

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**AVALIAÇÃO DO RISCO DE RUPTURAS DE TALUDES ROCHOSOS EM RODOVIAS
TRECHO DA SP-55 (RODOVIA RIO-SANTOS) – SÃO SEBASTIÃO (SP)**

Lucas Martins Nogueira de Castilho

Orientador: Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha

Co-Orientador: MSc. Geól. Marcos Saito de Paula

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF-2017 / 31)

SÃO PAULO
2017

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AVALIAÇÃO DO RISCO DE RUPTURAS DE TALUDES ROCHOSOS EM RODOVIAS
TRECHO DA SP-55 (RODOVIA RIO-SANTOS) – SÃO SEBASTIÃO (SP)

Lucas Martins Nogueira de Castilho

Orientador: Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha

Co-Orientador: MSc. Geól. Marcos Saito de Paula

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2017 / 31)

SÃO PAULO
2017



*"How does it feel?
How does it feel?
To be without a home?
Like a complete unknown?
Like a rolling stone?"*

Bob Dylan. (1965)

AGRADECIMENTOS

Este trabalho, e conseqüentemente, esta graduação, só foram possíveis por que meus pais acreditaram em mim. Minha mãe e meu pai, Edna e Otávio, junto com o meu irmão, Thiago, bancaram minha escolha, me ajudaram e continuarão ajudando até o fim do curso (falta pouco...). Meus agradecimentos especiais à minha família.

Agradeço ao meu orientador Ginaldo Campanha e meu co-orientador Marcos Saito por toda ajuda durante a elaboração deste trabalho. Sempre solícitos e dispostos a resolverem minhas dúvidas, acreditaram no tema e contribuíram para a sua viabilização. Obrigado ao Márcio Cunha e Raphael Maia, a quem posso considerar como co-co-orientadores deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos do colégio que até hoje fazem parte da minha vida e acompanharam meus anos de cursinho e geologia: Dr. Léo, MSc Napa, Thais e Danilão, Eng. Dridri, e especialmente à Jessi, pelo apoio em toda a época de cursinho e primeiros anos de Geo, que não foram fáceis, ajuda sem a qual eu não teria ficado no curso. Valeu Jessi!

Agradeço a toda Turma 54, em especial (e em ordem alfabética para não dar briga): Pasteleira, o ausente de Itapecerica; Grega, a Mikaela de Lesbos; Xoelma, o druida caipira, Kramunhão, resgatador de carros em lagos; Pelúcia, o fofura de Goias, Walter, o Milton campineiro; Kano, o Thomas invisível; ao Anelão australiano e o Rabão. Todos estes integrantes da S.S.G.B Libre, uma organização com fins lucrativos sem lucro algum. Não posso me esquecer de Sueca, Pillow, Ramon, Cris, Pringolas, Pacu, BiaBlow, BeaDana, Alice, Fofolento, Ursinho.... Não ficou na ordem alfabética, então briguem. À todos os integrantes das turmas por onde passei: 55, 56 e 57.

Agradeço aos Geól. Weder Portugal e Paulo Buxo da AS GEO, por terem me dado a primeira oportunidade de contato com a vida profissional de um geólogo e ao Geól. Marcos Saito, da SYSTRA, que além de co-orientar este trabalho, também me deu a oportunidade de trabalhar com Geologia de Engenharia. Estes caras me ensinaram tudo que eu sei profissionalmente. Sou muito grato a eles.

Agradeço especialmente a Juli por toda a ajuda nesta etapa final do curso, revisando meus relatórios, fazendo minhas gigantes tabelinhas e me transmitindo conforto e paz nestes últimos anos. Valeu Juli!

Foram no total 11 anos desde que saí do colégio até agora. Foram 0,5 ano de cursinho, 2 anos de Economia, 1,5 anos de cursinho de novo e, finalmente, 7 anos de geologia. Cada um tem seu tempo e sua história. Esse foi o meu tempo.

Tempo.

2.4 Ga.

RESUMO

Rodovias que margeiam encostas acidentadas sofrem no mundo todo com problemas relacionados a estabilidades de taludes. O estudo de estabilidade em taludes rochosos a beira de rodovias é fundamental para que se possa propor medidas de prevenção e mitigação de riscos, e evitar que possíveis instabilidades tragam prejuízos à população local e aos veículos. A grosso modo, a ruptura de taludes em maciços rochosos está associada à presença de descontinuidades, como fraturas, falhas, juntas, planos de foliação e estratificações. A obtenção de modelos geológico/geomecânicos ajuda na identificação e caracterização dessas descontinuidades. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a estabilidade dos afloramentos rochosos às margens da Rodovia SP-055 (Rio-Santos), entre os km 115+840 m e km 116+860 m, município de São Sebastião – SP, entre a Praia da Enseada e a Praia das Cigarras. Foram definidos trechos críticos através do índice RHRS (*Rockfall Hazard Rating System*), com o intuito de auxiliar na determinação de trechos prioritários para futuras intervenções na estrada. Os dados obtidos foram utilizados para a classificação geomecânica nos sistemas SMR (*Slope Mass Rating*) e RMR (*Rock Mass Rating*) e para a análise cinemática dos taludes da via. Os taludes do trecho analisado são compostos por biotita gnaisses bandados e localmente migmatizados, com foliação bem marcada pela orientação das micas. A análise cinemática do local mostrou que a foliação, de atitude média 339/62, é a descontinuidade mais problemática para eventuais condições de instabilidade envolvendo cerca de 80% das potenciais rupturas em cunha e 70% das planares. Foram identificadas ao todo cinco famílias de descontinuidades, sendo, além da foliação mais quatro famílias de fraturas. Dessa forma, em todos os taludes existe ao menos uma possibilidade de ruptura. A análise do risco por meio do índice RHRS conclui que entre os km 115+875 m e km 115+913 m, entre os km 116+390 m e km 116+416 m, e entre os km 116+472 m e km 116+607 m são necessárias medidas imediatas de estabilização para impedir que blocos de rocha provenientes de rupturas nos taludes possam atingir a estrada. Tais trechos indicam altos riscos aos usuários da via, de modo que uma eventual ruptura pode ocasionar grandes prejuízos materiais e físicos à população e aos veículos. Outros trechos alcançaram pontuações que indicam ser necessárias trabalhos de remediação, não de forma imediata como os citados anteriormente, mas ainda sim prioritários. São os casos entre os km 116+607 m e km 116+698 m, e entre os km 116+756 m e km 116+811 m. Como diversos índices e parâmetros são necessários para alcançar as notas finais referentes à classificação do risco, neste trabalho propôs-se o uso de ferramentas rápidas e práticas como testes expeditos em campo e análise bibliográfica, para que locais críticos possam ser indicados de forma mais ágil.

ABSTRACT

Highways bordering rugged mountainsides suffer with slope stability problems worldwide. Studying rock slope stability along highways is essential to propose prevention and mitigation measures and avoid that instabilities can cause harm to the local population and vehicles. Broadly speaking, the rupture of slopes in rock masses is associated to the presence of discontinuities, such as fractures, joints, foliation planes and stratification. Geological and geomechanical models help to identify and describe these discontinuities. The present work intends to evaluate the stability of a rock outcrop along the SP-055 Highway (Rio-Santos), between km 115+840 m and km 116+860 m, São Sebastião in the State of São Paulo, between the beaches “Enseada” and “Cigarras”. Critical sites were defined by RHRS (*Rockfall Hazard Rating System*) index, to assist in finding priority sites for future interventions on the highway. Field data have been used for the geomechanical classification in SMR (*Slope Mass Rating*) and RMR (*Rock Mass Rating*) systems and for the highway’s slopes kinematical analysis. The slopes from the analysed sites are composed by banded biotite gneiss and locally with migmatites, with a well-marked foliation by mica’s orientation. Local kinematical analysis showed that the foliation, with average attitude of 339/62 (dip direction / dip), is the most problematic discontinuity for eventual unstable conditions, involving about 80% of the potential wedge ruptures and 70% of the planar ruptures. Five sets of discontinuity were identified, with four families of fractures besides foliation. Therefore, there is at least one possibility of rupture in every slope. Risk analysis using RHRS index concludes that between km 115 + 875 m and km 115 + 913 m, between km 116 + 390 m and km 116 + 416 m, and between km 116 + 472 m and km 116 + 607 m, immediate stabilization measures are required to prevent rockfalls from occurring and reaching the highway. These sites present risks to drivers and passengers, since a possible rupture would cause considerable damages to the population and vehicles. Other sites (between km 116+607 m and km 116+698 m, and between km 116+756 m and km 116+811 m) reached scores that indicates remediation, not immediate, as those mentioned above, but still a priority. As several indexes and parameters are necessary to reach the final notes regarding risk classification, in this work the use of fast and practical tools such as field tests and bibliographic analysis were proposed, so that critical sites can be indicated in a more agile way.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT	iii
SUMÁRIO.....	1
INDICE DE FIGURAS.....	3
INDICE DE TABELAS.....	5
1. INTRODUÇÃO.....	7
1.1. Objetivos	7
1.2. Localização e caracterização da área de estudo.....	8
2. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. Contexto geológico regional	11
2.2. Classificação Geomecânica	12
2.2.1. Sistema RQD.....	13
2.2.2. Sistema RMR	14
2.2.3. Sistema SMR.....	15
2.3. ESTABILIDADE DE TALUDES EM ROCHA	16
2.3.1. Caracterização das descontinuidades	16
2.3.2. Tipos de rupturas.....	18
2.3.3. Análise cinemática.....	19
2.4. CLASSIFICAÇÃO DE RISCO RHRS	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1. Mapeamento Geológico	24
3.2. Coleta e tratamento dos dados	24
3.3. Análise cinemática de estabilidade dos taludes.....	28
3.4. Classificação de risco RHRS.....	29
4. RESULTADOS	30
4.1. Aspectos geológicos e estruturais locais	30
4.2. Classificação Geomecânica do maciço	33
4.2.1. Parâmetros de Classificação	33

4.2.2.	Sistema RMRb	34
4.2.3.	Sistema SMR.....	35
4.3.	Análise cinemática de estabilidade de taludes	37
4.4.	CLASSIFICAÇÃO RHRS	38
4.4.1.	Parâmetros de Classificação	38
4.4.2.	Resultados por talude amostrado	41
5.	INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÃO	42
6.	CONCLUSÕES.....	45
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
	ANEXO 1 – TABELAS DE PARÂMETROS DAS DESCONTINUIDADES	53
	ANEXO 2 – ESTEROGRAFAS DOS TALUDES COM POSSIBILIDADES DE RUPTURAS	61
	ANEXO 3 – MAPA GEOLÓGICO E DE RISCO DE QUEDA DE BLOCOS	77

INDICE DE FIGURAS

Figura 1- Localização da área de estudo (Fonte: Google Earth Pro. Satelite: DigitalGlobe. Imagens de 28/09/16).....	9
Figura 2- Região próxima ao km 116+600 m. Foto do autor. Fevereiro/2017.....	9
Figura 3 – Talude rompido no km 119 - março de 2015. (Portal G1, 2015; Folha do Litoral Norte, 2015a).....	10
Figura 4 – Rompimento de talude no km 120 – março de 2016 (Portal Fotos Públicas, 2016).	10
Figura 5 – Rompimento de talude no km 117 – setembro de 2015 (Folha do Litoral Norte, 2015 b).	10
Figura 6 – Mapa geológico regional. No detalhe, a área de estudo. Fonte: Maffra (2000). Quadrado azul em destaque mostra a área de estudo.....	12
Figura 7 - Análise cinemática de taludes rochosos: famílias de descontinuidades no talude (A); e regiões de instabilidade em projeções estereográficas de igual área (B). Extraído de Willye e Mah (2004).	20
Figura 8 – Ábaco de Ritchie para determinação da largura (L) e da profundidade (P) da área de captação em função da altura e do ângulo de inclinação do talude (A). Possíveis trajetórias de blocos (B). Extraído de Ritchie (1963).....	22
Figura 9 - Localização e nomenclatura dos taludes analisados.	25
Figura 10 – Exemplo de análise de estabilidade em talude rodoviário curvo, utilizando duas direções preferenciais. Extraído de Willie e Mah (2004).	26
Figura 11 - Localização do local onde foi medido o RQD* do maciço e relação à área de estudo.....	27
Figura 12 - Afloramento onde foi medido o RQD* do maciço.	27
Figura 13 - Exemplo de estereograma do programa Dips 6.0. Elementos para análise de estabilidade para rupturas planares (A). Elementos para análise de estabilidade para rupturas e em cunha (B).	28
Figura 14 – Exemplo de estereograma do programa Dips 6.0 com os elementos para análise de estabilidade para	28
Figura 15 – Bandamento gnáissico enriquecido em mica (A). Porção migmatizada exibindo texturas flebíticas (Y) e estromáticas (X) (B).	30
Figura 16 – Dobras pitigmáticas (A). Boudins paralelos à foliação (B).	31
Figura 17 – Polos das foliações dos taludes mapeados. Em amarelo o plano com o melhor ajuste dos dados e seu eixo b construído (bm). Em verde o plano referente à média das medidas de foliação (gm). Diagrama Schmitt-Lambert, hemisfério inferior.....	31

Figura 18 – Estereograma com todas as discontinuidades mapeadas e as 5 famílias identificadas. A foliação está em vermelho e foi nomeada FL-1. As outras 4 famílias de fraturas foram nomeadas de FR-2 a FR-5.	32
Figura 19 – Pontuações do índice RHRS para cada talude e sentido da via.....	41
Figura 20 – Contenção após talude TI. Foliação gnáissica (linha amarela) com mergulho menor que o do talude permite rupturas planares neste trecho. A seta indica os blocos presos pela contenção (A). Detalhe do acúmulo de fragmentos de rocha em contenção possivelmente saturada (B).	43
Figura 21 – Croqui esquemático com perfil entre os taludes TB-3 e TA-1 e interações entre famílias de discontinuidades com orientação do talude.	44
Figura 22 – Distribuição de risco ao longo da ligação entre a Praias da Enseada e das Cigarras.	45
Figura 23 – Talude TI. Vista do trecho mais crítico (A). Final do trecho estudado e início da contenção (B).	46
Figura 24 – Talude TC. Vista do trecho mais crítico (A). Detalhe da foliação subparalela ao talude (B).	46
Figura 25 – Talude TB-3. Vista do trecho mais crítico (A). Detalhe da foliação aflorando (B).	47
Figura 26 - Talude TB-1 com destaque para a foliação subparalela ao talude (A). TB-2 (B) com destaque para.....	47
Figura 27 – Talude TA-4. Vista do trecho mais crítico (A). Vista lateral com afloramentos altos inacessíveis (B).	47

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1– Classificação da qualidade do maciço rochoso de acordo com os valores do RQD	13
Tabela 2 – Classes e descrições dos maciços rochosos no sistema RMR. Traduzido de Bieniawski (1993)	14
Tabela 3 - Parâmetros e pesos relativos para classificação geomecânica no sistema RMR. Traduzido de Bieniawski (1993).	14
Tabela 4 - Fatores de ajuste e classes SMR. Traduzido de Romana et al. (2003). Onde P , ruptura planar; T , tombamento; α_j rumo do mergulho da junta; α_s , rumo do mergulho do talude; β_j , mergulho da junta; β_s , mergulho do talude.	15
Tabela 5 – Notas finais e descrições no sistema SMR - Traduzido de Romana et al. (2003).	15
Tabela 6 – Valores do J_r para rugosidade de descontinuidades no sistema-Q. Traduzido de NGI (2013) com base em Ávila (2012).	16
Tabela 7 – Valores do J_a para alteração de descontinuidades no sistema-Q. Φ_r indica o intervalo aproximado para o ângulo de atrito esperado para determinadas condições. Traduzido de NGI (2013) com base em Ávila (2012).	17
Tabela 8 – Comportamento friccional entre blocos extraídos a partir de índices J_r e J_a . Ângulos de atrito estimados a partir da função $\arctg(J_r/J_a)$ (Barton, 2002).	18
Tabela 9 – Tipos de ruptura e condições de instabilidade. Traduzido de Wylie e Mah (2004).	19
Tabela 10 – Critérios e pontuações para cada parâmetro avaliado pelo Rockfall Hazard Rating System. Extraído de Budetta, 2004.	22
Tabela 11 – Funções exponenciais para os cálculos de pontuação RHRS modificado. Extraído de Budetta (2004).	24
Tabela 12- Estimativa da resistência à compressão uniaxial de rochas. Fonte: ISRM (1978).	27
Tabela 13 – Dados referentes à execução da scanline para medição do RQD*.	33
Tabela 14 – Características e parâmetros geológico-geotécnicos referentes aos taludes analisado.	34
Tabela 15 – Pesos relativos à classificação RMR.	35
Tabela 16 – Pesos relativos para a classificação SMR e notas finais.	36
Tabela 17 – Ângulos de atrito estimados pela relação entre os índices de rugosidade (J_r) e alteração das descontinuidades (J_a) por meio da equação 5.	37
Tabela 18 - Análise cinemática para orientações de talude mostrando número de ocorrência e famílias de descontinuidade envolvidas nos mecanismos de ruptura.	38

Tabela 19 – Valores calculados para distâncias de visibilidade real (DVR), de projeto (DVP). Os valores na coluna “IG” referem-se à inclinação do greide, positivo para aclives e negativos para declives.	39
Tabela 20 – Todos os parâmetros avaliados para cada talude e direção de tráfego para obtenção da pontuação RHRS. H: Altura, EF: Efetividade da área de captura, RMV: Risco médio ao veículo, PDV: Porcentagem da distância de visibilidade, LP: Largura do pavimento, DM: Dimensão dos blocos, CC: Condições climáticas, SMR: Condições geológicas, FQB: Frequência de queda de blocos.	40
Tabela 21 – Resultados finais da pontuação RHRS por talude analisado. A pontuação por talude refere-se à média entre as pontuações para cada sentido de tráfego.	41

1. INTRODUÇÃO

Rodovias que margeiam encostas acidentadas sofrem no mundo todo com problemas relacionados a instabilidade de taludes. Dependendo da intensidade do tráfego e condições da via, as movimentações de blocos podem resultar num número expressivo de vítimas (Bunce *et al.*, 1997; Pappalardo *et al.*, 2014).

O estudo de estabilidade em taludes rochosos à beira de rodovias é fundamental para que se possa propor medidas de prevenção e mitigação de riscos, e evitar que possíveis instabilidades tragam prejuízos à população local e aos veículos. A grosso modo, a ruptura de taludes em maciços rochosos está associada à presença de descontinuidades, como fraturas, falhas, juntas, planos de foliação e estratificações. A obtenção de modelos geológico/geomecânicos ajuda na identificação e caracterização dessas descontinuidades.

O *Rockfall Hazard Rating System* (Pierson e Van Vickle, 1990; Budetta, 2004) é um método para avaliação do risco de queda de blocos rochosos em rodovias que leva em consideração diversos parâmetros relacionados tanto às características da via, quanto à geologia do maciço. Por meio dele pode-se identificar e hierarquizar locais particularmente perigosos, possibilitando uma ação direcionada das agências ou departamentos de estradas (Gomes e Sobreira, 2012).

Esse tipo de estudo ainda é incipiente no Brasil, mas podemos citar os trabalhos de Gomes e Sobreira (2012) onde foram analisados trechos das estradas do Espiro Santo, e Silva (2016) que em sua dissertação de mestrado analisou os taludes da Rodovia dos Inconfidentes em Minas Gerais.

1.1. Objetivos

O objetivo deste trabalho foi avaliar a instabilidade dos taludes rochosos às margens da Rodovia SP-055 (Rio-Santos), na região de São Sebastião – SP, entre a Praia da Enseada e a Praia das Cigarras, definindo trechos críticos de acordo com a metodologia do Rockfall Hazard Rating System (RHRS). Assim, foi estabelecido um modelo geológico estrutural da região estudada, além da classificação geomecânica dos taludes rochosos com base nas classificações RMR (Rock Mass Rating) e SMR (Slope Mass Rating).

Espera-se que os resultados do trabalho possam auxiliar na determinação de soluções adequadas de estabilidade para futuras intervenções na estrada, por meio da categorização de trechos que necessitem de intervenção. Além disso procurou-se utilizar sempre de métodos práticos e dados prévios da literatura para a obtenção dos parâmetros de qualificação do maciço, de forma que órgãos fiscalizadores possam fazer a análise de forma rápida e prática sem depender de testes laboratoriais mais demorados.

1.2. Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em taludes rochosos do Complexo Costeiro aflorantes entre os km 115+840 m e km 116+860 m da rodovia SP-055 (Rio-Santos), no município de São Sebastião, litoral norte de São Paulo (Figura 1). O trecho delimitado tem tráfego intenso de automóveis e caminhões, apenas uma faixa de rolamento para cada sentido e acostamento estreito. Na Figura 2 pode-se observar as proximidades do km 116+600, onde é possível identificar blocos caídos ao fundo e placa sinalizando queda de blocos que evidenciam o caráter instável dos taludes da área e o risco associado aos usuários da via.

O nome “Rio-Santos” é dado ao trecho que liga Rio de Janeiro – RJ a Santos - SP e faz parte da BR-101, a mais extensa rodovia brasileira. O trecho paulista da BR-101 é administrado pelo DER-SP (Departamento de Estradas de Rodagem) e tem codificação SP-055, oficialmente chamada “Rodovia Doutor Manuel Hyppoito Rego” entre as cidades de Santos e Ubatuba. Trata-se de uma rodovia transversal com traçado composto tanto por trechos de grandes retas com acostamentos, como trechos bastante sinuosos de serra, com inúmeras curvas e pista estreita, servindo como principal ligação entre os municípios do Litoral Norte paulista. De acordo com a classificação de Rodovias do DNIT (1973), as características da via nesta porção permitem classificá-la como uma rodovia de classe 1B, ou seja, consiste numa via de pista simples com volume de tráfego maior que 200 veículos por hora e sem controle de acessos.

Apesar de não haver registros oficiais sobre a frequência de quedas de blocos na área e suas características, a região tem apresentado alguns eventos de destaque nos últimos anos, noticiados pelas mídias locais. Nas Figuras 3, 4 e 5 podem-se observar rupturas nos taludes que formaram grandes blocos e atingiram a Rodovia Rio-Santos em áreas muito próximas à área analisada neste estudo em anos recentes. Pode-se observar nas imagens que o volume dos blocos desprendidos é muito grande num evento de ruptura e geralmente os blocos atingem toda a largura da pista da rodovia.

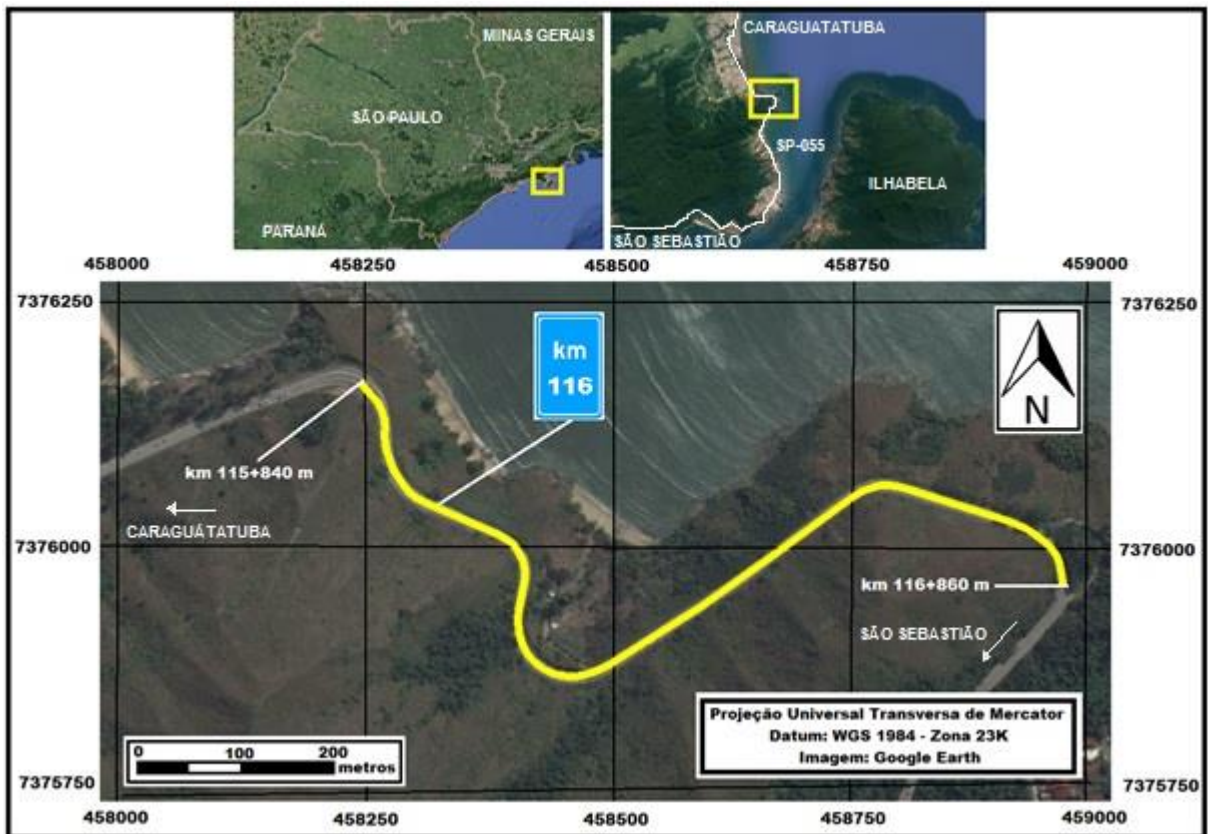


Figura 1- Localização da área de estudo (Fonte: Google Earth Pro. Satellite: DigitalGlobe. Imagens de 28/09/16).

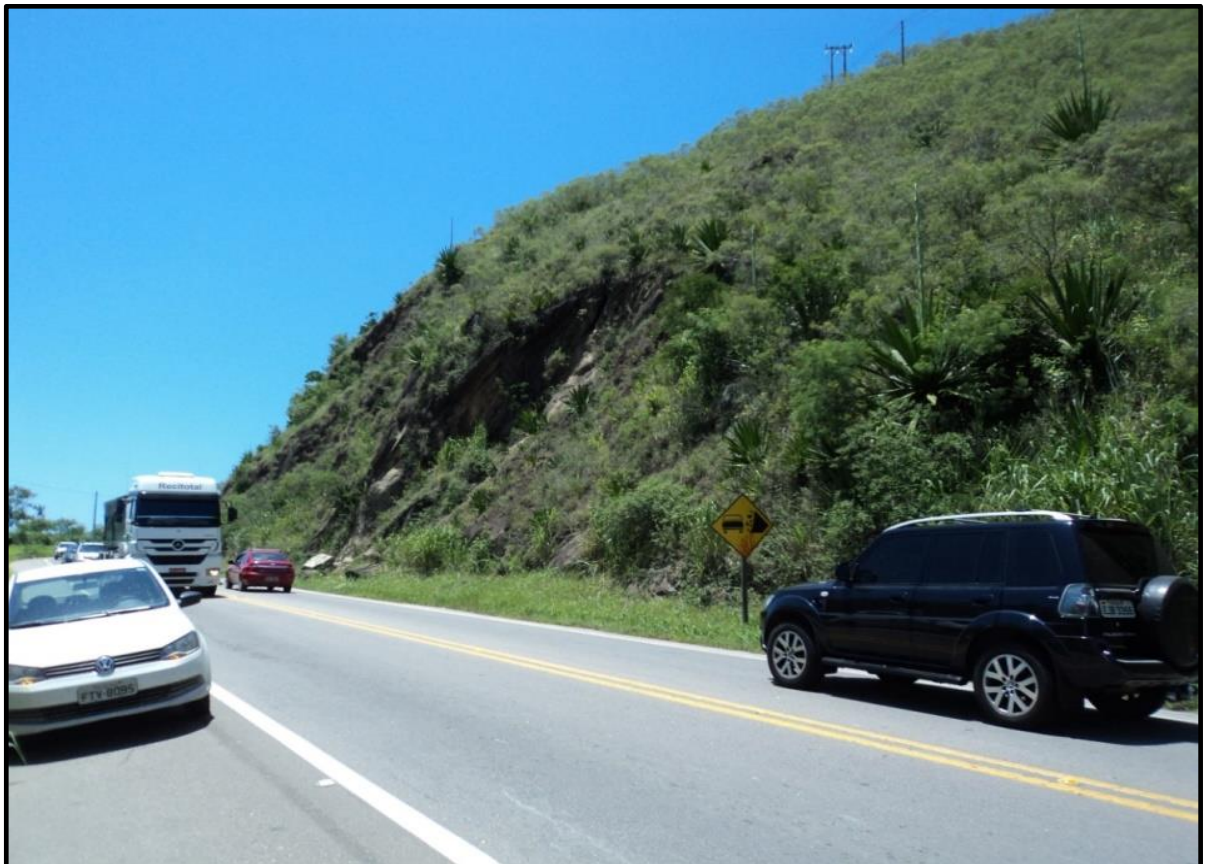


Figura 2- Região próxima ao km 116+600 m. Foto do autor. Fevereiro/2017.



Figura 3 – Talude rompido no km 119 - março de 2015. (Portal G1, 2015; Folha do Litoral Norte, 2015a).



Figura 4 – Rompimento de talude no km 120 – março de 2016 (Portal Fotos Públicas, 2016).



Figura 5 – Rompimento de talude no km 117 – setembro de 2015 (Folha do Litoral Norte, 2015 b).

2. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Contexto geológico regional

A área de estudo está localizada no Complexo Costeiro (Bistrichi *et al.*, 1981), atualmente considerado de idade Neoproterozóica (Campos Neto e Figueiredo, 1985; Dias Neto, 2001), inserido na porção central da Província Mantiqueira (Almeida, 1981) e é composto fundamentalmente por rochas gnáissico-migmatíticas, além de corpos graníticos. Corresponde a um segmento da Faixa de Dobramentos Ribeira com estruturação geral ENE-WSW em flor positiva, resultante de uma zona de cisalhamento dúctil (Campanha e Ens, 1996; Dias Neto, 2001; Maffra, 2000). A região foi incluída por Campos Neto e Figueiredo (1995) na Microplaca Serra do Mar, área de melhor representatividade da Orogênese Rio Doce. Para estes os autores, seu ambiente tectônico está associado à evolução de um arco magmático, compreendendo estágios desde pré a pós colisionais num período entre 570 e 480 Ma.

Maffra (2000) sintetizou em sua dissertação de mestrado o contexto geológico-estrutural da área de estudo (Figura 6), apresentando o mapeamento mais detalhado disponível da área (escala 1:25.000). De acordo com Maffra (2000) quatro unidades litológicas podem ser identificadas na região no sentido noroeste/sudeste, nomeadas Granito Pico do Papagaio, Augen-Gnaiss Juqueí, Biotita-Gnaiss/Migmatito e Granito Guaecá. O Granito Pico do Papagaio é um monzogranito foliado limitado a norte pela Zona de Cisalhamento Bairro Alto e em contato tectônico com o Augen Gnaiss Juqueí ao sul, através da Zona de Cisalhamento Camburu (ZCC).

A região conhecida como Planalto do Juqueriquerê é composta por um conjunto de morros com altitudes médias entre 700 e 750 m formados principalmente por gnaisses e migmatitos pré-cambrianos e enxames de diques do Jurássico Superior e Cretáceo Inferior. Limita-se ao norte com planaltos mais elevados através da Falha do Camburú, o que sugere uma origem tectônica para esse desnivelamento (Campanha *et al.* 1994).

O Complexo Gnáissico-Migmatítico está em contato transicional com a Unidade de Augen-Gnaiss, a leste da Zona de Cisalhamento Camburú (ZCC). Corresponde a uma unidade bastante heterogênea em termos texturais e estruturais. Grada de um biotita gnaiss bandado a migmatitos com texturas estromáticas e nebulíticas. O Complexo Gnaissico-Migmatítico encontra-se ao sul com o leucogranito Guaecá através do Sistema de Cavalcamento São Sebastião. Corresponde a um monzogranito a granodiorito podendo ainda ser dividido em duas fácies: uma leucocrática com granada e outra enriquecida em biotita. Podem ainda ser encontrados na área diversos diques básicos e intermediários, e lamprófiros de afinidade alcalina. Tais intrusões possuem idade meso-cenozóica e orientação geral N50E,

podendo-se observar intenso faturamento nas litologias encaixantes paralelos ao contato com os diques.

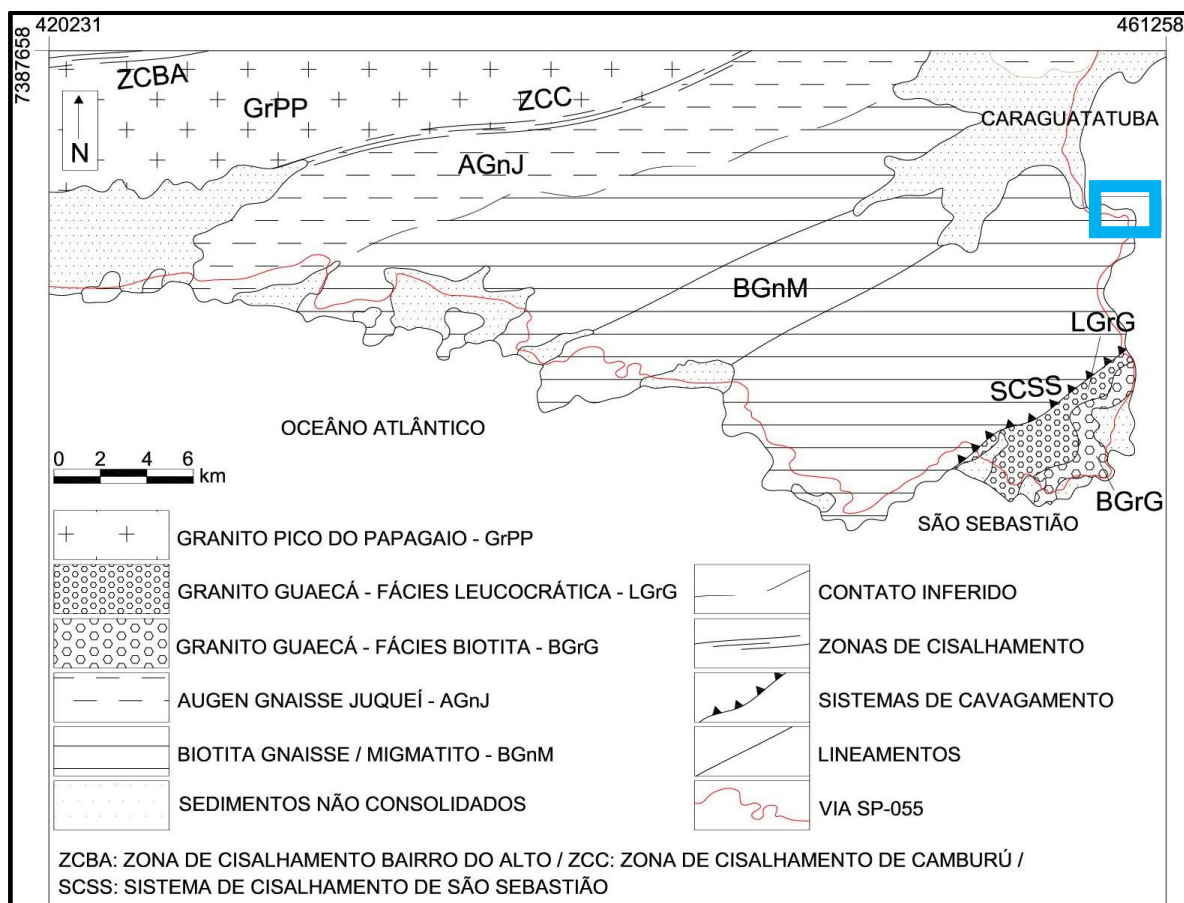


Figura 6 – Mapa geológico regional. No detalhe, a área de estudo. Fonte: Maffra (2000). Quadrado azul em destaque mostra a área de estudo.

