



CARTA DE PERIGO DE QUEDA DE BLOCOS DA BR-153 – TRECHO VERA CRUZ/HERVEIRAS

Porto Alegre, 2016

LARISSA REHFELD SIMON

**CARTA DE PERIGO DE QUEDA DE BLOCOS DA BR-153 – TRECHO VERA
CRUZ/HERVEIRAS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Clóvis Gonzatti

Porto Alegre, 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Simon, Larissa Rehfeldt

Carta de perigo de queda de blocos da Br-153 - trecho Vera Cruz/Herveiras . / Larissa Rehfeldt Simon. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016.
[82 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2016.

Orientador(es):Clóvis Gonzatti

1. Estabilidade de taludes 2. Formação Serra Geral 3. Carta de suscetibilidade 4. RHRS I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sônia Teresinha Duarte de Oliveira

CRB 10/2310

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “CARTA DE PERIGO DE QUEDA DE BLOCOS DA BR-153 – TRECHO VERA CRUZ/HERVEIRAS”, elaborado por “Larissa Rehfeld Simon”, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Dr. Luiz Antônio Bressani

Dra. Carla Cristine Porcher

Dr. Norberto Dani

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais Sônia Rehfeld e Fábio Simon, que sempre estiveram ao meu lado e fizeram o impossível para eu alcançar esse objetivo. Ao meu namorado Tael Dreyer por passar comigo essa etapa sempre me dando apoio e auxiliando no que era necessário. Ao meu orientador, Professos Doutor Clóvis Gonzatti por abrir as portas da geotecnia desde a primeira aula que eu tive de Geologia de Engenharia I, área da geologia em que eu me encantei desde o início. A todos os professores que proporcionaram meu conhecimento e auxiliaram eu finalizar esse curso. Aos meus amigos que de alguma forma participaram dessa caminhada e foram extremamente compreensivos nessa etapa final. E por último, mas não menos importante, aos meus colegas com os quais pude dividir grandes experiências e fazer novas grandes amizades.

“Na vida há apenas um caminho certo: o seu!”

RESUMO

A formação Serra Geral abrange uma grande parte do centro-norte do estado do Rio Grande do Sul e é composta por diversos derrames de composição básica e subordinadamente ácida, se diferenciado através de suas mineralogias, morfologias e estruturas de derrames. Nesta região encontram-se importantes rodovias com grande fluxo de veículos, tornando-se perigoso o risco de quedas de blocos rochosos dos taludes que delimitam as estradas. Este trabalho está localizado na BR-153, entre as cidades de Vera Cruz e Herveiras, trajeto de 20 km onde foram demarcados 24 segmentos, dentre eles 07 sem afloramentos. O estudo se baseou na técnica de Pierson (1991), titulado *Rock Fall Hazard Rating System*(RHRS), sistema que classifica exponencialmente cada talude estudado, sendo a maior nota o talude de maior risco. Itens observados para essa classificação incluem características geológicas, geometria de construção da rodovia e histórico de quedas. Para a coleta de dados foi feito um mapeamento geológico-geotécnico na área, onde foram observadas a petrografia, a estrutura dos derrames, as características das discontinuidades das rochas e a alterabilidade, além de itens relacionados à geometria do talude, como: altura, comprimento do talude e campo de visão. Também foi registrado se já houve histórico de quedas, tamanho dos blocos rolados e presença de água no talude. Para maior detalhe foram coletadas amostras para a produção de lâmina petrográfica e amostras para produção do ensaio de alterabilidade, *Slake Durability*. E para encerrar esse trabalho, foi feito um inventários dos segmentos e uma carta de suscetibilidade de queda de blocos, permitindo uma melhor avaliação das áreas de maior risco. Sendo assim, é uma alternativa efetiva para gerenciar os riscos e minimizar os custos de reparo dos taludes.

Palavras chaves: Estabilidade de taludes; Formação Serra Geral; Carta de Suscetibilidade, RHRS

ABSTRACT

The Serra Geral formation covers a large part of the central-north of the state of Rio Grande do Sul and is composed of several basic lavas and subordinate acid composition, differentiated through its mineralogies, morphologies and structures. In this region, there are important highways with high flow of vehicles, making dangerous the risk of rockfalls of the slopes that delimit the roads. This work is located in BR-153, between the cities of Vera Cruz and Herveiras, a 20 km route where 24 segments were demarcated, among them 07 without outcrops. The study was based on the technique of Pierson (1991), titled Rock Fall Hazard Rating System (RHRS), system that classifies exponentially each slope studied, being the highest note the slope of greater risk. Observed items for this classification include geological characteristics, road construction geometry, and history of falls. For the data collection a geological-geotechnical mapping was done in the area, where the petrography, the structure, the characteristics of the discontinuities of the rocks and the alterability, besides items related to the geometry of the slope were observed, such as: height, length slope and field of view. It was also recorded if there was already a history of falls, size of blocks rolled and presence of water on the slope. For further detail, samples were collected for the production of petrographic blade and samples for the production of the alterability test, Slake Durability. And to finish this work, it was done an inventory of the segments and a map of susceptibility of sliding blocks, being able to have a great control on the areas of greater risk. Therefore, it is an effective alternative to prevent falls of rock blocks and minimize the costs of repairing slopes.

Key words: Stability of slopes; Serra Geral Formation; Map of Susceptibility, RHRS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do Rio Grande do Sul com a localização da área de estudo na quadrícula em preto.	14
Figura 2: Mapa resumido da Bacia do Paraná (Milani, 2007)	18
Figura 3 - Tipos de deslizamento decorrentes da distribuição das discontinuidades e suas representações estereográficas (Hoek&Bray, 1981)	32
Figura 4 - Mapa topográfico 1:25.000 da área mostrando os 24 segmentos.	34
Figura 5 - modelo esquematizado de medida da altura	36
Figura 6 - Perfis de rugosidade e nomenclatura recomendada pela ISRM, 1978.	42
Figura 7 - Passo a passo para a montagem do <i>overlay</i> de interpretação da estabilidade dos taludes em estereograma: (A) todas as medidas de uma mesma família de discontinuidade; (B) os pólos que representam essas medidas; (C) vetor principal do pólo e o respectivo plano; (D) planos médios das famílias de discontinuidades; (E) plano representando a face do talude e o círculo representando o ângulo de atrito; (E) estereograma pronto para a análise cinemática.	44
Figura 8 - (A) lóbulo pahoehoe com grande quantidade de amígdalas arredondadas no S02; (B) bloco caído da porção de topo de derrame no S09; (C) parte abaixo da linha vermelha é a porção quase friável no S14; (D) primeiros derrames de pahoehoe no S04 mostrando o núcleo maciço e o topo com maior quantidade de amígdalas e fraturas horizontais; (E) núcleo de pahoehoe do S04 com as partes demarcadas de maior vesiculação; (F) núcleo de pahoehoe do S11 mostrando vesículas arredondadas de 1cm e veios preenchidos por quartzo; (G) bloco caídos da parte de topo de derrame no segmento S14.	48
Figura 9 - (A) talude no início do segmento S17. Abaixo da linha vermelha zona de brecha e acima núcleo de outro derrame de <i>a'a'</i> ; (B) núcleo de <i>a'a'</i> na continuação do S17; (C) segmento S17A no lado direito da rodovia, está na frente do talude da figura A; (D) bloco caído de aproximadamente 0,9m do S16; (E) bloco caído do S17, referente à parte inferior da linha vermelha da figura A	49
Figura 10 - (A) Imagem mostrando a grande continuidade lateral dos talude do segmento S18 (sentido norte); (B) Imagem mostrando a grande continuidade lateral dos talude do segmento S22 (sentido sul); (C) discontinuidades horizontais do talude direito do S18; (D) discontinuidades horizontais do talude direito do S20; (E)visão da altura do talude e das discontinuidades horizontais do S20	50
Figura 11 - Mapa base geológico (Ramgrabet <i>al.</i> 1997), mostrando os segmentos do S01 ao S24.....	51
Figura 12 - primeira microfotografia mostra a textura geral da lâmina em luz natural com aumento de 2,5X e em flecha vermelha mostra o fenocristal de plagioclásio com textura peneira. A segunda está em nicóis cruzados.	52

Figura 13 - primeira microfotografia mostra a textura geral da lâmina em luz natural com aumento de 5X e um finocristal de plagioclásio com aproximadamente 2mm. A segunda está em nicóis cruzados.	53
Figura 14 - primeira microfotografia em luz natural e a segunda em nicóis cruzados e aumento de 5X, mostra a textura traquítica de orientação preferencial dos plagioclásios na horizontal.	54
Figura 15 - (A) microfotografia em luz natural com aumento de 5X, em destaque um fenocristal de plagioclásio (flecha vermelha); (B) microfotografia em nicóis cruzados com aumento de 5X, em destaque um fenocristal de plagioclásio (flecha vermelha); (C) microfotografia em luz natural com aumento de 2,5X, mostrando textura geral e um veio sub-preenchido por quartzo no lado esquerdo da foto; (D) microfotografia em nicóis cruzados com aumento de 2,5X, mostrando textura geral e um veio sub-preenchido por quartzo no lado esquerdo da foto.	55
Figura 16 - (A) microfotografia em luz natural com aumento de 5X; (B) em nicóis cruzados com aumento de 5X, possível ver os plagioclásios com textura esquelética; (C) microfotografia em luz natural com aumento de 2,5X; (D) microfotografia em nicóis cruzados com aumento de 2,5X.	56
Figura 17 - Análise cinemática no segmento S4. Estereograma com a medida da face do talude esquerdo, ângulo de atrito e as famílias de fraturas	57
Figura 18 - Análise cinemática no segmento S5. Estereograma com a medida da face do talude esquerdo, ângulo de atrito e as famílias de fraturas.	58
Figura 19 - Análise cinemática no segmento S6. Estereograma com a medida da face do talude esquerdo, ângulo de atrito e as famílias de fraturas.	58
Figura 20 - o quadrado pontilhado é a região com intensa quantidade de fraturas mergulhando para a estrada, responsáveis pelas quedas.	59
Figura 21 - Análise cinemática no segmento S7. Estereograma com a medida da face do talude esquerdo, ângulo de atrito e as famílias de fraturas	60
Figura 22 - Primeira (A) foto mostra um foco com muitas quedas aparentando ser por ruptura planar pela família F3a. Na segunda foto (B) é um zoom da porção de fraturas, mostrando também o pouco espaçamento entre elas.	60
Figura 23 - Análise cinemática no segmento S9. Estereograma com a medida da face do talude, ângulo de atrito e as famílias de fraturas.	60
Figura 24 - Análise cinemática no segmento S11. Estereograma com a medida da face do talude, ângulo de atrito e as famílias de fraturas. No primeiro é referente ao talude do lado direito e o segundo referente ao talude do lado esquerdo.	61
Figura 25 - na primeira foto (A) mostra uma parte do talude destacando um rompimento em cunha detalhado na segunda foto (B) entre as famílias de fraturas F1 e F3.	61
Figura 26 - Análise cinemática no segmento S13. Estereograma com a medida da	

face do talude esquerdo, ângulo de atrito e as famílias de fraturas	62
Figura 27 - Análise cinemática no segmento S14. Estereograma com a medida da face do talude, ângulo de atrito e as famílias de fraturas. Nos dois primeiros são referentes ao primeiro trecho do segmento sendo o primeiro do lado direito do segmento e o segundo sendo o lado esquerdo. Os dois últimos são referente ao segundo e ao terceiro trecho.....	63
Figura 28 - na primeira foto (A) mostra uma parte do talude do primeiro trecho e na segunda foto (B), um zoom nas fraturas que são responsáveis pelo rompimento em cunha	63
Figura 29 - Análise cinemática no segmento S15. Estereograma com a medida da face do talude, ângulo de atrito e as famílias de fraturas. No primeiro é referente ao talude do lado direito e o segundo referente ao talude do lado esquerdo.....	64
Figura 30 - Análise cinemática no segmento S17A. Estereograma com a medida da face do talude direito, ângulo de atrito e as famílias de fraturas	64
Figura 31 - Análise cinemática no segmento S18. Estereograma com a medida da face do talude, ângulo de atrito e as famílias de fraturas. No primeiro é referente ao talude do lado direito e o segundo referente ao talude do lado esquerdo.....	65
Figura 32 - Análise cinemática no segmento S20. Estereograma com a medida da face do talude, ângulo de atrito e as famílias de fraturas. No primeiro é referente ao talude do lado direito e o segundo referente ao talude do lado esquerdo.....	66
Figura 33 - Análise cinemática no segmento S22. Estereograma com a medida da face do talude, ângulo de atrito e as famílias de fraturas. No primeiro é referente ao talude do lado direito e o segundo referente ao taludedo lado esquerdo.....	66
Figura 34 - Análise cinemática no segmento S24e. Estereograma com a medida da face do talude esquerdo, ângulo de atrito e as famílias de fraturas	67
Figura 35 - Gráfico referente aos 5 ciclos das 5 amostras para o ensaio de Slake Durability	69
Figura 36 - Fotos das amostras após o 5º ciclo. (A) Am.S05; (B) Am.S06; (C) Am.S14; (D) Am.S17a; (E) Am.S17b.	69
Figura 37 - Carta final de risco de queda de blocos para os segmentos de S01 a S24 na BR-153, trecho entre as cidades de Vera Cruz e Herveiras.....	72
Figura 38: gráficos referentes às categorias de tamanho dos blocos, histórico de quedas, DVD, altura do talude, efetividade da vala de contenção e RMV. Cada categoria apresenta seus valores por talude.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação preliminar dos taludes (Pierson, 1991).....	21
Tabela 2 - Tabela traduzida do sistema de classificação RHRs – <i>Rock Hazard Rating System</i> (Pierson & Van Cickle, 1993).....	23
Tabela 3 - Distância mínima de tomada de decisão pela AASHTO – traduzida de milhas/h para km/h, e de pés para metros (Pierson & Van Vickle, 1993).....	25
Tabela 4 - Medida das alturas e as pontuações para a tabela RHRs.....	36
Tabela 5 - : Percentuais calculados da medida RMV e as pontuações para a tabela RHRs.....	38
Tabela 6 - : Distância de visibilidade de tomada de decisão (DNER, 1999).....	38
Tabela 7 - Percentuais calculados da medida DVD e as pontuações para a tabela RHRs.....	39
Tabela 8 - Medidas da largura da rodovia e as pontuações para a tabela RHRs.....	39
Tabela 9 - Tamanho do bloco e as pontuações para a tabela RHRs.....	40
Tabela 10 - segmentos com sua tipologia de derrame, lado do talude, UTM de início e fim, altitude de início e fim e a nota preliminar.....	47
Tabela 11 - Família de descontinuidades medidas nos Basaltos.....	57
Tabela 12 - Famílias de descontinuidades medidas nas vulcânicas ácidas.....	65
Tabela 13 - Característica das famílias de descontinuidades quanto a rugosidade, persistência e espaçamento.....	67
Tabela 14 - Critérios para a definição das 4 classes de rocha em termos de qualidade – 5 amostras. Modificado de Lienhart (2003).....	68
Tabela 15 - tabela mostrando os valores finais da tabela RHRs de cada talude por segmento.....	70
Tabela 16 - Item crítico por talude que apresentou médio a alto risco de queda.....	75

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1.	LOCALIZAÇÃO DO TRABALHO	14
1.2.	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.3.	PREMISSAS E HIPÓTESES	15
1.4.	OBJETIVO	16
1.5.	JUSTIFICATIVA	16
2.	CONTEXTO GEOLÓGICO	16
2.1.	BACIA DO PARANÁ	16
2.2.	FORMAÇÃO SERRA GERAL	18
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1.	ROCK HAZARD RATING SYSTEM (RHRS)	20
3.1.1.	Delimitação das Seções	21
3.1.2.	Classificação Preliminar	21
3.1.3.	Classificação Detalhada	22
3.1.4.	Identificação do Projeto de Desenvolvimento.....	28
3.1.5.	Programa de Gestão de Dados	29
3.2.	ANÁLISE CINEMÁTICA DE TALUDES EM ROCHA	29
3.2.1.	Ruptura Planar.....	30
3.2.2.	Ruptura em Cunha	30
3.2.3.	Ruptura por Tombamento de Blocos.....	31
4.	METODOLOGIA	33
4.1.	TRABALHO PRÉ-CAMPO	33
4.2.	TRABALHO DE CAMPO.....	33
4.2.1.	Delimitação dos Segmentos	33
4.2.2.	Descrição Litológica e Amostragem	35
4.2.3.	Coleta de dados para o RHRS	35
4.3.	TRABALHO PÓS-CAMPO	42
4.3.1.	Descrição Petrográfica	42
4.3.2.	Plotagem e Interpretação das Descontinuidades	43
4.3.3.	Resistência ao atrito e impacto a úmido – <i>Slake Durability</i>	44
4.3.4.	Inventário de Condições de Estabilidade.....	45
4.3.5.	Carta de Risco	45
5.	RESULTADOS.....	45

5.1. GEOLOGIA LOCAL.....	45
5.2. DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA.....	52
5.3. ANÁLISE DAS DESCONTINUIDADES.....	56
5.3.1. Análise Cinemática	56
5.3.2. Análise Descritiva	67
5.4. RESISTÊNCIA AO ATRITO E IMPACTO A ÚMIDO – Slake Durability	67
5.5. INVENTÁRIO DE CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE	70
5.6. CARTA DE RISCO.....	70
6. PROBLEMAS.....	71
7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
7.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS (melhorar final)	76
8. BIBLIOGRAFIA	78
APÊNDICE A.....	83

1. INTRODUÇÃO

A Formação Serra Geral é composta por derrames vulcânicos de composição básica e subordinadamente ácida, com características mineralógicas, morfológicas e estruturais distintas. Sua espessura total pode chegar a 1700 metros e atingir uma área de 1,2 milhões de km², tornando-se uma importante formação rochosa na região centro-sul do país. No estado do Rio Grande do Sul, ela recobre toda região centro-norte, onde estão localizadas importantes rodovias com grande fluxo de caminhões de carga, ônibus e carros, além de ser nessa região onde se encontra o maior número de rodovias do estado.

1.1. LOCALIZAÇÃO DO TRABALHO

A região de estudo está localizada na BR-153, rodovia também conhecida como transbrasiliana, pois se estende até o estado do Pará e tem limite sul na cidade de Aceguá, no Rio Grande do Sul, limite com Uruguai. O trecho estudado está entre a cidade de Vera Cruz e Herveiras (Figura 1), com aproximadamente 20km de extensão e 400m de cota entre o primeiro ponto e o último. Esta zona da rodovia foi construída nos derrames vulcânicos da Serra Geral, e já houve relatos de diversas quedas.

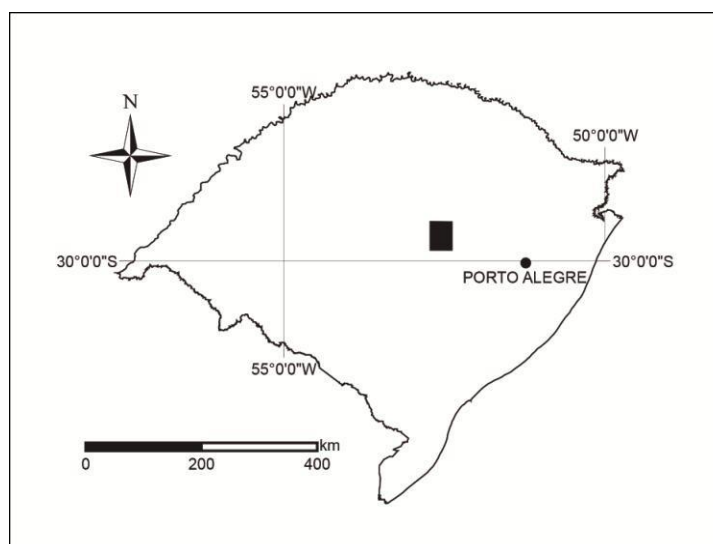


Figura 1 - Mapa do Rio Grande do Sul com a localização da área de estudo na quadrícula em preto.

1.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Queda de blocos é de grande risco em diversos cortes de estradas, dando oportunidade a algumas casualidades, como acidentes e lesões na estrada. A análise de risco de queda é uma operação complexa e muitas vezes subjetiva, devendo ser levado em conta não apenas a geologia e a estrutura da rocha, mas também a geometria do talude e a vulnerabilidade dos veículos ao longo do trecho, como velocidade limite, comprimento do talude, distância de visibilidade de tomada de decisão, comprimento do talude e quantidade de veículos por dia.

Mesmo parecendo ser uma área de estudo pequena, ela engloba características geológicas e geomorfológicas muito distintas, com taludes de grande heterogeneidade vertical, pois são compostos por diversos derrames, os quais possuem uma estrutura interna heterogênea também. Seguindo esse raciocínio, o problema desse trabalho está em caracterizar zonas de maior risco de queda, levando em consideração todas essas variáveis.

1.3. PREMISSAS E HIPÓTESES

A premissa aceita para esse trabalho é que já houve diversos escorregamentos ao longo deste segmento, algumas vezes, inclusive, bloqueando a rodovia, sendo necessário fazer desvios. Outra premissa é a existência de diversas variáveis ao longo do trecho, como diferentes composições químicas das rochas básicas e ácidas, estruturas de derrames e fraturas, além de diferentes geometrias de construção dos taludes.

Levando em consideração as premissas destacadas, a hipótese que surgiu foi que é possível caracterizar áreas de maior risco de escorregamento usando o método *Rock Fall Hazard Rating System* (RHRS) de Pierson (1991). Esse método não só leva em consideração a geologia presente, como também a geometria de construção dos taludes, incluindo altura, largura da rodovia, largura da vala de contenção e a vulnerabilidade dos veículos ao longo do trecho.

1.4. OBJETIVO

O objetivo geral do trabalho é produzir um banco de dados dos segmentos caracterizados, como é sugerido pelo método RHRS, juntamente com uma carta de suscetibilidade de escorregamento, na BR-153, região entre as cidades de Santa Cruz do Sul e Herveiras. O objetivo específico é destacar zonas de maior risco, e possível correlação com a geologia da área.

1.5. JUSTIFICATIVA

Ao longo do ano, em especial em estações mais chuvosas, ocorrem diversos desabamentos, alguns oferecendo grande risco para quem trafega na rodovia. O método RHRS é um modelo preventivo de quedas, permitindo às agências gerirem os taludes ao longo da rodovia, fornecendo dados para tomar decisões de onde e quanto irá investir. Além de ser economicamente vantajoso, fornece segurança para os milhares de automóveis que transitam na região.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1. BACIA DO PARANÁ

A Bacia do Paraná (figura 2) é uma bacia intracratônica que cobre uma área de aproximadamente 1.500,000 km², de idades entre o Ordoviciano e o Cretáceo (Zalán *et al.*, 1987) e abrange parte do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai, em um volume de estimadamente 800.00 km³. O registro estratigráfico compreende um pacote sedimentar-magmático com uma espessura máxima em torno de 7.000 metros e sua geometria é oval, com um eixo maior N-S (Miliani *et al.*, 2007) e está associada à evolução geotectônica da América do Sul.

Essa seqüência foi dividida em seis supersequências divididos por superfícies de discordância de caráter inter-regional (Miliani, 1997): Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana II, Gondwana III e Bauru. As três primeiras supersequências são sucessões sedimentares que representam ciclos transgressivo-regressivos referentes às oscilações do nível do mar no Plaeozóico, e as três últimas supersequências são referentes aos pacotes sedimentares associados aos derrames vulcânicos.

O presente trabalho vai caracterizar uma parte da Supersequência Gondwana III, composta por campos de dunas eólicas (Formação Botucatu) a partir do final do Jurássico, sucedidas pelas rochas magmáticas eocretácicas (Formação Serra Geral) relacionadas aos momentos iniciais de ruptura do paleocontinente Gondwana, através de uma extensa zona de falhas da crosta terrestre (Miliani *et al.*, 2007). Essa seqüência de rochas sedimentares eólicas sobrepostas por rochas vulcânicas, presentes no Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai, cobrem uma área de aproximadamente 1.300.000 km² (Barreto *et al.*, 2014) e são igualmente encontradas na Bacia do Huab, no NW da Namíbia (Jerram *et al.*, 2000). A Formação Botucatu, com espessura de aproximadamente 400m, consiste em depósitos eólicos com dominância de estratificação cruzada (Scherer, 2000). A Formação Serra Geral (FMG) é uma seqüência vulcânica com espessura máxima em torno de 1.700m e de composição predominantemente básicas (toleítica e andesítica) com ácidas (riolitos e riodacitos) subordinadas na porção superior (Melfiet *et al.*, 1988). O contato entre a Formação Botucatu e a Formação Serra geral é concordante e abrupto, sendo muito comum presença de arenito *intertrap*, que representa um intervalo que quiescência durante a atividade vulcânica e a conseqüente recorrência dos processos sedimentares (Waichel *et al.*, 2006).

Em relação à tectônica frágil, Zalán *et al.* (1990) demonstraram que os *trends* NW e NE ocorrem em toda a Bacia do Paraná, além de confirmado um terceiro grupo de lineamento de orientação E-W. As orientações NW-SE e NE-SW são as mais importantes e representam zonas de fraquezas antigas reativadas durante a evolução da Bacia.

Também é encontrado um grande número de intrusões ao longo de toda a Bacia. Os diques se colocam através das fendas e possuem uma orientação principal NW-SE, cortando desde o embasamento cristalino até as rochas sedimentares. Também há presença de soleiras quando o magma intrudia as camadas sedimentares e se depositava nelas (Almeida, 2004).

