

**Dissertação de Mestrado**

**AVALIAÇÃO DO PERIGO RELACIONADO À  
QUEDA DE BLOCOS EM RODOVIAS**



**NUGEO**

**AUTOR: GUILHERME JOSÉ CUNHA GOMES**

**ORIENTADORES: Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira  
(UFOP)  
Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Milene Sabino Lana  
(UFOP)**

**ESCOLA DE MINAS / UFOP**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA DA UFOP**

**OURO PRETO - MAIO DE 2009**

# **Livros Grátis**

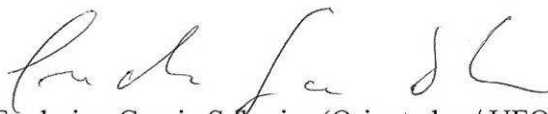
<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

# AVALIAÇÃO DO PERIGO RELACIONADO À QUEDA DE BLOCOS EM RODOVIAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia do Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de **Mestre em Geotecnia**.

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 29 de maio de 2009, pela Banca Examinadora composta pelos membros:



Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira (Orientador / UFOP)



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Milene Sabino Lana (Co- Orientadora UFOP)



Prof. Dr. Adilson do Lago Leite (UFOP)



Prof. Dr. Oswaldo Augusto-Filho (USP)

G633a Gomes, Guilherme José Cunha.  
Avaliação do perigo relacionado à queda de blocos em rodovias [manuscrito] /  
Guilherme José Cunha Gomes.

xix, 138 f. : il. color., grafs., tabs., mapas.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira.  
Co-orientadora: Profa. Dra. Milene Sabino Lana.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de  
Minas. Núcleo de Geotecnia.

1. Taludes - Teses. 2. Rodovias - Teses. 3. Desabamento - Teses. I. Universidade  
Federal de Ouro Preto. II. Título.

CDU: 625-045.26

Catálogo: [sisbin@sisbin.ufop.br](mailto:sisbin@sisbin.ufop.br)

## **DEDICATÓRIA**

À minha família. Em especial, à minha mãe, meu maior exemplo de vida, e à Natália, pelo amor e companheirismo.

# AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela oportunidade concedida.

Agradeço ao prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira, por todo apoio proporcionado para a consolidação desta conquista. Pelo incentivo e colaboração durante a realização das disciplinas obrigatórias; pelos ensinamentos de geologia de engenharia; pela orientação, trabalhos de campo e revisão desta dissertação. Além disso, sou grato pela convivência, sempre sincera e amigável.

À prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Milene Sabino Lana, pela orientação e auxílio, bastante pertinente, colaborando tecnicamente para a fundamentação teórica deste trabalho.

Aos professores do Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas (NUGEO) pelo aprendizado adquirido.

Aos colegas do NUGEO, pela convivência durante a realização das disciplinas obrigatórias. Em especial, ao Eng<sup>o</sup> Marcos Lemos, pelos meses de estudo em conjunto.

À Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, pelo ensino público gratuito e de alta qualidade.

Ao Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Espírito Santo (DER-ES), nas pessoas do Eng<sup>o</sup> Eduardo Antônio Mannato Gimenes (Diretor Geral) e do Eng<sup>o</sup> Octacílio Chamon (Gerente de Meio Ambiente).

Ao CNPq pelo suporte financeiro.

## RESUMO

A malha rodoviária brasileira está inserida num ambiente geológico bastante heterogêneo, onde trechos transpõem maciços rochosos diversos e descontínuos, com características geotécnicas muitas vezes desconhecidas ou incertas. Taludes rochosos são superfícies potencialmente instáveis, que freqüentemente condicionam quedas de blocos, afetando a segurança dos usuários de rodovias, a infra-estrutura dos transportes e o meio ambiente. O comportamento geológico-geotécnico dos maciços rochosos e as condições geométricas e de trafegabilidade das rodovias são aspectos fundamentais na avaliação do perigo de queda de blocos. Esta pesquisa busca aplicar um método de avaliação do perigo de queda de blocos rochosos em taludes de rodovias do Estado do Espírito Santo, objetivando a classificação e hierarquização dos segmentos com base em critérios definidos. O esforço deste trabalho corresponde a um primeiro passo para a correção de problemas em taludes de rodovias causados pelas quedas de blocos. A abrangência deste estudo esteve condicionada a levantamentos de campo, incluindo a aplicação de sistema de classificação geomecânica aos maciços cristalinos que constituem as litologias das encostas rodoviárias capixabas. O comportamento geomecânico dos maciços foi similar, atestando para taludes com boas propriedades geotécnicas, apesar de, na maioria das vezes, as discontinuidades constituírem planos com mergulho adverso à estabilidade dos taludes. Neste contexto, taludes rochosos em doze segmentos rodoviários do Espírito Santo foram investigados, a partir de parâmetros, visando à obtenção de um índice para expressar o grau de perigo aos condutores que trafegam pelos trechos, denominado índice de queda de blocos ( $I_{QB}$ ). O  $I_{QB}$  é obtido da soma de oito parâmetros: altura do talude, área de captação, risco médio ao veículo, porcentagem da distância de visibilidade, largura do pavimento, dimensão do bloco, condição climática e característica geológica. Os taludes foram analisados individualmente, avaliando-se a influência de cada parâmetro na pontuação global. A efetividade dos parâmetros no método adotado também foi avaliada. Os taludes problemáticos foram identificados, definindo-se ainda medidas prioritárias para intervenções em cada trecho, de forma a minimizar os problemas causados em cada segmento.

## ABSTRACT

The Brazilian roadways are inserted in a quite heterogeneous geological region, where roads transpose several discontinuous rock masses, with uncertain geotechnical characteristics or, a lot of times, ignored. Rock slopes are potentially unstable surfaces, which frequently condition rockfall movements, affecting highway users safety, the transports infrastructure and the environment. The geological-geotechnical behavior of rock masses and the geometric and traffic conditions of highways are fundamental aspects in rockfall evaluation. This research look for apply a method of rockfall evaluation in slopes of highways sections, aiming at slope classification and hierarchization with base in a defined criteria. The effort of this work corresponds to a first step for problems correction in highway slopes caused by rockfalls. The inclusion of this study was conditioned to field investigations, including geomechanics classification system application to crystalline rock masses that constitute the geology of Espírito Santo slopes on roads. Geomechanic's slopes behavior was similar, attesting for rock masses with good geotechnical properties, in spite of, most of the time, the discontinuities constitute plans with adverse dip to the slope stability. In this context, rock slopes in twelve Espírito Santo's road sections were investigated, from parameters, seeking the obtaining of an index to express the degree of hazard to drivers that travel at these highways, denominated rockfall index ( $I_{QB}$ ).  $I_{QB}$  is obtained from the sum of eight parameters: slope height, catchment area effectiveness, average vehicle risk, percentage of decision sight distance, roadway width, block size, climate and geologic characteristic. Slopes were analyzed individually, being evaluated the influence of each parameter in the global rating. The parameter's effectiveness in the adopted method was evaluated also. The slopes were nested, being defined still priority measures for interventions in each place, in way to minimize the roadway problems.



# ÍNDICE

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....     | 1 |
| 1.2 OBJETIVOS .....                | 2 |
| 1.3 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO .....    | 3 |
| 1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO ..... | 4 |

## **CAPÍTULO 2 – BASES CONCEITUAIS**

|   |    |
|---|----|
| 2.1 ASPECTOS GERAIS DAS QUEDAS DE BLOCOS .....                            | 5  |
| 2.2 CLASSIFICAÇÃO DAS QUEDAS DE BLOCOS .....                              | 11 |
| 2.3 CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DOS MACIÇOS ROCHOSOS .....                 | 15 |
| 2.4 DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE BLOCOS .....                                | 21 |
| 2.5 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E DE TRAFEGABILIDADE DE<br>RODOVIAS ..... | 25 |
| 2.5.1 Volume médio diário .....   | 25 |
| 2.5.2 Classificação técnica rodoviária .....                              | 26 |
| 2.5.3 Velocidade diretriz .....   | 27 |
| 2.5.4 Distância de visibilidade .....                                     | 28 |
| 2.6 AVALIAÇÃO DO PERIGO DE QUEDA DE BLOCOS EM RODOVIAS .....              | 29 |

## **CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA**

|   |    |
|---|----|
| 3.1 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS EXISTENTES ..... | 41 |
| 3.2 TRABALHOS DE CAMPO .....                    | 43 |

|   |    |
|---|----|
| 3.2.1 Levantamentos geométricos e de trafegabilidade dos segmentos rodoviários..... | 43 |
| 3.2.2 Características geológico-geotécnicas dos taludes .....                       | 45 |
| 3.3 ANÁLISE DA QUEDA DE BLOCOS .....  | 47 |
| 3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....  | 49 |

## **CAPÍTULO 4 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DO OBJETO DE ESTUDO**

|  |    |
|--|----|
| 4.1 LOCALIZAÇÃO, GEOLOGIA E ASPECTOS CLIMÁTICOS .....  | 51 |
| 4.2 PRINCIPAIS ASPECTOS DAS SEÇÕES INVESTIGADAS .....  | 55 |
| 4.2.1 Taludes ES-080 (1) e ES-080 (2).....             | 55 |
| 4.2.2 Talude ES-146 .....                              | 57 |
| 4.2.3 Talude ES-164 .....                              | 59 |
| 4.2.4 Taludes ES-166 (1), ES-166 (2) e ES-166 (3)..... | 60 |
| 4.2.5 Talude ES-181 .....                              | 65 |
| 4.2.6 Talude ES-355 .....                              | 65 |
| 4.2.7 Talude ES-482 .....                              | 67 |
| 4.2.8 Talude BR-259.....                               | 68 |
| 4.2.9 Talude BR-262.....                               | 70 |

## **CAPÍTULO 5 – PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DO PERIGO DE QUEDA DE BLOCOS NAS RODOVIAS DO ESPÍRITO SANTO**

|  |    |
|--|----|
| 5.1 ALTURA DO TALUDE .....                         | 73 |
| 5.2 EFETIVIDADE DA ÁREA DE CAPTAÇÃO.....           | 75 |
| 5.3 RISCO AO VEÍCULO .....                         | 77 |
| 5.4 PORCENTAGEM DA DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE ..... | 78 |
| 5.5 LARGURA DO PAVIMENTO.....                      | 80 |
| 5.6 DIMENSÃO DO BLOCO .....                        | 80 |
| 5.7 CONDIÇÃO CLIMÁTICA .....                       | 81 |

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 5.8 CARACTERÍSTICA GEOLÓGICA..... | 82 |
|-----------------------------------|----|

## **CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES**

|  |     |
|--|-----|
| 6.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS TALUDES E TRAFEGABILIDADE DOS SEGMENTOS RODOVIÁRIOS..... | 84  |
| 6.2 CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DOS TALUDES .....  | 86  |
| 6.2.1 Classificação RMR .....  | 86  |
| 6.2.2 Classificação SMR.....   | 88  |
| 6.3 PERIGO RELACIONADO À QUEDA DE BLOCOS .....   | 89  |
| 6.3.1 Talude ES-080 (1).....   | 91  |
| 6.3.2 Talude ES-080 (2).....   | 92  |
| 6.3.3 Talude ES-146 .....  | 93  |
| 6.3.4 Talude ES-164 .....  | 95  |
| 6.3.5 Talude ES-166 (1).....   | 96  |
| 6.3.6 Talude ES-166 (2).....   | 97  |
| 6.3.7 Talude ES-166 (3).....   | 97  |
| 6.3.8 Talude ES-181 .....  | 99  |
| 6.3.9 Talude ES-355 .....  | 99  |
| 6.3.10 Talude ES-482 .....   | 100 |
| 6.3.11 Talude BR-259.....  | 102 |
| 6.3.12 Talude BR-262.....  | 103 |
| 6.4 ANÁLISE DOS PARÂMETROS UTILIZADOS NA CLASSIFICAÇÃO DOS TALUDES .....                     | 104 |
| 6.4.1 Altura do talude .....   | 105 |
| 6.4.2 Efetividade da área de captação.....   | 106 |
| 6.4.3 Largura do pavimento.....  | 110 |
| 6.4.4 Porcentagem da distância de visibilidade .....   | 111 |
| 6.4.5 Perigo médio ao veículo .....  | 113 |
| 6.4.6 Condição climática .....   | 115 |
| 6.4.7 Dimensão dos blocos .....  | 116 |
| 6.4.8 Característica geológica .....   | 120 |
| 6.5 PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS PRIORITÁRIAS .....   | 122 |

**CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....126

7.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....129

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....131**

**ANEXO .....137**

## Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1 – Exemplo de processo de queda de blocos em taludes rochosos cristalinos, modificado de Carvalho (1991).  | 6  |
| Figura 2.2 – Trajetórias de queda de blocos em taludes (Ritchie, 1963).  | 7  |
| Figura 2.3 – Trajetórias em cortes verticais de acordo com Pierson <i>et al</i> (2001).  | 8  |
| Figura 2.4 – Ábaco de Ritchie (1963) para a determinação da largura (L) e da profundidade (P) da área de captação em função da altura e do ângulo de inclinação do talude (adaptado de FHWA, 1989).                    | 10 |
| Figura 2.5 – Formas de rupturas dos taludes (Hoek & Londe, 1974).  | 12 |
| Figura 2.6 – Queda de blocos comum em rochas sedimentares (Carvalho, 1991).  | 15 |
| Figura 2.7 – Relação entre volume e $J_v$ , para vários formatos de blocos (Palmström, 1982).  | 25 |
| Figura 3.1 – Fluxograma das atividades desenvolvidas âmbito da presente pesquisa.  | 41 |
| Figura 3.2 – Medida do comprimento longitudinal do talude.   | 44 |
| Figura 3.3 – Uso de bússola equipada com clinômetro do tipo Brunton para o levantamento das principais atitudes das descontinuidades dos maciços rochosos.   | 46 |
| Figura 4.1 – Localização dos pontos estudados dentro da malha rodoviária do Estado do Espírito Santo.  | 52 |
| Figura 4.2 – Mapa geológico do Espírito Santo, obtido a partir de banco de dados da CPRM (Leite <i>et al</i> , 2004; Silva <i>et al</i> , 2004), com ênfase nas unidades geológicas presentes nos pontos investigados. | 54 |
| Figura 4.3 – Fotografia área da região do entorno da rodovia ES-080, na qual foram identificados os taludes analisados.  | 56 |
| Figura 4.4 – Talude estudado (a) na ES-080 (1) e (b) na ES-080 (2).  | 57 |
| Figura 4.5 – Fotografia aérea da região do entorno da seção ES-146.  | 58 |
| Figura 4.6 – Vista de parte do talude da rodovia ES-146.   | 58 |
| Figura 4.7 – Fotografia aérea da região do entorno do talude ES-164.   | 59 |
| Figura 4.8 – Vista de parte do talude ES-146.  | 60 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 4.9 – Vista aérea do talude ES-166 (1), onde nota-se a sinuosidade da geometria do segmento rodoviário. | 61  |
| Figura 4.10 – Vista parcial do segmento rodoviário onde se situa o talude ES-166 (1).                          | 61  |
| Figura 4.11 – Vista parcial do talude ES-166 (2).  | 62  |
| Figura 4.12 – Vista parcial do talude ES-166 (3).  | 63  |
| Figura 4.13 – Vista aérea dos taludes ES-166 (2) e ES-166 (3).   | 63  |
| Figura 4.14 – Vista aérea do talude ES-181.  | 64  |
| Figura 4.15 – Vista parcial do talude ES-181.  | 65  |
| Figura 4.16 – Imagem aérea do talude ES-355.   | 66  |
| Figura 4.17 – Detalhe do estado de fraturamento do talude ES-355.  | 66  |
| Figura 4.18 – Imagem aérea do talude ES-482, situadao em forte curva horizontal.                               | 67  |
| Figura 4.19 – Vista parcial do talude ES-482.  | 68  |
| Figura 4.20 – Imagem área do talude BR-259.  | 69  |
| Figura 4.21 – Visão geral da seção BR-259, onde se observa o maior fraturamento na porção superior do maciço.  | 69  |
| Figura 4.22 – Imagem aérea do talude BR-262, município de Conceição do Castelo.                                | 70  |
| Figura 4.23 – Vista geral do talude investigado na BR-262.   | 71  |
| Figura 5.1 – Esquema utilizado para cálculo da altura do talude através de relação trigonométrica.             | 74  |
| Figura 5.2 – Área de captação de blocos ao longo de rodovias sob cortes rochosos.                              | 76  |
| Figura 5.3 – Variação da distância de visibilidade em função da inclinação e da velocidade diretriz.           | 79  |
| Figura 6.1 – Valores de RMR obtidos para cada seção estudada.  | 86  |
| Figura 6.2 – Destruição de canaleta de drenagem no pé do talude ES-146 devido à queda de bloco.                | 94  |
| Figura 6.3 – Blocos de tamanho médio (placas) formados no talude ES-166 (3).                                   | 98  |
| Figura 6.4 – Ruptura de blocos grandes em forma de placa na BR-262.  | 103 |
| Figura 6.5 – Relação entre o índice $I_{AT}$ e altura de cada talude nas seções investigadas.                  | 105 |
| Figura 6.6 – Comparação entre a largura real e de projeto para a área de captação.                             | 107 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 6.7 – Comparação entre a profundidade real e de projeto para a área de captação.                                    | 107 |
| Figura 6.8 – Índice obtido para a área de captação ( $I_{AC}$ ).   | 108 |
| Figura 6.9 – Blocos contidos na área de captação de trecho da rodovia ES-164.  | 109 |
| Figura 6.10 – Variação da largura do pavimento nas seções investigadas e sua relação do o índice $I_{LP}$ .                | 110 |
| Figura 6.11 – Variação do $I_{LP}$ nos trechos investigados.   | 111 |
| Figura 6.12 – Variação pontuação $I_{DV}$ em função da distância de visibilidade nas seções correspondentes a cada talude. | 112 |
| Figura 6.13 – Pontuação da categoria porcentagem da distância de visibilidade.   | 113 |
| Figura 6.14 – Pontuação geral do $I_{RV}$ de cada segmento referente aos taludes estudados.                                | 114 |
| Figura 6.15 – Variação exponencial das pontuações obtidas quanto ao RMV.   | 114 |
| Figura 6.16 – Variação do índice condição climática em função da precipitação pluviométrica anual média.                   | 116 |
| Figura 6.17 – Valores de $I_{CC}$ para cada seção rodoviária investigada.  | 116 |
| Figura 6.18 – Variação de $I_{DB}$ em função da dimensão do bloco.   | 119 |
| Figura 6.19 – Valores obtidos para o índice $I_{DB}$ em cada talude.   | 119 |
| Figura 6.20 – Variação de $I_{CG}$ em função do SMR.   | 120 |
| Figura 6.21 – Valores para o índice característica geológica ( $I_{CG}$ ) para cada talude.                                | 121 |

## Lista de Tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 2.1 – Classificação dos movimentos de encosta segundo Varnes (1978).   | 11 |
| Tabela 2.2 – Classificação dos movimentos de massa (Augusto Filho, 1992).   | 13 |
| Tabela 2.3 – Classificação de campo da resistência dos materiais rochosos e correlação com a resistência à compressão uniaxial, segundo Brown (1981). | 16 |
| Tabela 2.4 – Parâmetros e pontuações da classificação RMR (Bieniawski, 1989).   | 20 |
| Tabela 2.5 – Resumo da classificação SMR (Romana, 1985).  | 21 |
| Tabela 2.6 – Classificação para o volume dos blocos (Palmström, 1995).  | 25 |
| Tabela 2.7 – Classes de projeto e critérios de classificação técnica de acordo com o DNER (1999).   | 29 |
| Tabela 2.8 – Velocidades diretrizes para traçados em função da classe de projeto e do relevo (DNER, 1999).  | 29 |
| Tabela 2.9 – Valores para coeficientes de atrito longitudinal (DNER, 1999).   | 31 |
| Tabela 2.10 – Categorias e pontuações do sistema RHRS (Pierson e van Vickle, 1993).   | 33 |
| Tabela 2.11 – Pontuação das categorias que compõem o fator geológico (Hadjin, 2002).  | 35 |
| Tabela 2.12 – Sistemas de avaliação de queda de blocos utilizados mundialmente.   | 39 |
| Tabela 3.1 – Classe de projeto, VMD e velocidade diretriz das seções rodoviárias, segundo o Plano Diretor Rodoviário do Espírito Santo.               | 44 |
| Tabela 3.2 – Simbologias e equações adotadas para cada parâmetro avaliado na análise dos taludes.   | 48 |
| Tabela 3.3 – Parâmetros, equipamentos e referências adotadas.   | 49 |
| Tabela 4.1 – Taludes selecionados para análise no presente trabalho.  | 51 |
| Tabela 4.2 – Caracterização climática na região dos taludes estudados.  | 55 |
| Tabela 5.1 – Variação índice $I_{AT}$ em função da altura do talude (H).  | 75 |
| Tabela 5.2 – Variação do índice $I_{RV}$ em função do perigo médio ao veículo obtido na seção.  | 77 |
| Tabela 5.3 – Variação do índice $I_{DV}$ em função porcentagem da distância de  |    |



|  |     |
|--|-----|
| visibilidade obtida na seção (DV).   | 79  |
| Tabela 5.4 – Variação do índice $I_{LP}$ em função da largura do pavimento da rodovia.   | 80  |
| Tabela 5.5 – Variação do índice $I_{DB}$ em função da dimensão estimada para os blocos delimitados pelas descontinuidades dos maciços.                   | 81  |
| Tabela 5.6 – Variação do índice $I_{CC}$ em função da precipitação anual acumulada média.  | 82  |
| Tabela 5.7 – Variação do índice $I_{CG}$ em função do comportamento geomecânico avaliado nos taludes, de acordo com Romana (1985).                       | 83  |
| Tabela 6.1 – Resultados obtidos durante a coleta de dados da altura dos taludes.   | 85  |
| Tabela 6.2 – Rampas longitudinais, distância de visibilidade de projeto e real.  | 85  |
| Tabela 6.3 – Ponderação dos parâmetros do sistema RMR de Bieniawski (1989) para os taludes.  | 87  |
| Tabela 6.4 – Valores dos parâmetros do sistema SMR de Romana (1985).   | 88  |
| Tabela 6.5 – Classificação dos taludes pelo sistema SMR de Romana (1985).  | 89  |
| Tabela 6.6 – Proposta de classificação para taludes rochosos em rodovias do Estado do Espírito Santo.  | 90  |
| Tabela 6.7 – Resultado total dos índices propostos para cada talude investigado.   | 91  |
| Tabela 6.8 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-080 (1).   | 92  |
| Tabela 6.9 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-080 (2).   | 93  |
| Tabela 6.10 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-146.  | 94  |
| Tabela 6.11 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-164.  | 95  |
| Tabela 6.12 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-166 (1).  | 96  |
| Tabela 6.13 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-166 (2).  | 97  |
| Tabela 6.14 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-166 (3).  | 98  |
| Tabela 6.15 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-181.  | 99  |
| Tabela 6.16 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-355.  | 100 |
| Tabela 6.17 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-482.  | 101 |
| Tabela 6.18 – Pontuação referente às condições gerais do talude BR-259.  | 102 |
| Tabela 6.19 – Pontuação referente às condições gerais do talude BR-262.  | 104 |
| Tabela 6.20 – Dados da largura e profundidade das áreas de captação analisadas, segundo a situação real e o dimensionamento proposto por Ritchie (1963). | 106 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 6.21 – Valores obtidos para as variáveis que integram o cálculo da dimensão dos blocos. | 117 |
| Tabela 6.22 – Valores obtidos para a dimensão dos blocos e terminologia adotada.               | 118 |
| Tabela 6.23 – Resumo das intervenções prioritárias em cada talude.                             | 125 |

## Lista de Símbolos, Nomenclatura e Abreviações

|            |   |
|------------|---|
| <i>a</i>   | diferença entre as distâncias de visibilidade de decisão e parada         |
| AC         | altura do clinômetro  |
| ADT        | volume de tráfego   |
| $\alpha$   | ângulo medido pelo clinômetro   |
| $\alpha_2$ | quociente entre os espaçamentos médio e menor                             |
| $\alpha_3$ | quociente entre os espaçamentos maior e menor                             |
| $\beta$    | fator de formato ou forma do bloco  |
| CC         | comprimento do corte  |
| CPRM       | Serviço Geológico do Brasil   |
| <i>D</i>   | distância de visibilidade de parada                                       |
| DD         | profundidade real da área de captação                                     |
| DER-ES     | Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Espírito Santo           |
| DNER       | Departamento Nacional de Estradas de Rodagem                              |
| DNIT       | Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes                   |
| DNPM       | Departamento Nacional de Produção Mineral                                 |
| DSD        | distância de visibilidade de tomada de decisão                            |
| DV         | distância de visibilidade de parada                                       |
| DVP        | distância de visibilidade de projeto                                      |
| DVR        | distância de visibilidade real  |
| DW         | largura real da área de captação  |
| <i>f</i>   | coeficiente de atrito entre pneu e pavimento molhado                      |
| $F_p$      | fator passivo   |
| $F_a$      | fator ativo   |
| <i>F1</i>  | paralelismo entre as orientações das discontinuidades e da face do talude |
| <i>F2</i>  | probabilidade de resistência ao cisalhamento das discontinuidades         |
| <i>F3</i>  | relação entre a inclinação do talude e os mergulhos das discontinuidades  |
| <i>F4</i>  | fator relacionado ao método de escavação                                  |
| FHWA       | Federal Highway Administration  |
| FRHI       | Falling Rock Hazard Index   |

|            |  |
|------------|--|
| GF         | fator geológico  |
| $\gamma_i$ | ângulo da descontinuidade da família $i$                             |
| $H$        | altura do talude   |
| HEF        | fator de exposição humana  |
| $i$        | greide ou rampa longitudinal   |
| $I_{AT}$   | índice correspondente ao parâmetro altura do talude                  |
| $I_{AC}$   | índice correspondente ao parâmetro área de captura                   |
| $I_{RV}$   | índice correspondente ao parâmetro risco médio ao veículo            |
| $I_{DV}$   | índice correspondente ao parâmetro distância de visibilidade         |
| $I_{LP}$   | índice correspondente ao parâmetro largura do pavimento              |
| $I_{DB}$   | índice correspondente ao parâmetro dimensão do bloco                 |
| $I_{CC}$   | índice correspondente ao parâmetro condição climática                |
| $I_{CG}$   | índice correspondente ao parâmetro característica geológica          |
| INCAPER    | Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural |
| ISRM       | International Society of Rock Mechanics                              |
| $J_v$      | contador volumétrico   |
| $L$        | comprimento do corte   |
| $L_i$      | área do plano de fratura $i$   |
| LP         | largura do pavimento   |
| $n$        | número de anos decorridos após o ano base                            |
| $n_j$      | fator de ajuste do número de descontinuidades                        |
| $N_r$      | número de descontinuidades aleatórias                                |
| $r$        | razão da progressão geométrica                                       |
| RD         | profundidade ideal da área de captação                               |
| RV         | risco médio ao veículo   |
| RW         | largura ideal da área de captação                                    |
| RHRON      | Ontario Rockfall Hazard Rating System                                |
| RHRS       | Rockfall Hazard Rating System  |
| RQD        | Rock Quality Designation   |
| RMR        | Rock Mass Rating   |
| $S_i$      | espaçamento das descontinuidades da família $i$                      |
| $S_{max}$  | maior espaçamento das descontinuidades                               |

|            |   |
|------------|---|
| $S_{\min}$ | menor espaçamento das descontinuidades                  |
| SSD        | distância de visibilidade de parada                     |
| SF         | fator da seção rodoviária                               |
| SMR        | Slope Mass Rating                                       |
| $\sigma$   | resistência a compressão uniaxial                       |
| UTM        | sistema de coordenadas Universal Transverso de Mercator |
| V          | velocidade média de viagem                              |
| VD         | velocidade diretriz                                     |
| Vb         | volume do bloco   |
| $v_n$      | volume de tráfego no ano $n$                            |
| $v_0$      | volume de tráfego no ano base                           |
| VMD        | volume médio diário                                     |
| X          | distância em metros do ponto de medição                 |

# CAPÍTULO 1

---

## 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Toda escavação em rocha gera perigo de queda de blocos. Por isso, a construção de rodovias em regiões montanhosas ou rochosas constitui-se um grande desafio para geotécnicos, que após o término das obras necessitam monitorar milhares de quilômetros de estradas.

As rodovias implantadas em regiões de relevo ondulado a escarpado, geralmente possuem grande extensão de taludes rochosos. O incremento nas técnicas de corte dos maciços, bem como pressões ambientais sobre a ocupação de regiões de mananciais, estão contribuindo para o aumento da extensão dos taludes rochosos em rodovias.

Entretanto, os taludes são superfícies potencialmente instáveis, que frequentemente condicionam movimentos de massa, dentre eles, a queda de blocos. O grau e a natureza do perigo de queda de blocos em rodovias dependem de diversas características, tais como as geológico-estruturais dos maciços e as geométricas e de trafegabilidade dos segmentos rodoviários. Neste âmbito, as quedas de blocos podem afetar usuários das rodovias, o meio ambiente e a infra-estrutura dos transportes.

Diante da periculosidade do problema e da dificuldade de investigação e análise de centenas de quilômetros de rodovias montanhosas, que requerem controle de queda de blocos, países desenvolvidos trabalharam em sistemas de classificação de taludes que pudessem ser obtidos através de investigações de campo e cálculos simplificados. O objetivo destas classificações é identificar e hierarquizar locais particularmente perigosos, que demandem intervenções urgentes ou estudos detalhados futuros,

possibilitando às agências ou departamentos de estradas uma ação direcionada às intervenções nestes locais.

O desafio da construção de rodovias ao longo de maciços rochosos de forma segura aos usuários é uma tarefa árdua. Nestes locais, o potencial de queda de blocos é inerente aos trechos. Portanto, a necessidade de remediação dos pontos críticos é grande, da mesma forma que os custos de implantação desta.

## **1.2 OBJETIVOS**

Esta pesquisa busca aplicar um método de avaliação do perigo relacionado à queda de blocos rochosos em taludes de rodovias do Estado do Espírito Santo, de modo que estes possam ser classificados com base em critérios definidos e os pontos mais problemáticos identificados, sugerindo intervenções prioritárias.

A aplicação dessa metodologia, somada à experiência do profissional engajado no diagnóstico do problema, seria mais uma contribuição aos departamentos de estradas para o incremento da segurança rodoviária, acrescentando os resultados levantados aos projetos de reabilitação e melhoramento das estradas.

Para que os objetivos pudessem ser alcançados, algumas metas foram estabelecidas, dentre elas:

- Revisão bibliográfica dos conceitos de mecânica de rochas e geologia e engenharia voltada aos estudos do comportamento geomecânico dos maciços rochosos;
- Levantamento do estado da arte sobre os métodos de avaliação do perigo de queda de blocos em rodovias;
- Identificação de taludes de corte rochosos susceptíveis ao problema;
- Investigação geológico-geotécnica de taludes;
- Avaliação geométrica e de trafegabilidade das seções rodoviárias;

- Utilização de classificações geomecânicas como ferramentas de avaliação das características geotécnicas dos taludes;
- Adequação de métodos de avaliação do perigo de queda de blocos rochosos internacionalmente difundidos às características rodoviárias e litoestruturais presentes em território capixaba;
- Proposição de medidas ou intervenções prioritárias nas seções rodoviárias com criticidade ou perigo aos usuários.

### **1.3 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO**

A malha rodoviária brasileira está inserida num ambiente geológico bastante heterogêneo, onde as rodovias transpõem maciços rochosos diversos e descontínuos, com características geotécnicas muitas vezes desconhecidas ou incertas. Entretanto, no Brasil inexitem normas específicas dos departamentos de estradas que abordem este problema. A segurança do usuário e a preservação ambiental carecem de ferramentas que retratem, de forma racional, um grau aceitável de perigo de queda de blocos ao longo de taludes estradais.

Métodos de avaliação do perigo de queda de blocos em rodovias são importantes ferramentas de auxílio ao monitoramento de taludes potencialmente instáveis, através de estudos e investigações das características diretamente ligadas ao problema. Para se descrever, caracterizar e classificar áreas susceptíveis ao problema de queda de blocos em rodovias é necessário, entre outras ciências, amplo conhecimento da geotecnia, baseado nos conceitos da geologia de engenharia e mecânica de rochas.

O diagnóstico dos maciços rochosos com elevados problemas geotécnicos, amparado a um banco de dados elaborado de maneira criteriosa, pode fornecer aos órgãos gestores de estradas subsídios para intervenção nos locais de maior perigo. No entanto, além de definir locais problemáticos, é necessário que medidas preventivas sejam realizadas, buscando sempre a segurança do usuário da rodovia.



## **1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO**

O trabalho foi dividido em 7 Capítulos, sendo este o primeiro. No Capítulo 2 é apresentada uma revisão de literatura técnico-científica abrangendo os principais aspectos e classificações das quedas, conceitos fundamentais das classificações geomecânicas de maciços rochosos voltadas para taludes e a determinação da dimensão de blocos rochosos em encostas. As características geométricas e de trafegabilidade de projetos rodoviários também são abordadas, além do estado da arte sobre avaliação do perigo de queda de blocos em rodovias.

Descrições dos métodos e técnicas de coleta e análise de dados existentes, além dos procedimentos de investigações de campo são apresentadas no Capítulo 3 “Metodologia”.

No Capítulo 4 “Características Gerais do Objeto de Estudo” são apresentados os principais aspectos dos taludes rochosos estudados, incluindo a localização, geologia e aspectos climáticos relevantes para o desenvolvimento deste trabalho.

O método utilizado na avaliação do perigo de queda de blocos nas rodovias capixabas foi separadamente descrito no Capítulo 5 “Proposta de Avaliação do Perigo de Queda de Blocos nas Rodovias do Espírito Santo”. Neste capítulo foram abordados detalhadamente os oito parâmetros adotados na pontuação global dos taludes.

No Capítulo 6 “Resultados e Discussões” são apresentados os dados obtidos a partir das investigações de campo desenvolvidas, ilustrados na forma de gráficos, tabelas e figuras. Neste Capítulo também foram feitas discussões sobre a pesquisa, propiciando reflexões sobre a elaboração de proposta para investigação de taludes rochosos em rodovias capixabas, com ênfase na queda de blocos.

Finalmente, o trabalho se encerra com o Capítulo 7, “Conclusões e Sugestões para Pesquisas Futuras”.

## **CAPÍTULO 2**

---

### **2 – BASES CONCEITUAIS**

#### **2.1 ASPECTOS GERAIS DAS QUEDAS DE BLOCOS**

A queda de blocos rochosos (“rockfall”) corresponde ao destacamento de uma massa de rocha em encosta íngreme ou escarpada (Giani, 1992), existindo pouco ou nenhuma ruptura (deslocamento) por cisalhamento (Hoek & Bray, 1981). Os deslocamentos são muito rápidos, ocorrendo principalmente por queda livre, rolamento ou salto (Ahrendt, 2005). As quedas possuem dimensões geométricas variáveis, podendo ocorrer em forma de cubos, placas, lascas, entre outras (ISRM, 1978; Augusto Filho, 1992; Palmström, 1995).

Segundo Giani (1992), o início do fenômeno de queda de um bloco em um talude rochoso envolve condições iniciais de instabilidade, que causam o movimento de uma massa induzido pela ruptura do talude. A velocidade inicial do movimento de queda depende das condições de instabilidade e do posicionamento do bloco anteriormente à ruptura. De acordo com o autor, os principais modos de indução de instabilidade de taludes são: a pressão neutra nas descontinuidades; terremotos ou vibrações por detonações; pressões devido à formação de gelo nas descontinuidades e escavação.

Hoek (1998) afirma que diversos eventos podem deflagrar movimentos de queda, incluindo o aumento da pressão neutra devido à infiltração de água de chuva, o início de processos erosivos durante chuvas torrenciais, o intemperismo da rocha, a remoção do suporte original por escavação ou erosão e o crescimento de raízes vegetais. A Figura 2.1 exemplifica a evolução do processo de queda de blocos em taludes rochosos de corpos cristalinos em rodovias.

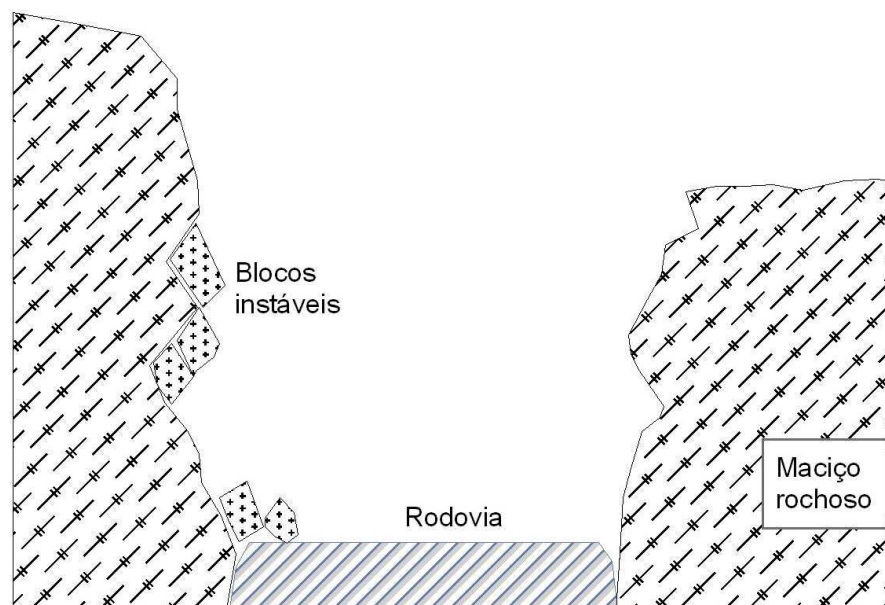


Figura 2.1 – Exemplo de processo de queda de blocos em taludes rochosos cristalinos, modificado de Carvalho (1991).

Para Hoek (1998) a identificação de potenciais riscos de queda de blocos não é uma tarefa fácil. A ruptura de alguns blocos é muito rápida e pode ser deflagrada a partir de pequenas deformações do maciço rochoso. Isto pode ocorrer quando forças agem nos planos de descontinuidades, as quais isolam um bloco de sua vizinhança, resultando no incremento da pressão neutra nas descontinuidades ou redução da resistência ao cisalhamento desses planos, em virtude da deterioração causada pelo intemperismo. O autor afirma ainda que estes eventos podem causar quedas de blocos rochosos de tamanhos significativos ou, em casos extremos, promover rupturas no talude.

Ritchie (1963) estudou os diversos fatores que influenciam a trajetória de um bloco rochoso. Alguns deles são o tamanho e o formato do bloco envolvido, a altura e o ângulo do talude, as características da superfície das encostas, o padrão das descontinuidades e o tipo de rocha.

Um bloco destacado de uma vertente rochosa pode movimentar-se durante um evento de queda de acordo com as seguintes trajetórias: queda livre, salto, rolamento e deslizamento (Figura 2.2). A trajetória de um bloco em queda livre ocorre comumente em taludes verticais. O salto é o movimento no qual ocorrem impactos entre o bloco em

queda e a superfície inclinada do talude. Já os movimentos de rolamento e deslizamento são observados em superfícies menos inclinadas, sendo diferenciados pelo comportamento mecânico dos blocos durante o movimento no talude (Ritchie, 1963; Giani, 1992).

