciços rochosos. Foram aproveitados os conceitos deste estudo e a forma de progressão geométrica da pontuação de determinados parâmetros, definidos para este trabalho.

Para este estudo foram realizadas adaptações com critérios racionais para obtenção do risco em taludes formados por solos, através de ajustes matemáticos e dados estatísticos.

Com o intuito de avaliar a suscetibilidade e gerar uma pontuação de classificação, foram avaliados diversos parâmetros como tipos de movimentos, processos erosivos, altura e inclinação do talude, presença de vegetação e drenagem pluvial e surgência de água no talude. Para cada um destes parâmetros foram definidos

níveis de classificação e, para cada nível de classificação, atribuída uma pontuação.

Os resultados das pontuações foram obtidos através de equações exponenciais ajustadas para cada parâmetro acima referido. Entre alguns parâmetros também foram realizados cruzamentos entre si, devido ao alto grau de influência que determinado parâmetro suscita no outro. A soma dos resultados obtidos para cada parâmetro individualmente gerou a pontuação final de determinado local. De acordo com as pontuações obtidas foram definidas faixas de pontuação e atribuídas a estas faixas os graus de suscetibilidade a ocorrência de instabilidades geotécnicas, que são: reduzida, reduzida/possível, possível, possível/provável e provável.

A suscetibilidade do modelo foi comparada com a suscetibilidade inferida em campo, a fim de comprovar a metodologia aplicada.

Uma vez determinada a suscetibilidade a ocorrência de determinado evento, foram avaliadas as consequências geradas por este evento para então se definir o risco em cada local. Foram gerados dados de “consequência”, que nada mais são do que a soma dos elementos em risco multiplicado pela vulnerabilidade destes em cada ponto avaliado, nomeados da seguinte forma: danos humanos, danos ambientais, danos econômicos, danos humanos /ambientais, danos humanos/econômicos, danos humanos/ambientais/econômicos. Para cada faixa de consequência foi atribuído um peso conforme a sua criticidade e o impacto que ela traz.

Portanto, o risco é o cruzamento entre a suscetibilidade e a consequência, conforme apresentado na Tabela 1, sendo definido em risco baixo, médio, alto e crítico.

Tabela 1. Definição de risco.

|                 |               | Consequência |           |         |                     |                  |                  |                            |
|-----------------|---------------|--------------|-----------|---------|---------------------|------------------|------------------|----------------------------|
|                 |               | Econômico    | Ambiental | Humano  | Ambiental Econômico | Humano Ambiental | Humano Econômico | Humano Ambiental Econômico |
| Suscetibilidade | Não se espera | Baixo        | Baixo     | Médio   | Médio               | Médio            | Médio            | Médio                      |
|                 | Reduzido      | Baixo        | Médio     | Médio   | Médio               | Médio            | Médio            | Médio                      |
|                 | Red./Pos.     | Médio        | Médio     | Médio   | Médio               | Alto             | Alto             | Alto                       |
|                 | Possível      | Médio        | Médio     | Alto    | Alto                | Crítico          | Crítico          | Crítico                    |
|                 | Pos./Prov.    | Médio        | Médio     | Alto    | Alto                | Crítico          | Crítico          | Crítico                    |
|                 | Provável      | Médio        | Alto      | Crítico | Crítico             | Crítico          | Crítico          | Crítico                    |

A aplicação da metodologia descrita permitiu a definição das áreas de intervenção prioritárias. A Tabela 2 apresenta resumidamente os

resultados obtidos com a aplicação desta proposta.