2.2. Classificação Geomecânica

A qualidade de um maciço rochoso pode ser quantificada com base em seu comportamento geomecânico, avaliado a partir de observações diretas e realização de simples ensaios de campo. Esse tipo de estudo visa obter índices de qualidade adequados para seu tratamento e estabilização. Por tratar-se de meio essencialmente descontínuo (rocha intacta mais descontinuidades), as condições de tensão *in situ* e a presença de água subterrânea devem ser contabilizadas para se chegar à classificação geomecânica (Vallejo *et al.* 2002).

As classificações dos maciços rochosos em taludes visam compartmentar os afloramentos em classes a partir de suas características geomecânicas, atribuindo notas por meio de diversos parâmetros (geológicos, mecânicos e geotécnicos), de forma a homogeneizar segmentos com o mesmo comportamento. As classificações de Bieniawski (1989) e Romana (1993) tem sido as mais utilizadas em trabalhos relacionados a taludes rodoviários.

2.2.1. Sistema RQD

O *Rock Quality Designation* de Deere (1966) é um índice de qualidade de rocha que avalia a proporção de trechos intactos maiores que 10 cm coletados numa sondagem. Estas porções são expressas em porcentagem em relação ao tamanho total do furo por meio da Equação 1:

$$RQD = 100 \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{L} \%$$

Eq. 1

Sendo: x_i os comprimentos dos fragmentos maiores ou iguais a 100 mm e n o número destes fragmentos em um testemunho de comprimento L .

A partir do resultado, chega-se a um valor representativo da qualidade do maciço conforme a Tabela 1

Tabela 1– Classificação da qualidade do maciço rochoso de acordo com os valores do RQD
Fonte: Deere (1966).

RQD (%)	QUALIDADE DO MACIÇO ROCHOSO
0-25	Muito fraco
25-50	Fraco
50-75	Razoável
75-90	Bom
90-100	Excelente

Para os casos em que investigações por meio de sondagens não estão disponíveis, Priest e Hudson (1976) desenvolveram uma correlação entre a frequência linear de fraturas e o RQD que resulta num valor de “RQD teórico” (RQD^*) por meio da Equação 2:

$$RQD^* = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$$

Eq. 2

Sendo λ a frequência de descontinuidades na linha de amostragem, que, por sua vez, é dada pela Equação 3:

$$\lambda = \frac{N}{L} = \frac{1}{x}$$

Eq. 3

Sendo L o comprimento da linha de amostragem, N é o número total de descontinuidades que interceptam a mesma e x o espaçamento médio.

Mesmo não sendo uma correlação direta, para Deere e Deere (1989), a proposta de Priest e Hudson (1976) é a que melhor se aproxima de um valor de RQD. Dessa forma, o

valor do RQD pode ser estimado por meio da análise em taludes rochosos com uma linha de amostragem.

2.2.2. Sistema RMR

Na classificação proposta por Bieniawski, o RMR (*Rock Mass Rating*), chega-se a um valor entre 0 e 100 que considerará o maciço rochoso com uma qualidade “Muito boa”, “Boa”, “Razoável”, “Frac” e “Muito Fraca” (Tabela 2). O resultado é alcançado levando-se em conta seis características do maciço: resistência à compressão uniaxial da rocha intacta; espaçamento das descontinuidades, condições das descontinuidades, condições da água, orientação das descontinuidades e RQD (Tabela 3). Por ter sido desenvolvido originalmente para análise de maciços rochosos em frentes de escavações de túneis, o sistema RMR é de certa forma limitado para a avaliação de taludes. O parâmetro “ajuste para orientação de descontinuidades” é de difícil aplicação para cortes a céu aberto, por isso, neste trabalho, será utilizado o RMR básico (RMRb), que nada mais é do que o valor do RMR sem o ajuste para a orientação das descontinuidades. Embora o sistema RMR tenha sofrido algumas alterações, não foram incluídas, em relação ao trabalho original de Bieniawski, novos parâmetros para melhor ajuste às orientações das descontinuidades.

Tabela 2 – Classes e descrições dos maciços rochosos no sistema RMR. Traduzido de Bieniawski (1993)

Classes do maciço rochoso					
CLASSE	I	II	III	IV	V
DESCRIÇÃO	Muito bom	Bom	Regular	Pobre	Muito pobre
SOMA DOS PESOS	100-81	81-61	60-41	40-21	20

Tabela 3 - Parâmetros e pesos relativos para classificação geomecânica no sistema RMR. Traduzido de Bieniawski (1993).

Parâmetros	Valores e pesos relativos						
Resistência da rocha intacta	Resistência à Compressão Uniaxial (Simples)						
	250	100-250	50-100	25-50	15-25	1-15	1
PESO RELATIVO	15	12	7	4	2	1	0
RQD (<i>rock quality designation</i>)	90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
PESO RELATIVO	20	17	13	8	3		
Espaçamento de fraturas	>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
PESO RELATIVO	20	15	10	8	5		
Condições das fraturas	Superfícies muito rugosas; não contínuas; fechadas; paredes duras	Superfícies pouco rugosas; abertura < 1 mm; paredes duras	Superfícies pouco rugosas; abertura < 1 mm; paredes moles	Superfícies estriadas ou preenchimento < 5 mm ou abertura 1-5 mm; contínuas	Preenchimento mole > 5 mm ou abertura > 5 mm; contínuas		
PESO RELATIVO	30	25	20	10	0		
Presença de água	Completamente seco	Úmido	Molhado	Água sob pressão moderada	Problemas sérios de água		
PESO RELATIVO	15	10	7	4	0		

Tabela 4 - Fatores de ajuste e classes SMR. Traduzido de Romana *et al.* (2003). Onde P, ruptura planar; T, tombamento; αj rumo do mergulho da junta; αs , rumo do mergulho do talude; βj , mergulho da junta; βs , mergulho do talude.

Fatores de ajuste para as descontinuidades					
CASO	Muito favorável	Favorável	Aceitável	Desfavorável	Muito desfavorável
$P = \alpha j - \alpha s $ $T = (\alpha j - \alpha s) - 180^\circ$	$> 30^\circ$	$30 - 20^\circ$	$20 - 10^\circ$	$10 - 5^\circ$	$< 5^\circ$
P ou T - F1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
$P = \beta j $ $P - F2$	$< 20^\circ$ 0,15	$20 - 30^\circ$ 0,40	$30 - 35^\circ$ 0,70	$35 - 45^\circ$ 0,85	$> 45^\circ$ 1,00
T - F2	1	1	1	1	1
$P = \beta j - \beta s$ $T = \beta j + \beta s$	$> 10^\circ$ $< 110^\circ$	$10 - 0^\circ$ $110 - 120^\circ$	0° $> 120^\circ$	$0 \text{ a } -10^\circ$ -	$< -10^\circ$ -
P ou T F3	0	-6	-25	-50	-60
Valores de F_4 para ajuste ao método de escavação					
Método	Talude Natural	Presplitting	Detonação suave	Detonação ou mecânico	Detonação deficiente
F_4	+15	+10	+8	0	-8

Tabela 5 – Notas finais e descrições no sistema SMR - Traduzido de Romana et al. (2003).

Descrição das classes SMR					
Classe	SMR	Descrição	Estabilidade	Rupturas	Suporte
I	81-100	Muito bom	Completamente estável	Nenhuma	Nenhum
II	61-80	Bom	Estável	Alguns blocos	Ocasional
III	41-60	Normal	Parcialmente estável	Algumas juntas ou muitas cunhas	Sistemático
IV	21-40	Ruim	Instável	Planar ou grandes cunhas	Importante/corretivo
V	0-20	Muito ruim	Completamente instável	Planares grandes ou circular	Reescavação

2.2.3. Sistema SMR

O índice SMR (*Slope Mass Rating*) consiste numa adaptação do sistema RMR proposto por Romana (1993) para o estudo de taludes. Para sua obtenção, utiliza-se o valor do RMR sem o ajuste para a orientação das descontinuidades, ou seja, o RMRb, a qual são adicionados ajustes referentes à orientação relativa entre as descontinuidades e o talude, e outro referente ao método de escavação, segundo a Equação 4:

$$SMR = RMRb + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

Eq. 4

Sendo que:

- RMRb é calculado de acordo por Bieniawski (1993);
- F1 depende do paralelismo entre as descontinuidades e a direção do talude;
- F2 representa o ângulo de mergulho da descontinuidade no modo de ruptura planar; Para rupturas do tipo tombamento, o valor de F2 é constante, igual a 1,00;
- F3 reflete a relação entre a face do talude e o mergulho da descontinuidade. No caso de rupturas planares, este valor reflete a probabilidade de a junta aflorar na face livre;
- F4 é o fator de ajuste para o método de escavação, determinado empiricamente.

A partir dos valores dos quatro parâmetros apresentados, é possível obter-se o valor do SMR, que assim como na classificação RMR, deve ser calculado para cada família de descontinuidades. Os valores de ajustes para a classificação SMR e a descrição de suas pontuações finais estão resumidos pelas Tabelas 4 e 5 respectivamente.

2.3. ESTABILIDADE DE TALUDES EM ROCHA

2.3.1. Caracterização das descontinuidades

O ângulo de atrito utilizado para as análises cinemáticas pode ser obtido a partir dos índices J_r (valor obtido pela rugosidade do plano de descontinuidade) e J_a (valor obtido pelo grau de alteração ou preenchimento da descontinuidade) (Barton, 2002). O índice J_r depende das características texturais do plano da descontinuidade, basicamente sua rugosidade, incluindo a presença de preenchimento. O valor do J_r pode ser estimado a partir da Tabela 6:

Tabela 6 – Valores do J_r para rugosidade de descontinuidades no sistema-Q. Traduzido de NGI (2013) com base em Ávila (2012).

Condições de rugosidade das descontinuidades		J_r
a) Fraturas sem deslocamento relativo. Contato rocha-rocha entre as paredes das fraturas		
b) Fraturas com deslocamento relativo (menos de 10 cm). Contato rocha-rocha entre as paredes das fraturas		
A	Descontínua, não-persistentes	4
B	Rugosa ou irregular, ondulada	3
C	Lisa, ondulada	2
D	Polida, ondulada	1,5
E	Rugosa ou irregular, planar	1,5
F	Lisa, planar	1
G	Polida ou estriada, planar	0,5
Nota: Descrições referem-se a características em escalas pequena e intermediária, nesta ordem		
c) Fraturas com deslocamento relativo. Não há contato rocha-rocha entre as paredes		
H	Zona com argilo-minerais espessa o suficiente para prevenir o contato rocha-rocha depois de cisalhado	1

O índice J_a é relativo às características do preenchimento como espessura e grau de alteração, sendo influenciado diretamente pela sua composição mineral. Para a sua

determinação, as paredes de alteração podem ser divididas em três categorias dependendo das espessuras e tipos de contatos. O índice pode ser obtido a partir da Tabela 7:

Para a estimativa de tais índices, todas as famílias de descontinuidades do local devem ser avaliadas individualmente. Os valores mais desfavoráveis quanto à estabilidade do maciço devem ser escolhidos, ou seja, aqueles para os quais a família de descontinuidade mostra maior possibilidade de cisalhamento (Barton, 1976). Tais índices de avaliação de contatos rocha-rocha representam, segundo Barton (2002), uma quantificação sensata para a resistência ao cisalhamento das famílias de descontinuidades menos favoráveis em um maciço.

Tabela 7 – Valores do J_a para alteração de descontinuidades no sistema-Q. Φ_r indica o intervalo aproximado para o ângulo de atrito esperado para determinadas condições. Traduzido de NGI (2013) com base em Ávila (2012).

Condições de alteração das descontinuidades		Φ_r aprox.	J_a
a) Fraturas sem deslocamento relativo. Há contato rocha-rocha entre as paredes das fraturas			
A	Paredes duras, compactas, preenchimentos impermeáveis (quartzo ou epidoto).	-	0.75
B	Paredes inalteradas, somente leve descoloração	25-35°	1
C	Paredes ligeiramente alteradas, com partículas arenosas e rochas desintegradas não-argilosas.	25-30°	2
D	Paredes com películas siltosas ou areno-argilosas	20-25°	3
E	Películas de materiais moles ou de baixa fricção (caulinita, mica, talco, etc) e pequena quantidade de minerais expansivos	8-16°	4
b) Fraturas com deslocamento relativo (menos de 10 cm). Contato rocha-rocha entre as paredes das fraturas			
F	Partículas de areia, rocha desintegrada sem argila, etc	25-30°	4
G	Preenchimento argiloso sobreconsolidado (menos de 5 mm)	16-24°	6
H	Preenchimento argiloso subconsolidado (menos de 5 mm)	12-16°	8
I	Preenchimento com argilas expansivas (montmorilonita), (contínuo, mas com menos de 5 mm de espessura)	6-12°	8-12
c) Fraturas com deslocamento relativo. Não há contato rocha-rocha entre as paredes das fraturas.			
J	Zonas ou bandas de rochas desintegrada. Fortemente consolidada	16-24°	6
K	Zonas ou bandas de argila ou rocha desintegrada. Média a baixa consolidação ou preenchimentos maleáveis	12-16°	8
L	Zonas ou bandas de argila ou rocha desintegrada, com argila expansiva.	6-12°	8-12
M	Espessas e contínuas zonas ou bandas de argila. Fortemente consolidado	12-16°	10
N	Espessas zonas ou bandas de argila. Média a baixa consolidação	12-16°	13
O	Espessas zonas ou bandas de argila, com argilas expansivas.	6-12°	13-20

A Equação 5 (Barton *et al.*, 1974; Barton, 2002) pode ser considerada uma boa aproximação para o atual ângulo de atrito (ϕ) que devemos esperar das combinações entre rugosidades e preenchimento de um material.

$$\phi = \arctan\left(\frac{J_r}{J_a}\right)$$

Eq. 5

Valores provenientes da equação acima por meio de retro-análises em estudos de casos mostram valores muito realistas para estimativas de ângulos de atrito de descontinuidades (Barton, 2002). A Tabela 8, mostra o resultado de estimativas de ângulos de atrito para diferentes condições de contatos entre descontinuidade e valores de J_a/J_r :

Tabela 8 – Comportamento friccional entre blocos extraídos a partir de índices J_r e J_a . Ângulos de atrito estimados a partir da função $\arctg(J_r/J_a)$ (Barton, 2002).

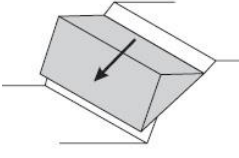
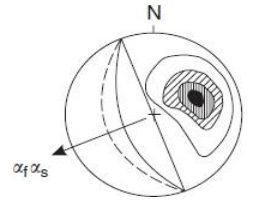
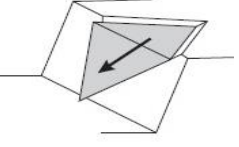
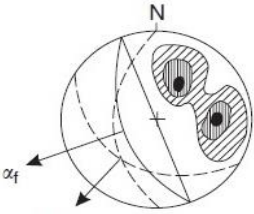
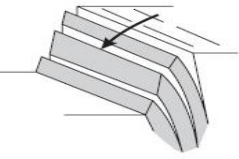
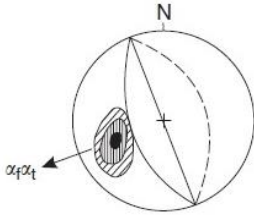
Contato rocha-rocha		Contatos descoloridos						
	$\frac{J_a}{J_r}$	0.75	1.0	2	3	4		
		$\tan^{-1}(J_r/J_a)$						
A. Descontínua	4	79°	76°	63°	53°	45°		
B. Rugosa, ondulada	3	76°	72°	56°	45°	37°		
C. Lisa, ondulada	2	69°	63°	45°	34°	27°		
D. Polida, ondulada	1.5	63°	56°	37°	27°	21°		
E. Rugosa, planar	1.5	63°	56°	37°	27°	21°		
F. Lisa, Planar	1.0	53°	45°	27°	18°	14°		
G. Polida, planar	0.5	34°	27°	14°	9.5°	7.1°		
Contato rocha-rocha deslocado		Preenchimento estreito						
	$\frac{-J_a}{J_r}$	4	6	8	12			
		$\tan^{-1}(J_r/J_a)$						
A. Descontínua	4	45°	34°	27°		18°		
B. Rugosa, ondulada	3	37°	27°	21°		14°		
C. Lisa, ondulada	2	27°	16°	14°		9.5°		
D. Polida, 'ondulada	1.5	21°	14°	11°		7.1°		
E. Rugosa, planar	1.5	21°	14°	11°		7.1°		
F. Lisa, planar	1.0	14°	9.5°	7.1°		4.7°		
G. Polida, planar	0.5	7°	4.7°	3.6°		2.4°		
Sem contato rocha-rocha depois de deslocado		Preenchimento espesso						
	$\frac{-J_a}{J_r}$	5	6	8	12	13	16	20
		$\tan^{-1}(J_r/J_a)$						
Rugosidade nominal das descontinuidades nas paredes das fraturas	1.0	11.3°	9.5°	7.1°	4.8°	4.4°	3.6°	2.9°

2.3.2. Tipos de rupturas

Maciço rochoso pode ser definido como um agregado de blocos descontínuos, separados por diferentes tipos de descontinuidades geológicas. Trata-se de um material envolto por complexo sistema de descontinuidades, tais como falhas, juntas, acamamentos,

etc., que isolam blocos de rocha intacta de formas geométricas irregulares. Em linhas gerais, pode ser definido como a rocha intacta mais as descontinuidades observadas em escala de afloramento (Bieniawski, 1989).

Tabela 9 – Tipos de ruptura e condições de instabilidade. Traduzido de Wylie e Mah (2004).

Tipo de Ruptura	Estereograma	Condições Estruturais
Planar 		-Descontinuidade apresenta ângulo de mergulho menor que o do talude e direção paralela à face do talude. -Mergulho da descontinuidade maior que o ângulo de atrito.
Em Cunha 		- Direção da intersecção dos planos de descontinuidade próxima da direção do mergulho do talude. - O mergulho da intersecção menor que o mergulho do talude e maior que o ângulo de atrito.
Tombamento 		- Rocha resistente contendo descontinuidades com mergulho alto para dentro do talude. - Normal ao plano de tombamento com mergulho menor que a inclinação do talude e menor que o ângulo de atrito
Legenda:		
	Concentração dos polos	α_f Rumo do mergulho da face do talude α_s Direção de deslizamento α_t Direção de tombamento α_i Rumo do mergulho da linha de intersecção
	Grande círculo representando a face do talude	
	Grande círculo representando as descontinuidades.	

As estruturas geológico-geomecânicas exercem enorme influência sobre a estabilidade do maciço rochoso. Rupturas de taludes estão condicionadas à intersecção e a orientação espacial de diferentes sistemas de descontinuidades como fraturas, juntas, falhas, contatos geológicos e foliações metamórficas. A orientação dos sistemas de descontinuidades em relação à geometria da superfície de corte de um talude pode indicar se existe risco de instabilidade.

2.3.3. Análise cinemática

Os diferentes tipos de rupturas estão associados à diferentes estruturas geológicas e alguns dos padrões estruturais podem ser identificados por meio da análise dos polos dos

planos de descontinuidades. A análise de estabilidade cinemática é realizada por meio de estereogramas, onde são plotados, além dos polos das descontinuidades mapeadas, a direção e rumo do mergulho da face do talude e o ângulo de atrito da descontinuidade. Tais dados são utilizados para construir as zonas críticas dos diferentes tipos de rupturas. Dessa forma, pode-se identificar famílias que possuem planos de descontinuidades com potenciais para rupturas e eliminar aqueles que não representam perigo (Wyllie e Mah, 2004). A Figura 7, representa de modo geral as direções das descontinuidades em relação à face do talude e suas possibilidades de rupturas.

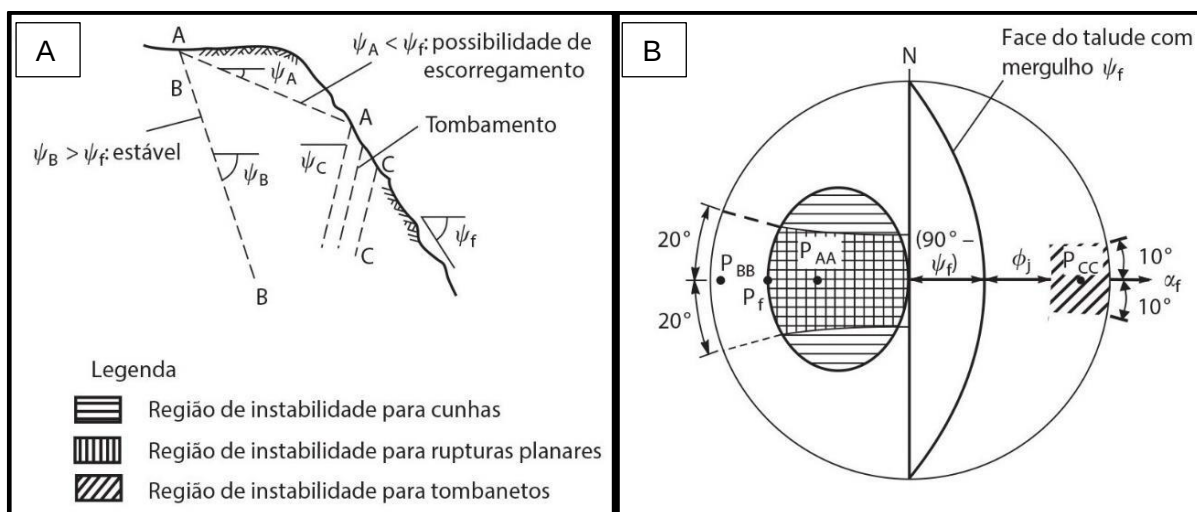


Figura 7 - Análise cinemática de taludes rochosos: famílias de descontinuidades no talude (A); e regiões de instabilidade em projeções estereográficas de igual área (B). Extraído de Willye e Mah (2004).

Rupturas planares ocorrem quando o ângulo de mergulho do plano de descontinuidade é menor que o ângulo de mergulho do talude (ψ_f), como ocorre no plano AA (ψ_A) da Figura 7 A. O plano BB (ψ_B), por outro lado, apresenta ângulo de mergulho maior do que o do talude, configurando uma situação estável. Esse tipo de ruptura não é possível se o rumo do mergulho da descontinuidade diferir do rumo do mergulho do talude em mais do que 20° , pois nessas condições haveria maior espessura da rocha intacta em contato com o bloco, aumentando suficientemente a força para impedir a ruptura (Wyllie e Mah, 2004). Esta situação é representada do estereograma por duas linhas com direções $(\alpha_f + 20^\circ)$ e $(\alpha_f - 20^\circ)$ que designarão os limites laterais de instabilidade. Dessa forma, os polos dos planos instáveis irão aparecer no interior da zona com hachuras verticais, definida como a zona de instabilidade (Figura 7 B).

Rupturas em cunha são possíveis quando dois planos de descontinuidades se cruzam e a linha de intersecção entre estes dois planos aflora na face do talude. Dessa forma a linha de intersecção entre os dois planos (ψ_i) será exibido no estereograma na forma de um ponto e será considerada uma cunha instável se a intersecção apresentar ângulo de mergulho menor que o da face do talude ($\psi_i < \psi_f$) e maior que o ângulo de atrito dos planos envolvidos. A direção de queda a qual os blocos formados por este mecanismo cinemático poderão

percorrer pode ser mais variada do que em relação às rupturas planares, pois para as cunhas existem dois planos formando possíveis superfícies de deslizamento (Willye e Mah, 2004)

Para que ocorra tombamento o ângulo entre a direção de mergulho das descontinuidades que mergulham para dentro da face do talude e o rumo do mergulho da face do talude não pode ser maior que 10 graus, de forma a permitir a formação de uma série de placas paralelas à face do talude (Willye e Mah, 2004). Serão consideradas instáveis os planos de descontinuidades com ângulo de mergulho superior ao ângulo de atrito e além disso, tornam-se progressivamente mais instáveis taludes mais inclinados. Polos de planos de descontinuidades suscetíveis a tombamento estarão contidos nessa área do estereograma (Pcc), do lado oposto à região de instabilidade para rupturas planares (Figura 7 B). Para este caso, deve-se levar em consideração o ângulo de atrito da superfície onde ocorre o deslizamento. Esta análise é feita assumindo que o atrito é a única força de cisalhamento atuante na rocha e que a coesão é igual a zero (Willye e Mah, 2004). No estereograma o atrito é tratado como um cone, projetado com um círculo mínimo e raio igual ao valor do ângulo de atrito.

2.4. CLASSIFICAÇÃO DE RISCO RHRS

Nos últimos anos, várias metodologias foram criadas com o intuito de avaliar o perigo de queda de blocos em áreas potencialmente perigosas (Ferrari *et al.*, 2016). De forma geral, um “perigo” pode ser classificado como um evento, natural ou induzido, com potencial de criar perdas. Já o “risco” é a exposição de algo de valor ao homem ao perigo, seja valor social econômico ou ambiental. Ele é medido como uma probabilidade deste perigo se concretizar e criar perda de algum tipo seja ela humana ou material (Smith e Petley, 2013).

O RHRS (*Rockfall Hazard Rating System*) é um método desenvolvido por Pierson *et al.* (1990) que permite avaliar o grau de exposição de uma rodovia quanto ao risco de quedas de blocos em regiões próximas à taludes rochosos. Trata-se de um método simples para a determinação de encostas perigosas para o tráfego que permite auxiliar os órgãos públicos na gestão de áreas críticas. Budetta (2004) modificou o índice para incluir as características geológicas da área, por meio do parâmetro SMR (*Slope Mass Rating*). Por meio da análise de nove parâmetros (Tabela 10) chega-se a uma pontuação final que indicará a magnitude do perigo aos usuários da estrada em caso de queda de blocos na via.

Tabela 10 – Critérios e pontuações para cada parâmetro avaliado pelo Rockfall Hazard Rating System. Extraído de Budetta, 2004.

Parâmetro	Critérios e pontuação			
	3 PONTOS	9 PONTOS	27 PONTOS	81 PONTOS
Altura do Talude	7,5m	15 m	22,5 m	30m
Efetividade da área de captura	Boa captura	Captura moderada	Captura limitada	Sem captura
Risco médio ao veículo	25% do tempo	50% do tempo	75% do tempo	100% do tempo
Porcentagem da distância de visibilidade	100% Adequada	80% Moderada	60% Limitada	40% Muito limitada
Largura do pavimento	21,5 m	15,5 m	9,5 m	3,5 m
Dimensão do bloco	0,3 m	0,6 m	0,9 m	1,2 m
Precipitação média anual (mm)	300	600	900	1200
Frequência de Quedas de blocos	1 a cada 10 anos	3 por ano	6 por ano	9 por ano
SMR	80	40	27	20

Alguns dos itens componentes da classificação podem ser obtidos diretamente em campo, tais como a “altura do talude”, a “largura do pavimento” e as “dimensões dos blocos”. O SMR representa a característica geológica do talude na proposta de Budetta (2004) e seu valor é mensurado para cada trecho de talude analisado.

Para se avaliar a “efetividade da área de captura”, ou seja, se o espaço existente entre a base do talude e o início do pavimento é suficiente para impedir que um bloco de rocha atinja a pista, recorre-se ao *Ábaco de Ritchie* (Ritchie, 1963) (Figura 8) que relaciona a altura do talude com seu ângulo de inclinação. O cruzamento de dados fornece um dimensionamento correto para a largura e profundidade de áreas na base do talude que podem receber blocos provenientes de rupturas sem atingir a faixa de rolamento. Trata-se, basicamente, do dimensionamento entre a área entre o talude e o início do acostamento.

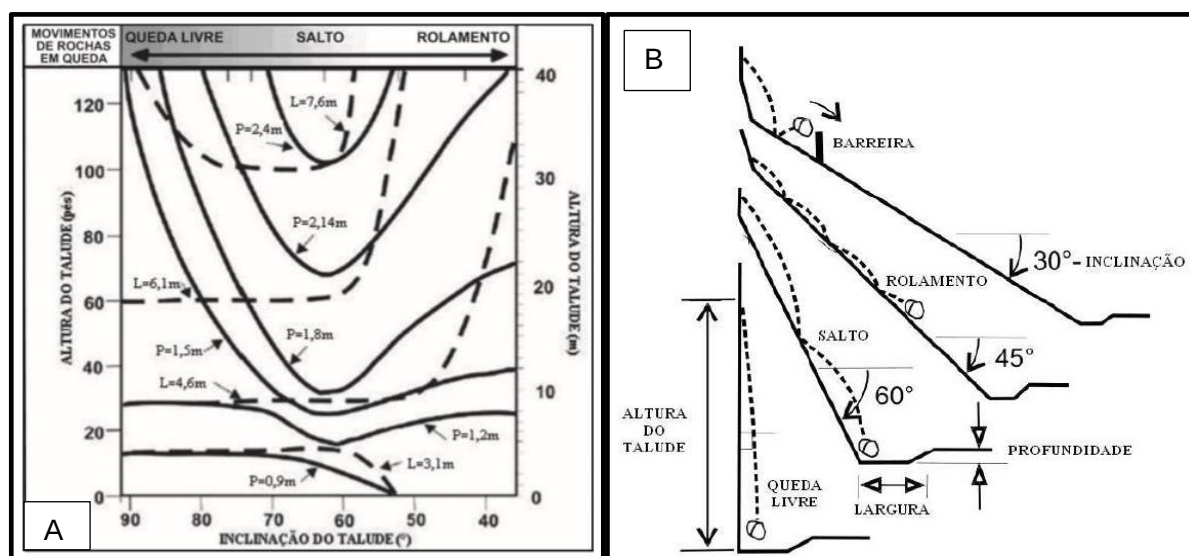


Figura 8 – Ábaco de Ritchie para determinação da largura (L) e da profundidade (P) da área de captação em função da altura e do ângulo de inclinação do talude (A). Possíveis trajetórias de blocos (B). Extraído de Ritchie (1963).

O índice do “Risco Médio ao Veículo” (RMV) fornece um valor percentual da quantidade de tempo que um veículo permanece na zona de perigo de queda de blocos e é obtido por meio da Equação 6 (Pierson *et al.*, 1990):

$$RV = \frac{VDM \times CC}{VL}$$
Eq. 6

Sendo VDM o tráfego médio diário (carros/dia); CC é o comprimento do corte (km) e VL é a velocidade limite (km/h).

A porcentagem da distância de visibilidade (DV) é usada para determinar o comprimento da rodovia que o motorista possui para tomar uma decisão instantânea. (Gomes 2012). O índice DV é obtido por meio da Equação a seguir:

$$DV = \frac{DVR}{DVP} \times 100\%$$
Eq. 7

Sendo DVR a Distância de Visibilidade Real a um ponto de obstáculo, obtido diretamente em campo, e o DVP a distância de visibilidade de projeto, que leva em conta a velocidade da via, atrito entre pneu e o pavimento e inclinação do greide.

O índice da “Precipitação anual média” representa a influência do fator climático na estabilidade de maciços rochosos fraturados. A água, ao percolar pelas discontinuidades, promove a redução da resistência ao cisalhamento do maciço com o incremento da poropressão nas fraturas (Gomes e Sobreira, 2012).

A “Frequência de queda de blocos” é estimada por meio de registros ao longo dos anos buscando informações principalmente nos registros nas mídias locais da cidade e órgãos públicos como a Defesa Civil.

Quando a somatória das notas é inferior a 300, “trabalhos de remediação no talude são considerados de baixa urgência”, entretanto, se a nota final for maior que 500, o talude “necessitará trabalhos de estabilização imediatos”. Valores intermediários representam “taludes com alta prioridade para tratamento”, devendo cada caso ser avaliado individualmente. As notas para cada parâmetro são obtidas de forma exponencial, a través de equações do tipo $y = 3^{f(x)}$. As formulas para o cálculo de cada um dos fatores é representada na Tabela 11 que é especialmente útil quando os parâmetros analisados na Tabela 10 incluem valores intermediários entre as pontuações.

Tabela 11 – Funções exponenciais para os cálculos de pontuação RHRS modificado. Extraído de Budetta (2004).

CATEGORIA	FÓRMULA
Altura do talude (H)	$N=3^{H/7,5}$
Efetividade da área de captura	-
Risco médio ao veículo (AVR)	$N=3^{AVR/25}$
Porcentagem da distância de visibilidade (Da)	$N=3^{(120-\%Da)/20}$
Largura do pavimento (L)	$N=3^{(27,5-L)/6}$
Dimensão do bloco (D)	$N=3^{D/0,3}$
Condições climáticas (C)	$N=3^{C/300}$
Características geológicas (SMR)	$N=3^{80/SMR}$
Frequência de queda de blocos (F)	$N=3^{1+(0,334 \cdot F)}$

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Mapeamento Geológico

Por meio do mapeamento das rochas aflorantes no trecho de estudo estabeleceu-se o modelo geológico e estrutural adequado à análise de estabilidade dos taludes. Como base para o mapeamento foram utilizados mapa topográfico em escala 1:2.000 e ortofotos disponibilizados pela EMPLASA. As medidas de atitudes de camadas e das discontinuidades foram efetuadas com bússola e as coordenadas dos pontos de mapeamento foram obtidas com o auxílio de um aparelho de GPS.

Sete trabalhos de campo foram realizados no período com o intuito de coletar os dados lito-estruturais necessários para a execução da pesquisa. Os dados coletados em campo, principalmente em relação às discontinuidades dos maciços analisados, serviram como base para o tratamento dos dados coletados e interpretação dos resultados contido neste relatório.

3.2. Coleta e tratamento dos dados

O local de estudo tem 1.095 m de comprimento, com taludes rochosos próximos ao pavimento em determinados pontos. O trecho foi dividido em 15 taludes, de modo a priorizar trechos onde já existem evidências de instabilidade (blocos caídos e rolados que atualmente encontram-se caídos próximos à rodovia). Os locais onde ocorrem afloramentos rochosos foram definidos e nomeados conforme a Figura 9. Para cada talude, foi realizado levantamento estrutural através do mapeamento de discontinuidades presentes como planos de falha, de fraturas e foliação principal. Parâmetros como direção e inclinação dos taludes foram medidos em campo juntamente com o RQD*. A resistência à compressão uniaxial (RCU) foi estimada para cada talude utilizando como base a classificação proposta em ISRM (1978), que chega aos resultados por meio de testes com amostras de campo.