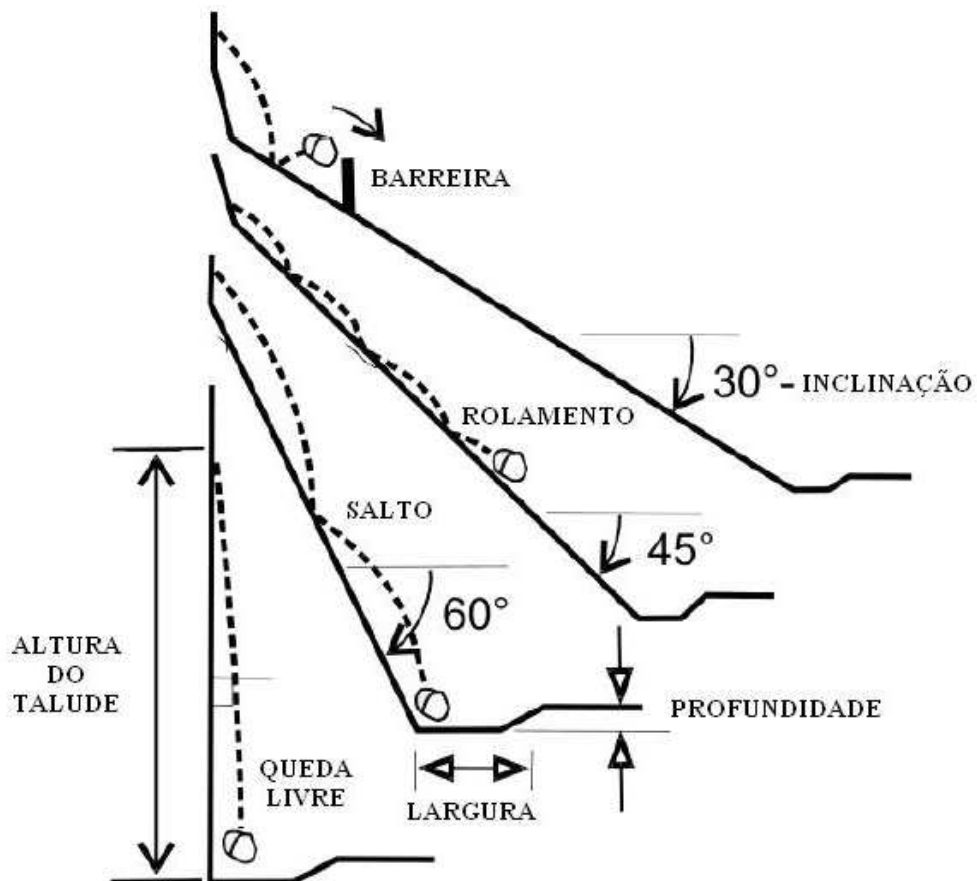


Figura 2.2 – Trajetórias de queda de blocos em taludes (Ritchie, 1963).

Pierson *et al* (2001) admitem que o ponto de impacto de um bloco em queda é fortemente influenciado pelas irregularidades da superfície do talude, denominadas feições de lançamento (“launch features”). Estas feições incluem sobre-escavações após a execução de detonações e outras protuberâncias decorrentes de características intrínsecas à rocha (fraturas, foliação, etc.).

Pierson *et al* (2001) também retratam que durante um evento de queda, um bloco rochoso pode deslocar-se tanto no sentido vertical, quanto no sentido horizontal,

dependendo da geometria e da presença de irregularidades no talude. A Figura 2.3 mostra algumas das trajetórias preferenciais de um bloco que se destaca de um maciço rochoso e adquire movimento em queda livre.

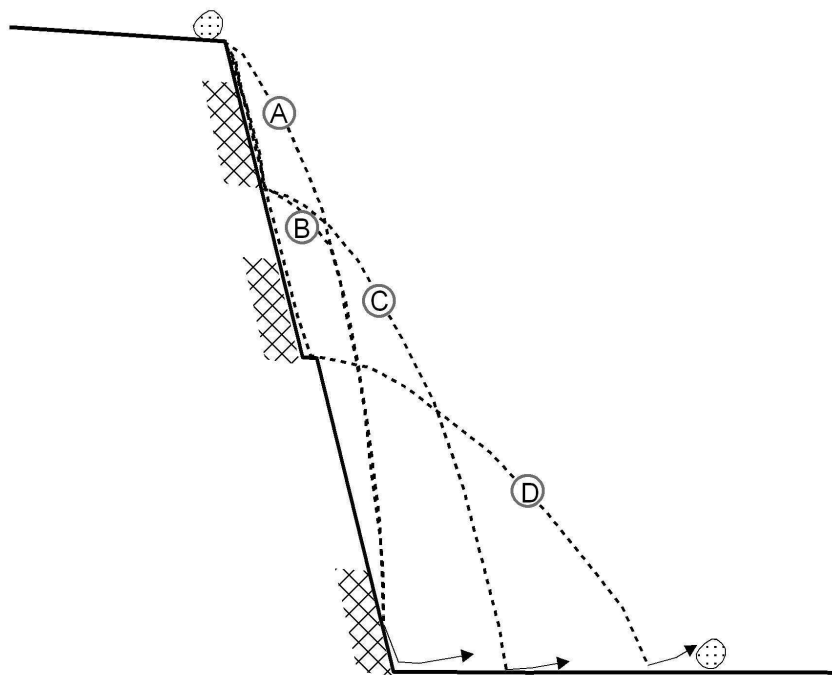


Figura 2.3 – Trajetórias em cortes verticais de acordo com Pierson *et al* (2001).

Blocos que adquirem trajetória “A”, apresentada na Figura 2.3, não tocam na face do talude até o impacto, resultando em pequenas distâncias medidas da base do talude. Quando o bloco segue a trajetória “B”, este entra em contato com o talude, mas não com feições de lançamento, fato que também reduz a distância do impacto após a queda. Aqueles que encontram feições de lançamento são direcionados para fora do talude, conforme pode ser observado nas trajetórias “C” e “D”.

Blocos interceptados por feições de lançamento podem atingir grandes distâncias, pois estas alteram o sentido vertical do movimento bloco, incrementando a trajetória horizontal. Pierson *et al* (2001) ressaltam que quanto maior a velocidade no momento do contato do bloco com a feição de lançamento, maior o deslocamento horizontal da massa rochosa.

Ritchie (1963) foi pioneiro no desenvolvimento de pesquisas sobre movimentos de queda de blocos em rodovias, realizando seu trabalho em estradas do Estado de Washington, EUA. O estudo enfatizou as características do movimento relativo de blocos em diferentes geometrias e alturas de taludes, determinando a distância de impacto estimada de um evento de queda a partir da base do talude. O autor também investigou como parar efetivamente um bloco rochoso em queda com movimento angular considerável após a chegada à valeta de proteção ou área de captação, estrutura presente na base de taludes rodoviários.

A área de captação ou captura de blocos rochosos é definida como a faixa entre o limite do pavimento da rodovia e a base do talude, funcionando como local de isolamento dos materiais destacados da faixa de rolamento estradal. Uso das áreas de captação para conter ou impedir a chegada de um bloco ao pavimento é uma das melhores e mais eficientes medidas de proteção para rodovias (Ritchie, 1963; Pierson *et al*, 2001).

O trabalho de Ritchie (1963) incluiu a observação de centenas de quedas de blocos em taludes rochosos e depósitos de tálus em rodovias, medindo e registrando as trajetórias dos blocos e as distâncias atingidas por estes durante os eventos. Os movimentos foram fotografados seguidamente, fornecendo subsídios para a definição das trajetórias preferenciais. Este estudo culminou no desenvolvimento de um critério prático para dimensionar a largura e a profundidade das áreas de captação de blocos na base dos taludes, a partir da altura e ângulo de inclinação da superfície do talude, sendo aplicado por uma tabela de referência de parâmetros de análise.

A tabela desenvolvida por Ritchie tornou-se uma ferramenta prática para dimensionamento de valetas em taludes rochosos, sendo utilizada frequentemente por projetistas rodoviários, principalmente na América do Norte, mesmo após mais de quatro décadas de sua elaboração (Pierson *et al*, 2001). Esta tabela foi posteriormente transformada em um ábaco (Figura 2.4), publicado pela FHWA - Federal Highway Administration (1989). A elaboração deste ábaco propiciou maior facilidade aos projetistas na manipulação dos dados, que anteriormente eram efetuados a partir da tabela original.

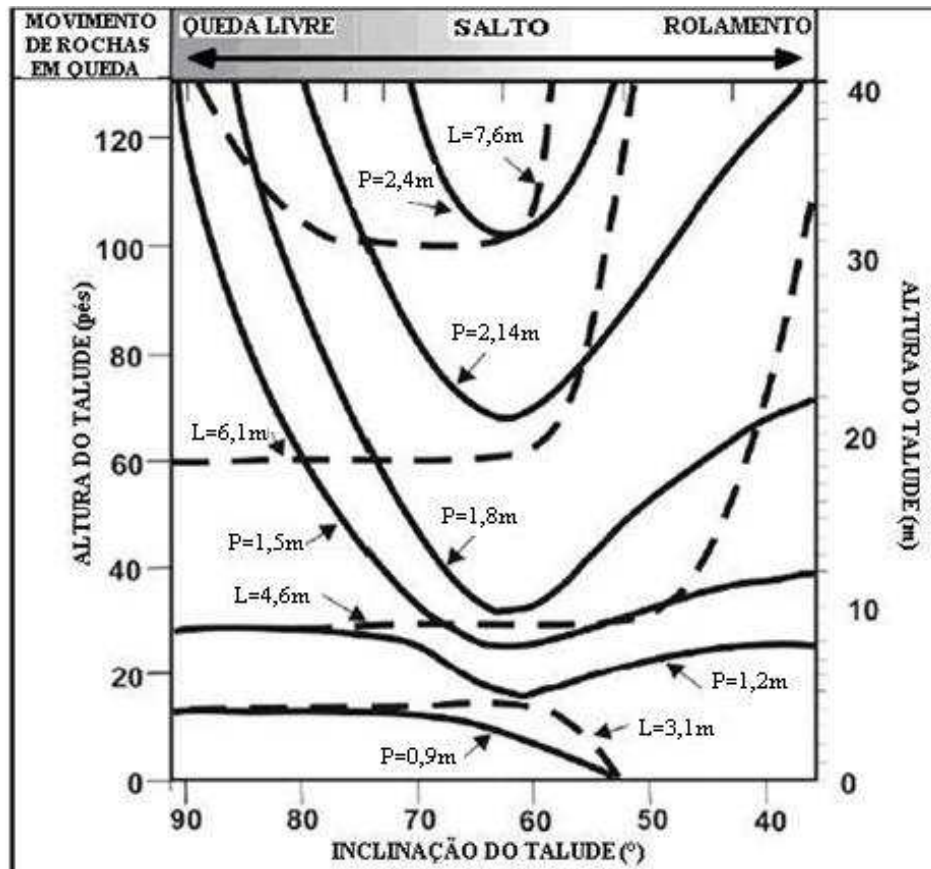


Figura 2.4 – Ábaco de Ritchie (1963) para a determinação da largura (L) e da profundidade (P) da área de captação em função da altura e do ângulo de inclinação do talude (adaptado de FHWA, 1989).

Dentre as diversas conclusões relevantes obtidas por Ritchie (1963), algumas devem ser destacadas. A primeira retrata que, independentemente do formato ou tamanho do bloco, a trajetória da queda é função da inclinação do talude. O autor constatou também que, em encostas íngrimes, mesmo que o movimento inicial de uma massa rochosa seja o rolamento, após curta distância, o bloco segue saltando sobre a superfície do talude, podendo até passar para a trajetória de queda livre, dependendo da inclinação da rampa. Também foi destacado por Ritchie (1963) que um bloco em queda livre raramente proporciona grandes saltos após o impacto, pois não há variação significativa do movimento linear para o angular.

Em complementação a esses estudos, diversos autores desenvolveram programas computacionais para auxílio na projeção de áreas de captação de blocos adequadas,

entre eles podem ser citados Hoek (1987), Wu (1987) e Pfeiffer e Higgins (1990). Os modelos matemáticos desenvolvidos a partir desses programas são ferramentas usuais para a previsão de trajetórias de blocos quando se têm informações detalhadas dos maciços.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DAS QUEDAS DE BLOCOS

Varnes (1978) enfatiza que os movimentos de massa, em geral, são deflagrados por uma cadeia de eventos que tende a aumentar as solicitações ou diminuir a resistência dos maciços. Na classificação dos movimentos de massa proposta pelo referido autor (Tabela 2.1), as quedas podem ser de materiais rochosos, detritos ou solos.

Tabela 2.1 – Classificação dos movimentos de encosta segundo Varnes (1978).

| Tipo de movimento   |               |                 | Tipo de material            |                               |                            |
|---|---------------|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
|   |               |                 | Rocha                       | Solo (engenharia)             |                            |
| Quedas  |               |                 | de rochas                   | de detritos                   | de solos                   |
| Tombamentos   |               |                 | de rochas                   | de detritos                   | de solos                   |
| Escorregamentos   | rotacional    | Poucas unidades | deslizamento de rochas      | deslizamento de detritos      | deslizamento de solos      |
|   | translacional | Poucas unidades | de blocos rochosos          | de blocos de detritos         | de blocos de solos         |
|   |               | Muitas unidades | de rochas                   | de detritos                   | de solos                   |
| Espalhamentos laterais  |               |                 | de rochas                   | de detritos                   | de solos                   |
| Escoamentos   |               |                 | de rocha (rastejo profundo) | de detritos (rastejo de solo) | de solos (rastejo de solo) |
| Complexos: combinação de 2 ou mais dos principais tipos de movimentos |               |                 |                             |                               |                            |

De acordo com Guidicini & Nieble (1983), a ruptura de um talude em rocha pode ocorrer de muitas formas, sendo dominada, na maioria das vezes, pela presença de descontinuidades preexistentes. A Figura 2.5 mostra as formas de ruptura em taludes rochosos segundo Hoek & Londe (1974).



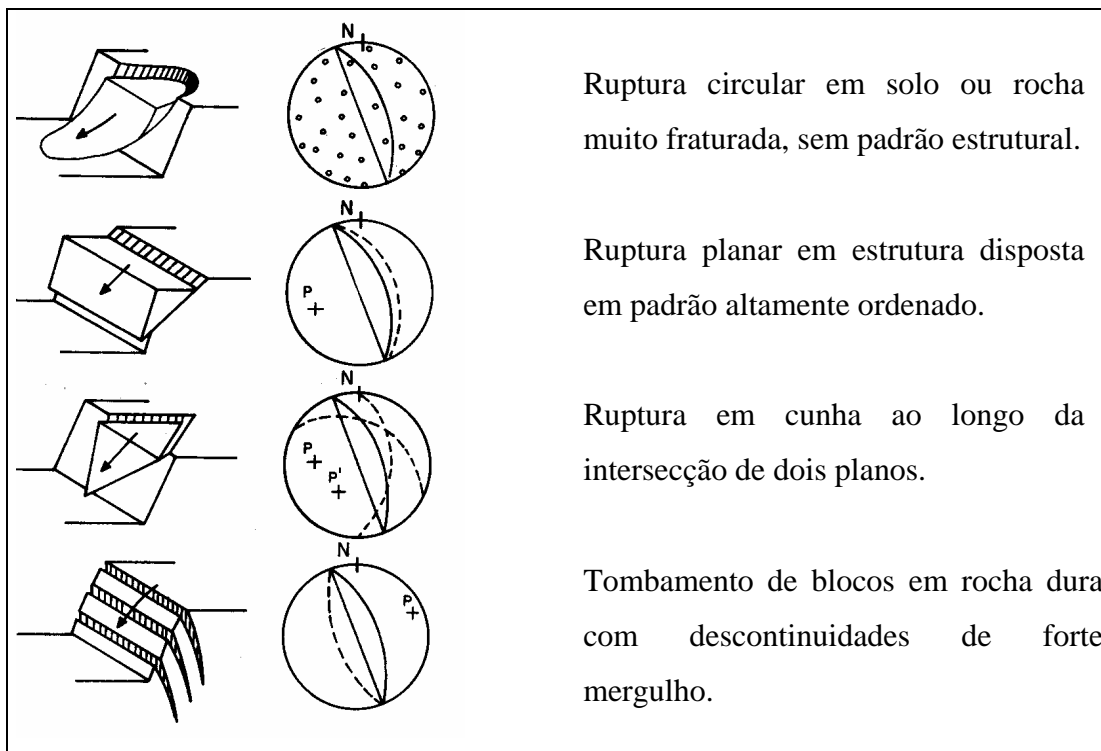


Figura 2.5 – Formas de rupturas dos taludes (Hoek & Londe, 1974).

Rupturas circulares ocorrem em maciços rochosos extremamente fraturados, em solos ou em maciços rochosos muito alterados, segundo uma superfície semelhante a uma calota de esfera. A ruptura planar acontece segundo descontinuidades predominantes e/ou contínuas, cuja direção é paralela (ou subparalela) à face do talude e que mergulham no mesmo sentido do mergulho do talude.

A ruptura em cunha é gerada a partir de duas descontinuidades distintas, cuja interseção propicia o rompimento de parte do talude. As condições e orientações das diferentes famílias de descontinuidades determinam as características e magnitude do evento. A ruptura por tombamento ocorre segundo famílias de descontinuidades predominantes e/ou contínuas, com mergulho vertical ou subvertical, cuja direção é aproximadamente paralela à face do talude. Esse tipo de ruptura se aproxima mais das quedas.

Augusto Filho (1992) descreveu os movimentos de massa de acordo com os tipos de processo, com as características do material e a geometria da encosta. Segundo o autor, quando o movimento de uma massa se dá por queda, não há planos de deslocamento, as

velocidades adquiridas são altas, podendo gerar tombamento e rolamento. Além disso, as quedas possuem dimensões geométricas variáveis, podendo ocorrer em forma de blocos, placas e lascas. A Tabela 2.2 apresenta as características dos principais movimentos de encosta na dinâmica ambiental brasileira segundo Augusto Filho (1992).

Tabela 2.2 – Classificação dos movimentos de massa (Augusto Filho, 1992).

| <b>Processos</b>              | <b>Características do Movimento, Material e Geometria</b>   |
|-------------------------------|---|
| Rastejo<br>("creep")          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vários planos de deslocamento (internos)</li> <li>• Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade</li> <li>• Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes</li> <li>• Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada</li> <li>• Geometria indefinida</li> </ul>   |
| Escorregamentos<br>("slides") | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poucos planos de deslocamento (externos)</li> <li>• Velocidades médias (m/h) a altas (m/s)</li> <li>• Pequenos a grandes volumes de material</li> <li>• Geometria e materiais variáveis</li> </ul> <p>Planares ⇒ solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza</p> <p>Circulares ⇒ solos espessos, homogêneos e rochas muito fraturadas</p> <p>Em cunha ⇒ solos e rochas com dois planos de fraqueza</p> |
| Quedas<br>("falls")           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sem planos de deslocamento</li> <li>• Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado</li> <li>• Velocidades muitas altas (vários m/s)</li> <li>• Material rochoso</li> <li>• Pequenos a médios volumes</li> <li>• Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.</li> <li>• Rolamento de matacão</li> <li>• Tombamento</li> </ul>   |
| Corridas<br>("flows")         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação)</li> <li>• Movimento semelhante ao de um líquido viscoso</li> <li>• Desenvolvimento ao longo das drenagens</li> <li>• Velocidades médias a altas</li> <li>• Mobilização de solo, rocha, detritos e água</li> <li>• Grandes volumes de material</li> <li>• Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas</li> </ul>                     |

Hutchinson (1988) separou as quedas em primárias ou secundárias, variando-as quanto à origem do destacamento: se ocorrem da rocha de origem são primárias e se ocorrem

quando matacões e massas já depositadas em encostas são destacadas, secundárias. Quando as quedas são primárias, o principal mecanismo que propicia o movimento é a pressão de água nas descontinuidades do maciço. Ahrendt (2005) destacou que a pressão de água provoca a separação das paredes da fratura, fato que acarreta no destacamento de uma massa rochosa. As quedas secundárias geralmente ocorrem devido ao enfraquecimento do material de sustentação dos blocos.

Carvalho (1991), em trabalho voltado à engenharia rodoviária, classificou as quedas em dois grupos distintos, sendo estes por estruturas residuais (ao longo das descontinuidades) ou por descalçamento (diferença nas taxas de erosão). As causas da queda devido a estruturas residuais estão relacionadas às descontinuidades do maciço rochoso, que propiciam a formação de blocos unitários de rocha, o aumento da pressão neutra através do acúmulo de água nas descontinuidades, além da penetração e do crescimento de raízes. O fenômeno é comum em rochas cristalinas de textura granular, granítico-gnaissicas, onde o intemperismo gera grandes matacões imersos em solo saprolítico ou na superfície da encosta, principalmente quando o fraturamento do maciço é desfavorável à estabilidade.

Segundo Carvalho (1991), a queda de blocos por descalçamento está relacionada a taludes formados por rochas sedimentares, muito comuns no Estado de São Paulo. Nas rodovias paulistas ocorrem cortes contendo intercalações de siltitos e arenitos, que possuem distintas resistências ao intemperismo. Os siltitos sofrem desagregação superficial (empastilhamento) numa velocidade superior aos arenitos, que perdem a sustentação. Carvalho (1991) menciona que as conseqüências do fenômeno podem ser graves em virtude das grandes dimensões (1 a 2 m<sup>3</sup>) dos blocos rochosos de arenito que frequentemente invadem a faixa de rolamento das vias. A Figura 2.6 ilustra este processo de queda de blocos em rochas sedimentares.

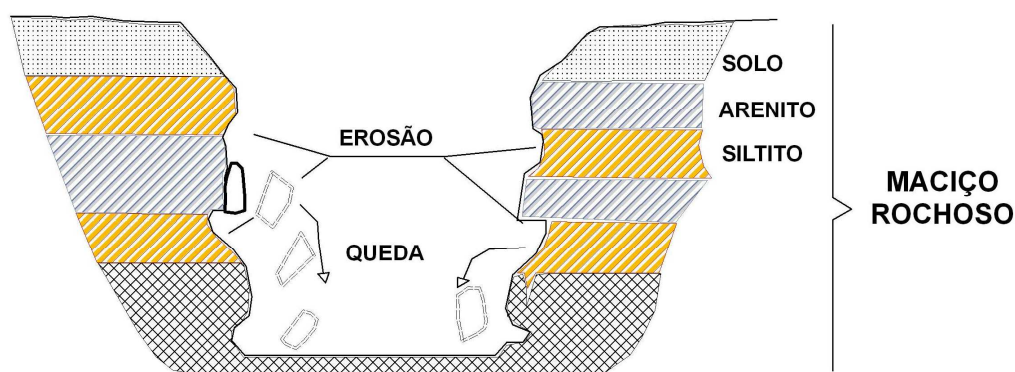


Figura 2.6 – Queda de blocos comum em rochas sedimentares (Carvalho, 1991).

## 2.3 CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DE MACIÇOS ROCHOSOS

Um maciço rochoso é um conjunto de blocos de rocha de dimensões e formas variadas, justapostos e articulados. O material que forma os blocos é a rocha intacta, e as superfícies que os limitam, as discontinuidades. É um meio descontínuo, heterogêneo, anisotrópico, constituído pelas rochas e as discontinuidades que o compartimentam (Fernandes, 2000). Para Palmström (1995), discontinuidade pode ser considerada qualquer feição estrutural ou geológica que altera a homogeneidade de um maciço rochoso.

A rocha intacta pode ser sã ou alterada. Quando não apresentar nenhum sinal de alteração, possuir alta resistência ao impacto com o martelo de geólogo, esta é classificada como sã. A qualidade das rochas está ligada essencialmente à sua gênese, à litologia, ao estado de alteração e à coerência. A Tabela 2.3 apresenta os valores de resistência global, segundo Brown (1981), que correlaciona inspeções de campo com a resistência a compressão uniaxial da rocha intacta.

Descontinuidade é o termo geral para qualquer feição geológica que interrompe a continuidade física do maciço rochoso, tendo baixa ou nula resistência à tração. É o termo coletivo para a maioria dos tipos de juntas, planos de acamamento, planos de

xistosidade, zonas de fraqueza e falhas (ISRM, 1978). Um conjunto de descontinuidades com mesma orientação e origem caracteriza uma família e um conjunto de famílias define um sistema de descontinuidades (Fernandes, 2000).

Tabela 2.3 – Classificação de campo da resistência dos materiais rochosos e correlação com a resistência à compressão uniaxial, segundo Brown (1981).

| <b>Grau</b> | <b>Descrição</b>              | <b>Identificação de campo</b>   | <b>Resistência (MPa)</b> |
|-------------|-------------------------------|---|--------------------------|
| R0          | Rocha extremamente fraca      | Marcada pela unha.  | 0,25-1,0                 |
| R1          | Rocha muito fraca             | Esmigalha-se sob o impacto do martelo de geólogo, pode ser raspada por canivete.                | 1,0-5,0                  |
| R2          | Rocha fraca                   | Pode ser raspada por canivete com dificuldade, marcada pôr firme pancada c/ a ponta do martelo. | 5,0-25                   |
| R3          | Rocha com resistência média   | Não pode ser raspada por canivete, amostras podem ser fraturadas com um único golpe do martelo. | 25-50                    |
| R4          | Rocha resistente              | Amostras requerem mais de um golpe de martelo para fraturar-se.                                 | 50-100                   |
| R5          | Rocha muito resistente        | Amostras requerem muitos golpes de martelo para fraturar-se.                                    | 100-250                  |
| R6          | Rocha extremamente resistente | Amostras podem somente ser lascadas com o martelo de geólogo.                                   | >250                     |

A distribuição espacial e os parâmetros geométricos das descontinuidades são fundamentais na concepção do modelo estrutural e de comportamento do maciço. As descontinuidades são descritas por parâmetros, tais como (ISRM, 1978):

- **Orientação:** atitude da descontinuidade no espaço. Definida pelo rumo do mergulho (azimute) e pelo mergulho da linha de maior inclinação sobre o plano da descontinuidade, dado pela interseção da descontinuidade com um plano horizontal imaginário.
- **Espaçamento:** é a distância medida perpendicularmente entre descontinuidades adjacentes de uma mesma família. Refere-se normalmente ao espaçamento médio ou modal de uma família de descontinuidades.

- Persistência: é a extensão do traço de uma descontinuidade ao longo de um afloramento. Pode representar a medida da extensão em área ou comprimento da penetração da descontinuidade.
- Abertura: é a distância perpendicular entre paredes adjacentes de uma descontinuidade, na qual o espaço intermediário é preenchido por solo, ar ou água.
- Rugosidade: é a ondulação relativa ao plano médio de uma descontinuidade ou rugosidade de uma superfície. A rugosidade e ondulação contribuem para incrementar a resistência ao cisalhamento.
- Resistência das paredes: é a resistência da interface, ao longo das paredes de uma descontinuidade, sendo afetada pelo grau de alteração das paredes.
- Preenchimento: é o material que preenche uma dada descontinuidade e que usualmente apresenta resistência mais baixa que a rocha intacta. Os materiais típicos de preenchimento são: areias, argilas, brechas, siltes, etc. Os materiais de preenchimento apresentam ampla gama de comportamentos físicos quanto à resistência, deformabilidade e permeabilidade.
- Percolação: corresponde ao fluxo de água e umidade livre, visíveis em descontinuidades individuais ou no maciço rochoso como um todo.
- Número de famílias: é o número de famílias que compõem um determinado sistema de descontinuidades. O maciço rochoso pode conter também descontinuidades individuais, como falhas, diques ou veios, que influenciam o comportamento de massas rochosas em geral.
- Tamanho de blocos: é definido pelo número das famílias de descontinuidades presentes e pelo espaçamento das famílias individuais, sendo um indicador importante do comportamento global do maciço rochoso. Descontinuidades individuais também podem interferir no tamanho e forma dos blocos.

A grande variabilidade das características dos maciços rochosos retrata a idéia de Bieniawski (1984), que advogou sobre a não existência de um único índice ou parâmetro que possa designar completamente o comportamento de um maciço rochoso.

O comportamento geomecânico das encostas é constantemente avaliado pelos geotécnicos para a obtenção de informações sobre a estabilidade dos taludes, a partir do diagnóstico da posição espacial, forma das discontinuidades e material de preenchimento. Essa avaliação pode ser realizada a partir das classificações dos maciços rochosos.

Gomes (1991) sustenta a idéia que as classificações geomecânicas são sistemas orientados que visam compartimentar os maciços rochosos em classes a partir de características geomecânicas, atribuindo notas, por meio de diversos parâmetros (geológicos, mecânicos e geotécnicos), de forma a homogeneizar segmentos com o mesmo comportamento.

Fernandes (2000) menciona que as classificações geomecânicas foram propostas inicialmente para escavações subterrâneas, mas diante da necessidade de se criar novas formas de classificação também para diferentes intervenções, outros sistemas foram desenvolvidos. Diversos pesquisadores propuseram sistemas de classificação de maciços rochosos para fins na engenharia, tais como Terzaghi (1946), Lauffer (1958), Deere *et al* (1967), Wickham *et al* (1972), Bieniawski (1973, 1989), Barton *et al* (1974) e Romana (1985).

Dentre as principais classificações geomecânicas elaboradas, as de Bieniawski (1973, 1989) e Romana (1985) serviram de suporte para o desenvolvimento de classificações aplicáveis a taludes rochosos rodoviários.

O RMR (“Rock Mass Rating”) proposto por Bieniawski (1973,1989) considera seis parâmetros que são utilizados para classificar um maciço rochoso:

- Resistência à compressão uniaxial da rocha intacta;
- RQD (“rock quality designation”);
- Espaçamento das discontinuidades;
- Condições das discontinuidades;
- Condições de água;

- Orientação das descontinuidades.

A resistência do material rochoso é caracterizada através da resistência à compressão simples. O RQD é expresso em termos percentuais e corresponde a um índice de recuperação modificado. Priest & Hudson (1976) propuseram método que correlaciona o RQD com o espaçamento das descontinuidades através da Equação 2.1:

$$RQD = 110 \cdot e^{-0,1/S} [(0,1/S) + 1] \quad (2.1)$$

Sendo S o espaçamento médio das descontinuidades, em metros.

O parâmetro referente ao padrão das descontinuidades (condições das descontinuidades) envolve características de abertura, persistência, rugosidade, alteração das paredes, espessura e o tipo de material de preenchimento.

A partir de notas atribuídas a esses seis parâmetros fixos, em função dos níveis de variação, procede-se à classificação nominal do maciço rochoso pelo somatório dos valores determinados, obtendo-se assim o índice RMR, que varia de 0 a 100, enquadrando o maciço em uma classe que represente a sua condição geral. O resumo desta classificação é apresentado na Tabela 2.4.

O SMR (“Slope Mass Rating”) de Romana (1985) é obtido a partir de um ajuste do RMR desenvolvido por Bieniawski, que é acrescido por um termo fatorial dependente da relação talude – descontinuidade e por um valor referente ao método de escavação, conforme apresentado na Equação 2.2. O resumo da classificação proposta por Romana é apresentado da Tabela 2.5.

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \quad (2.2)$$

Onde:



- *F1* depende do paralelismo entre as orientações das descontinuidades e da face do talude;
- *F2* refere-se ao mergulho das descontinuidades para o caso de rupturas planas, tornando-se, de certo modo, a medida da probabilidade de resistência ao cisalhamento das descontinuidades;
- *F3* avalia a relação entre o ângulo do talude e os mergulhos das descontinuidades;
- *F4* está relacionado aos diferentes métodos de escavação, isto é, se é um talude natural, se foi pré-fissurado, ou se foi detonado suavemente, normalmente ou defeituosamente.

Tabela 2.4 – Parâmetros e pontuações da classificação RMR (Bieniawski,1989).

| Parâmetro   | Intervalos   |   |   |   |  |      |     |
|---|--|---|---|---|--|------|-----|
|   | Resistência à compressão da rocha intacta (MPa)      | < 250   | 250-100   | 100-50  | 50-25  | < 25 |     |
| 25-5  |  |   |   |   |  | 5-1  | < 1 |
|   | 15   | 12  | 7   | 4   | 2  | 1    | 0   |
| RQD (%)   | 100-90   | 90-75   | 75-50   | 50-25   | <25  |      |     |
|   | 20   | 17  | 13  | 8   | 3  |      |     |
| Espaçamento (mm) entre as descontinuidades  | > 2000   | 2000-600  | 600-200   | 200-60  | <60  |      |     |
|   | 20   | 15  | 10  | 8   | 5  |      |     |
| Condição das descontinuidades (rugosidade, persistência, separação, intemperismo nas paredes e preenchimento) | Muito rugosas<br>Sem separação<br>Não intemperizadas | Ligeiramente rugosas<br>Separação < 1 mm<br>Ligeiramente intemperizadas | Ligeiramente rugosa<br>Separação < 1 mm<br>Altamente intemperizadas | Polidas ou preenchimento < 5 mm<br>ou<br>Separação 1-5 mm | Preenchimento > 5 mm<br>ou<br>Separação > 5 mm |      |     |
|   | 30   | 25  | 20  | 10  | 0  |      |     |
| Presença de água  | Completamente seco                                   | Úmido   | Molhado   | Gotejamento   | Fluxo abundante                                |      |     |
| (relação de poropressão)  | (0)  | (0-0,1)   | (0,1-0,2)   | (0,2-0,5)   | (0,5)  |      |     |
|   | 15   | 10  | 7   | 4   | 0  |      |     |
| Orientação da descontinuidade   | Muito favorável                                      | favorável   | razoável  | Desfavorável  | Muito desfavorável                             |      |     |
|   | 0  | - 5   | - 25  | -50   | -60  |      |     |

Tabela 2.5 – Resumo da classificação SMR (Romana, 1985).

| Fatores de ajustamento para descontinuidades ( $F_1, F_2, F_3$ )                             |                | $\alpha_j =$ direção da descontinuidade<br>$\alpha_s =$ direção do talude |                         |                       | $\beta_j =$ mergulho da descontinuidade<br>$\beta_s =$ mergulho do talude |                        |
|--|----------------|---|-------------------------|-----------------------|---|------------------------|
|  |                | Muito Favorável   | Favorável               | Razoável              | Desfavorável  | Muito desfavorável     |
| Ruptura planar<br>$ \alpha_j - \alpha_s  =$<br>Tombamento<br>$ \alpha_j - \alpha_s - 180  =$ |                | $> 30^\circ$  | $30^\circ - 20^\circ$   | $20^\circ - 10^\circ$ | $10^\circ - 5^\circ$  | $< 5^\circ$            |
| Valor de $F_1$   |                | 0,15  | 0,40                    | 0,70                  | 0,85  | 1,00                   |
| Relação  |                | $F_1 = (1 - \sin  \alpha_j - \alpha_s )^2$                                |                         |                       |   |                        |
| $\beta_j =$  |                | $< 20^\circ$  | $20^\circ - 30^\circ$   | $30^\circ - 35^\circ$ | $35^\circ - 45^\circ$   | $> 45^\circ$           |
| $F_2$  | Ruptura planar | 0,15  | 0,40                    | 0,70                  | 0,85  | 1,00                   |
|  | Tombamento     | 1,00  |                         |                       |   |                        |
| Relação  |                | $F_2 = \tan^2 \beta_j$  |                         |                       |   |                        |
| Ruptura planar<br>$ \beta_j - \beta_s  =$  |                | $> 10^\circ$  | $10^\circ - 0^\circ$    | $0^\circ$             | $0^\circ - (-10^\circ)$   | $< (-10^\circ)$        |
| Tombamento<br>$ \beta_j + \beta_s  =$  |                | $< 110^\circ$   | $110^\circ - 120^\circ$ | $> 120^\circ$         | -   | -                      |
| Valor de $F_3$   |                | 0   | -6                      | -25                   | -50   | -60                    |
| Fatores de ajustamento para o método de escavação  |                | Talude natural  | Pré-fissuramento        | Detonações suaves     | Detonações normais  | Detonações defeituosas |
| Valor de $F_4$   |                | +15   | +10                     | +8                    | 0   | -8                     |

## 2.4 DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE BLOCOS

O tamanho de blocos é um indicador importante para a avaliação do maciço rochoso, porém não é uma tarefa simples. Esta dimensão é determinada a partir do espaçamento e persistência das descontinuidades, bem como pelo número de famílias que delineiam potenciais blocos (ISRM, 1978). Em solos, a determinação do tamanho das partículas pode ser facilmente obtida a partir de ensaios granulométricos. Em taludes rochosos, a

dimensão dos blocos é estimada a partir da distribuição das descontinuidades, que por sua vez varia bastante nos maciços.

Palmström (1995) relata que a resistência à compressão, módulo de deformabilidade, resistência ao cisalhamento, dilatação, condutividade, modo de ruptura, comportamento tensão-deformação, etc., são fatores que podem explicar a formação de blocos nos maciços rochosos. O autor destaca que as descontinuidades são potenciais limites de blocos.

Palmström (1995) afirma também que existem inúmeras maneiras de dimensionamento de blocos num maciço rochoso. A seleção do método a ser utilizado em uma investigação geotécnica dependerá da facilidade na observação do afloramento e seu fraturamento exposto, do nível de qualidade dos dados coletados, do tipo e custo do levantamento de campo e da experiência do geotécnico.

Estes métodos podem ser divididos em 3 grupos: (i) volumes determinados a partir do espaçamento das descontinuidades; (ii) medidos diretamente no campo ou em testemunhos de sondagem e (iii) métodos para definir volumes equivalentes, quando as descontinuidades não delineiam blocos.

Para 3 famílias de descontinuidades, Palmström (1995) propõe a relação apresentada na Equação 2.3 para a determinação do volume dos blocos:

$$V_b = \frac{S_1 \times S_2 \times S_3}{\text{sen } \gamma_1 \times \text{sen } \gamma_2 \times \text{sen } \gamma_3} \quad (2.3)$$

Onde:

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  são os ângulos entre as famílias de descontinuidades;

$S_1, S_2, S_3$  são os espaçamentos das descontinuidades de cada família.

Nos casos em que blocos individuais podem ser observados na superfície, o volume pode ser estimado diretamente, selecionando um grupo representativo de blocos e

medindo suas dimensões. A partir de testemunhos de sondagem onde a presença de descontinuidades delineaia fragmentos, pode-se também determinar o volume de blocos. Como esta tarefa é bastante trabalhosa e onerosa, ISRM (1978), Palmström (1995) e muitos outros autores utilizam a correlação com o RQD e o contador volumétrico  $J_v$  (Equação 2.4).

$$RQD = 115 - 3,3J_v \quad (2.4)$$

O índice  $J_v$ , de acordo com Palmström (1995), equivale ao número de descontinuidades em um volume unitário do maciço rochoso (Equação 2.5).

$$J_v = \sum \frac{1}{S_i} \quad (2.5)$$

Sendo

$S_i$  o espaçamento médio das descontinuidades da família  $i$ , em metros.

Palmström (1995) esclarece que descontinuidades aleatórias também podem ser incluídas neste cálculo. Por exemplo, num espaço de 5 metros, o valor do contador volumétrico pode ser expresso pela Equação 2.6.

$$J_v = \sum (1/S_i) + Nr/5 \quad (2.6)$$

Onde  $Nr$  corresponde ao número de descontinuidades aleatórias na área observada.

Quando o fraturamento no maciço é composto por uma ou duas famílias, com nenhuma ou poucas descontinuidades aleatórias, blocos definidos não são formados. Palmström (1995) demonstrou então algumas simplificações para a obtenção de um volume aproximado. Em vários casos, descontinuidades aleatórias ou zonas de fraqueza, como o bandamento de gnaisses, determinam dimensões de blocos.

Nestes casos, Palmström (1995) propõe a utilização do volume de bloco equivalente (“*equivalent block volume*”). Além de observações de campo, o autor descreve algumas relações para dimensionamento de blocos para maciços com diferentes famílias de descontinuidades.

Na existência de apenas uma família de descontinuidades, o volume pode ser calculado pela área do plano da fratura ( $L1^2$ ), multiplicado pelo espaçamento  $S1$ , conforme Equação 2.7:

$$Vb = L1^2 \times S1 \quad (2.7)$$

Para duas famílias de descontinuidades com espaçamentos  $S1$  e  $S2$  e comprimento médio  $L$ , a seguinte relação pode ser utilizada (Equação 2.8):

$$Vb = S1 \times S2 \times L \quad (2.8)$$

Quanto maior o tamanho dos blocos, menor será o número de descontinuidades penetrando o maciço rochoso. Assim, Palmström (1995) aponta uma relação inversa entre o volume dos blocos e o número de descontinuidades.

Devido ao contador volumétrico  $J_v$  e ao volume dos blocos  $Vb$  variarem em função do espaçamento entre as descontinuidades, existe uma relação entre esses parâmetros (Palmström, 1982). A diferença é que  $J_v$  varia apenas com o espaçamento entre as descontinuidades, enquanto  $Vb$  depende do tipo ou formato do bloco. A Figura 2.7 apresenta relação desenvolvida por Palmström (1982) para a determinação do volume do bloco a partir do contador volumétrico  $J_v$ , para vários formatos de blocos. A Tabela 2.6 mostra classificação para o volume dos blocos conforme proposta de Palmström (1995).