Tabela 2. Avaliação de risco.

| Área | Risco  | Faixa Risco | Consequência            |
|------|--------|-------------|-------------------------|
| 1    | 303    | Médio       | Dano econômico          |
| 2    | 285    | Médio       | Dano econômico          |
| 3    | 322,5  | Médio       | Dano econômico          |
| 4    | 477    | Médio       | Dano humano e econômico |
| 5    | 490,5  | Médio       | Dano humano e econômico |
| 6    | 504    | Médio       | Dano humano e econômico |
| 7    | 531    | Médio       | Dano humano e econômico |
| 8    | 477    | Médio       | Dano humano e econômico |
| 9    | 1786,5 | Crítico     | Dano humano e econômico |
| 10   | 159    | o           |                         |
| 11   | 465    | Médio       | Dano econômico          |
| 12   | 208,5  | Médio       | Dano econômico          |

A partir da análise para priorização das áreas chegou-se no resultado condizente com o esperado. Conforme avaliação em campo e conforme resultados apresentados na Tabela 2, todas as áreas estão enquadradas na categoria de risco “Médio”, com exceção a área 9 que apresentou risco crítico com provável deslizamento rotacional. Assim, para a definição das áreas prioritárias deve-se empregar a pontuação obtida para o risco em cada ponto.

## 5 PROPOSIÇÕES DE AÇÕES ESTRUTURAIS

A partir da definição dos graus de criticidade foram definidos os Fatores de Segurança a serem obtidos através das intervenções a serem dimensionados baseando-se nos critérios estabelecidos pela NBR 11682:2009, sendo definidos valores de 1,3 a 1,5 para diferentes áreas.

A Tabela 3 apresenta os fatores de segurança para as quais as alternativas de soluções foram dimensionadas, relacionados diretamente a pontuação obtida no cruzamento de informações.

Tabela 3. Avaliação de risco.

| Área | Prioridade | FS  | Obs.                           |
|------|------------|-----|--------------------------------|
| 1    | 9          | NA  | Problemas de drenagem          |
| 2    | 10         | 1,3 | Rupturas Superficiais Pequenas |
| 3    | 8          | NA  | Problemas de drenagem          |
| 4    | 5          | 1,4 | Rupturas Superficiais Médias   |
| 5    |            | 1,4 | Rupturas Superficiais Médias   |
| 6    | 3          | 1,5 | Rupturas Superficiais Médias   |
| 7    | 2          | 1,4 | Rupturas Superficiais Médias   |
| 8    | 6          | 1,3 | Rupturas Superficiais Médias   |
| 9    | 1          | 1,5 | Deslizamento rotacional severo |
| 10   | 12         | NA  | Problemas de drenagem          |
| 11   | 7          | 1,3 | Rupturas Superficiais Médias   |
| 12   | 11         | NA  | Problemas de drenagem          |

Os 12 pontos definidos foram classificados da seguinte forma: (i) 3 com problemas relacionados a drenagem; (ii) 1 com rupturas superficiais pequenas; (iii) 7 com rupturas superficiais médias; (iv) 1 com deslizamento rotacional severo. Para as áreas com problemas de drenagem, foram dimensionados e readequados os sistemas de drenagem. Já para os pontos que apresentavam problemas de rupturas de taludes, foi desenvolvido um projeto básico com apresentação de alternativas de estabilização, onde se apresentou uma estimativa de custos e tabelas de prós e contras para auxiliar o cliente na escolha da solução a ser dimensionada no projeto executivo. Na sequência serão expostas as alternativas apresentadas e a escolha para detalhamento.

Para área 1 a solução concebida para esta área consiste na aplicação do sistema de drenagem proposto para área 12, o qual possui influência direta nos problemas verificados no talude. Aliado a isso, necessariamente, o talude deverá ser revegetado impedindo o carreamento das partículas de solo.

As soluções da área 2 consistiram em uma obra de terraplenagem, retaludamento, e um muro de rachão com chave granular. A opção escolhida foi o muro de rachão por não representar perda de área útil do condomínio.

A área 3 foi definido uma complementação no projeto de drenagem superficial do local.

Para as soluções da área 4 avaliaram-se obra de terraplenagem, retaludamento; execução de um solo grampeado com faceamento com tela

metálica e um muro de rachão com chave granular e reaterro com solo na porção superior. A opção escolhida foi o muro de rachão por não representar perda de área útil do condomínio e menor custo comparado ao solo grampeado.