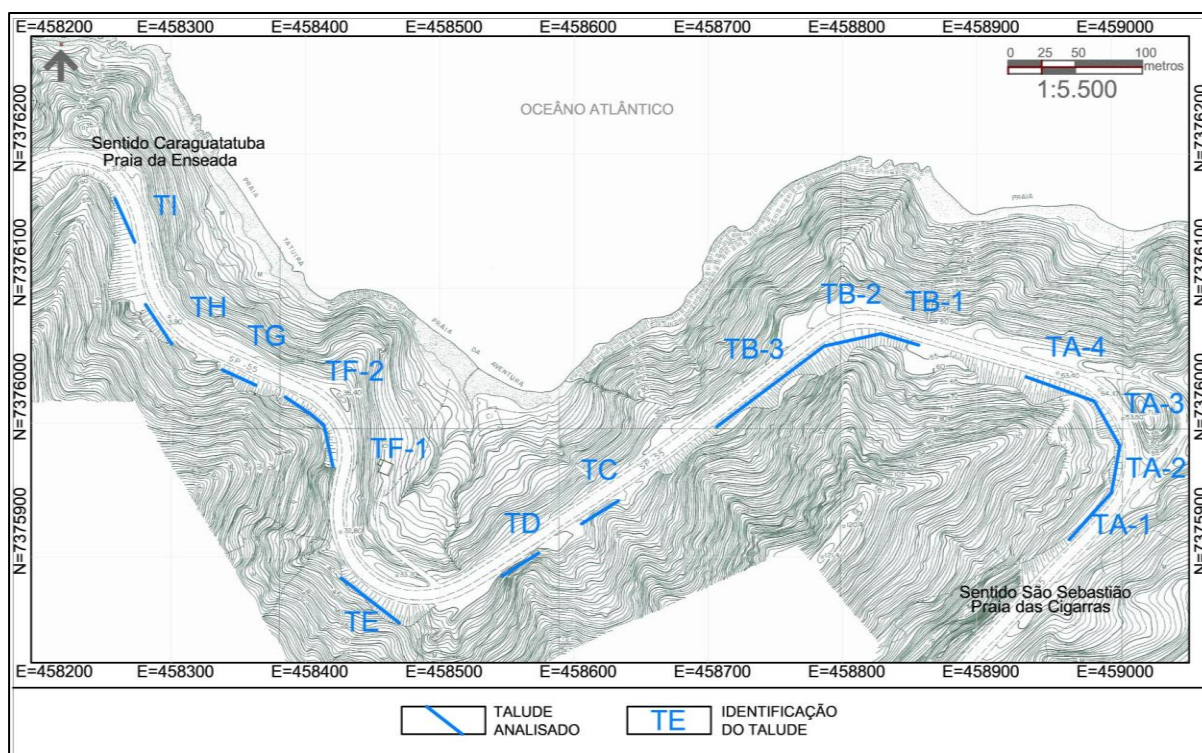


Figura 9 - Localização e nomenclatura dos taludes analisados.

Nos locais onde o afloramento é curvo, foram definidas diferentes direções de talude (casos dos taludes das séries TA-X, TB-X e TF-X), de forma a contemplar mais direções na análise cinemática, como no exemplo hipotético da Figura 10. Os taludes TB-1, TB-2 e TB-3, por exemplo, constituem-se de um único afloramento contínuo, mas foram divididos em três taludes, que representam as direções principais do afloramento. Para estabelecer a classificação geomecânica do maciço, as discontinuidades foram caracterizadas tendo como base metodologias empíricas, tais como o RMR proposto por Bieniawski (1989) e o SMR de Romana (1993). Por meio da observação direta foram descritas persistência, abertura, rugosidade, preenchimento, grau de alteração, espaçamento, presença de água, tamanho dos blocos e RQD*.

Em alguns pontos o maciço encontrava-se tomado por vegetação, principalmente nas bases dos taludes, o que gerou certa dificuldade na tomada de medidas estruturais e inviabilizou a execução de uma *scanline* para cada talude. Devido a estas dificuldades optou-se por fazer uma linha de varredura num talude próximo (Figura 11 e Figura 12), maior, com as mesmas características geológicas e estruturais dos maciços da área de estudo. Tendo em vista essa ressalva a obtenção do RQD* seguiu o proposto no 2.2.1. Uma fita foi colada à parede do maciço, onde foram marcadas todas as discontinuidades intersectadas pela fita e seus espaçamentos. Assim sendo, a *scanline* foi utilizada apenas para obtenção do RQD* e este, devido à homogeneidade do maciço, foi aplicado a todos os taludes analisados. A coleta de dados das discontinuidades dos taludes, como espaçamento das discontinuidades, resistência da rocha, grau de alteração das paredes foram tomadas para cada talude em

quantas fraturas fossem possíveis. Todas as medidas de atitudes de planos apresentadas neste trabalho estão na notação *Clar* (rumo do mergulho / mergulho).

Para cada família de descontinuidade foram definidos parâmetros que permitiram estimar o ângulo de atrito para cada uma delas. Com o ângulo de atrito escolhido como mais representativo para o maciço partiu-se para realização de análises cinemáticas de estabilidade nos taludes, onde foram identificados os mecanismos de ruptura responsáveis pela queda de blocos na beira da estrada. Com o programa DIPS 6.0, da *Rocscience*, os dados de direção e mergulho das descontinuidades foram tratados para obtenção das principais famílias de descontinuidades.

Os dados de tráfego e índices pluviométricos necessários para a caracterização dos parâmetros na avaliação de queda de blocos para o índice de risco foram encontrados em sites do DER (Departamento de Estradas de Rodagem) e do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) respectivamente.

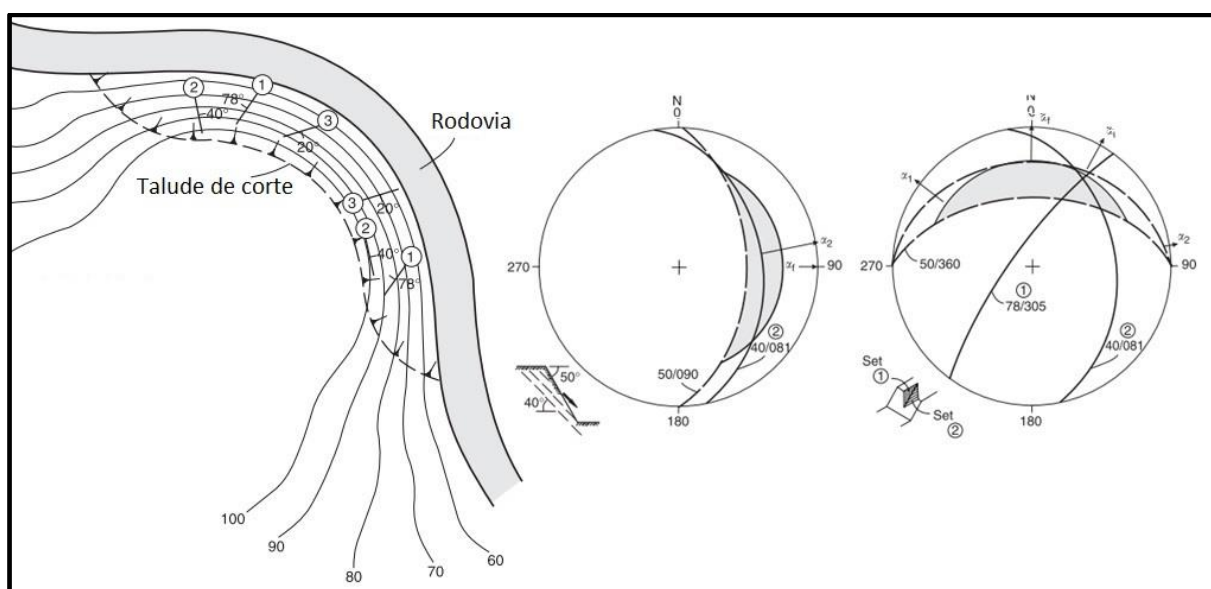


Figura 10 – Exemplo de análise de estabilidade em talude rodoviário curvo, utilizando duas direções preferenciais. Extraído de Willie e Mah (2004).

Tabela 12- Estimativa da resistência à compressão uniaxial de rochas. Fonte: ISRM (1978).

Grau de Resistência	Descrição	Identificação de Campo	Resistência à compressão uniaxial aproximada (MPa)
R0	Rocha extremamente branda	Pode ser endentada pela unha	0,25-1,0
R1	Rocha muito branda	Esmigalha-se com um golpe firme do martelo geológico, pode ser riscada pelo canivete	1,0-5,0
R2	Rocha branda	Riscada pelo canivete com dificuldade, pode ser endentada superficialmente pela ponta do martelo geológico	5,0-25
R3	Rocha medianamente resistente	Não pode ser riscada pelo canivete. Amostras quebram-se sob um único impacto firme do martelo geológico	25-50
R4	Rocha resistente	Amostras requerem mais de um golpe do martelo geológico para quebra	50-100
R5	Rocha muito resistente	Amostras requerem muitos golpes firmes com martelo geológico para quebra	100-250
R6	Rocha extremamente resistente	Amostras são apenas lascadas com o martelo geológico	>250



Figura 11 - Localização do local onde foi medido o RQD* do maciço e relação à área de estudo.



Figura 12 - Afloramento onde foi medido o RQD* do maciço.

3.3. Análise cinemática de estabilidade dos taludes

A análise de estabilidade cinemática dos taludes foi realizada por meio do *software* Dips 6.0 fabricado e distribuído pela *Rocscience*. Sua interface permite a observação das condições geométricas para rupturas planares, em cunha e tombamento, tendo como base os polos dos planos das diferentes discontinuidades mapeadas em campo, o ângulo de atrito para a família de discontinuidades e a direção e mergulho do talude. O programa se utiliza basicamente dos conceitos expostos no item 2.3.3 para a análise de estabilidade de taludes, exibindo estereogramas com destaque para as condições de instabilidade para cada tipo de ruptura.

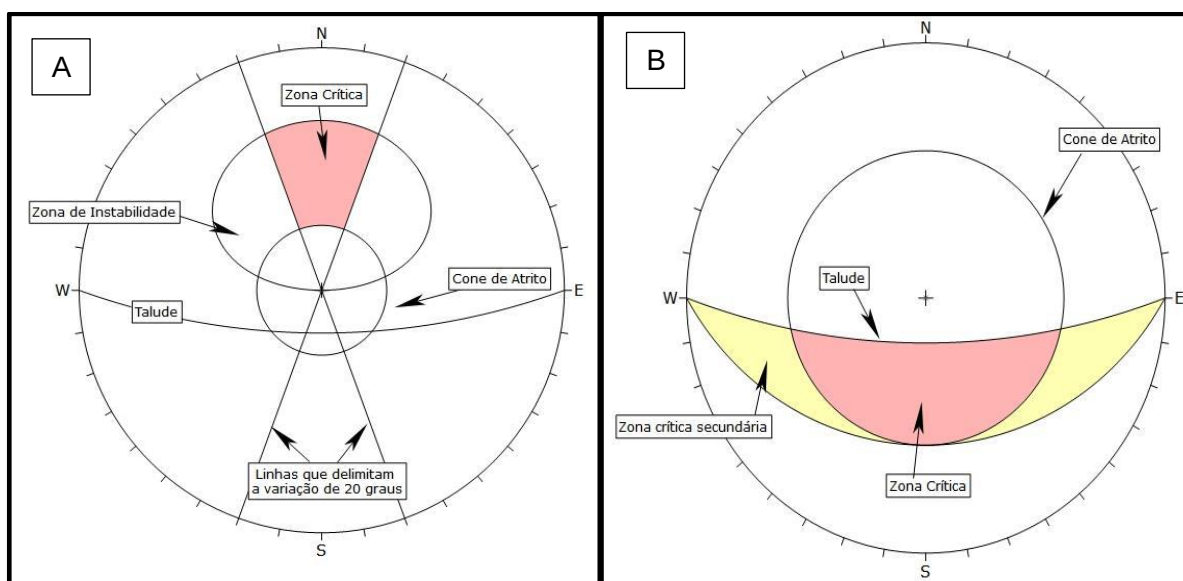


Figura 13 - Exemplo de estereograma do programa *Dips* 6.0. Elementos para análise de estabilidade para rupturas planares (A). Elementos para análise de estabilidade para rupturas e em cunha (B).

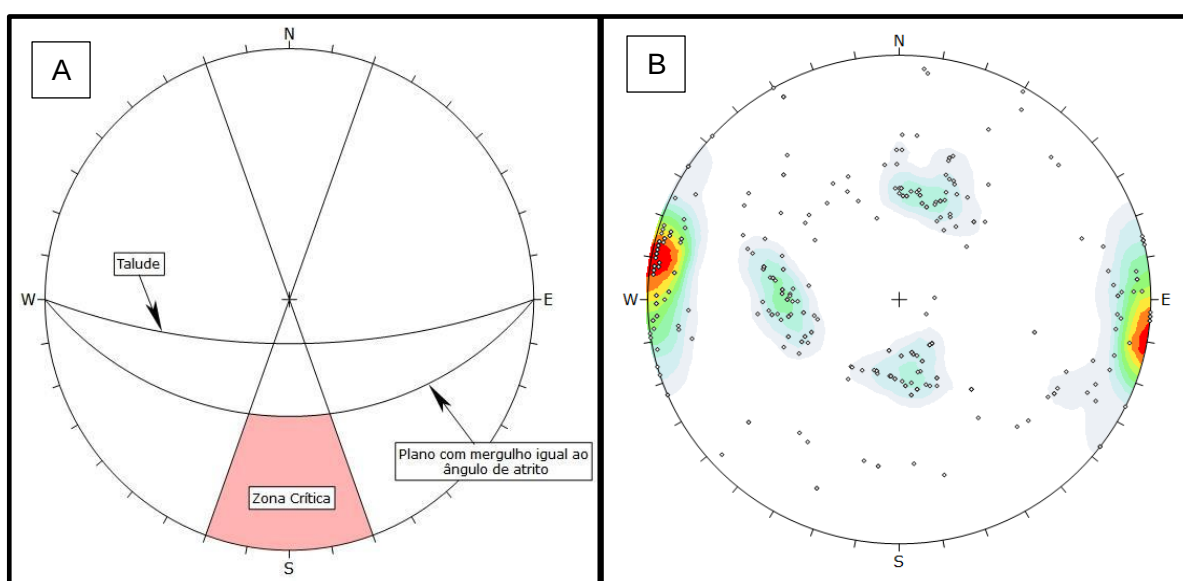


Figura 14 – Exemplo de estereograma do programa *Dips* 6.0 com os elementos para análise de estabilidade para Tombamento flexural (A). Exemplo hipotético de polos de foliação e suas concentrações (B).

No caso de rupturas planares, por exemplo, os polos dos planos com possibilidade de instabilidade se posicionarão dentro da área rósea, como pode ser observado na Figura 13 A. Para esta situação a área crítica é limitada pelo cone de atrito plotado a partir do centro do estereograma e as linhas laterais que sinalizam as condições de paralelismo necessárias para que a estabilidade seja possível.

Para rupturas em cunhas, a área crítica deve ser preenchida não por polos de planos, mas sim pelas intersecções de planos de descontinuidade, e o ângulo de atrito, diferentemente da análise para rupturas planares, é plotado a partir da borda do estereograma. Os pontos marcados na área rósea indicarão, portanto, as atitudes das linhas de intersecção entre planos que formarão uma cunha instável. A zona crítica secundária, marcada em bege, representa áreas onde mesmo que a linha de intersecção aflore na face do talude, sua inclinação é tal que não permite que a cunha “deslize”. A zona crítica é definida pelo cone de atrito plotado a partir das bordas e o talude.

No último caso, tombamento flexural, o plano que representa o ângulo de atrito também é plantado a partir das bordas e a área crítica para rupturas é definida para inclinações menores que essa e, como no caso de rupturas planares, limitados lateralmente por limites laterais. Dessa forma, os polos dos planos localizados dentro da área rósea serão considerados planos instáveis.

3.4. Classificação de risco RHRS

Para a definição da pontuação de risco segundo o RHRS (*Rockfall Hazard Rating System*), diversos itens devem ser considerados, conforme o item 3.1.4.

O posto de medição do DER mais próximo do trecho em análise é o Posto 20, no km 117, que compreende o fluxo de automóveis entre os km 102+300 m e km 124+350 m. Os dados mais recentes de volume diário médio de tráfego (VDM) mostram que no ano de 2016 o VDM foi de 16.587 veículos por dia no trecho (DER, 2015). A velocidade máxima do local é de 70 km/h, indicada nas placas de sinalização próximas. A largura do pavimento foi medida em campo em cerca de 11 metros.

A média histórica de chuvas (1943-2016) obtida por meio do DAEE (DAEE 2017) mostra que o mês mais chuvoso na área é janeiro, com média de 181,33 mm. O acumulado das médias mensais de 1943 a 2015 (média histórica) foi de 1210,34 mm e este foi o dado utilizado como parâmetro para a classificação. O pluviômetro utilizado é o de prefixo E2-045, o mais próximo à área de estudo, a cerca de 4 km de distância. A dimensão dos blocos foi estabelecida com base em uma média dos diâmetros dos blocos encontrados caídos ao longo de cada talude. As alturas dos taludes foram estimadas em campo com o uso de clinômetro e confirmados junto aos mapas topográficos disponíveis. A *Efetividade da Área de Captura* foi

estabelecida para cada talude por meio da utilização do *Ábaco de Ritchie* (Figura 8), em função das medidas de altura e inclinação do talude, e interpolando com a largura e profundidade de áreas na base do talude.

4. RESULTADOS

4.1. Aspectos geológicos e estruturais locais

A área de estudo enquadra-se no contexto geológico-estrutural definido por Mafra (2000) como Complexo Gnáissico-Migmatítico. Foram identificados na área de estudo fundamentalmente biotita gnaisses bandados de textura granolepidoblástica fina a grossa, compostos por quartzo, biotita, muscovita, plagioclásio, K-feldspato, localmente enriquecidos com granadas. A foliação é formada pela orientação preferencial das micas (em menor escala silimanita) dando à foliação gnáissica um aspecto muitas vezes xistoso quando a concentração de mica é maior (Figura 15 A).

Localmente são identificadas bandas enriquecidas em quartzo e feldspato e/ou bandas mais migmatizadas, quando passa a exibir granulação média a grossa. Nos trechos migmatizados, foram observadas principalmente estruturas flebíticas e estromatíticas (Figura 15 B), localmente dobradas, além de dobras ptigmáticas (Figura 16 A) e trechos com feições de estiramento (boudin) do neosoma (Figura 16 B).

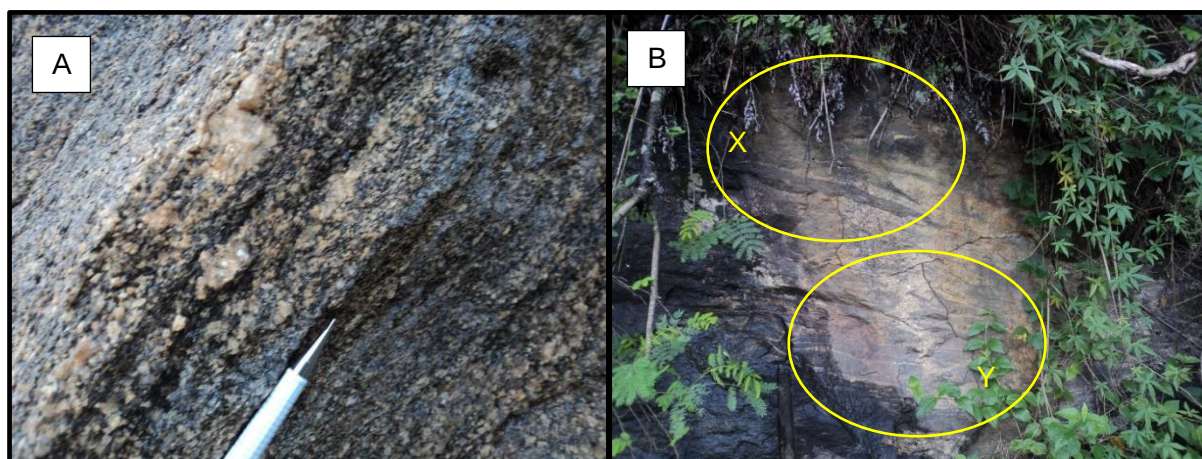


Figura 15 – Bandamento gnáissico enriquecido em mica (A). Porção migmatizada exibindo texturas flebíticas (Y) e estromáticas (X) (B).

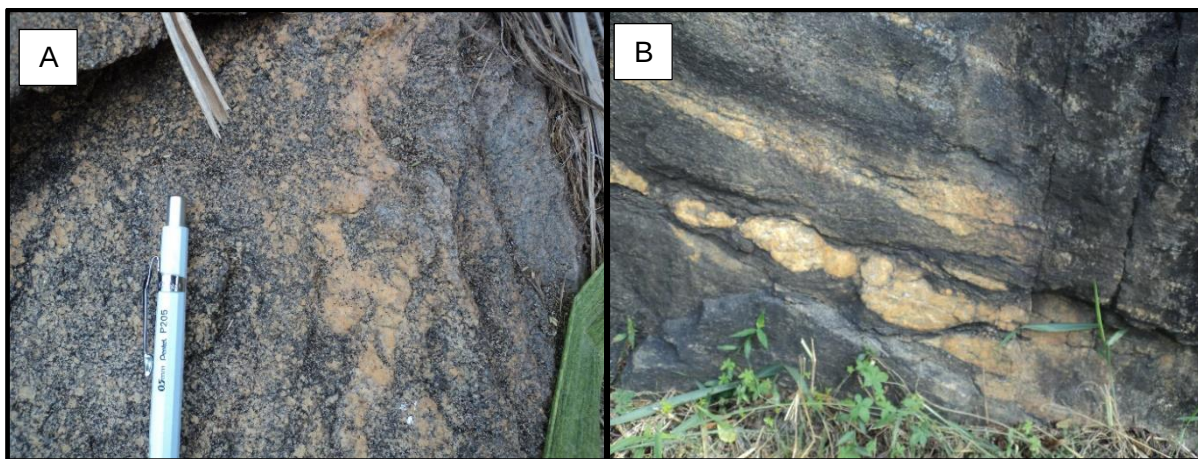


Figura 16 – Dobras pitigmáticas (A). *Boudins* paralelos à foliação (B).

As rochas mapeadas apresentam estrutura geral na direção ENE-WSW, com mergulhos medianos para NW marcados pela foliação S, definida pela orientação preferencial das micas. Esta estruturação está de acordo com a direção preferencial do sudeste brasileiro, segundo o qual encontram-se as grandes zonas de cisalhamento. A foliação tem, de modo geral, mergulhos médios geralmente entre 50° e 70° para NW.

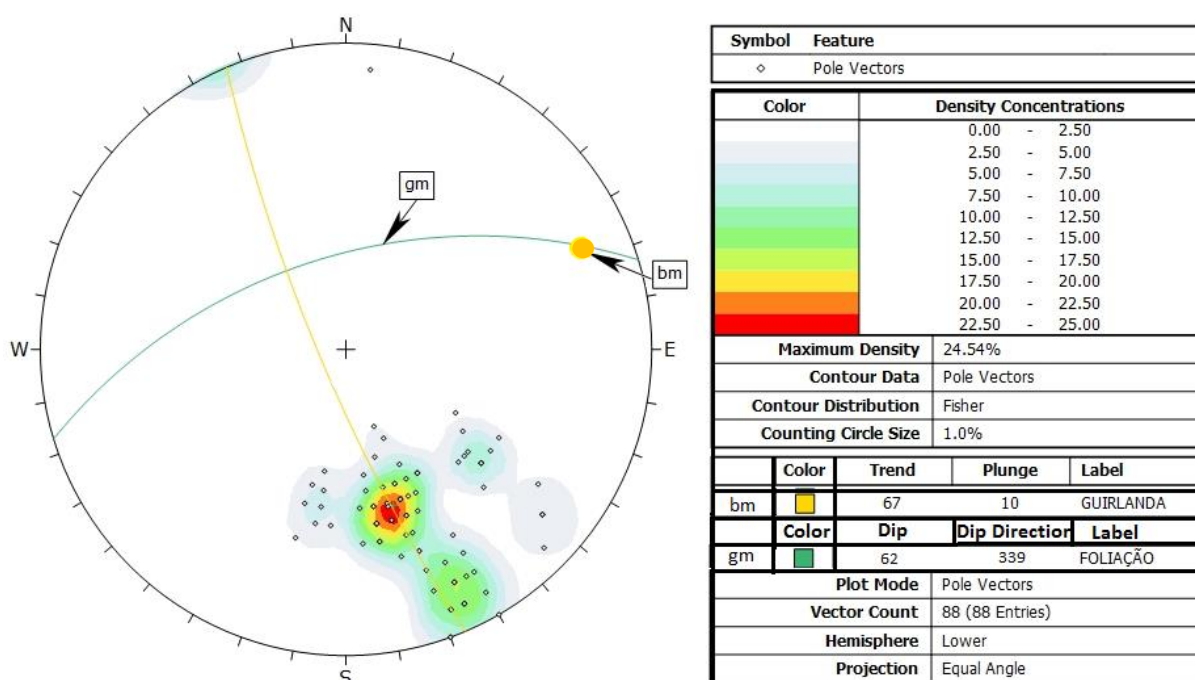


Figura 17 – Polos das foliações dos taludes mapeados. Em amarelo o plano com o melhor ajuste dos dados e seu eixo b construído (bm). Em verde o plano referente à média das medidas de foliação (gm). Diagrama Schmmidt-Lambert, hemisfério inferior.

O número de medidas esteve restrito à possibilidade de acesso devido à vegetação que em muitos pontos encobre o afloramento e impede uma análise mais precisa. Como pode ser observado na Figura 17 a distribuição das foliações é unimodal, ou seja, uma única família em torno de uma orientação média com atitude 339/62. A linha amarela representa o melhor

ajuste da guirlanda e o círculo amarelo o eixo B construído, de caimento 067/10, representando o eixo de dobramento inferido. A foliação é a descontinuidade que apresenta maior frequência sendo nomeada neste trabalho como FL-1. Como pode ser observado na Figura 18, foram identificadas ao todo cinco famílias de descontinuidades, sendo, além da foliação descrita mais quatro famílias de fraturas.

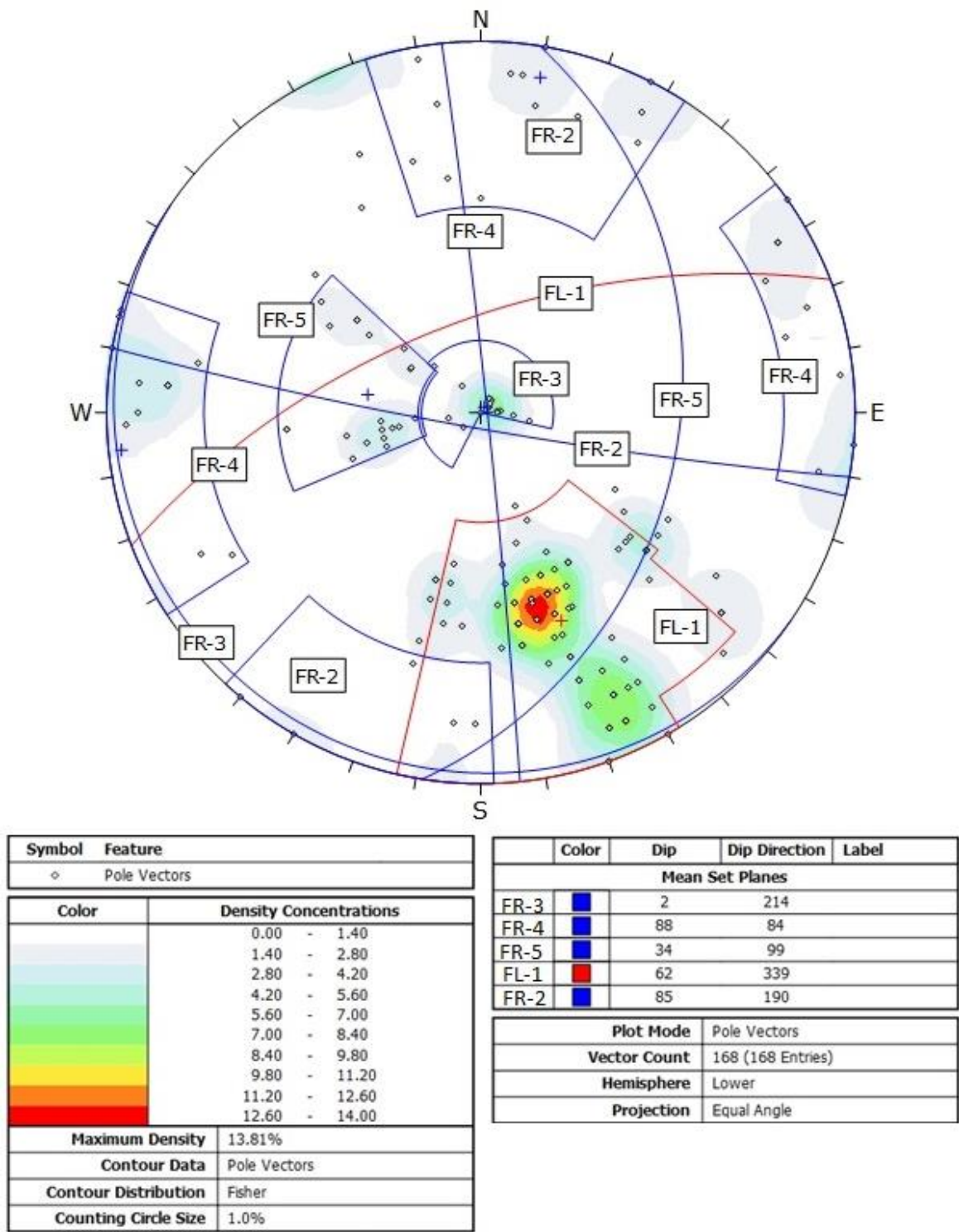


Figura 18 – Estereograma com todas as descontinuidades mapeadas e as 5 famílias identificadas. A foliação está em vermelho e foi nomeada FL-1. As outras 4 famílias de fraturas foram nomeadas de FR-2 a FR-5.

4.2. Classificação Geomecânica do maciço

4.2.1. Parâmetros de Classificação

A classificação geomecânica foi feita para cada talude, pois esta representa a melhor forma para a definição posterior das zonas de risco. Para cada talude amostrado, foram calculados os pesos relativos para os parâmetros utilizados no sistema de classificação RMR e, com os resultados, aplicou-se as correções necessárias para a classificação no sistema SMR. Os índices de resistência à compressão uniaxial foram estimados com base nas observações de campo (segundo os critérios da Tabela 12). Com os valores obtidos, os taludes foram agrupados em categorias conforme os critérios sugeridos pela ISRM (1978) (Tabela 14).

Como pode ser visto na Tabela 14, o maciço rochoso apresenta-se de modo geral pouco alterado, com determinados pontos são e outros mais alterados, estes em geral mais próximos às fraturas. De forma geral, pode-se classificar o maciço como RS (Rocha Sã) com passagens de RAD (Rocha Alterada Dura), respeitando as particularidades de cada talude. Os maciços analisados foram classificados com RQD* de 80%, considerados de qualidade “boa”, levando em conta o critério e as limitações estabelecidos no item 2.2.1. O cálculo foi realizado por meio de uma linha de amostragem (scanline), onde foram marcados os interceptos de todas as descontinuidades em uma fita colada à face do afloramento. Os dados de espaçamentos foram corrigidos para a orientação do talude e o RQD* calculado para intervalos de 0,1 m (Tabela 13).

Tabela 13 – Dados referentes à execução da *scanline* para medição do RQD*.

DADOS DA SCANLINE			
UTM - INÍCIO		UTM - FIM	
X	459275	X	459277
Y	7375163	Y	7375179
L	TAMANHO LINHA DE SCAN (METRO)		15
N	NÚMERO DE DADOS		120
x	ESPAÇAMENTO MÉDIO (METRO)		0,123
λ	FREQUÊNCIA (FRATURA POR METRO)		8,1
RQD* 0,1 m (%)			80
QUALIDADE DO MACIÇO ROCHOSO			BOA (75% A 90%)

As informações coletadas em campo mostraram que as descontinuidades de todas os taludes apresentam algumas características semelhantes: tem em geral abertura inferior a 2,5 mm e paredes duras e forma da superfície planar, com paredes ligeiramente alteradas com preenchimento areno-argiloso no caso das fraturas e películas silto-arenosas no caso da foliação. A foliação é plana, lisa a pouco rugosa, enquanto as falhas podem se apresentar

rugosas e ásperas. Tais características foram fundamentais para a definição do ângulo de atrito utilizado nas análises cinemáticas. Em relação aos aspectos hidrogeológicos, não foi constatada a presença de nenhuma surgência de água nas faces dos taludes estudados, assim, para efeito de classificação, foi considerado que o maciço se encontra seco. A natureza e orientação de todas as descontinuidades mapeadas são encontradas no ANEXO 1.

Tabela 14 – Características e parâmetros geológico-geotécnicos referentes aos taludes analisado.

Talude	Comprimento (m)	Grau de alteração	Rumo do Mergulho	Mergulho	RQD	Litotipo	Resistência Uniaxial da rocha intacta (MPa)	Resistência
TA-1	45	RS	N129	90°	80%	Biotita gnaiss	100-250	R5
TA-2	30	RS	N99	85°	80%	Biotita gnaiss	100-250	R5
TA-3	35	RS/RAD	N59	80°	80%	Biotita gnaiss	100-250	R5
TA-4	70	RS/RAD	N50	80°	80%	Biotita gnaiss	100-250	R5
TB-1	30	RAD/RS	N50	80°	80%	Biotita gnaiss	25-50	R3
TB-2	33	RAD/RS	N344	80°	80%	Biotita gnaiss	25-50	R3
TB-3	130	RAD	N335	80°	80%	Biotita gnaiss	25-50	R3
TC	25	RAD	N335	80°	80%	Biotita gnaiss	25-50	R3
TD	20	RAD	N355	85°	80%	Biotita gnaiss	50-100	R4
TE	35	RS/RAD	N29	70°	80%	Biotita gnaiss	25-50	R3
TF-1	25	RS/RAD	N82	75°	80%	Biotita gnaiss	50-100	R4
TF-2	25	RS/RAD	N42	85°	80%	Biotita gnaiss	50-100	R4
TG	20	RAD	N31	85°	80%	Biotita gnaiss	50-100	R4
TH	35	RAD	N57	85°	80%	Biotita gnaiss	25-50	R3
TI	40	RAD	N87	85°	80%	Biotita gnaiss	25-50	R3

4.2.2. Sistema RMRb

Como proposto para os dois sistemas de classificação (SMR e RMRb), foram utilizadas as famílias de descontinuidades com características mais desfavoráveis para a qualidade do maciço, escolhidas com base na análise de estabilidade cinemática. Como já explicado no item 3.2 os taludes das séries TA-X, TB-X e TF-X são representados cada um por um único afloramento, com características geológicas similares. Dessa forma, a classe final obtida para cada uma destas séries foi agrupada para todos os taludes as quais representam (cada talude representando uma direção e mergulho diferentes).

A orientação das descontinuidades com relação aos taludes por trecho não foi considerada na classificação RMR, conforme propõe Romana (1985) em seu modelo SMR. Neste caso, as atitudes das descontinuidades e dos taludes foram registradas para a aplicação do SMR. Desta maneira foram obtidos apenas o RMRb (RMR básico) (Tabela 15), posteriormente corrigido para a orientação de cada talude pelo SMR.