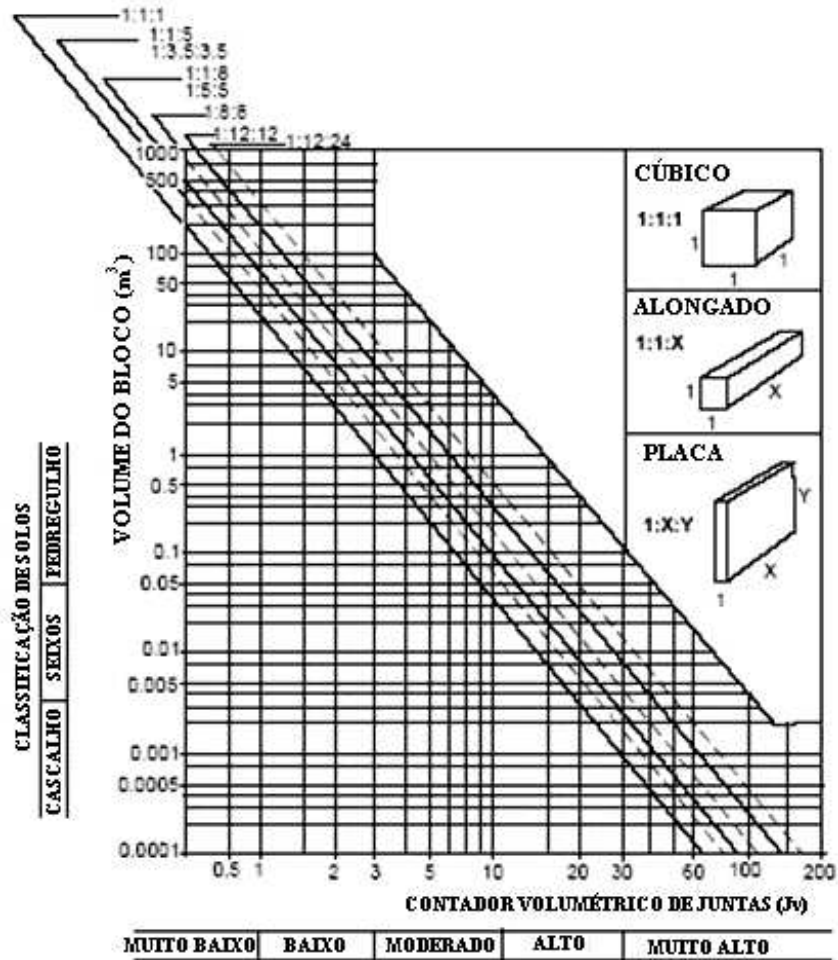


Figura 2.7 – Relação entre volume e  $J_v$ , para vários formatos de blocos (Palmström, 1982).

Tabela 2.6 – Classificação para o volume dos blocos (modificado de Palmström, 1995).

| Termo para o grau de fraturamento (ou densidade das juntas) | Termo para a dimensão do bloco | Volume do bloco ( $V_b$ ) | Valor de $J_v$ |
|---|--------------------------------|---------------------------|----------------|
| Extremamente alto   | Extremamente pequeno           | $< 10 \text{ cm}^3$       | $> 100$        |
| Muito alto  | Muito pequeno                  | $10 - 200 \text{ cm}^3$   | 30 - 100       |
| Alto  | Pequeno                        | $0,2 - 10 \text{ dm}^3$   | 10 - 30        |
| Moderado  | Moderado                       | $10 - 200 \text{ dm}^3$   | 3 - 10         |
| Baixo   | Grande                         | $0,2 - 10 \text{ m}^3$    | 1 - 3          |
| Muito baixo   | Muito grande                   | $10 - 200 \text{ m}^3$    | 0,3 - 1        |
| Extremamente baixo (maciça)                                 | Extremamente grande            | $> 200 \text{ m}^3$       | $< 0,3$        |

A correlação entre os dois parâmetros, entretanto, necessita ser ajustada ou corrigida pelo formato dos blocos e pelo ângulo entre as famílias de descontinuidades. O valor de  $J_v$  determinado para três famílias de descontinuidades interceptando-se em ângulos retos é expressa pela Equação 2.9.

$$J_v = \frac{1}{S} + \frac{1}{S} + \frac{1}{S} = \frac{S2 \times S3 + S1 \times S2 + S1 \times S3}{S1 \times S2 \times S3} = \frac{S2 \times S3 + S1 \times S2 + S1 \times S3}{Vb_0} \quad (2.9)$$

Onde  $S1$ ,  $S2$  e  $S3$  são os espaçamentos entre as descontinuidades.

Utilizando  $Vb_0 = Vb \times \text{sen}\gamma_1 \times \text{sen}\gamma_2 \times \text{sen}\gamma_3$  para outros ângulos de intercessão, a seguinte expressão pode ser utilizada (Equação 2.10):

$$J_v = \frac{S2 \times S3 + S1 \times S2 + S1 \times S3}{Vb \times \text{sen}\gamma_1 \times \text{sen}\gamma_2 \times \text{sen}\gamma_3} \quad (2.10)$$

Aplicando-se  $\alpha_2 = S2/S1$ ,  $\alpha_3 = S3/S1$ , considerando  $S3 > S2 > S1$ , e  $S1^3 = Vb_0 / (\alpha_2 \times \alpha_3)$ , a Equação 2.10 pode ser expressa sob a forma (Equação 2.12):

$$J_v^3 = \frac{(\alpha_2 + \alpha_2 \times \alpha_3 + \alpha_3)^3}{(\alpha_2 \times \alpha_3)^2} \times \frac{1}{Vb \times \text{sen}\gamma_1 \times \text{sen}\gamma_2 \times \text{sen}\gamma_3} = \frac{\beta}{Vb \times \text{sen}\gamma_1 \times \text{sen}\gamma_2 \times \text{sen}\gamma_3} \quad (2.11)$$

$$Vb = \beta \times J_v^{-3} \times \frac{1}{\text{sen}\gamma_1 \times \text{sen}\gamma_2 \times \text{sen}\gamma_3} \quad (2.12)$$

Onde  $\beta$  é o fator de formato ou forma do bloco, equivalente a  $20 + 7 S_{\max}/S_{\min}$ , sendo  $S_{\max}$  e  $S_{\min}$  o maior e menor espaçamento entre as descontinuidades. O fator  $\beta$  depende principalmente das diferenças entre os espaçamentos das descontinuidades, isto é, do formato do bloco.

Nos casos em que os ângulos das faces do bloco são 90°, o volume dos blocos é obtido a partir da Equação 2.13.

$$Vb = \beta \times J_v^{-3} \quad (2.13)$$

De acordo com Palmström (1995), se três famílias de descontinuidades são identificadas e os valores de  $J_v$  e  $\beta$  são exatamente calculados, o volume dos blocos pode ser corretamente obtido a partir das Equações 2.12 e 2.13. Entretanto, geralmente, nem todas as faces dos blocos são conhecidas. Nestes casos o valor de  $\beta$  pode não ser adequadamente estimado.

Outra forma de estimar o valor de  $\beta$  pode ser utilizada quando menos de três famílias de descontinuidades estão presentes. Isto é feito a partir do ajuste por um fator  $n_j$ , de acordo com a Equação 2.14:

$$\beta = 20 + 7(S_{\max} / S_{\min})(3 / n_j) \quad (2.14)$$

Onde:

- $n_j = 3,0$  para 3 famílias de descontinuidades;
- $n_j = 2,5$  para 2 famílias e descontinuidades aleatórias;
- $n_j = 2,0$  para 2 famílias de descontinuidades;
- $n_j = 1,5$  para 1 família e descontinuidades aleatórias;
- $n_j = 1,0$  para 1 única família de descontinuidade.

## **2.5 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E DE TRAFEGABILIDADE DE RODOVIAS**

### **2.5.1 Volume médio diário**

O volume médio diário (VMD) representa o número médio de veículos que percorre uma seção ou trecho de uma rodovia por dia (DNIT, 2006). O VMD é obtido a partir de



pesquisas de tráfego, podendo o tráfego ser projetado para outros períodos (anos) em função do crescimento econômico dos municípios.

A Projeção Geométrica, também chamada de Projeção Exponencial, admite que o volume de tráfego cresce segundo uma progressão geométrica. Segundo DNIT (2006), o tráfego cresce de maneira relativamente lenta, podendo ser estimado de acordo com a Equação 2.15, rotineiramente empregada em estudos desse âmbito:

$$V_n = V_0(1 + a)^n \quad (2.15)$$

Onde:

$V_n$  = volume de tráfego no ano “n”;

$V_0$  = volume de tráfego no ano base;

$r$  = razão da progressão geométrica (fator de crescimento anual);

$n$  = número de anos decorridos após o ano base.

Na falta de informações de variáveis socioeconômicas, utiliza-se uma taxa de crescimento anual de 3%, próxima da taxa de crescimento econômico do país como um todo, o que resulta em uma função exponencial.

### **2.5.2 Classificação técnica rodoviária**

Os trechos integrantes da rede rodoviária nacional são agrupados, para fins de projeto, em cinco classes, numeradas de 0 a IV, correspondendo os menores números a características técnicas mais exigentes (DNER, 1999). A Tabela 2.7 apresenta um resumo dos critérios preliminares para a determinação das classes de projetos rodoviários.

Tabela 2.7 – Classes de projeto e critérios de classificação técnica de acordo com o DNER (1999).

| <b>Classe de projeto</b> | <b>Características</b> | <b>Crítérios de classificação</b>   |
|--------------------------|------------------------|---|
| 0                        | Via expressa           | Decisão administrativa  |
| I A                      | Pista dupla            | Rodovia com grande demanda de tráfego, mas sofre redução devido à frequência de acessos |
| I B                      | Pista simples          | VMD > 1400  |
| II                       | Pista simples          | VMD 700 - 1400  |
| III                      | Pista simples          | VMD 300 - 700   |
| IV A                     | Pista simples          | VMD 50 - 200  |
| IV B                     | Pista simples          | VMD < 50  |

### 2.5.3 Velocidade diretriz

Velocidade diretriz selecionada para fins de projeto da rodovia representa a maior velocidade com que determinado trecho pode ser percorrido em condições adequadas de segurança, mesmo com o pavimento molhado, sem a influência do tráfego. A Tabela 2.8 resume os valores das velocidades diretrizes a serem adotadas para diferentes classes de projeto (DNER, 1999).

Tabela 2.8 – Velocidades diretrizes para traçados em função da classe de projeto e do relevo (DNER, 1999).

| <b>Classe de projeto</b> | <b>Velocidades diretrizes para projeto (km/h)</b> |                 |                   |
|--------------------------|---|-----------------|-------------------|
|                          | <b>Relevo</b>                                     |                 |                   |
|                          | <b>Plano</b>                                      | <b>Ondulado</b> | <b>Montanhoso</b> |
| Classe 0                 | 120   | 100             | 80                |
| Classe I                 | 100   | 80              | 60                |
| Classe II                | 100   | 70              | 50                |
| Classe III               | 80  | 60              | 40                |
| Classe IV                | 80 - 60   | 60 - 40         | 40 - 30           |

#### 2.5.4 Distância de visibilidade

Pode ser entendida como padrão de visibilidade proporcionado ao motorista, de modo que sempre haja tempo para tomada de decisão visando à segurança. O padrão depende de características geométricas da rodovia, da superfície de rolamento, do clima, do comportamento do motorista e de características dos veículos (freios, suspensão, pneus, etc.). As distâncias de visibilidade consideradas em projetos rodoviários são as de parada, as de tomada de decisão e as de ultrapassagem (DNER, 1999).

A distância de visibilidade de parada é a que permite ao motorista, cuja vista se acha à altura de 1,10 m da pista, parar o veículo antes de alcançar um obstáculo com 0,15 m de altura. A extensão da via à frente que o condutor deve poder enxergar antes de iniciar uma ultrapassagem em uma via de duas faixas e mão dupla, para assegurar a bem sucedida conclusão da manobra e a não interferência com veículos se aproximando em sentido oposto é denominada distância de visibilidade de ultrapassagem. Distância de visibilidade de tomada de decisão é a distância necessária para que um motorista tome consciência de uma situação potencialmente perigosa, inesperada ou difícil de perceber, avalie o problema encontrado, selecione o caminho a seguir e empregue a velocidade adequada para realizar a manobra com eficiência e segurança (DNER, 1999).

Os valores das distâncias de visibilidade de parada são calculados pela fórmula geral da Equação 2.16 (DNER, 1999):

$$D = 0,7V + \frac{V^2}{255 \times (f + i)} \quad (2.16)$$

Onde:

D = distância de visibilidade de parada, em metros;

V = velocidade diretriz ou média de viagem, em km/h;

f = coeficiente de atrito entre pneu e pavimento molhado no caso de frenagem;

$i$  = greide, em m/m (positivo no sentido ascendente e negativo no sentido descendente).

Para efeitos de projeto, os valores do coeficiente de atrito entre pneu e pavimento molhado durante frenagem são apresentados na Tabela 2.9.

Tabela 2.9 – Valores para coeficientes de atrito longitudinal (DNER,1999).

| <b>Parâmetros</b>    | <b>Valores de f para velocidade diretriz</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Vel. diretriz (km/h) | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  | 110  | 120  |
| f                    | 0,40   | 0,37 | 0,35 | 0,33 | 0,31 | 0,30 | 0,29 | 0,28 | 0,28 | 0,27 |

## **2.6 AVALIAÇÃO DO PERIGO DE QUEDA DE BLOCOS EM RODOVIAS**

Quedas de blocos em rodovias podem ocorrer tanto em taludes naturais quanto nos de escavações. Quando um bloco atinge a rodovia torna-se um perigo aos usuários. Segundo Hoek (1988), Pierson & van Vickle (1993), Rose (2005) e muitos outros autores, nos EUA, centenas de milhões de dólares são gastos anualmente com manutenções em taludes rochosos e estruturas para mitigação de seções potencialmente instáveis em rodovias. Estes autores recordam que alguns Estados já sofreram muitas perdas, inclusive fatais.

O primeiro inventário de áreas problemáticas quanto às quedas e proposição de hierarquização de taludes foi desenvolvido por Brawner & Wyllie (1975). A partir deste trabalho, classificações de taludes rochosos rodoviários surgiram com o intuito de auxiliar a gestão de áreas críticas nas estradas. Num trabalho posterior, Wyllie (1987) propôs um procedimento mais criterioso para a determinação de taludes rochosos problemáticos ao especificar categorias que foram pontuadas exponencialmente, de acordo com a qualidade dos maciços.

No início da década de 90, baseado nos trabalhos antecedentes, um sistema de classificação de taludes rochosos voltado para rodovias foi desenvolvido por Pierson *et al* (1990). Denominado “Rockfall Hazard Rating System” (RHRS), o método implantado no Estado de Oregon (EUA) mostrou-se uma importante ferramenta de análise e prevenção do problema de queda de blocos nas estradas. Este sistema proporcionou inovação significativa ao incrementar os processos de identificação, avaliação e remediação dos maciços potencialmente instáveis.

O método RHRS avalia o grau de exposição da rodovia quanto a este risco utilizando importantes parâmetros que controlam o problema nos cortes em maciços rochosos. Os parâmetros estudados são: a altura do talude, a efetividade da área de captação, risco médio ao veículo, a porcentagem da distância de visibilidade de tomada de decisão, a largura do pavimento, as características geológico-estruturais do maciço, a dimensão dos blocos, o clima e o histórico de queda. A Tabela 2.10 apresenta um quadro contendo o resumo deste sistema.

O sistema é uma ferramenta de gestão para a determinação rápida de taludes rochosos que oferecem perigo aos usuários. As nove categorias do RHRS são enquadradas em quatro pontuações distintas, sendo permitido interpolações. O critério de pontuação aumenta exponencialmente de 3 a 81, possibilitando a distinção de taludes mais problemáticos ou perigosos. As encostas que possuem as maiores pontuações de acordo com o critério necessitam de prioridade na remediação.

Rose (2005) explica que a implantação do RHRS é baseada em seis passos:

1. Inventário dos taludes rochosos e criação de um banco de dados georreferenciado;
2. Avaliação preliminar do perigo potencial de queda de blocos;
3. Avaliação detalhada dos locais de maior potencial de queda de blocos;
4. Elaboração de projetos básicos e estimativas de custos das medidas de remediação;
5. Execução dos projetos;
6. Revisão anual e incremento do banco de dados.

Tabela 2.10 – Categorias e pontuações do sistema RHRS (Pierson & van Vickle, 1993).

| Categoria                                    |          | Critérios e pontuação   |  |   |  |                                       |
|--|----------|---|--|---|--|---------------------------------------|
|  |          | 3 pontos  | 9 pontos   | 27 pontos   | 81 pontos  |                                       |
| Altura do talude                             |          | 7,5 m   | 15,0 m   | 22,5 m  | 30 m   |                                       |
| Efetividade da área de captação              |          | Boa captura   | Captura moderada   | Captura limitada  | Sem captura  |                                       |
| Risco médio ao veículo                       |          | 25% do tempo  | 50% do tempo   | 75% do tempo  | 100% do tempo  |                                       |
| Porcentagem da distância de visibilidade     |          | 100%<br>Distância de visibilidade adequada                                | 80%<br>Distância de visibilidade moderada  | 60%<br>Distância de visibilidade limitada                             | 40%<br>Distância de visibilidade muito limitada  |                                       |
| Largura da rodovia                           |          | 13,2 m  | 10,8 m   | 8,4 m   | 6,0 m  |                                       |
| Característica geológica                     | Classe 1 | Condição estrutural   | Fraturas descontínuas, com orientação favorável                                    | Fraturas descontínuas, com orientação aleatória                       | Fraturas descontínuas, com orientação adversa  |                                       |
|  |          | Atrito nas descontinuidades   | Rugoso, irregular  | Ondulado  | Planar   | Preenchimento argiloso ou polido      |
|  | Classe 2 | Condição estrutural   | Poucas feições de erosão diferencial   | Feições de erosão diferencial ocasionais                              | Muitas feições de erosão diferencial   | Maiores feições de erosão diferencial |
|  |          | Diferença nas taxas de erosão   | Pequena diferença  | Diferença moderada  | Grande diferença   | Extrema diferença                     |
| Tamanho do bloco<br>Volume de queda / evento |          | 0,30 m<br>2,3 m <sup>3</sup>  | 0,60 m<br>4,6 m <sup>3</sup>   | 0,90 m<br>6,9 m <sup>3</sup>  | 1,20 m<br>9,2 m <sup>3</sup>   |                                       |
| Clima e presença de água no talude           |          | Baixa a moderada precipitação, sem a presença de neve, sem água no talude | Moderada precipitação ou curto período de neve ou baixa presença de água no talude | Alta precipitação ou longo período de neve ou água no talude contínua | Alta precipitação e longo período de neve ou água no talude contínua e longo período de neve |                                       |
| Histórico de queda                           |          | Poucas quedas   | Quedas ocasionais  | Muitas quedas   | Quedas constantes  |                                       |

Franklin & Senior (1997) propuseram um método de avaliação do perigo de queda de blocos para o Estado de Ontario (Canada). Denominado RHRS, o método é uma modificação do RHRS. Em Ontario, devido aos baixos taludes rochosos existentes, quando comparados aos de Oregon, cinco novos parâmetros foram adicionados

(orientação da descontinuidade/persistência, resistência ao cisalhamento da descontinuidade, durabilidade da água no talude, nível freático, potencial de interdição do tráfego) e outros redefinidos.

Bunce *et al* (1997) utilizaram uma metodologia para avaliação do risco de queda de blocos em uma rodovia utilizando parâmetros envolvendo probabilidades. Os autores trabalharam na estimativa de um veículo ser atingido por um bloco após a queda. No trecho estudado do Canadá, foi constatado que a cada ano, em condições particulares de trafegabilidade, a chance de uma queda atingir um veículo é de 1:10210. Outros autores, como Abbott *et al* (1998) e Hadjin (2002), também realizaram estudos probabilísticos.

Na província de Columbia Britânica (Canadá), Abbott *et al* (1998) desenvolveram um sistema para avaliação do risco de queda de blocos em ferrovias a partir de análises probabilísticas. O método é definido a partir da determinação da variável denominada “Derailment Risk” (DR), isto é, a probabilidade de certo volume de rocha atingir a via num local específico. DR é função do potencial de queda, da probabilidade de um bloco atingir a ferrovia e da probabilidade do bloco na ferrovia possuir geometria que causará danos ao trem (descarrilamento).

Conforme exposto por Hadjin (2002), no sistema desenvolvido pelo Departamento de Estradas de Nova Iorque (EUA), um risco relativo total (TRR), é calculado com base no fator geológico (GF), no fator da seção rodoviária (SF) e no fator de exposição humana (HEF). Apesar dos fatores serem similares ao RHRS, estes estão relacionados com probabilidades. O GF representa a probabilidade de ocorrer queda em determinado talude. Ocorrendo o destacamento de uma massa rochosa, o SF representa a probabilidade do bloco não ser contido na área de captação e atingir o pavimento. Uma vez que a queda atingiu a rodovia, o HEF representa a probabilidade de um bloco atingir ou ser atingido por um veículo. GF, SF e HEF são então multiplicados, como uma análise probabilística de risco, para a determinação do TRR.

O fator geológico (GF) utiliza seis parâmetros que controlam o comportamento físico dos taludes. Cinco desses parâmetros coincidem com o RHRS. Hadjin (2002) adicionou

a contribuição de possível bloco existente na face superior do talude, onde, em geral, as inclinações são mais suaves. A Tabela 2.11 mostra a base para o cálculo do GF.

Tabela 2.11 – Pontuação das categorias que compõem o fator geológico (Hadjin, 2002).

| Pontuação |   | 1 ponto                     | 3 pontos   | 9 pontos                                     | 27 pontos                                  | 81 pontos   |  |
|-----------|---|-----------------------------|--|--|--|---|--|
| ou        | 1 | Geologia (Cristalina)       | maciça, sem fraturas mergulhando para fora do talude | fraturas descontínuas orientações aleatórias | fraturas formando cunhas                   | fraturas descontínuas mergulhando para fora do talude | fraturas contínuas mergulhando para fora do talude |
|           | 1 | Geologia (sedimentar)       | mergulho ligeiramente horizontal                     | pequenos blocos ocasionais                   | pequenas sobre-escavações, pequenos blocos | sobre-escavações, grandes blocos instáveis            | descontinuidades mergulhando para fora do talude   |
| e         | 2 | Dimensão do bloco           | < = 0,15 m   | 0,15 – 0,3 m                                 | 0,3 – 0,6 m                                | 0,6 – 1,5 m   | > 1.5 m  |
|           | 3 | Atrito nas descontinuidades | rugoso, irregular                                    | ondulado                                     | planar                                     | liso, polido  | preenchido com argila                              |
|           | 4 | Água/Clima                  | seco   | alguma umidade                               | moderada umidade                           | alta umidade + vegetação                              | alta umidade + vegetação + face superior do talude |
|           | 5 | Histórico de quedas         | sem quedas (0-4/ano)                                 | poucas quedas (5-14/ano)                     | quedas ocasionais (15-24/ano)              | quedas regulares (25-34/ano)                          | Muitas quedas (35 + /ano)                          |
|           | 6 | Condições acima do talude   | plana 0 – 15°  | moderada 15 – 25°                            | ingrime 25 – 35°                           | muito ingrime > 35°                                   | muito ingrime > 35° + face superior do talude      |

O fator da seção rodoviária (SF) corresponde à avaliação das dimensões da área de captação em conformidade com o critério de Ritchie (1963). As dimensões reais e de projeto (ábaco de Ritchie) são relacionadas de acordo com a Equação 2.17.

$$SF = \frac{RW + RD}{DD + DW} \quad (2.17)$$

Onde:

RW é a largura ideal da área de captação (Ritchie, 1963);

RD é a profundidade ideal da área de captação (Ritchie, 1963);



DD é a profundidade real da área de captação;

DW é a largura real da área de captação.

O Fator de exposição humana (HEF) é dividido em duas partes: o fator passivo ( $F_P$ ) e o fator ativo ( $F_A$ ). O fator passivo tende a dominar o valor de HEF, pois caracteriza o perigo de um veículo colidir com um bloco previamente depositado sobre o pavimento. A Equação 2.18 apresenta fórmula para cálculo do  $F_P$ , a partir da distância de visibilidade de decisão (DSD), do comprimento do corte (L), do volume de tráfego (ADT) e da distância de visibilidade de parada (SSD).

$$F_P = \log_{10}(\text{ADT}) \times \log_{10}(L) \left( \frac{a}{\text{SSD} - a} \right) \quad (2.18)$$

Onde

$$a = (\text{SSD} - \text{DSD}) \text{ ou } 0 \text{ se } \text{DSD} > \text{SSD} \quad (2.19)$$

O segundo termo do fator HEF descreve a situação em que o condutor é surpreendido por um bloco em queda (Equação 2.20).

$$F_A = \text{ADT} \times ((L \times \text{SSD}) / (V \times 24.000)) \quad (2.20)$$

Onde V é o limite de velocidade, em km/h.

Hopkins *et al* (2003) criaram um banco de dados dos taludes rochosos potencialmente perigosos em Kentucky (EUA). Baseado no método RHRS (Pierson *et al* 1990), milhares de taludes rochosos foram investigados e cadastrados. Além de seções com perigo de queda de blocos, segmentos rodoviários com problemas de escorregamentos foram diagnosticados a partir do banco de dados geotécnico e melhorias (estabilização) foram orçadas através de planejamentos anuais.

Budetta (2004) baseou-se no método RHRS (Pierson *et al* 1990) ao avaliar a queda de blocos em rodovias italianas. O autor modificou as categorias “efetividade da área de

captação”, “característica geológica”, “tamanho do bloco”, “clima e presença de água no talude” e “histórico de queda”, adaptando-as ao contexto geológico e rodoviário do País. A principal modificação proposta por Budetta (2004) foi a incorporação do SMR (Romana, 1985) na avaliação geológica dos maciços rochosos, a partir da relação apresentada na Equação 2.21:

$$y = 3^{80/SMR} \quad (2.21)$$

Onde  $y$  corresponde ao valor da pontuação RHRS modificada, que varia de 0 a 100.

Singh (2004) propôs o “Falling Rock Hazard Index” (FRHI) para os maciços vulcânicos do Hawaii (EUA). O método foi derivado do RHRS, porém alguns dos dez parâmetros utilizados diferem da proposta inicial de Pierson *et al* (1990), como a inclinação do talude, a irregularidade da face do maciço e o método de escavação do mesmo. Após o estudo de 27 maciços e a identificação dos pontos críticos, o FRHI recomendou a utilização de telas plásticas para mitigar o problema de queda de blocos, porém não foram indicadas para taludes apresentando condições de instabilidade.

O Estado norte-americano do Tennessee desenvolveu seu sistema de gerenciamento de taludes rochosos, substituindo tradicionais fichas ou planilhas de campo por equipamentos digitais, que ao serem alimentados automaticamente, transferiam as informações ao banco de dados (Rose, 2005). O sistema calcula imediatamente os valores da pontuação de cada parâmetro, armazena fotografias digitais, coordenadas geográficas, etc., transferindo as informações em tempo real a um sistema de informações geográficas, tornando a tarefa mais econômica e eficiente.

Pack *et al* (2006), assim como Rose (2005), apresentaram ao Estado de Utah (EUA), um sistema de informações geográficas interligado ao gerenciamento de taludes rochosos quanto o problema de queda de blocos. O Departamento de Estradas local preferiu adotar a classificação apresentada por Hadjin (2002) em New York (EUA), pois a considera mais realística para as características de Utah. Diferentemente da proposta de

Hadjin (2002), Pack *et al* (2006) propuseram peso dois para os parâmetros dimensão do bloco e histórico de quedas, quando avaliada a característica geológica do maciço.

Eliassen & Springston (2007) também modificaram o RHRS, adequando-o ao Estado Norte-americano de Vermont. Foram identificados 3.600 taludes rochosos acima de 5 pés de altura (aproximadamente 1,6 metros). Baseado nas características geométricas das rodovias, nos aspectos geotécnicos das encostas e no conhecimento do histórico de quedas de blocos, 76% dos taludes foram considerados como de baixo perigo (quedas improváveis), 8% foram designados moderado (pequena chance de blocos atingirem o pavimento), 10% enquadraram-se em elevado (podem atingir a rodovia), 2% como significativo (grande probabilidade de queda) e 4% como alto (constantemente blocos atingem o pavimento).

A avaliação da característica geológica dos taludes no trabalho de Eliassen & Springston (2007) incluiu a identificação do tipo de rocha, as características das discontinuidades, a dimensão do bloco e o volume de queda. Os trabalhos de campo incluíram estimativa de custo de remediação dos taludes. Para os segmentos rodoviários onde foram identificados taludes considerados como alto perigo, um banco de dados georreferenciado foi criado objetivando auxiliar o monitoramento da encosta e das medidas adotadas.

Diversos outros autores também se destacam por trabalhos realizados envolvendo perigos relacionados à queda de blocos em rodovias e ferrovias mundialmente. A Tabela 2.12 apresenta alguns dos sistemas de classificação e hierarquização de taludes rochosos, existentes em diversos países.

Tabela 2.12 – Sistemas de avaliação do perigo de queda de blocos utilizados mundialmente.

| <b>Nome</b>                              | <b>Local</b>              | <b>Referências</b>                                       |
|--|---------------------------|--|
| Rockfall Hazard Rating System            | Oregon (EUA)              | Pierson <i>et al</i> (1990); Pierson & van Vickle (1993) |
| Unstable Slope Management System         | Washington (EUA)          | Ho & Norton (1991)                                       |
| Rockfall Hazard Rating System Modified   | Ontario (Canada)          | Franklin & Senior (1997)                                 |
| CN Rockfall Hazard Rating Assesment      | British Columbia (Canadá) | Abbott <i>et al</i> (1998)                               |
| Rock Slope Hazard Index                  | Escócia                   | McMillan & Matheson (1998)                               |
| New Priority Classification System       | Hong Kong (China)         | Wong (1998)  |
| Rockfall Hazard Rating System Modified   | New Hampshire (EUA)       | Fish & Lane (2002)                                       |
| Rockfall Hazard Index/Vector             | Lecco (Itália)            | Crosta & Agliardi (2002)                                 |
| Rockfall Hazard Rating System Modified   | New York (EUA)            | Hadjin (2002)  |
| Rockfall Hazard Rating System modificado | North Carolina (EUA)      | Kuhne (2002)   |
| Highway Rock Slope Management Program    | Kentucky (EUA)            | Hopkins <i>et al</i> (2003)                              |
| Rockfall Hazard Rating System Modified   | Idaho (EUA)               | Miller (2003)  |
| Rockfall hazard mapping                  | Valais (Suíça)            | Baillifard <i>et al</i> (2003)                           |
| Rockfall Hazard Rating System Modified   | Napole (Itália)           | Budetta (2004)   |
| Falling Rock Hazard Index                | Hawaii (EUA)              | Singh (2004)   |
| Tennessee Rockfall Management System     | Tennessee (EUA)           | Rose (2005)  |
| CDOT Rockfall Simulation Program         | Colorado (EUA)            | Gates <i>et al</i> (2005)                                |
| Rock Mass Classification For Rock Falls  | Missouri (EUA)            | Maerz <i>et al</i> (2005)                                |
| UDOT Rockfall Hazard Rating System       | Utah (EUA)                | Pack <i>et al</i> (2006)                                 |
| Rockfall Hazard Rating System Modified   | Vermont (EUA)             | Eliassen & Springston (2007)                             |

## CAPÍTULO 3

---

### 3 – METODOLOGIA

O desenvolvimento deste estudo baseou-se essencialmente no emprego de levantamentos geológico-geotécnicos de taludes rochosos e geométricos e de trafegabilidade de segmentos rodoviários, visando a classificação e hierarquização de trechos com problemas de quedas de blocos.

A metodologia do trabalho agrupou quatro fases distintas de estudo: (i) coleta e análise de dados existentes, (ii) definição dos pontos a serem estudados e investigações de campo, (iii) aplicação e adequação do método de avaliação do perigo de queda de blocos rochosos e (iv) análises globais dos resultados, envolvendo a identificação de trechos para intervenções e proposições de medidas prioritárias. Em diversas oportunidades as atividades foram realizadas simultaneamente, variando em função da necessidade de complementação das informações levantadas.

Na primeira etapa do trabalho, foi realizada a pesquisa bibliográfica sobre os principais conceitos que nortearam a pesquisa. Na segunda etapa realizaram-se investigações de campo, envolvendo a definição dos taludes de corte a serem estudados, levantamentos geométricos e de trafegabilidade das seções rodoviárias e geológico-geotécnicos dos taludes.

A aplicação do método de avaliação do perigo de queda de blocos em encostas rochosas rodoviárias foi realizada na terceira etapa do trabalho, na qual também foram efetuadas experiências para adequação à realidade das rodovias capixabas.

As análises globais dos resultados (quarta etapa) propiciaram a elaboração de uma proposta para investigação de taludes rochosos em rodovias capixabas, com ênfase na

queda de blocos. Ainda nesta etapa foram definidos os segmentos rodoviários que requerem intervenções prioritárias e propostas medidas a serem tomadas nestes locais.

A Figura 3.1 mostra fluxograma das atividades desenvolvidas no âmbito deste trabalho.

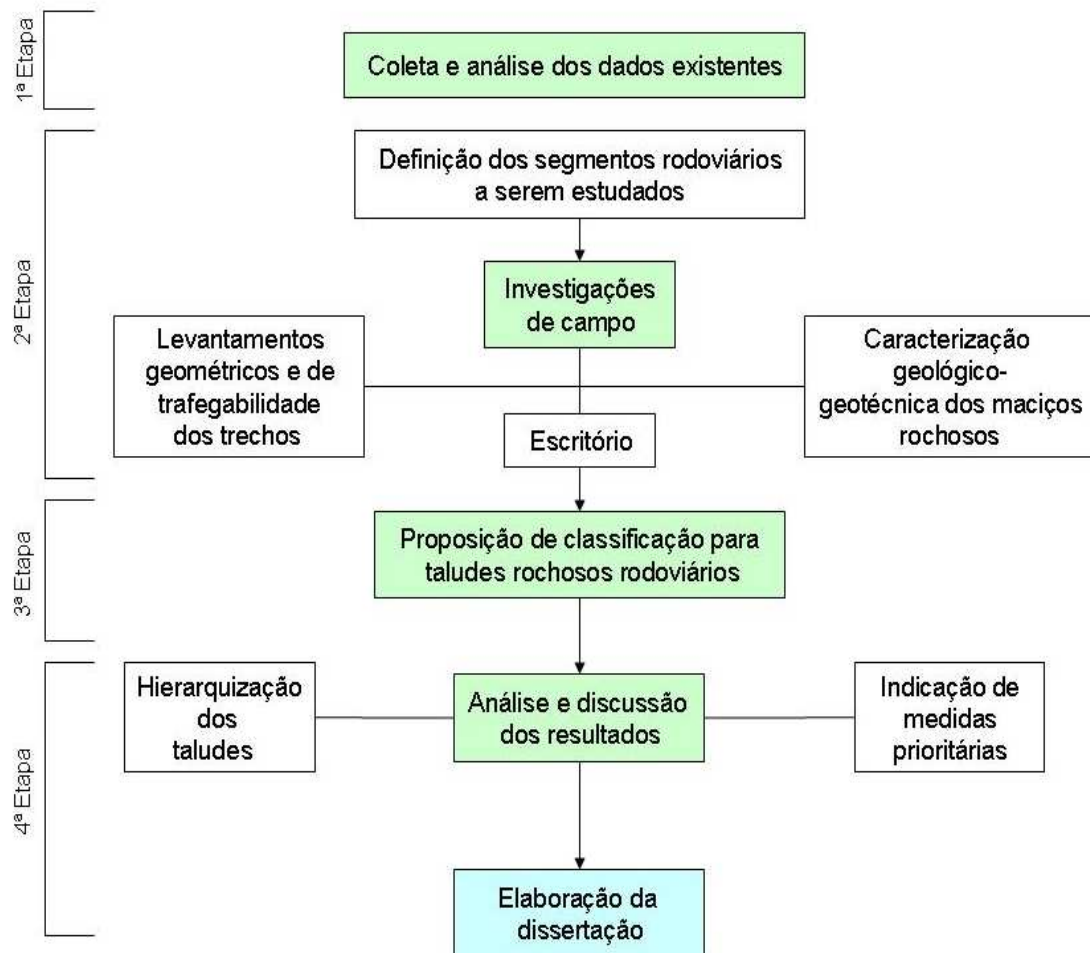


Figura 3.1 – Fluxograma das atividades desenvolvidas âmbito da presente pesquisa.

### 3.1 COLETA E ANÁLISE DE DADOS EXISTENTES

Como base técnica e científica para a execução do trabalho, procedeu-se a uma revisão da literatura técnica, englobando, num primeiro plano, os conceitos e princípios da geologia de engenharia e mecânica de rochas, aplicada a taludes de corte.

Foram abordados os aspectos gerais das quedas envolvendo os conceitos básicos do fenômeno, tipos de trajetórias e fatores que influenciam a dinâmica de massas rochosas em movimento de queda, exaustivamente estudados por Ritchie (1963).

As classificações das quedas proposta por alguns autores também foram analisadas. Além de abordagem sucinta sobre classificação de movimentos de massa, especial atenção foi despendida ao trabalho de Carvalho (1991), cujo foco principal está calcado na engenharia rodoviária.

A classificação geomecânica SMR de Romana (1985), voltada para taludes rochosos foi descrita na revisão bibliográfica, pois foi utilizada na avaliação do perigo de queda de blocos em maciços rochosos. A proposta de Romana é a obtenção de uma nota ao talude a partir do índice RMR de Bieniawski (1973), pela soma de um fator dependente da relação entre fratura e talude, e de outro fator, referente ao método de escavação.

Palmström (1995), visando determinar o volume de blocos em taludes, propôs correlações com o espaçamento e formato dos blocos para dimensioná-los. Juntamente com as proposições apresentadas em ISRM (1978), a dimensão de blocos em taludes foi discutida.

As características geométricas e de trafegabilidade de rodovias relacionadas aos estudos de movimentos de blocos em encostas foram descritas em conformidade com o preconizado pelos Órgãos gestores de estradas, o DNIT e o DER-ES, em especial.

Finalmente, foi apresentado o estado da arte a respeito das avaliações de quedas de blocos em rodovias. Diversos trabalhos em países desenvolvidos foram identificados, especialmente nos Estados Unidos, onde Pierson *et al* (1990) implementaram o sistema RHRS no Departamento de Estradas de Oregon (EUA), após basearem-se no trabalho pioneiro de Brawner & Wyllie (1975).

Esta etapa foi de fundamental importância para o desenvolvimento desta pesquisa, pois possibilitou a identificação dos avanços técnico-científicos que nortearam o estudo, principalmente no que diz respeito às metodologias internacionalmente existentes.

## **3.2 TRABALHOS DE CAMPO**

As investigações de campo foram realizadas ao longo do ano de 2008, estando voltada tanto para a seleção quanto para a caracterização de maciços rochosos presentes em diversas rodovias capixabas. Durante as campanhas foi dada ênfase aos aspectos relativos à construção da rodovia (geometria e trafegabilidade) e à caracterização geotécnica dos taludes.

### **3.2.1 Levantamentos geométricos e de trafegabilidade dos segmentos rodoviários**

Com a finalidade de caracterizar a geometria e a trafegabilidade da seção estradal de cada trecho estudado, foram obtidas as medidas da largura do pavimento, do tráfego de veículos (VMD), da distância de visibilidade, da altura e comprimento do talude, da área de captação e da rampa longitudinal à extensão do talude.

A largura do pavimento, as dimensões da área de captação, a distância de visibilidade real e o comprimento longitudinal dos segmentos rodoviários foram obtidos com auxílio de trena. As medidas dos ângulos para obtenção da geometria dos taludes foram registradas a partir de clinômetro. A rampa corresponde à declividade ou inclinação longitudinal da rodovia. Como não se dispunha de equipamentos topográficos, a determinação da rampa também foi realizada com o auxílio de clinômetro.