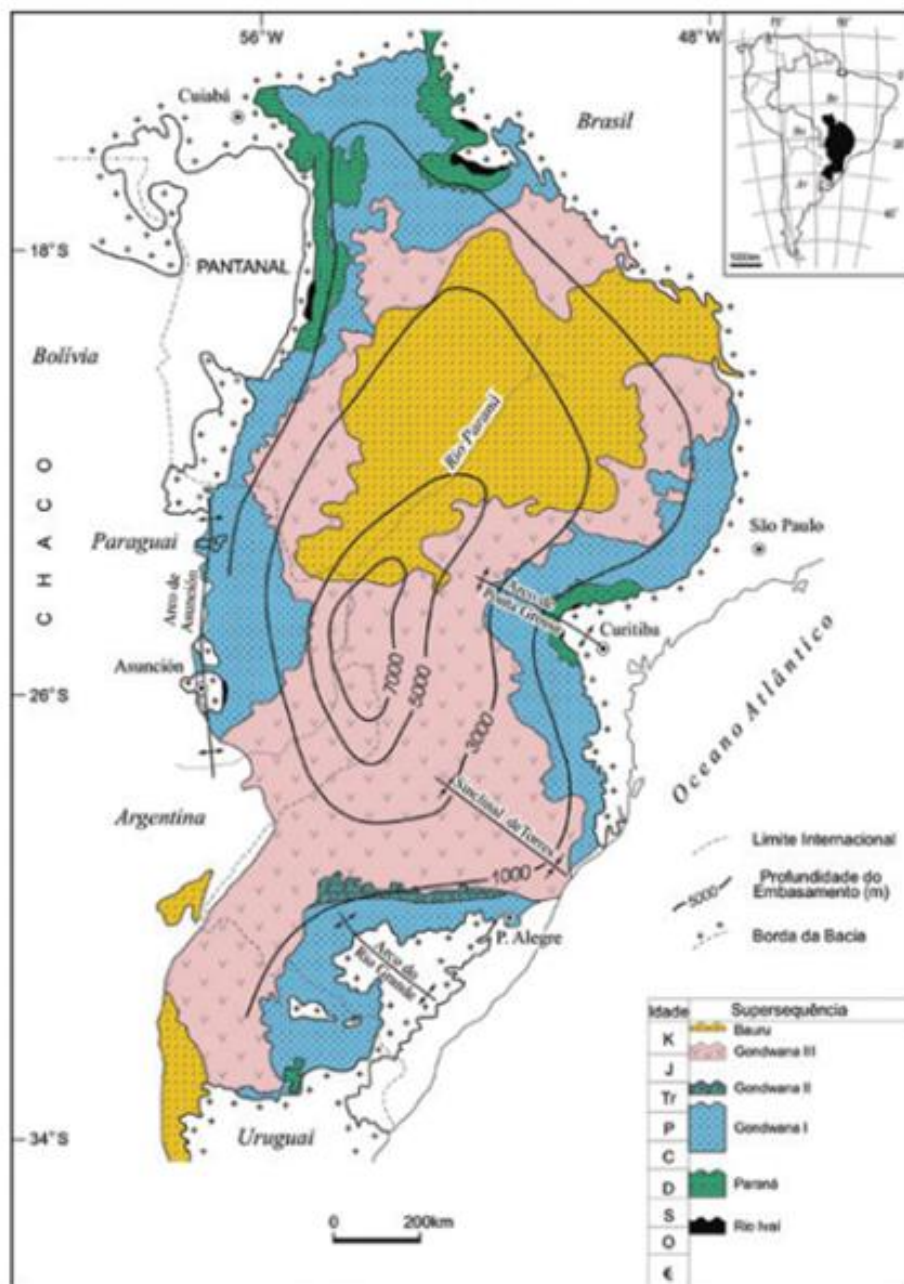


Figura 2: Mapa resumido da Bacia do Paraná (Milani, 2007)

2.2. FORMAÇÃO SERRA GERAL

A caracterização das rochas básicas é definida através da morfologia e da estrutura dos derrames, que podem ser distinguidas em lavas *pahoehoe* e *a'a'* (McDonald, 1953). Ambos os derrames possuem uma mineralogia similar, constituída de: plagioclásio, augita, olivina (pseudomorficamente transformada para iddingsita), minerais opacos e apatita. A dinâmica das lavas *pahoehoe* começa com o avanço dos lóbulos e um rápido resfriamento da parte superior,

isolando o sistema. Devido à pressão dos voláteis, essa crosta é inflada, promovendo a propagação da lava e o transporte a longas distâncias. Em termos de estrutura, os derrames *pahoehoe* são separados em *ponded*, lóbulos (derrames compostos) e *pahoehoe* simples (Lima *et al.*, 2012):

- *Poneded*: Textura fanerítica média a fina podendo apresentar fenocristais de plagioclásio e augita. Esses derrames são referentes ao preenchimento interduna da Formação Botucatu.
- Lóbulos: A crosta superior é vesicular, com um aumento no tamanho das vesículas para o núcleo e o núcleo é pouco vesiculado. A porção externa é vítrea. A porção basal raramente contém fenocristais de plagioclásio.
- *Pahoehoe* simples: Apresenta um topo vesicular, núcleo faneríticos fino e a porção basal com vesículas *pipe*.

Os derrames *a'a'* são resultado de um aumento da taxa de efusão, não conseguindo manter um sistema fechado como os derrames *pahoehoe*. O topo dos derrames é caracterizado por uma carapaça externa brechada, com fragmentos ricos em vesículas estiradas e um núcleo maciço hipocristalino, com textura intersetal e com grande quantidade de micrólitos de plagioclásio e com eventuais fenocristais de plagioclásio (Lima *et al.*, 2012). Na Formação Serra Geral é ausente ou rara as brechas basais, que geralmente são associadas a terrenos inclinados e a presença de um conduto central. A transição entre *pahoehoe* e *a'a'* é *rubbly pahoehoe*, que é composta por um topo com pedaços de lóbulos de *pahoehoe*. A estrutura desses derrames pode ser dividida em quatro partes: (1) autobrecha no topo; (2) zona vesicular na parte superior do núcleo; (3) núcleo maciço; (4) crosta basal vesicular (Keszthelyi *et al.*, 2002)

Sobrepostas a essas rochas, estão colocadas os derrames ácidos, com presença de uma intensa foliação horizontal, fraturas conchoidais e cerca de 5 a 7% de pequenas amígdalas arredondadas a achatadas com dimensões variadas, decrescentes em direção ao contato. Na base e no topo desses fluxos de lava se mostram vitrofíricos, constituídos por micrólitos com hábitos aciculares e esqueletais envolvidos por vidro cristalino, enquanto que no núcleo são granofíricos, com textura fanerítica fina e glomeroporfirítica, com fenocristais de plagioclásio, piroxênio e minerais opacos envoltos por uma matriz holocristalina. (Lima *et al.*, 2012).

Peate *et al.* (1992) produziu um plano de classificação das lavas da Formação Serra Geral baseado na distinção geoquímica, através de seus elementos maiores e elementos traços, subdividindo as lavas basálticas em 6 grupos: Paranapanema, Pitanga, Ribeira (norte, com altos teores de TiO_2) e Esmeralda, Gramado e Urubici (sul, com baixos teores de TiO_2).

Em relação às rochas ácidas, Mantovani *et al.* (1985) descreveram 2 grupos: Chapecó que está concentrado na parte centro e norte da Bacia do Paraná, possui alto teor de elementos-traço incompatíveis e menor porcentagem em peso de SiO_2 ; Palmas, que está concentrado na porção sul e possui baixo teor de elementos-traço incompatíveis e maior porcentagem em peso de SiO_2 . Peate *et al.* (1992) ainda subdividiu o grupo Chapecó em Guarapuava, Ourinhos e Sarusas e o grupo Palmas em Santa Maria e Caxias do Sul. De acordo com Garland *et al.* (1995), usando o diagrama de álcalis *versus* sílica, as rochas do grupo Palmas pode ser classificados como dacitos-riolitos, enquanto que o grupo Chapecó é classificado como traquitos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. ROCK HAZARD RATING SYSTEM (RHRS)

O sistema de avaliação RHRS foi criado nos Estados Unidos pelo Departamento de Transito do Oregon (*Oregon Department of Transit – ODOT*), estado montanhoso em que queda de blocos é comum (Pierson & Van Vickle, 1993). Foi baseado em um sistema publicado por Willye (1987), onde ele teve a intenção de classificar qual talude que beirava a ferrovia apresentava maior risco. Ele começou com uma pontuação preliminar de A, B, C, D e E, onde o A apresentava maior risco e o E menor risco. A segunda abordagem do seu trabalho foi utilizar critérios específicos de avaliação e pontuar exponencialmente, priorizando locais mais críticos.

Esse sistema de avaliação foi adaptado (Pierson, 1991; Pierson & Van Vickle, 1993), categorizando o potencial de queda e risco para o trânsito. Só no estado do Oregon foram classificados 3.000 locais com o RHRS. Esse sistema foi adaptado para 18 estados diferentes. Alguns estados como California, Kenrucky, Nevada, Pennsylvania, Virginia, Wyoming, North California, Utah e West Virginia não

modificaram a forma de pontuação, porém houve estados que adaptaram para suas condições locais, como Colorado, Arizona, Nova Jersey, Vermont, Nova York, Tennessee, Idaho, Ohio e Nova Hampshire (Russel *et al.*, 2008).

A seguir serão detalhadas as etapas da classificação RHRS oficializada por Pierson & Van Vickle (1993):

3.1.1. Delimitação das Seções

O trabalho começa com a pesquisa dos taludes e delimitação das seções. Para o propósito do RHRS, uma seção de queda de rocha é definida como “qualquer talude ininterrupto ao longo da rodovia onde o nível e modo de ocorrência de quedas são o mesmo” (Pierson, 1991).

3.1.2. Classificação Preliminar

A segunda etapa é fazer uma classificação preliminar dos taludes, que tem como objetivo economizar horas de trabalho avaliando taludes que visivelmente não apresentam risco. Essa classificação consiste em pontuar cada talude em A, B e C para os critérios: potencial estimado para rocha na rodovia e histórico de quedas (Tabela 1). Apenas os taludes que forem classificados com A ou B serão avaliados detalhadamente.

Tabela 1 - Classificação preliminar dos taludes (Pierson, 1991)

Critério \ Classe	A	B	C
Potencial estimado para rocha na rodovia	Alto	Moderado	Baixo
Histórico de Quedas	Alto	Moderado	Baixo

3.1.3. Classificação Detalhada

Essa etapa consiste em avaliar nove categorias em cada talude, permitindo diferenciar os que apresentam menor risco dos que apresentam maior risco. A Tabela 2 mostra a classificação detalhada de cada item. A pontuação aumenta exponencialmente de 3 a 81 pontos. Algumas categorias apresentam uma avaliação subjetiva, enquanto outras podem ser medidas diretamente e então pontuadas através de tabelas de apoio. As nove categorias são:

1) Altura do talude: A medida da altura é até o ponto mais alto que a queda é esperada. Quanto mais alto é o talude, maior é a energia potencial do bloco, oferecendo um maior perigo.

2) Efetividade da Vala de Contenção: Este item é classificado conforme a habilidade da Vala de Contenção em segurar todos os blocos caídos. Esse é um critério subjetivo, pois depende da interpretação de quem está trabalhando. Para analisar a efetividade da Vala de Contenção, tem que ser levado em conta: 1) altura do talude e ângulo; 2) Comprimento, profundidade e formato da Vala; 3) volume de queda por evento que já ocorreu; 4) Irregularidades no talude, para possível lançamento do bloco. A pontuação deve ser consistente com os seguintes critérios:

- 3 pontos: Boa captação – todos ou quase todos blocos estão retidos na Vala;
- 9 pontos: Moderada captação – blocos caídos ocasionalmente alcançam a rodovia;
- 27 pontos: Captação limitada – blocos caídos geralmente alcançam a rodovia;
- 81 pontos: Sem captação – Não há Vala de Contenção ou é completamente ineficiente.

Tabela 2 - Tabela traduzida do sistema de classificação RHRS – *Rock Hazard Rating System* (Pierson & Van Vickle, 1993)

Categoria		Critério de classificação e pontuação				
		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos	
Altura do talude		7 metros	15 metros	22,5 metros	30 metros	
Efetividade da vala de contenção		Boa captação	Moderada captação	Captação limitada	Sem captação	
Risco médio de veículos		25% do tempo	50% do tempo	75% do tempo	100% do tempo	
Porcentagem da distância de visibilidade de decisão		Adequada distância de visão - 100%	Moderada distância de visão - 80%	Limitada distância de visão - 60%	Muito limitada distância de visão -40%	
Largura da rodovia incluindo o acostamento pavimentado		13 metros	10,8 metros	8,5 metros	6 metros	
Características Geológicas	Caso 1	Condição estrutural	Fraturas descontínuas, orientação favorável	Fraturas descontínuas, orientação aleatória	Fraturas descontínuas, orientação adversa	Fraturas contínuas, orientação adversa
		Rugosidade	Rugosa, irregular	Ondulada	Planar	Preenchida por argila ou polido
	Caso 2	Condição estrutural	Poucas características de erosão diferencial	Ocasionais características de erosão diferencial	Muitas características de erosão diferencial	Completa por características de erosão diferencial
		Diferença na taxa de erosão	Pequena diferença	Moderada diferença	Grande diferença	Extrema diferença
Tamanho do bloco		0,3 metros	0,6 metros	0,9 metros	1,2 metros	
Volume da queda		2,3 m ³	4,5 m ³	6,8 m ³	9 m ³	
Clima e presença de água no talude		Baixa a moderada precipitação; sem períodos de congelamento; sem água no talude	Moderada precipitação ou curto período de congelamento ou água intermitente no talude	Alta precipitação ou longo período de congelamento ou água contínua no talude	Alta precipitação e longos períodos de congelamento ou água contínua no talude e longos períodos de congelamento	
Histórico de quedas		Poucas quedas	Ocasionais quedas	Muitas quedas	Quedas constantes	

3) Risco Médio de veículos (RMV): Em sua fórmula mostrada abaixo, combina quantidade de carros por dia, comprimento do talude e a velocidade máxima permitida, que representam a porcentagem de tempo que um veículo estará envolvido em um desmoronamento. Uma classificação de 100% significa que, em média 1 veículo estará presente durante o acidente. Quanto maior o número de carros por dia, ou quanto maior o comprimento do talude, maior será o risco de um veículo estar envolvido no acidente.

$$RMV = \frac{VMD \times CT/24h}{VL}$$

Onde,

VMD: volume médio de veículo por dia

CT: comprimento do talude

VL: Velocidade limite

4) Distância de Visibilidade de Decisão (DVD): Conforme a fórmula abaixo, essa classificação compara a Atual Distância de Visão (ADV) para perceber a queda de um bloco de até 15cm, com a menor Distância de Tomada de Decisão (DTD) necessária prescrita pela AASHTO – *American Association of State High way and Transportation Officials* (tabela 3)

$$DVD = \frac{ADV}{DTD} \times 100$$

Onde,

ADV: atual distância de visão

DTD: distância de tomada de decisão

Tabela 3 - Distância mínima de tomada de decisão pela AASHTO – traduzida de milhas/h para km/h, e de pés para metros (Pierson & Van Vickle, 1993)

Velocidade limite (km/h)	Distância de tomada de decisão (m)
40	114
48	137
56	160
65	183
73	206
80	229
88	267
96	305
105	320

Essa categoria é crítica quando obstáculos na rodovia são difíceis de ver, ou quando uma manobra inesperada é requerida.

5) Largura da Rodovia: É a medida perpendicular à direção da rodovia, incluído também o acostamento pavimentado. A importância dessa categoria é a área que o motorista tem para desviar de um obstáculo que está na rodovia. Quanto maior o comprimento, menor o risco.

6) Tamanho de Bloco ou Volume por Evento: Qual critério usar vai depender de qual tipo de evento que costuma ocorrer no segmento. Se blocos individuais costumam cair, deve ser usado o tamanho de blocos. Caso uma massa de blocos tende a ser dominante nas quedas, deve ser usado volume por evento. A decisão de qual usar pode ser por histórico, ou por observações das condições (quando não haja nenhum histórico de quedas).

7) Clima e Presença de Água no Talude: Água no Talude e ciclos de congelamento/degelo contribuem para acelerar o intemperismo e a redução da estabilidade. Áreas de baixa precipitação são menores que 510mm por ano, de média precipitação entre 510mm e 1270mm por ano, e de alta precipitação é maior que 1270mm por ano.

8) Histórico de Quedas: Essa categoria classifica os históricos de queda do talude como um indicador do potencial de atividades futuras. Os critérios para a pontuação são:

- 3 pontos: poucas quedas – quedas ocorrem em poucas vezes por ano, ou apenas durante tempestades severas. Também se encaixa quando não há nenhum histórico;
- 9 pontos: ocasionais quedas – quedas ocorrem regularmente e podem ser esperadas várias vezes por ano e durante tempestades;
- 27 pontos: muitas quedas – frequentemente ocorrem durante uma certa temporada, mas não são significativas no restante do ano. Também é usada em regiões onde já ocorreram quedas severas;
- 81 pontos: quedas constantes – quando quedas ocorrem frequentemente durante o ano todo. Também é usada para regiões onde quedas severas são comuns.

9) Características Geológicas: As condições geológicas que condicionam a queda podem ser o Caso 1, onde são dominantes as Características Estruturais, como descontinuidades, juntas e foliações, ou o Caso 2, onde a Erosão Diferencial é a condicionante principal para as quedas. Para a pontuação deve-se escolher apenas um Caso. Caso apresente os dois Casos, entrará na contagem apenas a pontuação mais alta.

i)Caso 1

(1) Condições Estruturais: O termo “juntas” se encaixa para todos os tipos de descontinuidades, como acamamento, foliação, fraturas e falhas. O termo “contínuo” é referente às juntas com mais de 3m de persistência. O termo “adverso” é aplicado não somente com a relação espacial da junta com o talude, mas também com o ângulo de fricção, preenchimento, e efeito da água. A pontuação deve ser consistente com os seguintes critérios:

- 3 pontos: Juntas descontínuas, orientação favorável – talude com descontinuidades com orientação favorável a estabilidade;

- 9 pontos: Juntas descontínuas, orientação aleatória – talude com descontinuidades aleatórias que formam um padrão variável. Não apresenta nenhuma família dominante de juntas adversas ao talude;
 - 27 pontos: Juntas descontínuas, orientação adversa – talude apresenta predomínio de juntas com orientação adversa. Essas juntas apresentam menos de 3m de persistência;
 - 81 pontos: Juntas contínuas, orientação adversa – talude apresenta predomínio de juntas com orientação adversa. Essas juntas apresentam mais de 3m de persistência;
- (2) Rugosidade: A rugosidade, tanto em micro quanto em macro escala, é uma das principais responsáveis pelo movimento de blocos ao longo das descontinuidades. Macro rugosidade é o grau de ondulação da descontinuidade correspondente à possível direção de movimento, e micro rugosidade é a textura da superfície. Os critérios para a pontuação são:
- 3 pontos: Rugosa, irregular – a superfície é rugosa e o plano da junta é irregular o suficiente para causar travamento;
 - 9 pontos: Ondulada – rugosa na macro escala mas sem a habilidade de causar o travamento do bloco;
 - 27 pontos: Planar – planar na macro escala e rugoso na micro escala. A Fricção é derivada somente da rugosidade da superfície;
 - 81 pontos: Preenchimento de argila ou superfície polida – material que separa as superfícies da rocha apresentam baixa fricção, invalidando qualquer rugosidade. Superfícies polidas também possuem baixo ângulo de atrito.

ii) Caso 2

- (1) Condições Estruturais: O intemperismo na rocha causa uma perda de suporte localmente ou ao longo do talude. Os tipos de taludes que são suscetíveis a essa condição são: unidades com camadas que contém unidades com maior capacidade de erosão, talus e taludes rocha/solo em que o fluxo ocorra como

a rocha envolta em uma matriz de solo. A pontuação deve ser consistente com os critérios abaixo:

- 3 pontos: Poucas características de erosão diferencial – pequenas características de erosão diferencial que não estão espalhadas ao longo do talude;
- 9 pontos: Ocasionais características de erosão diferencial – pequenas características de erosão diferencial que estão distribuídos no talude.
- 27 pontos: Muitas características de erosão diferencial – grandes características de erosão diferencial e numerosas ao longo do talude
- 81 pontos: Completa por características de erosão diferencial – casos severos, como ressaltos no talude causados pela erosão, ou talude muito íngreme de solo/rocha, ou solo talus.

(2) Diferença na Taxa de Erosão: O progresso no processo de erosão pode resultar em porções insustentáveis no talude, aumentando as chances de queda. O grau de perigo causado pela erosão e a nota a ser dada, deve refletir que tipo de erosão está ocorrendo, os blocos que estão sendo expostas, a frequência de quedas, e a quantidade de material caído durante um evento. A pontuação deve ser consistente com os critérios abaixo:

- 3 pontos: Pequena diferença – as características de erosão levam muitos anos para se desenvolver. Taludes em equilíbrio com o ambiente;
- 9 pontos: Moderada diferença – as características de erosão se desenvolvem em um período de poucos anos;
- 27 pontos: Grande diferença – as características de erosão são notórias no desenvolvimento durante um ano;
- 81 pontos: Extrema diferença – as características de erosão são de rápido e contínuo desenvolvimento.

3.1.4. Identificação do Projeto de Desenvolvimento

O grande benefício de implementar o RHRS é a redução no potencial de

desmoronamento. E esse benefício só pode ser alcançado se for construído algum projeto de remediação, prevenindo as quedas. Se em algum local de estudo houve algum desmoronamento, ele deve ser novamente pontuado em detalhe para determinar se o risco aumentou ou diminuiu. O investimento deve ser proporcional ao risco de queda. Mesmo sendo de extrema importância, essa etapa não será detalhada pelo fato de ela não entrar no atual trabalho.

3.1.5. Programa de Gestão de Dados

O método RHRS oferece diversos dados sobre os principais locais de risco dentro das jurisdições das agências, e para elas conseguirem usar esses dados de uma forma efetiva, um banco de dados é necessário. Dessa maneira, a *Federal Highway Administration* (FHWA) criou um programa automático e digital, nomeado de RDMP –*Rockfall Database Management Program* (Programa de Gestão de Banco de Dados de Desmoronamento).

O RDMP possui duas versões, a da matriz e a regional. O que diferencia as duas é o fato da regional poder trabalhar com apenas uma região específica, enquanto a matriz pode trabalhar com cada região separadamente ou com todas regionais juntas, abrangendo todo o estado.

3.2. ANÁLISE CINEMÁTICA DE TALUDES EM ROCHA

A cinemática refere-se à movimentação de corpos, sem fazer referência às forças que causam o movimento (Fiori & Carmignami, 2013). Muitos blocos em taludes estão em condições estáveis, mesmo quando contém descontinuidades com alta inclinação. Isso se dá ao fato de não haver liberdade de movimento ao longo das superfícies. No entanto, quando retirados esses impedimentos, seja por escavação, erosão ou crescimento de fraturas, o bloco fica livre para deslizar. Então, a análise estrutural busca recompor a trama macroscópica, a partir de elementos estruturais. (Carneiro, 1983).

A análise de estabilidade de blocos tem por base as atitudes dos planos das descontinuidades em relação à atitude da face ou do talude, levando-se em consideração, nessa análise, o ângulo de atrito atuante ao longo desses planos

(Pinotti & Carneiro, 2013). É importante a identificação dos modelos potenciais de escorregamento para cada talude em rocha, podendo ser classificados em quatro tipos principais: escorregamento planar, em cunha, tombamento ou rotacional (geralmente em solos ou rochas muito alteradas). Esses modelos estão ilustrados na figura 3, juntamente com a representação estereográfica das condições estruturais do maciço (Hoek & Bray, 1981). Esses modelos de deslizamento demonstrados nas figuras são simplificados, pois podem ocorrer combinações de diversos tipos de estrutura geológica, que podem dar origem a tipos mais complexos de deslizamentos (Fiori & Carmignami, 2013).

3.2.1. Ruptura Planar

Este tipo de ruptura é referente ao movimento de massa rochosa ao longo de uma superfície subparalela à face do talude. Segundo Norish & Wyllie (1996), existem quatro condições estruturais para ocorrer o deslizamento:

- O ângulo do mergulho do plano de deslizamento deve ser maior que o ângulo de atrito daquele plano;
- A direção de deslizamento pode se afastar no máximo 20° em relação à direção de mergulho da face do talude;
- O mergulho da descontinuidade deve ser menor do que o mergulho do talude e deve aflorar na face dele;
- O comprimento longitudinal da descontinuidade deve estar claramente definido.

3.2.2. Ruptura em Cunha

Nestes deslizamentos, a massa rochosa se desloca ao longo de pelo menos dois planos de descontinuidades que se intersectem e mergulham para fora do talude. Neste caso, três condições devem ser observadas:

- As superfícies de deslizamento deverão aflorar na face do talude;

- A linha de interseção dos dois planos de deslizamento deverá aflorar na face do talude;
- O caimento da linha de interseção deverá ser maior que o ângulo de atrito dos planos.

3.2.3. Ruptura por Tombamento de Blocos

Ocorre quando blocos rotacionam sobre eixos fixos, tombando sobre a face livre do talude. Segundo Hoek & Bray (1981), a condição mais favorável para ocorrer essa ruptura é quando duas famílias de descontinuidades se cruzam, uma delas mergulhando a um ângulo alto e contra a face livre do talude, e outra descontinuidade mergulhando no mesmo sentido do talude, em baixo ângulo. Para esta análise, existem três condições que devem ser observadas:

- Deverá haver duas famílias de descontinuidades que se cruzam, uma a favor e outra contra a inclinação do talude;
- A família que mergulha contra a vertente é inclinada a ângulos menos que $(90-\phi)$, sendo o ϕ o ângulo de atrito do material (Hoek & Bray, 1981), enquanto a família que mergulha a favor deverá ter inclinações menores que o ângulo de atrito interno;
- Os rumos de mergulho desses planos devem estar dentro de 20° do rumo de mergulho da face do talude.

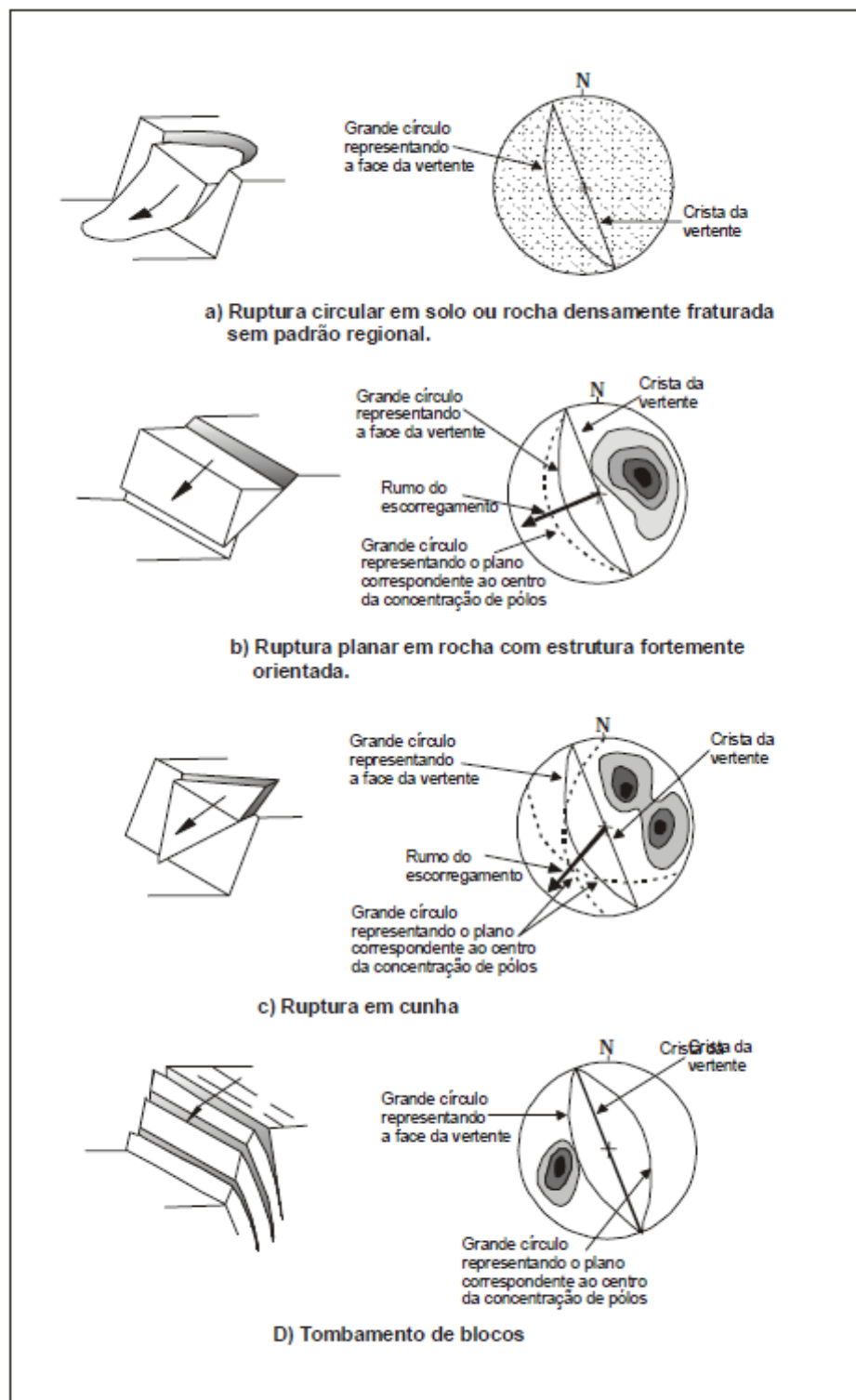


Figura 3 - Tipos de deslizamento decorrentes da distribuição das discontinuidades e suas representações estereográficas (Hoek & Bray, 1981)

4. METODOLOGIA

A metodologia para a realização do trabalho foi dividida em três partes: pré-campo, campo e pós-campo.