Tabela 15 – Pesos relativos à classificação RMR.

Fator de Correção	TALUDES							
	TA-1	TA-2	TA-3	TA-4	TB-1	TB-2	TB-3	TC
Atitude do Talude	129/90	99/85	59/80	20/80	20/80	344/60	335/80	335/80
Resistência da rocha Intacta	12				4			4
RQD* (Rock Quality Designation)	17				17			17
Espaçamento médio de fraturas	20				20			15
Condição das fraturas	30				20			20
Presença d'água	15				15			15
Total RMRb	94				76			71
Classe do maciço	I				II			II
Qualidade	Muito boa				Boa			Boa
Fator de Correção	TALUDES							
	TD	TE	TF-1	TF-2	TG	TH	TI	
Atitude do Talude	335/50	29/70	82/75	45/72	35/85	57/8	87/85	
Resistência da rocha Intacta	7	4	7		7	4	4	
RQD* (Rock Quality Designation)	17	17	17		17	17	17	
Espaçamento médio de fraturas	15	15	15		15	15	15	
Condição das fraturas	25	20	25		25	20	20	
Água subterrânea	15	15	15		15	15	15	
Total RMRb	79	71	79		79	71	71	
Classe do maciço	II	II	II		II	II	II	
Qualidade	Boa	Boa	Boa		Boa	Boa	Boa	

4.2.3. Sistema SMR

A classificação no Sistema SMR é feita com base no valor do RMRb, utilizando o sistema proposto por Romana et al. (2003) de acordo com as orientações das descontinuidades mais desfavoráveis para a qualidade do maciço. Como pode ser observado na Tabela 16, na classificação SMR o maciço se enquadrrou em classes desde Muito Ruim até Muito Bom mostrando que, comparado ao RMRb, o SMR é bem mais heterogêneo, provavelmente devido à presença do ajuste para as descontinuidades e atitude dos taludes que tendem a baixar bastante a nota no caso de orientações desfavoráveis. O índice não leva em conta as possíveis rupturas em cunha, desse modo, o cálculo é feito para rupturas planares e em cunha. Conforme Romana et al. (2003), o valor crítico (o mais baixo) é utilizado para representar o maciço. Na Tabela 16 este valor é representado por um asterisco e a classificação final refere-se a este valor.

Tabela 16 – Pesos relativos para a classificação SMR e notas finais.

Fator de Correção		TA-1	TA-2	TA-3	TA-4	TB-1	TB-2	TB-3	TC
Atitude do Talude		129/90	99/85	59/80	20/80	20/80	344/60	335/80	335/80
Atitude da Família		126/35	126/35	126/35	184/77	343/71	343/71	343/71	343/71
F1	Planar	1	0,15	0,15	0,15	0,15	1	0,85	0,85
	Tombamento	0,4	0,15	0,15	0,7	0,15	0,15	0,15	0,15
F2	Planar	0,85	0,85	0,85	1	1	1	1	1
	Tombamento	1	1	1	1	1	1	1	1
F3	Planar	-60	-60	-60	-50	-60	-50	-60	-60
	Tombamento	-25	-25	-6	-25	-25	-25	-25	-25
F1 x F2 x F3	Planar	-51	-7,65	-7,65	-7,5	-9	-50	-51	-51
F1 x F2 x F3	Tombamento	-10	-3,75	-0,9	-17,5	-3,75	-3,75	-3,75	-3,75
F4		0	0	0	0	0	0	0	0
RMRb		94	94	94	94	76	76	76	70
Total	Planar	43*	86,35*	86,35*	86,5*	67*	26*	25*	19*
Total	Tombamento	84	90,25	93,1	76,5	72,25	72,25	72,25	66,25
Classe		III	I	I	II	II	IV	IV	V
Classificação Final		Normal	Muito bom	Muito bom	Bom	Bom	Ruim	Ruim	Muito ruim
Fator de Correção		TD	TE	TF-1	TF-2	TG	TH	TI	
Atitude do Talude		335/50	29/70	82/75	45/72	35/85	57/8	87/85	
Atitude da Família		161/72	310/60	79/86	79/85	31/89	335/79	79/36	
F1	Planar	0,15	0,15	1	0,15	1	0,15	0,85	
	Tombamento	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
F2	Planar	1	1	1	1	1	1	0,85	
	Tombamento	1	1	1	1	1	1	1	
F3	Planar	-50	-60	-0	0	-6	-60	-60	
	Tombamento	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	
F1 x F2 x F3	Planar	-7,5	-9	0	0	-6	-9	-43,35	
F1 x F2 x F3	Tombamento	-3,75	-3,75	-3,75	-3,75	-3,75	-3,75	-3,75	
F4		0	0	0	0	0	0	0	
RMRb		79	71	79	79	79	71	71	
Total	Planar	71,5*	62*	79	79	73*	62*	27,65*	
Total	Tombamento	75,25	67,25	75,25*	75,25*	75,25	67,25	67,25	
Classe		II	II	II	II	II	II	IV	
Classificação Final		Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Ruim	

4.3. Análise cinemática de estabilidade de taludes

A avaliação da estabilidade dos taludes foi realizada por meio de análises cinemáticas, com o Software DIPS 6.0. Para a determinação do ângulo de atrito utilizado nas análises cinemáticas, as seis famílias de descontinuidades foram descritas e caracterizadas conforme o proposto no item 2.3.1. O sumário dos valores encontrados encontra-se na Tabela 17.

Tabela 17 – Ângulos de atrito estimados pela relação entre os índices de rugosidade (J_r) e alteração das descontinuidades (J_a) por meio da equação 5.

Família	Tipo	Litotipo	J_r	J_a	$\tan^{-1}(J_r/J_a)$
FL-1	Foliação	Biotita gnaiss	1,25	3	27°
FR-2	Fratura	Biotita gnaiss	1,5	2	37°
FR-3	Fratura	Biotita gnaiss	3	3	45°
FR-4	Fratura	Biotita gnaiss	1,5	3	34°
FR-5	Fratura	Biotita gnaiss	3	3	45°

Dessa forma, pode-se considerar a Família FL-1 (foliação) de descontinuidades como a mais suscetível a rupturas em geral, devido ao seu ângulo de atrito mais baixo (estimado em cerca de 27°) e conseqüentemente menor resistência. Além destes motivos, a FL-1 apresenta, de modo geral, orientação próxima à maioria dos taludes no trecho (rumo do mergulho 330°) e é a descontinuidade de maior abrangência no maciço. A foliação, além de bem marcada no maciço, é em geral plana e pouco rugosa (por vezes lisa) devido à grande presença de micas. Dados da literatura indicam ângulos de atrito variando entre 26° a 29° para descontinuidades em gnaisses foliados (Barton, 1976) e entre 30° a 40° para a rocha intacta (Valejo *et al.*, 2002). Assim o valor escolhido encontra amparo na literatura para o litotipo mapeado.

Na tabela 18 são apresentados os resultados da análise cinemática para os taludes. Em cada orientação de talude foi feita a análise em relação aos mecanismos de rupturas planar, em cunha e tombamento. Todos os taludes analisados apresentam pelo menos uma possibilidade de ruptura. Os estereogramas com todas as análises onde foram reconhecidas possibilidades de rupturas encontram-se no ANEXO 2. Nas colunas com o nome dos tipos de rupturas (planar, cunha e tombamento) há a quantidade de famílias ou combinações possíveis para que ocorram as rupturas. Na coluna “Estruturas” estão as famílias envolvidas.

Os dados gerados pela análise cinemática mostram que a foliação é a família de descontinuidades com maior probabilidade de gerar rupturas planares (sem depender de outras famílias), e também cunhas, pois, neste último caso, a foliação pode se combinar com praticamente qualquer outra família de descontinuidade pois está sempre bem marcada nos afloramentos.

Tabela 18 - Análise cinemática para orientações de talude mostrando número de ocorrência e famílias de descontinuidade envolvidas nos mecanismos de ruptura.

Talude	Planar	Estruturas	Cunha	Estruturas	Tombamento	Estruturas
TA1	1	FR-5	1	FR-2 X FR-5	-	-
TA2	-	-	1	FR-2 X FR-5	-	-
TA3	-	-	1	FR-2 X FR-5	-	-
TA4	-	-	1	FR-2 X FR-5	1	FR-2
TB1	1	FL-1	2	FL-1 X FR-4 FL-1 X FR-5	1	FR-5
TB2	1	FL-1	2	FL-1 X FR-4 FL-1 X FR-2	-	-
TB3	1	FL-1	3	FL-1 X FR-2 FL-1 X FR-4 FL-1 X FR-5	-	-
TC	1	FL-1	3	FL-1 X FR-2 FL-1 X FR-4 FL-1 X FR-5	-	-
TD	1	FL-1	1	FL-1 X FR-2	1	FR-2
TE	-	-	2	FL-1 X FR-4 FR-2 X FR-5	-	-
TF1	-	-	1	FL-1 X FR-2	1	FR-2
TF2	-	-		FL-1 X FR-2	1	FR-2
TG	-	-	3	FL-1 X FR-2 FL-1 X FR-4 FR-2 X FR-4	1	FR-2
TH	-	-	1	FL-1 X FR-4	-	-
TI	1	FR-5	2	FL-1 X FR-4 FL-1 X FR-5	1	FR-2

4.4. CLASSIFICAÇÃO RHRS

4.4.1. Parâmetros de Classificação

Para a definição da pontuação de risco segundo o RHRS (*Rockfall Hazard Rating System*), diversos parâmetros devem ser considerados, conforme o item 3.1.4. Alguns destes itens são fixos para todos os taludes analisados, tais como a velocidade da via (70 km/h), a largura do pavimento (11 m), as condições climáticas (1.210,34 mm), a frequência de queda de blocos (3 eventos por ano) e o volume diário médio (VDM) por hora (691 carros por hora), este último usado para o cálculo do Risco médio ao Veículo (RMV).

Os demais parâmetros foram estabelecidos para cada talude. As alturas dos taludes foram estimadas em campo com o uso de clinômetro e confirmados pelos mapas topográficos disponíveis. Efetividade da área de captura foi considerada como inadequada, na grande maioria dos taludes, segundo análise feita por meio do Ábaco de Ritche, mostrando que a distância entre os afloramentos e a via não é o suficiente para impedir que blocos soltos atinjam a estrada. O cálculo do Risco Médio ao Veículo (AVR), conforme a Equação 3 usa a relação entre comprimento do talude, velocidade da via e volume diário médio. A Porcentagem da Distância de Visibilidade (PDV) é relação entre as distâncias de visibilidade real (DVR) e de projeto (DVP). Os resumos para os valores considerados para o cálculo da Porcentagem de Distância de Visibilidade estão na Tabela 19. O fato de o DVR ser variável dependendo do sentido da via em que se trafega obriga-nos a calcular a pontuação RHRS para cada sentido da via. A dimensão dos blocos fora estabelecida com base em uma média dos diâmetros dos blocos encontrados caídos ao longo dos cortes para cada talude. Foram estabelecidos valores entre 0,5 m até 1,50 m para este item. Já para o Item “Condições Geológicas” são utilizados os valores de SMR estabelecidos anteriormente. A Tabela 20 mostra o resumo de todos os parâmetros utilizados para o cálculo do RHRS.

Tabela 19 – Valores calculados para distâncias de visibilidade real (DVR), de projeto (DVP). Os valores na coluna “IG” referem-se à inclinação do greide, positivo para acíves e negativos para declives.

T	Sentido	DVR (m)	IG (%)	DVP (m)	T	Sentido	DVR (m)	IG (%)	DVP (m)
TA-1	Sul	182	-3,5	118,87	TC	Norte	130	-5,2	123,47
	Norte	48	+3,5	104,69	TD	Sul	302	+5,5	101,64
TA-2	Sul	58	-4,6	121,78		Norte	67	-5,5	124,35
	Norte	48	+4,6	102,97	TE	Sul	53	-0,8	112,62
TA-3	Sul	46	-3,4	118,62		Norte	56	+0,8	109,42
	Norte	56	+3,4	104,85	TF-1	Sul	105	-3,6	119,13
TA-4	Sul	53	+2,8	105,85		Norte	45	+3,6	104,53
	Norte	150	-2,8	117,14	TF-2	Sul	45	-1,6	114,35
TB-1	Sul	156	+4,8	102,38		Norte	230	+1,6	107,94
	Norte	52	-4,8	122,9	TG	Sul	76	-1,5	108,12
TB-2	Sul	96	+5,0	100,84		Norte	175	+1,5	114,13
	Norte	340	-5,0	126,05	TH	Sul	137	0	110,98
TB-3	Sul	93	+4,9	102,52		Norte	106	0	110,98
	Norte	270	-4,9	122,62	TI	Sul	200	-1,75	107
TC	Sul	226	+5,2	102,08		Norte	52	+1,75	114

Tabela 20 – Todos os parâmetros avaliados para cada talude e direção de tráfego para obtenção da pontuação RHRS. H: Altura, EF: Efetividade da área de captura, RMV: Risco médio ao veículo, PDV: Porcentagem da distância de visibilidade, LP: Largura do pavimento, DM: Dimensão dos blocos, CC: Condições climáticas, SMR: Condições geológicas, FQB: Frequência de queda de blocos.

Categorias	TALUDE TA1		TALUDE TA2		TALUDE TA3		TALUDE TA4		TALUDE TB1	
	SUL	NORTE	SUL	NORTE	SUL	NORTE	SUL	NORTE	SUL	NORTE
H	6 m		5 m		13		15		15 m	
EF	Não possui		Não possui		Não possui		Não possui		Não possui	
RMV	44%		30%		35%		69%		30%	
PDV	153%	45%	47%	46%	38%	53%	50%	128%	152%	42%
LP	11 m		11 m		11 m		11 m		11 m	
DM	0,5 m		1 m		0,5 m		1,2 m		1,1 m	
CC	1210 mm		1210 mm		1210 mm		1210 mm		1210 mm	
SMR	43		86,35		86,35		76,5		67	
FQB	3 por ano		3 por ano		3 por ano		3 por ano		3 por ano	
Categorias	TALUDE TB2		TALUDE TB3		TALUDE TC		TALUDE TD		TALUDE TE	
	SUL	NORTE	SUL	NORTE	SUL	NORTE	SUL	NORTE	SUL	NORTE
H	20 m		18 m		13 m		12 m		15 m	
EF	Não possui		Não possui		Não possui		Não possui		Moderada	
RMV	33%		12,80%		25%		20%		35%	
PDV	95%		90%	220%	221%	105%	297%	53%	47%	51%
LP	11 m		11 m		11 m		11 m		11 m	
DM	1,5 m		1,5 m		1,5 m		0,9 m		1 m	
CC	1210 mm		1210 mm		1210 mm		1210 mm		1210 mm	
SMR	26		25		19		71,5		62	
FQB	3 por ano		3 por ano		3 por ano		3 por ano		3 por ano	
Categorias	TALUDE TF1		TALUDE TF2		TALUDE TG		TALUDE TH		TALUDE TI	
	SUL	NORTE	SUL	NORTE	SUL	NORTE	SUL	NORTE	SUL	NORTE
H	7 m		7 m		10 m		10 m		13 m	
EF	Não possui		Não possui		Não possui		Moderada		Não possui	
RMV	25%		25%		20%		35%		39%	
PDV	88%	43%	39%	213%	70%	153%	126%	95%	186%	45%
LP	11 m		11 m		11 m		11 m		11 m	
DM	0,5 m		0,5 m		1 m		0,5 m		1,5 m	
CC	1210 mm		1210 mm		1210 mm		1210 mm		1210 mm	
SMR	75,25		75,25		73		62		27,65	
FQB	3 por ano		3 por ano		3 por ano		3 por ano		3 por ano	

4.4.2. Resultados por talude amostrado

Segue na Figura 19 as notas obtidas para cada talude e as duas direções de tráfego. Na Tabela 21 estão as pontuações finais consideradas para cada talude, o risco associado e as prioridades nos tratamentos dos maciços. As pontuações finais foram obtidas pela média do RHRS para cada sentido da via em cada talude.

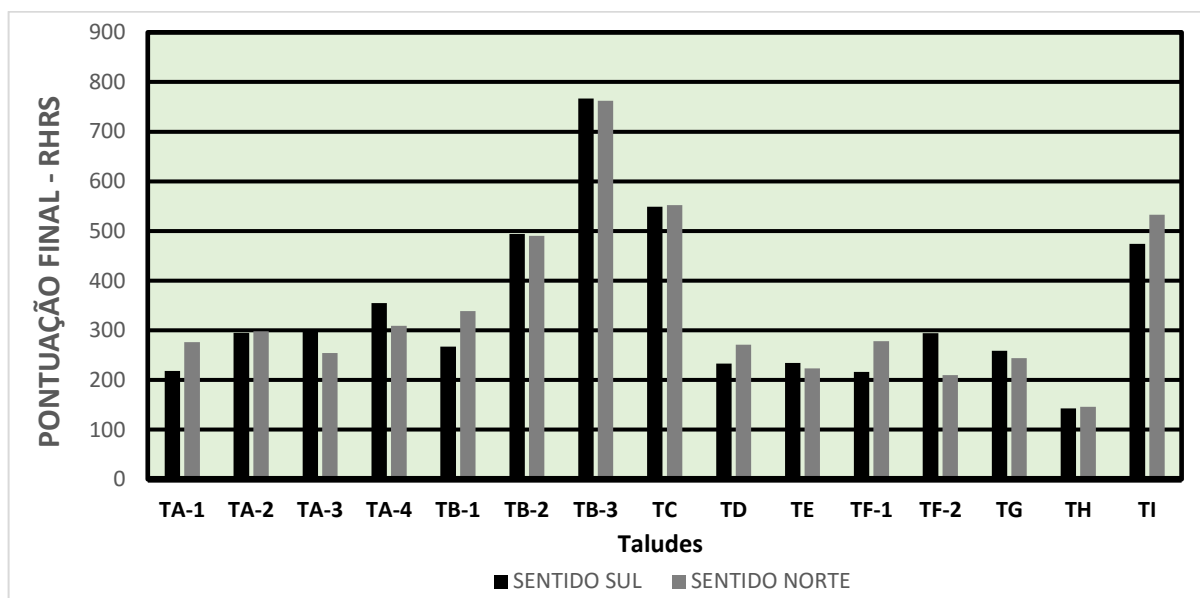


Figura 19 – Pontuações do índice RHRS para cada talude e sentido da via.

Tabela 21 – Resultados finais da pontuação RHRS por talude analisado. A pontuação por talude refere-se à média entre as pontuações para cada sentido de tráfego.

T	RHRS	Observações	T	RHRS	Observações
TA-1	247	Baixo risco - Remediação não prioritária, ou não necessária	TC	551	ser feita imediatamente
TA-2	297	Baixo risco - Remediação não prioritária, ou não necessária	TD	252	Baixo risco - Remediação não prioritária, ou não necessária
TA-3	278	Baixo risco - Remediação não prioritária, ou não necessária	TE	229	Baixo risco - Remediação não prioritária, ou não necessária
TA-4	332	Risco médio - Trabalhos de remediação devem ser feitos	TF-1	247	Baixo risco - Remediação não prioritária, ou não necessária
TB-1	303	Risco médio - Trabalhos de remediação devem ser feitos	TF-2	252	Baixo risco - Remediação não prioritária, ou não necessária
TB-2	492	Risco médio - Trabalhos de remediação devem ser feitos	TG	251	Baixo risco - Remediação não prioritária, ou não necessária
TB-3	765	Alto risco - Remediação deve ser feita imediatamente	TH	144	Baixo risco - Remediação não prioritária, ou não necessária
TC	551	Alto risco - Remediação deve	TI	504	Alto risco - Remediação deve ser feita imediatamente

5. INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÃO

A análise cinemática do trecho mostrou que em todos os taludes existe ao menos uma possibilidade de ruptura, em destaque as cunhas formadas pela intersecção das famílias de fraturas FR-2 e FR-5 e pelas associadas à família de foliação FL-1. Rupturas envolvendo a família de foliação são possíveis apenas nos taludes com mergulhos para noroeste, direção da maioria dos taludes amostrados, o que representa, portanto, a família de descontinuidade mais problemática. Mesmo com grande variação de atitude, sua direção e mergulho são, de modo geral, subparalelos aos taludes B1, B2, B3, C e D, permitindo rupturas planares. Cerca de 80% das potenciais rupturas em cunha e 70% das planares envolvem a família da foliação. Dessa forma, a escolha do ângulo de atrito foi assertiva, já que esta baseou-se na escolha do valor mais crítico para rupturas, justamente o auferido para a foliação.

A Figura 21 ilustra como as diferentes descontinuidades se comportam de formas distintas para orientações de taludes também diferentes. No caso em exemplo foram utilizados os taludes TB-3 e TA-1, subparalelos, mas com rumos de mergulho contrários um do outro. Nos dois taludes foram mapeadas as descontinuidades FL-1 e FR-5, a primeira com rumo de mergulho para noroeste e a segunda para sudeste. Dessa forma, os dois taludes apresentam possibilidades de rupturas planares, mas, enquanto no talude TB-3 essa ruptura é causada pela foliação FL-1, no talude TA-1 é causada pela fratura FR-5, graças às diferentes relações geométricas que as descontinuidades têm com os taludes. Outro detalhe interessante é que a cunha formada pela intersecção das duas famílias é instável apenas para o TB-3, pois para o talude TA-1 o ponto que representa a intersecção dos planos de descontinuidades cai fora da área crítica na análise cinemática, como pode ser observado nos estereogramas do ANEXO 2.

Percebeu-se que em certos casos um alto valor do RMRb (Muito Bom ou Bom) não reflete na segurança da via em relação às possíveis rupturas do maciço. Esse fato poderia ser esperado, não apenas pelo fato de que este índice foi inicialmente proposto para túneis e não para taludes a céu aberto, mas principalmente por que o RMRb não leva em conta a orientação das descontinuidades. Valores de SMR mais discrepantes em relação ao RMRb foram encontrados nos taludes TA1, TB1, TB2, TB3, TC e TI, mostrando diferenças suficientemente grandes para baixa-los de categoria. Justamente nestes taludes foram encontradas maiores quantidades de blocos caídos próximos ao acostamento da via e cicatrizes deixadas por rupturas. Dessa forma, o índice SMR mostra-se mais confiável, ou mais realista para a análise de taludes rochosos do que o RMRb, por levar em conta as possibilidades de rupturas cinemáticas para cada talude individualizado. Dessa forma, os resultados foram bastante consistentes com as observações de campo. Ou seja. Onde os valores de SMR foram baixos, são encontrados blocos caídos, mesmo que nestes pontos o

RMRb seja alto. Portanto, tal comparação mostra o peso da análise estrutural na quantificação da qualidade do maciço. Nos taludes TD, TE, TF1, TF2, TG e TH, os três índices mostraram correlações similares com poucas diferenças em relação aos índices RMRb e SMR.

Em relação ao RHRS notou-se que a efetividade da área de captura e a dimensão dos blocos constituem fatores críticos para as pontuações neste trecho. Em quase todo o traçado analisado a pontuação referente a área de captura foi a máxima, ou seja, entre a pista e os afloramentos não existe largura e profundidade suficientes para evitar que um bloco de rocha atinja a pista, mesmo nos menores taludes. O tamanho dos blocos também foi um item de bastante peso. Devido ao método escolhido para determinar os tamanhos médios, as maiores notas foram atribuídas justamente onde já havia maiores blocos caídos, ou seja, nos taludes mais problemáticos. Em relação à frequência de queda de blocos, não foram encontradas estatísticas oficiais. Desta maneira optou-se por estabelecer o valor de três eventos por ano para cada talude

O estudo indica que o contexto geológico da área contribui para a instabilidade dos taludes, já que formação geológica foi afetada por diferentes estágios tectônicos gerando diferentes sistemas de fraturas que combinadas entre si e a foliação são capazes de individualizar blocos. Os resultados obtidos são condizentes aos observados em campo e os trechos mais perigosos são os que já apresentam blocos caídos de tamanho métrico. Cabe ressaltar que mesmo nos trechos onde não há taludes às margens da rodovia, pode existir a possibilidade de que blocos rolados das vertentes dos morros possam atingir a estrada.

No caso do talude TI, destaca-se que a partir dele, em direção norte (Praia da Enseada), já existem telas de proteção para impedir que quedas de blocos atinjam a estrada. Tal proteção, no entanto mostra-se comprometida com o excesso de blocos caídos e a danificação do concreto projetado da base (Figura 20).

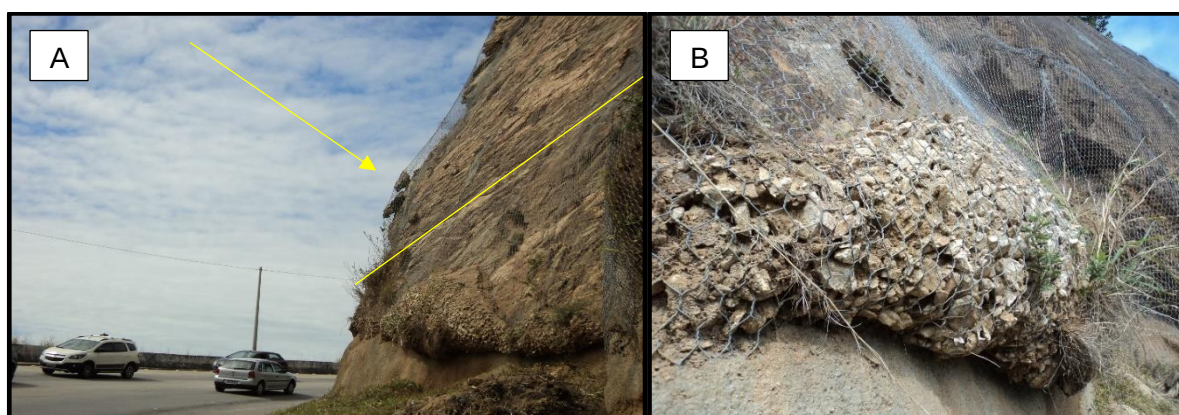


Figura 20 – Contenção após talude TI. Foliação gnáissica (linha amarela) com mergulho menor que o do talude permite rupturas planares neste trecho. A seta indica os blocos presos pela contenção (A). Detalhe do acúmulo de fragmentos de rocha em contenção possivelmente saturada (B).

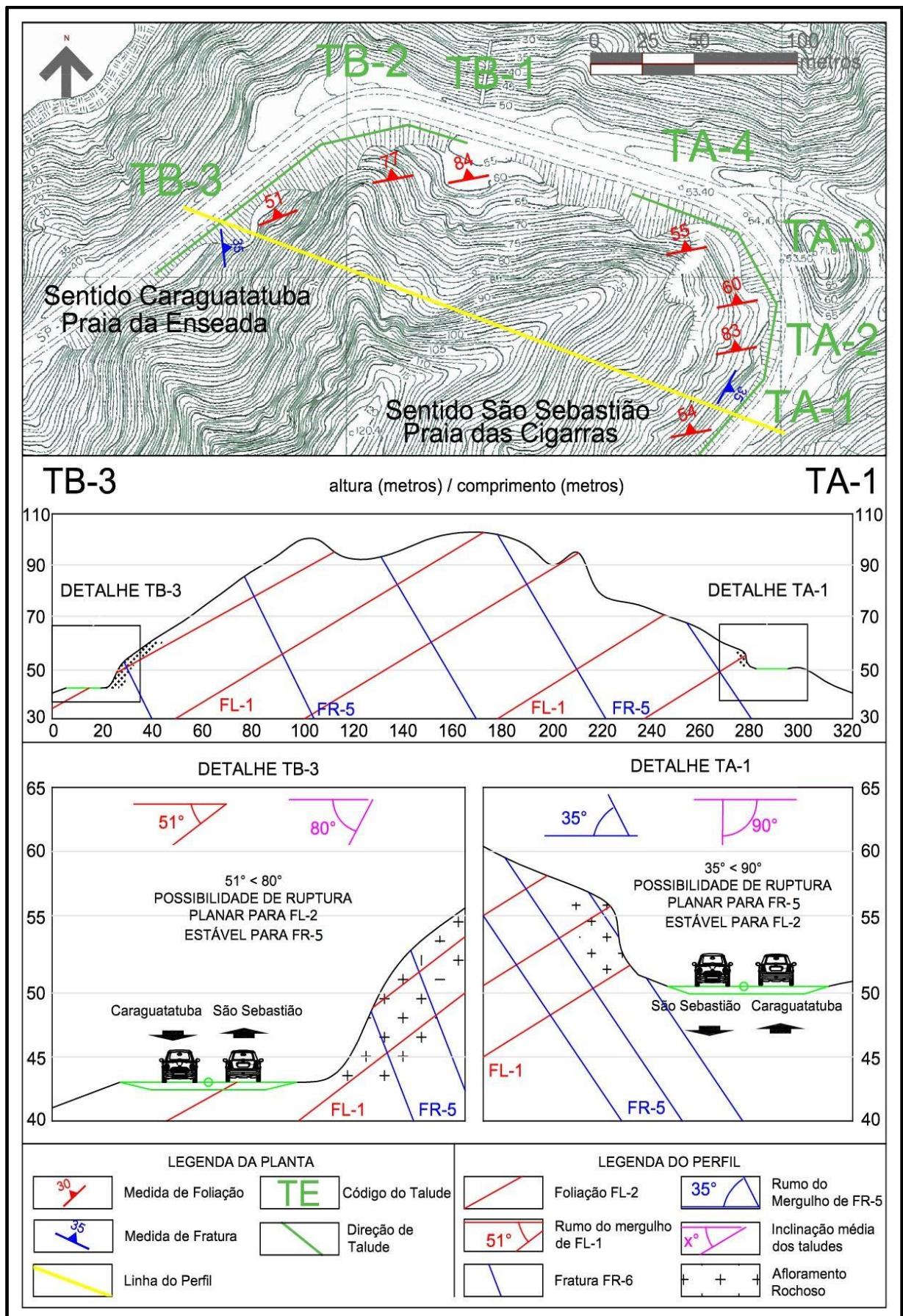


Figura 21 – Croqui esquemático com perfil entre os taludes TB-3 e TA-1 e interações entre famílias de descontinuidades com orientação do talude.

6. CONCLUSÕES

A principal proposta deste trabalho de formatura foi a elaboração de um mapa de risco aos usuários do trecho da Rodovia SP-055 (Rio-Santos), entre os km 115+875 m e 116+970 m em relação à possibilidade de rupturas dos taludes às suas margens, tendo como base o índice RHRS, elaborado inicialmente por Pierson et al. (1990) e modificado posteriormente por Budetta (2004). O resultado pode ser sintetizado pela Figura 22, um mapa do tipo semafórico em que as três diferentes cores indicam maiores ou menores riscos para cada trecho analisado.

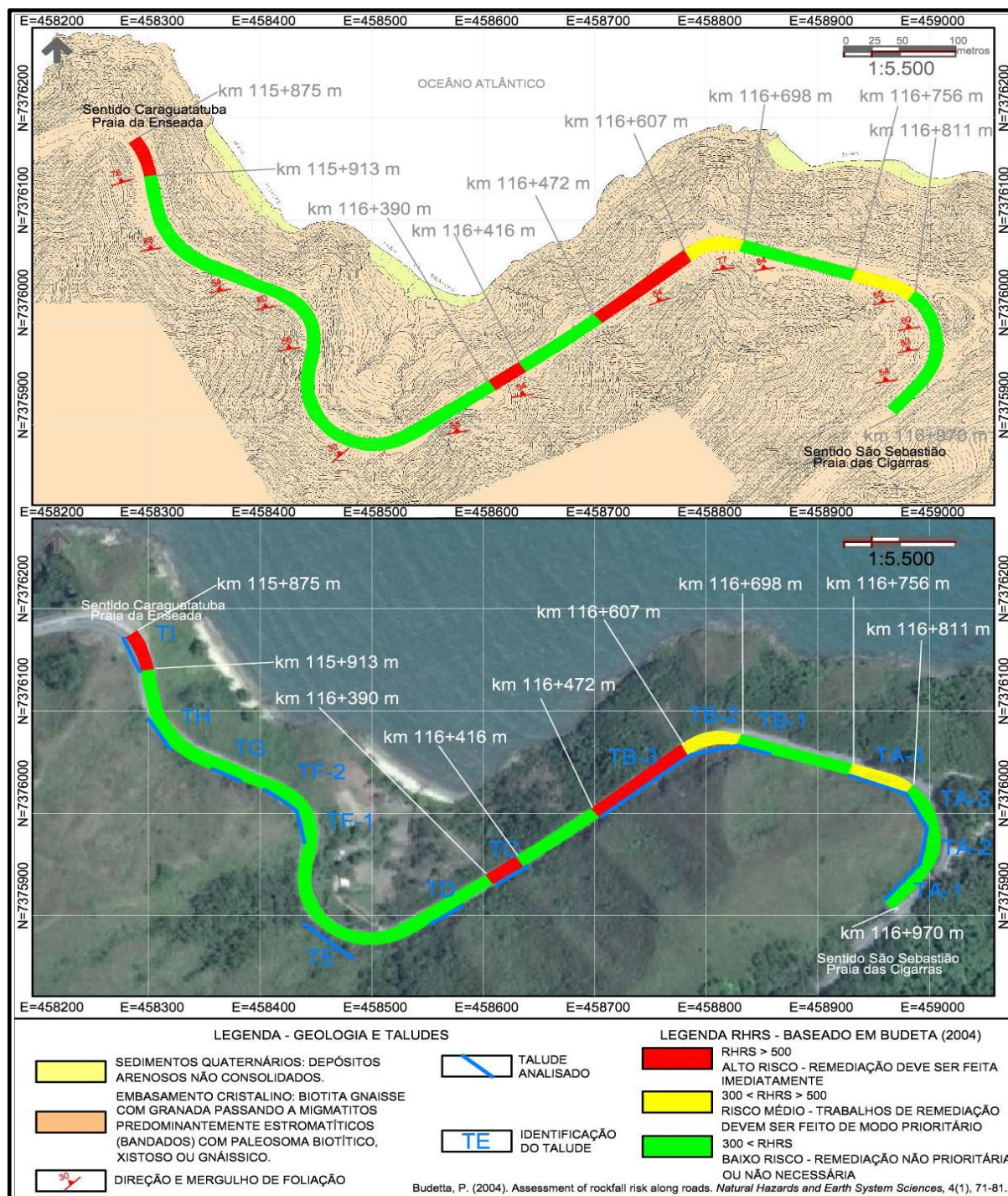


Figura 22 – Distribuição de risco ao longo da ligação entre as Praias da Enseada e das Cigarras.

A análise do risco por meio do *Rockfall Hazard Rating System* (RHRS) modificado conclui que entre os km 115+875 m e km 115+913 m (TI – Figura 23), entre os km 116+390 m e km 116+416 m (TC – Figura 24), e entre os km 116+472 m e km 116+607 m (TB-3 – Figura 25) as pontuações foram altas (acima de 500 pontos) e indicam ser necessárias medidas imediatas de estabilização para impedir que blocos de rocha possam atingir a estrada. Tais trechos indicam altos riscos aos usuários da via, de modo que uma eventual ruptura pode ocasionar grandes prejuízos materiais (aos veículos e à via) e às pessoas. Na Figura 22 estes trechos foram marcados em vermelho. O talude mostrado na introdução deste trabalho (Figura 2) está incluso nesta faixa de risco, trata-se do talude TB-3.