O tráfego de veículos das rodovias ou VMD foi obtido a partir das informações contidas no Plano Diretor Rodoviário do DER-ES, tanto para os trechos estaduais, quanto para os pertencentes à União. A velocidade diretriz e o volume médio diário (VMD) para cada rodovia estudada estão apresentados na Tabela 3.1. A classe de projeto é definida, entre outros itens, a partir dessas variáveis.



Tabela 3.1 – Classe de projeto, VMD e velocidade diretriz das seções rodoviárias, segundo o Plano Diretor Rodoviário do Espírito Santo.

| Rodovia  | Classe de projeto | VMD   | Velocidade Diretriz (km/h) |
|----------|-------------------|-------|----------------------------|
| ES – 080 | IB                | 1.568 | 60,0                       |
| ES – 146 | II                | 902   | 70,0                       |
| ES – 164 | IB                | 2.098 | 80,0                       |
| ES – 166 | IB                | 1.929 | 80,0                       |
| ES – 181 | II                | 1.522 | 70,0                       |
| ES – 355 | II                | 1.460 | 70,0                       |
| ES – 482 | IB                | 2.477 | 80,0                       |
| BR – 259 | IB                | 4.861 | 80,0                       |
| BR – 262 | IB                | 3.659 | 100,0                      |

O comprimento de cada corte foi medido a partir da distância longitudinal entre o início e o fim da região susceptível a eventos de queda, conforme pode ser visto Figura 3.2.

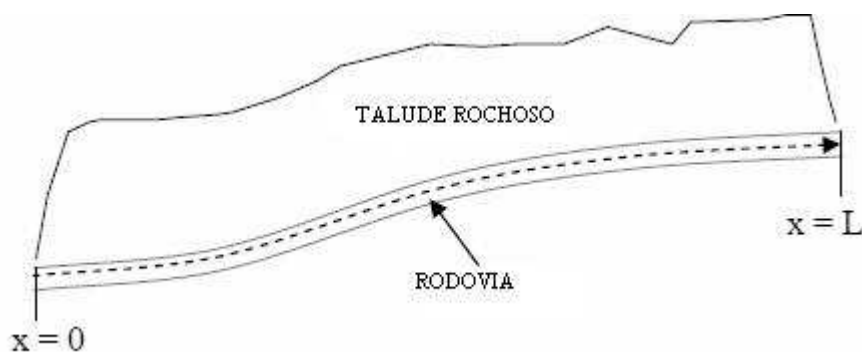


Figura 3.2 – Medida do comprimento longitudinal do talude.

### **3.2.2 Características geológico-geotécnicas dos taludes**

Com a finalidade de caracterizar o modelo estrutural básico de cada talude, fez-se uma análise geral dos maciços rochosos, com a obtenção de dados das principais estruturas geológicas presentes. Durante o levantamento, utilizou-se trena e bússola equipada com clinômetro do tipo Brunton, martelo de geólogo, canivete, sendo os dados registrados em ficha de campo. O modelo de ficha de campo utilizada segue no Anexo 1.

A caracterização dos maciços rochosos das seções foi obtida através do estudo das estruturas, representadas genericamente pelas descontinuidades do maciço, de acordo com os parâmetros indicados por ISRM (1978), Bieniawski (1973, 1989), Romana (1985), Pierson & van Vickle (1993) e Palmström (1995) para a descrição da condição estrutural dos maciços rochosos.

Nesta análise, o método adotado para a coleta dos dados consistiu na identificação das características de cada família de descontinuidade em cada seção, sendo descritas e mensuradas feições das descontinuidades de interesse para caracterização e classificação geomecânica do maciço rochoso. A Figura 3.3 mostra imagem da obtenção de atitudes das descontinuidades durante a investigação geológico-geotécnica dos afloramentos (taludes) em campo.

Os parâmetros quantitativos e qualitativos utilizados para a caracterização das descontinuidades foram: orientação, espaçamento, persistência, rugosidade das paredes, abertura, preenchimento, fluxo de água, número de famílias e tamanho de blocos.

As informações adquiridas em campo sobre as descontinuidades dos maciços foram tratadas para a obtenção de valores sobre a qualidade geomecânica dos taludes estudados. A aplicação da classificação de Bieniawski (1989) foi realizada a partir dos levantamentos de campo e dados contidos na literatura. Inicialmente, foram definidas as famílias de descontinuidades mais importantes que controlam o comportamento do maciço.



Figura 3.3 – Uso de bússola equipada com clinômetro do tipo Clar para o levantamento das principais atitudes das discontinuidades dos maciços rochosos.

Como não foram coletadas amostras para a realização de ensaios de compressão puntiforme por motivos operacionais, a resistência da rocha intacta (parâmetro 1) foi determinada com base nas propostas de identificação da campo descritas em ISRM (1978). Durante inspeções visuais e sondagens com martelo de geólogo, devido à semelhança nas características dos maciços estudados, compostos por rochas cristalinas (granitóides e gnaisses), foram considerados valores entre 100 e 250 Mpa para a resistência da rocha intacta, em conformidade com o observado por Palmström (1995) e Bieniawski (1984) para rochas graníticas. Neste caso, as rochas foram consideradas como muito resistentes, requerendo muitos golpes do martelo para fraturar-se.

Para o índice de qualidade da rocha – RQD: (“rock quality designation”), parâmetro 2, como não se dispunha de testemunhos de sondagem, foi usada a proposta de Priest & Hudson (1976), que correlaciona o RQD com o espaçamento das discontinuidades.

Para o espaçamento das descontinuidades (parâmetro 3), foram consideradas as médias para cada família de descontinuidade de cada talude.

O padrão das descontinuidades (parâmetro 4), que envolve características de abertura, persistência, rugosidade, alteração das paredes e condições do material de preenchimento de cada setor, foi quantificado pela média das grandezas analisadas.

Para a influência da água subterrânea (parâmetro 5) observou-se visualmente, durante um ano, preferencialmente no período chuvoso, considerando o estado seco, úmido, transpiração, gotejamento, filete e jorro.

A orientação das descontinuidades com relação aos taludes por trecho (parâmetro 6) de Bieniawski não foi considerado na classificação RMR, conforme propõe Romana (1985) em seu modelo SMR. Neste caso, a atitude das descontinuidades e dos taludes foram registradas para a aplicação do SMR.

Após a atribuição de pesos, em função dos níveis de variação dos parâmetros estudados, os maciços rochosos foram geomecanicamente classificados segundo a metodologia de Bieniawski (1989) e Romana (1985). Essas duas classificações foram utilizadas por serem comumente utilizadas em estudos geomecânicos, conforme enfatiza Parizzi (2004).

Após as investigações, com o conseqüente preenchimento das fichas de campo, o passo seguinte foi a digitação e sistematização dos dados envolvendo cálculos complementares em escritório.

### **3.3. ANÁLISE DA QUEDA DE BLOCOS**

Após a coleta dos dados em campo, a avaliação do perigo de queda de blocos foi realizada em conformidade com as diretrizes propostas nos métodos mais utilizados nos departamentos de estradas dos Estados Unidos e outros órgãos gestores dos transportes

em países desenvolvidos. Dentre os trabalhos que serviram de base para a avaliação destacam-se os de Ritchie (1963), Pierson *et al* (1990) e Budetta (2004).

Foram adotados oito índices para a avaliação do perigo de queda de blocos em taludes rochosos rodoviários, que foram obtidos a partir de parâmetros. Cada índice recebeu uma pontuação cujos valores máximos e mínimos são, respectivamente 3 e 81, sendo os menores valores correspondentes às melhores condições de segurança na estrada.

A variação das categorias ocorreu exponencialmente, conforme proposta inicial de Pierson *et al* (1990). Esta variação realça aquelas seções com maiores pontuações, nas quais as intervenções devem ser imediatas e prioritárias. Todas as categorias, com exceção da Efetividade da Área de Captação, puderam ser relacionadas sob forma de equações exponenciais. Os símbolos adotados para todos os parâmetros e as equações para os mesmos são mostrados na Tabela 3.2. As equações foram definidas de acordo com correlações apresentadas no Capítulo 5.

Tabela 3.2 – Simbologias e equações adotadas para cada parâmetro avaliado na análise dos taludes.

| <b>Parâmetros</b>                             | <b>Símbolo</b> | <b>Equação</b>                 |
|---|----------------|--------------------------------|
| Altura do Talude (H)                          | $I_{AT}$       | $I_{AT} = e^{0,1831H}$         |
| Efetividade da Área de Captação               | $I_{AC}$       | -                              |
| Risco ao Veículo (RV)                         | $I_{RV}$       | $I_{RV} = e^{0,0439RV}$        |
| Porcentagem da Distância de Visibilidade (DV) | $I_{DV}$       | $I_{DV} = 243e^{-0,0439DV}$    |
| Largura do Pavimento (LP)                     | $I_{LP}$       | $I_{LP} = 1262,7e^{-0,4578LP}$ |
| Dimensão do Bloco (Db)                        | $I_{DB}$       | $I_{DB} = e^{3,662Db}$         |
| Condição Climática (P)                        | $I_{CC}$       | $I_{CC} = 0,0048e^{0,0054P}$   |
| Característica Geológico-geotécnica (SMR)     | $I_{CG}$       | $I_{CG} = 19683e^{-0,11SMR}$   |

A Tabela 3.3 apresenta os parâmetros, os equipamentos e as referências que foram adotadas na avaliação dos pontos em estudo.

Tabela 3.3 – Parâmetros, equipamentos e referências adotadas.

| <b>Parâmetros</b>                        | <b>Equipamentos</b>         | <b>Referências</b>   |
|--|-----------------------------|--|
| Altura do talude                         | clinômetro e trena          | Pierson & van Vickle (1993).   |
| Efetividade da área de captação          | trena                       | Ritchie (1963); Pierson & van Vickle (1993); Budetta (2004); Pack <i>et al</i> (2006). |
| Risco ao veículo                         | trena                       | Pierson & van Vickle (1993); DNER (1999); DNIT (2006).                                 |
| Porcentagem da distância de visibilidade | clinômetro e trena          | Pierson & van Vickle (1993); DNER (1999); Budetta (2004).                              |
| Largura da rodovia                       | trena                       | Pierson & van Vickle (1993); Budetta (2004).   |
| Característica geológico-geotécnica      | bússula, trena e clinômetro | Romana (1985); Bieniawski (1989); Pierson & van Vickle (1993).                         |
| Dimensão do bloco                        | trena                       | Palmström (1995); Budetta (2004).  |
| Condição Climática                       | Consulta bibliográfica      | Pierson & van Vickle (1993); Budetta (2004).   |

### 3.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para cada parâmetro analisado, foram indicados e discutidos os principais trechos críticos investigados. Cada talude foi pontuado quanto aos oito parâmetros utilizados. Também foi apresentada a relação entre as variáveis coletadas em campo e a pontuação dos índices.

Após a atribuição dos pontos a todas as oito categorias, os valores foram somados visando a obtenção de um único índice ao talude, denominado Índice de Queda de

Blocos ( $I_{QB}$ ). O  $I_{QB}$  retrata a susceptibilidade do trecho quanto ao problema de quedas, sendo que os maiores valores deste índice correspondem aos trechos com maiores perigos aos usuários da rodovia.

Calculado o  $I_{QB}$  de cada talude, após a indicação dos trechos mais problemáticos, foram indicadas as principais intervenções a serem realizadas nas seções, envolvendo aspectos de sinalização rodoviária, incrementos na geometria estradal e projetos de estabilidade de taludes.

## CAPÍTULO 4

---

### 4 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DO OBJETO DE ESTUDO

#### 4.1 LOCALIZAÇÃO, GEOLOGIA E ASPECTOS CLIMÁTICOS

Para a seleção dos taludes mais representativos das situações de queda de blocos rochosos nas rodovias do Estado Espírito Santo, optou-se pela escolha de segmentos localizados em áreas diferenciadas com relação a diversos aspectos abordados nesta análise. Em virtude das características litológicas dos afloramentos rochosos nas rodovias capixabas não variarem significativamente, procurou-se selecionar trechos com diferenças no tráfego, nas rampas, na geometria, na velocidade diretriz, entre outros aspectos intrínsecos aos projetos rodoviários. A relação dos taludes selecionados é apresentada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Taludes selecionados para análise no presente trabalho.

| <b>Talude</b> | <b>Município</b>      | <b>Litotipo</b>                   |
|---------------|-----------------------|-----------------------------------|
| ES – 080 (1)  | Santa Tereza          | Gnaisse / Complexo Paraíba do Sul |
| ES – 080 (2)  | Santa Tereza          | Gnaisse / Complexo Paraíba do Sul |
| ES – 146      | Alfredo Chaves        | Gnaisse / Complexo Paraíba do Sul |
| ES – 164      | Vargem Alta           | Gnaisse / Complexo Paraíba do Sul |
| ES – 166 (1)  | Castelo               | Gnaisse / Complexo Paraíba do Sul |
| ES – 166 (2)  | Castelo               | Gnaisse / Complexo Paraíba do Sul |
| ES – 166 (3)  | Castelo               | Gnaisse / Complexo Paraíba do Sul |
| ES – 181      | Alegre                | Metagranodiorito                  |
| ES – 355      | Santa Maria de Jetibá | Gnaisse / Complexo Paraíba do Sul |
| ES – 482      | Alegre                | Gnaisse / Complexo Paraíba do Sul |
| BR – 259      | Colatina              | Gnaisse / Complexo Paraíba do Sul |
| BR – 262      | Conceição do Castelo  | Metagranodiorito                  |



A Figura 4.1 apresenta mapa de localização dos doze pontos investigados sobre a malha rodoviária estadual e os limites político-administrativos do Espírito Santo.

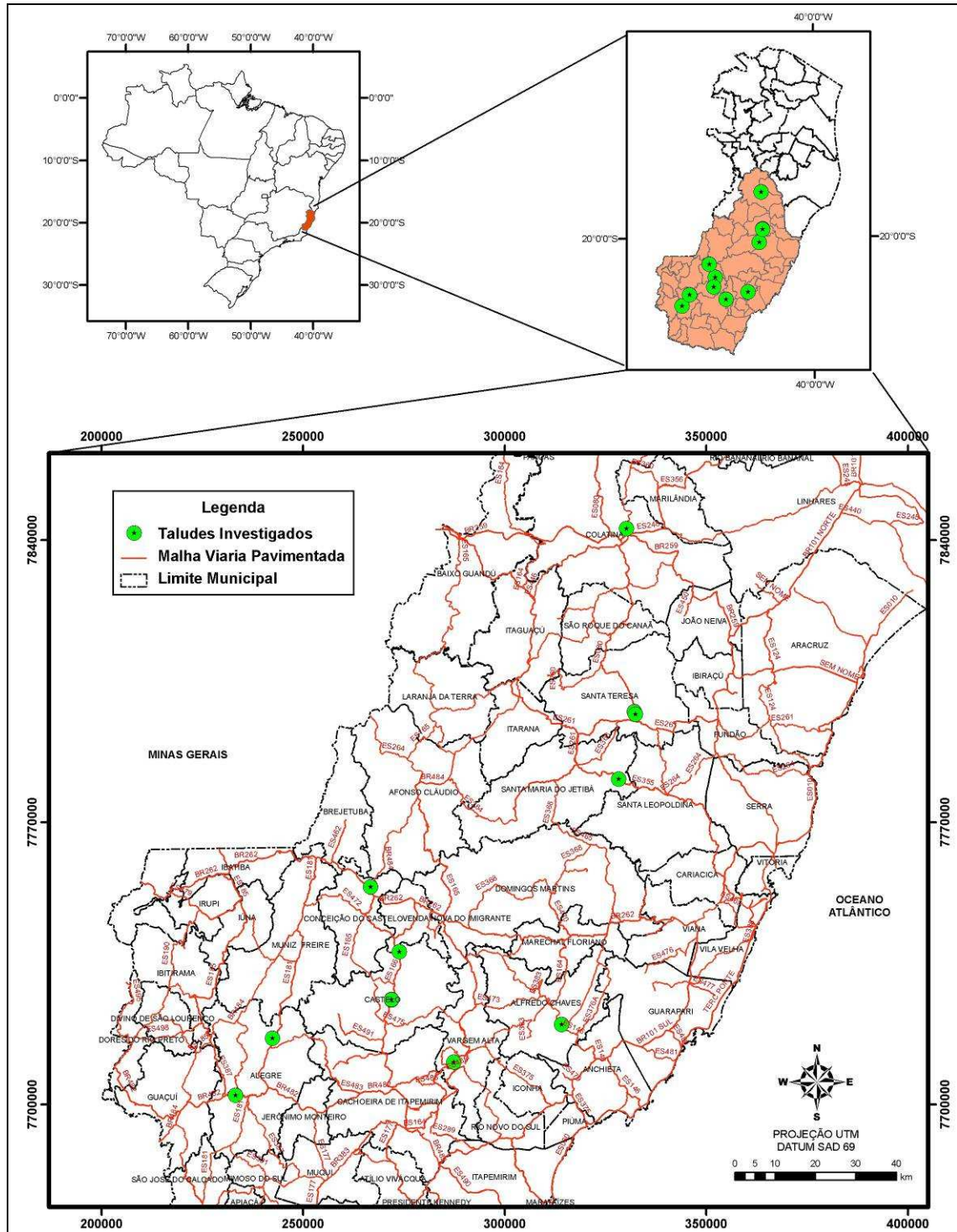


Figura 4.1 – Localização dos pontos estudados dentro da malha rodoviária do Estado do Espírito Santo.

Neste contexto, os doze taludes estudados estão situados basicamente na região centro-sul capixaba, principalmente no sudoeste do Estado, onde o relevo montanhoso condiciona o surgimento de inúmeros afloramentos rochosos ao longo de rodovias.

De acordo com Meneses & Paradella (1978), a região foco desta pesquisa constitui-se basicamente de rochas cristalinas de metamorfismo elevado (Complexo Paraíba do Sul), tipo gnaisses diversos, migmatitos, granulitos, charnockitos, mármore, etc. e dezenas de corpos graníticos (Granodioritos de Muniz Freire, por exemplo). Segundo os autores, gnaisses/migmatitos constituem quase a totalidade das rochas capixabas. Os gnaisses/migmatitos de mineralogia simples, essencialmente quartzo, feldspato, biotita e granada representam tipos bem orientados pela alternância centimétrica do bandamento, com foliação concordante com o bandamento.

As rochas deste complexo são de aspectos gnáissicos em sua totalidade e fazem parte do escudo cristalino Brasileiro, estendendo-se em continuidade aos Estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Apresentam-se em forma de cadeias de montanhas pertencentes a Serra da Mantiqueira, onde seus grandes elementos tectônicos e estruturais se alinham segundo a direção N-NE principal e N-W respectivamente (IBGE, 1978).

Meneses & Paradella (1978) também destacam o comportamento estrutural global do bandamento das rochas, concordante com a direção NE de descontinuidades (falhas e fraturas), mergulhando geralmente para sudeste. Os autores ressaltam ainda que a parte sul do Estado do Espírito Santo é composta por uma ocorrência numerosa de corpos graníticos de forma semi-circular ou alongados. Segundo Meneses & Paradella (1978), a maioria destes maciços foi regionalmente levantada pela CPRM em parceria com o DNPM.

Um esboço geológico mapeado pela CPRM (Leite *et al*, 2004; Silva *et al*, 2004) que abrange todo o Espírito Santo é apresentado na Figura 4.2, onde também estão localizados os taludes investigados no âmbito desta pesquisa.

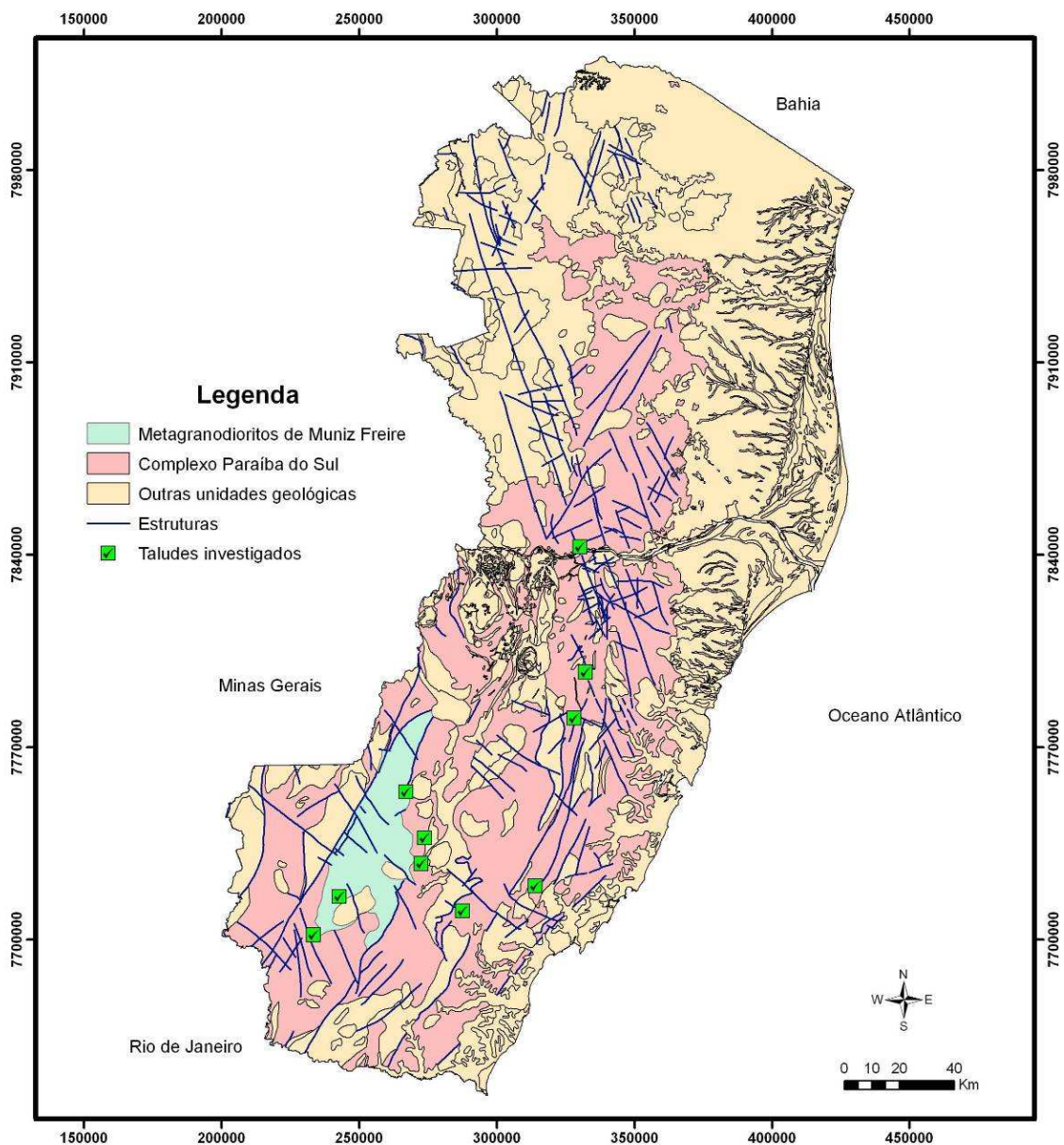


Figura 4.2 – Mapa geológico do Espírito Santo, obtido a partir de banco de dados da CPRM (Leite *et al*, 2004; Silva *et al*, 2004), com ênfase nas unidades geológicas presentes nos pontos investigados.

A porção sul do Espírito Santo possui elevados índices pluviométricos, que decaem no sentido norte. Principalmente os municípios estudados que fazem parte da região serrana (Castelo, Alfredo Chaves, Conceição do Castelo, Santa Tereza, Santa Maria de Jetibá e Vargem Alta) compõem zonas consideradas chuvosas por Feitoza *et al* (1997). A caracterização climática dos pontos estudados é apresentada na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Caracterização climática na região dos taludes estudados.

| <b>Talude</b> | <b>Precipitação (mm) <sup>1</sup></b> | <b>Zona natural <sup>2</sup></b>                      | <b>Meses secos <sup>2</sup></b> |
|---------------|---------------------------------------|---|---------------------------------|
| ES – 080 (1)  | 1375                                  | Terras frias, acidentadas e chuvosas                  | 3,0                             |
| ES – 080 (2)  | 1375                                  | Terras frias, acidentadas e chuvosas                  | 3,0                             |
| ES – 146      | 1543                                  | Terras quentes, acidentadas e chuvosas                | 2,5                             |
| ES – 164      | 1675                                  | Terras quentes acidentadas e transição chuvosa/seca   | 4,5                             |
| ES – 166 (1)  | 1375                                  | Terras de temperaturas amenas, acidentadas e chuvosas | 3,0                             |
| ES – 166 (2)  | 1375                                  | Terras quentes acidentadas e transição chuvosa/seca   | 4,5                             |
| ES – 166 (3)  | 1375                                  | Terras quentes acidentadas e transição chuvosa/seca   | 4,5                             |
| ES – 181      | 1371                                  | Terras quentes acidentadas e transição chuvosa/seca   | 4,5                             |
| ES – 355      | 1375                                  | Terras de temperaturas amenas, acidentadas e chuvosas | 3,0                             |
| ES – 482      | 1278                                  | Terras de temperaturas amenas, acidentadas e chuvosas | 3,0                             |
| BR – 259      | 1075                                  | Terras quentes, acidentadas e secas                   | 7,0                             |
| BR – 262      | 1475                                  | Terras frias, acidentadas e chuvosas                  | 3,0                             |

<sup>1</sup> precipitação média anual segundo o INCAPER; <sup>2</sup> zonas naturais e meses secos definidos por Feitoza *et al* (1997).

## 4.2 PRINCIPAIS ASPECTOS DAS SEÇÕES INVESTIGADAS

### 4.2.1 Taludes ES-080 (1) e ES-080 (2)

Os taludes situam-se na rodovia ES-080, trecho do entroncamento da ES-261 ao distrito de Santo Antônio do Canaã, a 2,7 km a norte da sede do município de Santa Tereza, nas proximidades do ponto de coordenadas UTM 332314 / 7797382 (datum SAD 69). O segmento estudado encontra-se próximo a mirante instalado na parte alta da falha geológica regional conhecida como vale do Canaã. A Figura 4.3 ilustra aspecto dos segmentos rodoviários onde os taludes ES-080 (1) e ES-080 (2) estão localizados. A



rodovia ES-080 é uma das mais importantes do Estado do Espírito Santo, fazendo ligação norte-sul entre os municípios do interior capixaba.

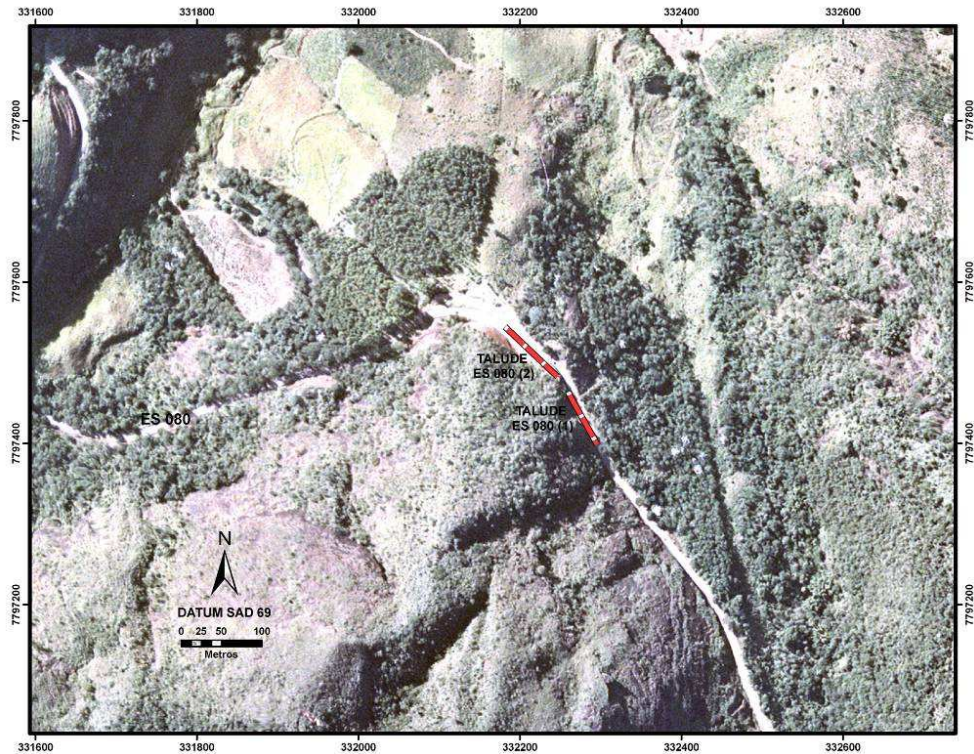


Figura 4.3 – Fotografia área da região do entorno da rodovia ES-080, na qual foram identificados os taludes analisados.

Estruturalmente, o talude ES-080 (1) é bastante fraturado, com vários blocos sem sustentação devido ao descalçamento da base, possivelmente relacionado ao método de escavação. Diferentemente, o comportamento mecânico do talude ES-080 (2) apresenta melhores condições de estabilidade, com descontinuidades bastante fechadas e atrito rugoso nas paredes das fraturas.

A Figura 4.4 (a) apresenta detalhe do talude ES-080 (1). Situado ao lado deste segmento, sentido norte, porém com diferentes propriedades geotécnicas, o maciço ES-080 (2) é apresentado na Figura 4.4 (b).



Figura 4.4 – Talude estudado (a) na ES-080 (1) e (b) na ES-080 (2).

#### 4.2.2 Talude ES-146

O talude ES-146 localiza-se em rodovia que liga o município de Alfredo Chaves (sul do Estado) à BR-262. O afloramento estudado nesta rodovia está situado nas proximidades das coordenadas UTM 314036 / 7719543, a 800 metros aproximadamente do entroncamento da ES-376, na direção do entroncamento com a ES-473 (para Matilde). A Figura 4.5 mostra imagem aérea com indicação do talude em estudo. É possível notar que a sinuosidade do traçado afeta a visibilidade do condutor. Outro fato notável é a presença de vegetação acima do talude, o que contribui para infiltração de água no maciço rochoso. Ainda observando a Figura 4.5, verifica-se a geometria do traçado da rodovia procura acompanhar curvas de nível do relevo.

O talude se destaca pela boa área de captação em certos segmentos do talude, porém não impede a queda de blocos quando a distância da base do talude ao início do pavimento diminui. Outro aspecto relevante do local é a intensa precipitação pluviométrica incidente (entre os maiores índices do Estado), que aliada à presença marcante da



vegetação, contribuem para aumentar a percolação de água nos maciços. A Figura 4.6 apresenta detalhe de parte dos 124 metros investigados neste talude, onde também nota-se a presença de água na face principal do talude.



Figura 4.5 – Fotografia aérea da região do entorno da seção ES-146.



Figura 4.6 – Vista de parte do talude da rodovia ES-146.

### 4.2.3 Talude ES-164

O Talude ES-164 situa-se em rodovia de ligação entre os municípios de Cachoeiro de Itapemirim e Vargem Alta, em região de relevo fortemente ondulado a montanhoso. Localizado nas proximidades das coordenadas UTM 287619 / 7710510. O segmento analisado está a 500 metros do entroncamento da ES-375 (Prosperidade) no sentido sul (Soturno). Uma visão geral deste segmento rodoviário é mostrada na Figura 4.7.



Figura 4.7 – Fotografia aérea da região do entorno do talude ES-164.

Grande parte do maciço rochoso é talude natural, principalmente na parte superior deste. O bandamento presente é bastante evidenciado no afloramento, sendo a principal família de descontinuidade. Fraturas aleatórias também foram observadas, causando o descalçamento de blocos isoladamente. Além das propriedades geotécnicas desfavoráveis, a ausência de área de captação de blocos torna o segmento rodoviário perigoso aos usuários da via, conforme pode ser observado na Figura 4.8.



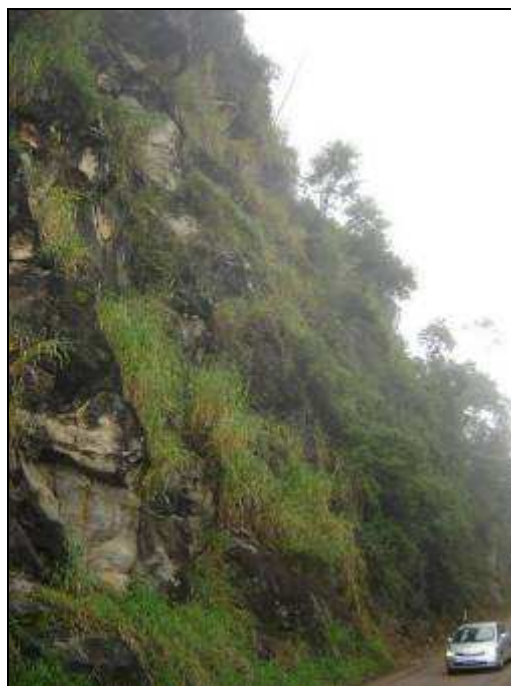


Figura 4.8 – Vista de parte do talude ES-164.

#### **4.2.4 Taludes ES-166 (1), ES-166 (2) e ES-166 (3)**

Importante ligação da região agrícola do Espírito Santo, a ES-166 transpõe os municípios de Castelo e Venda Nova do Imigrante. Devido ao relevo montanhoso, a rodovia possui rampas acentuadas e dezenas de taludes rochosos. Nesta rodovia, três taludes foram investigados.

O talude ES-166 (1) está localizado próximo ao ponto de coordenadas UTM 273772 / 7737129, em curva sinuosa, como é possível observar na Figura 4.9. Assim como a maioria dos taludes investigados, o maciço denominado ES-166 (1) é bastante fraturado na parte superior, onde os processos da dinâmica superficial são mais atuantes. A parte inferior do perfil apresenta descontinuidades mais espaçadas e fechadas, diminuindo o risco de ruptura. O bandamento do gnaisse não representa plano principal de descontinuidade. A Figura 4.10 ilustra visão parcial da seção rodoviária e do talude.



Figura 4.9 – Vista aérea do talude ES-166 (1), onde nota-se a sinuosidade da geometria do segmento rodoviário.

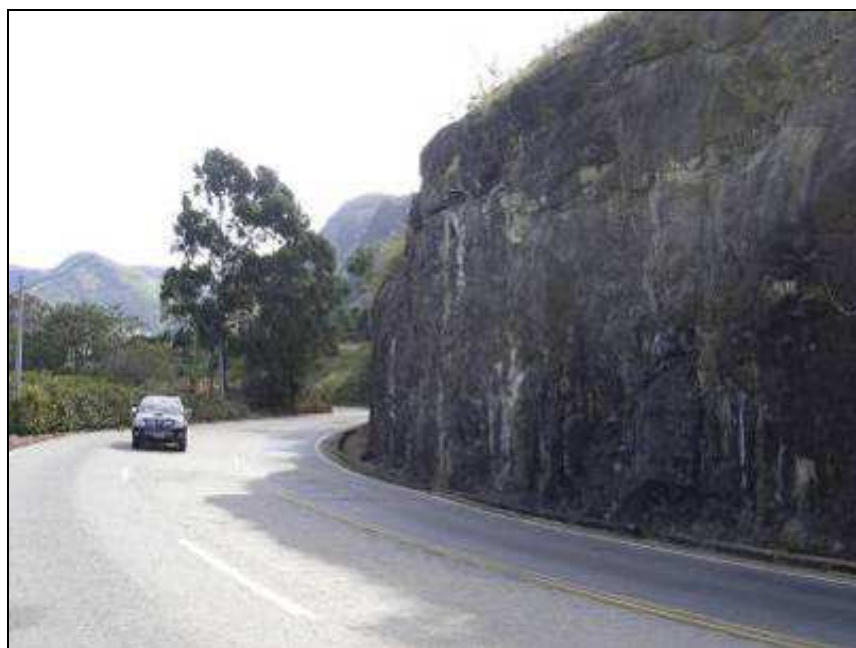


Figura 4.10 – Vista parcial do segmento rodoviário onde se situa o talude ES-166 (1).

Localizado a sul do talude ES-166 (1), o talude ES-166 (2) apresenta descontinuidades bastante definidas, principalmente o bandamento, com mergulho para fora da face do

talude, gerando plano sub-paralelo ao mergulho do talude, desfavorável à estabilidade. A obtenção de atitudes das discontinuidades em locais essenciais, como blocos visivelmente instáveis, é dificultada devido ao acesso precário para obtenção das medidas. A falta de sustentação de blocos grandes é visível, conforme pode ser observado na Figura 4.11.



Figura 4.11 – Vista parcial do talude ES-166 (2).

O talude ES-166 (2) foi pouco escavado, possuindo grande extensão de talude natural. Entretanto, a ausência de área de captação adequada põe em risco os condutores, que trafegam por este segmento em alta velocidade. Neste local nota-se também a presença de matacões na face superior do talude, juntamente com vegetação que se estabeleceu.

Contendo a mesma feição estrutural, o talude ES-166 (3) comporta-se geotecnicamente de forma diferenciada do anterior, apesar de serem adjacentes. Neste caso devido à geometria do segmento rodoviário, as discontinuidades formam planos perpendiculares à face do talude, porém ocorrem fraturas aleatórias que promovem o descalçamento da base de alguns blocos em forma de placas. Positivamente pode-se destacar desta seção a distância de visibilidade que o condutor possui caso necessite desviar de obstáculo presente na rodovia. Vista parcial do talude ES-166 (3) é apresentada na Figura 4.12. Os



taludes ES-166 (2) e ES-166 (3) fazem parte do mesmo maciço rochoso, sendo representados em fotografia área, conforme mostrado na Figura 4.13.



Figura 4.12 – Vista parcial do talude ES-166 (3).



Figura 4.13 – Vista aérea dos taludes ES-166 (2) e ES-166 (3).

#### 4.2.5 Talude ES-181

Situada na rodovia ES-181, em trecho que liga os municípios de Alegre e Muniz Freire, o talude estudado localiza-se a cerca de 15 km do entroncamento da ES-482, nas proximidades do ponto de coordenadas UTM 242792 / 7715809, na direção dos distritos de Anutiba e Piaçú. A Figura 4.14 localiza o talude investigado na rodovia ES-181, às margens do córrego Lambari Frio. O maciço rochoso deste segmento rodoviário possui fraturamento pouco desenvolvido, sendo que em muitas faces de taludes inexistem descontinuidades.

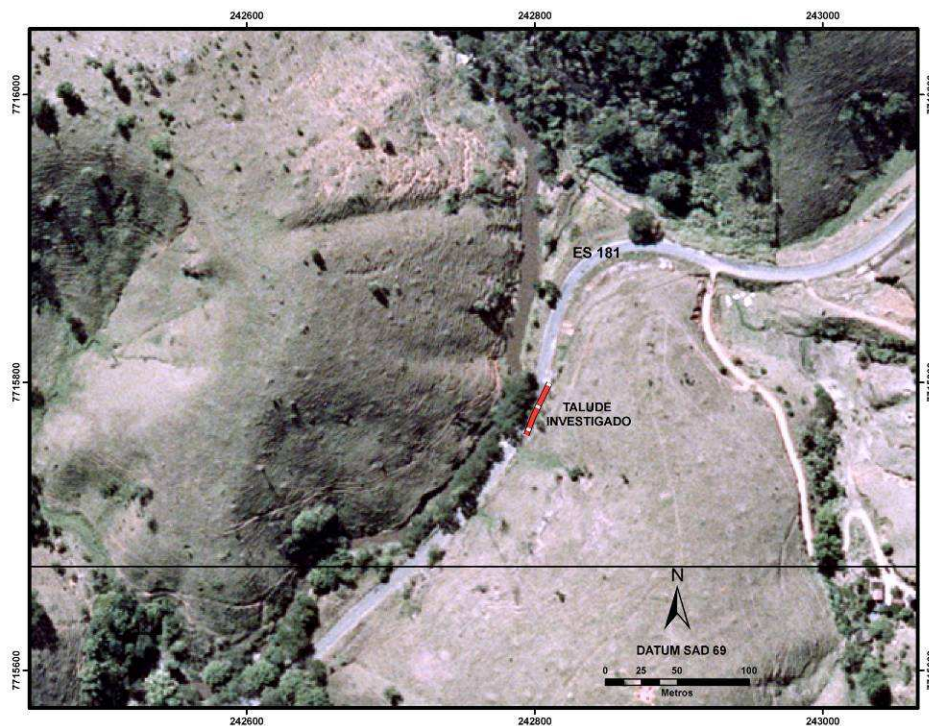


Figura 4.14 – Vista aérea do talude ES-181.