4.1. TRABALHO PRÉ-CAMPO

Nesta etapa foi realizada uma revisão bibliográfica da área de estudo, incluindo a geologia local, proporcionando um maior conhecimento sobre as morfologias e estruturas dos derrames da Formação Serra Geral, além de um estudo sobre o comportamento geotécnico dos basaltos do Rio Grande do Sul. Também foi realizado uma revisão teórica sobre estabilidade de taludes e um estudo sobre a teoria do método RHRS e suas aplicações. Os dados foram colhidos de artigos científicos, teses, dissertações, monografias e livros.

Ainda foi feito um trabalho em cima de imagens de satélite, através do Google Earth e mapas geológicos e de curvas de nível.

4.2. TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo foi realizado em duas saídas, uma no mês de fevereiro e outra no mês de maio de 2016, somando quatro dias. As etapas para a realização do trabalho foram delimitar os segmentos, descrição da litologia, coleta de amostras e coleta de dados para completar a tabela RHRS em cada segmento.

4.2.1. Delimitação dos Segmentos

O trabalho de campo foi executado no sentido S-N, totalizando um trecho de 20 km de extensão, e foi dividido em 24 segmentos. Em cada segmento pode haver talude no lado direito, ou talude no lado esquerdo. Os critérios para a delimitação foram: curvas, mudança litológica e trechos sem taludes. Os pontos foram plotados no mapa em campo e passado para o ArcGIS® (Figura 4). Esses pontos são aonde começam os segmentos, terminando no próximo ponto. O S17A é um sub-segmento

do S17 que será explicado mais adiante e começa no S17i e termina no S17f. Foi iniciado no segmento S01, pois antes desse ponto não existe nenhuma região com taludes altos e que demonstravam risco. Foi finalizado no segmento S24, onde começou a haver repetições litológicas e estruturais. As UTM's dos pontos foram registradas através de um GPS.

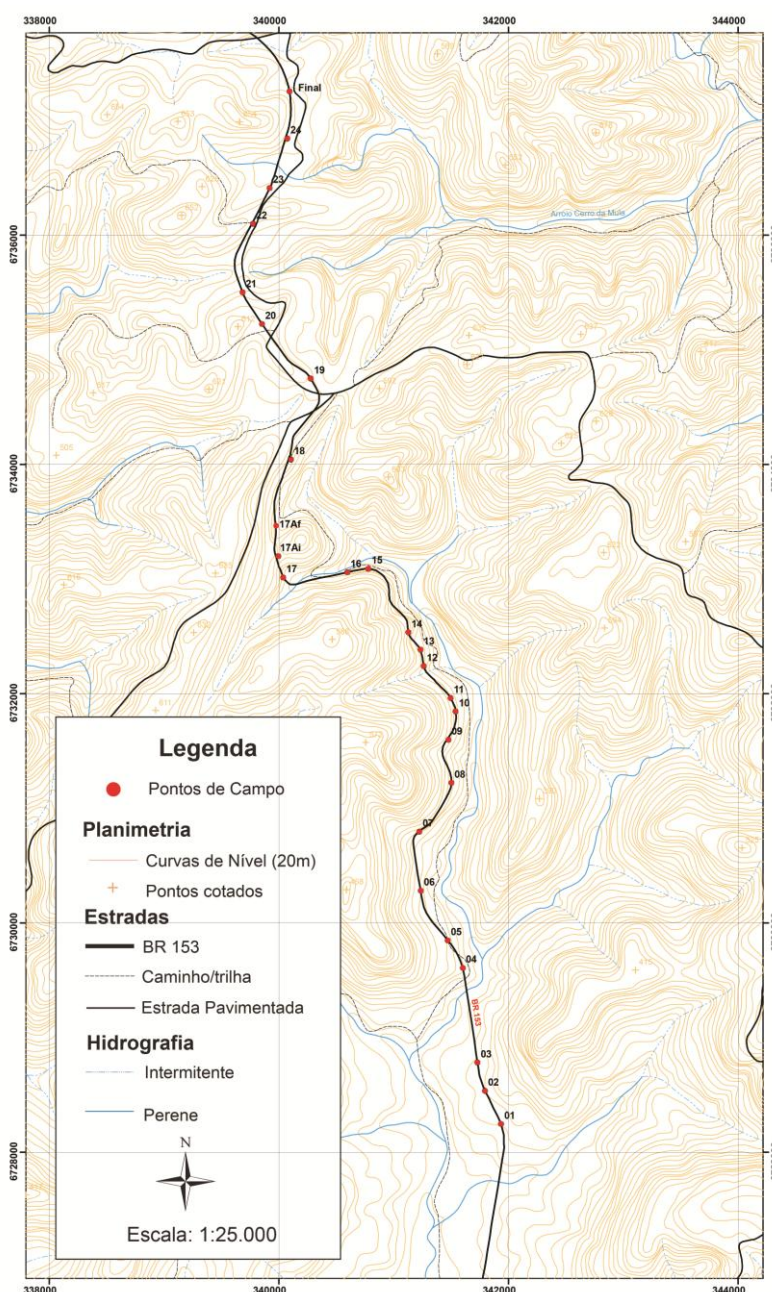


Figura 4 - Mapa topográfico 1:25.000 da área mostrando os 24 segmentos.

Nessa etapa também foi realizada uma classificação preliminar dos taludes, que consiste em pontuar cada um em A, B e C, visando o potencial estimado para

haver rocha na rodovia, e o histórico de quedas.

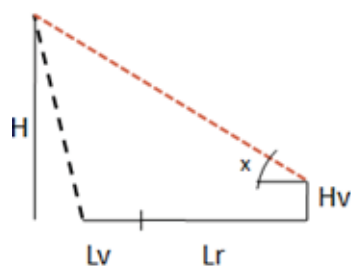
4.2.2. Descrição Litológica e Amostragem

Na segunda etapa, foi realizada a descrição macroscópica das rochas vulcânicas presentes na área, diferenciando as litologias, estruturas e texturas encontradas. Também foi feita a coleta de amostras para produção de lâminas delgadas, e para o ensaio de *slake durability* que será realizado em laboratório na etapa pós-campo. As amostras para as lâminas são referentes aos segmentos S04, S14, S17A, S18 e S20. Foram escolhidos esses segmentos por possuírem litologias e/ou texturas distintas. As amostras para o ensaio de *slake durability* são referentes aos segmentos S05, S06, S14 e S17. Foram coletados nesses segmentos por possuírem certo grau de alteração. No S17 foi feito ensaio em duas amostras, uma de basalto intacto e outra de brecha de topo de derrame, para discutir a diferença do grau de alteração.

4.2.3. Coleta de dados para o RHRS

A terceira etapa consiste na coleta de dados para a tabela de classificação RHRS. O trabalho foi realizado apenas em um sentido da estrada, de Cruz Alta a Herveiras. A pontuação é de forma exponencial, atenuando o risco quando não apresentar uma boa característica. Essa tabela apresenta nove critérios, dentre eles as características geológicas que serão explicadas por último:

1) Altura do talude (H): A altura de cada talude foi medida com uma bússola Brunton, esquematizada abaixo (figura 6). A bússola serviu para registrar o ângulo que tem ente o olho da pessoa que está medindo na frente do talude até o ponto mais alto. É calculada a tangente usando esse ângulo e o comprimento da rodovia + o comprimento da vala de contenção. O resultado final é lançado na tabela 4, e então pontuado.



H: Altura do talude
 Lv: Largura da vala
 Lr: Largura da rodovia
 Hv: Altura da visada

$$H = \text{tg}x * (Lv + Lr) + Hv$$

Figura 5 - modelo esquematizado de medida da altura

Caso o talude apresente patamares, elas devem ser somadas junto com a largura da rodovia. Como não é possível medir a largura do patamar, foi estimado um valor de 2m para cada. O resultado obtido desse cálculo da tangente é adicionado a altura de visão da pessoa que está medindo.

Tabela 4 - Medida das alturas e as pontuações para a tabela RHRS

Altura do Talude					
ALTURA	PONTOS	ALTURA	PONTOS	ALTURA	PONTOS
Até 3m	1	20,4m a 20,7m	20	26,5m a 26,8m	48
3m a 6m	2	20,7m a 21m	21	26,8m a 27,1m	50
6m a 8,5m	3	21m a 21,3m	22	27,1m a 27,4m	52
8,5 a 10m	4	21,3m a 21,6m	23	27,4m a 27,7m	55
10m a 11,5m	5	21,6m a 21,9m	24	27,7m a 28m	57
11,5m a 13m	6	21,9m a 22,2m	25	28m a 28,3m	60
13m a 13,7m	7	22,2m a 22,5m	26	28,3m a 28,6m	62
13,7m a 14,6m	8	22,5m a 22,8m	27	28,6m a 28,9m	65
14,6m a 15,5m	9	22,8m a 23,1m	28	28,9m a 29,2m	71
15,5m a 16,1m	10	23,1m a 23,4m	29	29,2m a 29,5m	74
16,1m a 16,7m	11	23,4m a 23,7m	31	29,5m a 29,8m	78
16,7m a 17,3m	12	23,7m a 24m	32	29,8m a 30,4m	81
17,3m a 18m	13	24m a 24,3m	34	30,4m a 30,8m	85
18m a 18,3m	14	24,3m a 24,6m	35	30,8m a 31m	88
18,3m a 18,9m	15	24,6m a 24,9m	37	31m a 31,4m	92
18,9m a 19,2m	16	24,9m a 25,2m	38	31,4m a 31,7m	97
19,2m a 19,8m	17	25,5m a 25,8m	40	31,7m a 32m	100
19,8m a 20,1m	18	25,8m a 26,1m	42		
20,1m a 20,4m	19	26,1m a 26,5m	46		

2) Efetividade da vala de contenção: Foi usada apenas a pontuação de 3, 9, 27 e 81, sem nenhuma pontuação intermediária para não haver mais subjetividade na classificação. A pontuação 3 teve o critério de todos os blocos ficarem retidos na vala, pontuação 9 para quase todos ficarem retidos, pontuação 27 para blocos que frequentemente caem na estrada, e pontuação 81 para valas completamente inativas, não ocorrendo em nenhum caso.

Entretanto, houve alguns casos em que foi dada uma pontuação maior devido aos outros critérios, como altura do talude e características geológicas. Por exemplo, no início do S14, onde foram encontradas as maiores alturas (chegando a 30m) e uma grande heterogeneidade vertical, podendo ser analisado conforme subia no perfil uma zona com fraturas formando cunhas, seguido por uma zona de intensa alteração, e terminando com uma zona de intenso fraturamento. Mesmo com poucos blocos chegando à rodovia, esse segmento foi classificado com 27 pontos devido a esses outros critérios.

3) Risco Médio de Veículos (RMV): A porcentagem é baseada na quantidade média de veículos por dia que passam na rodovia, no comprimento do talude e na velocidade máxima permitida.

- Para o volume médio de veículos foi feita uma contagem de uma hora para veículos que iam sentido norte e sentido sul. Foi feita em quatro momentos, dois em janeiro (manhã e tarde) e dois em maio (manhã e tarde), resultando numa média de 1.200 veículos por dia.
- O comprimento do talude foi medido através de uma trena.
- A velocidade máxima é de 80km/h em todo o trecho.

O resultado obtido é lançado na tabela 5, e então pontuado.

Tabela 5 - Percentuais calculados da medida RMV e as pontuações para a tabela RHRS

RMV					
%	PONTOS	%	PONTOS	%	PONTOS
Até 9%	1	67% a 68%	20	86% a 87%	46
9% a 20%	2	68% a 69%	21	87% a 88%	48
20% a 28%	3	69% a 70%	22	88% a 89%	50
28% a 34%	4	70% a 71%	23	89% a 90%	52
34% a 38%	5	71% a 72%	24	90% a 91%	55
38% a 42%	6	72% a 73%	25	91% a 92%	57
42% a 45%	7	73% a 74%	26	92% a 94%	60
45% a 48%	8	74% a 75%	27	94% a 95%	62
48% a 51%	9	75% a 76%	28	95% a 96%	65
51% a 53%	10	76% a 77%	29	96% a 97%	71
53% a 55%	11	77% a 78%	31	97% a 98%	74
55% a 57%	12	78% a 79%	32	98% a 99%	78
57% a 59%	13	79% a 80%	34	99% a 100%	81
59% a 60%	14	80% a 81%	35	100% a 101%	85
60% a 62%	15	81% a 82%	37	101% a 102%	88
62% a 63%	16	82% a 83%	38	102% a 103%	92
63% a 65%	17	83% a 84%	40	103% a 104%	97
65% a 66%	18	84% a 85%	42	104% a 105%	100
66% a 67%	19	85% a 86%	44		

4) Distância de Visibilidade de Decisão (DVD): A Atual Distância de Visão foi medida por trena, até não conseguir enxergar o fragmento de 15 cm. A Distância de Tomada de Decisão foi retirada da Tabela 6, valor sugerido pelo DNER (1999) que foi elaborado com base no Manual da AASHTO (1994), oferecendo valores calculados para os casos de simples parada e desvio de obstáculos. Para este trabalho será usado a segunda opção. O resultado obtido é lançado na tabela 7, e então pontuado.

Tabela 6 - Distância de visibilidade de tomada de decisão (DNER, 1999)

Velocidade Diretriz (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Simples Parada (m)	50	70	95	125	155	185	225	265	305
Desvio de obstáculos (m)	115	145	175	200	230	275	315	335	375

Tabela 7 - Percentuais calculados da medida DVD e as pontuações para a tabela RHRS

DVD					
%	DVD	%	DVD	%	DVD
Até 36%	100	52% a 53%	40	70% a 71%	15
36% a 37%	96	53% a 54%	38	71% a 72%	14
37% a 38%	90	54% a 55%	36	72% a 74%	13
38% a 39%	86	55% a 56%	34	74% a 75%	12
39% a 40%	81	56% a 57%	32	75% a 77%	11
40% a 41%	77	57% a 58%	30	77% a 79%	10
41% a 42%	73	58% a 59%	29	79% a 81%	9
42% a 43%	69	59% a 60%	27	81% a 83%	8
43% a 44%	65	60% a 61%	26	83% a 85%	7
44% a 45%	62	61% a 62%	24	85% a 88%	6
45% a 46%	58	62% a 63%	23	88% a 92%	5
46% a 47%	55	63% a 64%	22	92% a 97%	4
47% a 48%	52	64% a 65%	21	97% a 103%	3
48% a 49%	49	65% a 66%	19	103% a 112%	2
49% a 50%	47	66% a 67%	18	112% a 113%	1
50% a 51%	44	67% a 68%	17		
51% a 52%	42	68% a 70%	16		

5) Largura da Rodovia (LR): Para a medida, foi usada uma trena. Caso a largura da rodovia varie ao longo do talude, terá que ser usada a menor largura. O resultado obtido é lançado na tabela 8, e então pontuado.

Tabela 8 - Medidas da largura da rodovia e as pontuações para a tabela RHRS

Largura da Rodovia					
METROS	PONTOS	METROS	PONTOS	METROS	PONTOS
Até 5,5m	100	7,9m a 8,2m	31	10,6m a 10,9m	9
5,5m a 5,8m	93	8,2m a 8,5m	27	10,9m a 11,2m	8
5,8m a 6,1m	81	8,5 a 8,8m	24	11,2m a 11,5m	7
6,1m a 6,4m	71	8,8m a 9,1m	21	11,5m a 11,8m	6
6,4m a 6,7m	62	9,1m a 9,4m	18	11,8m a 12,5	5
6,7m a 7m	54	9,4m a 9,7m	16	12,5m a 12,8m	4
7m a 7,3m	47	9,7m a 10m	14	12,8m a 13,7m	3
7,3m a 7,6m	41	10m a 10,3m	12	13,7m a 14,9m	2
7,6m a 7,9m	36	10,3m a 10,6m	10	14,9m a 15,2m	1

6) Tamanho dos Blocos ou Volume por Evento: Neste trabalho foi estimado apenas tamanho de blocos, analisando os blocos rolados na Vala de Contenção e na Rodovia. Os blocos foram medidos com trena. O resultado obtido é lançado na tabela 9, e então pontuado.

Uma observação é importante: No segmento S7 houve um grande escorregamento de solo no ano de 2015 que acabou obstruindo a estrada, sendo necessário fazer um desvio. Nesse caso seria volume por evento, pois foi um grande volume, porém não se sabe a quantidade exata. No entanto foi registrado um bloco de 3m rolado quase atingindo a rodovia, tamanho grande o suficiente para pontuar com a nota máxima.

Tabela 9 - Tamanho dos blocos e as pontuações para a tabela RHRS

Tamanho dos Blocos	
METROS	PONTOS
Até 0,15m	2
0,15m a 0,3m	3
0,3m a 0,45m	5
0,45m a 0,6m	9
0,6m a 0,76m	16
0,75m a 0,9m	27
0,9m a 1,05m	47
1,05m a 1,2m	81
1,2m a 1,4m	100

7) Clima e Presença de Água no Talude: Foi levado em consideração principalmente a precipitação média anual, por ser uma região de alta precipitação. A cidade de Vera Cruz possui uma média de 1323 mm e Herveiras de 1469 mm (dados tirados do site CLIMATE-DATA.ORG), gerando uma média de 1396mm por ano. Segundo Pierson (1993), precipitação acima de 1270 mm é considerada alta, podendo classificar com 27 ou 81, como não existe períodos de congelamento, todos os segmentos ficaram com pontuação de 27.

8) Histórico de Quedas: Item de classificação muito subjetiva, sendo difícil diferenciar entre uma pontuação e outra. Por exemplo, os 9 pontos são relacionados às quedas regulares e que podem ser esperadas várias vezes no ano e durante

tempestades. Os 27 pontos são relacionados às quedas frequentes em certa estação do ano, não sendo muito significativas ao longo do ano, e também pode ser pontuado para regiões onde ocorreu um evento severo de queda. Como em vários taludes do trabalho foi encontrado focos de quedas, ficou difícil classificar nesse quesito.

Foram utilizadas apenas as pontuações pré-estabelecidas (3, 9, 27 e 81), para não se tornar mais subjetivo. Pontuação 3 para quando não há registro de quedas, ou quedas de poucos blocos. Pontuação 9 para o caso de haver quedas ocasionais em um foco do talude, sem grande risco. Pontuação 27 para o caso de haver diversos focos de queda ao longo do talude, ou se já houve uma grande queda a ponto de obstruir a rodovia. Pontuação 81 é utilizada para quando há região com queda frequente no ano todo.

9) Características Geológicas: Dois casos podem ser condicionantes para as quedas de blocos: Caso 1, quando os movimentos ocorrem nas fraturas. Caso 2, quando a erosão diferencial é dominante e permite a queda de blocos. Caso o talude apresente os dois casos, ambos serão pontuados, porém só o pior entrará na contagem.

- Caso 1: Descontinuidades adversas são aquelas com orientações que podem promover ruptura planar, cunha ou de tombamento. Foi medido, através da bússola Brunton, o máximo de fraturas possíveis em cada talude que esse caso dominava, além da descrição das famílias quanto à persistência, frequência e preenchimento. A rugosidade (figura 6) foi caracterizada através dos Métodos Sugeridos de Descrição Quantitativa de Descontinuidades (ISRM, 1978).
- Caso 2: A pontuação deve refletir se possui muitas características de erosão diferencial, como está distribuído no talude, e quão rapidamente a erosão está ocorrendo. Esse é um critério interpretativo, e para ajudar a refletir a taxa de erosão será feito o ensaio de *Slake Durability* (ISRM, 1978) na etapa pós-campo dos segmentos necessários.

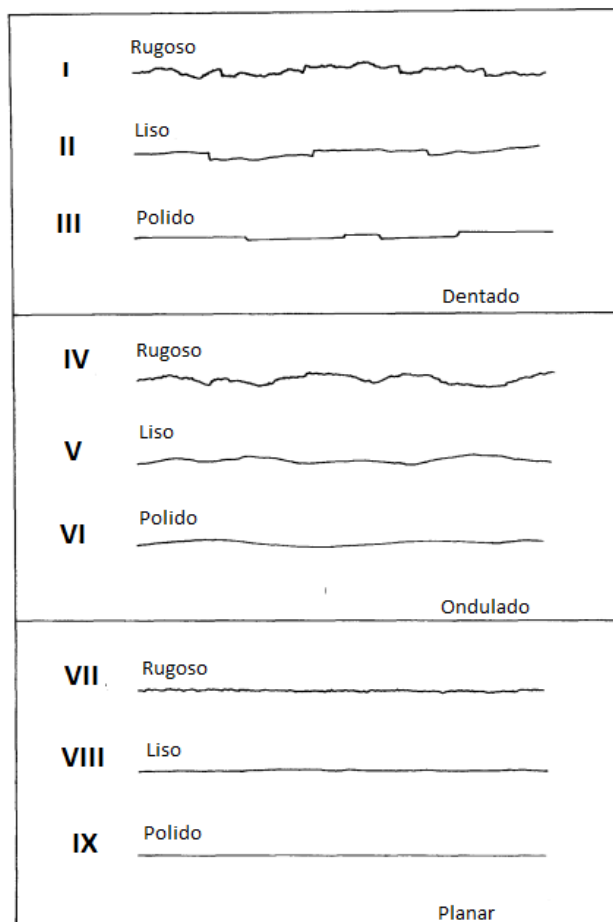


Figura 6 - Perfis de rugosidade e nomenclatura recomendada pela ISRM, 1978.

4.3. TRABALHO PÓS-CAMPO

4.3.1. Descrição Petrográfica

Além de ser uma etapa básica para qualquer estudo geológico, a petrografia também auxilia na previsão do comportamento geotécnico das rochas, principalmente rochas vulcânicas, por possuírem granulação fina a muito fina. Podem-se observar estruturas de fluxo que são um fator importante para determinar a qualidade da rocha, pois ela imprime uma permeabilidade adicional à rocha, acelerando o intemperismo. Além disso, minerais ferro-magnesianos e vidro residual podem deixar a rocha mais suscetível à alteração, por exemplo.

Foram descritas 5 lâminas em um microscópio petrográfico de luz transmitida, que permite analisar e descrever os minerais e texturas, que muitas vezes não se consegue observar a olho nu.

4.3.2. Plotagem e Interpretação das Descontinuidades

Em cada talude que aparentemente se encaixava no caso 1 do sistema RHRS foram medidas diversas descontinuidades abrangendo todas as famílias encontradas. Essas medidas foram lançadas no software *StereoNet*®, onde foi feita uma análise de estabilidade de cada talude. As atitudes das faces também devem ser incluídas no estereograma, já que a ruptura somente poderá ocorrer como consequência de movimento em direção à face livre dos mesmos.

Segue a explicação de como montar o *overlay* de interpretação da estabilidade de taludes em estereograma:

- (a) Plotar todas as atitudes medidas em campo de cada família de fraturas separadamente (figura 7.A e figura 7.B)
- (b) Produzir um pólo médio representando cada família (figura 7.C);
- (c) Produzir o plano representando esse polo (figura 7.C);
- (d) Repetir os passos (a), (b) e (c) para todas as famílias de descontinuidades (figura 7.D);
- (e) Plotar a atitude da face do talude (figura 7.E);
- (f) Plotar o ângulo de atrito como um círculo menor (figura 7.E).

A área entre o plano que representa a face do talude e o círculo menor que representa o ângulo de atrito (área quadriculada na figura 7) é onde possui maior potencial de ruptura planar e em cunha, enquanto que para haver ruptura por tombamento a descontinuidade de alto ângulo deve mergulhar contra a direção de mergulho da face do talude. O ângulo de atrito estabelecido para as análises foi de 36°, valor resultante do ensaio *Slip Test* em rochas deste segmento realizado por Strauss *et al.* (2005). Este valor de ângulo de atrito interno está próximo a valores típicos para derrames basálticos (Hoek & Bray, 1981 e Goodman, 1989).

