

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA E ESTUDO DE ESTABILIDADE DE TALUDES  
CONTROLADA POR DESCONTINUIDADES – APLICAÇÃO EM MINA À CÉU  
ABERTO**

Bruno Henrique Gramulha Pires

Orientador: Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha  
Co-Orientadora: Msc. Geól. Camila Duelis Viana

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2016 / 06)

SÃO PAULO  
2016

TF  
P667  
BHG.c

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA E ESTUDO DE ESTABILIDADE DE TALUDES  
CONTROLADA POR DESCONTINUIDADES – APLICAÇÃO EM MINA À CÉU ABERTO

*Bruno H. G. Pires*

Bruno Henrique Gramulha Pires

*[Signature]*

Orientador: Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha

*Camila*

Co-Orientadora: Msc. Geól. Camila Duelis Viana

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2016 / 06)

IGc-Instituto de Geociências



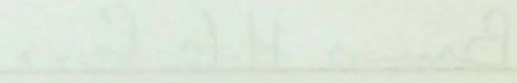
Classificação geomecânica e estudo de estabilidade de  
taludes controlada por descontinuidades : a  
M27125

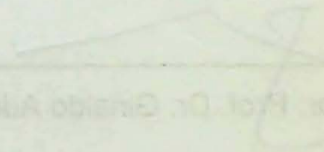
SÃO PAULO  
2016

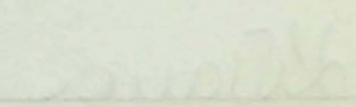
TF  
P667  
BHG.c

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA E ESTUDO DE ESTABILIDADE DE TALUDES  
CONTROLADA POR DESCONTINUIDADES - APLICAÇÃO EM MINA A CÉU ABERTO

  
\_\_\_\_\_  
Bruno Henrique Guimarães Pires

  
\_\_\_\_\_  
Orientador: Prof. Dr. Geraldo Almeida da Cruz Campesano

  
\_\_\_\_\_  
Co-Orientador: Marc Gely, Camilla Duarte Vianna

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2018/100)

SÃO PAULO  
2018

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à minha irmã Greicy, não só por ter me apresentado à geologia, mas também por todo apoio durante a minha graduação e por nunca ter me deixado desistir nos momentos mais difíceis. À minha mãe Marcia por sempre acreditar em mim e me incentivar a realizar meus sonhos, e também à Jacy e à Yasmin por estarem comigo (mesmo longe) em todos os momentos.

Aos meus orientadores Ginaldo e Camila, por terem aceitado me orientar neste projeto e por todo o aprendizado ao longo deste ano.

À toda equipe da empresa Geocal, em especial ao Sr. Roberto Zanotto e Eng. Silvano Salazar por permitirem o acesso irrestrito à mina e por todo o apoio e assistência ao longo dos trabalhos de campo.

À toda galera das turmas 54, 55 e 56 por serem parte essencial das melhores lembranças dos últimos 6 anos, principalmente aos amigos Mikaella Balis, Victor Amadeus, Higor Tadeu, Lucas Castilho, Tiago Manzolli, Ludmila Teixeira, Gustavo Pereira, Priscila Petrelli, Tânia Cruz e Rosane Araujo.

Aos amigos da Califórnia pelo melhor ano da graduação: Leila Lana, Karen Kacurin, Gisele Gomes, Raquel Costa, Silvia Leal, Ademar Junior, Roni Severis, João Pedro, e Edmar Alves.

A todos os professores do Instituto de Geociências pelo conhecimento transmitido e pela inspiração para a vida.

Por fim, a todos que fizeram parte desta conquista, que, mesmo não citados, jamais serão esquecidos.

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a caracterização geológica e geotécnica da mina Vau Novo, localizada no município de Santana de Parnaíba – SP, onde a empresa Geocal Mineração Ltda. exerce atividades de mineração extraindo rochas metacarbonáticas do Grupo São Roque. Os dados obtidos foram utilizados para a classificação geomecânica nos sistemas RMR (*Rock Mass Rating*) e SMR (*Slope Mass Rating*), e para a análise de estabilidade de taludes da cava atual e do projeto para a cava final.

Durante a primeira etapa do estudo foi realizado o mapeamento geológico e estrutural da mina, onde foram descritas rochas metassedimentares, incluindo os metacalcários utilizados pela mineradora para corretivos de solo e agregados. A segunda etapa consistiu no levantamento e caracterização de descontinuidades através da amostragem de 5 *scanlines* realizadas nos principais litotipos que compõem os taludes da cava principal.

Com os resultados foi possível determinar a qualidade dos maciços através dos sistemas de classificação supracitados e identificar as famílias de descontinuidades mais problemáticas para a estabilidade dos taludes através da análise geométrica e cinemática. O fator de segurança foi calculado para cada tipo de ruptura analisada com o auxílio de resultados de ensaios geotécnicos disponibilizados pela mineradora.