A rodovia ES-181 é considerada pelo DER-ES como uma das mais problemáticas do ponto de vista geotécnico. Diversos são os problemas em taludes e aterros, tais como escorregamentos, recalques, erosões e quedas de blocos. Apesar do principal problema desta rodovia estar relacionado a escorregamentos, diversos taludes com alturas mais



baixas possuem histórico de quedas de blocos em inúmeros segmentos. A Figura 4.15 mostra este talude.



Figura 4.15 – Vista parcial do talude ES-181.

#### **4.2.6 Talude ES-355**

O talude ES-355 situa-se em trecho de rodovia que liga os municípios de Santa Leopoldina e Santa Maria de Jetibá, região caracterizada pela presença de elevadas cotas altimétricas. Situado próximo ao ponto de coordenadas UTM 328182 / 7780623, o segmento estudado confronta-se com barragem sobre o rio Santa Maria, fato que torna escavações no maciço necessárias, caso seja definida qualquer alteração no traçado da rodovia visando melhorias na trafegabilidade. Imagem aérea deste segmento é mostrada na Figura 4.16.

Conforme pode ser observado na Figura 4.17, o talude apresenta fraturamento acentuado, com orientação desfavorável à estabilidade. Apesar da área de captação de blocos ser relativamente pequena, observaram-se diversos matacões que se desprenderam do maciço. A rampa longitudinal ao talude é acentuada e a visibilidade do

condutor é nula, fato que aliado à velocidade adquirida nesta seção, torna o trecho perigoso aos usuários quanto aos movimentos de queda.

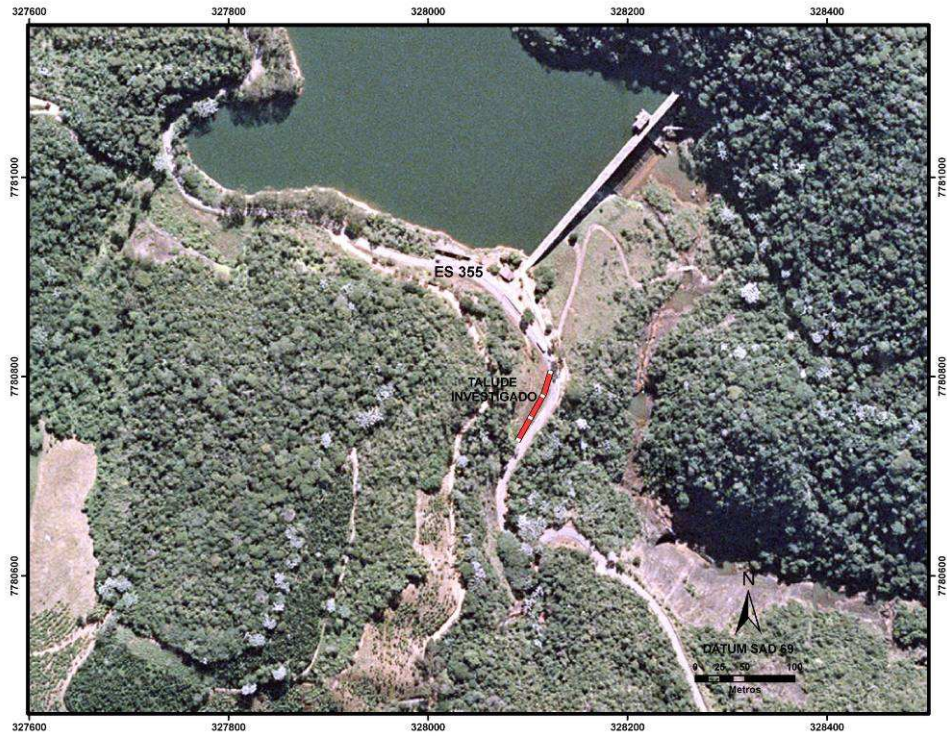


Figura 4.16 – Imagem aérea do talude ES-355.



Figura 4.17 – Detalhe do estado de fraturamento do talude ES-355.



#### 4.2.7 Talude ES-482

Na parte sudoeste do Espírito Santo, a rodovia ES-482 faz a ligação entre Cachoeiro de Itapemirim aos outros municípios da região, passando por Alegre, onde este talude (Figura 4.18) foi investigado, próximo ao ponto de coordenadas UTM 233471 / 7701877.



Figura 4.18 – Imagem aérea do talude ES-482, situado em forte curva horizontal.

Na área de captação de blocos rochosos, na base do talude, inúmeros blocos de tamanhos pequenos a médios são observados. O maciço possui muitas descontinuidades com mergulho desfavorável à estabilidade em relação à face do talude. Os veículos adquirem alta velocidade devido à geometria das tangentes e passam pelo talude em curva horizontal, fato que dificulta a visibilidade do condutor. A facilidade de acesso às descontinuidades permitiu o registro de atitudes em vários pontos do maciço rochoso. Vista deste talude é apresentada na Figura 4.19.





Figura 4.19 – Vista parcial do talude ES-482.

#### **4.2.8 Talude BR-259**

A rodovia BR-259 liga cidades importantes do norte do Espírito Santo com Minas Gerais, via Governador Valadares. O talude estudado nesta rodovia está situado no entroncamento da ES-080 com a ES-356 (para Marilândia), nas proximidades do ponto de coordenadas UTM 330305 / 7842894, adjacente ao rio Pancas, município de Colatina. A Figura 4.20 apresenta imagem aérea do talude investigado neste segmento rodoviário.

O maciço apresenta excelente condição de estabilidade em sua parte inferior, porém, a porção superior do perfil mostra-se bastante fraturada devido à presença do bandamento (Figura 4.21). Notam-se também muitas descontinuidades que possuem abertura superior a 5 cm, algumas com preenchimento argiloso ou com material orgânico.



Figura 4.20 – Imagem área do talude BR-259.



Figura 4.21 – Visão geral da seção BR-259, onde se observa o maior fraturamento na porção superior do maciço.



#### 4.2.9 Talude BR-262

O talude investigado da BR-262 situa-se nas proximidades da localidade de São João de Viçosa, na divisa entre os municípios de Venda Nova do Imigrante e Conceição do Castelo (coordenadas UTM 267070 / 7753864). É uma região montanhosa e ondulada, devido à altitude e ao relevo acidentado, com declividade acentuada em grande parte da área. A rodovia é a ligação entre a capital mineira e a Grande Vitória, possuindo velocidade diretriz superior às rodovias estaduais. Vista aérea deste talude é observada na Figura 4.22.



Figura 4.22 – Imagem aérea do talude BR-262, município de Conceição do Castelo.

O maciço rochoso possui boas propriedades geotécnicas e suas condições de estabilidade não foram afetadas pelas escavações (Figura 4.23). O maciço granítico da Suíte Muniz Freire possui discontinuidades relativamente espaçadas, formando blocos grandes. Estes blocos tendem a se destacar do talude em sua parte superior, principalmente após períodos chuvosos, sendo muito comuns ao longo do trecho. Este

fato é perceptível na BR-262, desde o município de Domingos Martins à divisa com Minas Gerais.



Figura 4.23 – Vista geral do talude investigado na BR-262.

## CAPÍTULO 5

---

### 5 – PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DO PERIGO DE QUEDA DE BLOCOS NAS RODOVIAS DO ESPÍRITO SANTO

A avaliação do perigo de queda de blocos nas rodovias do Espírito Santo foi baseada, principalmente, na metodologia de Pierson *et al* (1990) e nas modificações do método RHRS propostas por outros autores. Para o desenvolvimento da metodologia aqui proposta, os taludes foram estudados e classificados a partir da análise dos parâmetros considerados.

As categorias foram escolhidas em função das características geométricas e de trafegabilidade das rodovias capixabas, bem como os aspectos geológico-geotécnicos dos taludes. Todos os oito parâmetros definidos receberam pontuação que variou de 3 (situação adequada) a 81 (situação adversa).

Após a determinação dos índices para cada talude, procedeu-se ao cálculo do índice que pudesse representar a condição dos taludes quanto à queda de blocos. Este índice foi denominado Índice de Queda de Blocos ( $I_{QB}$ ), definido a partir da Equação 5.1:

$$I_{QB} = I_{AT} + I_{AC} + I_{RV} + I_{DV} + I_{LP} + I_{DB} + I_{CC} + 2I_{CG} \quad (5.1)$$

Onde:

$I_{AT}$ : índice correspondente ao parâmetro altura do talude;

$I_{AC}$ : índice correspondente ao parâmetro área de captura;

$I_{RV}$ : índice correspondente ao parâmetro risco médio ao veículo;

$I_{DV}$ : índice correspondente ao parâmetro porcentagem da distância de visibilidade;

$I_{LP}$ : índice correspondente ao parâmetro largura do pavimento;

$I_{DB}$ : índice correspondente ao parâmetro dimensão do bloco;

I<sub>CC</sub>: índice correspondente ao parâmetro condição climática;

I<sub>CG</sub>: índice correspondente ao parâmetro característica geológica.

A característica geológica ganhou maior peso entre os demais parâmetros por ser considerada a categoria com maior influência nos processos de instabilidade quanto às quedas. O fator 2 foi utilizado como forma de realce à característica geomecânica após a atribuição do índice SMR.

A seguir serão brevemente descritas as categorias que compõem a proposta, relatando os métodos escolhidos para a determinação da pontuação dos parâmetros.

## **5.1 ALTURA DO TALUDE**

Este item representa a altura vertical do talude ou corte. Em rodovias, geralmente as escavações em rochas são de pequena magnitude. Cortes sobre rochas metamórficas de baixa resistência ao cisalhamento ou rochas sedimentares, mesmo com muitos planos de descontinuidades podem sofrer rupturas devido à baixa resistência da rocha intacta. No entanto, em rochas ígneas ou cristalinas e metamórficas (cristalinas) com boas propriedades geotécnicas, verifica-se que o fator controlador dos movimentos de blocos são as descontinuidades.

Em taludes altos é comum a ocorrência de descontinuidades cujas dimensões são pequenas em relação à altura do talude, propiciando ruptura pela rocha, ao invés das descontinuidades. Neste caso, as descontinuidades influenciam diminuindo a resistência do maciço rochoso, conforme preconiza o efeito de escala na mecânica de rochas.

Blocos em cortes altos possuem maior energia potencial do que em maciços de menores amplitudes, por isso apresentam maior perigo e, conseqüentemente, receberam maior pontuação. A medida é realizada a partir do ponto mais alto em que a queda é esperada. Caso os blocos caiam de um talude natural acima do corte, soma-se esta altura adicional.

Pierson e van Vickle (1993) propuseram um método prático em campo, que possibilita o cálculo da altura média dos taludes. Diante da dificuldade de acesso ao topo da maioria dos taludes, a altura dos cortes foi obtida com o auxílio de trena e clinômetro, a partir da relação trigonométrica entre o ângulo formado pelo ponto de observação e a superfície do talude (Equação 5.2). A Figura 5.1 apresenta o modelo adotado para a obtenção da altura do talude utilizando clinômetro.

$$H = X * \tan \alpha + AC \quad (5.2)$$

Onde:

X é a distância em metros do ponto de medição (extremidade do pavimento);

$\alpha$  é o ângulo medido pelo clinômetro;

AC é a altura do clinômetro.



Figura 5.1 – Esquema utilizado para cálculo da altura do talude através de relação trigonométrica.

O índice correspondente a esta categoria (I<sub>AT</sub>) foi obtido conforme proposto na Tabela 5.1. Os valores da altura do talude (H) foram distribuídos de acordo com a magnitude dos taludes presentes nas rodovias capixabas.

Tabela 5.1 – Variação do índice I<sub>AT</sub> em função da altura do talude (H).

|                       |          |          |           |           |
|-----------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| <b>H</b>              | 6,0 m    | 12,0 m   | 18,0 m    | 24,0 m    |
| <b>I<sub>AT</sub></b> | 3 pontos | 9 pontos | 27 pontos | 81 pontos |

## 5.2 EFETIVIDADE DA ÁREA DE CAPTAÇÃO

A área de captura ou captação de blocos rochosos é definida como a área entre o limite do pavimento de uma rodovia (faixa de bordo) e a base do talude de corte rochoso, também podendo coincidir com a valeta de proteção de pé de corte. Em se tratando de queda de blocos, este parâmetro possui função de prevenir que este processo venha atingir o pavimento de uma rodovia (Ritchie, 1963).

Para estimar a efetividade da área de captação, alguns fatores são considerados, tais como:

1. Altura e ângulo de inclinação de talude;
2. Largura, profundidade e forma da valeta;
3. Estimativa do tamanho do bloco e quantidade de queda;
4. Impacto das feições irregulares do corte durante a queda.

A análise das feições irregulares presentes na face do talude é importante, pois essas superfícies podem lançar os blocos rochosos para pontos além da área de captação dimensionada. Com base nestes aspectos, a área a ser afetada pode ser subjetivamente estimada. Um esboço da área de captação é apresentado na Figura 5.2.



Esta característica ( $I_{AC}$ ) das seções rodoviárias foi pontuada a partir da proposta de Budetta (2004), que modificou a avaliação qualitativa de Pierson e van Vickle (1993), ao incrementar aspectos geométricos pioneiros de Ritchie (1963).

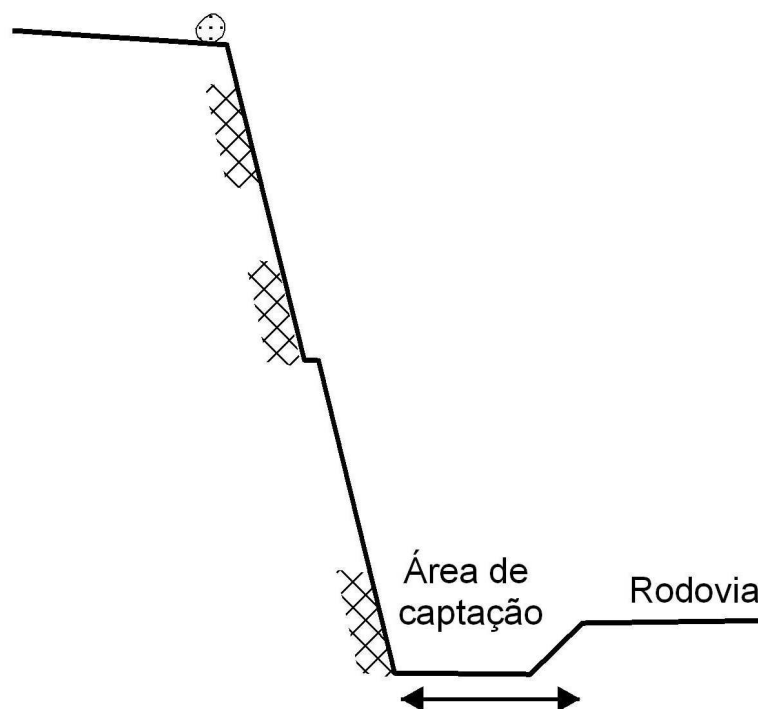


Figura 5.2 – Área de captação de blocos ao longo de rodovias sob cortes rochosos.

Dessa forma, o ângulo de inclinação e altura do talude, bem como a largura, a profundidade e a superfície da área de captação foram analisadas. Isto é, as pontuações para este parâmetro foram definidas como:

- 3 pontos: Boa captura. Toda ou praticamente toda a queda de bloco é retida na área de captação. Projetada em conformidade com o ábaco de Ritchie. Presença de estruturas de proteção ou barreiras.
- 9 pontos: Captura moderada. Quedas de blocos ocasionalmente alcançam a rodovia. Projetada em conformidade com o ábaco de Ritchie.
- 27 pontos: Captura limitada. Quedas frequentemente alcançam a rodovia. Estrutura não projetada de acordo com o ábaco de Ritchie.
- 81 pontos: Sem captura. Inexistência ou inefetividade total da área de captação. Toda ou praticamente toda a queda de blocos alcança a rodovia.

### 5.3 RISCO AO VEÍCULO

Segundo Pierson e van Vickle (1993), o risco médio ao veículo (RMV) mede a porcentagem de tempo de veículos presentes na zona de perigo de queda de blocos. A porcentagem é obtida através da Equação (5.3):

$$RV = \frac{VDM \times CC}{VD} \quad (5.3)$$

Onde

VMD é o tráfego médio diário (carros/h);

CC é o comprimento do corte (km);

VD é a velocidade diretriz (km/h).

A taxa de 100% significa que, em média, pode-se esperar a presença de um carro dentro de 100% da zona de perigo em todos os horários. O cálculo deste parâmetro necessita, portanto, de uma precisa medida da seção onde existe o problema de queda. Em locais com alto VMD ou grandes taludes, valores maiores que 100% poderão ocorrer, significando que a qualquer momento mais de um carro estará presente na seção estudada.

O significado do risco ao veículo é similar ao adotado no RHRS. A Tabela 5.2 mostra a relação entre o índice IRV e o valor obtido para a categoria risco médio ao veículo, utilizada para o cálculo da pontuação deste parâmetro.

Tabela 5.2 – Variação do índice  $I_{RV}$  em função do risco médio ao veículo obtido na seção.

| <b>RV</b>                  | 25%<br>do tempo | 50%<br>do tempo | 75%<br>do tempo | 100%<br>do tempo |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| <b><math>I_{RV}</math></b> | 3 pontos        | 9 pontos        | 27 pontos       | 81 pontos        |

## 5.4 PORCENTAGEM DA DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE

A porcentagem da distância de visibilidade é usada para determinar o comprimento da rodovia que o motorista possui para tomar uma decisão instantânea. Esta categoria é considerada como crítica quando obstáculos na rodovia são de difícil percepção, ou quando uma manobra inesperada é requerida (Pierson e van Vickle, 1993).

Rodovias com geometria vertical e horizontal variáveis, contendo obstáculos como vegetação lateral, diminuem severamente a visão do condutor na identificação de uma massa rochosa na rodovia. Este impacto é mais severo em estradas que transpõem taludes rochosos em ambos os lados. Em geral, um objeto é mais obscuro ou imperceptível quando estiver localizado no final de uma curva.

Apesar de eventos de queda de blocos rochosos ao longo de estradas variarem amplamente em termos de tamanho, um único pedregulho de 15 cm de diâmetro, por exemplo, é considerado potencialmente perigoso (DNIT, 2006). Um objeto deste tamanho é usado como a base para o cálculo da porcentagem da distância de visibilidade. O cálculo baseia-se na relação entre as distâncias de visibilidade real (DVR) e a de projeto (DVP), medidas em metros (Equação 5.4).

$$DV = \frac{DVR}{DVP} \times 100\% \quad (5.4)$$

Neste caso, foram registradas as medidas das distâncias pelas quais, em cada trecho, o objeto poderia ser visto a uma altura de 1,10 metros do centro da rodovia. A distância de visibilidade de parada foi utilizada nos cálculos deste estudo devido ao caráter obrigatório da sua presença em projetos de engenharia.

A distância de visibilidade de parada, em projetos rodoviários, é função da velocidade diretriz, do atrito entre o pneu e a superfície asfáltica e do greide ou rampa. As características de cada classe de via proporcionam um padrão global uniforme. Neste caso, os valores das rampas desempenham um fator fundamental.

O greide positivo representa os declives, enquanto rampas negativas equivalem aos aclives. Nos declives, a distância de visibilidade de parada é inferior aos aclives devido ao menor atrito entre o pneu do veículo e o pavimento. Já nas rampas negativas, a ação da gravidade incrementa a força de atrito, possibilitando ao condutor uma maior distância de visibilidade. A Figura 5.3 ilustra como a distância de visibilidade varia em função da velocidade diretriz e da rampa longitudinal. A Tabela 5.3 mostra a relação entre o índice IDV e o valor obtido para a categoria Porcentagem da Distância de Visibilidade, utilizada para o cálculo da pontuação deste parâmetro. Esta pontuação corresponde à aplicação da proposta de Pierson e van Vickle (1993).

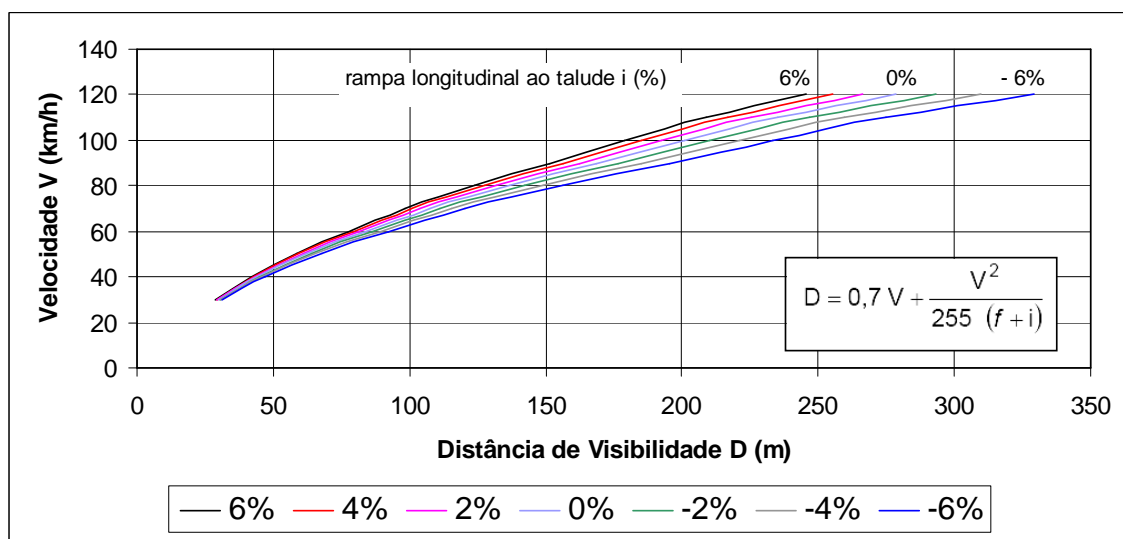


Figura 5.3 – Variação da distância de visibilidade em função da inclinação e da velocidade diretriz.

Tabela 5.3 – Variação do índice IDV em função porcentagem da distância de visibilidade obtida na seção (DV).

| DV              | 100%<br>do tempo | 75%<br>do tempo | 50%<br>do tempo | 25%<br>do tempo |
|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| I <sub>DV</sub> | 3 pontos         | 9 pontos        | 27 pontos       | 81 pontos       |

Para a avaliação do perigo de queda de blocos, duas distâncias de visibilidade foram estimadas: a de projeto e a real. A distância de projeto é mais bem visualizada na Figura 5.3. A distância de visibilidade real é obtida em campo, variando a cada metro da

rodovia. Na maioria das vezes, por motivos operacionais diversos, envolvendo recursos técnico-financeiros, determinados trechos rodoviários são construídos sem considerarem a distância de visibilidade ideal ou de projeto. Este fato é perceptível em rodovias que transpõem trechos montanhosos ou sinuosos.

## 5.5 LARGURA DO PAVIMENTO

Este parâmetro representa a extensão da faixa pavimentada, incluindo o acostamento, medida perpendicularmente à linha central da rodovia. Representa o espaço disponível para o motorista efetuar uma manobra. A determinação da largura do pavimento foi realizada com o auxílio de trena. A relação adotada entre o índice ILP e a largura do pavimento é apresentada na Tabela 5.4. A atribuição dos valores de referência foram determinados a partir das normas e diretrizes adotadas pelo DNIT e DER-ES.

Tabela 5.4 – Variação do índice  $I_{LP}$  em função da largura do pavimento da rodovia.

|                             |          |          |           |           |
|-----------------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| <b>Largura do Pavimento</b> | 13,2 m   | 10,8 m   | 8,4 m     | 6,0 m     |
| <b><math>I_{LP}</math></b>  | 3 pontos | 9 pontos | 27 pontos | 81 pontos |

## 5.6 DIMENSÃO DO BLOCO

Em alguns eventos de queda, a ruptura é composta por um único bloco. Em outros casos, o evento pode incluir muitos blocos de diferentes tamanhos. Este parâmetro retrata que grandes blocos ou volumes em queda produzem maior energia cinética total e maior força de impacto do que eventos menores. Além disso, eventos maiores obstruem mais as rodovias, reduzindo a possibilidade de desvio de obstáculos.

Nas seções investigadas, frequentemente menos de 3 famílias de discontinuidades foram identificadas, fato que tornou conveniente a utilização do volume do bloco equivalente proposto por Palmström (1995), conforme descrito no Capítulo 2, através da Equação 2.13. Esta relação determina o volume dos blocos a partir do contador

volumétrico ( $J_v$ ) e do fator de forma dos blocos ( $\beta$ ), que é função da maior e menor variação do espaçamento entre as fraturas ( $S_{m\acute{a}x}$  e  $S_{m\acute{i}n}$ ) e do índice referente ao número de famílias de descontinuidades ( $n_j$ ).

Após o cálculo de  $V_b$ , utilizou-se a proposta de Budetta (2004), procedendo-se o cálculo da dimensão ou tamanho do bloco ( $Db$ ), medido em metros. O autor propôs o cálculo de  $Db$  a partir da Equação 5.5.

$$Db = \sqrt[3]{V_b} \quad (5.5)$$

A Tabela 5.5 mostra a relação entre o índice  $I_{DB}$  e os valores estimados para o tamanho dos blocos presentes nos maciços rochosos, utilizada para o cálculo da pontuação deste parâmetro.

Tabela 5.5 – Variação do índice  $I_{DB}$  em função da dimensão estimada para os blocos delimitados pelas descontinuidades dos maciços.

| <b>Dimensão dos blocos (Db)</b> | 0,3 m    | 0,6 m    | 0,9 m     | 1,2 m     |
|---------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| <b><math>I_{DB}</math></b>      | 3 pontos | 9 pontos | 27 pontos | 81 pontos |

Segundo a classificação de Palmström (1995), apresentada na Tabela 2.6, blocos de 20 cm<sup>3</sup> são enquadrados como dimensão moderada com relação ao seu tamanho. Entretanto, em se tratando de engenharia rodoviária, blocos dessa magnitude correspondem às menores dimensões que podem provocar acidentes. Portanto, blocos com dimensões menores segundo Palmström (1995) não foram utilizados para a determinação do  $I_{DB}$ , pois não são considerados perigosos a usuários da rodovia.

## 5.7 CONDIÇÃO CLIMÁTICA

Diversos métodos de avaliação de perigo de queda de blocos em taludes rochosos rodoviários, basicamente aqueles adotados em países desenvolvidos, utilizam combinações entre o período que contém água no talude ou neve. Como no sudeste

brasileiro a presença de neve seria um fato raro e a condição de água no talude já é abordada na classificação SMR, optou-se por pontuar este parâmetro em função da precipitação pluviométrica média anual incidente sobre os pontos estudados.

A relação entre o índice ICC e a precipitação anual acumulada média é apresentada na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Variação do índice ICC em função da precipitação anual acumulada média.

| <b>Precipitação anual média</b> | < 1.150 mm | 1.150 – 1.450 mm | 1.450 – 1.750 mm | > 1.750 mm |
|---------------------------------|------------|------------------|------------------|------------|
| <b>ICC</b>                      | 3 pontos   | 9 pontos         | 27 pontos        | 81 pontos  |

## **5.8 CARACTERÍSTICA GEOLÓGICA**

Vários fatores geológicos contribuem para a ocorrência de queda de blocos, afetando diretamente a natureza e a magnitude do impacto sobre uma rodovia. Tais fatores incluem a litologia, o grau de intemperismo, o perfil topográfico e as características das descontinuidades.

Após os trabalhos de campo, as informações adquiridas sobre as descontinuidades dos maciços rochosos foram tratadas para a obtenção de valores sobre a qualidade geomecânica dos taludes analisados. As características geomecânicas dos taludes foram avaliadas de acordo com o índice Slope Mass Rating (SMR) proposto por Romana (1985).

Optou-se pela não utilização da classificação adotada por Pierson e van Vickle (1993) devido às características geotécnicas dos taludes das rodovias capixabas, pois o método proposto por estes autores não é aplicável com precisão nos locais estudados. A aplicação da avaliação geológica segundo o RHRS não retrata diferenciação no comportamento mecânico dos maciços de rochas cristalinas analisadas. De forma

apenas qualitativa, o método destes autores é melhor aplicável para regiões cujas estruturas litológicas variam bastante, como em rodovias paulistas ou mineiras, por exemplo (Gomes & Sobreira, 2008).

Com isso, após a análise dos valores de SMR obtidos, adotou-se a relação apresentada na Tabela 5.7, de forma que o valor correspondente à característica geomecânica do maciço pudesse ser traduzida em termos de  $I_{CG}$ .

Tabela 5.7 – Variação do índice  $I_{CG}$  em função do comportamento geomecânico avaliado nos taludes, de acordo com Romana (1985).

|                            |          |          |           |           |
|----------------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| <b>SMR</b>                 | 80       | 70       | 60        | 50        |
| <b><math>I_{CG}</math></b> | 3 pontos | 9 pontos | 27 pontos | 81 pontos |

As faixas de SMR utilizadas foram adequadas neste trabalho para possibilitar o melhor entendimento do comportamento mecânico dos taludes. Isto é, valores de SMR abaixo de 50 não condizem com as características geomecânicas observadas, portanto, valores inferiores a este podem ser considerados críticos, ou seja,  $I_{CG}$  elevado.



## **CAPÍTULO 6**

---

### **6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo serão apresentados os resultados referentes às características geométricas e de trafegabilidade dos segmentos rodoviários. Além disso, são expostos os valores obtidos da classificação geomecânica SMR e a pontuação referente à condição geral de cada talude. Também é discutido o uso dos parâmetros envolvidos na classificação dos taludes, além da proposição de intervenções prioritárias em cada local.

Quedas de blocos em taludes de corte rochosos nas rodovias capixabas são condicionados pelo padrão e orientação das discontinuidades, deflagrados principalmente por eventos pluviométricos. Esta afirmação pode ser entendida pela combinação de aspectos geotécnicos e geométricos das encostas, formadas por rochas cristalinas com boas propriedades geotécnicas e baixas a médias alturas.

#### **6.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS TALUDES E TRAFEGABILIDADE DOS SEGMENTOS RODOVIÁRIOS**

A altura do talude corresponde ao local mais alto na seção com possibilidade de ocorrência de movimentos de queda de blocos. A altura dos taludes foi obtida a partir de relação trigonométrica, conforme exposto no Capítulo 5.

A Tabela 6.1 mostra os dados da geometria dos taludes. A Tabela 6.2 apresenta os valores obtidos das rampas longitudinais aos taludes de corte, bem como as distâncias de visibilidade de projeto e real.

Tabela 6.1 – Resultados obtidos durante a coleta de dados da altura dos taludes.

| <b>Talude</b> | <b>Distância do talude ao ponto de observação (m)</b> | <b>Ângulo entre o ponto de observação e o topo do talude (°)</b> | <b>Altura do talude (m)</b> | <b>Extensão (m)</b> |
|---------------|---|--|-----------------------------|---------------------|
| ES – 080 (1)  | 9,2   | 28,0   | 6,7                         | 30,0                |
| ES – 080 (2)  | 9,0   | 53,0   | 13,7                        | 30,0                |
| ES – 146      | 13,0  | 37,0   | 11,6                        | 124,0               |
| ES – 164      | 12,0  | 59,5   | 22,2                        | 65,0                |
| ES – 166 (1)  | 12,0  | 30,0   | 8,7                         | 65,0                |
| ES – 166 (2)  | 12,1  | 38,0   | 9,5                         | 60,0                |
| ES – 166 (3)  | 10,5  | 40,0   | 10,2                        | 70,0                |
| ES – 181      | 11,2  | 29,0   | 8,0                         | 40,0                |
| ES – 355      | 8,5   | 52,0   | 12,7                        | 80,0                |
| ES – 482      | 14,0  | 31,5   | 10,4                        | 47,0                |
| BR – 259      | 14,9  | 25,0   | 8,7                         | 80,0                |
| BR – 262      | 14,4  | 37,6   | 12,9                        | 90,0                |

Tabela 6.2 – Rampas longitudinais, distância de visibilidade de projeto e real.

| <b>Talude</b> | <b>Rampa longitudinal (%)</b> | <b>Distância de visibilidade de projeto (m)</b> | <b>Distância de visibilidade real (m)</b> |
|---------------|-------------------------------|---|---|
| ES – 080 (1)  | 6,6                           | 47,6  | 32,0                                      |
| ES – 080 (2)  | 4,0                           | 47,2  | 5,0                                       |
| ES – 146      | 8,0                           | 56,5  | 30,0                                      |
| ES – 164      | -4,4                          | 154,0   | 80,0                                      |
| ES – 166 (1)  | -7,0                          | 61,8  | 25,0                                      |
| ES – 166 (2)  | -3,0                          | 65,3  | 50,0                                      |
| ES – 166 (3)  | -4,0                          | 62,8  | 130,0                                     |
| ES – 181      | 0,0                           | 54,9  | 152,0                                     |
| ES – 355      | -8,0                          | 53,4  | 8,0                                       |
| ES – 482      | 1,0                           | 63,8  | 9,0                                       |
| BR – 259      | 0,0                           | 63,5  | 80,0                                      |
| BR – 262      | -5,5                          | 79,0  | 92,0                                      |

## 6.2 CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DOS TALUDES

Com a finalidade de se obter os índices característicos de qualidade dos maciços, associados ao modelo geomecânico proposto para avaliação das quedas de blocos nas rodovias, foram utilizados os sistemas de classificação geomecânica previamente descritos (Capítulo 2), baseados na quantificação de parâmetros que caracterizam os materiais rochosos e as suas descontinuidades.

O sistema SMR foi proposto por Romana (1985) para a classificação de taludes, a partir do índice RMR (Bieniawski, 1984, 1989) ajustado. Este ajuste é feito através de dois fatores, um fator que é função da orientação das descontinuidades, sendo o resultado de um produto de três subfatores e o outro fator, que é função do método de escavação utilizado.

### 6.2.1 Classificação RMR

O índice global RMR da classificação de Bieniawski para cada talude investigado é apresentado na Tabela 6.3. Estes resultados foram sistematizados e apresentados na Figura 6.1.

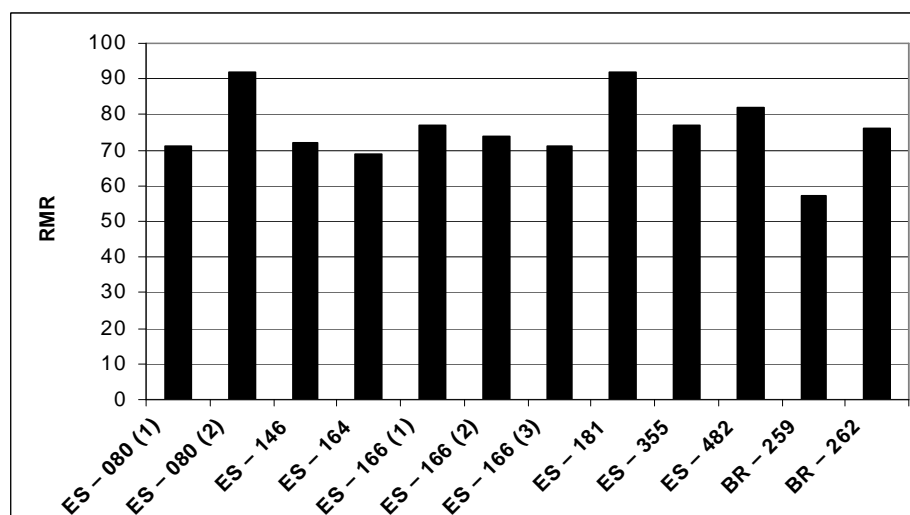


Figura 6.1 – Valores de RMR obtidos para cada seção estudada.

Tabela 6.3 – Ponderação dos parâmetros do sistema RMR de Bieniawski (1989) para os taludes.

| Talude       | $\sigma$ (Valor estimado) |      | RQD       |      | Espaçamento |      | Padrão das Descontinuidades | Ação da água |
|--------------|---------------------------|------|-----------|------|-------------|------|-----------------------------|--------------|
|              | Valor (MPa)               | Peso | Valor (%) | Peso | Valor (m)   | Peso |                             |              |
| ES – 080 (1) | 100-250                   | 12   | 97,4      | 20   | 0,4         | 10   | 25                          | 4            |
| ES – 080 (2) | 100-250                   | 12   | 99,7      | 20   | 1,3         | 15   | 30                          | 15           |
| ES – 146     | 100-250                   | 12   | 99,7      | 20   | 1,35        | 15   | 25                          | 0            |
| ES – 164     | 100-250                   | 12   | 82,0      | 17   | 0,13        | 8    | 25                          | 7            |
| ES – 166 (1) | 100-250                   | 12   | 85,6      | 17   | 0,15        | 8    | 25                          | 15           |
| ES – 166 (2) | 100-250                   | 12   | 93,8      | 20   | 0,25        | 10   | 25                          | 7            |
| ES – 166 (3) | 100-250                   | 12   | 96,6      | 20   | 0,35        | 10   | 25                          | 4            |
| ES – 181     | 100-250                   | 12   | 99,7      | 20   | 1,3         | 15   | 30                          | 15           |
| ES – 355     | 100-250                   | 12   | 82,0      | 17   | 0,13        | 8    | 30                          | 10           |
| ES – 482     | 100-250                   | 12   | 97,4      | 20   | 0,4         | 10   | 25                          | 15           |
| BR – 259     | 100-250                   | 12   | 97,4      | 20   | 0,4         | 10   | 0                           | 15           |
| BR – 262     | 100-250                   | 12   | 99,7      | 20   | 1,3         | 15   | 25                          | 4            |

## 6.2.2 Classificação SMR

A Tabela 6.4 apresenta as orientações das famílias de descontinuidades mais relevantes e os valores dos parâmetros associados à classificação de Romana (1985).

Tabela 6.4 – Valores dos parâmetros do sistema SMR de Romana (1985).

| <b>Talude</b> | <b>RMR</b> | <b>Família Crítica</b> | <b><math>F_1</math></b> | <b><math>F_2</math></b> | <b><math>F_3</math></b> | <b><math>F_4</math></b> |
|---------------|------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| ES – 080 (1)  | 71         | 100/45                 | 0,15                    | 0,85                    | -60                     | 0                       |
| ES – 080 (2)  | 92         | 110/30                 | 0,15                    | 0,40                    | -60                     | -8                      |
| ES – 146      | 72         | 080/50                 | 0,15                    | 1,00                    | -60                     | 0                       |
| ES – 164      | 69         | 160/30                 | 0,15                    | 0,40                    | -60                     | 0                       |
| ES – 166 (1)  | 77         | 195/35                 | 0,15                    | 0,70                    | -60                     | 10                      |
| ES – 166 (2)  | 74         | 117/57                 | 0,15                    | 1,00                    | -60                     | -8                      |
| ES – 166 (3)  | 71         | 110/45                 | 0,15                    | 0,85                    | -60                     | 0                       |
| ES – 181      | 92         | 132/31                 | 0,15                    | 0,70                    | -60                     | 0                       |
| ES – 355      | 77         | 065/36                 | 0,15                    | 0,40                    | -60                     | 0                       |
| ES – 482      | 82         | 087/70                 | 0,15                    | 1,00                    | -60                     | 0                       |
| BR – 259      | 57         | 082/30                 | 0,15                    | 0,40                    | -60                     | 10                      |
| BR – 262      | 76         | 135/35                 | 0,15                    | 0,70                    | -60                     | 0                       |

A Tabela 6.5 apresenta a caracterização geomecânica de cada talude estudado pela classificação de Romana (1985), com base nos valores calculados de SMR.