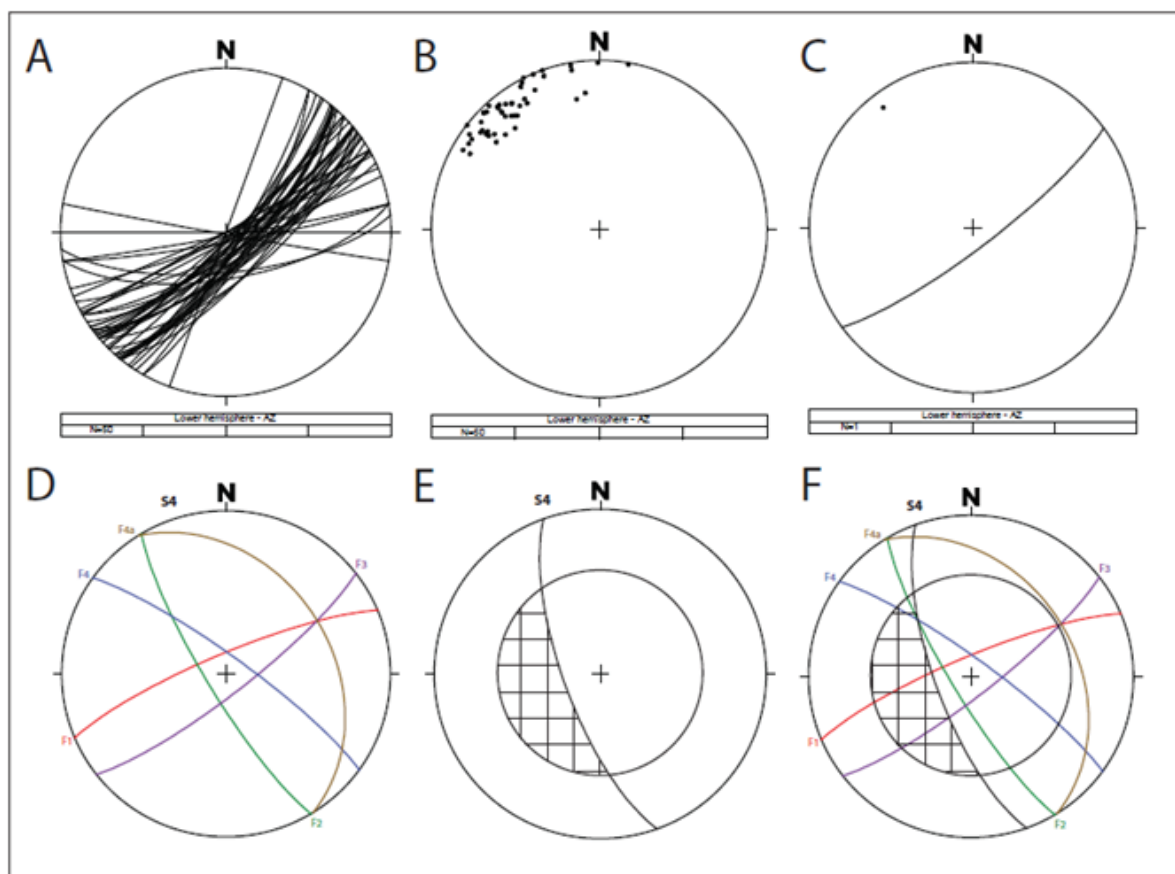


Figura 7 - Passo a passo para a montagem do *overlay* de interpretação da estabilidade dos taludes em estereograma: (A) todas as medidas de uma mesma família de descontinuidade; (B) os pólos que representam essas medidas; (C) vetor principal do pólo e o respectivo plano; (D) planos médios das famílias de descontinuidades; (E) plano representando a face do talude e o círculo representando o ângulo de atrito; (F) estereograma pronto para a análise cinemática.

4.3.3. Resistência ao atrito e impacto a úmido – *SlakeDurability*

Esse ensaio segue a norma da ISRM (1978) e consiste em submeter a amostra a 5 ciclos de umidificação com choque mecânico e secagem, que favorecem a degradação. A amostragem são 10 fragmentos de rocha, cada um com 40 a 60 gramas (totalizando uma média de 500 gramas). Esses fragmentos são colocados em um tambor metálico com uma abertura de 2 mm que está em uma caixa com água até 20mm abaixo do eixo do tambor. É rotacionado a uma velocidade de 20rpm por 10 minutos e então são colocados em uma estufa a 105°C onde fica por 12 horas ou até atingir a massa constante. O índice de durabilidade corresponde à porcentagem de massa seca retida nos tambores depois de completado o 5º ciclo.

4.3.4. Inventário de Condições de Estabilidade

Para o estado do Oregon, foi criado pela *Federal Highway Administration* (FHWA) um programa automático e digital, dando maior facilidade para a gestão de dados, porém para este trabalho foi criado um inventário de condições de estabilidade que se refere ao preenchimento da tabela RHRS com os dados coletados em campo em uma tabela Excel. Após ter completado essa tabela para cada talude, suas pontuações são somadas. Para esse sistema de classificação, não há pontuações exatas de qual é A, B ou C para saber qual talude tem chance de queda, podendo variar para cada local de pesquisa. Devido a isso, é importante uma grande quantidade de taludes, mostrando qual pontuação é alta para a região de estudo. Além disso, foi colocado imagens das características dos taludes.

4.3.5. Carta de Risco

A carta de risco de queda foi produzida no *software* ArcGIS® com a base cartográfica de Hasenack & Weber (2010). Os segmentos que apresentam maior risco foram tracejados em vermelho, os segmentos que apresentam menos risco, de amarelo e os segmentos que apresentaram baixo risco ou trechos sem talude, foram demarcados de verde.

5. RESULTADOS

Esse capítulo abrange os resultados obtidos no trabalho de reconhecimento da geologia em campo, petrografia das rochas, interpretação das descontinuidades através de estereogramas, interpretação do ensaio de *slake durability*, a tabela RHRS completa, o inventário por segmento e por fim a carta de risco da área.

5.1. GEOLOGIA LOCAL

A área de estudo é representado por um trecho de 20km abrangendo os

derrames básicos e ácido da Formação Serra Geral. A tabela 10 mostra a delimitação dos segmentos, especificando os derrames, qual lado que o talude se encontra (esquerdo/direito), suas respectivas UTMs, a altitude de início e de final e também a nota preliminar de cada talude. Somente os segmentos com notas A e B que foram detalhadamente estudados. Os que levaram nota C foram os segmentos que não havia taludes ou com taludes sem risco de queda aparente.

Os segmentos S01 e S02 correspondem ao início dos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral. Taludes representados por matacões preservados envoltos de solo residual de basalto. Entretanto, foi identificado diques de arenito e lóbulos com uma quantidade densa de amígdalas arredondadas de sílica, dando uma idéia de uma textura esponjosa.

A partir do segmento S04, as estruturas dos derrames *pahoehoe* estão bem identificáveis, com amígdalas *pipe* na base, núcleo maciço com algumas concentrações de amígdalas formando linhas na horizontal ou formando tubos e um topo com grande quantidade de vesículas, além de fraturas sub-horizontais com espaçamento de até 50 cm. A coloração quando são cinza claro e quando alteradas apresentam coloração marrom. No S04 é possível ver depósito sedimentar de aproximadamente 2 cm entre os derrames, indicando um hiato entre os mesmos.

Os primeiros são de aproximadamente 1,5 a 3m de espessura, passando para 10m, indicando um aumento da taxa de efusão. As áreas de maior alteração são geralmente nos topos dos derrames, onde a concentração de vesículas é maior, aumentando a permeabilidade da rocha. Um destaque se dá no final do segmento S14, onde uma área de quase 2 m de espessura se encontra completamente friável, com fraturas subparalelas à face do talude, provavelmente representando o topo de derrame (figura 8).

Os derrames basálticos *a'a'* foram identificados nos segmentos entre S15 a S17. Foram caracterizados como rochas de coloração cinza escuro, porém dependendo do grau de alteração a coloração é avermelhada. São afaníticos, com presença de poucas amígdalas no núcleo e alguns veios preenchidos por sílica, enquanto que o topo é brechado e de cor marrom alaranjado identificando uma alteração mais intensa. Algumas amígdalas perto do topo estão levemente estiradas e possui tamanho de até 2 cm.

O segmento S17 possui talude ao longo de todo lado esquerdo, e as quedas mais significativas são referentes à porção brechada do topo de derrame,

demonstrando uma fragilidade devido a um intemperismo mais intenso (figura 9)

Tabela 10 - segmentos com sua tipologia de derrame, lado do talude, UTM de início e fim, altitude de início e fim e a nota preliminar

Segmento	Derrame	Lado do talude (D/E)	UTM				Altitude (m)		Nota preliminar
			Início		Final		Início	Final	
			E	N	E	N			
S01	Basalto - <i>pahoehoe</i>	D	342011	6728256	341878	6728577	192	151	B
S02	Basalto - <i>pahoehoe</i>	D	341878	6728577	341802	6728785	151	141	B
S03	Sem talude	-	341802	6728785	341650	6729626	141	151	C
S04	Basalto - <i>pahoehoe</i>	E	341650	6729626	341557	6729908	154	177	B
S05	Basalto - <i>pahoehoe</i>	E	341557	6729908	341309	6730283	177	208	B
S06	Basalto - <i>pahoehoe</i>	E	341309	6730283	341225	6730795	208	243	B
S07	Basalto - <i>pahoehoe</i>	E	341225	6730795	341546	6731241	243	253	A
S08	Sem talude	-	341546	6731241	341477	6731598	253	296	C
S09	Basalto - <i>pahoehoe</i>	E	341477	6731598	341596	6731853	296	274	B
S10	Sem talude	-	341596	6731853	341595	6731973	274	288	C
S11	Basalto - <i>pahoehoe</i>	E/D	341595	6731973	341351	6732263	288	291	B
S12	Sem talude	-	341351	6732263	341292	6732409	291	294	C
S13	Basalto - <i>pahoehoe</i>	E	341292	6732409	341202	6732549	294	307	B
S14	Basalto - <i>pahoehoe</i>	E/D	341202	6732549	340760	6733172	307	370	A
S15	Basalto - A'a'	E/D	340760	6733172	340486	6733104	370	387	A
S16	Basalto - A'a'	E	340486	6733104	340095	6733089	387	412	A
S17	Basalto - A'a'	E	340095	6733089	340370	6734575	412	512	A
S17A	Basalto - <i>pahoehoe</i>	D	340095	6733089	339987	6733451	412	484	A
S18	Ácido	E/D	340370	6734575	340384	6734774	512	528	B
S19	Sem talude	-	340384	6734774	339946	6735269	528	549	C
S20	Ácido	E/D	339946	6735269	339774	6735520	549	552	B
S21	Sem talude	-	339774	6735520	339776	6736098	552	547	C
S22	Ácido	E/D	339776	6736098	339921	6736411	547	533	B
S23	Sem talude	-	339921	6736411	340074	6736842	533	540	C
S24	Ácido	E	340074	6736842	340150	6737283	540	548	B



Figura 8 - (A) lóbulo pahoehoe com grande quantidade de amígdalas arredondadas no S02; (B) bloco caído da porção de topo de derrame no S09; (C) parte abaixo da linha vermelha é a porção quase friável no S14; (D) primeiros derrames de pahoehoe no S04 mostrando o núcleo maciço e o topo com maior quantidade de amígdalas e fraturas horizontais; (E) núcleo de pahoehoe do S04 com as partes demarcadas de maior vesiculação; (F) núcleo de pahoehoe do S11 mostrando vesículas arredondadas de 1cm e veios preenchidos por quartzo; (G) bloco caídos da parte de topo de derrame no segmento S14.

Foi registrado um sub-segmento no S17 (S17A), talude visivelmente diferente do restante do segmento e se encontra no lado direito da rodovia (Figura 8C). Foi coletada amostra para a produção de lâmina petrográfica, que foi interpretado como derrame basáltico do tipo *pahoehoe*. Para explicar essa ocorrência, interpretou como algum resultado da zona de falha de orientação NE presente no trecho. Analisando imagem de satélite é possível ver um alto topográfico isolado. O segmento S17 também pode ser justificado a alteração intensa devido à falha que cruza todo o trecho.

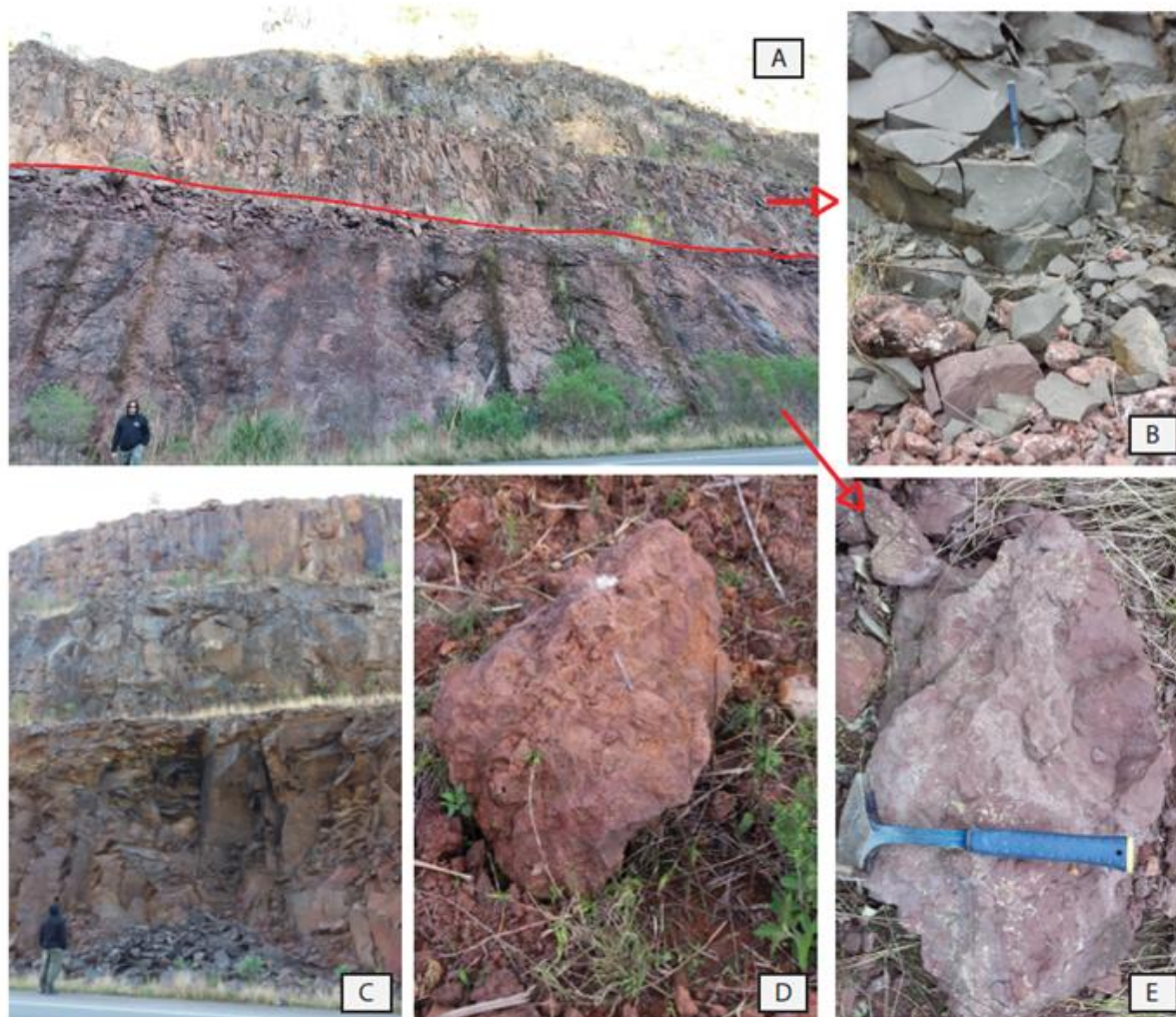


Figura 9 - (A) talude no início do segmento S17. Abaixo da linha vermelha zona de brecha e acima núcleo de outro derrame de *a'a'*; (B) núcleo de *a'a'* na continuação do S17; (C) segmento S17A no lado direito da rodovia, está na frente do talude da figura A; (D) bloco caído de aproximadamente 0,9m do S16; (E) bloco caído do S17, referente à parte inferior da linha vermelha da figura A

As rochas vulcânicas ácidas foram registradas nos segmentos S18, S20, S22 e S24. Possui coloração cinza claro a marrom claro, textura afanítica e intenso fraturamento sub-horizontal de espaçamento em torno de 10 cm. Apresentam em algumas áreas nas bordas das fraturas horizontais feições de alteração. Os taludes apresentam grande continuidade lateral, além de muito pouco histórico de quedas (figura 10). Aparentemente são as áreas de menor risco de quedas de todo o trecho.



Figura 10 - (A) Imagem mostrando a grande continuidade lateral dos talude do segmento S18 (sentido norte); (B) Imagem mostrando a grande continuidade lateral dos talude do segmento S22 (sentido sul); (C) descontinuidades horizontais do talude direito do S18; (D) descontinuidades horizontais do talude direito do S20; (E) visão da altura do talude e das descontinuidades horizontais do S20

Esses segmentos foram lançados no mapa com base geológico (figura 11). Foram feitas algumas observações em relação aos segmentos do mapa que estão localizados nas Formações Sedimentares Botucatu e Caturrita:

- S01 e S02: correspondem ao início dos derrames vulcânicos do serra geral;
- S03, S08 e S10: segmentos sem presença de afloramento;
- S04, S09 e S11: correspondem aos derrames básicos *pahoehoe*.

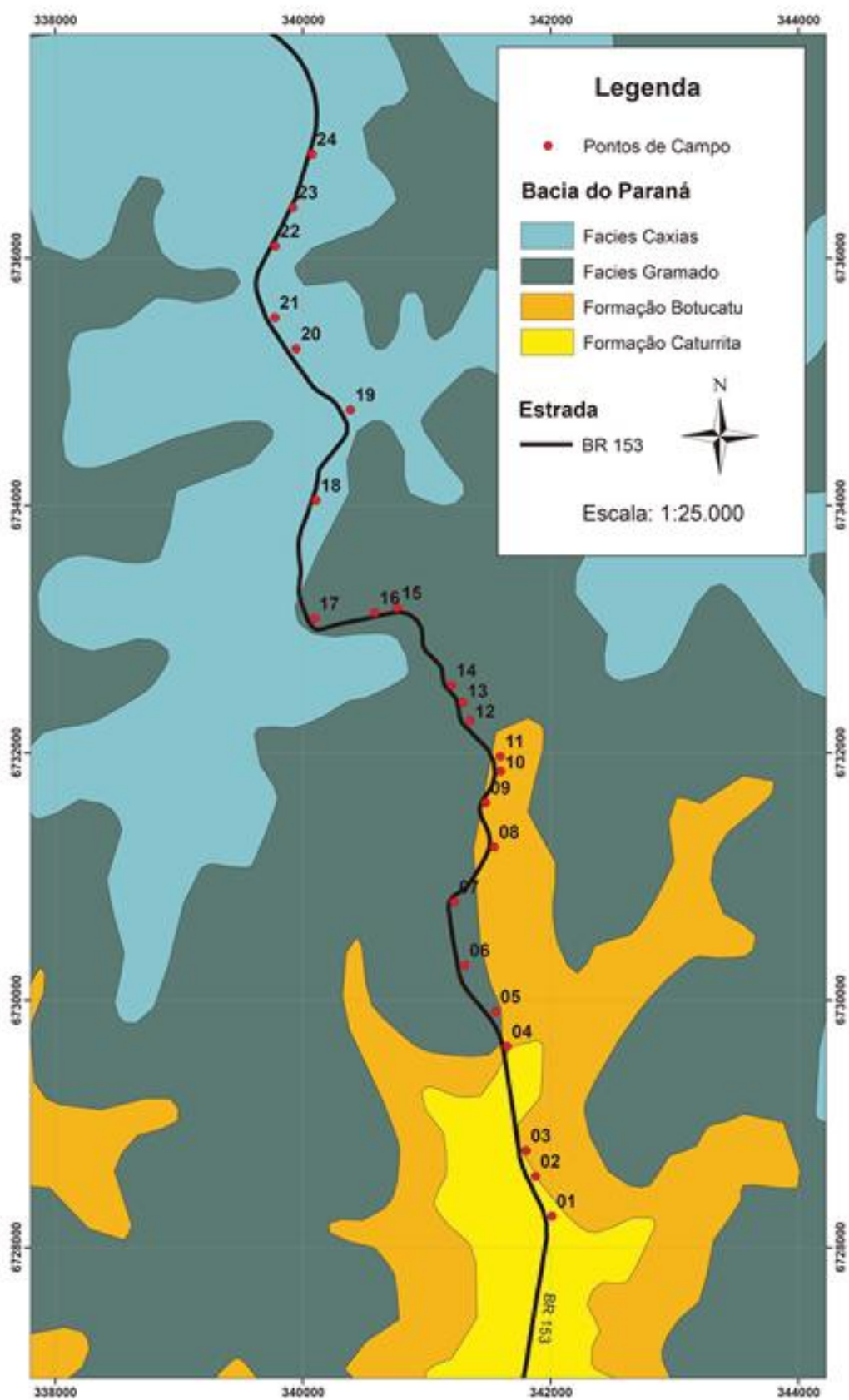


Figura 11 - Mapa base geológico (Ramgrab *et al.* 1997), mostrando os segmentos do S01 ao S24.

5.2. DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Foram descritas 5 lâminas petrográficas, referentes aos taludes dos segmentos S04, S14, S17A, S18 e S20.

- Segmento S04:

Rocha fanerítica fina a média, com textura porfírica, glomeroporfírica, dicitaxítica, ofítica, subofítica e peneira (figura 12). Os minerais primários são plagioclásio (59%), augita (40%) e óxidos (1%). Os plagioclásios possuem dimensões entre 0,15mm a 1,4mm, predominando 0,5mm. São tabulares, subédricos, com macla polissintética e eventualmente fraturados. Podem aparecer com uma capa de oxidação (hematita) ou argilizados (esmectita). As augitas possuem dimensões entre 0,15mm a 1mm, predominando 0,6mm. São prismáticas, anédricas ou subédricas, grande parte está bem fraturada e poucas possuem macla simples. Podem aparecer com uma capa de oxidação ou argilizados. Os óxidos primários estão em menor quantidade do que os óxidos secundários e são prismáticos, isotrópico e subédricos, com dimensões de até 0.15mm. Os fenocristais são predominantemente plagioclásio e subordinadamente augita.

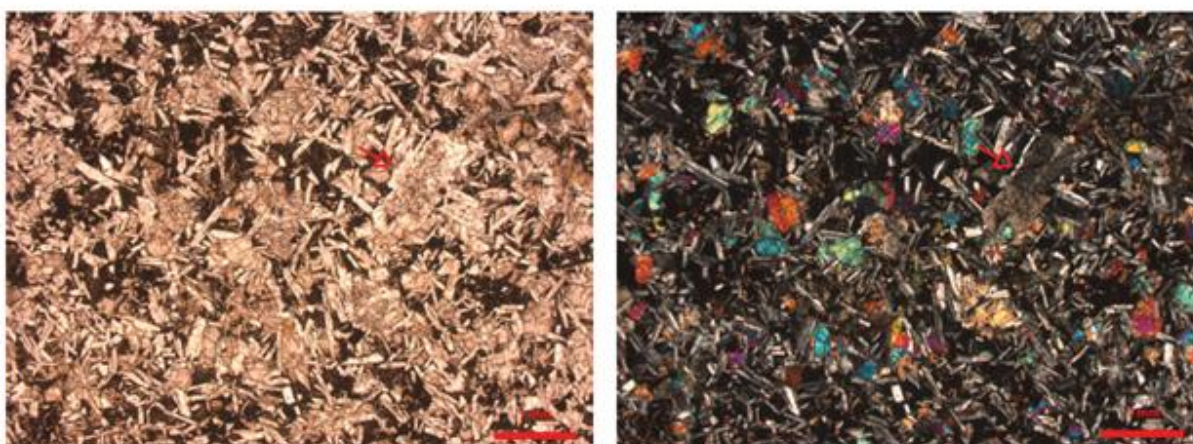


Figura 12 - primeira microfotografia mostra a textura geral da lâmina em luz natural com aumento de 2,5X e em flecha vermelha mostra o fenocristal de plagioclásio com textura peneira. A segunda está em nicóis cruzados.

- Segmento S14:

Rocha com textura ligeiramente mais fina quando comparada com a lâmina

S04, descrita como fanerítica fina, com textura porfirítica, glomeroporfirítica, subofítica, peneira e dicitaxítica. Os minerais primários são compostos de plagioclásio (50%), augita (44%) e óxidos (6%). Os plagioclásios são tabulares, subédricos, possuem macla polissintética e dimensões entre 0,15 e 2mm, com predomínio de 0,2mm (figura 13). Alguns cristais podem apresentar uma capa de oxidação ou reabsorvidos. As augitas são prismáticas e subédrica e suas dimensões variam entre 0,1 e 0,4mm. Podem estar argilizadas ou com uma capa de oxidação. Os óxidos, de dimensão média de 0,1mm são prismáticos, isotrópicos e arredondados. Os fenocristais são predominantemente plagioclásio que em geral estão fraturados e subordinadamente augita (figura 13).

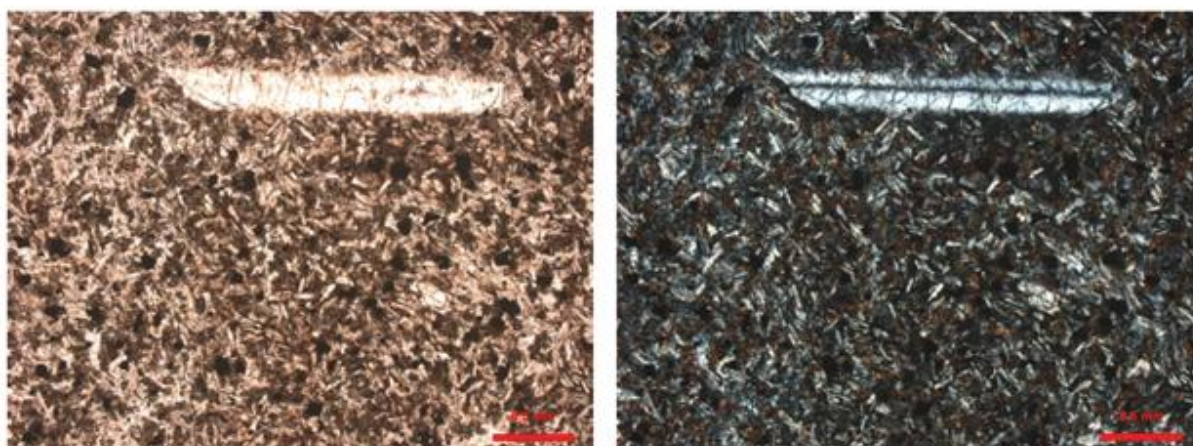


Figura 13 - primeira microfotografia mostra a textura geral da lâmina em luz natural com aumento de 5X e um fenocristal de plagioclásio com aproximadamente 2mm. A segunda está em nicóis cruzados.

- Segmento S17A:

Rocha fanerítica fina e traquítica (figura 14), representada por uma orientação de fluxo dos minerais de plagioclásio. A mineralogia é composta por plagioclásio (52%), de estrutura prismática e dimensões médias de 0,2mm, são maclados e grande parte possui fraturas perpendiculares ao comprimento. As augitas (40%) são tabulares, subédricas, com dimensões médias de 0,15mm e a maioria dos cristais estão cobertos por óxido de ferro. Os óxidos (8%) são prismáticos, isotrópicos, levemente arredondadas e possuem dimensões de 0,15mm.

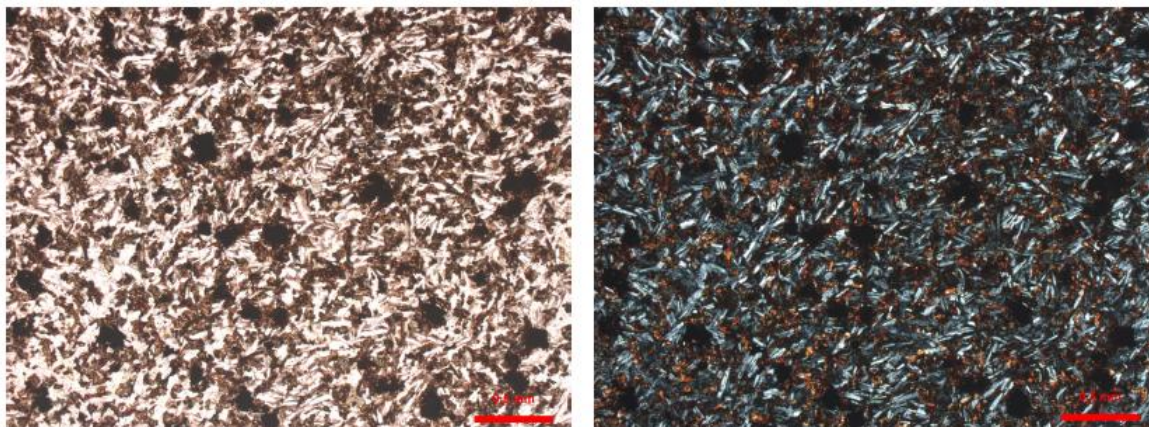


Figura 14 - primeira microfotografia em luz natural e a segunda em nicóis cruzados e aumento de 5X, mostra a textura traquítica de orientação preferencial dos plagioclásios na horizontal.