Na área 5 as soluções dimensionadas consistiram de obra de terraplenagem, retaludamento; e um muro de rachão com chave granular e reaterro com execução de reaterro com solo na face do muro, mantendo a estética do talude original. A opção escolhida foi o muro de rachão por não representar perda de área útil do condomínio.

As soluções da área 6 consistiram em uma obra de terraplenagem, retaludamento, e um muro de gabião. A opção escolhida foi o muro de gabião por não representar perda de área útil do condomínio.

Na área 7 dimensionou-se um muro de gabião e um muro de rachão com chave granular, sendo optado pela execução do muro de gabião em função da estimativa de custos preliminar.

As soluções dimensionadas para a área 8 foram solo grampeado com faceamento metálico, dois muros (um de rachão e um de solo) ao longo dos patamares e recompactação do material instabilizado associado a drenagem subsuperficial. A solução dimensionada foi a recompactação do solo com drenagem subsuperficial.

Para a área 9 foram avaliadas várias soluções, tais como, duas linhas de cortinas atirantadas, cortina atirantada associada a muro de rachão com chave granular; muro de rachão com chave granular e muro de solo reforçado com faceamento em bloco de concreto e chave granular. Sendo optado para dimensionamento o muro de solo reforçado em função da estimativa de custos preliminar.

A área 10 foi definido uma melhoria nos elementos de drenagem superficial do local.

As soluções da área 11 consistiram em uma obra de terraplenagem, retaludamento, e um muro de rachão com chave granular. A opção escolhida foi o muro de rachão por não representar perda de área útil do condomínio

A área 12 consistiu da reformulação de todo o sistema de drenagem local priorizando a utilização dos elementos existentes e incluindo novos elementos.

Com o intuito de reduzir o fluxo e infiltração de água de chuva e, conseqüentemente, melhorar

as condições de estabilidade dos taludes foram dimensionados sistemas de drenagem para todas as áreas, sendo estes independentes ou associados às intervenções dimensionadas.

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou sucintamente as fases do desenvolvimento de hierarquização e estudo de alternativas de estabilização de regiões com estabilidade de taludes. A hierarquização foi executada com base em uma avaliação de risco levando-se em conta elementos geotécnicos, humanos, ambientais, materiais e econômicos.

A metodologia adotada para a classificação e priorização das áreas expressou numericamente o mesmo que foi observado durante as visitas em campo, portanto foram julgados adequados para aplicação neste condomínio logístico em estudo.

É pertinente mencionar que a execução das obras seguindo a escala de prioridade estabelecida não impede a ocorrência de reativações em pontos cuja prioridade foi definida como inferior as demais áreas. Isso ocorre em função de que as áreas acometidas por eventos de instabilidade encontram-se com fator de segurança próximo a 1,0, o que caracteriza uma condição limítrofe para a ocorrência de movimentações.

Em todas as áreas foi identificado que a principal causa das instabilidades observadas é o fluxo de águas, associado à falha/ausência do sistema de drenagem. Deste modo os taludes são acometidos por rupturas superficiais e processos erosivos, cuja intensidade varia entre os pontos levantados. Tendo como base o preconizado pela norma, as condições observadas e os resultados das sondagens realizadas no local, os projetos foram elaborados para atender aos critérios técnicos, aliando um baixo custo as soluções, tendo por objetivo causar um impacto mínimo sobre a área útil do empreendimento.

## REFERÊNCIAS

- SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO – CPRM (2003)  
*Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais*, Escala 1:1.000.000, Rio de Janeiro
- SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO – CPRM (2010)  
*Mapa Geodiversidade do Estado de Minas Gerais*, Escala 1:1.000.000, Rio de Janeiro.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA et al. (2010)

*Mapa de solos do Estado de Minas Gerais - Folha 3*, Escala 1:650.000, Fundação Estadual do Meio Ambiente, Belo Horizonte.

Pierson, L. A. (1991) *The Rockfall Hazard Rating System*. Salem, Oregon: Oregon Department of Transportation.