Tabela 6.5 – Classificação dos taludes pelo sistema SMR de Romana (1985).

| <b>Talude</b> | <b>SMR</b> | <b>Classe</b> | <b>Condição de Estabilidade</b> | <b>Condição de Ruptura</b> |
|---------------|------------|---------------|---------------------------------|----------------------------|
| ES – 080 (1)  | 63,35      | II            | Estável                         | Alguns blocos              |
| ES – 080 (2)  | 80,40      | II            | Estável                         | Alguns blocos              |
| ES – 146      | 63,00      | II            | Estável                         | Alguns blocos              |
| ES – 164      | 65,40      | II            | Estável                         | Alguns blocos              |
| ES – 166 (1)  | 80,70      | II            | Estável                         | Alguns blocos              |
| ES – 166 (2)  | 77,70      | II            | Estável                         | Alguns blocos              |
| ES – 166 (3)  | 74,70      | II            | Estável                         | Alguns blocos              |
| ES – 181      | 85,70      | I             | Completamente Estável           | Sem Ruptura                |
| ES – 355      | 73,40      | II            | Estável                         | Alguns blocos              |
| ES – 482      | 73,00      | II            | Estável                         | Alguns blocos              |
| BR – 259      | 63,40      | II            | Estável                         | Alguns blocos              |
| BR – 262      | 69,70      | II            | Estável                         | Alguns blocos              |

### **6.3 PERIGO RELACIONADO À QUEDA DE BLOCOS**

Os locais estudados foram pontuados após adequação dos sistemas internacionalmente difundidos às características rodoviárias capixabas observadas em campo. Todas as oito categorias definidas receberam pontuação que variou de 3 (situação adequada) a 81 (situação adversa). A soma dos pontos obtidos nas oito categorias corresponde ao índice de queda de blocos ( $I_{QB}$ ) equivalente à seção.

A Tabela 6.6 apresenta o resumo da classificação adotada para a avaliação dos taludes rochosos em seções rodoviárias capixabas quanto ao problema de queda de blocos.

Tabela 6.6 – Proposta de classificação para taludes rochosos em rodovias do Estado do Espírito Santo.

| Parâmetro                                | Critérios e pontuação  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  | 3 pontos   | 9 pontos   | 27 pontos  | 81 pontos                                    |
| Altura do talude                         | 6,0 m  | 12,0 m   | 18,0 m   | 24,0 m                                       |
| Efetividade da área de captura           | Boa captura + conformidade com o ábaco de Ritchie + proteção | Captura moderada + conformidade com o ábaco de Ritchie | Captura limitada + não-conformidade com o ábaco de Ritchie | Sem captura                                  |
| Risco médio ao veículo                   | 25% do tempo   | 50% do tempo   | 75% do tempo   | 100% do tempo                                |
| Porcentagem da distância de visibilidade | 100% Distância de visibilidade adequada                      | 75% Distância de visibilidade moderada                 | 50% Distância de visibilidade limitada                     | 25% Distância de visibilidade muito limitada |
| Largura do pavimento                     | 13,2 m   | 10,8 m   | 8,4 m  | 6,0 m  |
| Dimensão do bloco                        | 0,30 m   | 0,60 m   | 0,90 m   | 1,2 m  |
| Condição climática                       | Baixa precipitação média anual < 1.150 mm                    | Precipitação média anual moderada 1.150 – 1.450 mm     | Precipitação média anual grande 1.450 – 1.750 mm           | Alta precipitação média anual > 1.750 mm     |
| Característica geológica (SMR)           | 80   | 70   | 60   | 50   |

A Tabela 6.7 apresenta resumo dos valores dos índices obtidos e a pontuação total de cada talude. O talude ES-164 foi considerado o mais crítico quanto ao problema de queda de blocos, recebendo o maior  $I_{QB}$ . Além do fator geométrico da estrada, devido à ausência de área de captação na base da encosta, fatores geotécnicos foram determinantes para a designação do local como crítico. A altura elevada do talude, com perigo de ruptura de blocos, foi o primeiro condicionante geotécnico considerado na avaliação do maciço.

Além da altura, o maciço rochoso possui fraturamento que condiciona o descalçamento da base, favorecendo a instabilidade de blocos sobrejacentes. O mergulho médio de 30°

da descontinuidade principal formada pelo bandamento da rocha gnáissica, direcionado para dentro do maciço, muitas vezes torna-se inferior, devido a dobramentos existentes ou camadas com diferentes resistências no talude. No entanto, combinados à diferença nas taxas de erosão de materiais presentes no maciço, diversos pontos abaixo de matacões estão erodidos, propiciando condições ideais para o início das quedas.

Tabela 6.7 – Resultado total dos índices propostos para cada talude investigado.

| <b>Talude</b>       | <b>I<sub>AT</sub></b> | <b>I<sub>AC</sub></b> | <b>I<sub>RV</sub></b> | <b>I<sub>DV</sub></b> | <b>I<sub>LP</sub></b> | <b>I<sub>DB</sub></b> | <b>I<sub>CC</sub></b> | <b>I<sub>CG</sub></b> | <b>I<sub>QB</sub></b> |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>ES – 080 (1)</b> | 3,4                   | 27,0                  | 4,2                   | 12,7                  | 51,2                  | 18,2                  | 8,0                   | 18,5                  | 143,2                 |
| <b>ES – 080 (2)</b> | 12,3                  | 27,0                  | 4,2                   | 81,0                  | 51,2                  | 20,1                  | 8,0                   | 3,0                   | 206,8                 |
| <b>ES – 146</b>     | 8,4                   | 9,0                   | 18,6                  | 23,6                  | 20,5                  | 81,0                  | 20,0                  | 19,2                  | 200,3                 |
| <b>ES – 164</b>     | 58,3                  | 81,0                  | 22,6                  | 24,8                  | 20,5                  | 3,0                   | 41,0                  | 14,8                  | 266,0                 |
| <b>ES – 166 (1)</b> | 4,9                   | 27,0                  | 17,6                  | 41,1                  | 8,2                   | 3,0                   | 8,0                   | 3,0                   | 112,8                 |
| <b>ES – 166 (2)</b> | 5,7                   | 27,0                  | 14,1                  | 8,4                   | 8,2                   | 3,0                   | 8,0                   | 3,8                   | 78,2                  |
| <b>ES – 166 (3)</b> | 6,5                   | 27,0                  | 21,9                  | 3,0                   | 8,2                   | 10,5                  | 8,0                   | 5,3                   | 90,4                  |
| <b>ES – 181</b>     | 4,3                   | 27,0                  | 4,9                   | 3,0                   | 14,9                  | 81,0                  | 8,0                   | 3,0                   | 146,1                 |
| <b>ES – 355</b>     | 10,2                  | 27,0                  | 21,2                  | 81,0                  | 51,2                  | 3,0                   | 8,0                   | 6,1                   | 207,7                 |
| <b>ES – 482</b>     | 6,7                   | 27,0                  | 14,3                  | 81,0                  | 32,4                  | 3,7                   | 5,0                   | 6,4                   | 176,5                 |
| <b>BR – 259</b>     | 4,9                   | 9,0                   | 81,0                  | 3,0                   | 6,2                   | 3,9                   | 3,0                   | 18,4                  | 129,4                 |
| <b>BR – 262</b>     | 10,6                  | 9,0                   | 81,0                  | 3,0                   | 13,0                  | 81,0                  | 14,0                  | 9,2                   | 220,8                 |

### 6.3.1 Talude ES-080 (1)

A Tabela 6.8 apresenta os resultados obtidos após a aplicação do método para a determinação do índice de queda de blocos ( $I_{QB}$ ) no talude ES-080 (1). Neste talude, a seção rodoviária é comprometida pela pequena largura da faixa de rolamento, além da limitada área de captação de blocos. O índice SMR do talude permaneceu entre os menores valores obtidos entre todos os taludes, devido, principalmente, à presença de descontinuidades aleatórias que interceptam fraturas contínuas desfavoráveis, causando a instabilidade de blocos no maciço.



Tabela 6.8 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-080 (1).

| <b>Parâmetro</b>                    | <b>Valor obtido</b> | <b>Pontuação</b>        |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Altura do talude                    | H = 6,7 m           | I <sub>AT</sub> = 3,4   |
| Efetividade da área de captação     | Limitada            | I <sub>AC</sub> = 27,0  |
| Risco ao veículo                    | RV = 32,7 %         | I <sub>RV</sub> = 4,2   |
| Distância de visibilidade           | DV = 67,2 %         | I <sub>DV</sub> = 12,7  |
| Largura do pavimento                | LP = 7,0 m          | I <sub>LP</sub> = 51,2  |
| Dimensão do bloco                   | Db = 0,79 m         | I <sub>DB</sub> = 18,2  |
| Condição climática (precipitação)   | P = 1375 mm         | I <sub>CC</sub> = 8,0   |
| Característica geológico-geotécnica | SMR = 63,5          | I <sub>CG</sub> = 18,5  |
| <b>Total</b>                        |                     | I <sub>QB</sub> = 143,2 |

O relevo montanhoso neste trecho da rodovia ES-080 dificulta ações de correção da geometria do traçado da rodovia. Nesse caso, placas de sinalização vertical são medidas que podem alertar os usuários sobre problemas de queda de blocos.

### 6.3.2 Talude ES-080 (2)

Este talude, apesar de adjacente ao anterior, apresentou valor do índice de queda de blocos (I<sub>QB</sub>) superior. A principal alteração ocorrida está relacionada à distância de visibilidade inadequada, pois o condutor se depara com o maciço após curva horizontal em rampa. Mesmo com comportamento geomecânico razoável, o segmento rodoviário onde o talude se encontra possui características geométricas desfavoráveis, que podem levar prejuízo aos usuários da rodovia caso rupturas de blocos venham a atingir o pavimento. O perigo pode ser ainda maior quando se analisa a possibilidade de outro veículo trafegar na direção oposta, já que sem acostamento e em declive, a chance de colisão frontal seria iminente, devido à alta velocidade adquirida.

Como a área de captura é bastante limitada, praticamente qualquer ruptura de blocos rochosos poderá atingir o pavimento. Além disso, a face superior do talude, com inclinação mais suave, é coberta por solo coluvionar com matacões, que podem

movimentar-se em direção à face principal do maciço. A Tabela 6.9 apresenta os resultados obtidos após a aplicação do método para a determinação do  $I_{QB}$  do talude.

Tabela 6.9 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-080 (2).

| <b>Parâmetro</b>                    | <b>Valor obtido</b> | <b>Pontuação</b> |
|-------------------------------------|---------------------|------------------|
| Altura do talude                    | H = 13,7 m          | $I_{AT} = 12,3$  |
| Efetividade da área de captação     | Limitada            | $I_{AC} = 27,0$  |
| Risco ao veículo                    | RV = 32,7 %         | $I_{RV} = 4,2$   |
| Distância de visibilidade           | DV = 10,6 %         | $I_{DV} = 81,0$  |
| Largura do pavimento                | LP = 7,0 m          | $I_{LP} = 51,2$  |
| Dimensão do bloco                   | Db = 0,82 m         | $I_{DB} = 20,1$  |
| Condição climática (precipitação)   | P = 1375 mm         | $I_{CC} = 8,0$   |
| Característica geológico-geotécnica | SMR = 80,4          | $I_{CG} = 3,0$   |
| <b>Total</b>                        |                     | $I_{QB} = 206,8$ |

### 6.3.3 Talude ES-146

O Talude da ES-146 possui grande extensão, por isso, a maioria dos parâmetros utilizados nesta avaliação do perigo de queda de blocos é variável. A efetividade da área de captação e a porcentagem da distância de visibilidade são parâmetros que apresentam comportamento diferente ao longo dos 124 metros de extensão do talude. Desta forma, optou-se por adotar valores médios, que traduzissem o comportamento global de cada característica.

A presença de água em abundância no talude, inclusive em períodos de seca, e grandes volumes de blocos podem gerar problemas caso as rupturas atinjam o pavimento. A partir de imagem da Figura 6.2 é possível observar danos na canaleta de drenagem superficial ocasionados por queda de bloco do talude ES-146. Caso o bloco obstrua a estrutura, há possibilidade de águas pluviais atravessarem a rodovia obliquamente, propiciando a formação de lâminas de água sobre o pavimento.



Figura 6.2 – Destruição de canaleta de drenagem no pé do talude ES-146 devido à queda de bloco.

A Tabela 6.10 apresenta os resultados obtidos após a aplicação do método para a determinação do índice de queda de blocos ( $I_{QB}$ ) neste talude.

Tabela 6.10 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-146.

| <b>Parâmetro</b>                    | <b>Valor obtido</b> | <b>Pontuação</b> |
|-------------------------------------|---------------------|------------------|
| Altura do talude                    | H = 11,6 m          | $I_{AT} = 8,4$   |
| Efetividade da área de captação     | Moderada            | $I_{AC} = 9,0$   |
| Risco ao veículo                    | RV = 66,6 %         | $I_{RV} = 18,6$  |
| Distância de visibilidade           | DV = 53,1 %         | $I_{DV} = 23,6$  |
| Largura do pavimento                | LP = 9,0 m          | $I_{LP} = 20,5$  |
| Dimensão do bloco                   | Db = 1,33 m         | $I_{DB} = 81,0$  |
| Condição climática (precipitação)   | P = 1543 mm         | $I_{CC} = 20,0$  |
| Característica geológico-geotécnica | SMR = 63,0          | $I_{CG} = 19,2$  |
| <b>Total</b>                        |                     | $I_{QB} = 200,3$ |

### 6.3.4 Talude ES-164

Este talude obteve a maior pontuação referente ao índice  $I_{QB}$  entre os investigados. Fatores de ordem geológico-geotécnica estão entre os que mais contribuíram para a obtenção deste índice. Outros fatores, como a inexistência de área de captação, a altura do talude e a condição climática, que propicia intensos períodos chuvosos no local, também se destacaram como características adversas. A Tabela 6.11 apresenta os resultados obtidos após a aplicação do método para a determinação do índice de queda de blocos ( $I_{QB}$ ) no talude ES-164.

Tabela 6.11 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-164.

| Parâmetro                           | Valor obtido | Pontuação        |
|-------------------------------------|--------------|------------------|
| Altura do talude                    | H = 22,2 m   | $I_{AT} = 58,3$  |
| Efetividade da área de captação     | Nenhuma      | $I_{AC} = 81,0$  |
| Risco ao veículo                    | RV = 71,0 %  | $I_{RV} = 22,6$  |
| Distância de visibilidade           | DV = 51,9 %  | $I_{DV} = 24,8$  |
| Largura do pavimento                | LP = 9,0 m   | $I_{LP} = 20,5$  |
| Dimensão do bloco                   | Db = 0,28 m  | $I_{DB} = 3,0$   |
| Condição climática (precipitação)   | P = 1675 mm  | $I_{CC} = 41,0$  |
| Característica geológico-geotécnica | SMR = 65,4   | $I_{CG} = 14,8$  |
| <b>Total</b>                        |              | $I_{QB} = 266,0$ |

No talude ES-164, a orientação das discontinuidades principais, oriundas do bandamento do gnaise, mergulham favoravelmente. No entanto, algumas atitudes das discontinuidades, com mergulho mais suave, somadas ao clima com alta precipitação pluviométrica e intenso intemperismo atuante, propiciaram o descalçamento da base de alguns blocos. Dessa forma, a inexistência do apoio estaria provocando instabilidade, fato que pôde ser comprovado pela presença de blocos na base do talude.

A proposição de Pierson e van Vickle (1993) enquadraria a situação do talude ES-164 com apenas 3 pontos (em se tratando de condição contemplada na classe 1 da Tabela

2.10), fato que atestaria para uma situação geológico-estrutural adequada. Portanto, seria mais coerente utilizar a classe 2 do RHRS original, considerando-se uma situação de existência de processos erosivos.

Também é importante salientar que não há área de captação de blocos, isto é, quaisquer rupturas tentem a atingir o pavimento. No caso deste talude, medidas visando a correção da geometria do traçado ou a execução de projeto de estabilidade do talude são prioritárias, já que o local põe em risco a segurança dos usuários.

### 6.3.5 Talude ES-166 (1)

O parâmetro risco ao veículo, assim como nos demais pontos analisados nesta rodovia, destacou-se negativamente na classificação deste trecho. O principal fator que contribuiu para o incremento do  $I_{RV}$  foi o VMD da rodovia, pois o trecho possui tráfego expressivo. Outro aspecto problemático do trecho é a deficiente distância de visibilidade.

A Tabela 6.12 apresenta os resultados obtidos após a aplicação do método para a determinação do índice de queda de blocos ( $I_{QB}$ ) no talude ES-166 (1).

Tabela 6.12 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-166 (1).

| <b>Parâmetro</b>                    | <b>Valor obtido</b> | <b>Pontuação</b> |
|-------------------------------------|---------------------|------------------|
| Altura do talude                    | H = 8,7 m           | $I_{AT} = 4,9$   |
| Efetividade da área de captação     | Limitada            | $I_{AC} = 27,0$  |
| Risco ao veículo                    | RV = 65,3 %         | $I_{RV} = 17,6$  |
| Distância de visibilidade           | DV = 40,5 %         | $I_{DV} = 41,1$  |
| Largura do pavimento                | LP = 11,0 m         | $I_{LP} = 8,2$   |
| Dimensão do bloco                   | Db = 0,13 m         | $I_{DB} = 3,0$   |
| Condição climática (precipitação)   | P = 1375 mm         | $I_{CC} = 8,0$   |
| Característica geológico-geotécnica | SMR = 80,7          | $I_{CG} = 3,0$   |
| <b>Total</b>                        |                     | $I_{QB} = 112,8$ |

### 6.3.6 Talude ES-166 (2)

Apesar de ser classificado como a menor das pontuações obtidas para o índice de queda de blocos ( $I_{QB}$ ), o talude apresenta descontinuidades que, em geral, formam planos desfavoráveis. Com mergulho subparalelo à face do talude, tendendo a geração de rupturas planares, o bandamento apresenta susceptibilidade a rupturas. Adicionalmente, descontinuidades aleatórias interceptam algumas fraturas em locais isolados, promovendo o descalçamento da base de poucos blocos. Entretanto, a rugosidade e a estreita abertura das descontinuidades elevaram o valor do índice SMR. Os demais parâmetros também mantiveram baixos valores, reduzindo o  $I_{QB}$ . A Tabela 6.13 apresenta os resultados obtidos após a aplicação do método neste talude.

Tabela 6.13 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-166 (2).

| <b>Parâmetro</b>                    | <b>Valor obtido</b> | <b>Pontuação</b> |
|-------------------------------------|---------------------|------------------|
| Altura do talude                    | H = 9,5 m           | $I_{AT} = 5,7$   |
| Efetividade da área de captação     | Limitada            | $I_{AC} = 27,0$  |
| Risco ao veículo                    | RV = 60,3 %         | $I_{RV} = 14,1$  |
| Distância de visibilidade           | DV = 76,6 %         | $I_{DV} = 8,4$   |
| Largura do pavimento                | LP = 11,0 m         | $I_{LP} = 8,2$   |
| Dimensão do bloco                   | Db = 0,30 m         | $I_{DB} = 3,0$   |
| Condição climática (precipitação)   | P = 1375 mm         | $I_{CC} = 8,0$   |
| Característica geológico-geotécnica | SMR = 77,7          | $I_{CG} = 3,8$   |
| <b>Total</b>                        |                     | $I_{QB} = 78,2$  |

### 6.3.7 Talude ES-166 (3)

Assim como os demais taludes investigados desta rodovia, o VMD também influenciou o valor do índice  $I_{RV}$ . Estruturalmente o talude apresenta descontinuidades com atitudes semelhantes ao talude ES-166 (2), porém, devido à geometria da rodovia, a família principal forma fraturas perpendiculares à face do talude, tendendo a aumentar a

estabilidade do mesmo. No entanto, outra família de descontinuidade, com maior espaçamento, intercepta a família principal formando lascas ou placas, conforme pode ser visualizado na Figura 6.3. A formação desses blocos é visível na face do talude e, caso estes venham a se romper, a geometria favorecerá a permanência destes na área de captação, pois há a tendência de que as lascas e placas não adquiram movimento horizontal após a queda. A Tabela 6.14 apresenta os resultados obtidos após a aplicação do método para a determinação do índice de queda de blocos ( $I_{QB}$ ) no talude ES-166 (3).

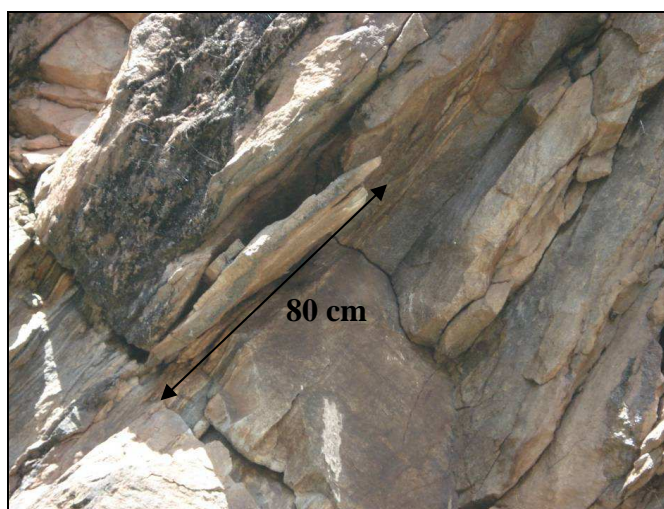


Figura 6.3 – Blocos de tamanho médio (placas) formados no talude ES-166 (3).

Tabela 6.14 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-166 (3).

| Parâmetro                           | Valor obtido | Pontuação       |
|-------------------------------------|--------------|-----------------|
| Altura do talude                    | H = 10,2 m   | $I_{AT} = 6,5$  |
| Efetividade da área de captação     | Limitada     | $I_{AC} = 27,0$ |
| Risco ao veículo                    | RV = 70,3 %  | $I_{RV} = 21,9$ |
| Distância de visibilidade           | DV = 207,0 % | $I_{DV} = 3,0$  |
| Largura do pavimento                | LP = 11,0 m  | $I_{LP} = 8,2$  |
| Dimensão do bloco                   | Db = 0,64 m  | $I_{DB} = 10,5$ |
| Condição climática (precipitação)   | P = 1375 mm  | $I_{CC} = 8,0$  |
| Característica geológico-geotécnica | SMR = 74,7   | $I_{CG} = 5,3$  |
| <b>Total</b>                        |              | $I_{QB} = 90,4$ |

### 6.3.8 Talude ES-181

A Tabela 6.15 apresenta os resultados obtidos após a aplicação do método para a determinação do índice de queda de blocos ( $I_{QB}$ ) do talude ES-181. Mesmo tendo o maciço granítico boas propriedades geotécnicas, o talude ES-181 recebeu pontuação geral intermediária, comparando-se com os demais taludes, devido, essencialmente, ao índice  $I_{DB}$ . Os outros parâmetros apresentaram baixos valores, contribuindo para a redução do  $I_{QB}$ .

Tabela 6.15 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-181.

| <b>Parâmetro</b>                    | <b>Valor obtido</b> | <b>Pontuação</b> |
|-------------------------------------|---------------------|------------------|
| Altura do talude                    | H = 8,0 m           | $I_{AT} = 4,3$   |
| Efetividade da área de captação     | Limitada            | $I_{AC} = 27,0$  |
| Risco ao veículo                    | RV = 36,2 %         | $I_{RV} = 4,9$   |
| Distância de visibilidade           | DV = 276,9 %        | $I_{DV} = 3,0$   |
| Largura do pavimento                | LP = 9,7 m          | $I_{LP} = 14,9$  |
| Dimensão do bloco                   | Db = 1,33 m         | $I_{DB} = 81$    |
| Condição climática (precipitação)   | P = 1371 mm         | $I_{CC} = 8,0$   |
| Característica geológico-geotécnica | SMR = 85,7          | $I_{CG} = 3,0$   |
| <b>Total</b>                        |                     | $I_{QB} = 146,1$ |

### 6.3.9 Talude ES-355

Neste talude, problemas de quedas de blocos são constantes. Apesar do pouco tempo relativo de observação, diversos blocos foram verificados na base do talude em diferentes ocasiões. Este fato exemplifica como a consideração de um parâmetro relacionado ao histórico de quedas afetaria diretamente a pontuação, expressando melhor a condição global do maciço rochoso. A Tabela 6.16 apresenta os resultados obtidos após a aplicação do método para a determinação do índice de queda de blocos ( $I_{QB}$ ) no talude ES-355.



Tabela 6.16 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-355.

| <b>Parâmetro</b>                    | <b>Valor obtido</b> | <b>Pontuação</b> |
|-------------------------------------|---------------------|------------------|
| Altura do talude                    | H = 12,7 m          | $I_{AT} = 10,2$  |
| Efetividade da área de captação     | Limitada            | $I_{AC} = 27,0$  |
| Risco ao veículo                    | RV = 69,5 %         | $I_{RV} = 21,2$  |
| Distância de visibilidade           | DV = 15 %           | $I_{DV} = 81,0$  |
| Largura do pavimento                | LP = 7,0 m          | $I_{LP} = 51,2$  |
| Dimensão do bloco                   | Db = 0,13 m         | $I_{DB} = 3,0$   |
| Condição climática (precipitação)   | P = 1375 mm         | $I_{CC} = 8,0$   |
| Característica geológico-geotécnica | SMR = 73,4          | $I_{CG} = 6,1$   |
| <b>Total</b>                        |                     | $I_{QB} = 207,7$ |

Muitas fraturas aleatórias interceptam as famílias principais, fato que provavelmente condicionou as diversas rupturas de blocos de tamanhos médios observadas na área de captura. Neste caso, como a área de captura é limitada, a presença de matacões pode estar associada aos serviços de conservação da estrada, que procuram retirar objetos do pavimento para disposição em local próximo. Essa prática é comum após a deflagração de escorregamentos (“quedas de barreiras”).

O início da seção para os condutores que trafegam na faixa junto ao maciço ocorre próximo à curva horizontal, por isso foram obtidos valores grandes do  $I_{DV}$ . Além da distância de visibilidade comprometida, a declividade da pista contribui para dificultar a parada do veículo quando o condutor avista o obstáculo.

### **6.3.10 Talude ES-482**

A Tabela 6.17 apresenta os resultados obtidos após a aplicação do método para a determinação do índice de queda de blocos ( $I_{QB}$ ) neste talude. Com distância de visibilidade inadequada, o trecho possui geometria que dificulta a realização de manobras, caso o condutor depare com qualquer objeto na pista, pois apesar de situado

em curva sinuosa, os veículos ultrapassam a seção em alta velocidade em função das rampas presentes nas imediações do maciço.

Tabela 6.17 – Pontuação referente às condições gerais do talude ES-482.

| <b>Parâmetro</b>                    | <b>Valor obtido</b> | <b>Pontuação</b> |
|-------------------------------------|---------------------|------------------|
| Altura do talude                    | H = 10,4 m          | $I_{AT} = 6,7$   |
| Efetividade da área de captação     | Moderada            | $I_{AC} = 27,0$  |
| Risco ao veículo                    | RV = 60,6 %         | $I_{RV} = 14,3$  |
| Distância de visibilidade           | DV = 14,1 %         | $I_{DV} = 81,0$  |
| Largura do pavimento                | LP = 8,0 m          | $I_{LP} = 32,4$  |
| Dimensão do bloco                   | Db = 0,36 m         | $I_{DB} = 3,7$   |
| Condição climática (precipitação)   | P = 1278 mm         | $I_{CC} = 5,0$   |
| Característica geológico-geotécnica | SMR = 73,0          | $I_{CG} = 6,4$   |
| <b>Total</b>                        |                     | $I_{QB} = 176,5$ |

O fraturamento do maciço é bastante característico, com mergulho das descontinuidades contribuindo desfavoravelmente à estabilidade do talude. Apesar do atrito nas descontinuidades apresentar alto grau de imbricamento, a família principal é susceptível a rupturas planares. A presença de descontinuidades aleatórias pode provocar quedas, principalmente quando condicionadas pelo bandamento do gnaisse.

A área de captação também não é suficiente, sendo esta dimensionada em desconformidade com o ábaco de Ritchie. Contudo, o baixo valor do  $I_{DB}$  traduz o menor potencial de ruptura de blocos grandes, que poderiam interromper o tráfego.

A correção da geometria do traçado é uma tarefa onerosa neste segmento devido a fatores das esferas econômica e ambiental. Somente a escavação do maciço, para distanciar a faixa de rolamento do talude ou incremento da área de captação, é uma das atividades de alto custo na execução de obras rodoviárias. O deslocamento da faixa de rolamento poderia solucionar o problema, entretanto, devido à morfologia do terreno no qual a rodovia está inserida, o escalonamento de aterro também seria uma atividade

onerosa. Além de exigir grande volume de terraplenagem, pressões ambientais impedem o avanço de aterros sobre áreas de preservação permanente, que estão presentes em vários vales da bem drenada região do município de Alegre.

### 6.3.11 Talude BR-259

A ocorrência de fraturas com grande abertura é a principal característica geológico-geotécnica deste talude, que influenciou o aumento do índice  $I_{CG}$ , o qual, por sua vez, contribuiu para elevar a pontuação global do maciço. As fraturas na parte superior do talude possuem abertura acima de 5 cm. Parte do preenchimento das discontinuidades é argiloso, ocorrendo também matéria orgânica. A presença do bandamento é marcante, sendo este o principal plano de descontinuidade, mergulhando desfavoravelmente à estabilidade do talude.

A Tabela 6.18 apresenta os resultados obtidos após a aplicação do método para a determinação do índice de queda de blocos ( $I_{QB}$ ) no talude BR-259.

Tabela 6.18 – Pontuação referente às condições gerais do talude BR-259.

| <b>Parâmetro</b>                    | <b>Valor obtido</b> | <b>Pontuação</b> |
|-------------------------------------|---------------------|------------------|
| Altura do talude                    | H = 8,7 m           | $I_{AT} = 4,9$   |
| Efetividade da área de captação     | Boa                 | $I_{AC} = 9,0$   |
| Risco ao veículo                    | RV = 202,5 %        | $I_{RV} = 81,0$  |
| Distância de visibilidade           | DV = 126,0 %        | $I_{DV} = 3,0$   |
| Largura do pavimento                | LP = 11,6 m         | $I_{LP} = 6,2$   |
| Dimensão do bloco                   | Db = 0,37 m         | $I_{DB} = 3,9$   |
| Condição climática (precipitação)   | P = 1075 mm         | $I_{CC} = 3,0$   |
| Característica geológico-geotécnica | SMR = 63,4          | $I_{CG} = 18,4$  |
| <b>Total</b>                        |                     | $I_{QB} = 129,4$ |

### 6.3.12 Talude BR-262

O talude destacou-se pela pontuação obtida na categoria volume dos blocos. O valor de máximo para  $I_{DB}$  expressa a condição estrutural do maciço rochoso, cujas descontinuidades delimitam blocos grandes, acima de  $1\text{m}^3$ . Assim como no talude BR-259, o fraturamento do maciço é intensificado no topo do talude, porém com descontinuidades mais espaçadas.

O modelo estrutural do talude condiciona a formação de grandes blocos em forma de placas, sendo visível em campo a presença de diversos destes nas áreas de captação ao longo da rodovia. A Figura 6.4 mostra ruptura de blocos em talude adjacente ao estudado.

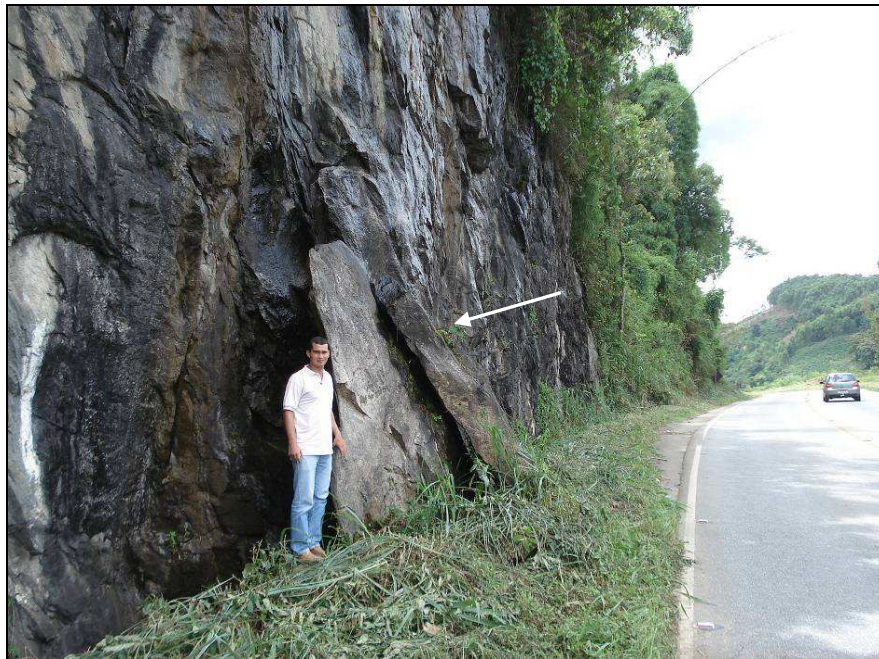


Figura 6.4 – Ruptura de blocos grandes em forma de placa na BR-262.

A pontuação global do talude foi fortemente influenciada pela dimensão dos blocos presentes na parte superior da face principal do mesmo. Outro aspecto que influenciou o  $I_{QB}$  foi o  $I_{RV}$ , devido ao VMD elevado e à alta velocidade diretriz. A área de captação pode ser considerada a mais adequada dentre os pontos avaliados. Assim como no

talude ES-146, a presença constante de água na superfície do talude e a presença de vegetação na face superior pode provocar maior percolação de água, que aliada ao fraturamento, aumenta a possibilidade de rupturas.

Apesar do índice  $I_{QB}$  não indicar a condição mais problemática dentre os taludes investigados, especial atenção pode ser dada a este talude e a outros maciços da BR-262, devido à importância da rodovia no cenário dos transportes rodoviários. Nestes casos, a compreensão do tipo de movimento é fundamental, podendo ser obtido a partir de análises cinemáticas de estabilidade.

A Tabela 6.19 apresenta os resultados obtidos após a aplicação do método para a determinação do índice de queda de blocos ( $I_{QB}$ ) no talude BR-262.

Tabela 6.19 – Pontuação referente às condições gerais do talude BR-262.

| <b>Parâmetro</b>                    | <b>Valor obtido</b> | <b>Pontuação</b> |
|-------------------------------------|---------------------|------------------|
| Altura do talude                    | H = 12,9 m          | $I_{AT} = 10,6$  |
| Efetividade da área de captação     | Boa                 | $I_{AC} = 9,0$   |
| Risco ao veículo                    | RV = 137,2 %        | $I_{RV} = 81,0$  |
| Distância de visibilidade           | DV = 116,5 %        | $I_{DV} = 3,0$   |
| Largura do pavimento                | LP = 10,0 m         | $I_{LP} = 13,0$  |
| Dimensão do bloco                   | Db = 2,84 m         | $I_{DB} = 81,0$  |
| Condição climática (precipitação)   | P = 1475 mm         | $I_{CC} = 14,0$  |
| Característica geológico-geotécnica | SMR = 69,7          | $I_{CG} = 9,2$   |
| <b>Total</b>                        |                     | $I_{QB} = 220,8$ |

## **6.4 ANÁLISE DOS PARÂMETROS UTILIZADOS NA CLASSIFICAÇÃO DOS TALUDES**

Neste item será discutida a efetividade de cada parâmetro adotado na classificação dos taludes proposta para a avaliação do perigo de queda de blocos.

### 6.4.1 Altura do talude

A altura do talude é característica fundamental em análises de estabilidade, que conseqüentemente envolvem problemas de queda de blocos por diversos mecanismos de ruptura. Em taludes com grandes dimensões verticais, como os de minerações, a resistência da rocha intacta é fator fundamental na estabilidade do maciço. Resistências baixas geram deformações em camadas inferiores dos maciços que podem ocasionar rupturas mesmo sem a influência das descontinuidades.

A pontuação deste parâmetro, isto é, o índice altura do talude  $I_{AT}$ , seguindo o preconizado no modelo desenvolvido por Pierson *et al* (1990), variou exponencialmente com a altura do talude, segundo o gráfico mostrado na Figura 6.5. Nota-se um ponto em destaque que representa a altura do talude ES-164, o mais alto dentre os investigados, portanto, obteve o maior  $I_{AT}$ .

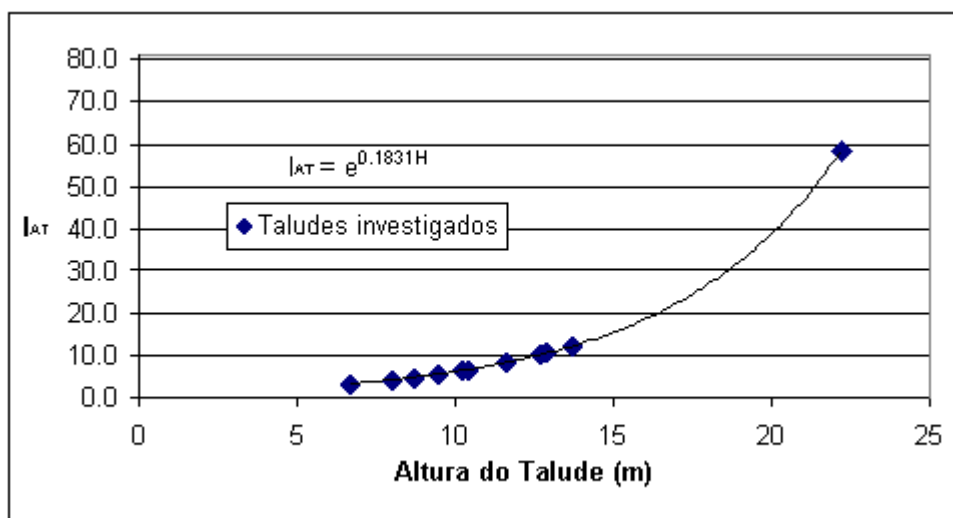


Figura 6.5 – Relação entre o índice  $I_{AT}$  e altura de cada talude nas seções investigadas.

O parâmetro mostrou-se efetivo no diagnóstico geométrico dos taludes porque quanto mais alto o talude, maior a probabilidade da existência de descontinuidades que possam levar a ruptura de blocos. Portanto, a presença desta categoria deve ser contemplada nas avaliações de quedas de blocos em rodovias. Além da medida da face principal do

talude, análises aprofundadas poderiam determinar a geometria da face superior do talude, que pode conter matacões em camada de solo coluvionar, conforme proposta de Hadjin (2002).

#### 6.4.2 Efetividade da área de captação

A Tabela 6.20 apresenta os dados da profundidade e largura da área de captação, pois estes, juntamente com os valores da altura e inclinação da encosta, formam o conjunto de variáveis a serem interpoladas no ábaco de Ritchie.

Tabela 6.20 – Dados da largura e profundidade das áreas de captação analisadas, segundo a situação real e o dimensionamento proposto por Ritchie (1963).

| <b>Rodovia</b> | <b>Captura</b> | <b>Largura real (m)</b> | <b>Profundidade real (m)</b> | <b>Largura de projeto (m)</b> | <b>Profundidade de projeto (m)</b> |
|----------------|----------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| ES – 080 (1)   | Limitada       | 0,6                     | 0,7                          | 3,8                           | 1,1                                |
| ES – 080 (2)   | Limitada       | 0,3                     | 0,6                          | 5,3                           | 1,3                                |
| ES – 146       | Moderada       | 3,0                     | 0,0                          | 5,0                           | 1,2                                |
| ES – 164       | Sem            | 0,2                     | 0,0                          | 6,7                           | 1,4                                |
| ES – 166 (1)   | Limitada       | 1,0                     | 0,5                          | 4,4                           | 1,2                                |
| ES – 166 (2)   | Limitada       | 1,5                     | 0,0                          | 4,6                           | 1,2                                |
| ES – 166 (3)   | Limitada       | 1,5                     | 0,0                          | 4,8                           | 1,3                                |
| ES – 181       | Limitada       | 1,5                     | 0,0                          | 4,1                           | 1,1                                |
| ES – 355       | Limitada       | 0,5                     | 0,8                          | 5,1                           | 1,2                                |
| ES – 482       | Moderada       | 1,5                     | 0,4                          | 4,7                           | 1,2                                |
| BR – 259       | Boa            | 3,3                     | 1,5                          | 4,4                           | 1,2                                |
| BR – 262       | Boa            | 2,5                     | 1,3                          | 5,3                           | 1,3                                |

A Figura 6.6 apresenta a comparação entre a largura real e de projeto. A Figura 6.7 apresenta a comparação entre a profundidade real e de projeto. As dimensões de projeto referem-se aos valores propostos por Ritchie (1963).