- Segmento S18:

Rocha de textura hemicristalina, porfírica e intersetal. Os fenocristais são compostos de plagioclásio (15%) com dimensões de até 0,8mm (figura 15.A e 15.B) e possuem estrutura ripidiforme ou prismático maclado. Possuem 8% de piroxênio com estrutura prismática, de dimensão média de 0,06mm e grande parte dos minerais se encontra completamente oxidados e 2% de minerais opacos, subédricos e de estrutura prismática. A matriz é vítrea, porém em algumas porções parece ter passado por processo de desvitrificação por apresentar uma textura microgranular. Apresenta também veios de espessura de 0,65mm e estão sub-preenchidos por quartzo (figura 15.C e 15.D).

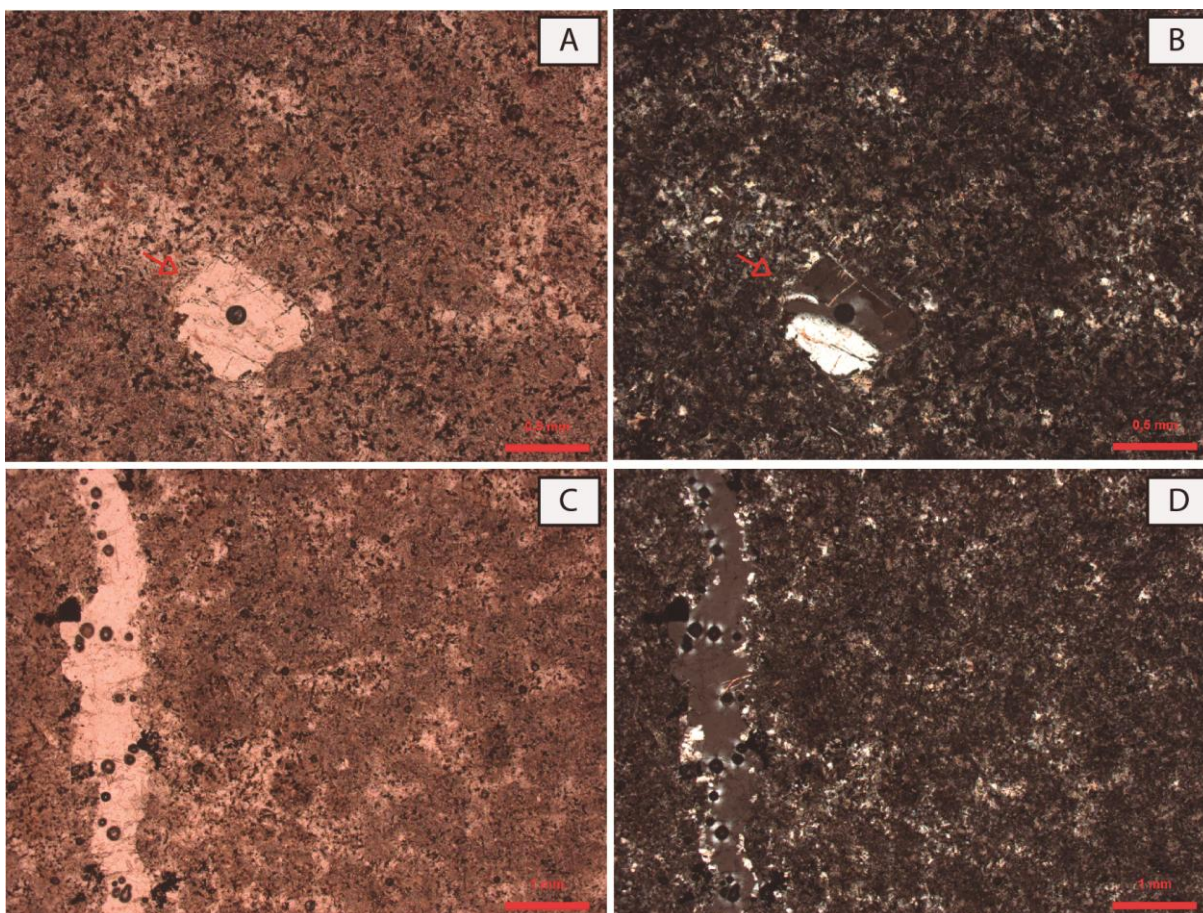


Figura 15 - (A) microfotografia em luz natural com aumento de 5X, em destaque um fenocristal de plagioclásio (flecha vermelha); (B) microfotografia em nicóis cruzados com aumento de 5X, em destaque um fenocristal de plagioclásio (flecha vermelha); (C) microfotografia em luz natural com aumento de 2,5X, mostrando textura geral e um veio sub-preenchido por quartzo no lado esquerdo da foto; (D) microfotografia em nicóis cruzados com aumento de 2,5X, mostrando textura geral e um veio sub-preenchido por quartzo no lado esquerdo da foto.

- Segmento S20:

Rocha de textura predominantemente porfírica, com matriz microgranular representada pelos minerais: plagioclásio (20%) ripidiforme, às vezes com estrutura esqueletal e possuindo dimensões de até 0,5mm, com média em 0,25mm; piroxênio (15%) prismático, podendo estar alongado, de dimensões em médio de 0,15mm podendo ter até 0,5mm. Grande parte dos minerais de piroxênio está oxidada; minerais opacos (2%) são subédricos e tabulares; e 60% é representado por um conjunto microgranular félsico com algumas porções com uma maior concentração de vidro vulcânico (figura 16).

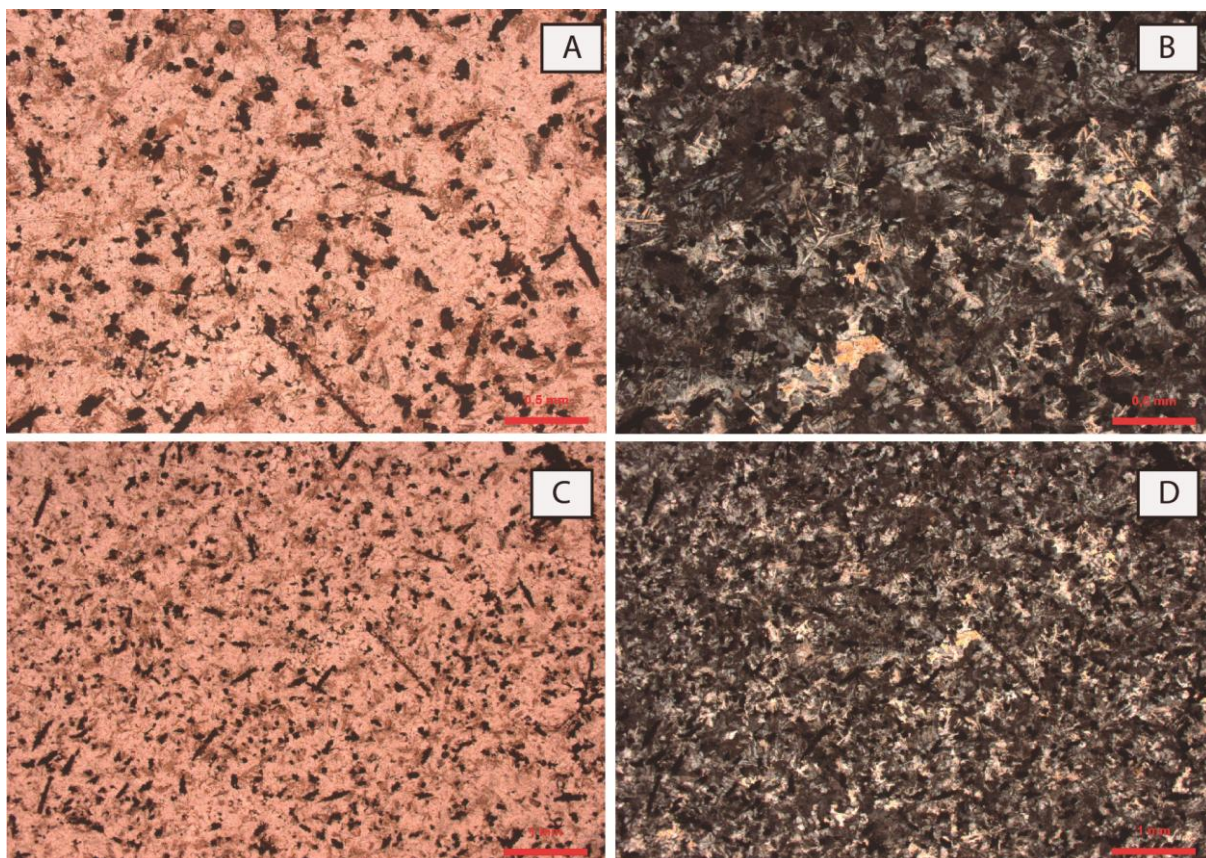


Figura 16 - (A) microfotografia em luz natural com aumento de 5X; (B) em nicóis cruzados com aumento de 5X, possível ver os plagioclásios com textura esqueletal; (C) microfotografia em luz natural com aumento de 2,5X; (D) microfotografia em nicóis cruzados com aumento de 2,5X

5.3. ANÁLISE DAS DESCONTINUIDADES

5.3.1. Análise Cinemática

Em cada talude em que indicasse se encaixar no caso 1 da tabela RHRS, foi coletado o máximo de medidas e foi verificado que ao longo de todos os taludes de derrame basáltico possuíam as mesmas famílias de fraturas, independente da estrutura, assim como nos derrames ácidos. Sendo assim, as medidas foram juntadas para cada tipo de derrame para aumentar a precisão da análise. Os lados dos taludes nos estereogramas a seguir são em direção a Herveiras e estão indicados com a letra “e” e “d” no lado do nome do segmento.

5.3.1.1. *Descontinuidades nos Derrames Básicos*

Nos derrames básicos foram registrados 206 medidas, sendo separadas em 6

famílias de descontinuidades. Na tabela 11 mostra os detalhes de cada família, incluindo a quantidade de medidas, intervalo de mergulho, intervalo de direção de mergulho e vetor principal para a atitude da família. Foram analisados 10 segmentos através da análise cinemática em estereograma:

Tabela 11 - Família de descontinuidades medidas nos Basaltos

Descontinuidades dos Derrames Básicos				
Família	Quantidade de medidas	Intervalo de mergulho	Intervalo de direção de mergulho	Valores Principais (direção de mergulho; mergulho)
F1	46	68-90	210-280	247;80
F2	34	68-90	110-180	149;80
F3	50	67-90	20-80	052;80
F3a	22	10-44	5-80	043;35
F4	32	66-90	285-330	306;81
F4a	22	14-48	285-354	328;36

- Segmento S04

Pela análise cinemática do segmento S04 (figura 17), há apenas uma forma de haver queda de blocos, que é em cunha entre as famílias F4 e F2. Em campo não foi analisado nenhuma queda grande e foi registradas medidas de 5 das 6 famílias encontradas, que são a F1, F2, F3, F3a, F4, com abundância significativa da F1 e F3.

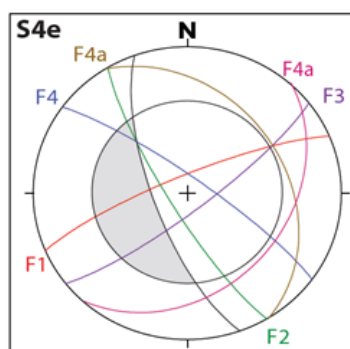


Figura 17 - Análise cinemática no segmento S4. Estereograma com a medida da face do talude esquerdo, ângulo de atrito e as famílias de fraturas

- Segmento S05

Para o talude do segmento S05 projetado na figura 18, há apenas uma forma

de haver queda de blocos e é por tombamento, devido a F2 estar mergulhando contra a face do talude com alto mergulho e a F4a estar mergulhando a favor da face em um ângulo menor do que o ângulo de atrito. Em campo não foi registrado nenhuma queda significativa, porém foi registrado fraturas sub-verticais paralelas ao talude, além das famílias F1, F3 e F4a.

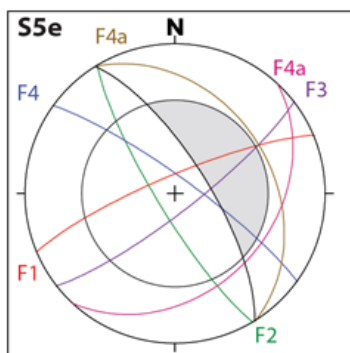


Figura 18 - Análise cinemática no segmento S5. Estereograma com a medida da face do talude esquerdo, ângulo de atrito e as famílias de fraturas.

- Segmento S06

Pelo estereograma da figura 19 não há feição de rompimento dentro da área de risco, entretanto há intersecções próximas ao círculo do ângulo de atrito que pode ocorrer quedas em cunha, visto que esses planos representativos das famílias são uma média das medidas. Em campo foi registrado um grande volume de quedas (figura 20), parecendo ser condicionada por fraturas mergulhando para a estrada, entretanto não foi possível medir por estar localizada no topo do talude.

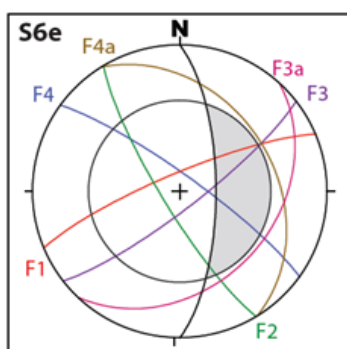


Figura 19 - Análise cinemática no segmento S6. Estereograma com a medida da face do talude esquerdo, ângulo de atrito e as famílias de fraturas.

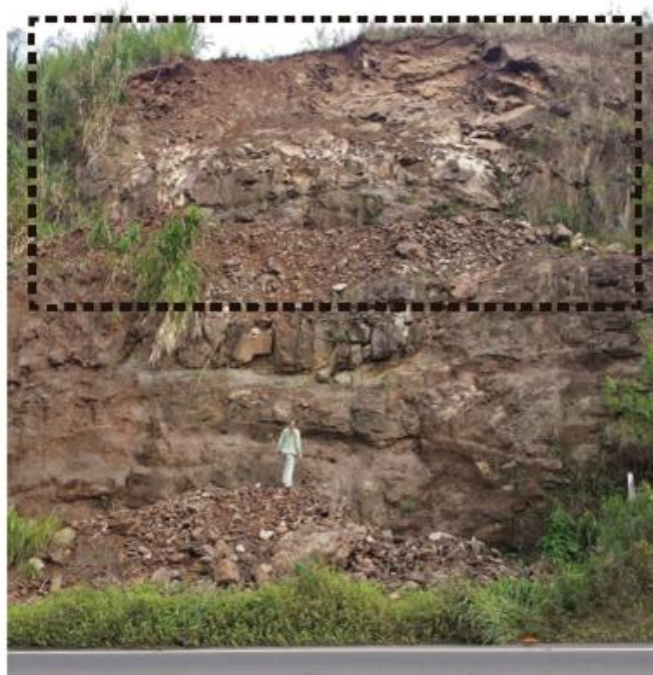


Figura 20 - o quadrado pontilhado é a região com intensa quantidade de fraturas mergulhando para a estrada, responsáveis pelas quedas.

- Segmento S07

No segmento S07 (figura 21) há apenas um risco de rompimento que é por tombamento pela família F1, entretanto, em campo foram registrados diversos focos de queda no mesmo talude, tendo um grande predomínio da família F3a sendo um dos responsáveis pelas quedas. Visto que o sentido do mergulho da descontinuidade F3a varia 22° em relação ao sentido de mergulho da face do talude, poderia se cogitar uma ruptura planar (figura 22), pois só tem 2° acima da condição de ruptura. Também foi registrada uma grande quantidade de descontinuidades da família F4, podendo ocorrer ruptura em cunha com a família F3a, um momento que essas atitudes das famílias são uma média das medidas, ou seja, está tão perto do círculo do ângulo de atrito que pode sim estar dentro da área de risco. Ainda foi registrado medidas das famílias F1 e F2.

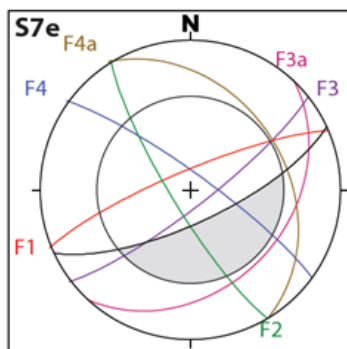


Figura 21 - Análise cinemática no segmento S7. Estereograma com a medida da face do talude esquerdo, ângulo de atrito e as famílias de fraturas

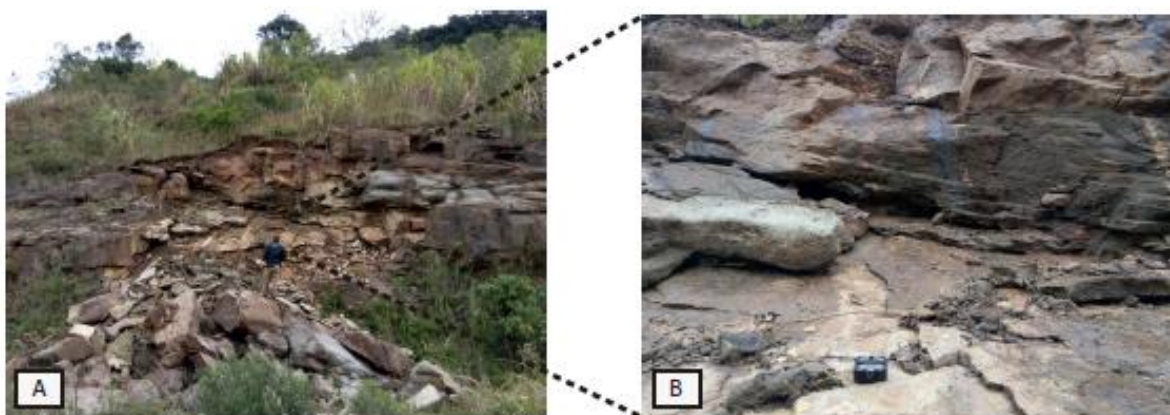


Figura 22 - Primeira (A) foto mostra um foco com muitas quedas aparentando ser por ruptura planar pela família F3a. Na segunda foto (B) é um zoom da porção de fraturas, mostrando também o pouco espaçamento entre elas.

- Segmento S09

Pela figura 23, os possíveis rompimentos para o talude do segmento S09 são por cunha entre as famílias F4 e F3 e entre F2 e F3. Em campo foram registradas medidas das famílias F1, F2, F3, F3a e F4, com predomínio de F1, F2 e F3a. Não foi destacada nenhuma queda em especial.

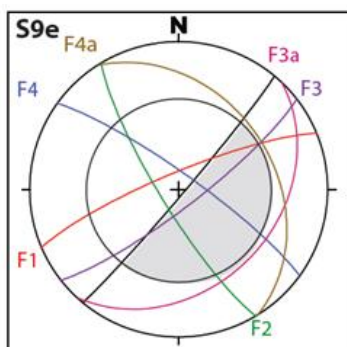


Figura 23 - Análise cinemática no segmento S9. Estereograma com a medida da face do talude, ângulo de atrito e as famílias de fraturas.

- Segmento S11

Através da análise da figura 24, o possível rompimento para o talude direito (S11d), é em cunha entre as fraturas F1, F3 e F4a. Para o talude esquerdo (S11e), pode haver tombamento de blocos pela família F2 e em cunha pelas famílias F1, F3 e F4a. Em campo foi registrado rompimento em cunha no talude esquerdo pelas famílias F3 e F4a e pelas famílias F1 e F3 (figura 25).

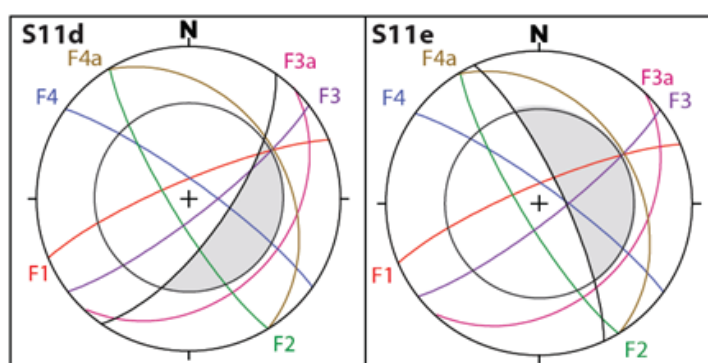


Figura 24 - Análise cinemática no segmento S11. Estereograma com a medida da face do talude, ângulo de atrito e as famílias de fraturas. No primeiro é referente ao talude do lado direito e o segundo referente ao talude do lado esquerdo.

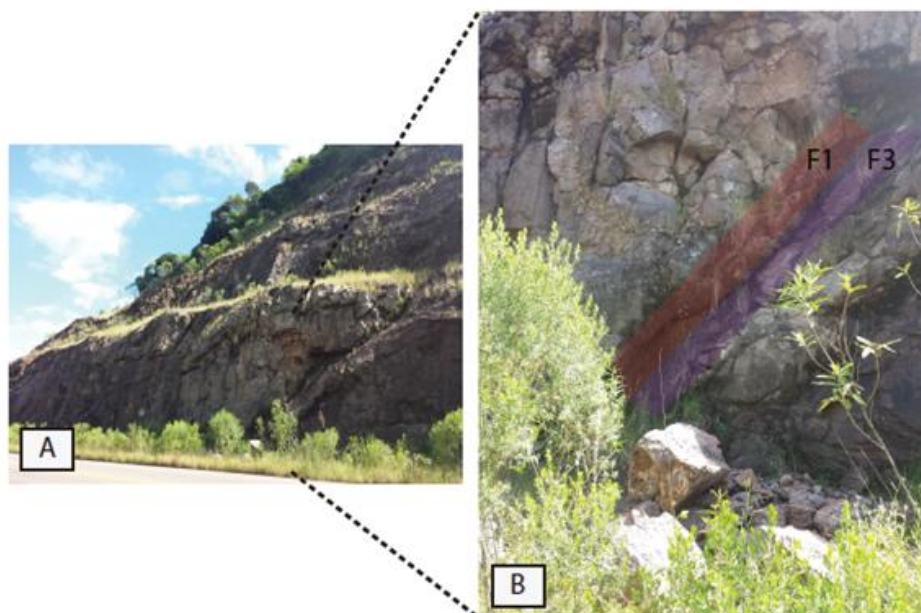


Figura 25 - na primeira foto (A) mostra uma parte do talude destacando um rompimento em cunha detalhado na segunda foto (B) entre as famílias de fraturas F1 e F3

- Segmento S13

Pela figura 26, os possíveis rompimentos são por tombamento pela família F2 e em cunha pelas famílias F1, F3 e F4a. Em campo foi registrado um predomínio da

família F3. Também foram registradas as famílias F1, F2 e F4a, porém não foi observada nenhuma queda significativa.

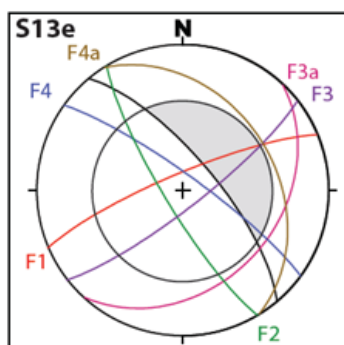


Figura 26 - Análise cinemática no segmento S13. Estereograma com a medida da face do talude esquerdo, ângulo de atrito e as famílias de fraturas

- Segmento S14

Este talude possui uma extensão lateral de 790m e ao longo dele possui 2 curvas, mudando a orientação da face. A partir desse critério foi subdividido em 3 sub-segmentos (S14.A, S14.B, S14.C) e estão representados pelo estereograma na figura 27.

O primeiro trecho (S14.A) é o único que possui talude nos dois lados da rodovia, S14d.A e S14e.A. O talude direito apresenta dois riscos de rompimento em cunha, entre as famílias F2 e F4 e entre F1 e F2. O talude esquerdo apresenta também dois riscos de rompimento em cunha, entre as famílias F3 e F4 e entre as famílias F1, F3 e F4a. Em campo foi registrado no talude esquerdo rompimento em cunha entre as famílias F3 e F4 (figura 28).

No segundo trecho (S14.B) há risco de queda por tombamento pela família F2 e por cunha pelas famílias F1, F3 e F4a. Em campo foi registrado rompimento em cunha pelas famílias F4a e F3.

No terceiro trecho (S14.C) há risco de rompimento entre os segmentos F3 e F4 e entre F1, F3 e F4a. Ainda há risco de queda por tombamento pela família F2, um momento que a direção de mergulho não é maior do que 20° em relação a face do talude. Em campo há registro de rompimento por cunha entre as famílias F3 e F4.

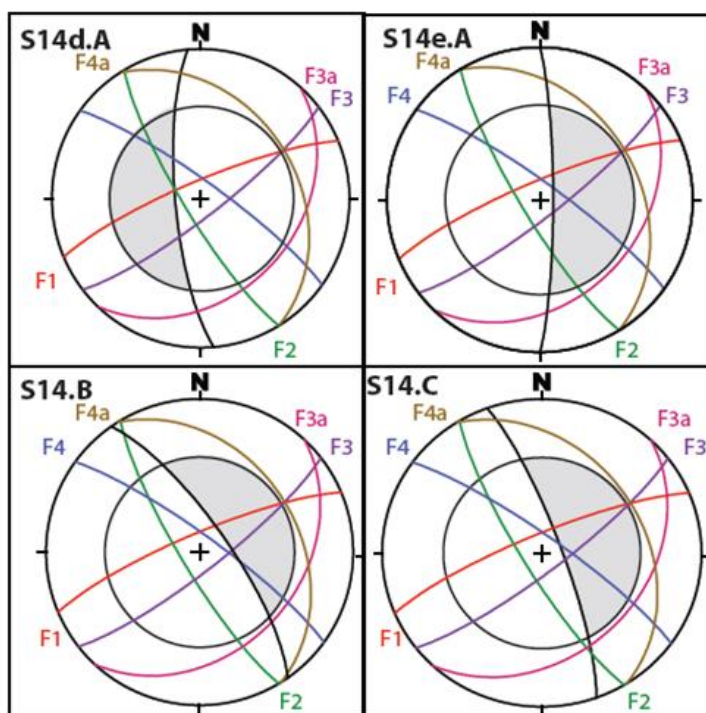


Figura 27 - Análise cinemática no segmento S14. Estereograma com a medida da face do talude, ângulo de atrito e as famílias de fraturas. Nos dois primeiros são referentes ao primeiro trecho do segmento sendo o primeiro do lado direito do segmento e o segundo sendo o lado esquerdo. Os dois últimos são referentes ao segundo e ao terceiro trecho.