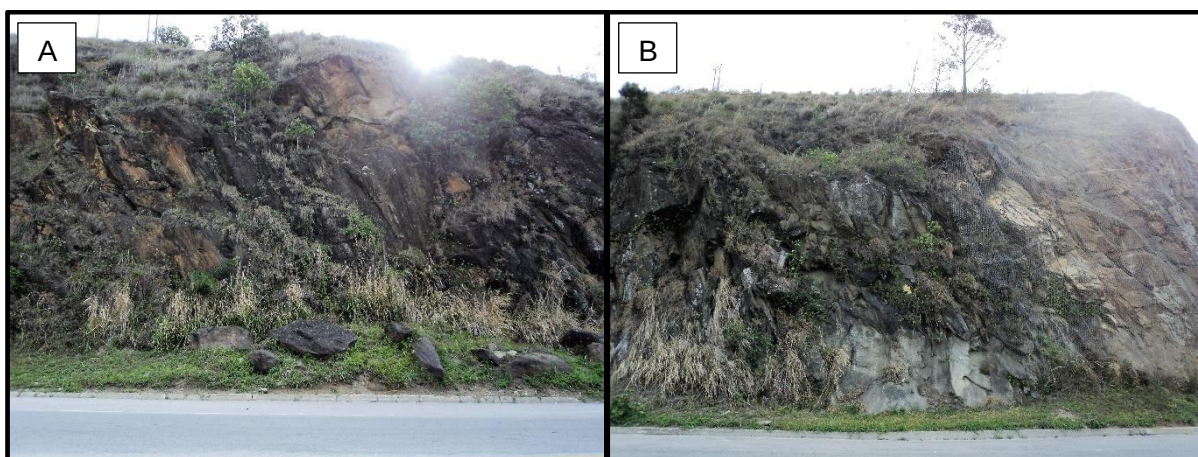


Figura 23 – Talude TI. Vista do trecho mais crítico (A). Final do trecho estudado e início da contenção (B).

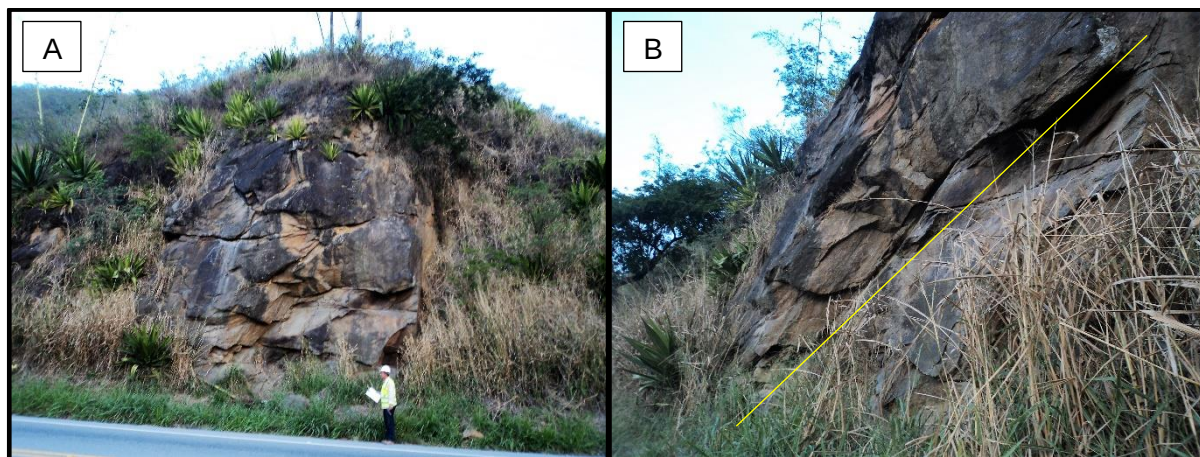


Figura 24 – Talude TC. Vista do trecho mais crítico (A). Detalhe da foliação subparalela ao talude (B).

Outros trechos alcançaram pontuações que indicam ser necessários trabalhos de remediação, não de forma imediata como os citados anteriormente, mas ainda sim prioritários. São os casos entre km 116+607 m e km 116+698 m (Taludes B1 e B2 – Figura 26), e entre os km 116+756 m e km 116+811 m (Talude A4 – Figura 27), cujos trechos foram marcados na cor amarela.

Os trechos marcados em verde representam áreas onde possíveis rupturas no talude não representam perigo aos usuários, ou locais onde não há afloramentos rochosos

adjacentes à via. Ressalta-se, no entanto, que não foram realizadas análises de estabilidade para escorregamentos de solo. Dessa maneira, em 32% do trecho analisado devem ser tomadas alguma medida de estabilização dos taludes e em 20% do trecho os trabalhos de remediação deveriam ser imediatos, valores muito altos considerando o intenso tráfego da via. No ANEXO 3 está contido o “Mapa Geológico e de Risco de Queda de Blocos” da área estudada, compreendendo uma síntese mais completa deste trabalho.

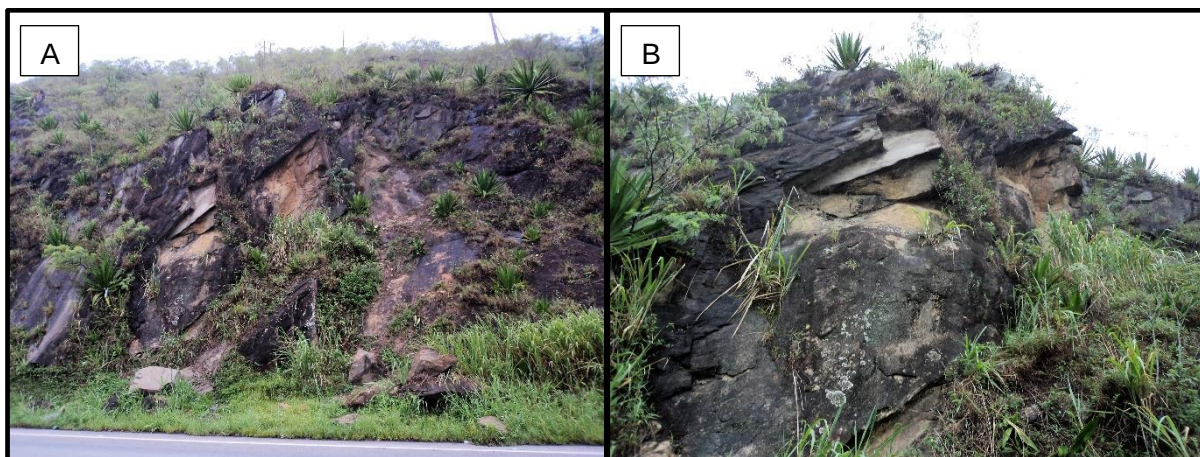


Figura 25 – Talude TB-3. Vista do trecho mais crítico (A). Detalhe da foliação aflorando (B).

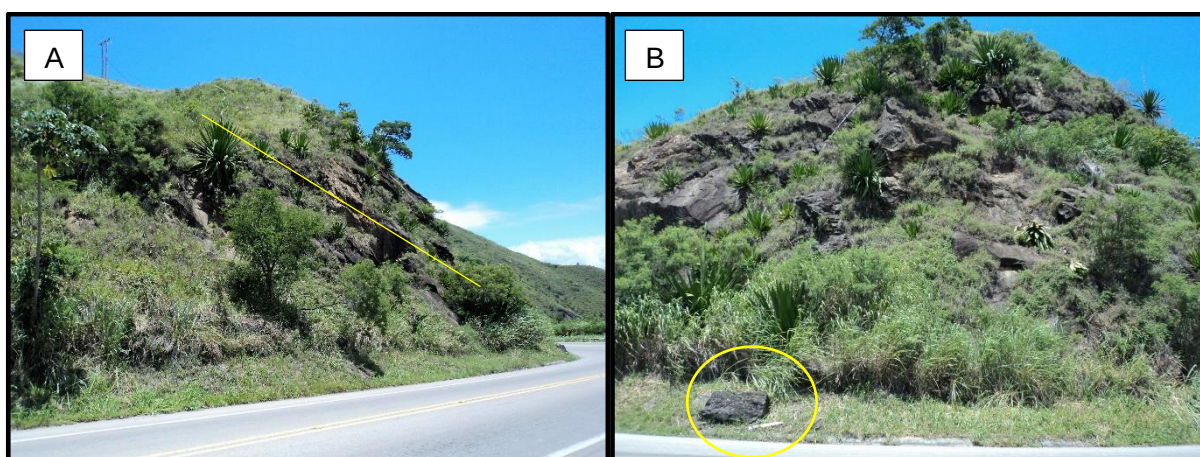


Figura 26 - Talude TB-1 com destaque para a foliação subparalela ao talude (A). TB-2 (B) com destaque para bloco caído.

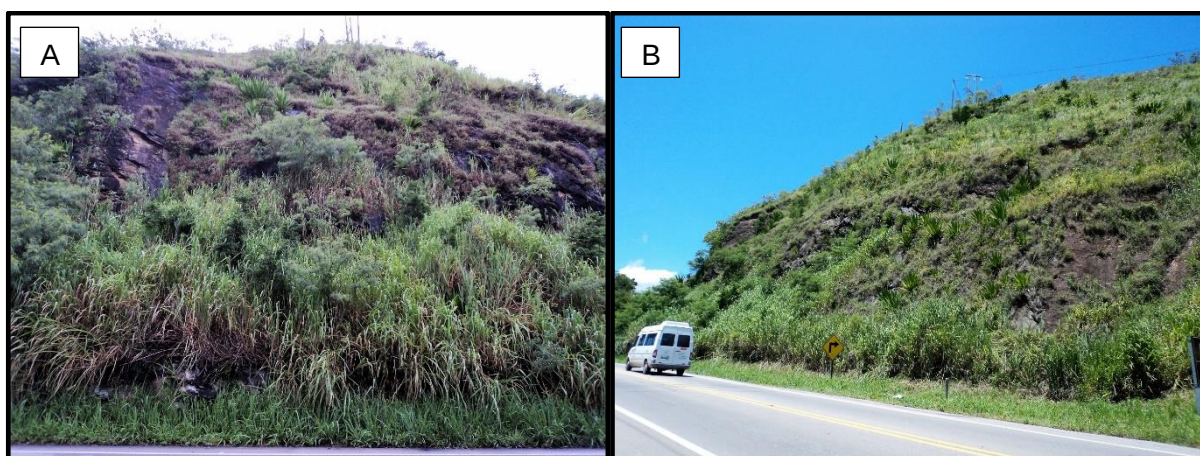


Figura 27 – Talude TA-4. Vista do trecho mais crítico (A). Vista lateral com afloramentos altos inacessíveis (B).

Devido ao fato de não existirem estatísticas oficiais sobre a queda de blocos nas estradas, suas características e magnitudes, fica como sugestão que os serviços públicos (prefeituras e defesa civil) e de administração rodoviária estabeleçam um banco de dados destes eventos para que futuras análises possam ser mais precisas.

Para trabalhos futuros é interessante que seja feita uma análise utilizando programas de simulação para a trajetória de possíveis blocos rolados do alto do morro. Esta análise pode ser feita por meio do *software RocFall* também da *Rocscience*. A presença da vegetação encobre boa parte dos taludes, por vezes escondendo-os. Não foi avaliado neste trabalho até que ponto a vegetação pode ajudar (segurando blocos soltos) ou contribuir (ajudando a separar as descontinuidades com as raízes) com a estabilidade destes taludes.

Em relação à proteção após o talude TI, sugere-se avaliar se a proteção ainda é ativa, pois aparentemente está saturada com pequenos blocos e estender a proteção em direção sul, de forma a proteger o restante do talude.

Diversos índices e parâmetros são necessários para alcançar as notas finais referentes à classificação do risco. Como proposto deste o início, foram utilizados meios diretos para a obtenção destes índices, em campo ou por meio de análise bibliográfica, de modo a fugir dos longos prazos e consideráveis recursos financeiros referentes a ensaios laboratoriais diversos. Dessa forma conclui-se o trabalho com uma proposta rápida e prática para o estabelecimento do risco associado a rupturas de maciços e de critérios de prioridade no tratamento de taludes às margens da rodovia. O resultado da classificação apresentado nesta pesquisa pode ser utilizado como ferramenta de gestão rodoviária para o local e serve como referência para futuros trabalhos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck, R.A. (1981). *Brazilian Structural Provinces: An Introduction*. Earth-Science Reviews, 17(1/2): 1-29.

Ávila, C. R. D. (2012). *Determinação das propriedades mecânicas de maciços rochosos e/ou descontinuidades utilizando classificações geomecânicas – uma comparação entre os diversos métodos de classificação*. Dissertação (Mestrado). Ouro Preto: Escola de Minas, UFOP.

Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). *Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support*. Rock Mechanics, 6(4), 189-236.

Barton, N. (1976). *The shear strength of rock and rock joints*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics, 13(9), 255-279.

Barton, N. (2002). *Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 39(2), 185-216.

Bieniawski Z.T. (1989). *Engineering rock mass classifications. A complete manual for Engineers and geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering*. John Wilwy & Sons, 251p.

Bieniawski, Z. T. (1993) Classification of rock masses for engineering: the RMR system and future trends. In: Hudson, J.A. *Comprehensive rock engineering*. (v. 3, p. 553-573). Londres: Pergamon Press.

Bistrichi, C.A.; Carneiro, C.D.R.; Dantas, A.S.L.; Ponçano, W.L.; Campanha, G.A. da C.; Nagata, N.; Almeida, M.A. de; Stein, D.P.; Melo, M.S. de; Cremonini, O.A.; Hasui, Y.; Almeida, F.F.M. (1981). *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*. Escala 1:500.000. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas/IPT.

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

Bunce, C.M., Cruden, D.M., Morgenstern, N.R. (1997). *Assesment of the hazard from rock fall on a highway*. Canadian Geotechnical Journal, 34(3), 344-356.

Campanha, G. A. C.; Ens, H. H.; Ponçano, W. L. 1994. *Análise morfotectônica do Planalto do Juqueriquerê*, São Sebastião. Revista Brasileira de Geociências 24(I), 32-42.

Campanha, G.A.C., Ens, H.H. (1996). *Estruturação geológica da região da Serra do Juqueriquerê*, São Sebastião, SP. Bol.IG-USP, Série Científica, 27:41-49.

Campos Neto, M.C., Figueiredo, M.C.H. (1995). *The Rio Doce Orogeny, southeastern Brazil*. Journal of South American Earth Sciences, 8(2), 143-162.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica (2017). *Banco de Dados Hidrológicos*. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria Estadual de Saneamento e Energia. <http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/Default.aspx?dadosorigem=Pluviom%C3%A9tricos&ugrhi=UGRHI&cidadeugrhi=LITORAL%20NORTE&prefixoposto=E2-045>. Acesso em 02/05/2017.

Deere, D.U. *Technical description of rock cores for engineering purposes*. Rock Mechanics and Engineering Geology, 1966, 1(1), 16-22.

Deere D.U. e Deere D.W. (1989). *Rock Quality Designation (RQD) After Twenty Years*. US Army Corps Engrs Contract Report GL-89-1. Vicksburg, MS: Waterways Experimental Station, 100 p.

DER - Departamento de Estradas de Rodagem (2015). *Estatística de Tráfego – Volume Diário Médio - por Rodovia*. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Logística e Transportes. http://200.144.30.103/vdm/SFCG_VdmRodComerciais.asp?CodRodovia=Todas%20as%20rodovias. Acesso em 22/02/2017.

Dias Neto, C.M. (2001) *Evolução tectono-termal do Complexo Costeiro (Faixa de Dobramentos Ribeira) em São Paulo*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências, USP.

DNIT – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1973). *Normas para o projeto de Estradas de Rodagem*. Brasil, Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

Ferrari, F., Thoeni, K., Giacomini, A. (2016). *Qualitative rockfall hazard assesment: a comprehensive review of current practices*. Rock Mechanics and Rock Engineering, 49(7), 2865-2922.

Folha do Litoral Norte (2015a). *Rodovia Rio-Santos é interdita hoje (25) no Km 119 pela Defesa Civil após queda de 5 rochas na praia de São Francisco em São Sebastião*. Acesso em 23 de fevereiro de 2017, < <http://folhadolitoralnorte.net.br/rodovia-rio-santos-e-interdita-hoje-25-no-km-119-pela-defesa-civil-apos-queda-de-5-rochas-na-praia-de-sao-francisco-em-sao-sebastiao/>>.

Folha do Litoral Norte (2015b). *Toneladas de pedras desabam hoje (14) sobre a rodovia Rio-Santos em São Sebastião*. Acesso em 23 de fevereiro de 2017, <

<http://folhadolitoralnorte.net.br/toneladas-de-pedras-desabam-hoje-14-sobre-a-rodovia-rio-santos-em-sao-sebastiao/>>.

Gomes, G. J. C., Sobreira, F. G. (2012). *Avaliação do Perigo de Queda de Blocos em Rodovias*. Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ, 35(2), 14-27.

Google Earth Pro (2017). Google Earth™, serviço de mapas.

ISRM – International Society for Rock Mechanics, Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests (1978). *Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses*. Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences 15: 319-368.

Maffra, C. Q. T. (2000). *Geologia estrutural do embasamento cristalino na região de São Sebastião, SP: Evidências de um domínio transpressivo*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências, USP.

NGI - Norwegian Geotechnical Institute (2013). *Using the Q-System - Rock Mass Classification and Support Design*. NGI Publication, Oslo, 54 p.

Pappalardo, G., Mineo, S., Rapisarda, F. (2014). *Rockfall hazard assesment along a road on the Peloritani Montains (northeastern Sicily, Italy)*. Natural Hazards and Earth System Sciences. 14, 2735-2748.

Pierson, L. A., Davis, S. A., Van Vickle, R. (1990). *Rockfall Hazard Rating System – Implementation Manual*. Washington: Federal Highway Administration (FHWA).

Priest S.D., Hudson J.A. (1976). *Discontinuity Spacings in Rock*. In. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 13: 135-148.

Portal Fotos Públicas (2016). *Deslizamento de pedras no km 120 da Rio-Santos em São Sebastião*. Acesso em 23 de fevereiro de 2017, <https://fotospublicas.com/deslizamento-de-pedras-no-km-120-da-rio-santos-em-sao-sebastiao/>>.

Portal G1 (2015). *Queda de pedras interdita rodovia Rio-Santos em São Sebastião, SP*. Acesso em 10 de julho de 2017, <<http://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/2015/03/queda-de-pedras-interdita-rodovia-rio-santos-em-sao-sebastiao-sp.html>>

Ritchie, A. M. (1963). *Evaluation of rockfall and its control*. Highway research record, (17).

Romana, M. (1985). New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. In Proceedings of the international symposium on role of rock mechanics, Zacatecas, Mexico (pp. 49-53).

Romana, M. (1993). *A geomechanical classification for slopes: slope mass rating*. In. *Comprehensive Rock Engineering*, 3(1), 575-599.

Romana, M., Serón, J. B., Montalar, E. (2003). SMR geomechanics classification: application, experience and validation. In: *Proceedings of the international symposium on role of rock mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy*. P.1-4.

Silva (2016). *Aplicação do sistema de avaliação de perigo "Rockfall Hazard Rating System" (RHRS) aos taludes da BR-356 / Rodovia dos Inconfidentes, MG*. Dissertação (Mestrado). Minas Gerais: Escola de Minas, UFOP.

Maffra, C. Q. T. (2000). *Geologia estrutural do embasamento cristalino na região de São Sebastião, SP: Evidências de um domínio transpressivo*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências, USP.

Smith, K., Petley, D. N. (2013). *Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster*. New York: Routledge, 306p.

Vallejo, L. I. G., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.

Wyllie, D. C., Mah, C. W. (2004). *Rock Slope Engineering: Civil and Mining*. Londres: Spon Press, 456p.

ANEXO 1 – TABELAS DE PARÂMETROS DAS DESCONTINUIDADES

LEVANTAMENTO DE DESCONTINUIDADES								LITOTIPO: BIOTITA GNAISSE BANDADO LOCALMENTE MIGMATIZADO			
NATUREZA E ORIENTAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES											
TALU- DE	TIPO	DIP	DIP DIR	PERSIS- TÊNCIA (m)	TER- MINA- ÇÃO	AERTURA / LARGURA (mm)	NATUREZA DO PREENCHIMENTO	RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE	FORMA DA SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE RUGOSIDADE (JRC)	FLUXO D'ÁGUA
A	Foliação	35	337	3 - 10	2	< 0,1 mm	Sem preenchimento	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
A	Foliação	60	345	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
A	Foliação	55	334	1 - 3	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
A	Foliação	55	340	3 - 10	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
A	Fratura	25	122	1 - 3	1	Fechada	Sem preenchimento	Aspera	Ondulada	10 a 12	Seco
A	Fratura	45	127	1 - 3	1	Fechada	Sem preenchimento	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
A	Fratura	30	130	1 - 3	1	Fechada	Sem preenchimento	Aspera	Ondulada	10 a 12	Seco
A	Foliação	45	352	3 - 10	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
A	Fratura	40	125	1 - 3	1	Fechada	Sem preenchimento	Aspera	Ondulada	10 a 12	Seco
A	Foliação	80	332	1 - 3	1	Fechada	Sem preenchimento	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
A	Foliação	55	337	1 - 3	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
A	Foliação	60	335	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
A	Fratura	25	123	1 - 3	1	Fechada	Sem preenchimento	Aspera	Ondulada	10 a 12	Seco
A	Fratura	45	127	1 - 3	1	Fechada	Sem preenchimento	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
A	Foliação	65	342	1 - 3	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
A	Foliação	55	340	3 - 10	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
A	Fratura	85	185	1 - 3	1	Fechada	Sem preenchimento	Rugosa	Planar	8 a 10	Seco
A	Fratura	85	187	1 - 3	2	3	Areno-argiloso	Rugosa	Planar	8 a 10	Seco
A	Fratura	60	180	1 - 3	2	Fechada	Sem preenchimento	Rugosa	Planar	8 a 10	Seco
A	Foliação	85	338	3 - 10	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
A	Foliação	85	338	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
A	Foliação	60	336	1 - 3	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
A	Fratura	80	63	1 - 3	1	Fechada	Sem preenchimento	Rugosa	Planar	8 a 10	Seco
B	Foliação	55	312	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
B	Fratura	45	300	3 - 10	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	8 a 10	Seco

LEVANTAMENTO DE DESCONTINUIDADES								LITOTIPO: BIOTITA GNAISSE BANDADO LOCALMENTE MIGMATIZADO			
NATUREZA E ORIENTAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES											
TALU- DE	TIPO	DIP	DIP DIR	PERSIS- TÊNCIA (m)	TER- MINA- ÇÃO	AERTURA / LARGURA (mm)	NATUREZA DO PREENCHIMENTO	RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE	FORMA DA SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE RUGOSIDADE (JRC)	FLUXO D'ÁGUA
B	Fratura	174	85	3 - 10	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
B	Foliação	90	340	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
B	Foliação	65	340	1 - 3	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
B	Fratura	30	85	3 - 10	1	< 0,1 mm	Areno-argiloso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
B	Fratura	7	50	< 1	1	Fechada	Sem preenchimento	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
B	Fratura	175	85	3 - 10	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
B	Fratura	75	60	< 1	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
B	Foliação	55	340	1 - 3	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
B	Foliação	85	335	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
B	Foliação	70	340	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
B	Foliação	55	350	1 - 3	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
B	Foliação	60	345	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
B	Foliação	50	330	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
B	Fratura	27	80	1 - 3	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
B	Fratura	10	80	< 1	2	Fechada	Sem preenchimento	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
B	Foliação	90	330	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
B	Foliação	90	340	3 - 10	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
B	Foliação	85	335	3 - 10	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
B	Fratura	5	220	< 1	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
B	Foliação	60	10	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
B	Fratura	80	5	3 - 10	2	3	Areno-argiloso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
B	Fratura	0	30	< 1	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
B	Foliação	30	340	1 - 3	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
B	Foliação	50	352	< 1	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
B	Foliação	40	345	1 - 3	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco

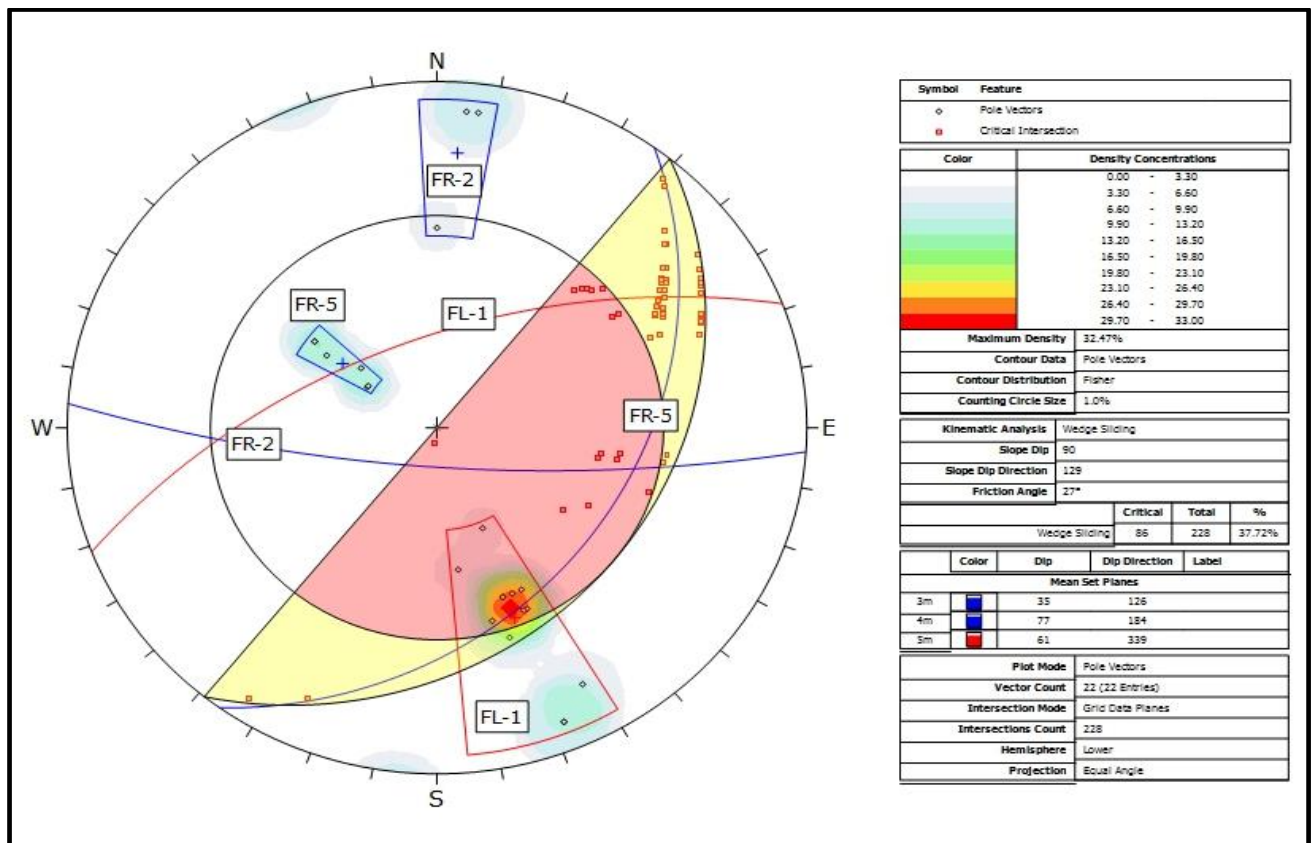
LEVANTAMENTO DE DESCONTINUIDADES								LITOTIPO: BIOTITA GNAISSE BANDADO LOCALMENTE MIGMATIZADO			
NATUREZA E ORIENTAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES											
TALU- DE	TIPO	DIP	DIP DIR	PERSIS- TÊNCIA (m)	TER- MINA- ÇÃO	AERTURA / LARGURA (mm)	NATUREZA DO PREENCHIMENTO	RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE	FORMA DA SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE RUGOSIDADE (JRC)	FLUXO D'ÁGUA
B	Fratura	85	252	3 - 10	2	Fechada	Sem preenchimento	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
B	Fratura	80	340	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
B	Fratura	90	190	< 1	2	3	Areno-argiloso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
B	Fratura	85	208	3 - 10	2	3	Areno-argiloso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
B	Fratura	80	210	3 - 10	2	3	Areno-argiloso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
C	Foliação	55	345	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
C	Fratura	90	30	1 - 3	1	3	Areno-argiloso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
C	Fratura	90	40	3 - 10	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
C	Fratura	50	120	< 1	2	< 0,1 mm	Areno-argiloso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
C	Foliação	50	335	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
C	Fratura	80	256	< 1	2	Fechada	Sem preenchimento	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
C	Fratura	90	106	3 - 10	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
C	Fratura	50	305	< 1	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
C	Fratura	90	207	3 - 10	1	3	Areno-argiloso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
C	Fratura	3	235	3 - 10	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
C	Fratura	5	210	< 1	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
C	Fratura	80	198	< 1	1	3	Areno-argiloso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
C	Fratura	80	190	< 1	2	3	Areno-argiloso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
C	Fratura	65	172	< 1	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
C	Foliação	50	340	3 - 10	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
C	Foliação	50	345	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
C	Foliação	55	350	< 1	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
D	Foliação	75	155	3 - 10	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
D	Fratura	70	165	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
D	Fratura	80	172	< 1	1	Fechada	Sem preenchimento	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco

LEVANTAMENTO DE DESCONTINUIDADES								LITOTIPO: BIOTITA GNAISSE BANDADO LOCALMENTE MIGMATIZADO			
NATUREZA E ORIENTAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES											
TALU- DE	TIPO	DIP	DIP DIR	PERSIS- TÊNCIA (m)	TER- MINA- ÇÃO	AERTURA / LARGURA (mm)	NATUREZA DO PREENCHIMENTO	RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE	FORMA DA SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE RUGOSIDADE (JRC)	FLUXO D'ÁGUA
D	Fratura	65	150	< 1	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
D	Fratura	3	235	< 1	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
D	Fratura	5	210	< 1	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
D	Foliação	60	310	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
D	Foliação	55	315	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
D	Fratura	60	300	< 1	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Aspera	Planar	6 a 8	Seco
D	Fratura	4	225	3 - 10	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
E	Foliação	60	310	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
E	Fratura	60	130	< 1	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
E	Fratura	10	145	< 1	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
E	Foliação	65	315	< 1	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
E	Fratura	55	125	1 - 3	1	< 0,1 mm	Areno-argiloso	Aspera	Planar	6 a 8	Seco
E	Foliação	60	305	1 - 3	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
E	Fratura	20	135	1 - 3	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Ondulada	8 a 10	Seco
E	Foliação	60	310	< 1	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
E	Fratura	87	88	1 - 3	2	Fechada	Sem preenchimento	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
E	Fratura	88	264	< 1	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
E	Fratura	80	1	1 - 3	1	3	Areno-argiloso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
E	Fratura	88	170	3 - 10	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
E	Foliação	55	310	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Fratura	80	95	3 - 10	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Fratura	85	90	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Fratura	85	240	< 1	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Foliação	60	340	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Fratura	75	100	< 1	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco

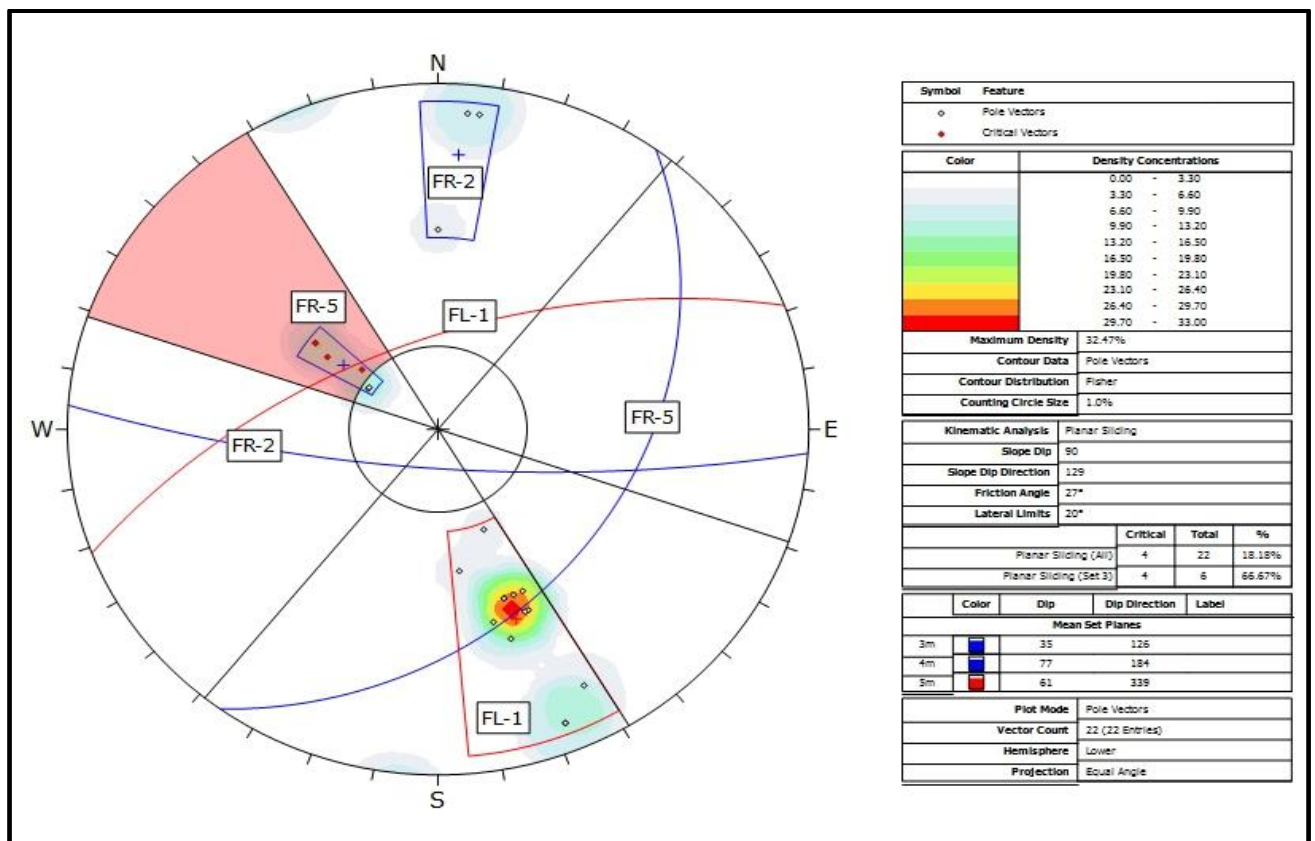
LEVANTAMENTO DE DESCONTINUIDADES								LITOTIPO: BIOTITA GNAISSE BANDADO LOCALMENTE MIGMATIZADO			
NATUREZA E ORIENTAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES											
TALU- DE	TIPO	DIP	DIP DIR	PERSIS- TÊNCIA (m)	TER- MINA- ÇÃO	AERTURA / LARGURA (mm)	NATUREZA DO PREENCHIMENTO	RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE	FORMA DA SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE RUGOSIDADE (JRC)	FLUXO D'ÁGUA
F	Fratura	80	95	< 1	1	Fechada	Sem preenchimento	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Foliação	45	335	< 1	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Fratura	80	95	1 - 3	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Fratura	80	245	3 - 10	1	Fechada	Sem preenchimento	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Foliação	60	340	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Foliação	50	330	1 - 3	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Foliação	60	345	< 1	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Fratura	90	235	1 - 3	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Foliação	50	330	< 1	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Foliação	65	350	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Fratura	85	240	< 1	1	Fechada	Sem preenchimento	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Foliação	55	340	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Foliação	70	345	3 - 10	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
F	Foliação	50	340	< 1	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
G	Foliação	60	350	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
G	Foliação	65	355	< 1	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
G	Foliação	55	10	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
G	Foliação	50	15	< 1	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
G	Foliação	55	345	< 1	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
G	Foliação	60	5	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
G	Foliação	60	350	< 1	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
G	Foliação	80	310	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
G	Foliação	60	350	< 1	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
G	Foliação	55	355	1 - 3	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
G	Foliação	85	315	1 - 3	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco

LEVANTAMENTO DE DESCONTINUIDADES								LITOTIPO: BIOTITA GNAISSE BANDADO LOCALMENTE MIGMATIZADO			
NATUREZA E ORIENTAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES											
TALU-DE	TIPO	DIP	DIP DIR	PERSIS-TÊNCIA (m)	TER-MINA-ÇÃO	AERTURA / LARGURA (mm)	NATUREZA DO PREENCHIMENTO	RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE	FORMA DA SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE RUGOSIDADE (JRC)	FLUXO D'ÁGUA
G	Foliação	75	305	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
G	Foliação	80	310	1 - 3	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
G	Foliação	56	345	1 - 3	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
G	Foliação	80	310	1 - 3	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
G	Foliação	60	350	< 1	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
G	Fratura	10	275	< 1	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
G	Foliação	65	350	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
G	Fratura	5	270	< 1	2	Fechada	Sem preenchimento	Rugosa	Ondulada	8 a 10	Seco
G	Foliação	60	350	< 1	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
G	Fratura	15	280	1 - 3	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Ondulada	8 a 10	Seco
H	Foliação	45	10	3 - 10	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Lisa	Planar	6 a 8	Seco
H	Foliação	75	340	1 - 3	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
H	Fratura	90	105	< 1	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
H	Foliação	50	15	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
H	Fratura	90	275	< 1	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
H	Foliação	80	335	1 - 3	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
H	Foliação	55	15	< 1	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
H	Foliação	80	330	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
H	Foliação	75	335	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
H	Foliação	50	10	< 1	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
H	Foliação	85	335	< 1	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
H	Fratura	85	95	< 1	1	< 0,1 mm	Areno-argiloso	Lisa	Planar	4 a 6	Seco
I	Fratura	25	80	< 1	1	< 0,1 mm	Areno-argiloso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
I	Fratura	35	75	3 - 10	1	< 0,1 mm	Areno-argiloso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
I	Foliação	65	15	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco

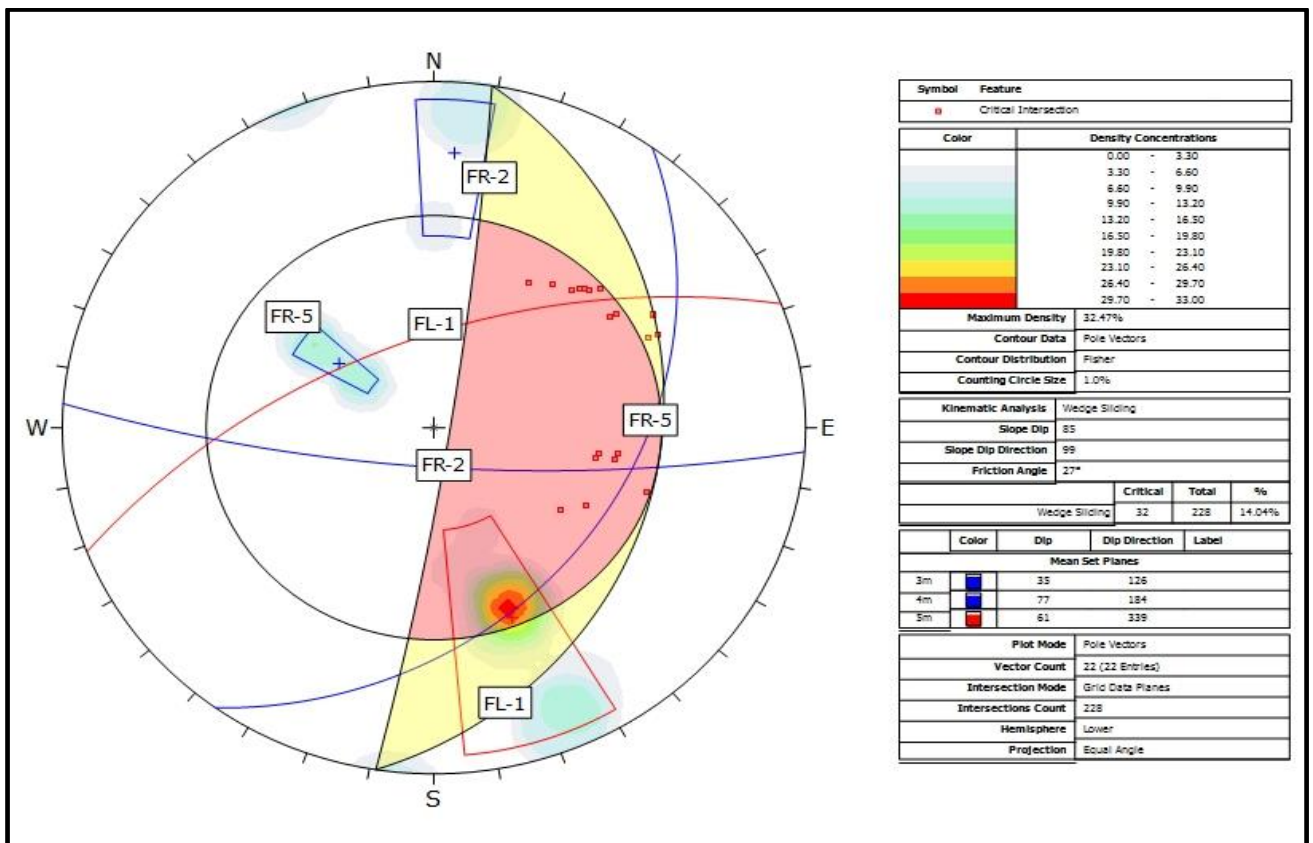
LEVANTAMENTO DE DESCONTINUIDADES								LITOTIPO: BIOTITA GNAISSE BANDADO LOCALMENTE MIGMATIZADO			
NATUREZA E ORIENTAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES											
TALU-DE	TIPO	DIP	DIP DIR	PERSIS-TÊNCIA (m)	TER-MINA-ÇÃO	AERTURA / LARGURA (mm)	NATUREZA DO PREENCHIMENTO	RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE	FORMA DA SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE RUGOSIDADE (JRC)	FLUXO D'ÁGUA
I	Fratura	40	80	< 1	1	Fechada	Sem preenchimento	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
I	Foliação	80	335	< 1	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
I	Fratura	30	70	< 1	1	0,1 a 0,25 mm	Areno-argiloso	Lisa	Ondulada	8 a 10	Seco
I	Foliação	75	340	1 - 3	1	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
I	Fratura	30	75	1 - 3	1	0,1 a 0,25 mm	Areno-argiloso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
I	Foliação	70	330	1 - 3	1	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
I	Fratura	55	85	< 1	1	< 0,1 mm	Areno-argiloso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
I	Fratura	30	80	3 - 10	1	< 0,1 mm	Areno-argiloso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
I	Fratura	70	15	1 - 3	2	Fechada	Sem preenchimento	Aspera	Planar	6 a 8	Seco
I	Foliação	80	335	< 1	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
I	Fratura	55	85	1 - 3	2	< 0,1 mm	Areno-argiloso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
I	Fratura	20	85	< 1	1	< 0,1 mm	Areno-argiloso	Aspera	Ondulada	8 a 10	Seco
I	Foliação	70	340	1 - 3	2	< 0,1 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
I	Fratura	90	100	1 - 3	1	< 0,1 mm	Areno-argiloso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
I	Foliação	75	330	< 1	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
I	Fratura	40	70	1 - 3	2	< 0,1 mm	Areno-argiloso	Rugosa	Ondulada	8 a 10	Seco
I	Foliação	85	330	1 - 3	2	0,1 a 0,25 mm	Silto-Arenoso	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco
I	Fratura	85	280	1 - 3	1	Fechada	Sem preenchimento	Rugosa	Planar	6 a 8	Seco



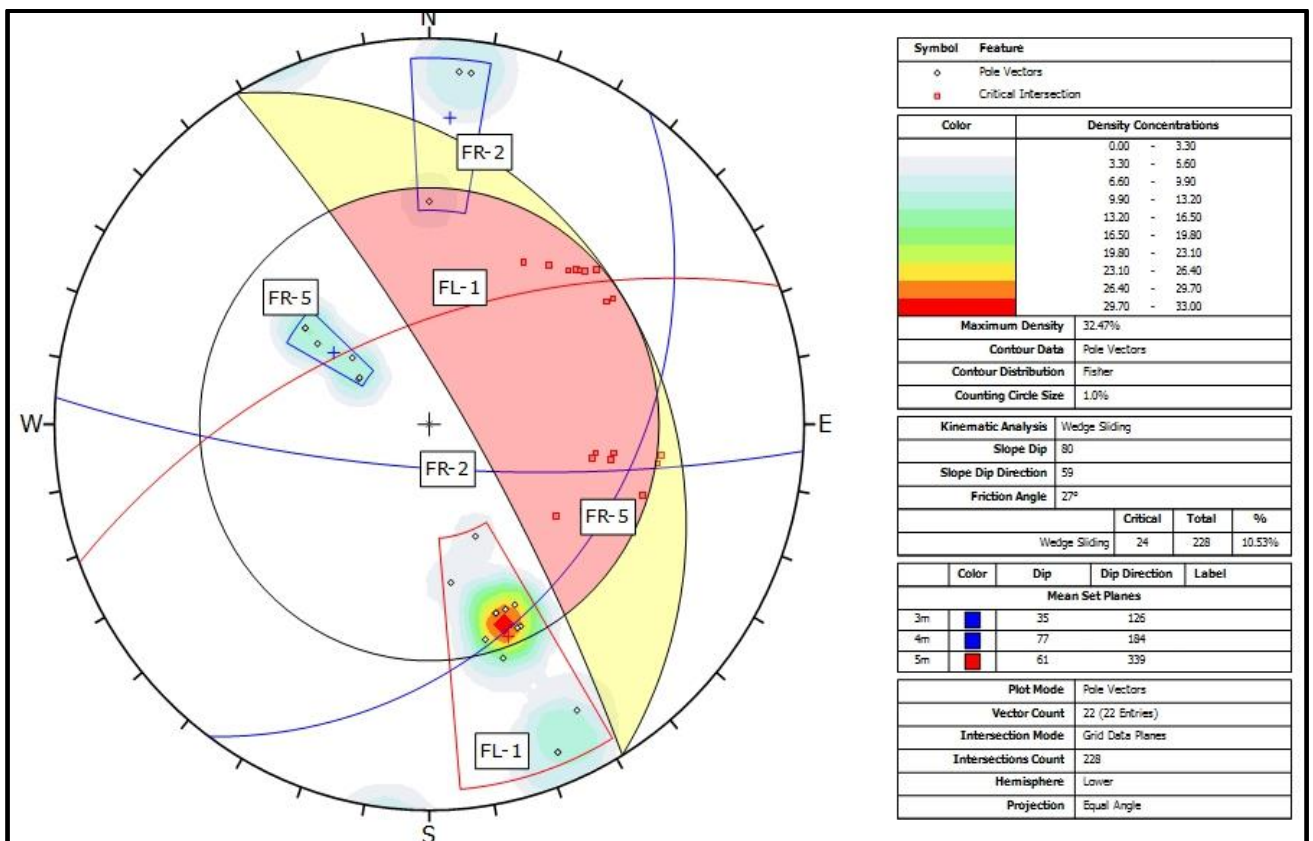
Estereograma 1 – Talude TA-1 – Ruptura em cunha.



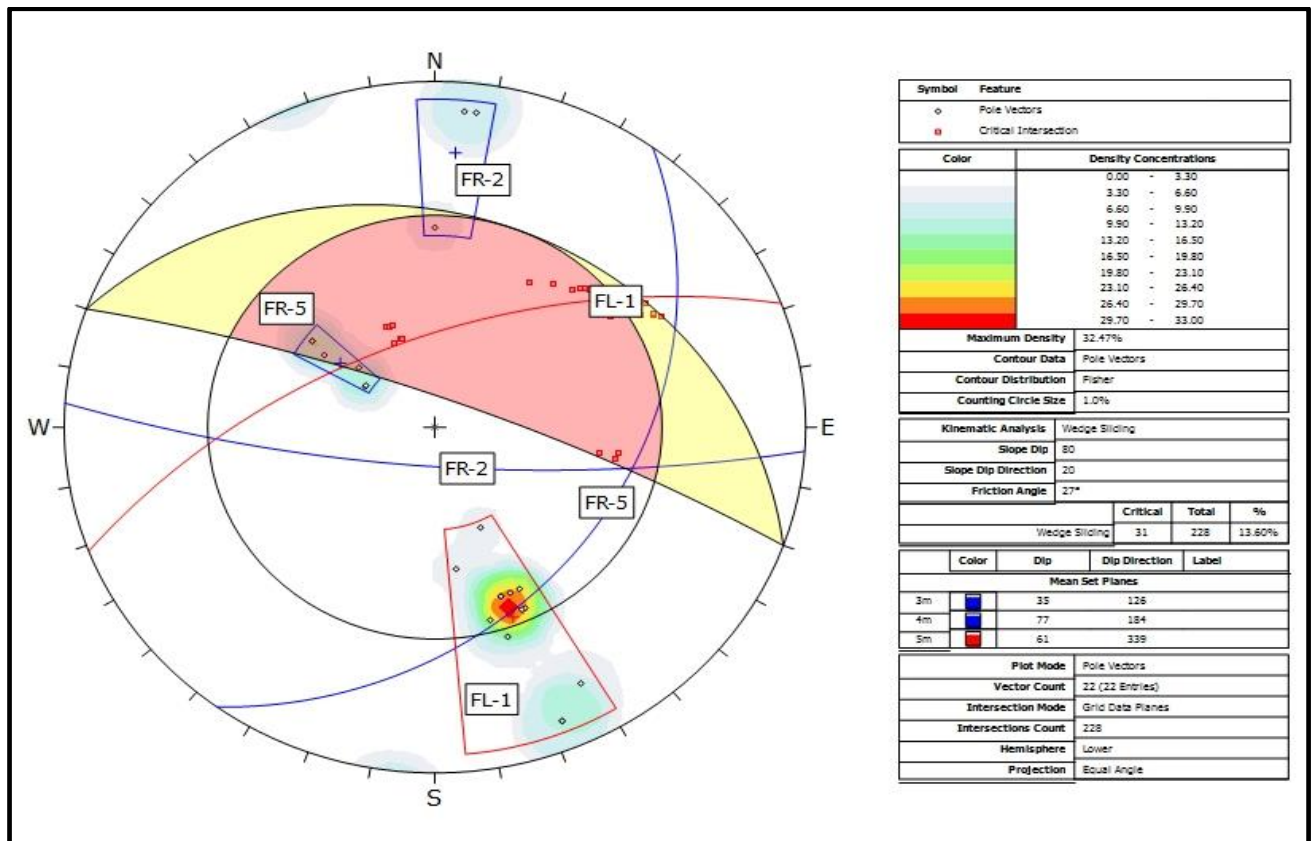
Estereograma 2 – Talude TA-1 – Tombamento.



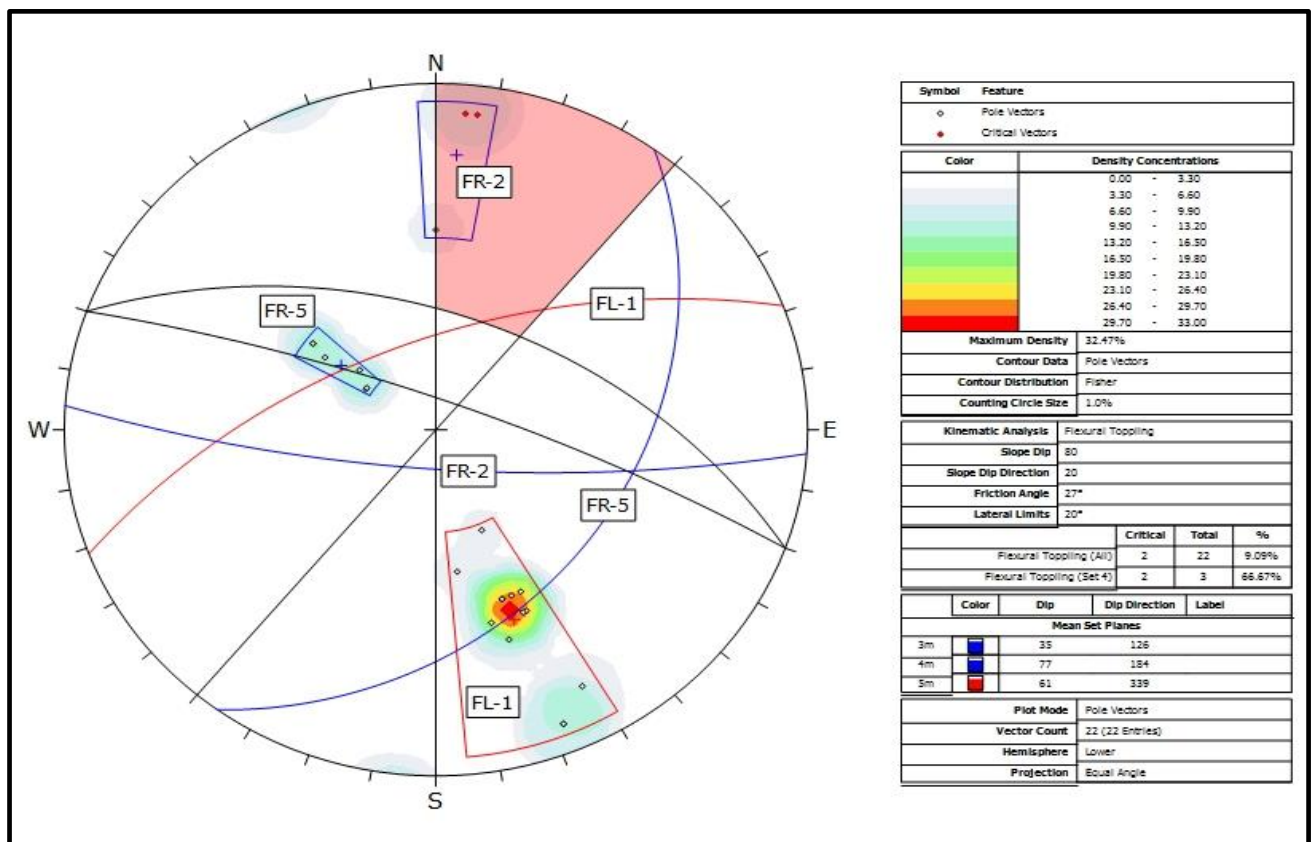
Estereograma 3 – Talude TA-2 – Ruptura em cunha.



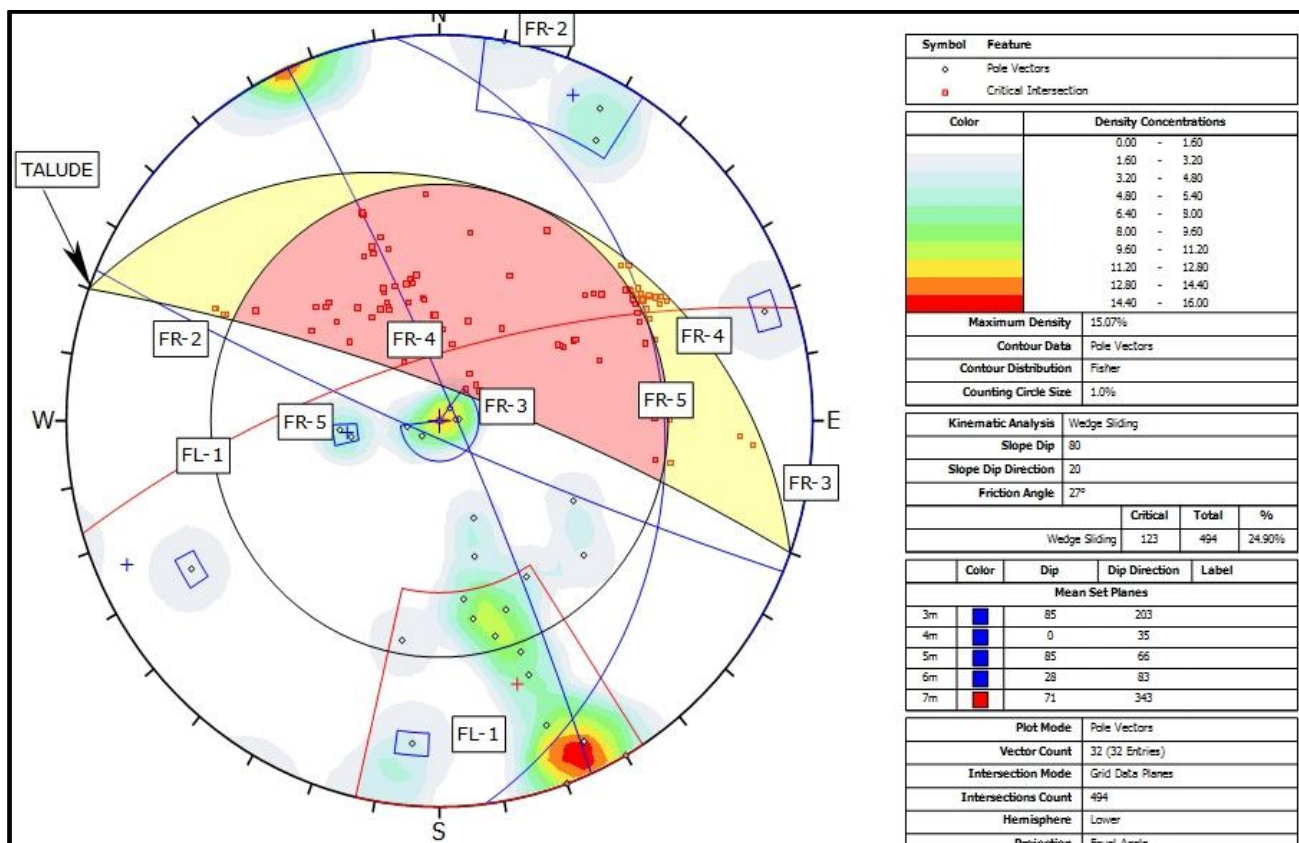
Estereograma 4 – Talude TA-3 – Ruptura em cunha.



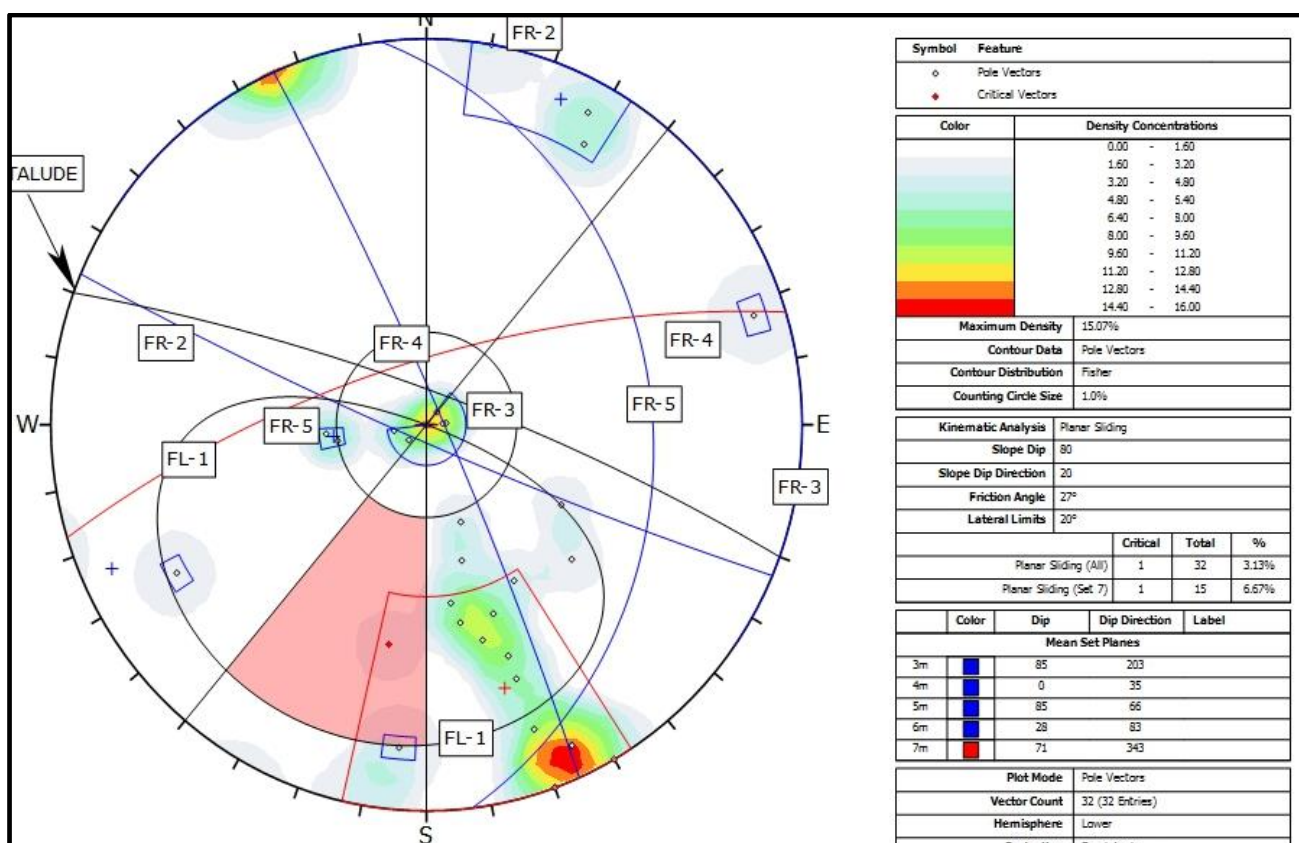
Estereograma 5 – Talude TA-4 – Ruptura em cunha.



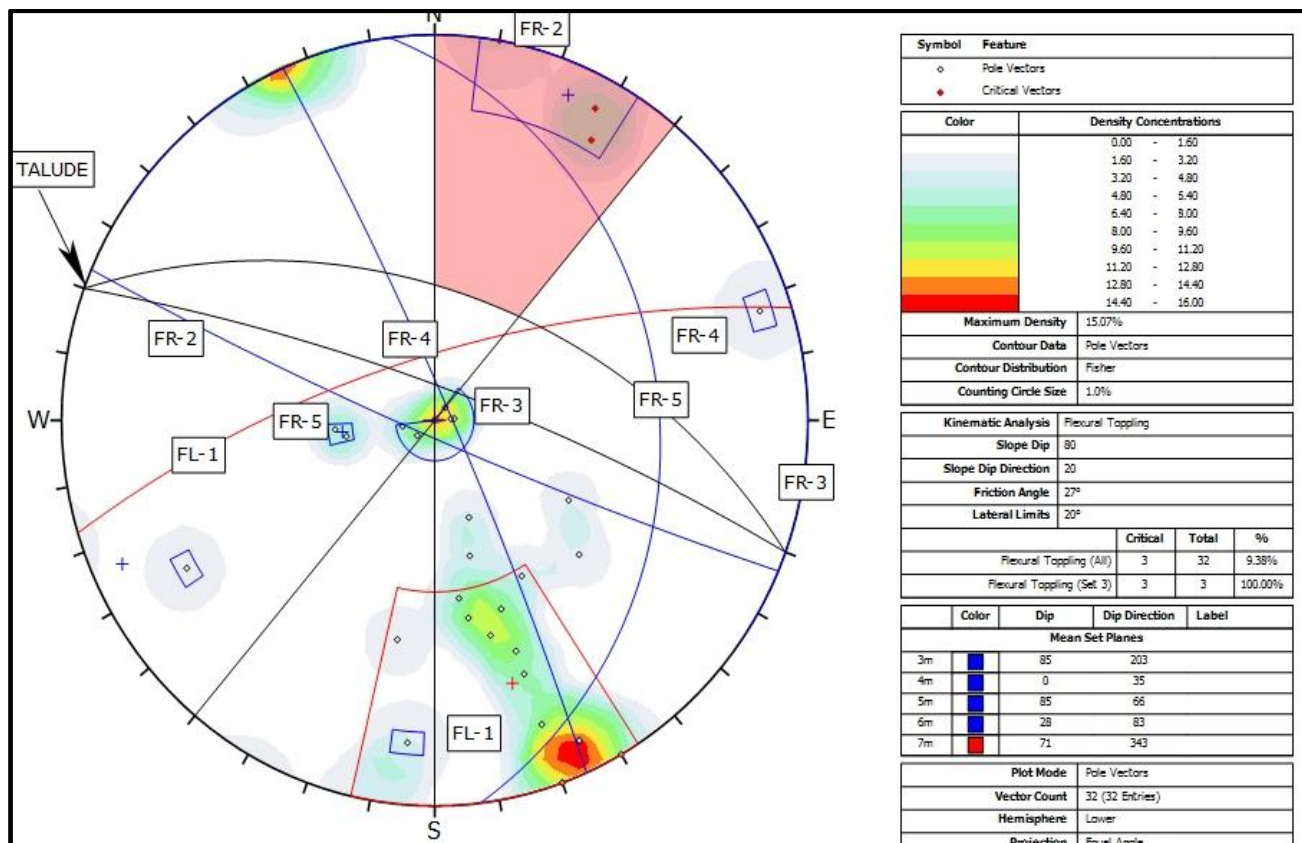
Estereograma 6 – Talude TA-4 – Tombamento.



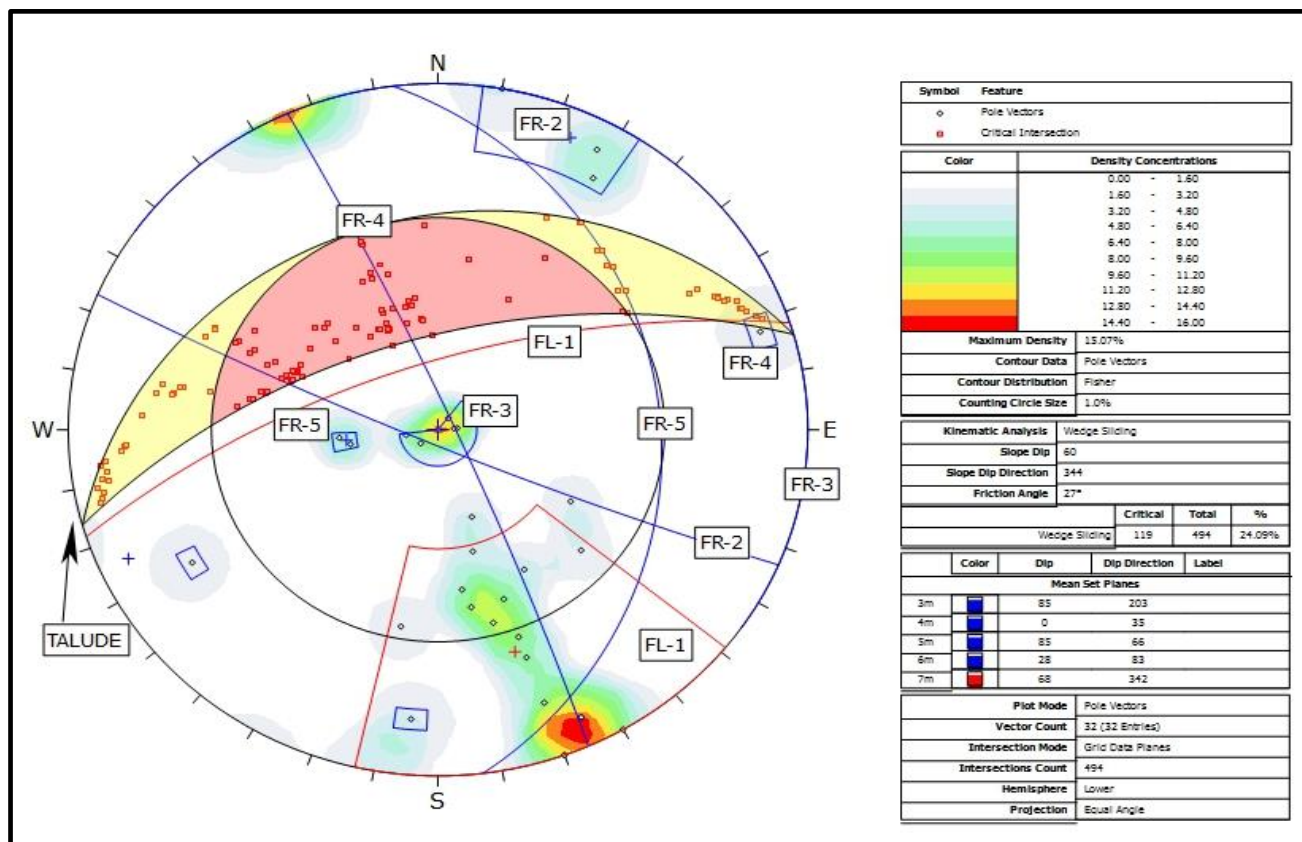
Estereograma 7 – Talude TB-1 – Ruptura em cunha.