Verifica-se que a maioria das áreas de captação não foi dimensionada segundo o critério de Ritchie, em sua proposta em favor da segurança viária quanto a este problema geotécnico. A largura real da área de captação, conforme pode ser visualizado na Figura 6.6, mostrou-se bastante deficiente, principalmente na seção estudada da rodovia ES-164, que possui a menor largura real e necessitaria de melhorias para aproximar-se da largura de projeto. Quanto à profundidade, as duas rodovias federais estudadas se destacaram positivamente por apresentarem dimensões compatíveis com o ábaco de Ritchie, fato que comprovou a designação para área como sendo de boa captura de blocos, apresentada na Tabela 6.20.

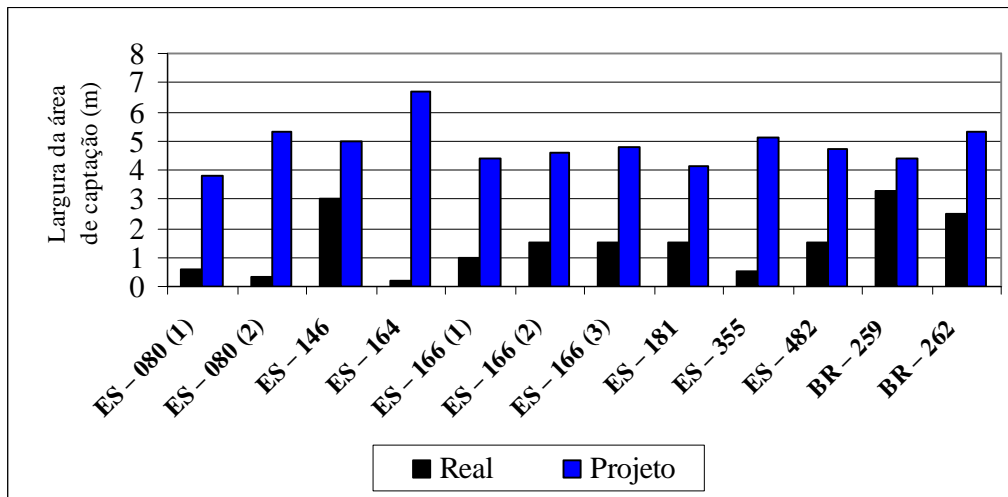


Figura 6.6 – Comparação entre a largura real e de projeto para a área de captação.

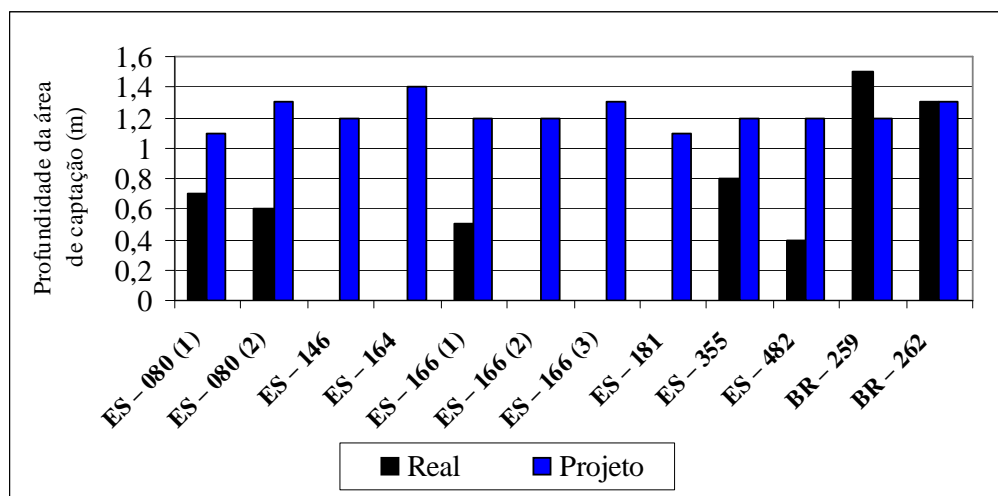


Figura 6.7 – Comparação entre a profundidade real e de projeto para a área de captação.



A Figura 6.8 mostra a pontuação obtida para o parâmetro efetividade da área de captação ( $I_{AC}$ ) em cada talude. O talude ES-164 destaca-se negativamente em virtude da ausência de área de captação, recebendo a pontuação máxima. A maioria dos trechos, por possuírem estruturas mal dimensionadas, recebeu classificação limitada (27 pontos).

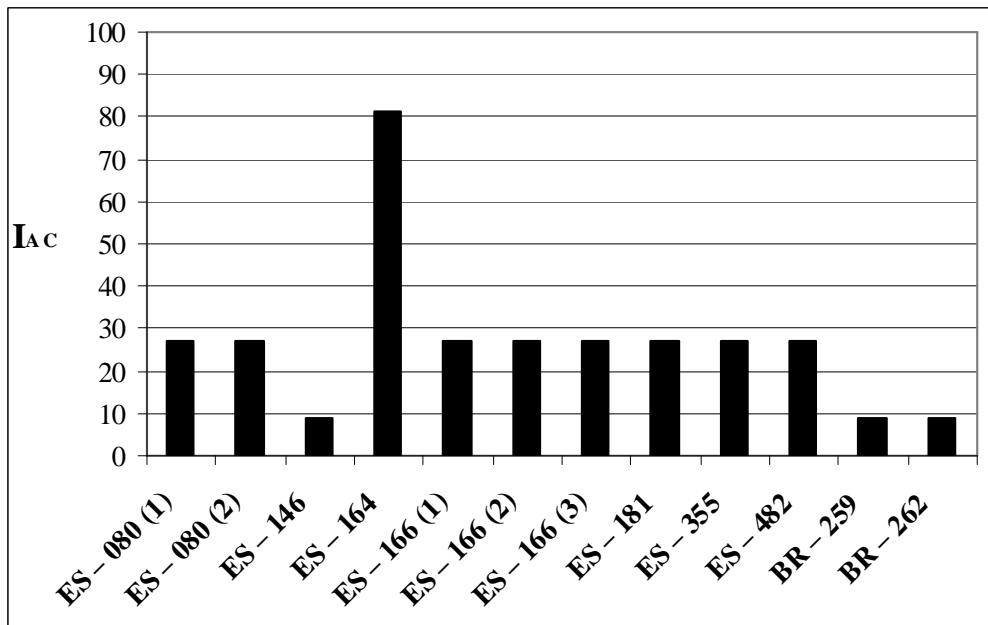


Figura 6.8 – Índice obtido para a área de captação ( $I_{AC}$ ).

Além das rodovias federais, alguns segmentos da seção estudada na ES-146 apresentam boas condições de captura de blocos, apesar de classificada como moderada. Mesmo não possuindo profundidade, a largura real da área aproxima-se da de projeto (Ritchie, 1963). Soma-se ao efeito da largura, as condições da superfície da área de captação, composta por vegetação de gramíneas diversas e materiais inconsolidados, fato que contribui para a absorção de possíveis impactos oriundos das quedas. O mesmo pode ser verificado na área de captura do talude BR-262.

A Figura 6.9 mostra blocos rochosos contidos na base de talude na ES-164, considerada, entre as seções investigadas, o pior cenário da estrutura responsável pela captura de blocos.

A discussão acerca da área de captação de blocos nas bases de taludes rochosos rodoviários deve ser estendida para além da esfera técnica. O aspecto financeiro, objetivo fundamental da engenharia, também deve ser cuidadosamente estudado.



Figura 6.9 – Blocos contidos na área de captação de trecho da rodovia ES-164.

Os trechos das rodovias estaduais analisados neste trabalho não possuem sequer acostamento devido aos excessivos gastos necessários à execução de grandes escavações em rocha, ou mesmo à dificuldade financeira em realizar escalonamentos nos aterros, visando aumentar a faixa de rolamento e a distância do maciço rochoso.

Atualmente, nota-se que o crescimento das pressões ambientais está contribuindo para o aumento das escavações em rocha devido às exigências de proteção dos recursos hídricos. Trechos rodoviários com traçado encaixado entre cursos d'água e maciços rochosos geralmente tendem a interferir nas drenagens naturais. Neste caso, a solução torna-se puramente de engenharia.

Com aumento da conscientização a respeito da preservação dos cursos d'água, será inevitável o incremento nas escavações em taludes rochosos e, com isso, o perigo de queda de blocos e o adequado dimensionamento das estruturas de proteção ou áreas de captação. Entretanto, do ponto de vista ambiental, também devem ser estimados os impactos oriundos das escavações dos maciços rochosos.

### 6.4.3. Largura do pavimento

A Figura 6.10 representa as medidas das larguras das faixas pavimentadas em todas as seções, em gráfico que aborda a variação do índice  $I_{LP}$  em relação à largura do pavimento. Diferentemente da categoria altura do talude, o  $I_{LP}$  é inversamente proporcional à faixa de rolamento disponível ao condutor para realização de manobras.

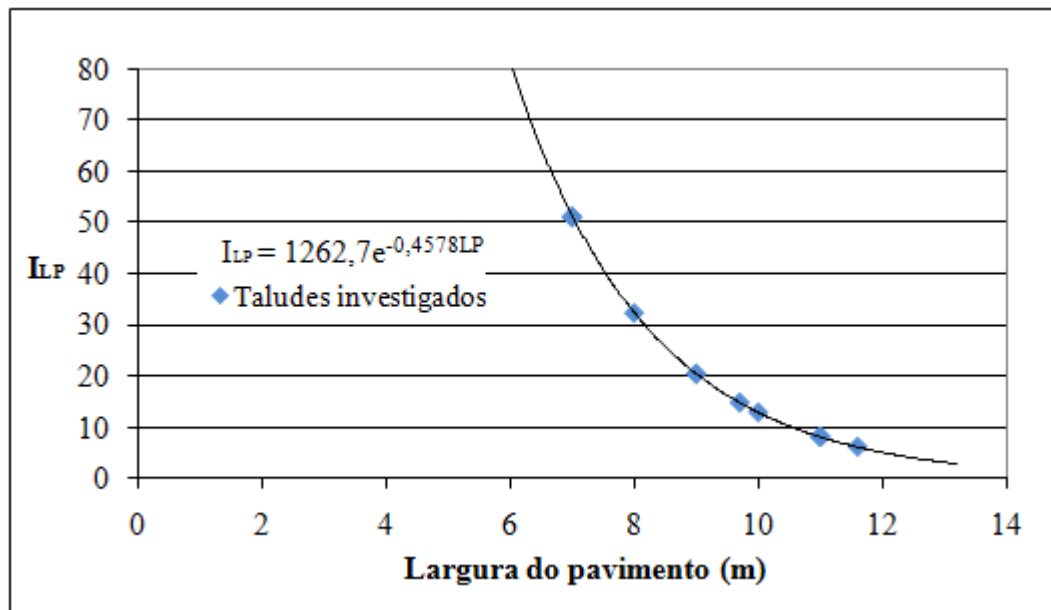


Figura 6.10 – Variação da largura do pavimento nas seções investigadas e sua relação do o índice  $I_{LP}$ .

Os resultados da pontuação calculada para este parâmetro são apresentados na Figura 6.11. A ES-166 e as rodovias federais apresentaram as faixas de rolamento mais adequadas, pois oferecem maior segurança aos usuários, possibilitando maior espaço para manobras e desvios. Os taludes das rodovias ES-080 e ES-355 obtiveram os piores cenários, isto é, os maiores índices de  $I_{LP}$ . Os altos valores obtidos nestas seções estão

relacionados à dificuldade de execução de faixas pavimentadas mais largas, em virtude do relevo acidentado das regiões de Santa Tereza e Santa Maria de Jetibá.

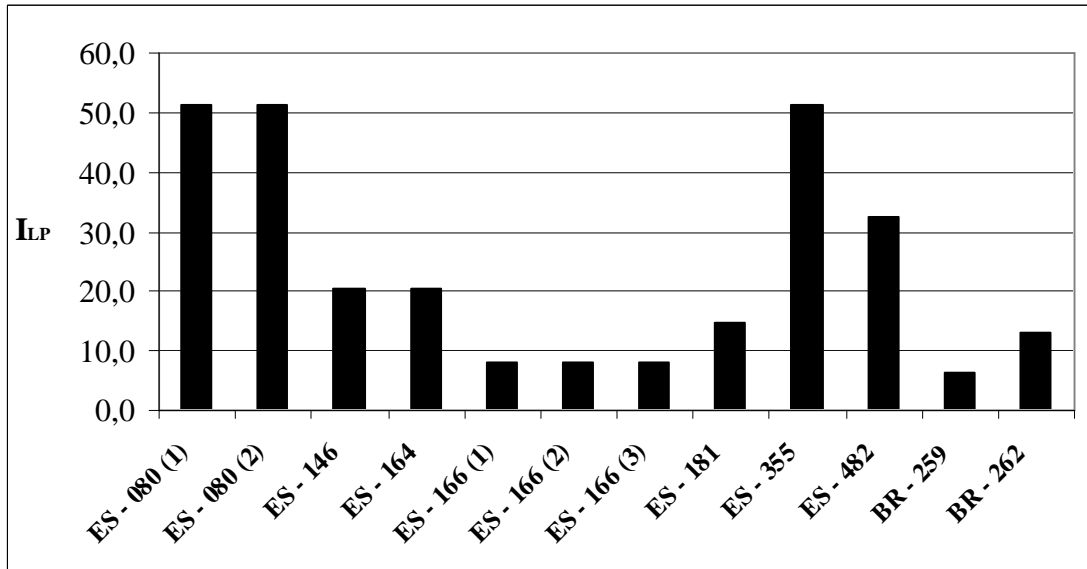


Figura 6.11 – Variação do I<sub>LP</sub> nos trechos investigados.

A maioria dos métodos de avaliação do perigo de queda de blocos em rodovias que surgiram com base na proposta de Pierson *et al* (1990) manteve a largura do pavimento como categoria essencial da pontuação das seções por considerarem este aspecto geométrico importante para a segurança rodoviária.

#### 6.4.4 Porcentagem da distância de visibilidade

A porcentagem da distância de visibilidade é um parâmetro importante na avaliação do perigo de queda de blocos, estando intimamente relacionado com a probabilidade da ocorrência de colisão do automóvel com qualquer objeto presente na pista.

Quanto maior a porcentagem da distância de visibilidade, menor a pontuação, pois o risco oferecido ao condutor é reduzido, já que o mesmo estaria hábil a parar o veículo antes de qualquer colisão. Entretanto, muitos trechos de rodovias com taludes rochosos são sinuosos, com pouca distância de visibilidade, fato que pode dificultar a tomada de decisão no momento que antecede à ocorrência.

Este parâmetro foi pontuado a partir da relação entre a distância de visibilidade real e a de projeto ou ideal, descrita em termos de porcentagem. A variação da pontuação  $I_{DV}$  ocorre de acordo com o gráfico mostrado na Figura 6.12.

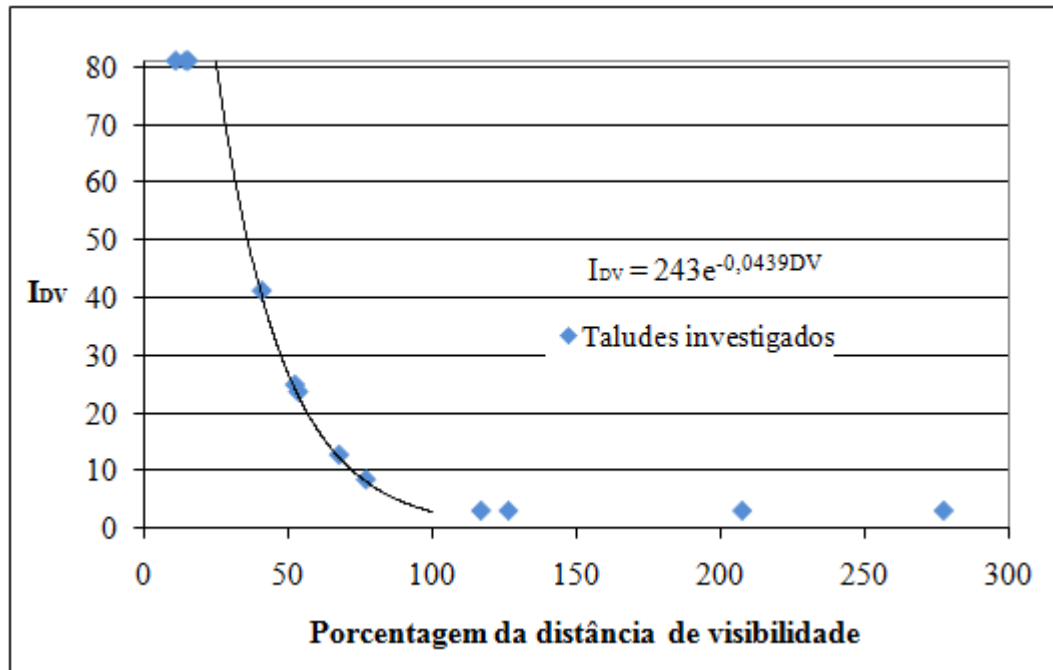


Figura 6.12 – Variação pontuação  $I_{DV}$  em função da distância de visibilidade nas seções correspondentes a cada talude.

Os taludes que apresentaram as piores pontuações com relação a esta categoria são aqueles cujos cortes encontram-se no início de uma curva. É o caso dos trechos estudados na ES-080 (2), ES-355 e ES-482. Com pontuação máxima para esta categoria, estes trechos representam perigo aos usuários da rodovia, pois qualquer objeto na pista não é visível ao condutor.

A Figura 6.13 mostra o resultado final da pontuação desta categoria. A variação do índice  $I_{DV}$  é visível, pois a pontuação oscila entre os extremos. Além da seção ES-181 e da ES-166 (3), os taludes das rodovias federais apresentaram baixa pontuação deste parâmetro. Por possuírem maior porte, atenderem a tráfego mais intenso e pesado, o projeto de rodovias federais atende a diretrizes mais exigentes, visando à segurança dos usuários. Os outros trechos da ES-166 e nas seções ES-146 e ES-164, as condições

geométricas poderiam ser reavaliadas durante melhoramentos nas rodovias, pois as condições topográficas são menos restritivas.

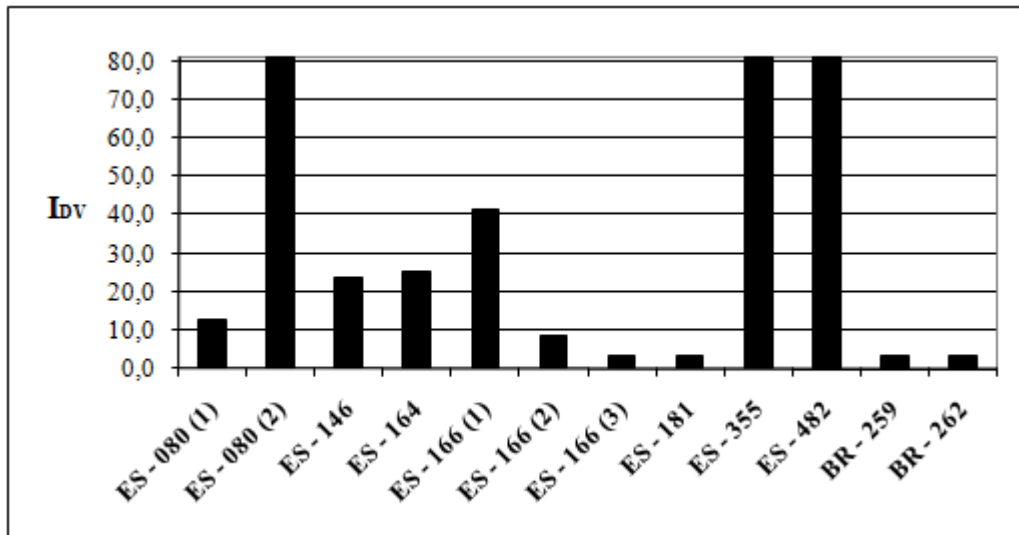


Figura 6.13 – Pontuação da categoria porcentagem da distância de visibilidade.

#### 6.4.5 Risco médio ao veículo

A determinação do Risco Médio ao Veículo (RV) também é efetuada em termos de porcentagem. Neste caso, quanto menor for a porcentagem de veículos presentes em zonas de perigo de quedas, menor será a pontuação  $I_{RV}$  do talude. A Figura 6.14 apresenta os resultados obtidos para cada segmento ou seção estudada.

Nota-se que as rodovias federais destacaram-se negativamente nesta categoria. A variável que influenciou os valores de  $I_{RV}$  nestes trechos foi o volume de tráfego médio diário (VMD). Possuindo fluxo intenso de veículos, os valores obtidos nos trechos federais refletem a importância dessas rodovias em relação às demais. Danos causados à infra-estrutura dos transportes, em caso de quedas de blocos nestas seções, são de grande magnitude, podendo afetar o fluxo de cargas diário e a economia regional. Além disso, a velocidade diretriz alta desses trechos eleva a pontuação global deste índice.

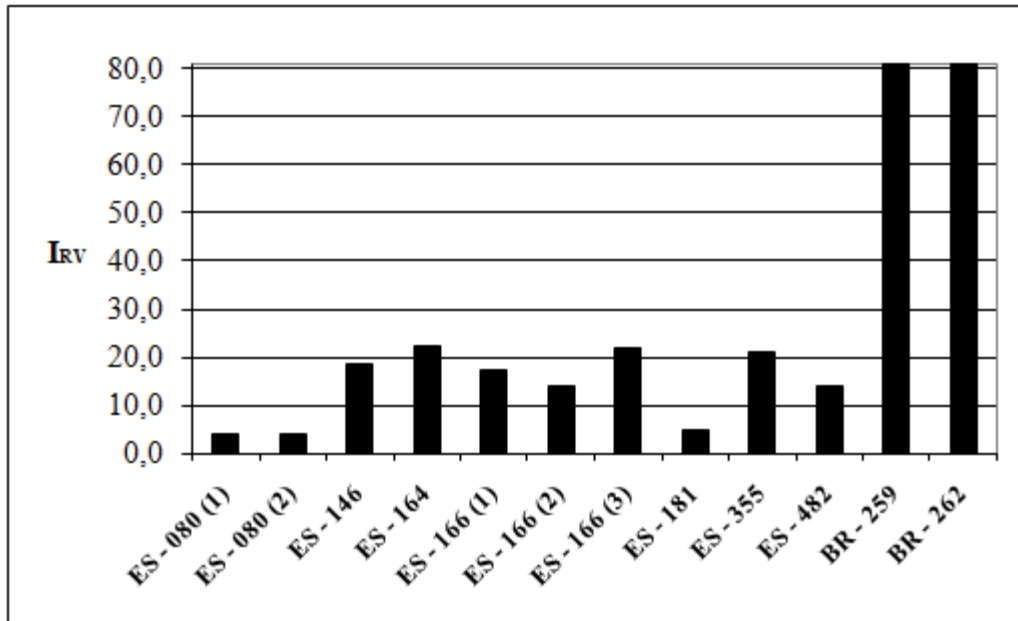


Figura 6.14 – Pontuação geral do I<sub>RV</sub> de cada segmento referente aos taludes estudados.

A Figura 6.15 mostra os valores de I<sub>RV</sub> obtidos em cada seção sobre gráfico que representa a tendência de variação exponencial com o parâmetro RV. O risco médio acima de 100% corresponde a segmentos rodoviários onde a probabilidade de veículos trafegarem sobre a zona de perigo do maciço rochoso é constante.

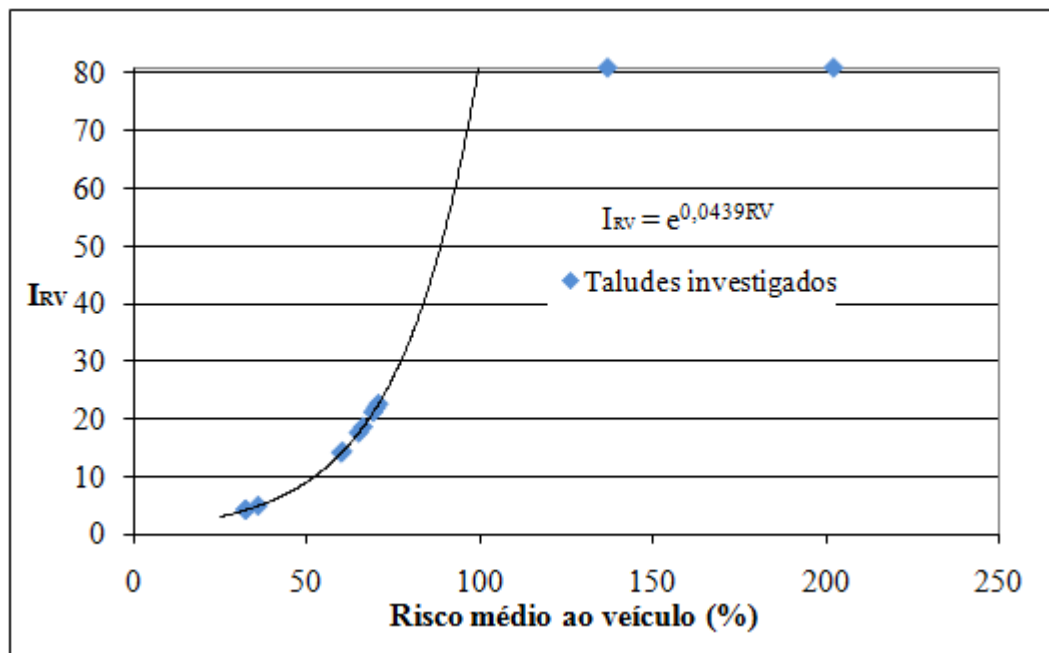


Figura 6.15 – Variação exponencial das pontuações obtidas quanto ao RV.

As rodovias estaduais obtiveram médios a baixos índices relacionados a este parâmetro. Apesar das velocidades diretrizes menores, que contribuíram positivamente no índice  $I_{RV}$ , o baixo VMD foi o fator que proporcionou a redução da pontuação nesses segmentos. Com o crescimento populacional nos municípios, o aumento do volume de tráfego deverá aumentar a pontuação do índice  $I_{RV}$ . Com isso, esta categoria tenderá a aumentar nas rodovias estaduais, assim como o número de veículos presentes na zona susceptível de queda de blocos.

#### **6.4.6 Condição climática**

A condição climática representa um parâmetro com grande influência na avaliação de ruptura em maciços rochosos. O fator climático de maior influência nos taludes brasileiros é a precipitação pluviométrica, na qual a água, ao percolar pelas descontinuidades, promove a redução da resistência ao cisalhamento do maciço.

A Figura 6.16 mostra a variação do  $I_{CC}$  em função da precipitação anual média dos locais investigados neste trabalho. Os valores de  $I_{CC}$  para cada trecho investigado são apresentados na Figura 6.17.

O método de Pierson *et al* (1990) propõe a verificação da presença de água na superfície do talude para pontuar este parâmetro. Entretanto, como este aspecto já estaria sendo contemplado na classificação RMR com maior detalhamento, procurou-se adotar a proposta de Budetta (2004), que utilizou valores de precipitação pluviométrica das regiões nas quais os maciços rochosos estariam inseridos.

Esta avaliação climática a partir do índice pluviométrico é importante para a determinação do potencial de queda de blocos em maciços rochosos, pois a percolação de água das descontinuidades contribui significativamente para a redução da resistência ao cisalhamento dos taludes, conforme estudos apontados por Bieniawski (1984) e Palmström (1995).



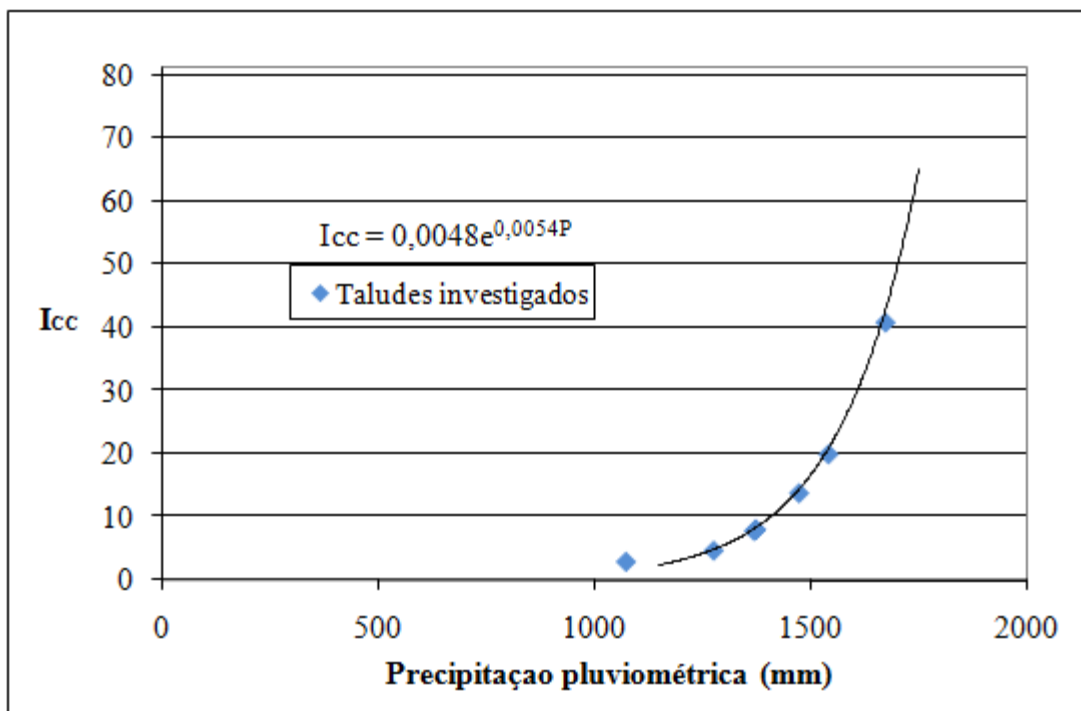


Figura 6.16 – Variação do índice condição climática em função da precipitação pluviométrica anual média.

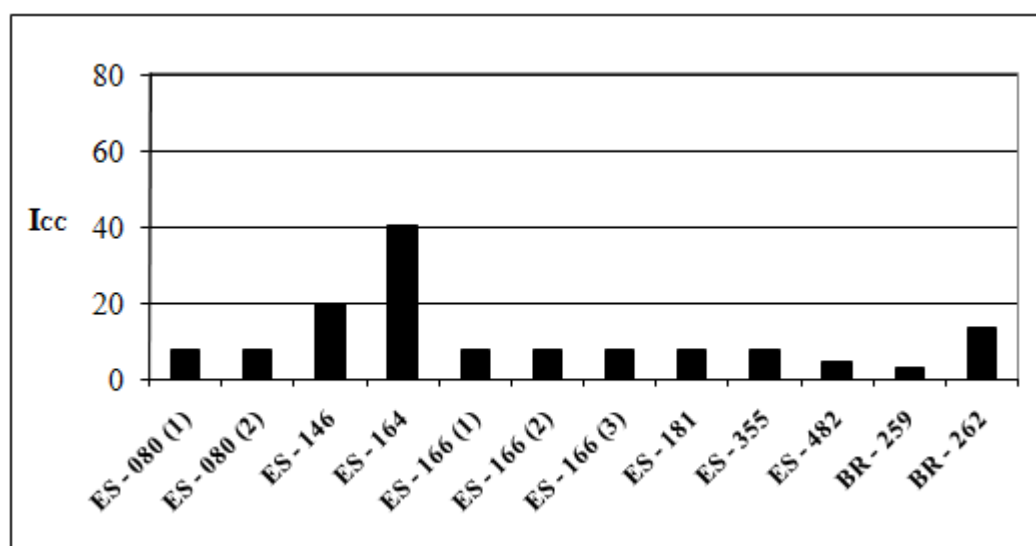


Figura 6.17 – Valores de  $I_{CC}$  para cada seção rodoviária investigada.

#### 6.4.7 Dimensão dos blocos

Para a determinação do volume dos blocos utilizou-se a proposta de Palmström (1995). Para tanto, foram determinadas as medidas do número de famílias e do espaçamento das

descontinuidades, que foram utilizadas para a obtenção da dimensão dos blocos. Os valores obtidos para as variáveis que são aplicadas no cálculo do volume dos blocos são apresentados na Tabela 6.21.

Tabela 6.21 – Valores obtidos para as variáveis que integram o cálculo da dimensão dos blocos.

| <b>Talude</b> | <b>Descontinuidades</b>           | <b>J<sub>v</sub></b> | <b>S<sub>min</sub> (m)</b> | <b>S<sub>máx</sub> (m)</b> | <b>n<sub>j</sub></b> | <b>β</b> |
|---------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|----------|
| ES – 080 (1)  | 1 família +<br>juntas aleatórias  | 5,0                  | 0,2                        | 0,6                        | 1,5                  | 62,0     |
| ES – 080 (2)  | 3 famílias                        | 4,3                  | 0,6                        | 2,0                        | 3,0                  | 43,3     |
| ES – 146      | 2 famílias                        | 2,8                  | 0,6                        | 2,0                        | 2,0                  | 55,0     |
| ES – 164      | 1 família +<br>juntas aleatórias  | 14,2                 | 0,06                       | 0,2                        | 1,5                  | 66,7     |
| ES – 166 (1)  | 2 famílias                        | 28,5                 | 0,06                       | 0,2                        | 2,0                  | 55,0     |
| ES – 166 (2)  | 2 famílias                        | 13,3                 | 0,1                        | 0,4                        | 2,0                  | 62,0     |
| ES – 166 (3)  | 2 famílias +<br>juntas aleatórias | 6,7                  | 0,1                        | 0,7                        | 2,5                  | 78,8     |
| ES – 181      | 2 famílias                        | 2,8                  | 0,6                        | 2,0                        | 2,0                  | 55,0     |
| ES – 355      | 2 famílias +<br>juntas aleatórias | 28,5                 | 0,06                       | 0,2                        | 2,5                  | 48,0     |
| ES – 482      | 2 famílias +<br>juntas aleatórias | 10                   | 0,2                        | 0,6                        | 2,5                  | 45,2     |
| BR – 259      | 2 famílias                        | 10                   | 0,2                        | 0,6                        | 2,0                  | 51,5     |
| BR – 262      | 1 família +<br>juntas aleatórias  | 1,4                  | 0,6                        | 2,0                        | 1,5                  | 66,7     |

Os volumes dos blocos são medidas que variam bastante nos maciços rochosos. Em inspeções visuais ou investigações de campo superficiais não é possível detectar claramente possíveis planos de fraqueza fora da superfície exposta dos taludes, que possam influenciar o comportamento do maciço. Esses planos de fraqueza constituem

descontinuidades que podem provocar rupturas de blocos com dimensões distintas das calculadas.

Devido à importância desta categoria na avaliação do perigo de quedas de blocos, esta é usualmente adotada pelas classificações originadas a partir de modificações do sistema RHRS, pois é um importante indicador do comportamento mecânico do maciço rochoso. As dimensões médias dos blocos em cada ponto são mostradas na Tabela 6.22.

Tabela 6.22 – Valores obtidos para a dimensão dos blocos e terminologia adotada.

| <b>Talude</b> | <b>Volume dos blocos (Vb)</b> | <b>Dimensão dos blocos (Db)</b> | <b>Termo correspondente (Palmström, 1995)</b> |
|---------------|-------------------------------|---------------------------------|---|
| ES – 080 (1)  | 0,496 m <sup>3</sup>          | 0,79 m                          | Blocos grandes                                |
| ES – 080 (2)  | 0,550 m <sup>3</sup>          | 0,82 m                          | Blocos grandes                                |
| ES – 146      | 2,358 m <sup>3</sup>          | 1,33 m                          | Blocos grandes                                |
| ES – 164      | 0,023 m <sup>3</sup>          | 0,28 m                          | Blocos de tamanho médio                       |
| ES – 166 (1)  | 0,002 m <sup>3</sup>          | 0,13 m                          | Blocos de tamanho pequeno                     |
| ES – 166 (2)  | 0,026 m <sup>3</sup>          | 0,30 m                          | Blocos de tamanho médio                       |
| ES – 166 (3)  | 0,266 m <sup>3</sup>          | 0,64 m                          | Blocos grandes                                |
| ES – 181      | 2,358 m <sup>3</sup>          | 1,33 m                          | Blocos grandes                                |
| ES – 355      | 0,002 m <sup>3</sup>          | 0,13 m                          | Blocos de tamanho pequeno                     |
| ES – 482      | 0,045 m <sup>3</sup>          | 0,36 m                          | Blocos de tamanho médio                       |
| BR – 259      | 0,052 m <sup>3</sup>          | 0,37 m                          | Blocos de tamanho médio                       |
| BR – 262      | 22,867 m <sup>3</sup>         | 2,84 m                          | Blocos muito grandes                          |

Os índices correspondentes ao volume dos blocos ( $I_{DB}$ ) em cada talude variaram de acordo com o gráfico apresentado na Figura 6.18. O  $I_{DB}$ , apesar de ser uma estimativa, expressou o perigo da ruptura de blocos grandes no talude BR-262. Este talude destaca-se negativamente como o trecho de maiores problemas de volumes, devido ao espaçamento maior entre as descontinuidades da única família identificada, fato também observado nos ES-146 e ES-181. No caso dos demais taludes, as fraturas menos

espaçadas e o maior número de famílias delimitam menores volumes de blocos, consequentemente a pontuação do índice  $I_{DB}$  decresce.

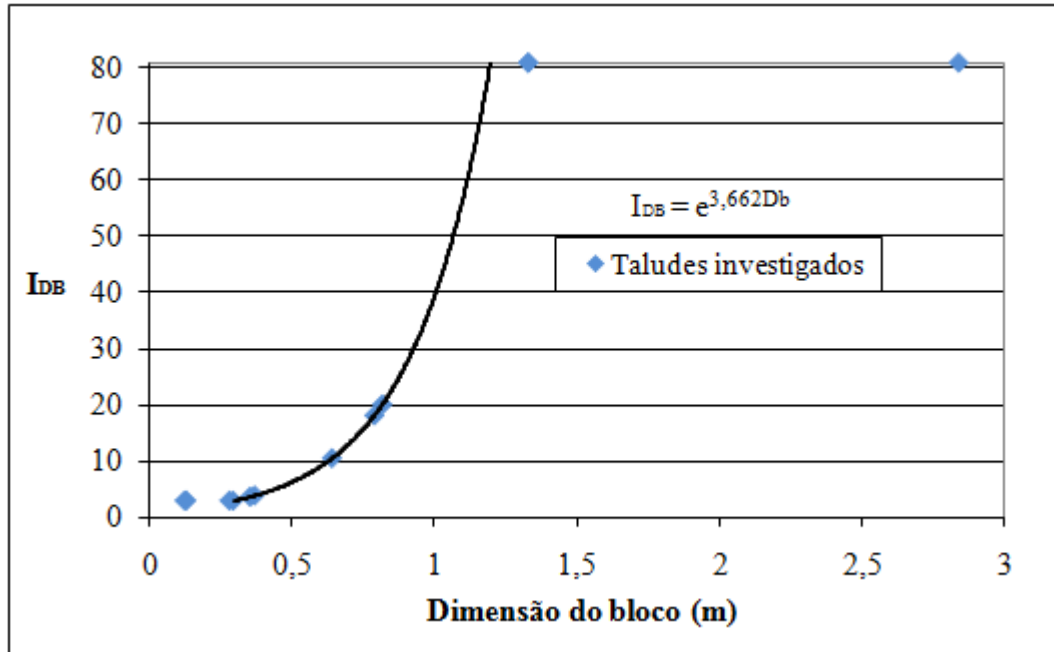


Figura 6.18 – Variação de  $I_{DB}$  em função da dimensão do bloco.

A Figura 6.19 apresenta os valores obtidos para o  $I_{DB}$  em cada talude. Os volumes médios dos blocos, de magnitudes baixas, geraram valores pequenos do índice.