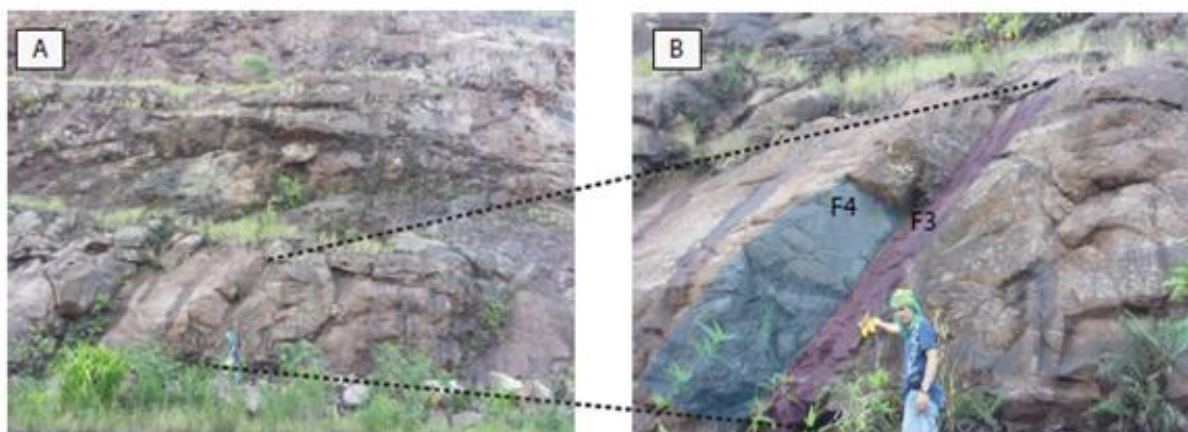


Figura 28 - na primeira foto (A) mostra uma parte do talude do primeiro trecho e na segunda foto (B), um zoom nas fraturas que são responsáveis pelo rompimento em cunha

- Segmento S15

O segmento S15 apresenta talude nos dois lados da rodovia e a análise cinemática está representada na figura 29. O talude direito apresenta apenas risco de rompimento em cunha entre as famílias F2 e F3, enquanto que o talude esquerdo apresenta risco de rompimento em cunha entre as famílias F2 e F4 e entre F4 e F1. Em campo foi registrado rompimento no talude direito.

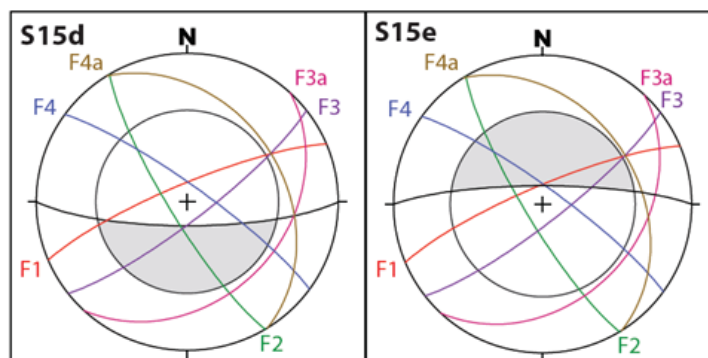


Figura 29 - Análise cinemática no segmento S15. Estereograma com a medida da face do talude, ângulo de atrito e as famílias de fraturas. No primeiro é referente ao talude do lado direito e o segundo referente ao talude do lado esquerdo.

- Segmento S17A

Pela figura 30 é possível analisar 3 riscos de rompimento em cunha, entre as famílias F2 e F3, entre F1 e F2 e entre F2 e F4. Em campo foi registrado o rompimento entre F1 e F2 e F2 e F3, além de medidas das famílias F4 e F4a.

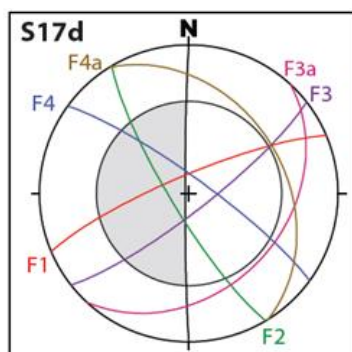


Figura 30 - Análise cinemática no segmento S17A. Estereograma com a medida da face do talude direito, ângulo de atrito e as famílias de fraturas

5.3.1.2. Descontinuidades nos Derrames Ácidos

Nos derrames ácidos foram medidas 123 atitudes, sendo separadas em 4 família de descontinuidades. Nesses derrames não apresentam as famílias F3a e F4a, entretanto são compostos de muitas descontinuidades sub-horizontais de espaçamento em torno de 10cm e de grande continuidade lateral, acompanhando todo o talude. Na tabela 12 pode-se observar as características de cada família, incluindo a quantidade de medidas, intervalo de direção de mergulho, intervalo de mergulho e vetor principal para a atitude da família. Foram analisados 4 segmentos:

Tabela 12 - Famílias de descontinuidades medidas nas vulcânicas ácidas

Descontinuidades dos Derrames Ácidos				
Família	Quantidade de medidas	Intervalo de direção de mergulho	Intervalo de mergulho	Valores Principais (direção de mergulho; mergulho)
F1	26	210-270	70-90	242;84
F2	20	125-190	71-90	154;84
F3	32	14-82	72-90	050;83
F4	45	290-354	75-90	334;85

- Segmento S18

Conforme a análise cinemática na figura 31, o talude direito não apresenta nenhum risco de quedas, enquanto que no talude esquerdo o único risco de quedas é por rompimento em cunha pelas famílias F1 e F3. Em campo não foi registrado nenhum rompimento.

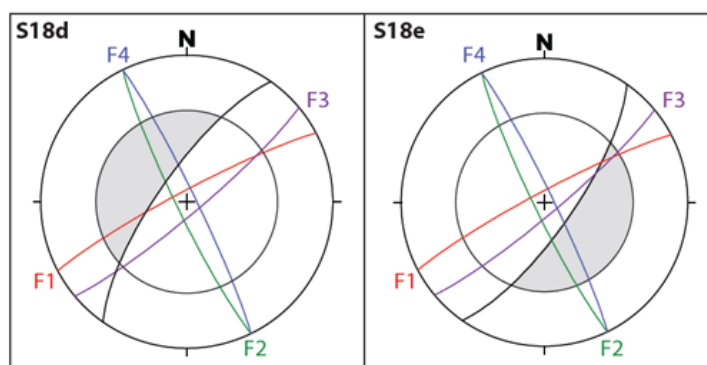


Figura 31 - Análise cinemática no segmento S18. Estereograma com a medida da face do talude, ângulo de atrito e as famílias de fraturas. No primeiro é referente ao talude do lado direito e o segundo referente ao talude do lado esquerdo.

- Segmento S20

Conforme a figura 32, o risco de rompimento no talude direito pode ser planar pela família F2, dependendo do mergulho da fratura, enquanto que no talude esquerdo o único risco de rompimento é em cunha entre as famílias F1 e F3. Em campo não foi registrado nenhum rompimento.

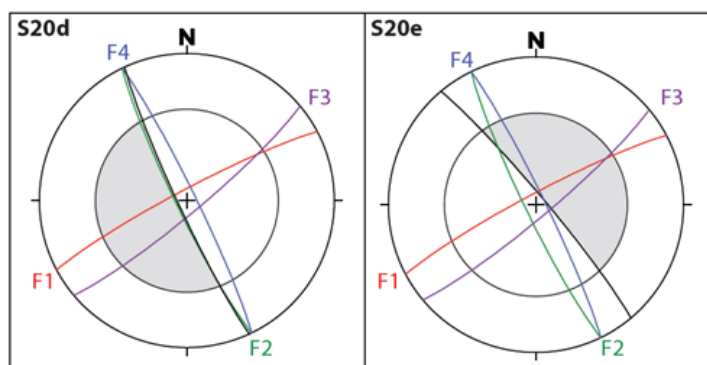


Figura 32 - Análise cinemática no segmento S20. Estereograma com a medida da face do talude, ângulo de atrito e as famílias de fraturas. No primeiro é referente ao talude do lado direito e o segundo referente ao talude do lado esquerdo.

- Segmento S22

O talude direito está livre de risco de rompimentos, segundo o estereograma da figura 33. O talude esquerdo apresenta risco de rompimento em cunha entre as famílias F1 e F3. Em campo não foi registrado nenhuma queda significativa em nenhum talude.

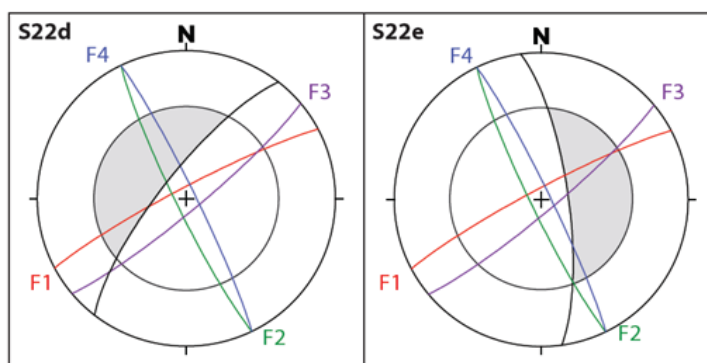


Figura 33 - Análise cinemática no segmento S22. Estereograma com a medida da face do talude, ângulo de atrito e as famílias de fraturas. No primeiro é referente ao talude do lado direito e o segundo referente ao taludedo lado esquerdo.

- Segmento S24

Como nos outros taludes do lado esquerdo dos segmentos dos derrames ácidos, a figura 34 mostra o único risco de rompimento, é em cunha entre os segmentos F1 e F3. Em campo não foi registrado nenhum rompimento significativo, resultando em pequenos blocos rolados na vala de contenção.

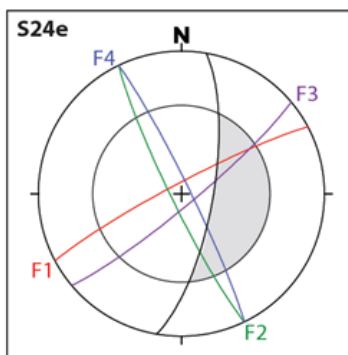


Figura 34 - Análise cinemática no segmento S24e. Estereograma com a medida da face do talude esquerdo, ângulo de atrito e as famílias de fraturas

5.3.2. Análise Descritiva

As discontinuidades foram descritas em todos os taludes em que foram medidas, percebendo certo padrão para cada família. Na tabela 13 é possível verificar a rugosidade, persistência e espaçamento. Referente à persistência, foi considerada o maior valor para a pontuação na tabela RHRS no caso 1 de características geológicas.

Tabela 13 - Característica das famílias de discontinuidades quanto a rugosidade, persistência e espaçamento

Caracterização das Descontinuidades			
Família	Rugosidade	Persistência	Espaçamento
F1	Planar rugosa	2-5m	0,5-1m
F2	Ondulada lisa	1-4m	1m
F3	Ondulada lisa	1-5m	1-2m
F3a	Ondulada rugosa	1-3m	1-2m
F4	Ondulada lisa	1-5m	1-2m
F4a	Ondulada lisa	1-5m	1-2m

5.4. RESISTÊNCIA AO ATRITO E IMPACTO A ÚMIDO – Slake Durability

Foram realizados 5 ciclos para as amostras Am.S05, Am.S06, Am.S14, Am.S17a, Am.S17b. As duas primeiras amostras são referentes a basaltos amigdaloidais que em campo apresentavam tanto o caso 1 quanto o 2 da tabela RHRS e o ensaio teve como objetivo esclarecer qual caso é mais representativo para os segmentos. A Am.S14 foi coletado em um segmento que apresenta taludes com as maiores alturas registrados no trecho e ainda possui uma grande heterogeneidade vertical. A amostra coletada foi de uma parte do talude em que a

alteração está muito intensa, e visivelmente apresenta risco de tombamento de blocos. Ambas as amostras Am.S17a e Am.S17b foram coletadas no segmento S17, porém em locais diferentes. A primeira é referente ao basalto maciço com baixa alteração aparente e a segunda a brecha basáltica de topo de derrame. A tabela 14 apresenta o resultado para cada amostra comparando com a classe de qualidade sugerida por Lienhart (2003).

Tabela 14 - Critérios para a definição das 4 classes de rocha em termos de qualidade – 5 amostras. Modificado de Lienhart (2003)

SlakeDurability						
Classe de Qualidade		Am.S05	Am.S06	Am.S14	Am.S17a	Am.S17b
Excelente	>80	82,43			98,81	97,61
Boa	65-80		67,53			
Marginal	52-65					
Pobre	<52			14,53		

A figura 35 mostra o índice de durabilidade para cada ciclo de cada amostra. Para as três primeiras amostras os resultados já era o esperado, visto que em campo a amostra Am.S05 apresentava menor grau de alteração, indicando uma tendência para o caso 1, enquanto que na a Am.S06 mostrava uma tendência para o caso 2. Já para as duas últimas amostras resultaram em um valor inesperado, pois além da brecha basáltica ser uma rocha mais permeável, permitindo uma maior percolação de água e um conseqüente aumento na taxa de degradação, em campo pode-se observar que as maiores quedas eram apenas da zona de brecha, mostrando ser uma parte mais instável quando comparado com o basalto são. Uma possível explicação para esse caso pode ser devido à seleção das amostras, já que o trabalho é baseado em uma rocha heterogênea.

Na figura 36 pode-se observar o resultado final das amostras, resultando em blocos com superfícies mais lisas ao tato e com bordas mais arredondadas, principalmente quando a alteração é mais avançada

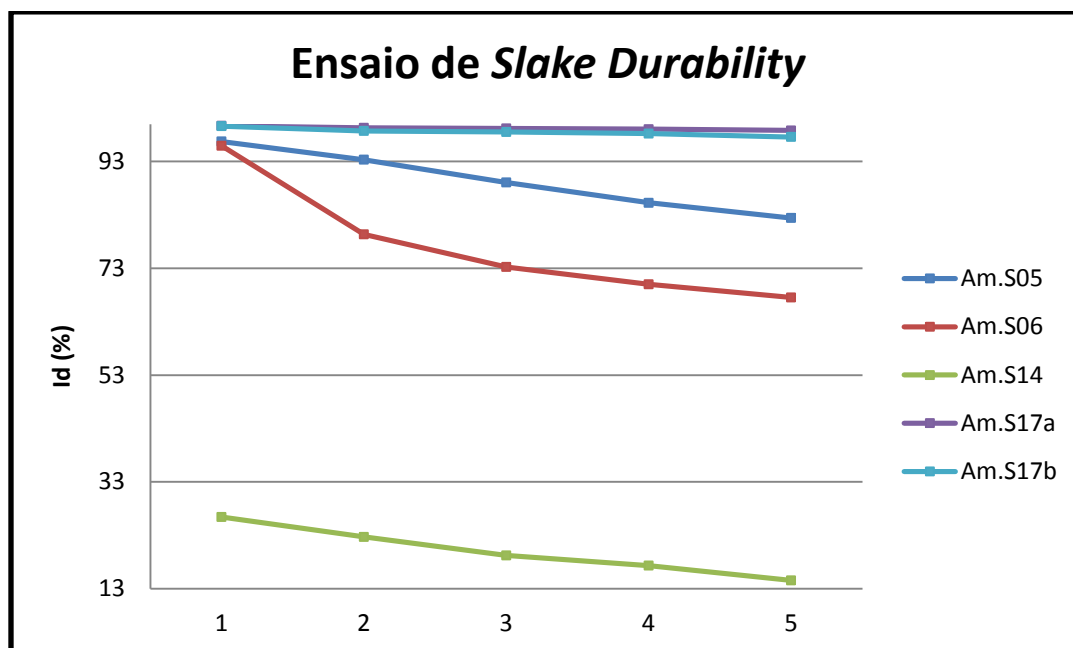


Figura 35 - Gráfico referente aos 5 ciclos das 5 amostras para o ensaio de *Slake Durability*

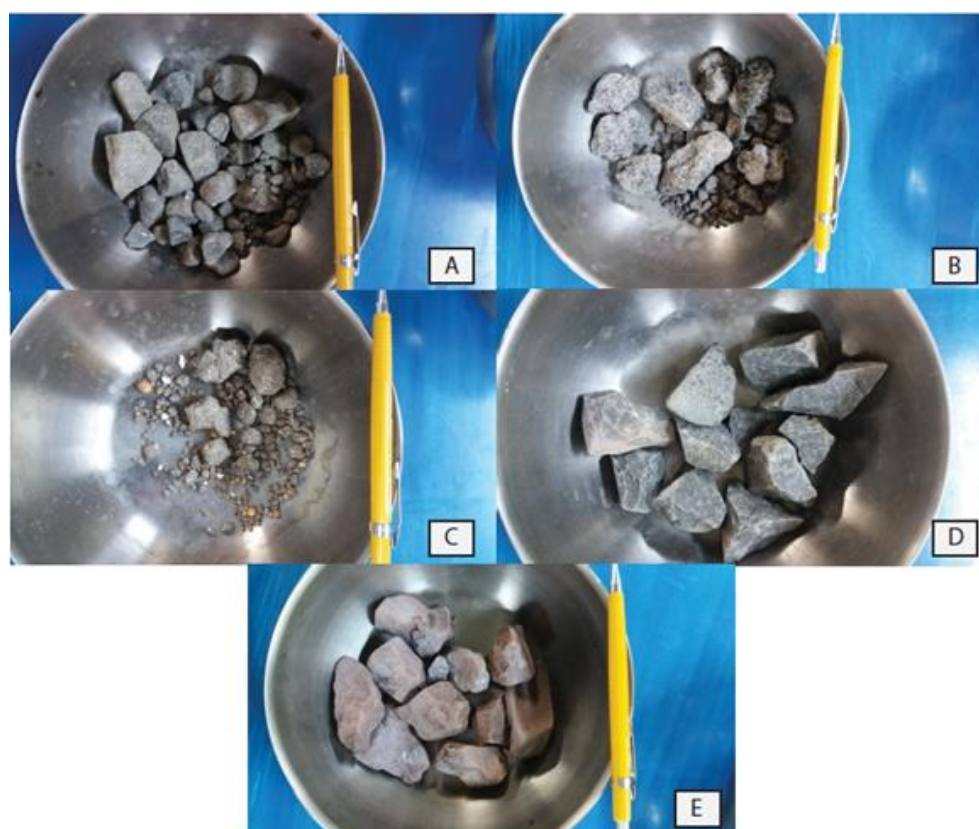


Figura 36 - Fotos das amostras após o 5º ciclo. (A) Am.S05; (B) Am.S06; (C) Am.S14; (D) Am.S17a; (E) Am.S17b.

5.5. INVENTÁRIO DE CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE

Os dados coletados em campo e também as informações adquiridas em laboratório foram colocados na tabela RHRS e pontuados para cada segmento, podendo verificar os detalhes no apêndice A. Para os taludes que apresentaram as duas condições geológicas de queda de blocos foram somadas apenas o caso em que recebeu a maior pontuação. Na tabela 15 os dados estão de forma resumida com a pontuação final dos segmentos.

Tabela 15 - tabela mostrando os valores finais da tabela RHRS de cada talude por segmento

Segmentos	Pontuação do Talude Direito	Pontuação do Talude Esquerdo
S01	92	-
S02	164	-
S04	-	202
S05	-	145
S06	-	283
S07	-	298
S09	-	163
S11	166	164
S13		185
S14	232	398
S15	168	288
S16	-	251
S17	-	163
S17A	248	-
S18	72	176
S20	122	163
S22	81	178
S24	-	181

5.6. CARTA DE RISCO

A carta de risco (figura 37) apresenta o segmento S01 ao S24 e os critérios utilizados para marcar as áreas de baixo a alto risco foram as pontuações da tabela RHRS. Os taludes que apresentam baixo risco estão representados em verde no mapa e possuem pontuação até 100 pontos. Para os taludes de médio risco a

pontuação é de 100 a 250 e estão representados pela cor amarela. Já os taludes de alto risco, apresentam pontuação maior que 250 e estão representados com a cor vermelha. Cada talude foi marcado no seu lado da rodovia, então se um segmento apresenta risco diferente em cada lado, foi marcado com duas cores.

Os segmentos que não estão coloridos são regiões que na classificação preliminar receberam a nota “C” por não possui talude ou apresentar taludes sem risco aparente.

6. PROBLEMAS

Houve alguns problemas referentes à adaptação do trabalho de Pierson & Van Vickle (1993) para a área de estudo. Para conseguir uma boa estatística sobre os valores finais de risco de queda, é necessário ter uma grande quantidade de taludes estudados, pois quanto mais valores, maior será o conhecimento sobre o comportamento geral das rochas, e nesse trabalho não houve tempo suficiente para estudar mais áreas além do trecho da pesquisa.

Outro ponto vulnerável percebido durante a execução do trabalho foi o conhecimento sobre o volume médio diário (VMD) para a rodovia BR-153. O Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul (DAER/RS) faz contagens diárias em vários postos em todo o estado, podendo serem consultadas pelo site desde 2004, entretanto não possui informações do trecho de estudo. Assim como o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), que oferece informações sobre diversas rodovias nacionais, mas para a BR-153 estão disponibilizados apenas informação do município de Bagé e Cachoeira do Sul.

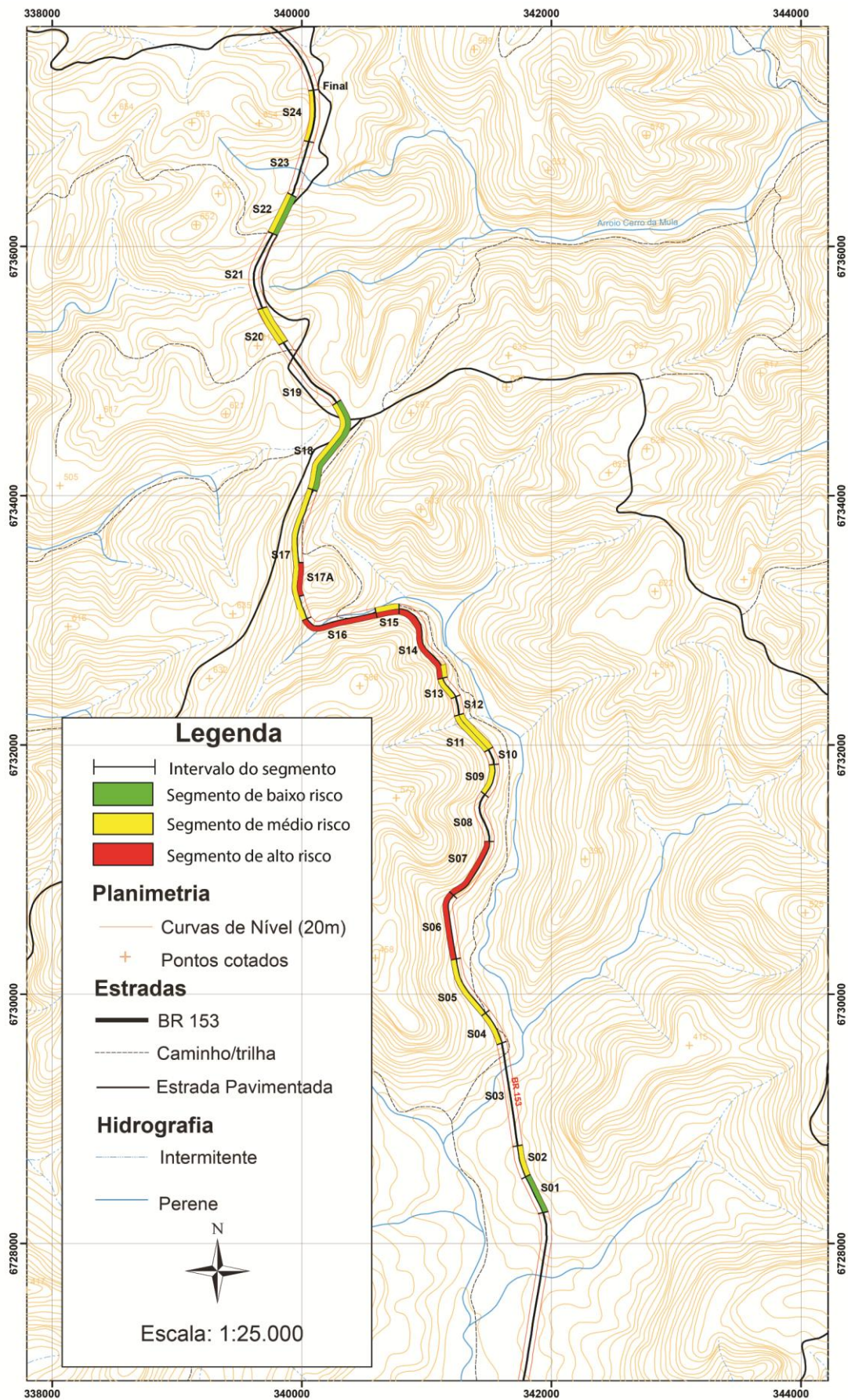


Figura 37 - Carta final de risco de queda de blocos para os segmentos de S01 a S24 na BR-153, trecho entre as cidades de Vera Cruz e Herveiras.

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os taludes que apresentaram médio a alto risco na pontuação final da tabela RHRS foram lançados na tabela 16, onde é possível analisar quais os itens são mais críticos para cada um. Na primeira linha foram os que apresentaram a maior nota e na segunda linha são os que apresentaram a segunda maior nota. Na figura 38, estão representados 6 gráficos, onde o eixo horizontal é composto pelos taludes que apresentaram médio e alto risco de queda e o eixo vertical são os valores da categoria específica por talude.

A categoria que apareceu com maior frequência foi a condição estrutural das fraturas e rugosidade na parede das fraturas, devido a descontinuidades com persistência igual ou maior que 3m e rugosidade planar. A causa disso é a grande quantidade de fraturas com diversas orientações presentes nos derrames da Formação Serra Geral, geralmente formando condições desfavoráveis para a estabilidade do talude, como rompimento planar, em cunha, ou por tombamento, casos que foram verificados em campo.

Outros dois itens que apareceram com frequência foram: o clima, que em todos os segmentos recebeu a pontuação 27 devido a precipitação média anual na área; e o tamanho de blocos, chegando a 100 pontos em 5 taludes (figura 38 – tamanho dos blocos).

Uma observação importante é em relação ao histórico de quedas, que na tabela aparece como risco em apenas 2 taludes com 27 pontos, porém essa categoria também foi pontuada com o mesmo valor em mais 4 taludes: S07, S14 (talude esquerdo), S15 (talude esquerdo) S16 e S17A. Isso demonstra uma tendência de ocorrer outras quedas. (figura 38 – histórico de quedas)

A distância de visibilidade de decisão (DVD) apareceu como item crítico no S02, com visada de 112m, porém a maior pontuação é do S04, com uma visada de 105m. O segmento S16 possui a terceira menor pontuação de visada, com 123m (figura 38 – DVD).