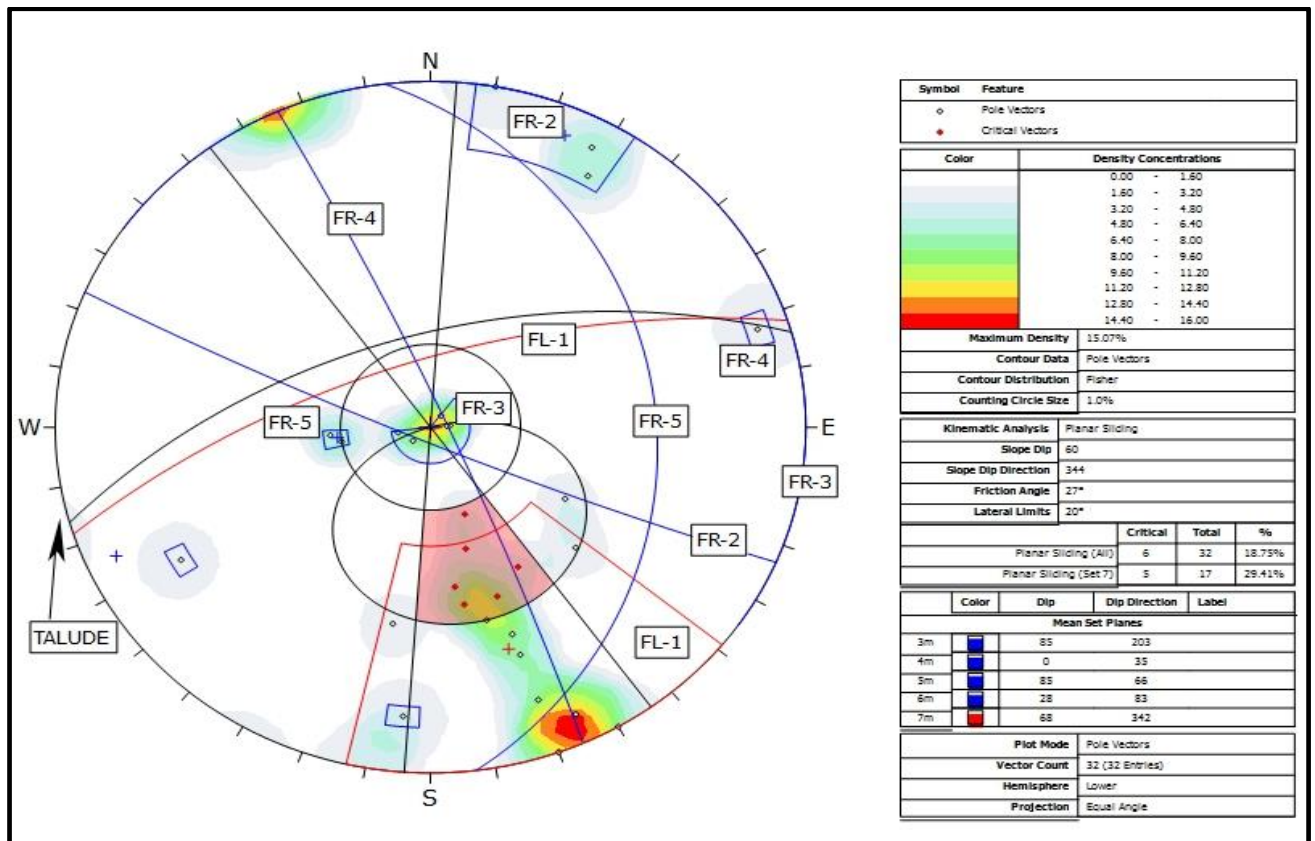
Estereograma 8 – Talude TB-1 – Ruptura planar.



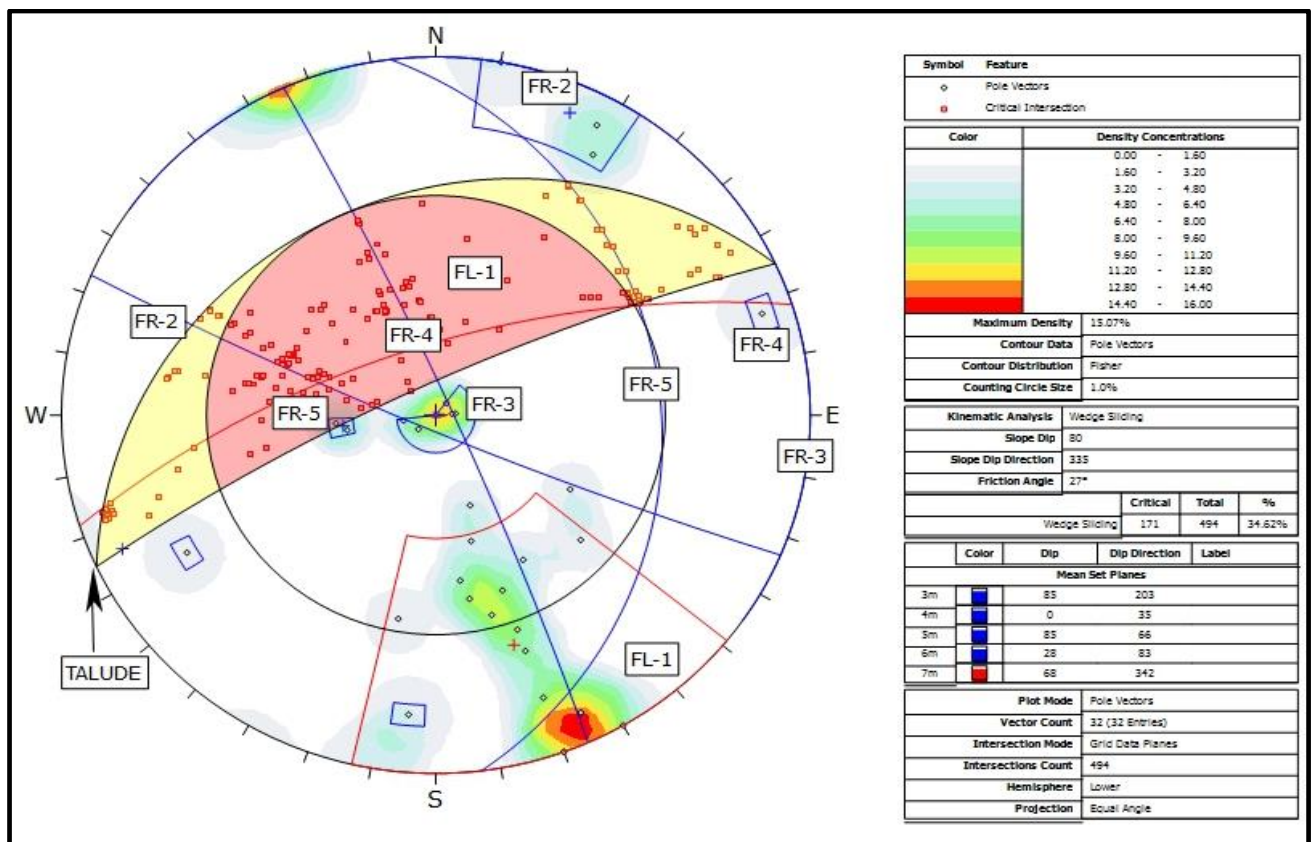
Stereograma 9 – Talude TB-1 – Tombamento.



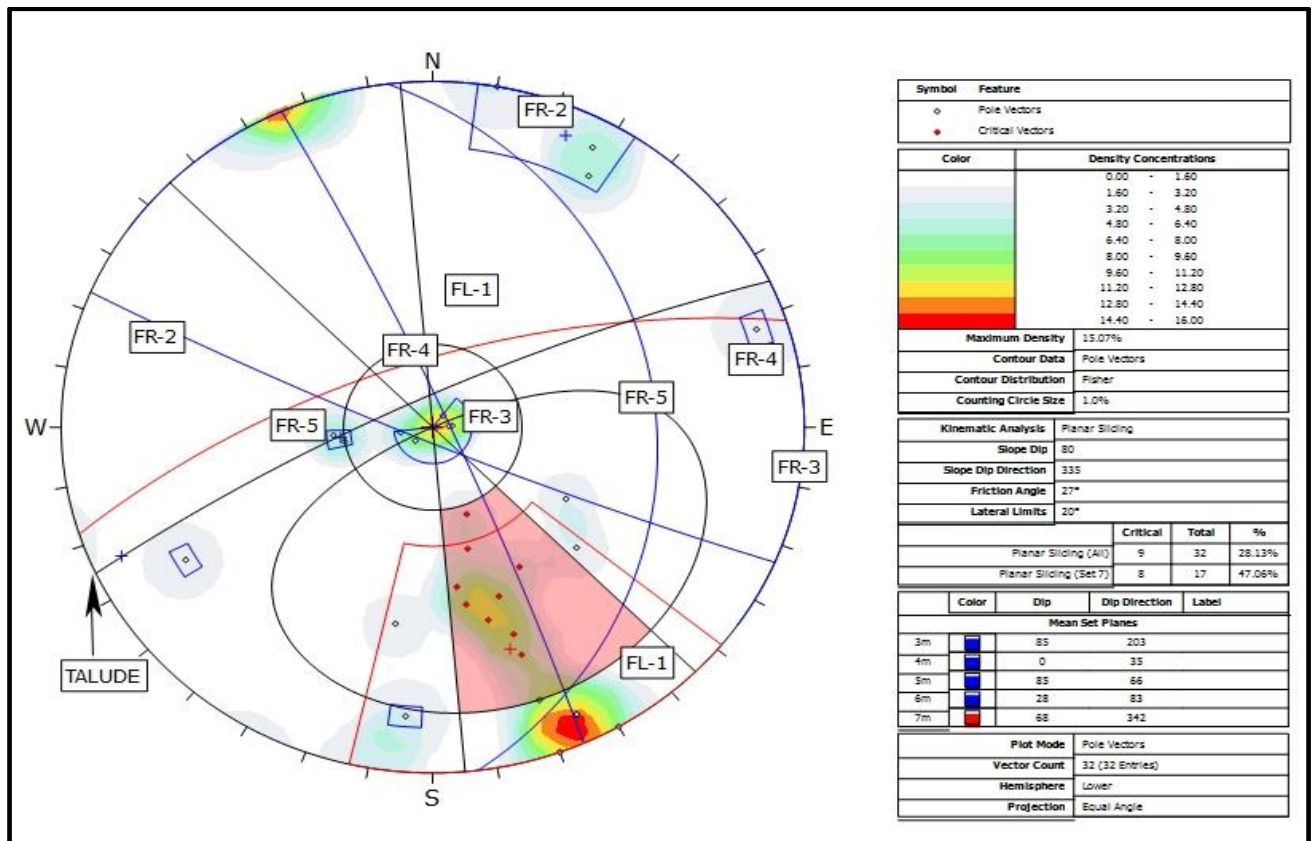
Stereograma 10 – Talude TB-2 – Ruptura em cunha.



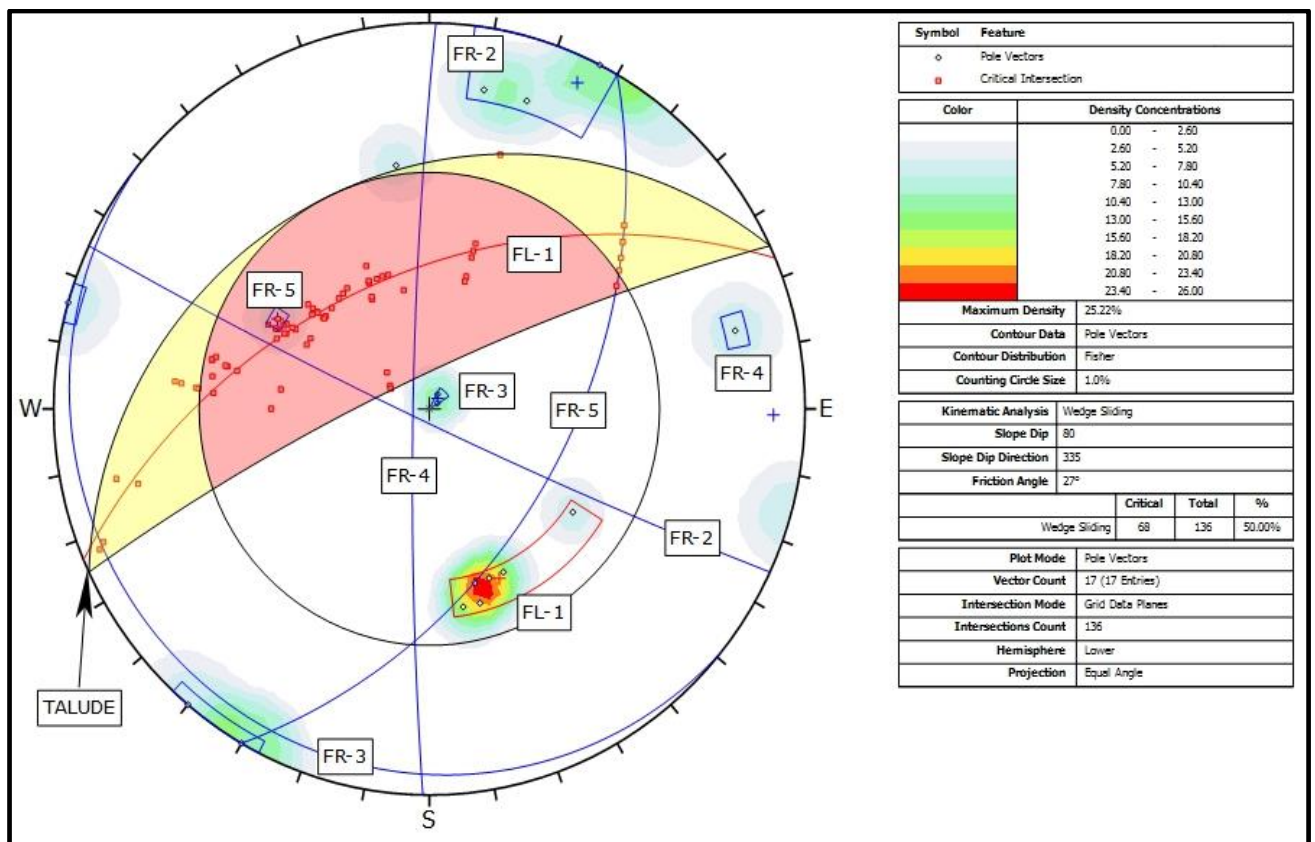
Estereograma 11 – Talude TB-2 – Ruptura planar.



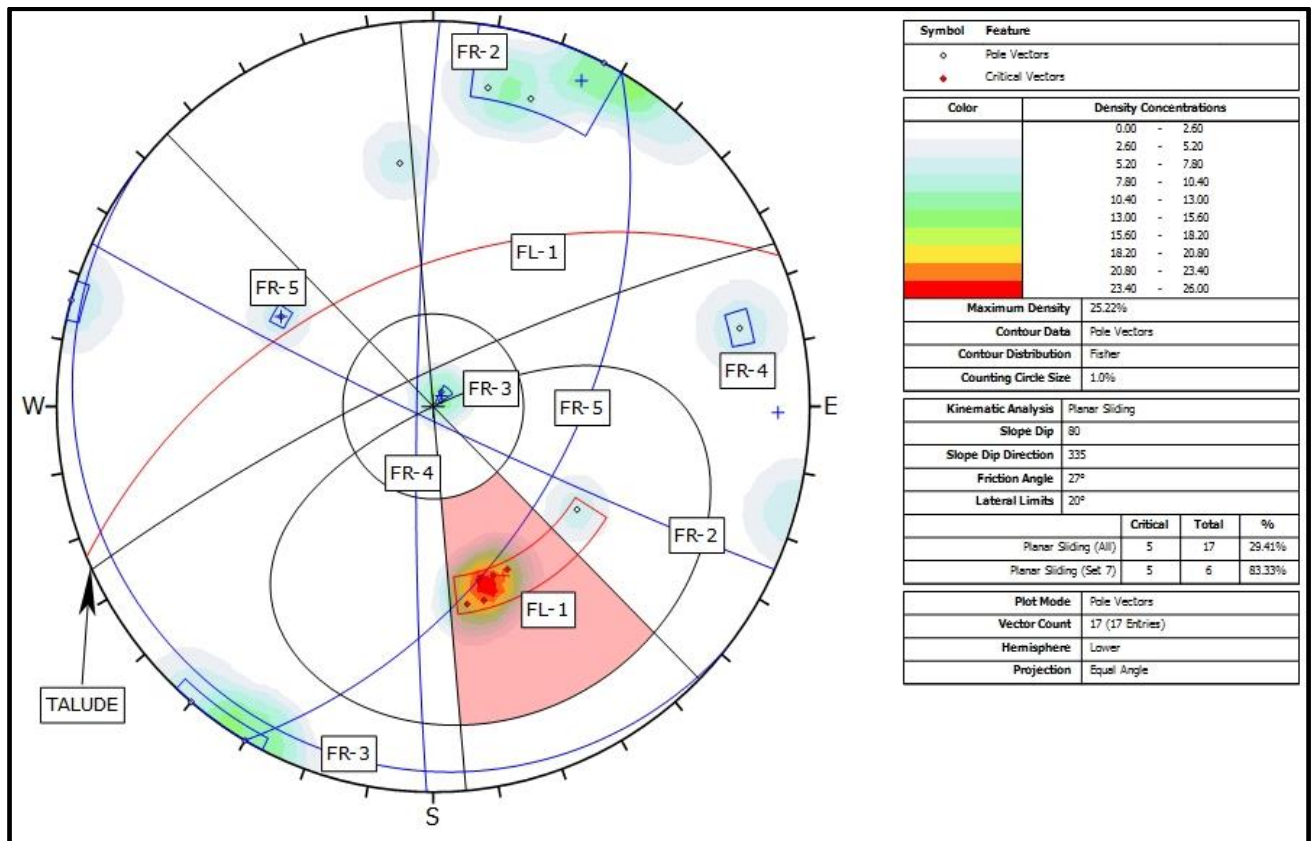
Estereograma 12 – Talude TB-3 – Ruptura em cunha.



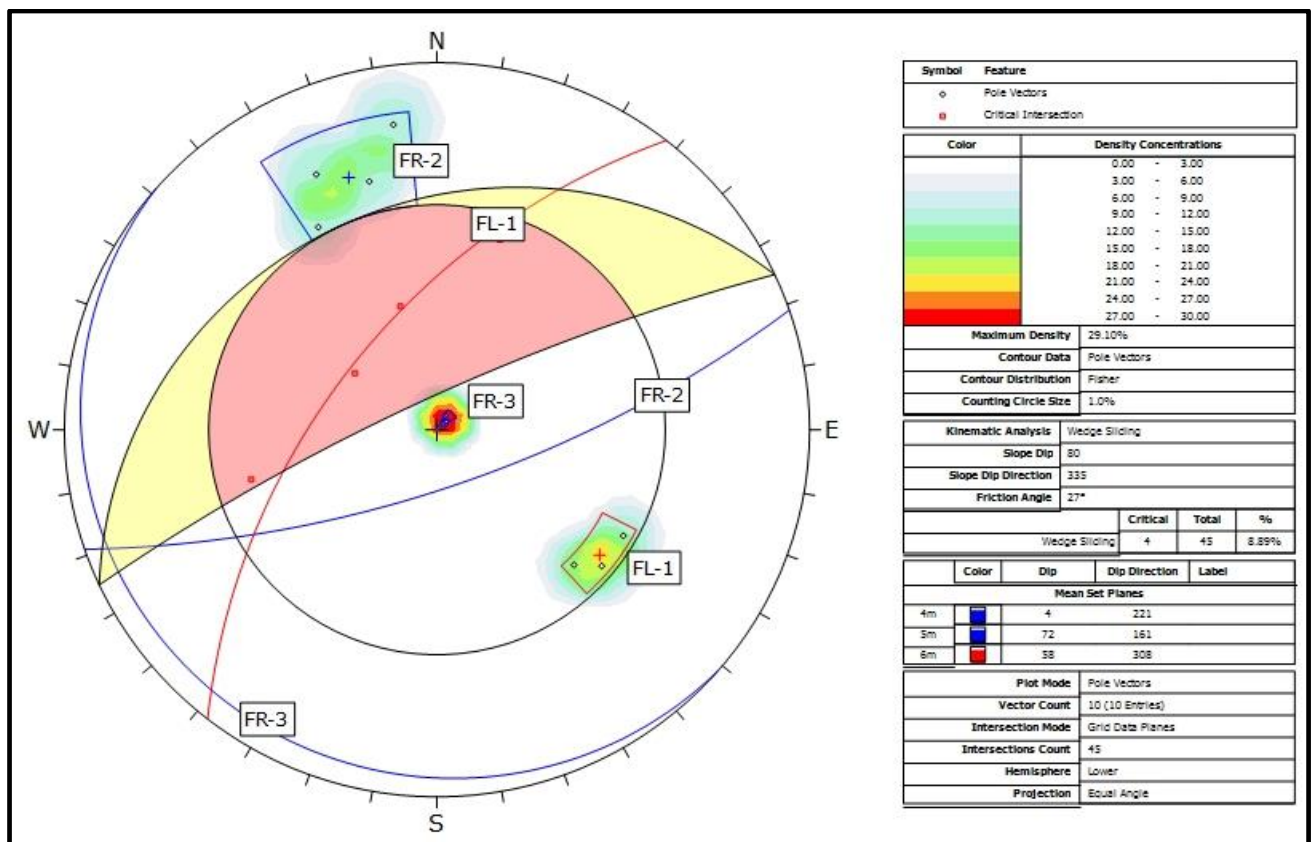
Estereograma 13 – Talude TB-3 – Ruptura planar.



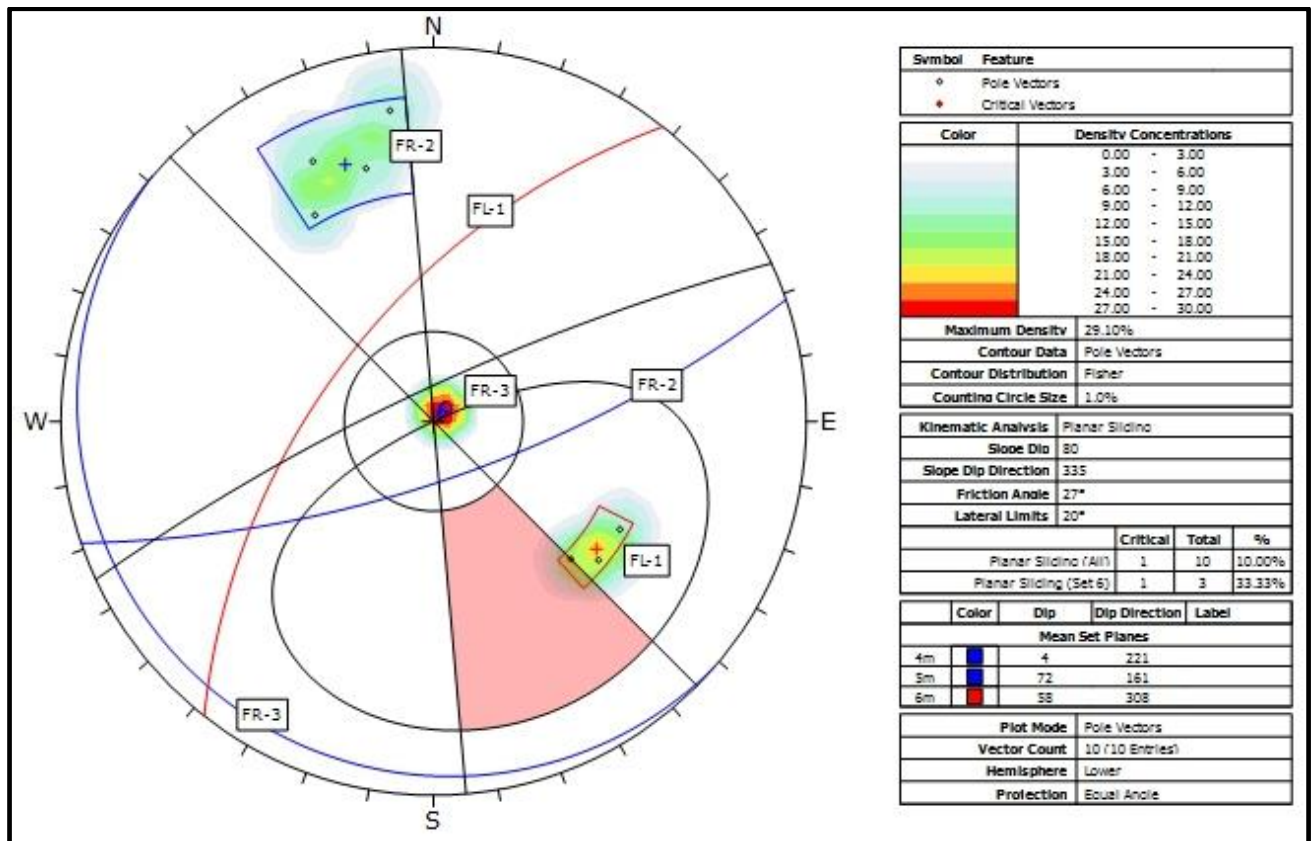
Estereograma 14 – Talude TC – Ruptura em cunha.



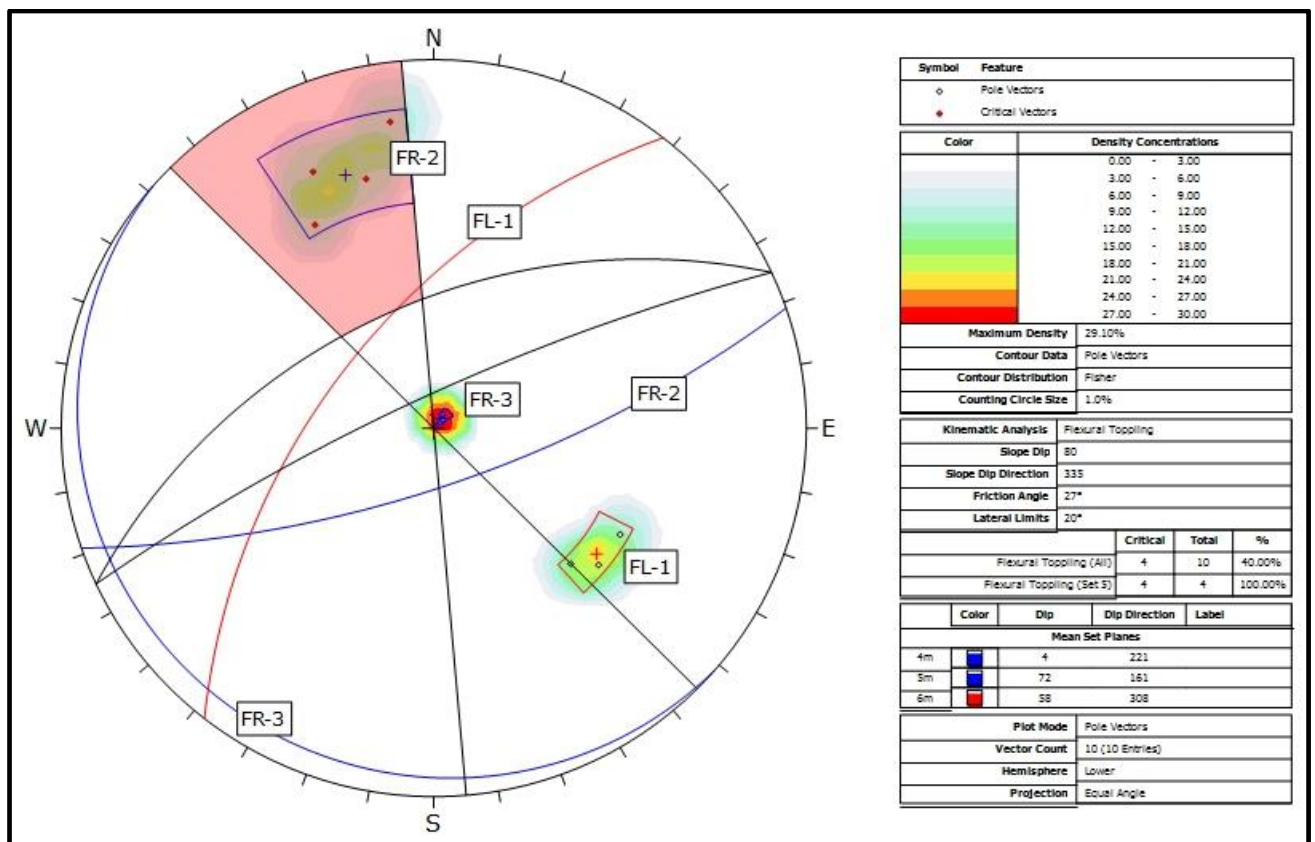
Estereograma 15 – Talude TC – Ruptura em planar.



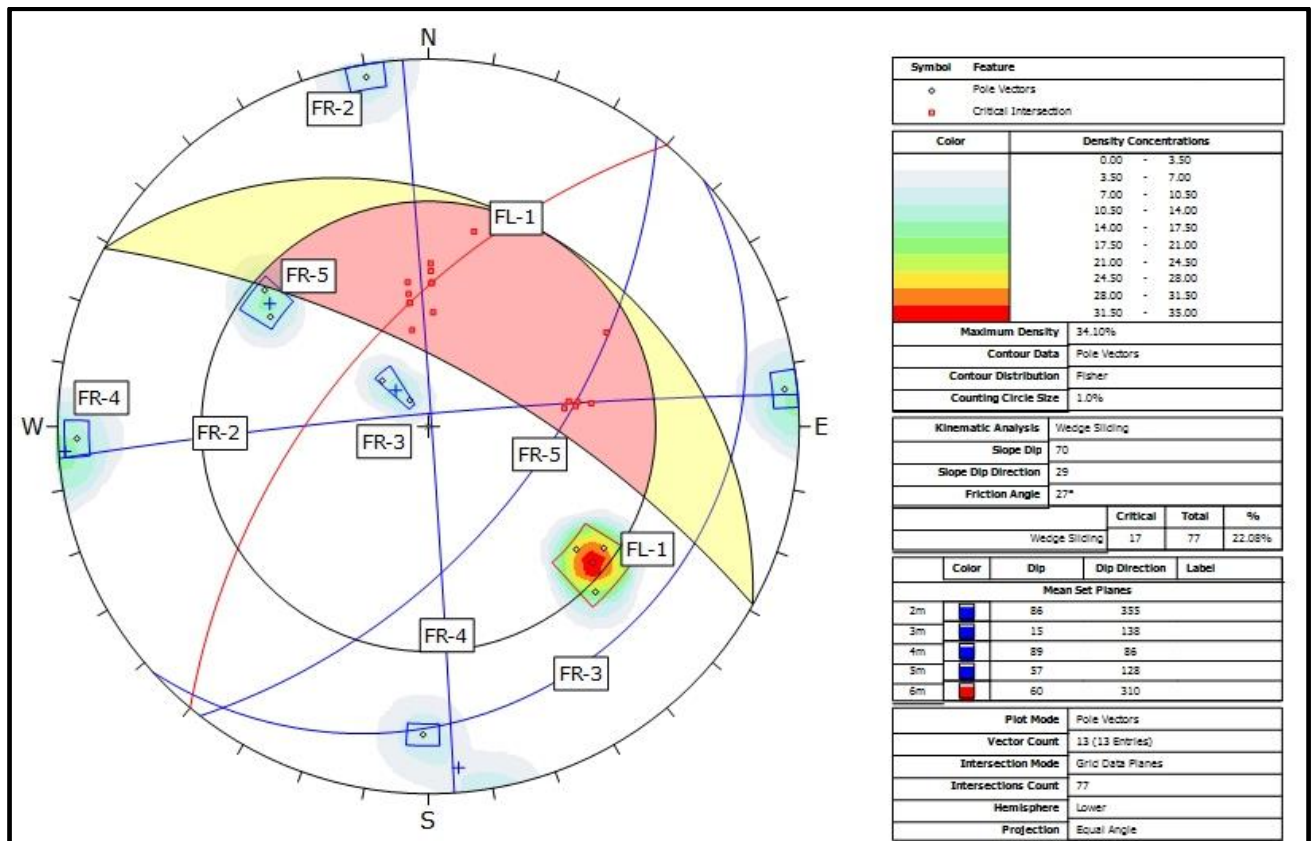
Estereograma 16 – Talude TD – Ruptura em cunha.



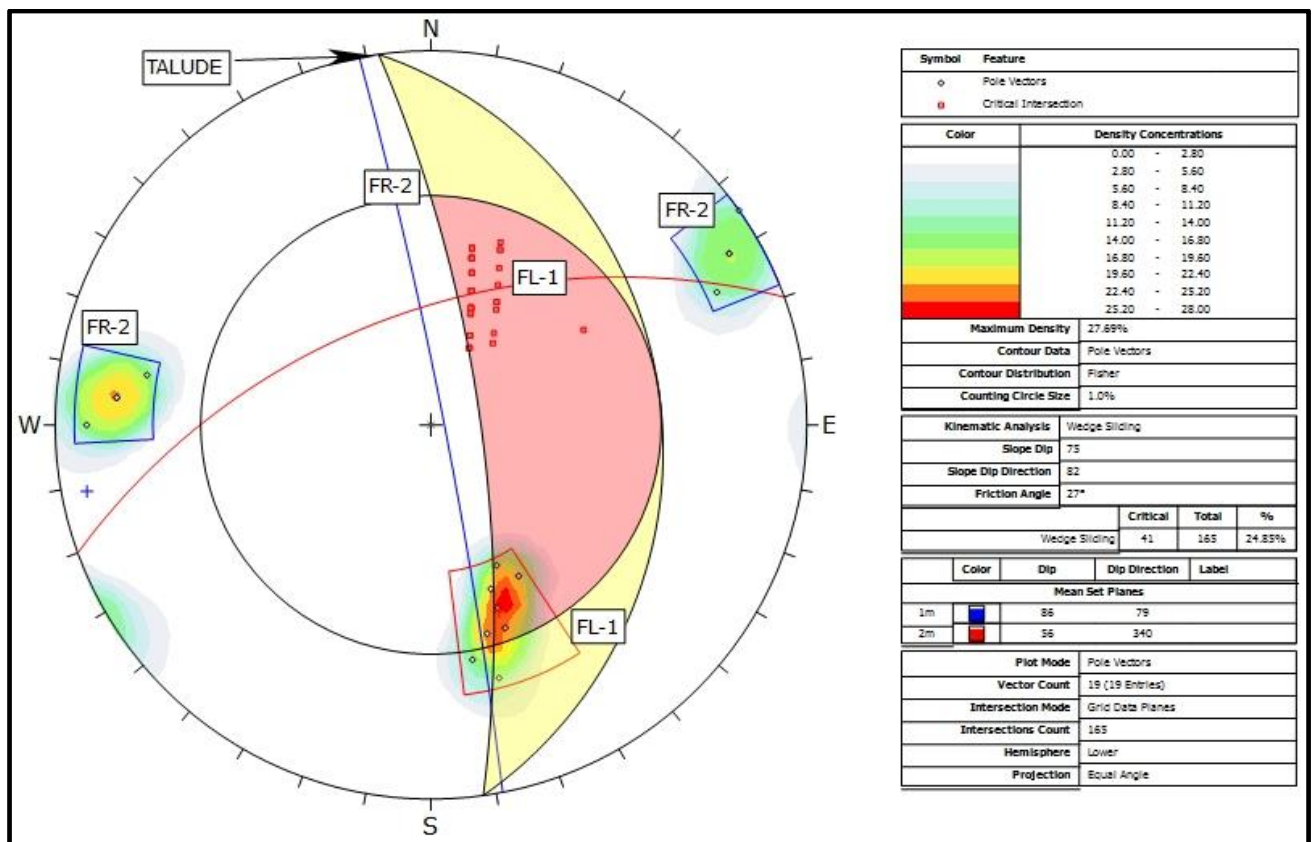
Estereograma 17 – Talude TD – Ruptura planar.