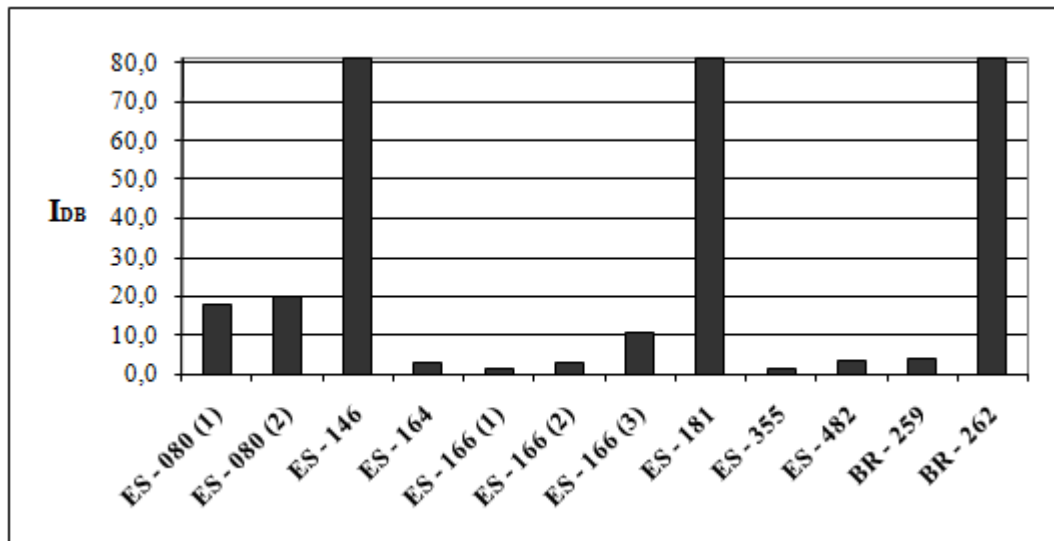


Figura 6.19 – Valores obtidos para o índice  $I_{DB}$  em cada talude.

#### 6.4.8 Característica geológica

Budetta (2004) propôs a incorporação do SMR na avaliação geológico-geotécnica dos taludes, cujo valor é inversamente proporcional à pontuação adotada por Pierson *et al* (1990). Nessa trajetória, procedeu-se a adequação do método RHRS às características geomecânicas dos maciços rochosos obtidos com a aplicação do SMR, índice que é um ajustamento do RMR.

A Figura 6.20 mostra a relação entre o índice  $I_{CG}$  proposto neste trabalho e o valor do SMR, bem como a distribuição dos valores obtidos para cada talude.

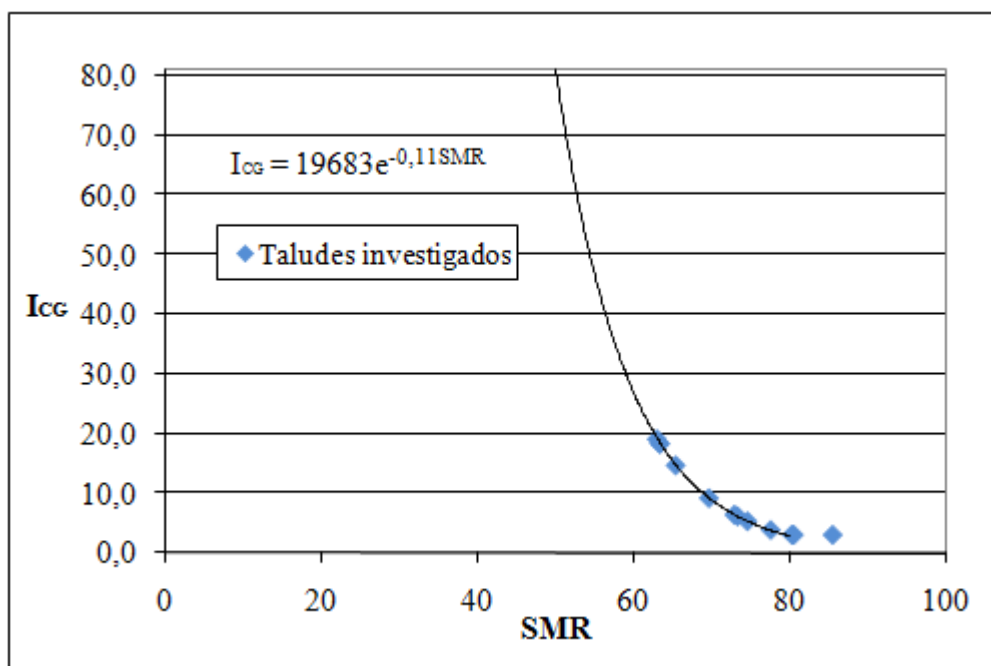


Figura 6.20 – Variação de  $I_{CG}$  em função do SMR.

Nota-se que, a partir da visualização do gráfico apresentado, a pontuação  $I_{CG}$  é inversamente proporcional ao índice SMR. Portanto, o resultado de altos valores de SMR contribuiu para a diminuição da pontuação segundo o método proposto pelo Departamento de Estradas do Estado Norte-americano de Oregon. Este fato contribuiu

para o uso do fator 2 multiplicando o  $I_{CG}$  para a determinação do índice de queda de blocos ( $I_{QB}$ ).

Os valores do índice característica geológica são mostrados na Figura 6.21. Os maiores valores para o  $I_{CG}$  representam taludes com os piores cenários geotécnicos. Apesar dos altos valores de SMR, observa-se que quatro taludes podem ser considerados como menos estáveis: ES-080 (1), ES-146, ES-164 e BR-259. A diferenciação do índice característica geológica somente ocorreu devido ao uso do SMR, que é mais criterioso em relação ao RHRS original apresentado no Capítulo 2.

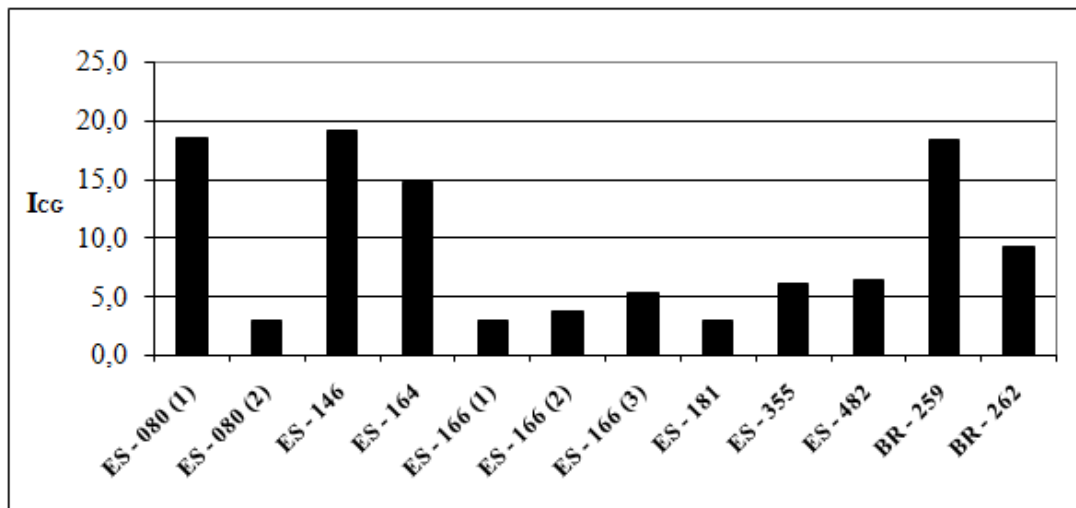


Figura 6.21 – Valores para o índice característica geológica ( $I_{CG}$ ) para cada talude.

O potencial de queda de blocos é incrementado consideravelmente em regiões onde as fraturas nos maciços rochosos contêm produtos altamente intemperizados, em zonas em que ocorreram movimentos originando juntas de alívio de tensão, ou ainda em locais onde fraturas espaçadas dominam o talude ou existe a presença de água nas descontinuidades. Tais condições foram observadas principalmente nos taludes ES-080 (1), ES-164 e ES-146.

A pontuação RHRS original foi substituída devido a dois aspectos básicos: sua avaliação meramente qualitativa e a dificuldade em diferenciar as pontuações nos maciços cristalinos das rodovias capixabas. Em taludes rochosos de São Paulo e Minas

Gerais, o método de Pierson *et al* (1990) é mais representativo, podendo ser empregado com maior efetividade. No entanto, ressalta-se que a avaliação da característica geológica do RHRS pode ser considerada como subjetiva. Esta questão é abordada detalhadamente por Gomes & Sobreira (2008).

A primeira classe da característica geológica do RHRS, visualizada na Tabela 2.8 (Capítulo 2), é utilizada para taludes onde as fraturas, acamamentos e outras descontinuidades, são as feições estruturais dominantes do maciço rochoso. No outro caso são estudados os taludes onde a erosão diferencial ou a inclinação é a condição que controla a queda de blocos rochosos na estrada.

Em taludes cujas características são dominadas por mecanismos descritos na classe 2 do RHRS, o descalçamento ou erosão diferencial é a condição dominante para a deflagração dos processos de queda. Feições erosivas incluem taludes descalçados, unidades de rocha sem suporte ou blocos resistentes expostos em taludes que podem eventualmente gerar um evento de queda. O movimento então é causado pela perda de suporte imediatamente abaixo na encosta.

Taludes vulneráveis a essas condições ocorrem quando estão presentes camadas formadas por unidades litológicas de distintas suscetibilidades a processos erosivos. Após a erosão diferenciada da camada subjacente mais branda, ocorre um descalçamento da parte superior, podendo gerar queda de blocos rochosos resistentes. Depósitos de tálus e encostas contendo unidades bastante variáveis, tais como os conglomerados, também são suscetíveis a estes processos.

## **6.5 PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS PRIORITÁRIAS**

O resultado da classificação apresentada nesta pesquisa pode ser utilizado como ferramenta de gestão rodoviária. Os maiores valores obtidos correspondem aos taludes rodoviários que necessitam de intervenção com alta prioridade. A hierarquia obtida após

a aplicação do método apontou o talude ES-164 como o mais perigoso quanto às quedas. Isto é, os taludes podem ser hierarquizados em função do  $I_{DB}$  obtido.

A classificação proposta permite ainda designar, de forma prática, as características das rodovias que necessitam ser incrementadas ou remediadas visando à segurança dos usuários.

As medidas a serem tomadas foram sucintamente propostas como forma de minimizar os principais problemas observados em campo e confirmados após a determinação dos valores para cada parâmetro. As medidas sugeridas abrangem:

- Remoção ou fixação de blocos instáveis;
- Melhorias geométricas no traçado e na plataforma;
- Sinalização vertical nas proximidades dos taludes;
- Elaboração e execução de projeto de estabilização do maciço rochoso;
- Análise cinemática da estabilidade de taludes.

A remoção ou fixação de blocos instáveis pode ser efetuada em taludes cuja iminência de queda de blocos é grande e estes são facilmente identificados pelo profissional responsável. A remoção de blocos instáveis pode ser manual ou com o auxílio de retro-escavadeira. Já para a fixação de blocos instáveis, existem diversas maneiras de executar o serviço, desde o uso de concreto projetado, telas metálicas protetoras, cortina atirantada, barreiras físicas, etc. Neste caso, os taludes ES-080 (1), ES-146, ES-181 e BR-259 poderiam ser remediados com estas medidas.

Melhorias geométricas no traçado e na plataforma também são medidas que podem contribuir para a segurança dos usuários que trafegam em rodovias com problemas de quedas de blocos. Entretanto, por questões logísticas dos órgãos gestores de estradas, esta possibilidade deve ser levantada durante a análise de projetos de reabilitação ou melhorias rodoviárias. Com isso, a viabilidade da execução de área de captura de blocos com o alargamento da plataforma ou a readequação no raio de curvatura do traçado nas proximidades dos taludes deve ser indicada no projeto proposto. Em sete dos doze



segmentos rodoviários contendo taludes rochosos, indica-se a melhoria geométrica do traçado ou plataforma para incremento da segurança viária.

Medida imediata e de baixo custo, a implantação de sinalização vertical nas proximidades de taludes problemáticos é uma medida de alerta, que, embora paliativa, pode ser uma alternativa para prevenir acidentes. Ao observar a indicação de perigo de queda de blocos, o condutor prudente irá reduzir a velocidade durante o percurso pelo segmento rodoviário. Nos taludes rochosos das rodovias ES-146 e ES-164, devido à condição climática de chuvas intensas, a implantação de placas de sinalização são medidas indicadas, pois a probabilidade de rupturas tende a aumentar durante eventos chuvosos.

Quando o maciço possui alto  $I_{QB}$  e este valor estiver ligado à característica geotécnica do talude, como no talude ES-164, deve ser elaborado projeto de estabilização do maciço rochoso com rigoroso critério. O projeto deve ser realizado com base em investigações de campo, objetivando retratar claramente as condições geotécnicas do talude. Neste caso, deve ser elaborado o perfil geológico-geotécnico do talude, procurando avaliar o comportamento geomecânico do maciço. Por fim, define-se a melhor solução a ser executada. É comum na engenharia rodoviária a execução destes projetos apenas quando a ruptura já ocorreu. Isto certamente onera os gastos públicos, já que o valor da obra deverá incluir outros custos, tais como remoção dos blocos para bota-fora, reconstrução de drenagem, restauração do pavimento, etc.

Nos casos em que foram identificadas famílias de descontinuidades delimitando grandes blocos, como no talude BR-262, indica-se a utilização de análise cinemática da estabilidade do talude. Esta, aliada ao diagnóstico geomecânico do maciço, poderá indicar o tipo de ruptura para melhor entendimento dos movimentos de blocos. Com isso, a adoção da melhor solução estaria baseada em critério da engenharia geotécnica.

O resumo das intervenções propostas em cada seção é apresentado na Tabela 6.23.

Tabela 6.23 – Resumo das intervenções prioritárias em cada talude.

| <b>Talude</b> | <b>Parâmetro (s) crítico (s)</b>   | <b>Prioridades em intervenções</b>  |
|---------------|--|---|
| ES – 080 (1)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Característica geológica</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Remoção ou fixação de blocos instáveis na parte superior do talude, onde a ação do intemperismo fragmenta o maciço</li> </ul>  |
| ES – 080 (2)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Distância de visibilidade</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Melhoria na geometria do traçado e promover sinalização vertical quanto ao perigo de quedas</li> </ul>   |
| ES – 146      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Característica geológica</li> <li>▪ Risco ao veículo</li> <li>▪ Característica climática</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Remoção ou fixação de blocos instáveis na parte superior do talude, onde a ação do intemperismo fragmenta o maciço</li> <li>▪ Promover sinalização vertical quanto ao risco de quedas</li> </ul>   |
| ES – 164      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Característica geológica</li> <li>▪ Altura do talude</li> <li>▪ Área de captação</li> <li>▪ Característica climática</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elaboração e execução de projeto de estabilização do maciço rochoso</li> <li>▪ Melhoria na geometria da plataforma visando a implantação de área de captação adequada para as características do talude</li> <li>▪ Promover sinalização vertical quanto ao perigo de quedas</li> </ul> |
| ES – 166 (1)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Área de captação</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Melhoria na geometria da plataforma visando a implantação de área de captação adequada para as características do talude</li> </ul>  |
| ES – 166 (2)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Área de captação</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Melhoria na geometria da plataforma visando a implantação de área de captação adequada para as características do talude</li> </ul>  |
| ES – 166 (3)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Área de captação</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Melhoria na geometria da plataforma visando a implantação de área de captação adequada para as características do talude</li> </ul>  |
| ES – 181      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Característica geológica</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Remoção ou fixação de blocos instáveis na parte superior do talude, onde a ação do intemperismo fragmenta o maciço</li> </ul>  |
| ES – 355      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Distância de visibilidade</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Melhoria na geometria do traçado e sinalização vertical de perigo de quedas</li> </ul>   |
| ES – 482      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Distância de visibilidade</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Melhoria na geometria do traçado e sinalização vertical de perigo de quedas</li> </ul>   |
| BR – 259      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Característica geológica</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Remoção ou fixação de blocos instáveis na parte superior do talude, onde a ação do intemperismo fragmenta o maciço</li> </ul>  |
| BR – 262      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dimensão do bloco</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Efetuar análise cinemática da estabilidade de taludes de forma a identificar os potenciais blocos críticos</li> </ul>  |

## **CAPÍTULO 7**

---

### **7 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

#### **7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O método de avaliação proposto nesta pesquisa é uma ferramenta preliminar para identificação de pontos de perigo relacionados à queda de blocos em rodovias. O levantamento realizado permite que diagnósticos geotécnicos específicos sejam elaborados. O esforço deste trabalho corresponde a um primeiro passo para a correção de problemas em taludes de rodovias capixabas causados pelas quedas de blocos.

A abrangência deste estudo esteve condicionada a levantamentos de campo, incluindo a aplicação do sistema de classificação geomecânica SMR aos maciços cristalinos que constituem as litologias das encostas rodoviárias capixabas. O comportamento geomecânico dos maciços foi similar, atestando para taludes com boas propriedades geotécnicas, apesar de, na maioria das vezes, as descontinuidades constituírem planos com mergulho adverso à estabilidade dos taludes.

A determinação das características geométricas e de trafegabilidade dos trechos rodoviários em estudo são fundamentais na avaliação dos perigos relacionados à queda de blocos rochosos. Taludes rochosos em rodovias com elevado VMD ou distância de visibilidade comprometida pela geometria sinuosa devem ser cuidadosamente estudados pelo poder público, visando intervenções adequadas nestes locais. Este é o caso de taludes estudados nas rodovias ES-080, ES-355 e ES-482, que carecem de melhorias geométricas visando adequar uma distância de visibilidade segura aos usuários.

Um fator de grande influência na prevenção de queda de blocos rochosos é a existência da área de captação. Mesmo quando a estrutura não é dimensionada adequadamente em relação à qualidade do maciço, em taludes verticais, a tendência de que os blocos sejam

capturados por estrutura entre o limite do pavimento e o pé do talude é grande. Projetos rodoviários devem contemplar quantitativos de serviços para a implantação dessa estrutura, que também possui função importante de drenagem superficial.

A determinação do volume dos blocos nos taludes é a tarefa mais árdua durante os levantamentos em campo. Há dificuldade na identificação de algumas famílias de descontinuidades em virtude das fraturas causadas durante a escavação dos maciços. Isto influencia a determinação do espaçamento entre as descontinuidades e do formato dos blocos. Entretanto, relações empíricas foram utilizadas visando o cálculo da dimensão média dos blocos nos maciços, pois esta característica é fundamental em avaliações de queda de blocos.

Outro problema enfrentado neste trabalho, que também é obstáculo de grande parte das investigações geotécnicas, é a dificuldade de se expressar a qualidade de um maciço com um único índice devido à variabilidade das estruturas presentes, materiais, etc. Os taludes estudados apresentaram-se heterogêneos, possuindo comportamentos distintos em alguns locais. Por isso, em diversas oportunidades, necessitou-se representar a qualidade global do maciço ou, em alguns casos, o pior cenário visualizado.

Avaliações do perigo relacionado à quedas de blocos em taludes rochosos rodoviários devem possuir dados históricos dos eventos. O banco de dados de quedas em qualquer maciço deve ser dotado de dados anteriores, que possibilitem ao investigador ou geotécnico obter informações importantes para a análise da seção. Dentre as informações, poderiam ser relacionados: estimativa do volume do bloco após a queda; distância percorrida pelo bloco, presença de feições de lançamento no talude; período da queda, coincidência com eventos pluviométricos, etc. O histórico de queda de blocos, que não foi abordado no âmbito desta pesquisa, devido à ausência de registros de ocorrências, deve ser ferramenta integrante de toda avaliação quanto a este problema nas rodovias.

O método utilizado nesta pesquisa representou satisfatoriamente as características dos taludes quanto ao problema de queda de blocos. A hierarquização dos taludes equivale

aproximadamente às condições visualizadas em campo. As adaptações realizadas visaram adequar critérios usados internacionalmente às características geotécnicas e rodoviárias capixabas. Além disso, as alterações propostas contribuíram para eliminar a subjetividade de determinados parâmetros.

Os taludes investigados estão situados num mesmo ambiente geológico e climático. Isto foi fundamental para a viabilidade da aplicação do método de avaliação do perigo de queda de blocos proposto nesta pesquisa. Mesmo não existindo metodologia específica neste âmbito sendo utilizada no Brasil, em outros ambientes, métodos de avaliação do perigo voltados ao estudo da queda de blocos, visando a hierarquização de taludes quanto ao problema, podem ser adequados em função dos aspectos geológico-geotécnicos e climáticos presentes na região. Entretanto, características geométricas e de trafegabilidade da rodovia, bem como o histórico de quedas, são parâmetros essenciais nestas análises, devendo sempre ser considerados.

Com a posse da lista dos taludes problemáticos nas rodovias, cabe ao poder público o gerenciamento das informações, de modo que durante os serviços de reabilitação ou restauração viária, sejam orçados os custos das obras de melhorias nos locais.

Outros métodos de classificação geotécnica de taludes podem ser utilizados na avaliação do perigo de queda de blocos em rodovias, desde que retratem o modelo estrutural e as condições de ruptura do maciço. Métodos difundidos na geologia de engenharia, como o RMR e o SMR podem ser desmembrados, filtrados e reajustados para condições geomecânicas peculiares, adequando-os às características desejadas.

Enfim, entende-se que a pesquisa descrita nos capítulos anteriores redundará em benefícios presentes e futuros, para acadêmicos e práticos, para Órgãos gestores de estradas, DER-ES, em especial, e para futuros projetos.

## **7.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

O desenvolvimento deste trabalho deve continuar, seja na adição de novas informações ou na melhoria do sistema de classificação de taludes rochosos rodoviários proposto.

A continuidade da pesquisa e a execução das medidas propostas devem estar ligadas a um banco de dados acessível ao poder público gestor das estradas. Para tanto, sugere-se a elaboração de um banco de dados georreferenciado, na forma de sistema de informação geográfica (SIG). Em ambiente de SIG, os engenheiros rodoviários poderão atualizar informações do comportamento dos maciços rochosos ou de melhorias ocorridas nas rodovias. Esta prática facilitará tomada de decisões e refinamento das informações, possibilitando a execução de obras nos pontos críticos durante a reabilitação ou restauração de pontos críticos. Além disso, o banco de dados em SIG permite o acompanhamento da evolução dos processos ambientais atuantes, que variam conforme eventos da dinâmica superficial.

Avaliações desta magnitude também devem ser aplicadas a taludes contendo materiais inconsolidados e depósitos de tálus, pois também oferecem risco aos usuários de rodovias, além de ser amplo campo de atuação da engenharia geotécnica.

A análise cinemática da estabilidade dos taludes e o uso de ferramentas computacionais para simulação de quedas e feições de lançamento podem ser utilizados adicionalmente para complementar a qualidade das informações extraídas.

Para investigações mais aprofundadas dos problemas geotécnicos, sugere-se a utilização de retro-análises dos pontos críticos via método do equilíbrio limite, as quais possibilitarão a obtenção de parâmetros de resistência para o maciço ou para as descontinuidades. Neste âmbito, análises tridimensionais para a obtenção do perfil geológico dos maciços seriam ferramentas fundamentais no projeto de estabilização do talude.

Sugere-se ainda, diante da dificuldade e custos de análise de centenas de quilômetros de rodovias, a utilização de câmeras de vídeo nos automóveis dos órgãos responsáveis pela conservação das estradas, facilitando a observação de técnicos em escritório. Desta forma, visitas aos locais problemáticos seriam efetuadas com maior efetividade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- ABBOTT, B.; BRUCE, I.; KEEGAN, T.; OBONI, F.; SAVIGNY, W. (1998). A Methodology for the Assessment of Rockfall Hazard and Risk Along Linear Transportation Corridors, 8th Congress, International Assoc. Of Engineering Geology, A Global View from the Pacific Rim, Vancouver British Columbia. Vol. 2, pp. 1195 – 1200, A.A. Balkema.
- AHRENDT, A. (2005). *Movimentos da massa gravitacionais – proposta de um sistema de previsão: aplicação na área urbana de Campos do Jordão – SP*. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 360 p.
- AUGUSTO FILHO, O. (1992). Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PCRJ. V.2, p. 691-704.
- BAILLIFARD, F; JABOYEDOFF, M; SATORI, M. (2003). Rockfall hazard mapping along a mountainous road in Switzerland using a GIS-based parameter rating approach. *Natural Hazards and Earth System Science*, Volume 3, Issue 5, pp.435-442.
- BARTON, N.; LIEN, R.; LUNDE, L. (1974). Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. *J. Rock mech.*, Vol. 6, No.4, pp. 189-236.
- BIENIAWSKI Z.T. (1973). *Engineering classification of jointed rock masses*. *Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng.* 15, 355-3344.
- BIENIAWSKI, Z. T. (1984). *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*, AA.Balkema, Boston, 1984.
- BIENIAWSKI, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*, Wiley, New York.
- BRAWNER, C. O.; WYLLIE, D. C. (1975). Rock slope stability on railway projects. *Proc. Am. Railway Engng Assoc.*, Regional Meeting, Vancouver, BC.
- BROWN, E. T. (1981). *Rock Characterization Testing & Monitoring-ISRM Suggested Methods*. Pergamon Press, Oxford, 211p.
- BUDETTA, P. (2004). Assessment of rockfall risk along roads. *Natural Hazard and Earth System Sciences* 4: 71-81.
- BUNCE, C. M.; CRUDEN, D. M.; MORGENSTERN, N. R. (1997). Assessment of the hazard from rockfall on a highway, *Can. Geotech. J.*, 34, 344–356.



- CARVALHO, P. A. S. (1991). Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas. São Paulo. IPT. 410p.
- CROSTA, G. B.; AGLIARDI, F. (2003). A methodology for physically based rockfall hazard assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, 407–422.
- DEERE, D. U.; HENDRON JR; A. J.; PATTON, F. D.; CORDING, E. J. (1967). Design of surface and near surface construction in rock. *In Failure and Breakage of Rock*. C. Fairhurst ed. Society of Mining Engineers of AIME, New York, pp. 237-302.
- DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1999). Manual de projeto geométrico de rodovias rurais. Rio de Janeiro, 195p. (IPR. Public., 706).
- DNIT - Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (2006). Manual de estudos de tráfego. - Rio de Janeiro, 384 p. (IPR. Publ., 723).
- ELIASSEN, T. D.; SPRINGSTON, G. E. (2007). Rockfall Hazard Rating of Rock Cuts on U.S. and State Highways in Vermont. Vermont Agency of Transportation, Montpelier.
- FHWA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1989). Rock Slopes: Design, Excavation, Stabilization. Publication No. FHWA-TS-89-045, Turner-Fairbanks Highway Research Center, McLean, VA.
- FEITOZA, L. R.; CASTRO, L. L. F.; RESENDE, M.; ZANGRANDE, M. B.; STOCKING, M.; BOREL, R. M. A.; FULIN, E. A.; CERQUEIRA, A. F.; SALGADO, J. S.; FEITOZA, H. N.; STOCK, L. A.; DESSAUNE FILHO, N. (1997). Map of natural units of Espírito Santo State, Brasil. *Enschede, ITC Journal*, (3/4): 1-38.
- FERNANDES, G. (2000). *Caracterização Geológico-Geotécnica e Proposta de Estabilização da Encosta do Morro do Curral – Centro de Artes e Convenções de Ouro Preto*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto, 136 p.
- FISH, M.; LANE, R. (2002), Linking New Hampshire's Rock Cut Management System with a Geographic Information System, *Transportation Research Record* 1786, Paper number 02- 2775.
- FRANKLIN, J. A.; SENIOR, S. A. (1987). Outline of RHRON, the Ontario rock fall hazard rating system. *Proceedings International Symposium on Engineering Geology and The Environment*, Athens, Greece, pp. 647-656.
- GATES, W. C. B.; ORTIZ, L.; FLOREZ, R. M. (2005). Analysis of Rockfall and Blasting Backbreak Problems, US 550, Molas Pass, CO. The 40th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS): Rock Mechanics for Energy, Mineral and Infrastructure Development in the Northern Regions, held in Anchorage, Alaska.

- GIANI, G. P. (1992). *Rock Slope Stability Analysis*. A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, Netherlands.
- GOMES, G. J. C.; SOBREIRA, F. G. (2008). Caracterização geomecânica de maciços rochosos em taludes rodoviários do espírito santo, com ênfase na avaliação do risco de queda de blocos. 12º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Ipojuca, Pe. *Anais...* São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. CD ROM.
- GOMES, R. C. (1991). Classificações geomecânicas de maciços rochosos. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 37p.
- GUIDICINI, G. E.; NIEBLE, C. M. (1976). *Estabilidade de taludes naturais e de escavações*. São Paulo. 170p.
- HADJIN D. J. (2002). New York State Department of Transportation Rock Slope Rating Procedure and Rockfall Assessment. Transportation Research Record 1786, Paper number 02-3978.
- HO, C. L.; NORTON, S. S. (1991). Development of an Unstable Slope Management System. Washington State Department of Transportation. Report WA-RD 270.1.
- HOEK, E. (1987). Rockfall - A program in basic for the analysis of rockfalls from slopes. Golder and Associates, Vancouver B.C.
- HOEK, E. (1998). *Practical Rock Engineering*, Rocscience, Toronto. Disponível em: <<http://www.rocscience.com>>. Acesso em 14 abr. 2008.
- HOEK, E.; LONDE, P. (1974). The Design of Rock Slopes and Foundations. *Proc. 3rd International Congress of Rock Mech, ISRM, Denver*.
- HOEK, E.; BRAY, J.W. (1981). *Rock Slope Engineering* (3rd ed.). IMM, London, pp. 1-358.
- HOPKINS, T. C.; BECKHAM, T. L.; SUN, L; BUTCHER, B. (2003). Highway Rock Slope Management Program. Kentucky Transportation Center, University of Kentucky.
- HUTCHINSON, J. N. (1988). Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hidrogeology. General report. *Proceedings of 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, v.1, p3-35*.
- IBGE (1978). Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. Volume 32. Folhas SF. 23/24. Rio de Janeiro / Vitória. CD-ROM.
- ISRM (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, vol. 15, n.º 6, pp. 319-368.

KUHNE, J. (2002). Rockfall hazard rating: North Carolina Department of Transportation reexamines an abandoned project. Transportation Research Board 81st Annual Meeting Preprint. CD-ROM, Transportation Research Board, Washington, D.C.

LAUFFER, H. (1958). Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau. *In: Geologie und Bauwesen*, v. 24, n. 1, pp. 46-51.

LEITE, C. A. S.; SOUZA, J. D.; SILVA, S. L.; KOSIN, M.; SILVA, L. C.; BENTO, R. V.; VIEIRA, V. S.; CAMOZZATO, E.; PAES, V. J. C.; NETTO, C.; JUNQUEIRA, P. A. (2004). Folha SE.24-Rio Doce. *In: Schobbenhaus, C.; Gonçalves, J. H.; Santos, J. O. S.; Abram, M. B.; Leão Neto, R.; Matos, G. M. M.; Vidotti, R. M.; Ramos, M. A. B.; Jesus, J.D.A. de. (eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.*

MAERZ, N. H.; YOUSSEF, A.; FENNESSEY, T. W. (2005). New Risk–Consequence Rockfall Hazard Rating System for Missouri Highways Using Digital Image Analysis. *Environmental & Engineering Geoscience*, 11(3), 229–249.

MCMILLAN, P.; MATHESON, G. D. (1998). Rock Slope Hazard Assessment: A New Approach. *In: Geohazards in Engineering Geology*, eds: Maund, J.G. & Eddleston, M. Geological Society, London. Engineering Geology Special Publications, 15. pp 177 – 183.

MENESES, P. R.; PARADELLA, W. R. (1978). Síntese geológica preliminar da parte sul do Estado do Espírito Santo. I Simp. Bras. de Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, SP. *Anais* v. 2 p.479-499.

MILLER, S. M. (2003). Development and Implementation of the Idaho Highway Slope Instability and Management System (HiSIMS), National Institute for Advanced Transportation Technology (NIATT) Report No. N03-07.

PACK, R.; BOIE, K.; MATHER, S.; FARRELL, J. (2006). UDOT Rockfall Hazard Rating System: Final Report and User's Manual. Utah State University, Department of Civil and Environmental Engineering.

PALMSTRÖM, A. (1982). The volumetric joint count - A useful and simple measure of the degree of rock mass jointing. IAEG Congress, New Delhi.

PALMSTRÖM, A. (1995). *RMi – a rock mass characterization system for rock engineering purposes*. PhD thesis, Oslo University, Norway, 400p.

PARIZZI, M. G. (2004). *Condicionantes e Mecanismos de ruptura em taludes da Região Metropolitana de Belo Horizonte*. Tese (Doutorado). Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG.

- PFEIFFER, T. J.; HIGGINS, J. A. (1990). Rockfall Hazard Analysis Using the Colorado Rockfall Simulation Program. Transportation Research Record, No. 1288, Washington, D.C., pp. 117-126.
- 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.
- PIERSON, L. A.; VAN VICKLE, R. (1993). Rockfall Hazard Rating System, Transportation Research Record N° 1343, National Research Board, Washington, D.C., pp 6-19.
- PIERSON, L. A.; GULLIXON, C. F.; CHASSIE, R. G. (2001). Rockfall Catchment Area Design Guide Final Report. Spr-3 (032). Technical Report Form DOT F 1700.7 (8-72). Oregon, U.S.
- PRIEST, S. D.; HUDSON, J. A. (1976). Discontinuity spacing in rock. International journal of rock mechanics, Mining science & Geomechanics, cap. 13, p. 134-153
- RITCHIE, A. M. (1963). Evaluation of rockfall and its control. U.S. Department of Commerce, Bureau of Public Roads, and the Washington State Highway Commission.
- ROMANA, M. (1985). New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. International Symposium on the Role of Rock Mechanics, Zacatecas, pp. 49-53.
- ROSE, B. T. (2005). *Tennessee Rockfall Management System*. Dissertation (Philosophy In Civil Engineering). Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University. September 29. Blacksburg, VA.
- SILVA, M. A.; CAMOZZATO, E.; PAES, V.J.C.; JUNQUEIRA, P.A.; RAMGRAB, G. E. (2004). Folha SF.24-Vitoria. In: Schobbenhaus, C.; Gonçalves, J. H.; Santos, J. O. S.; Abram, M. B.; Leão Neto, R.; Matos, G. M. M.; Vidotti, R. M.; Ramos, M. A. B.; Jesus, J.D.A. de. (eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.
- SINGH, A. (2004). FRHI - a System to Evaluate and Mitigate Rockfall Hazard in Stable Rock Excavations. IE (I) Journal.CV, Vol 85.
- TERZAGHI K. (1946). Rock Defects and Load on Tunnel Support, Rock Tunneling with Steel Supports. Editors R.V. Proctor and T. White, Commercial Shearing Company, Youngstown, Ohio, pp. 15-99.
- VARNES, D. J. (1978). Slope movements, types and processes. *In* Landslides and Engineering Practice. E. B. Eckel (ed). Special Report n° 29, Highway Research Board, p.20-47.

WICKHAM, G. E.; TIEDEMANN, H. R.; SKINNER, E. H. (1972). Support Determination Based on Geologic Predictions. *In: Proceedings, Rapid Excavation and Tunneling Conference, AIME*, pp. 43-64, New York..

WONG, C. K. L. (1998). The New Priority Classification Systems for Slopes and Retaining Walls (GEO Report No. 68). Geotechnical Engineering Office, 117 p.

WU, S. (1987). Rockfall Evaluation by Computer Simulation. Transportation Research Record, No. 1031, pp. 1-5.

WYLLIE, D. C. (1987). Rock Slope Inventory System. *Proceedings of the FHWA Rockfall Mitigation Seminary, FHWA Region 10, Portland, Oregon.*

## **ANEXO 1**

Este apêndice tem o objetivo de apresentar a ficha de campo elaborada para o desenvolvimento das investigações de campo.

**NUGEO – FICHA DE CAMPO – AVALIAÇÃO DA QUEDA DE BLOCOS EM RODOVIAS**

| Rodovia   | Trecho  | km  | Coordenadas   | X | Y  | Data   | /                    | /         |  |
|---|---|---|---|---|--|--|----------------------|-----------|--|
| <b>Altura do Talude (I<sub>AT</sub>)</b>  | <b>Efetividade da área de captação (I<sub>AC</sub>)</b> | <b>Dimensão do bloco (I<sub>DB</sub>)</b>   |   |   | Padrão das discontinuidades:                                       |  |                      |           |  |
| X   |   | m   | Número de famílias:   |   |  | <input type="checkbox"/> Superfícies muito rugosas, descontínuas, sem  |                      |           |  |
| α   | Largura de Ritchie:                                     | Espaçamento família 1   |   | m | separação. Parede da rocha não intemperizada                       |  |                      |           |  |
| b   |   | m   | Espaçamento família 2   |   | m  | <input type="checkbox"/> Superfícies ligeiramente rugosas, separação < |                      |           |  |
| Profundidade de Ritchie:  |   | m   | Espaçamento família 3   |   | m  | 1 mm. Parede da rocha ligeiramente intemperizada                       |                      |           |  |
| Captura   | Proteção  | Presença de discontinuidades aleatórias: <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não  |   |   | <input type="checkbox"/> Superfícies rugosas, separação < 1 mm.    |  |                      |           |  |
| <input type="checkbox"/> boa  | <input type="checkbox"/> boa                            | Formato dos blocos:   | Dimensão de blocos presentes na área de captação (m <sup>3</sup> ):   |   | Parede da rocha altamente intemperizada                            |  |                      |           |  |
| <input type="checkbox"/> moderada   | <input type="checkbox"/> moderada                       | <input type="checkbox"/> cúbico   |   |   | <input type="checkbox"/> Superfície polida ou preenchimento < 5 mm |  |                      |           |  |
| <input type="checkbox"/> limitada   | <input type="checkbox"/> limitada                       | <input type="checkbox"/> alongado   |   |   | ou abertura 1-5 mm contínuas                                       |  |                      |           |  |
| <input type="checkbox"/> sem  | <input type="checkbox"/> sem                            | <input type="checkbox"/> placa  |   |   | <input type="checkbox"/> Preenchimento mole > 5 mm ou abertura > 5 |  |                      |           |  |
| <b>Largura do pavimento (I<sub>LP</sub>):</b>   |   | m   | <b>Característica geológico-geotécnica (I<sub>GC</sub>)</b>           |   |  | mm contínuas   |                      |           |  |
| <b>Risco ao veículo (I<sub>RV</sub>)</b>  |   | Resistência à compressão uniaxial:  |   |   | Valor (MPa)  | Atitudes das discontinuidades:   |                      |           |  |
| Comprimento do corte  | m   | marcada pela unha <input type="checkbox"/>  |   |   | 0,25 – 1   | Família 1  | Família 2            | Família 3 |  |
| Velocidade diretriz   | Km/h  | esmigalha-se sob o impacto do martelo <input type="checkbox"/>  |   |   | 1 – 5  |  |                      |           |  |
| VMD   | carros/dia  | raspada por canivete com dificuldade <input type="checkbox"/>   |   |   | 5 – 25   |  |                      |           |  |
| <b>Distância de Visibilidade (I<sub>DV</sub>)</b>   |   | não pode raspada por canivete <input type="checkbox"/>  |   |   | 25 – 50  |  |                      |           |  |
| Distância de projeto  |   | m   | mais de um golpe de martelo para fraturar-se <input type="checkbox"/> |   |  | 50 – 100   | Atitude do talude: / |           |  |
| <b>Característica climática (I<sub>CC</sub>)</b>  |   | muitos golpes de martelo para fraturar-se <input type="checkbox"/>  |   |   | 100 – 250  | <b>Observações quanto ao diagnóstico:</b>                              |                      |           |  |
| Precipitação pluviométrica  | mm/ano  | somente lascadas com o martelo <input type="checkbox"/>   |   |   | > 250  |  |                      |           |  |
| Condição de água:<br><input type="checkbox"/> seco <input type="checkbox"/> úmido <input type="checkbox"/> molhado<br><input type="checkbox"/> gotejamento <input type="checkbox"/> fluxo abundante |   | Escavação: <input type="checkbox"/> taludes naturais <input type="checkbox"/> pré-fissuramento<br><input type="checkbox"/> detonações suaves <input type="checkbox"/> detonações normais<br><input type="checkbox"/> detonações defeituosas |   |   |  |  |                      |           |  |

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)



[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)