A altura do talude apareceu apenas no segmento S17, com 18m, porém dois taludes apresentam alturas maiores, o talude esquerdo do S14 com 29m e o S17A com 20m (figura 38 – altura do talude). A efetividade da vala de contenção também aparece apenas no S17, com 27 pontos, entretanto no segmento S14 também

apresenta essa pontuação (figura 38 – efetividade da vala).

As categorias que não foram destacadas como itens críticos por talude são: risco médio de veículos (RMV) e largura da rodovia. A categoria RMV não apresentou nenhum resultado crítico nesse estudo, tendo sua maior nota no segmento S17 com 12 pontos (figura 38 – RMV). Uma justificativa para esse resultado pode ser o fato de não saber exatamente qual seja o VMD que passa na rodovia, e o valor que foi usado seja inferior ao volume real. E em relação à largura da rodovia, até o segmento S18 apresentou uma nota de 5 pontos, porém depois desse ponto a largura da rodovia diminuiu 3,5m, ganhando 24 pontos.

Uma tendência que pode ser analisada é o baixo risco em todas as categorias para os derrames ácidos. Por possuírem um intenso fraturamento horizontal e diversas fraturas com alto ângulo de mergulho, formam-se blocos com pequenas dimensões. Não foi registrado nenhuma grande queda, e todos os blocos caídos se encontravam dentro da vala de contenção. O RMV é baixo pelo fato de apresentarem extensa continuidade lateral e geralmente não apresentam curvas, resultando em um DVD baixo também.

Quanto aos derrames básicos, os resultados foram variados, não conseguindo definir um padrão, entretanto pode-se notar um risco maior de haver quedas, apresentando todas as áreas de risco alto. Em destaque está o talude esquerdo do segmento S14, que apresenta valores altos em quase todas as categorias. É o segmento com a maior altura em todo o trecho, alcançando 29m. É o segundo maior talude em termos de comprimento, ficando atrás apenas do S17, isso resulta em um RMV alto para a situação. O tamanho dos blocos, histórico de quedas e efetividade da vala também são categorias de alto risco.

A partir da interação dos dados e das análises dos resultados dos segmentos, é possível pautar quais regiões necessitam serem geridas com mais atenção do que outras. A fiscalização anual seria recomendada, principalmente para épocas chuvosas e para taludes com alta pontuação. Esse é um modelo preventivo para evitar quedas, em que o próximo passo do trabalho seria estudar as melhores maneiras de corrigir essas categorias que oferecem risco de bloqueio da rodovia ou acidentes.

Tabela 16 - Item crítico por talude que apresentou médio a alto risco de queda

Segmento	Lado do talude	Item Crítico
S02	D	<ul style="list-style-type: none"> DVD Características de erosão diferencial / Tamanho do Bloco / Clima
S04	E	<ul style="list-style-type: none"> Condição Estrutural das Fraturas DVD
S05	E	<ul style="list-style-type: none"> Condição Estrutural das Fraturas Clima
S06	E	<ul style="list-style-type: none"> Tamanho do bloco Condição Estrutural das Fraturas
S07	E	<ul style="list-style-type: none"> Tamanho do bloco Condição Estrutural das Fraturas
S09	E	<ul style="list-style-type: none"> Condição Estrutural das Fraturas Clima
S11	D	<ul style="list-style-type: none"> Condição Estrutural das Fraturas Fricção na parede das descontinuidades / Clima
	E	<ul style="list-style-type: none"> Condição Estrutural das Fraturas Fricção na parede das descontinuidades / Clima
S13	E	<ul style="list-style-type: none"> Condição Estrutural das Fraturas Fricção na parede das descontinuidades / Clima
S14	D	<ul style="list-style-type: none"> Condição Estrutural das Fraturas Fricção na parede das descontinuidades / Tamanho dos Blocos / Clima
	E	<ul style="list-style-type: none"> Tamanho do bloco Condição Estrutural das Fraturas
S15	D	<ul style="list-style-type: none"> Condição Estrutural das Fraturas Clima / Histórico de Quedas
	E	<ul style="list-style-type: none"> Tamanho dos Blocos Condição Estrutural das Fraturas
S16	E	<ul style="list-style-type: none"> Tamanho do bloco DVD
S17	E	<ul style="list-style-type: none"> Efetividade da Vala de Contenção / Características de erosão diferencial / Clima / Histórico de Quedas Altura do talude
S17A	D	<ul style="list-style-type: none"> Condição Estrutural das Fraturas Tamanho dos Blocos
S18	E	<ul style="list-style-type: none"> Condição Estrutural das Fraturas Fricção na parede das descontinuidades / Clima
S20	D	<ul style="list-style-type: none"> Condição Estrutural das Fraturas Fricção na parede das descontinuidades / Clima
	E	<ul style="list-style-type: none"> Condição Estrutural das Fraturas Fricção na parede das descontinuidades / Clima
S22	E	<ul style="list-style-type: none"> Condição Estrutural das Fraturas Fricção na parede das descontinuidades / Clima
S24	E	<ul style="list-style-type: none"> Condição Estrutural das Fraturas Fricção na parede das descontinuidades / Clima

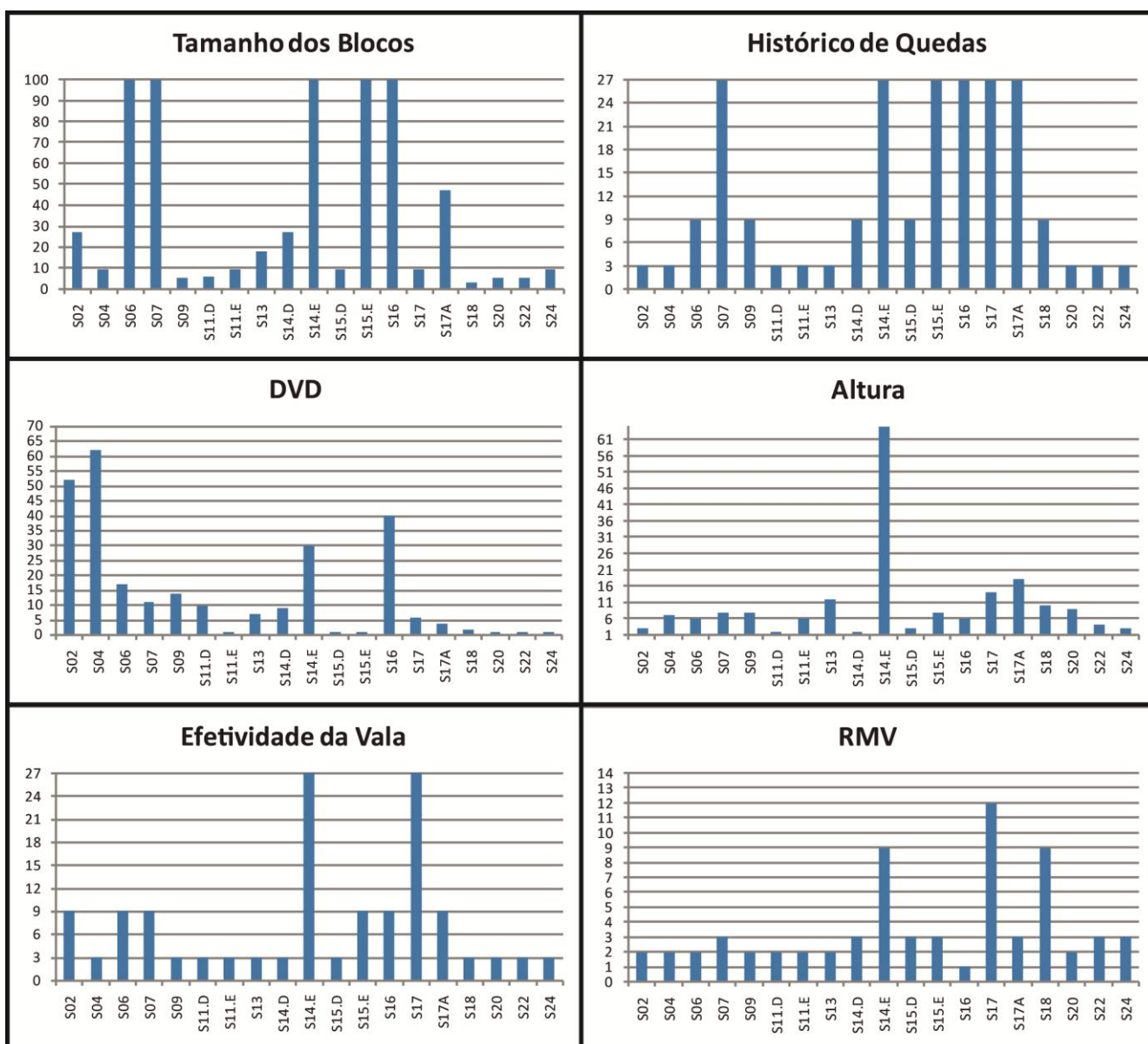


Figura 38: gráficos referentes às categorias de tamanho dos blocos, histórico de quedas, DVD, altura do talude, efetividade da vala de contenção e RMV. Cada categoria apresenta seus valores por talude

7.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diversos locais no mundo já estão usando esse sistema de avaliação de risco de maneira adaptada para a geologia da região, além dos 9 estados dos Estados Unidos. Um exemplo é a modificação para o contexto geológico e rodoviário italiano, do Budetta (2004), cuja principal modificação foi a inclusão do SMR (Romana, 1985) para a avaliação da geologia dos maciços rochosos. Essa adaptação foi seguida por

Gomes & Sobreira (2012) para a avaliação de 10 taludes graníticos e gnaissicos no estado do Espírito Santo.

Sendo assim, poderia ser feito uma adaptação para o estado do Rio Grande do Sul. A maior parte dos taludes de corte de estrada está locada nos derrames da Formação Serra Geral, rochas que apresentam intenso fraturamento e uma grande heterogeneidade vertical, devido aos diferentes derrames sobrepostos e às estruturas internas de cada um, com zonas sãs e zonas intensamente alteradas. Levando em consideração isso, poderia haver uma modificação no item de características geológicas, visto que nos 15 taludes em que a nota foi alta, a geologia foi um dos itens mais relevantes na pontuação. Nesse trabalho foi percebida a necessidade de um maior detalhamento nas características das fraturas, como abertura e alteração na parede das descontinuidades (ISRM, 1979) e também nas características de alteração, podendo haver uma forma de medida exata para rocha, onde uma indicação é o Grau de Alteração recomendado pela ISRM (1981), podendo ser realizado em campo.

Outra modificação que pode ser realizada é em relação à vala de contenção, para tornar menos subjetiva a avaliação. Na modificação de Budetta (2004) é levado em consideração a altura e o ângulo do talude, e a profundidade, comprimento e formato da vala de contenção. Obtendo resultados lançando esses dados no Ábaco de Richie (Richie, 1963; Whiteside, 1986).

8. BIBLIOGRAFIA

AASHTO.(1994). A policy on geometric design of highways and streets.Washington, EUA.

ALMEIDA, F.F.M. (2004). *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Marques de Almeida*. Organizadores: MANTESSO-NETO, V. BARTORELI, A; CARNEIRO, C.D.R. BRITO-NEVES, B.B. São Paulo. 647p.

BARRETO, C.J.S.; DE LIMA, E.F.; SCHERER, C.M.; ROSSETTI, L.M.M. (2014). *Lithofacies analysis of basic lava flows of the Paraná igneous province in the south hinge of Torres Syncline, Southern Brazil*. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 285: 81-99

BUDETTA, P. (2004). *Assessment of rockfall risk along roads*. Natural Hazard and Earth System Sciences, 4(1):71-81.

CARNEIRO, C.D.R. (1983). *Análise estrutural do Grupo São Roque na faixa entre o Pico do Jaraguá e a Serra dos Cristais, SP*. São Paulo. 155p. Tese de doutorado, Instituto de Geociências USP.

DAER/RS. Departamento Autônomo de Estradas de rodagem. *VDM de Rodovias*. Relatório da Internet. [acesso em 21 out 2016]. Disponível em: <http://www.daer.rs.gov.br/vdm-de-rodovias>

DNER. (1999). Manual de Projetos de Rodovias Rurais. Rio de Janeiro, Brasil. p. 51-57.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Trânsito. *Plano Nacional de Contagem de Tráfego*. [acesso em 21 out 2016]. Disponível em: <http://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/Relatorio/VolumeTotalDiario>

FIORI, A.P.; CARMIGNAMI, L. (2013). *Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas*.Curitiba: Ed. UFPR. 2a edição. 602p.

GARLAND, F.; HAWKESWORTH, C.J.; MANTOVANI, M.S.M. (1995). *Description and petrogenesis of the Paraná rhyolites (sic), Sauthern Brazil*.JournalofPetrology, v. 36, p.1193-1227.

GOMES, G.J.C.; SOBREIRA, F.G. (2012). *Avaliação do Perigo de Queda de Blocos em*

Rodovias. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. Vol. 35 - 2 / 2012 p.14-27

GOODMAN, R.E. (1989). *Introduction to Rock Mechanics*. John Wiley & Sons, New York.

HOEK, E.; BRAY, J.W. (1981). *Rock Slope Engineering*. 3. Ed. Rev. London: E & Spon, 527p.

HASENACK, H.; WEBER, E. (2010). *Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande de Sul-escala 1:50.000*. Porto Alegre: UFRGS – IB – Centro de Ecologia,1.

ISRM – INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS. (1978). Suggested methods for the quantitative description in rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 15, (6): p. 319-368.

ISRM – INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS. (1979). *Suggested method for determination of the slake-durability index*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. Vol. 16, N°2, p. 154-156.

JERRAM, D.A.; MOUNTNEY, N.P.; HOWELL, J.A.; LONG, D.; STOLLHOFEN, H. (2000). *Death of a sand sea: an active aeolian erg systematically buried by the Etendeka flood basalts of NW Namibia*. *Journal of the Geological Society of London*. 157: 513–516.

KESZTHELYI, L. (2002). *Classification of the mafic lava flows from OPD*. Leg 183. In: Frey F.A., Coffin M.F., Wallace P.J., Quality P.G. (eds.) *Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific Results*, 183:1-28

LIENHART, D.A. (2003). *A systems approach to evaluation of rip-rap and armor stone sources*. *Envi. Engng. Geosci.* Vol IX, N° 2; p. 131-149

LIMA, E.F.; WAICHEL, B.L.; ROSSETTI, L.M.M.; VIANA, A.R.; SCHERER, C.M.; BUENO, G.V., DUTRA, G. (2012). *Morphology and petrographic patterns of the pahoehoe and 'a'ā flows of the Serra Geral Formation in the Torres Syncline (Rio Grande do Sul state, Brazil)*. *Revista Brasileira de Geociencia*. 42, 744–753

LIMA, E.F.; PHILIPP, R.P.; RIZZON, G.C.; WAICHEL, B.L.; ROSSETTI, L.M.M. (2012). *Sucessões vulcânicas, modelo de alimentação e geração de domos de lava ácidos da*

Formação Serra Geral na região de São Marcos-Antônio Prado (RS). Revista do Instituto de Geociências – USP.v. 12, n.2, p. 49-64.

MANTOVANI, M.S.M.; MARQUES, L.S.; DE SOUSA, M.A., CIVETTA, L.; ATALLA, L.; INNOCENTI, F. (1985). *Trace elements and strontium isotope constrains on the origin and evolution of Paraná continental flood basalts of Santa Catarina State, southern Brazil*. Journal of Petrology. 26: 187-209.

MCDONALD, G.A. (1953). *Pahoehoe, aa and block lava*. American Journal of Science, 251(3):169-191.

MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M.; NARDY, A.J.R. (1988). *Geological and magmatic aspects of the Paraná Basin an introduction*. In: Piccirillo EM, Melfi AJ (Eds.) The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and Geophysical Aspects. São Paulo, IAG-USP. p. 1-13.

MILIAN, E.J. (1997). *Evolução Tectono-Estratigráfica da Bacia do Paraná e seu Relacionamento com a Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul Ocidental*. Porto Alegre. 2 v., Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MILIANI, E. J.; DE MELO, J. H. G.; DE SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. (2007). *Bacia do Paraná*. Boletim de Geociências da PETROBRÁS, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287.

NORRISH, N.I.; WYLLIE, D.C. (1996). *Rock slope stability analysis*. In: TURNER, A.K.; SCHUSTER, R.L. (Ed). Landslides: Investigation and Mitigation. Special Report 247. Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council. P.391-425

PEATE, P.W.; HAWKESWORTH, C.J.; MANTOVANI, M.S.M. (1992). *Chemical Stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution*. Bulletin of Volcanology, 55: 119-139.

PIERSON, L.A. (1991). *The Rockfall Hazard Rating System*. Oregon State Highway Division, Oregon, EUA.

PIERSON, L.A.; VAN VICKLE, R.P.G. (1993) *Rockfall Hazard Rating System – Participant'*

Manual. Nacional Highway Transportation, EUA. 104p.

PINOTTI, A.M.; CARNEIRO, C.D.R. (2013). *Geologia Estrutural na previsão e contenção de queda de blocos em encostas: aplicação no Granito Santos, SP*. São Paulo. TERRÆ DIDÁTICA 9-2:132-168

RAMGRAB, G.E.; WILDNER, W.; CAMOZZATO, E. (1997). Porto Alegre: Folha SH 22-YB-estado do Rio Grande do Sul. CPRM

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*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE ROLE OF ROCK MECHANICS, Zacatecas, p. 49-53.

RUSSELL, C.P.; SANTI, P.; HIGGINS, J.D. (2008). *Modification and Statistical Analysis of the Colorado Rockfall Hazard Rating System*. Colorado Department of Transportation. EUA. CDOT-2008-7. 137p.

SCHERER, C.M.S. (2000). *Eolian dunes of the Botucatu Formation (Cretaceous) in Southernmost Brazil: morphology and origin*. *Sediment. Geol.* 137, 63–84.

STRAUSS, M.; AZAMBUJA, E.; ALVES, J.O. (2005). *Estabilização de taludes rochosos na RST/471, através de soluções de retaludamento, concreto projetado, muro de gabiões e rede guarda-pedras*. IV COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas - Salvador-BA.

WAICHEL, B.L.; LIMA, E.F.; LUBACHESKY, R.; SOMMER, C.A. (2006). *Pahoehoe flows from the central Paraná Continental Flood Basalts*. *Bulletin of Volcanology*. 68(7/8):599-610.

WHITESIDE, P. G. D. (1986). *Discussion on rockfall protection measures*. Conf. on Rock Eng. and Excavation in an Urban Env., Institution of Mining and Metallurgy, Hong Kong, 490–498.

WYLLIE, D.C. (1987). *Rock Slope inventory: Proceedings*. Federal Highway Administration. Rockfall Mitigation Seminar FHWA Region 10, Oregon, EUA. 25p.

ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A. (1987). *Tectônica e Sedimentação da Bacia do Paraná*. Simpósio Sul Brasileiro de Geologia, Curitiba, SBG. v. 1, p. 441-477.

APÊNDICE A

Inventário de Condição de Estabilidade

S01

Tabela 1: tabela referente ao talude do segmento S01. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude			Talude	Nota	Medido	OBS
Altura do Talude			D	3	7m	
Efetividade da Vala				3	3m	Consegue segurar todos os blocos caídos
RMV				3	25%	Comprimento do talude de 397m
DVD				3	99%	Visada de 397m
Largura da Rodovia				5	12,5m	-
Características Geológicas	Caso 2	Estrutural		27	-	Feições de alteração ao longo de todo o talude, quase se caracterizando como horizonte C de solo residual
		Taxa de erosão		9	-	Moderada diferença na taxa de erosão
Tamanho do bloco				9	0,5m	-
Clima				27	1396mm	-
Histórico de quedas				3	-	Raros blocos caídos
Total				92		

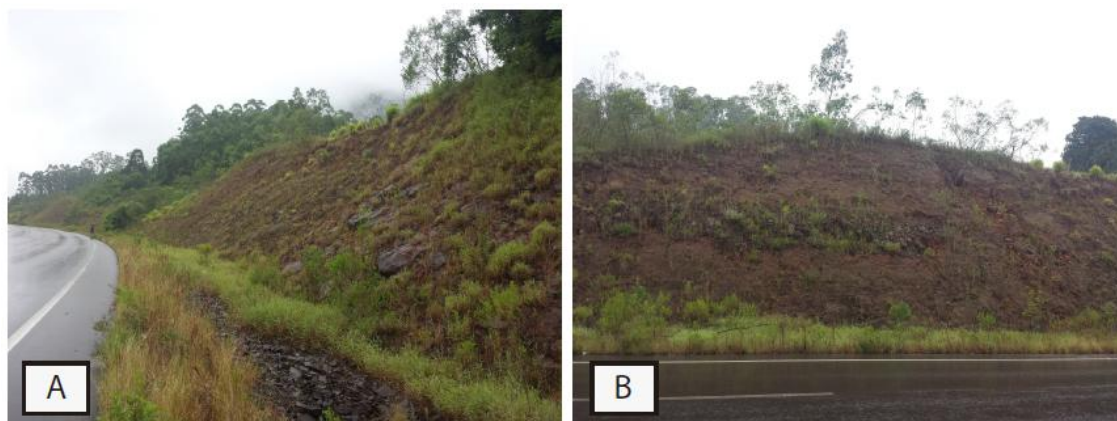


Figura 1: (A) visão lateral do talude; (B) visão de frente do talude

S02

Tabela 2: tabela referente ao talude do segmento S02. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude			Talude	Nota	Medido	OBS
Altura do Talude			D	3	7m	
Efetividade da Vala				9	3m	Os blocos estão quase atingindo a estrada
RMV				2	15%	Comprimento do talude de 240m
DVD				52	48%	Visada de 112m
Largura da Rodovia				5	12,5m	-
Características Geológicas	Caso 2	Estrutural		27	-	Feições de alteração ao longo de todo o talude, quase se caracterizando como horizonte C de solo residual
		Taxa de erosão		9	-	Moderada diferença na taxa de erosão
Tamanho do bloco				27	0,85m	-
Clima				27	1396mm	-
Histórico de quedas				3	-	Raros blocos caídos
Total				164		

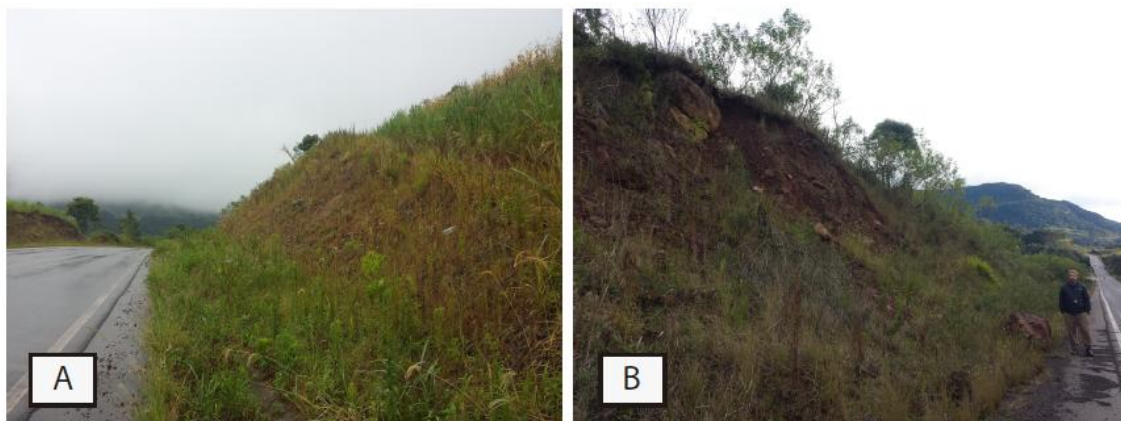


Figura 2: (A) visão lateral do talude sentido norte; (B) visão lateral do talude sentido sul com destaque ao bloco caído quase atingindo a rodovia

S04

Tabela 3: tabela referente ao talude do segmento S04. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude			Talude	Nota	Medido	OBS
Altura do Talude			E	7	13m	-
Efetividade da Vala				3	-	Vala de 4,5m consegue segurar todos os blocos caídos
RMV				2	18%	Comprimento do talude de 285m
DVD				62	45%	Visada de 105m
Largura da Rodovia				5	12,5m	-
Características Geológicas	Caso 1	Estrutural		81	-	Possui possibilidade de rompimento em cunha entre famílias com persistência maiores que 3m
		Rugosidade		9	-	Essas famílias são onduladas lisas
Tamanho do bloco				9	0,5m	-
Clima				27	1396mm	
Histórico de quedas				3	-	Raros blocos caídos
Total				202		

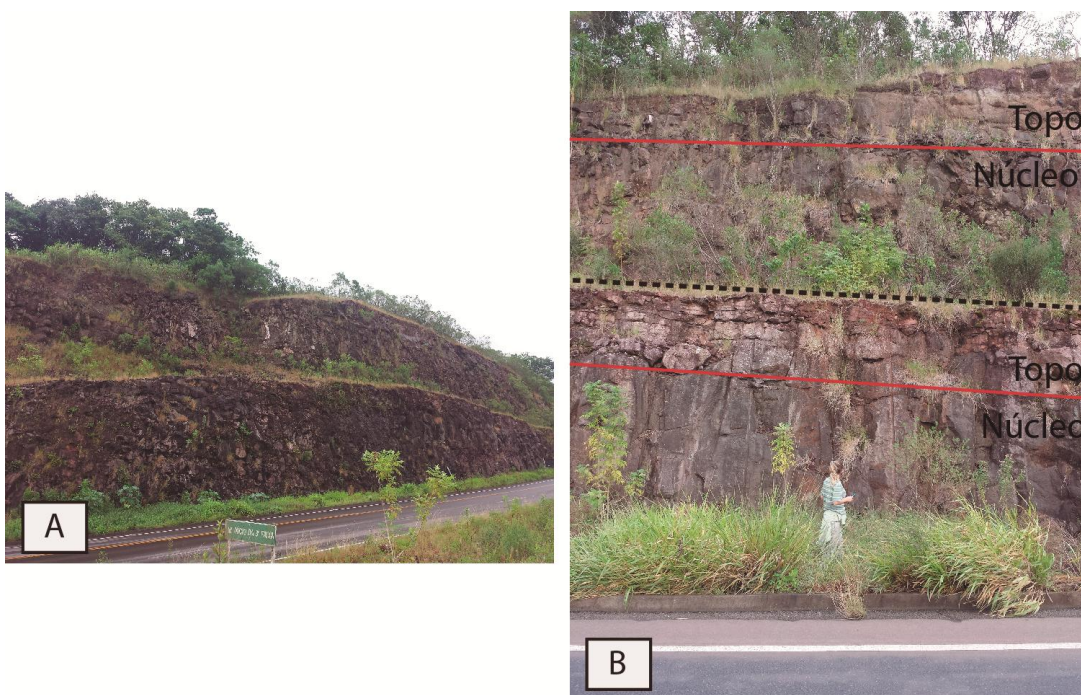


Figura 3: (A) visão geral do talude; (B) visão de frente do talude, com a linha preta pontilhada mostrando um patamar no intervalo de dois derrames e as linhas vermelhas mostrando o limite de topo e base de derrames