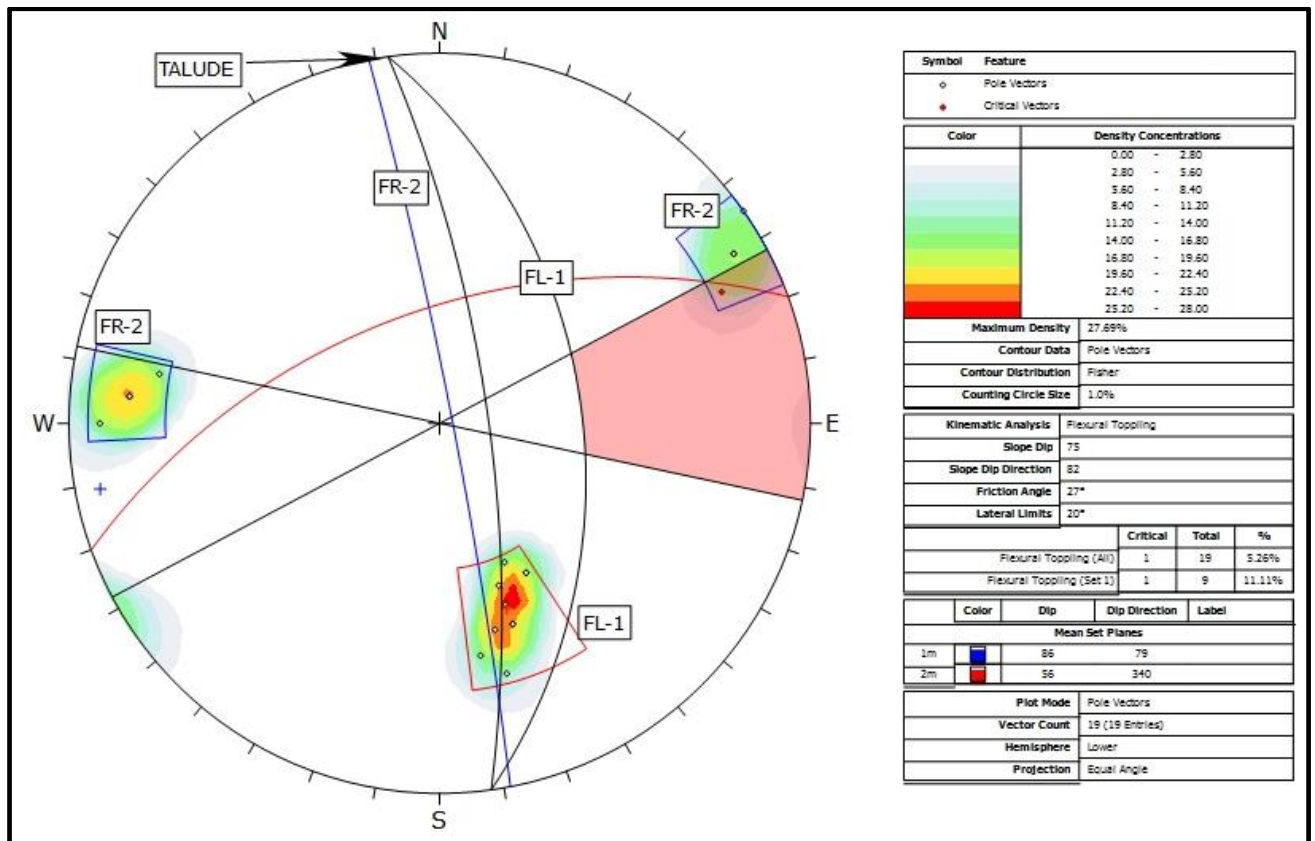
Estereograma 18 – Talude TD – Tombamento.



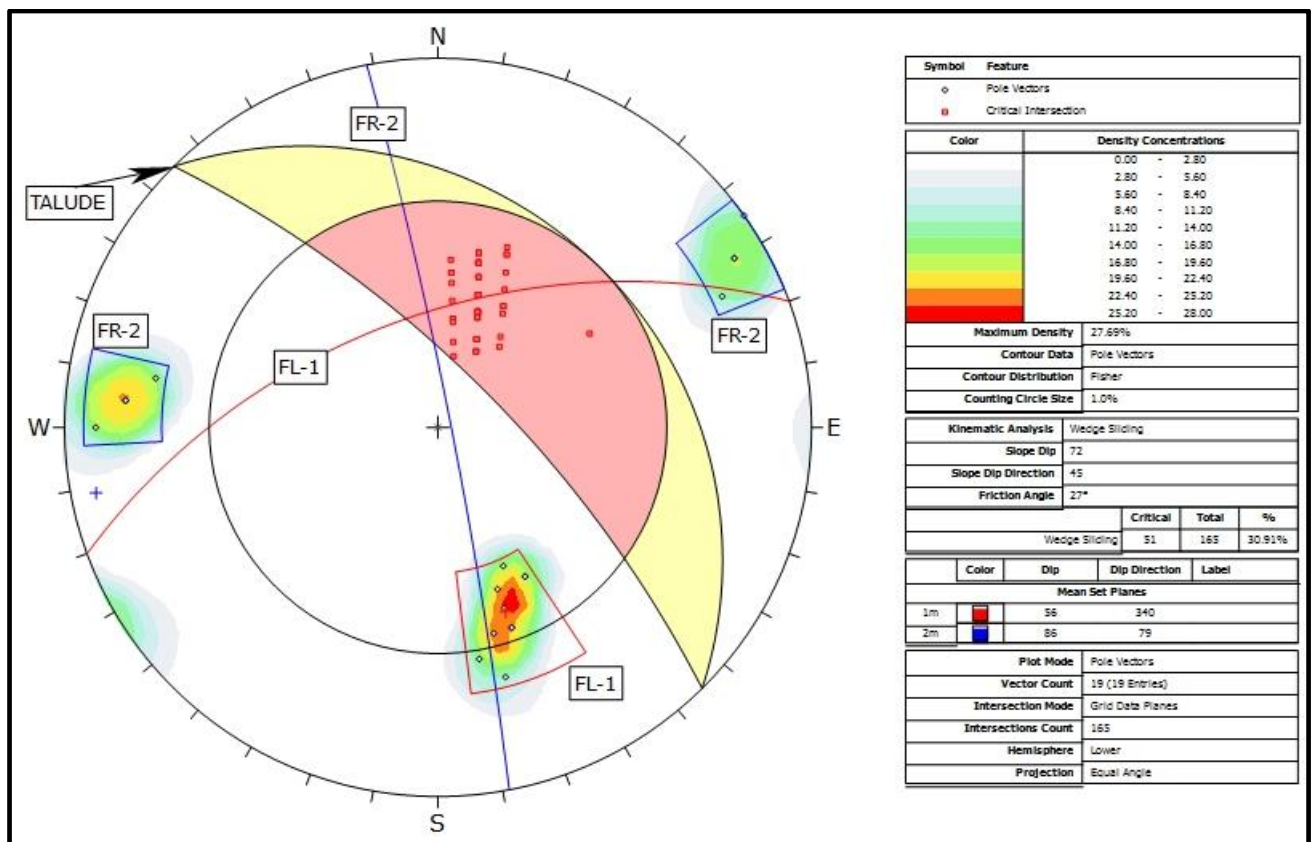
Estereograma 19 – Talude TE – Ruptura em cunha.



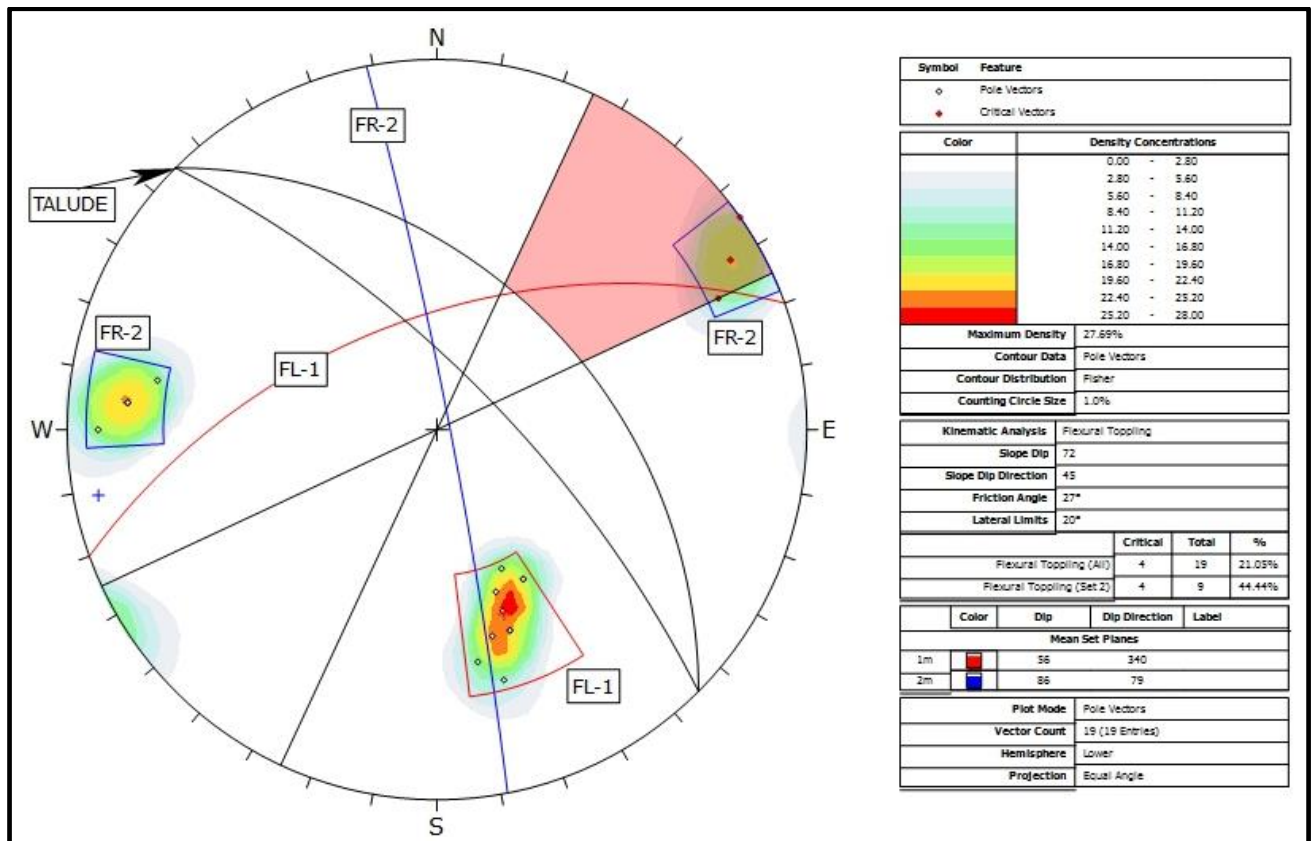
Estereograma 20 – Talude TF-1 – Ruptura em cunha.



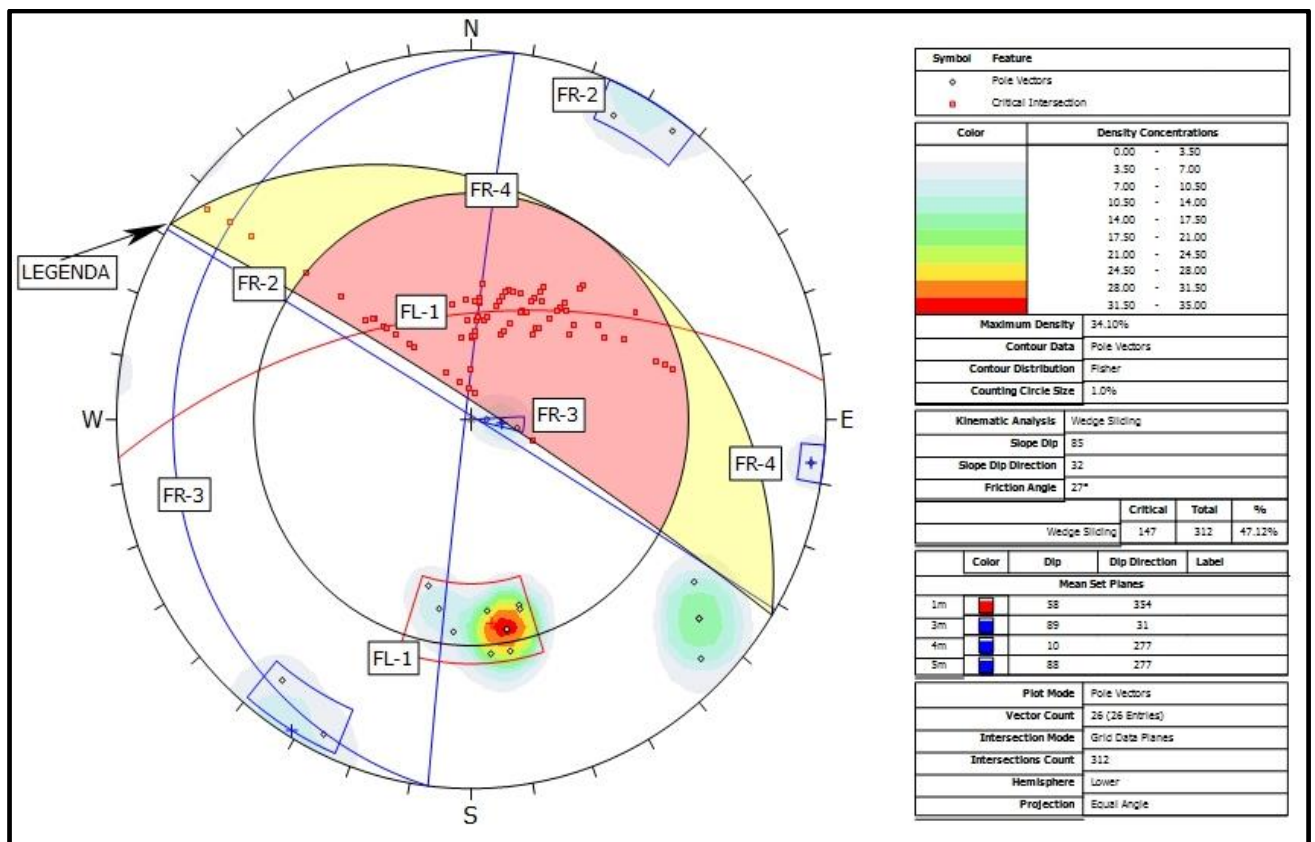
Estereograma 21 – Talude TF-1 – Tombamento.



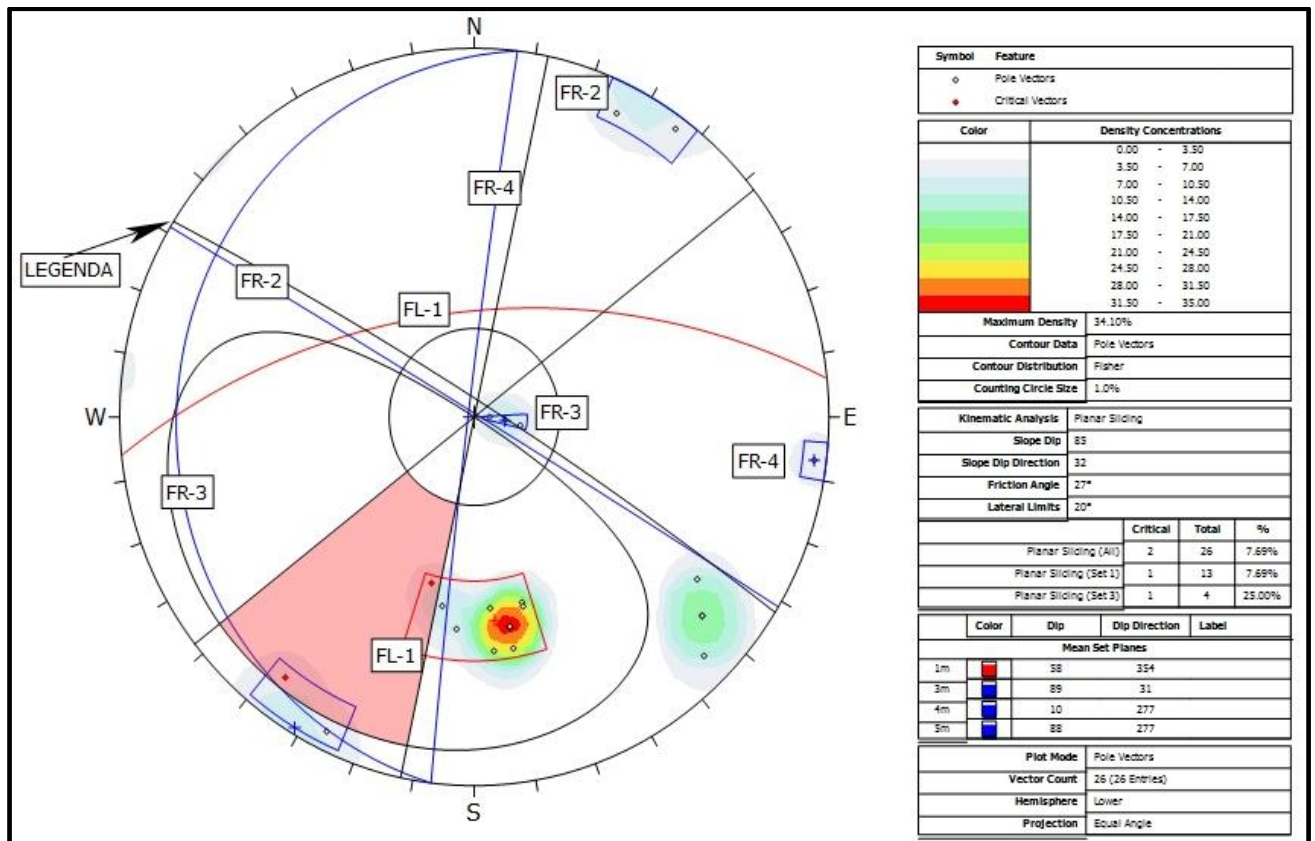
Estereograma 22 – Talude TF-2 – Ruptura em cunha.



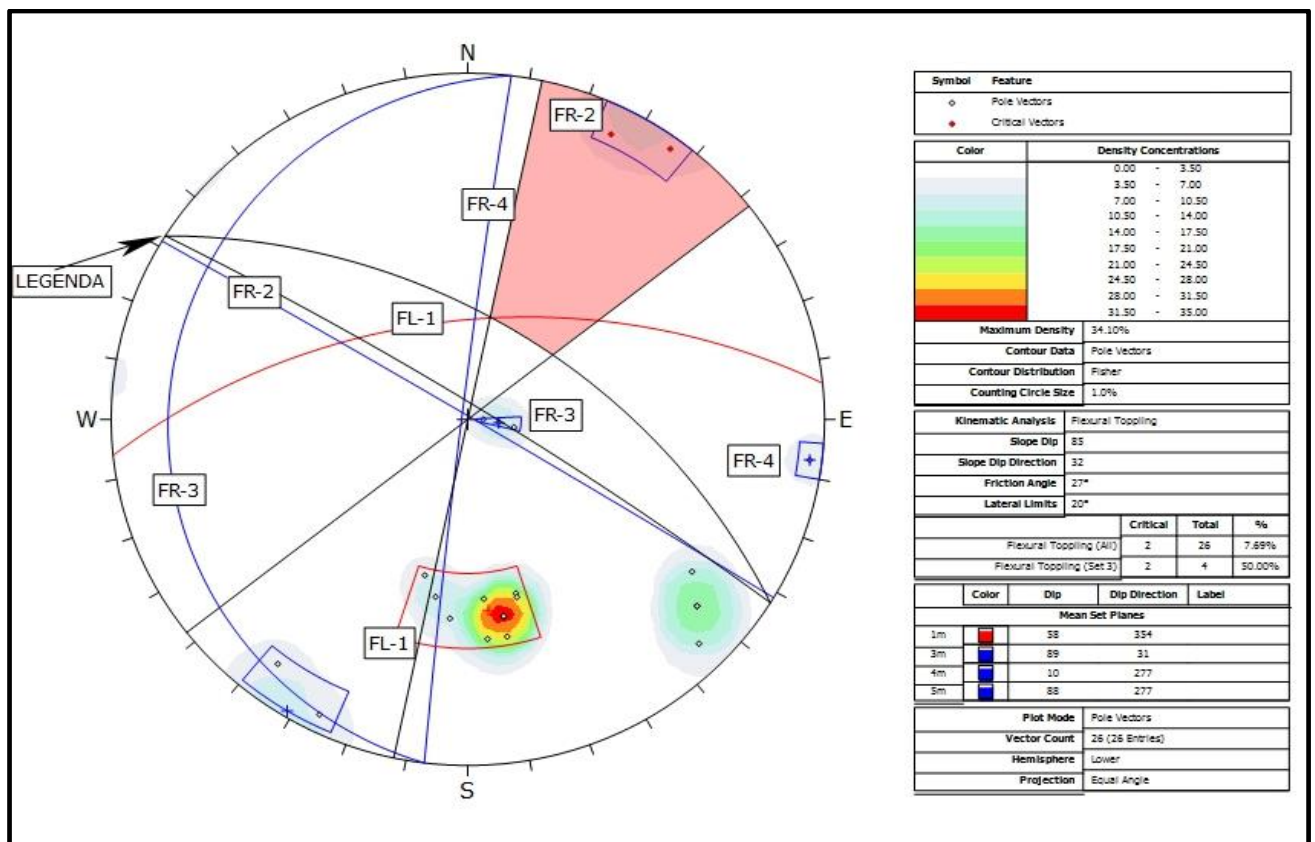
Estereograma 23 – Talude TF-2 – Tombamento.



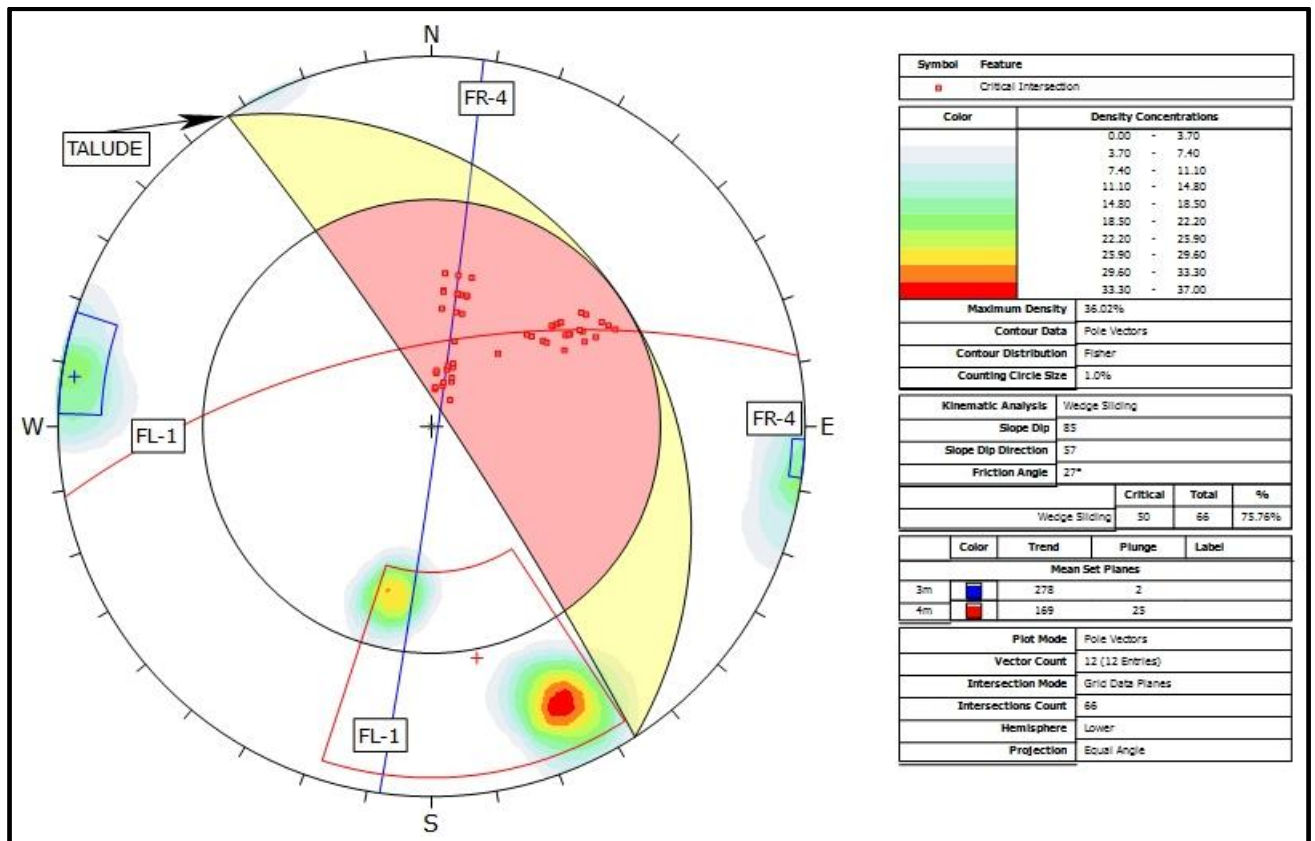
Estereograma 24 – Talude TG – Ruptura em cunha.



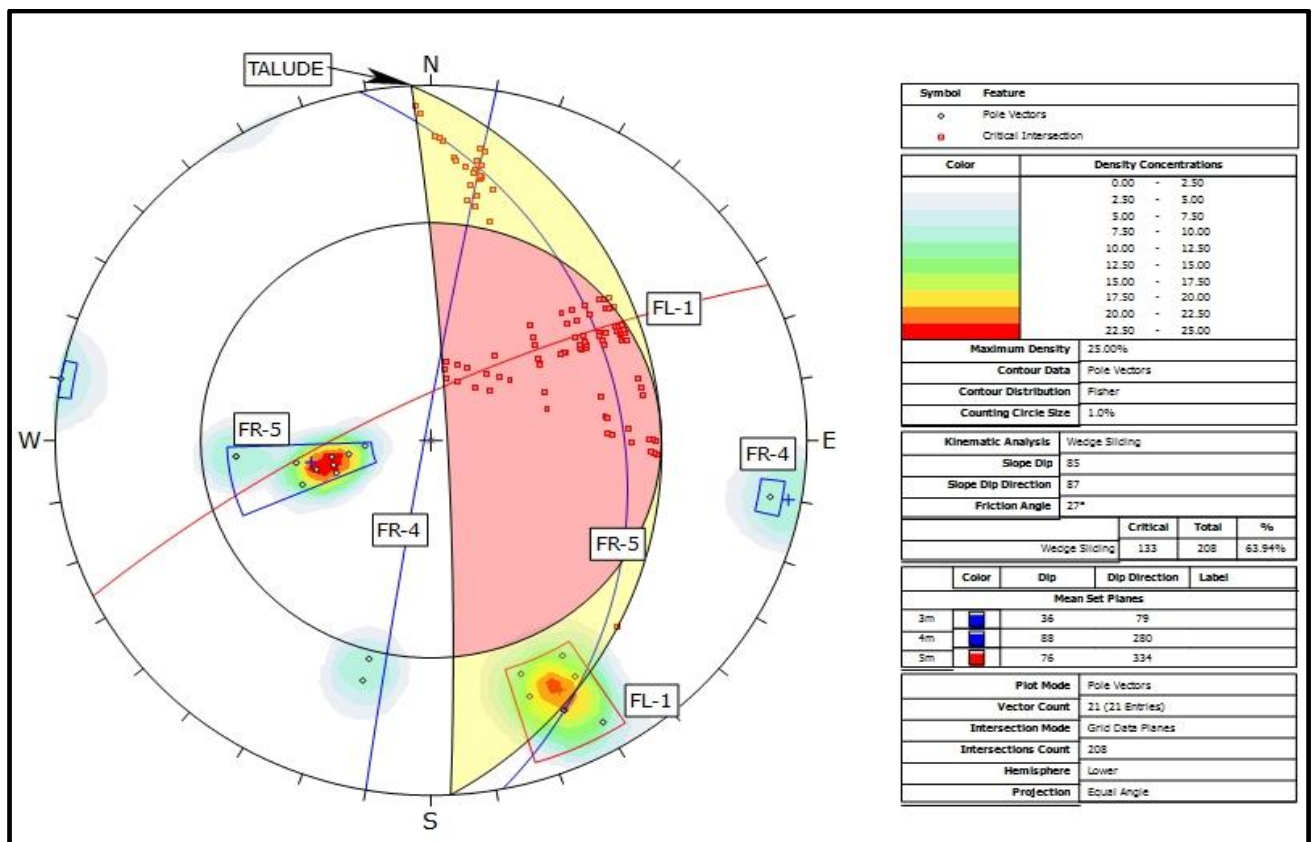
Estereograma 25 – Talude TG – Ruptura planar.



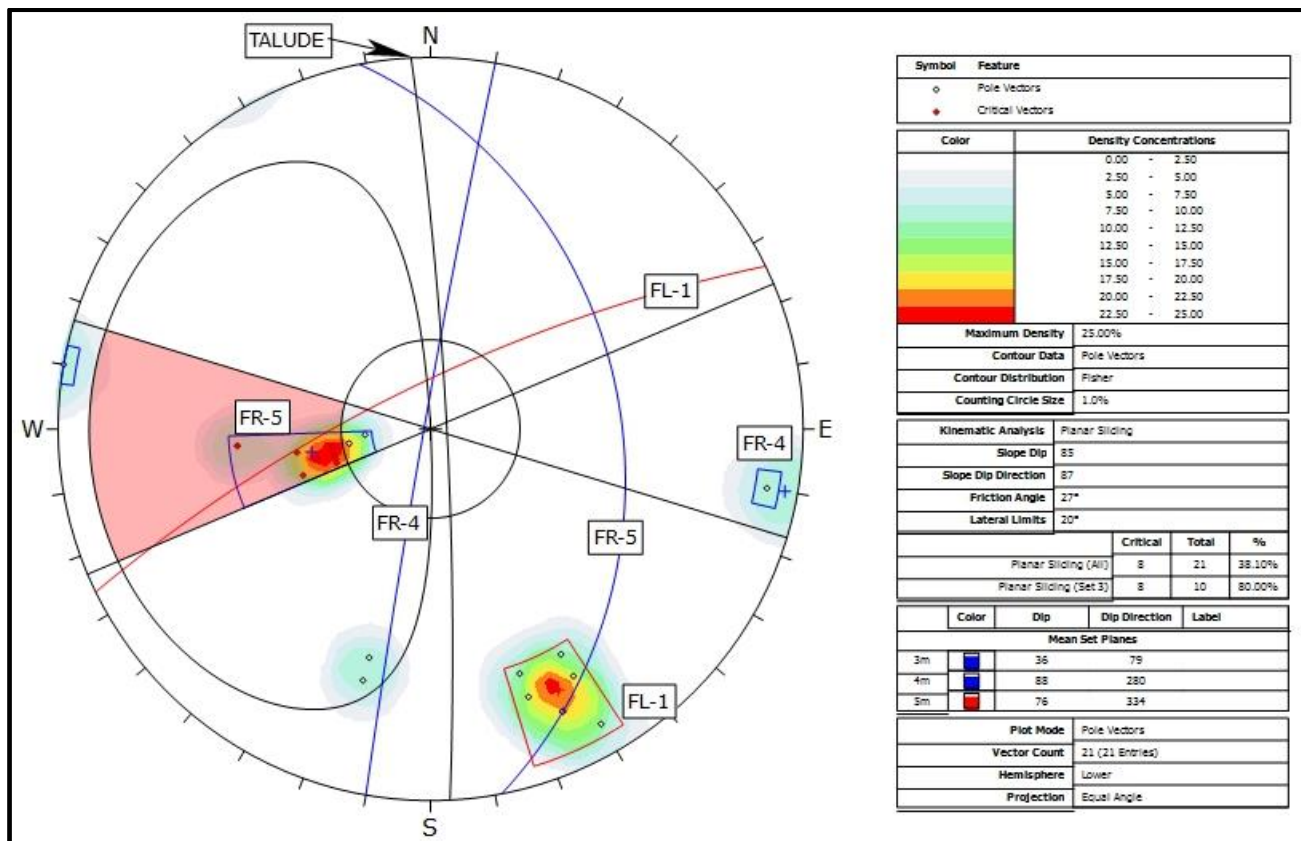
Estereograma 26 – Talude TG – Tombamento.



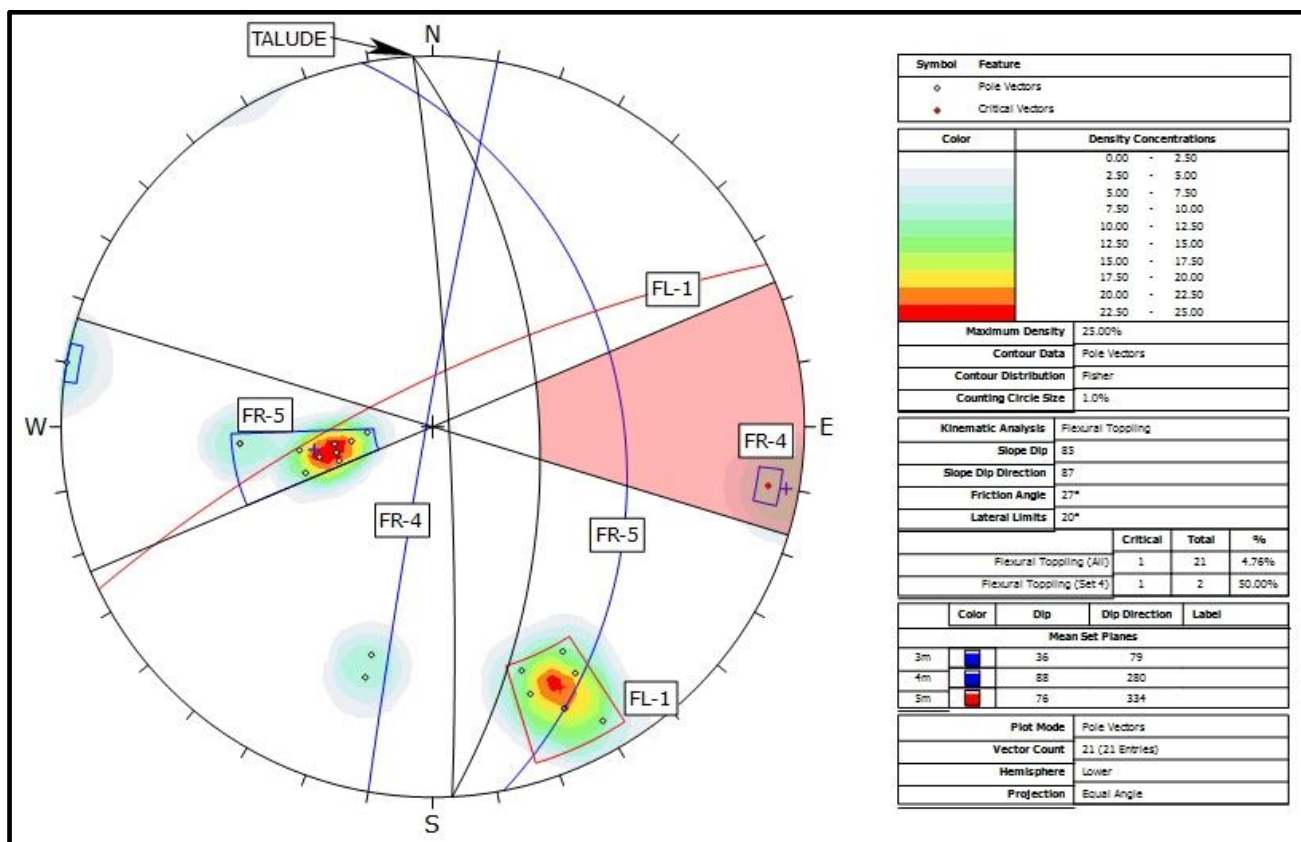
Estereograma 27 – Talude TH – Ruptura em cunha.



Estereograma 28 – Talude TI – Ruptura em cunha.



Estereograma 29 – Talude TI – Ruptura planar.



Estereograma 30 – Talude TI – Tombamento.

ANEXO 3 – MAPA GEOLÓGICO E DE RISCO DE QUEDA DE BLOCOS