S05

Tabela 4: tabela referente ao talude do segmento S05. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude		Talude	Nota	Medido	OBS	
Altura do Talude		E	4	10m	-	
Efetividade da Vala			3	4,5m	Consegue segurar todos os blocos caídos	
RMV			3	21%	Comprimento do talude de 333m	
DVD			1	144%	Visada de 333m	
Largura da Rodovia			5	12,5m	-	
Características Geológicas	Caso 1		Estrutural	81	-	Possibilidade de tombamento por fraturas com persistência maiores que 3m
			Rugosidade	9	-	Fraturas possuem rugosidade ondulada lisa
	Caso 2		Estrutural	9	-	Apenas uma região do talude está levemente alterado, mas não friável. Provavelmente por ser final de um derrame e início de outro.
			Taxa de erosão	3	-	Possui poucas características de alteração, talude em equilíbrio
Tamanho do bloco			9	0,5m	-	
Clima			27	1396mm	-	
Histórico de quedas		3	-	Raros blocos caídos		
Total			145			

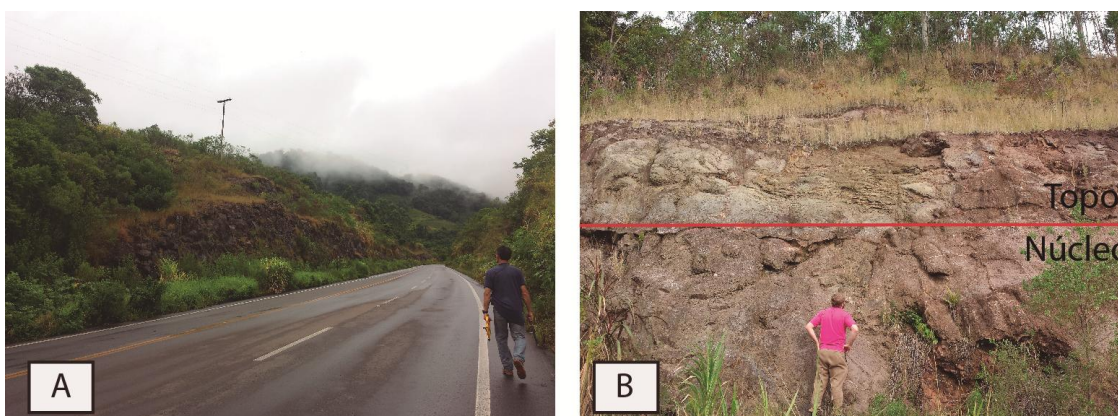


Figura 4: (A) visão geral do segmento; (B) visão de frente do talude, com a linha vermelha mostrando o limite de topo e base de derrames

S06

Tabela 5: tabela referente ao talude do segmento S06. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude			Talude	Nota	Medido	OBS
Altura do Talude			E	6	13m	Duas rampas e um patamar. A primeira com 8m e a segunda com 5m
Efetividade da Vala				9	6m	Alguns blocos estão no acostamento
RMV				2	10%	Comprimento do talude de 154m
DVD				17	67%	Visada de 154m
Largura da Rodovia				5	12,5m	-
Características Geológicas	Caso 1	Estrutural		81	-	Tem alguma fratura de baixo mergulho condicionando as quedas, porém não foi possível medir por estar no topo do talude. Além de possibilidade de rompimento em cunha por fraturas que possuem persistência maiores que 3m
		Rugosidade		27	-	Fraturas com rugosidade ondulada e planar
	Caso 2	Estrutural		27	-	Regiões com intensa alteração, provavelmente final de um derrame e início de outro
		Taxa de erosão		9	-	
Tamanho do bloco				100	2m	Tem blocos de até 2m, porém a maioria é menor do que 1m
Clima			27	1396mm	-	
Histórico de quedas			9	-	Muitos blocos preenchendo a vala de captação e o patamar intermediário do talude	
Total				283		



Figura 5: visão mais crítica do talude, mostrando o patamar e a vala preenchidos por blocos

caído
S07

Tabela 6: tabela referente ao talude do segmento S07. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude		Talude	Nota	Medido	OBS	
Altura do Talude		E	8	12m	Os últimos 100m apresentam uma altura de 6m	
Efetividade da Vala			9	5m	Alguns blocos estão no acostamento	
RMV			3	22%	Comprimento do talude de 358m	
DVD			11	76%	Visada de 176m	
Largura da Rodovia			5	12,5m	-	
Características Geológicas	Caso 1		Estrutural	81	-	Há risco de tombamento pela fraturas com persistência maior que 3m
			Rugosidade	27	-	Fraturas com rugosidade planar rugosa a lisa
	Caso 2		Estrutural	27	-	Regiões com intensa alteração, principalmente no início do segmento que quase está em estado de solo residual
			Taxa de erosão	9	-	-
Tamanho do bloco			100	2,5m	Blocos com tamanhos variados, chegando até 2,5m	
Clima			27	1396mm	-	
Histórico de quedas			27	-	Ocorrência de muitas quedas ao longo de todo o talude e já houve uma queda de solo no início do segmento que foi necessário desviar a rodovia	
Total				298		

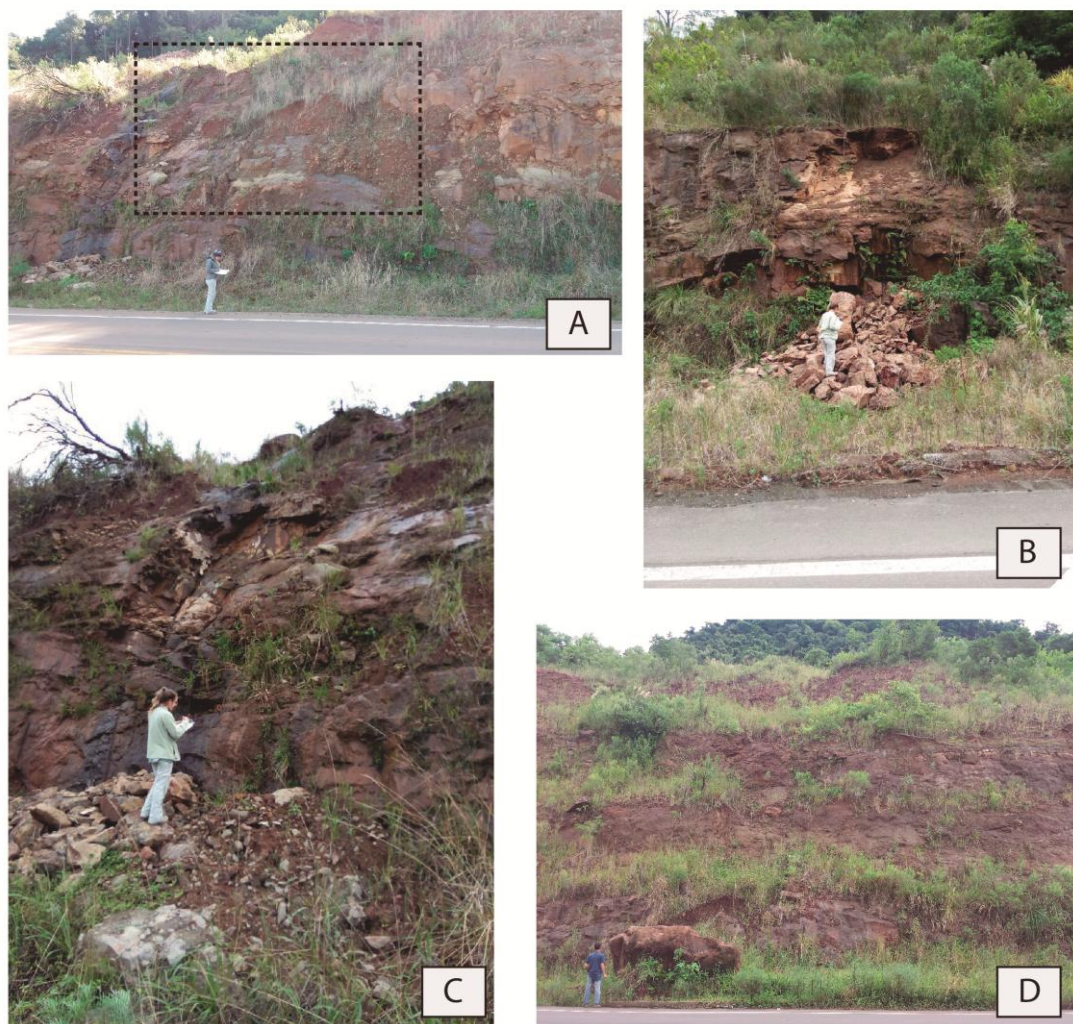


Figura 6: (A) porção inicial do talude onde ocorreu grande escorregamento de solo, bloqueando a rodovia; (B) foco de quedas, com os blocos preenchendo a vala de contenção; (C) grande foco de quedas com intensas fraturas mergulhando para a rodovia; (D) visão de frente da parte inicial do talude onde houve a queda do maior bloco do talude.

S09

Tabela 7: tabela referente ao talude do segmento S09. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude			Talude	Nota	Medido	OBS
Altura do Talude			E	8	14m	O trecho final do talude tem uma altura em torno de 4m
Efetividade da Vala				3	6m-3m	Consegue segurar todos os blocos caídos
RMV				2	16%	Comprimento do talude de 257m
DVD				14	72%	Visada de 166m
Largura da Rodovia				5	12,5m	-
Características Geológicas	Caso 1	Estrutural		81	-	Chance de rompimento em cunha entre fraturas com persistência maiores que 3m
		Rugosidade		9	-	Fraturas com rugosidade ondulada rugosa a lisa
Tamanho do bloco				5	0,4m	Blocos com tamanhos variados, chegando até 0,4m
Clima				27	1396mm	-
Histórico de quedas				9	-	Ocorrência de algumas quedas em pontos localizados com baixo risco de atingir o acostamento
Total				163		



Figura 7: (A) visão do talude com 2 patamares colocados nas porções entre derrames (linha preta pontilhada); (B) bloco com diversas amígdalas caído

S11

Tabela 8: tabela referente ao talude do segmento S11. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude		Talude (D/E)	Nota	Medido	OBS	
Altura do Talude		D	2	6m	-	
		E	6	12m	-	
Efetividade da Vala		D	3	4m	A vala dos dois lados são efetivas e conseguem captar todos os blocos	
		E	3	6m		
RMV		D	2	11%	Comprimento do talude de 180m	
		E	2	19%	Comprimento do talude de 300m	
DVD		D	10	78%	Visada de 180m	
		E	1	130%	Visada de 300m	
Largura da Rodovia		D/E	5	12,5m	-	
Características Geológicas	Caso 1	Estrutural	D/E	81	-	Pode haver risco de rompimento em cunha por famílias de fraturas com persistência maior que 3m. Foi registrado no talude esquerdo. Ainda há risco de queda por tombamento no talude esquerdo
		Rugosidade	D/E	27	-	Apresenta fraturas com rugosidade planar e ondulada
Tamanho do bloco		D	6	0,3m	-	
		E	9	0,5m	-	
Clima		D/E	27	1396mm	-	
Histórico de quedas		D/E	3	-	Apesar de mostrar tendência de rompimento, não há grandes registros de queda	
Total Talude Direito			166			
Total Talude Esquerdo			164			

S13

Tabela 9: tabela referente ao talude do segmento S13. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude			Talude	Nota	Medido	OBS
Altura do Talude			E	12	17m	Talude constituído de 3 rampas de 7,5m, 5,5m e 4m e 2 patamares
Efetividade da Vala				3	4m	Consegue captar todos os blocos caídos
RMV				2	12%	Comprimento do talude de 195m
DVD				7	85%	Visada de 195m
Largura da Rodovia				5	12,5m	-
Características Geológicas	Caso 1	Estrutural		81	-	Risco de tombamento e por cunha, com fraturas com mais de 3m de persistência
		Rugosidade		27	-	Fraturas com rugosidade planar ou ondulada
Tamanho do bloco				18	0,8m	Blocos com tamanhos variados, chegando até 0,8m
Clima				27	1396mm	-
Histórico de quedas				3	-	Ocorrência de poucas quedas de baixo risco
Total				185		

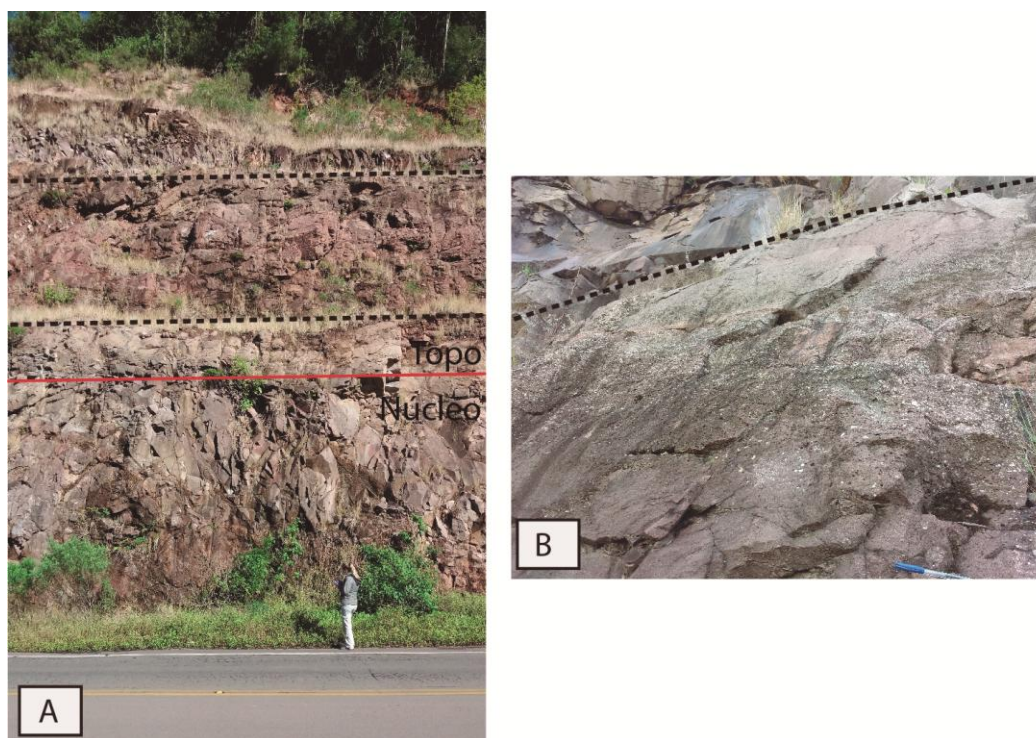


Figura 8: (A) visão do talude com 2 patamares colocados nas porções entre derrames (linha preta pontilhada) e a linha vermelha se refere ao limite entre o topo e o núcleo; (B) porção superior do derrame com intensa vesiculação. A linha pontilhada é referente ao limite de derrame

S14

Tabela 10: tabela referente ao talude do segmento S14. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude		Talude (D/E)	Nota	Medido	OBS	
Altura do Talude		D	2	7m	-	
		E	65	29m	No segmento começa com 29m e acaba com 20m	
Efetividade da Vala		D	3	3m	A vala consegue captar todos os blocos	
		E	27	5m	Diversos blocos estão localizados na rodovia ao longo de todo o talude	
RMV		D	3	11%	Comprimento do talude de 183m	
		E	9	49%	Comprimento do talude de 787m	
DVD		D	9	80%	Visada de 183m	
		E	30	57%	Visada de 132m a 225m	
Largura da Rodovia		D/E	5	12,5m	-	
Características Geológicas	Caso 1	Estrutural	D/E	81	-	Apresenta risco de comprimento em cunha entre famílias de fraturas com persistência maior que 3m.
		Rugosidade	D/E	27	-	Apresenta fraturas com rugosidade planar e ondulada
	Caso 2	Estrutural	E	81	-	Uma parte de aproximadamente 2m de espessura está completamente friável se desfazendo no toque
		Taxa de erosão	E	9	-	-
Tamanho do bloco		D	27	0,8m	Blocos chegando a 0,8m de dimensão	
		E	100	2m	Blocos chegando a 2m de dimensão	
Clima		D/E	27	1396mm	-	
Histórico de quedas		D	9	-	Registro de ocorrência de quedas localizadas	
		E	27	-	Ocorrência de diversos focos de quedas	
Total Talude Direito			232			
Total Talude Esquerdo			398			



Figura 9: (A) visão do segmento S14 com orientação sul; (B) visão do segmento S14 com orientação norte, mostrando as curvas; (C) blocos caídos na porção antes da primeira curva; (D) talude direito; (E) trecho depois da primeira curva com rompimento em cunha (F) parte final do segmento com porção com intensa alteração e presença de fraturas paralelas a face do talude; (G) visão geral da parte final do segmento apresentando intensa alteração. As linhas tracejadas são referentes ao limite de derrames

S15

Tabela 11: tabela referente ao talude do segmento S15. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude		Talude (D/E)	Nota	Medido	OBS	
Altura do Talude		D	3	6m	-	
		E	8	14m	Duas rampas de 8m e 6m e 1 patamar	
Efetividade da Vala		D	3	4,5m	A vala consegue captar todos os blocos	
		E	9		Alguns blocos alcançam o acostamento	
RMV		D/E	3	21%	Comprimento do talude de 336m	
DVD		D/E	1	146%	Visada de 336m	
Largura da Rodovia		D/E	5	12,5m	-	
Características Geológicas	Caso 1	Estrutural	D/E	81	-	Apresenta risco de rompimento em cunha entre famílias de fraturas com persistência maior que 3m. Foi confirmado em campo no talude direito
		Rugosidade	D	9	-	Apresenta fraturas com rugosidade ondulada lisa a rugosa
			E	27		Apresenta fraturas com rugosidade planar rugosa e ondulada rugosa
Tamanho do bloco		D	9	0,5m	Predominância de blocos com dimensões entre 0,3 e 0,5m	
		E	100	1,5m	Bocos com tamanhos variados chegando a até 1,5m	
Clima		D/E	27	1396mm	-	
Histórico de quedas		D/E	27	-	Apresenta diversos focos de quedas ao longo do talude dos dois lados	
Total Talude Direito			168			
Total Talude Esquerdo			288			



Figura 10: (A) queda no talude direito com a trena medindo a vala de contenção; (B) queda de grandes blocos no talude direito com porção central alterada (quadrado vermelho)

S16

Tabela 12: tabela referente ao talude do segmento S16. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude			Talude	Nota	Medido	OBS
Altura do Talude			E	6	11m	-
Efetividade da Vala				9	4,5m	Parecendo estar pouco eficiente para este talude
RMV				1	8%	Comprimento do talude de 123m
DVD				40	53%	Visada de 123m
Largura da Rodovia				5	12,5m	-
Características Geológicas	Caso 2	Estrutural		27	-	Apresenta intensa alteração ao longo de todo o talude, com algumas partes friáveis
		Taxa de erosão		9	-	-
Tamanho do bloco				100	1,3m	Blocos chegando a 1,3m, porém a maioria é menor que 1m
Clima				27	1396mm	-
Histórico de quedas				27	-	Ocorrência de diversas quedas, com alguns blocos atingindo o acostamento
Total				251		



Figura 11: (A) e (B) blocos caídos da porção brechada; (C) porção do talude com intensa alteração

S17

Tabela 13: tabela referente ao talude do segmento S17. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude			Talude	Nota	Medido	OBS
Altura do Talude			E	14	18m	A altura foi variando de 13m a 18m
Efetividade da Vala				27	0,5m-3m	Vala quase ineficaz, com diversos blocos alcançando a rodovia
RMV				12	56%	Comprimento do talude de 900m
DVD				6	87%	Visada de até 123m
Largura da Rodovia				5	12,5m	-
Características Geológicas	Caso 2	Estrutural		27	-	Porções estão muito alteradas devido às porções de brecha de topo de derrame. Algumas áreas a rocha está friável
		Taxa de erosão		9	-	-
Tamanho do bloco				9	0,70m	-
Clima				27	1396mm	-
Histórico de quedas				27	-	Todos os blocos são referentes à porção brechada do derrame. No final desse talude houve uma grande queda de rocha friável.
Total				163		



Figura 12: (A) início do segmento com vala de 0,5m e diversos fragmentos de rocha na estrada; (B) porção brechada *in situ*; (C) foco de quedas na porção final do segmento

S17A

Tabela 14: tabela referente ao talude do segmento S17A. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude			Talude	Nota	Medido	OBS
Altura do Talude			D	18	20m	Talude apresenta 3 rampas de 5,5m, 7,5m e 7m e dois patamares
Efetividade da Vala				9	5,5m	Vala quase ineficaz devido as grandes quedas
RMV				3	14%	Comprimento do talude de 255m
DVD				4	97%	Visada de 255m
Largura da Rodovia				5	12,5m	-
Características Geológicas	Caso 1	Estrutural		81	-	Há 3 riscos de rompimento em cunha, além de ter sido registrado rompimento em campo com fraturas de persistência de mais de 3m
		Rugosidade		27	-	Fraturas com rugosidade planar rugosa e também ondulada lisa
Tamanho do bloco				47	1m	Blocos de diversos tamanhos chegando a 1m
Clima				27	1396mm	-
Histórico de quedas				27	-	Diversos blocos caídos, quase alcançando a rodovia. Tem quedas ao longo de todo o talude
Total				248		



Figura 13: (A) visão da altura do talude com as linhas pontilhadas marcando os patamares; (B) mostra o maior foco de queda

S18

Tabela 15: tabela referente ao talude do segmento S18. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude			Talude (D/E)	Nota	Medido	OBS
Altura do Talude			D	8	14m	-
			E	10	16m	-
Efetividade da Vala			D/E	3	4,7m	A vala consegue captar todos os blocos
RMV			D/E	9	48%	Comprimento do talude de 780m
DVD			D/E	2	108%	Visada de 248m
Largura da Rodovia			D/E	5	12,5m	-
Características Geológicas	Caso 1	Estrutural	D	3	-	Apresenta fraturas com orientação favorável
			E	81	-	Apresenta risco de compimento em cunha entre famílias de fraturas com persistência maior que 3m.
		Rugosidade	D	9	-	Maior parte das fraturas possuem rugosidade ondulada lisa
			E	27	-	Apresenta fraturas com rugosidade planar rugosa e ondulada lisa
Tamanho do bloco			D/E	3	0,3m	Blocos com até 0,3m de diâmetro
Clima			D/E	27	1396mm	-
Histórico de quedas			D	3	-	Apresenta poucos blocos caídos
			E	9	-	Apresenta poucas quedas ao longo do talude
Total Talude Direito				72		
Total Talude Esquerdo				176		

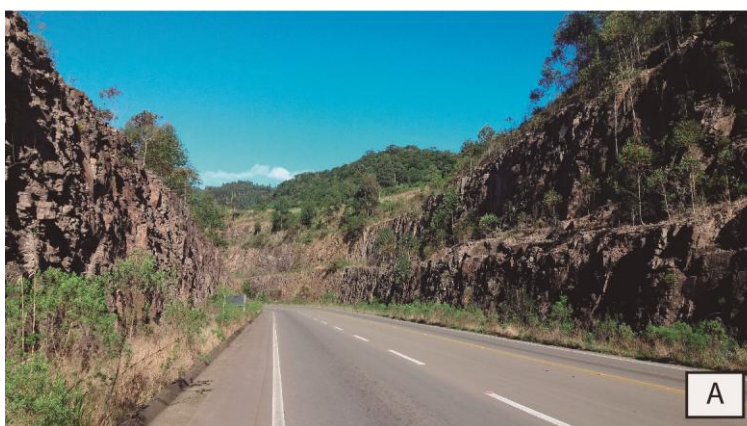


Figura 14: (A) visão geral do segmento na direção sul; (B) fraturas horizontais com espaçamento médio de 10cm

S20

Tabela 16: tabela referente ao talude do segmento S20. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude		Talude (D/E)	Nota	Medido	OBS	
Altura do Talude		D	4	10m	-	
		E	9	15m	-	
Efetividade da Vala		D/E	3	5m	A vala consegue captar todos os blocos	
RMV		D/E	2	17%	Comprimento do talude de 280m	
DVD		D/E	1	120%	Visada de 280m	
Largura da Rodovia		D/E	5	9m	-	
Características Geológicas	Caso 1	Estrutural	D/E	81	-	Apresenta risco de rompimento em cunha e entre famílias de fraturas com persistência maior que 3m.
		Rugosidade	D	9	-	Apresenta fraturas com rugosidade ondulada lisa
			E	27	-	Apresenta fraturas com rugosidade planar rugosa e ondulada lisa
Tamanho do bloco		D/E	5	0,35m	Blocos com dimensões até 0,35m	
Clima		D/E	27	1396mm	-	
Histórico de quedas		D/E	3	-	Apresenta poucos blocos caídos	
Total Talude Direito			122			
Total Talude Esquerdo			163			



Figura 15: (A) e (B) visão geral dos taludes com direção norte; (C) fraturas horizontais com espaçamento de até 15cm

S22

Tabela 17: tabela referente ao talude do segmento S22. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude			Talude (D/E)	Nota	Medido	OBS
Altura do Talude			D	3	8m	-
			E	4	10m	-
Efetividade da Vala			D/E	3	4m	A vala consegue captar todos os blocos
RMV			D/E	3	20%	Comprimento do talude de 361m
DVD			D/E	1	157%	Visada de 361m
Largura da Rodovia			D/E	24	9m	-
Características Geológicas	Caso 1	Estrutural	D	3	-	Apresenta fraturas com orientação favorável
			E	81	-	Apresenta risco de compimento em cunha entre famílias de fraturas com persistência maior que 3m.
		Rugosidade	D	9	-	Maior parte das fraturas possuem rugosidade ondulada lisa
			E	27	-	Apresenta fraturas com rugosidade planar rugosa e ondulada lisa
Tamanho do bloco			D/E	5	0,40m	Blocos com dimensões até 0,4m
Clima			D/E	27	1396mm	-
Histórico de quedas			D/E	3	-	Apresenta poucos blocos caídos
Total Talude Direito				81		
Total Talude Esquerdo				178		



Figura 16: (A) visão dos dois taludes no sentido sul; (B) talude direito.

S24

Tabela 18: tabela referente ao talude do segmento S22. Em detalhe a nota de cada categoria, a nota, a medida e observações relevantes

Categoria / Talude			Talude	Nota	Medido	OBS
Altura do Talude			E	3	7m	-
Efetividade da Vala				3	4,7m	Todos blocos estão localizados na vala de captação
RMV				3	25%	Comprimento do talude de 400m
DVD				1	174%	Visada de 400m
Largura da Rodovia				24	9m	-
Características Geológicas	Caso 1	Estrutural		81	-	Há risco de rompimento em cunha entre famílias com persistência maior que 3m
		Rugosidade		27	-	Fraturas com rugosidade lisa e também ondulada
Tamanho do bloco				9	0,5m	Blocos até 0,5m, porém a maioria são em torno de 0,3m
Clima				27	1396mm	-
Histórico de quedas				3	-	Raros blocos caídos
Total				181		