Os sistemas de classificação não mostraram grandes diferenças em relação à classificação final, no entanto o SMR foi julgado mais adequado, por considerar quantitativamente a influência da orientação das descontinuidades. Com a análise de estabilidade, foi constatada a maior probabilidade de rupturas em cunha e tombamentos, apesar de o fator de segurança calculado apresentar valores elevados para a maioria das rupturas analisadas. A família mais problemática presente na mina é a foliação principal, com atitude média aproximada de 340/60, sendo que os taludes com maior risco de rupturas são os com a mesma direção da foliação, aumentando a probabilidade de escorregamento em cunha e tombamentos com o aumento da inclinação do talude.

## ABSTRACT

This study aimed the geological-geotechnical characterization of Vau Novo mine, located in Santana de Parnaíba - SP, where the Geocal Ltda. company exploits metacarbonate rocks from the São Roque Group. The data were used in order to classify the rock mass with the RMR (Rock Mass Rating) and SMR (Slope Mass Rating) systems, and for the slope stability analysis of the current pit and the design for the final pit.

During the first stage of the study a geological-structural mapping of the mine was performed, where metasedimentary rocks have been described, including the metacarbonate rocks exploited by the mining company for use as soil amendment and aggregate. The second stage consisted of the data collection and characterization of discontinuities by sampling five scanlines carried out over the main rock types outcropping the slopes of the main pit.

The results allowed determining the quality of the rock mass and identifying the most problematic sets of discontinuities for the slope stability. The safety factor was calculated for each type of rupture analyzed with the aid of geotechnical testing results provided by the mining company.

The rock classification systems did not show large differences in the final classification, however the SMR was considered the most appropriate because it weights quantitatively the influence of the discontinuities orientation. The stability analysis showed that wedge sliding and toppling are the most likely failure modes to occur, although the safety factor calculated shows high values for most of the analyzed discontinuities. The most problematic set of discontinuities in the mine is the main foliation with an average 340/60 dip direction / dip attitude, and the slopes with increased risk of sliding are just the ones approximately parallel to the main foliation, increasing the chance of sliding with the increasing of the slope inclination.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
1. INTRODUÇÃO.....	6
1.1. Objetivos .....	6
1.2. Localização da área de estudo.....	6
2. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. Contexto geológico regional .....	7
2.2. Classificação Geomecânica .....	8
2.2.1. Sistema RMR.....	10
2.2.2. Sistema SMR.....	11
2.3. Estabilidade de taludes em rocha .....	14
2.3.1. Caracterização de descontinuidades .....	14
2.3.2. Tipos de Ruptura .....	17
2.3.3. Análise cinemática.....	18
2.3.4. Fator de Segurança (FS) .....	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	22
3.1. Mapeamento Geológico .....	22
3.2. Coleta e tratamento dos dados.....	22
3.3. Análise de estabilidade de taludes .....	23
4. RESULTADOS .....	25
4.1. Aspectos geológicos locais.....	25
4.2. Geologia estrutural .....	29
4.3. Classificação geomecânica .....	33
4.3.1. Parâmetros para Classificação .....	33
4.3.2. Sistema RMR.....	36
4.3.3. Sistema SMR.....	37
4.4. Análise de estabilidade de taludes .....	38
4.4.1. Análise Cinemática .....	39
4.4.2. Fator de segurança (F.S.).....	41
5. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO .....	43
6. CONCLUSÕES.....	45
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
ANEXO 1 – MAPA GEOLÓGICO – MINA VAU NOVO .....	49
ANEXO 2 – MAPA DE PONTOS .....	50
ANEXO 3 – PARÂMETROS OBTIDOS COM AS SCANLINES.....	51

ANEXO 4 – FAMÍLIAS DE DESCONTINUIDADES POR SCANLINE.....	71
ANEXO 5 – IMAGENS DOS TALUDES AMOSTRADOS .....	74
ANEXO 6 – ESTEREOGRAMAS COM AS ANÁLISES DE ESTABILIDADE ONDE FORAM IDENTIFICADAS POTENCIAIS RUPTURAS.....	77

.....	78
1 INTRODUÇÃO .....	79
1.1 Objetivos .....	80
1.2 Localização de áreas de taludes .....	81
2 FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA .....	82
2.1 Contexto geológico regional .....	83
2.2 Classificação Geotécnica .....	84
2.2.1 Sistema RMR .....	85
2.2.2 Sistema SMR .....	86
2.3 Estabilidade de taludes em rochas .....	87
2.3.1 Caracterização de descontinuidades .....	88
2.3.2 Tipos de Rupturas .....	89
2.3.3 Análise cinemática .....	90
2.3.4 Fator de segurança (FS) .....	91
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	92
3.1 Mapeamento Geológico .....	93
3.2 Coleta e tratamento dos dados .....	94
3.3 Análise de estabilidade de taludes .....	95
4 RESULTADOS .....	96
4.1 Aspectos geológicos locais .....	97
4.2 Geologia estrutural .....	98
4.3 Classificação geotécnica .....	99
4.3.1 Parâmetros para Classificação .....	100
4.3.2 Sistema RMR .....	101
4.3.3 Sistema SMR .....	102
4.4 Análise de estabilidade de taludes .....	103
4.4.1 Análise Cinemática .....	104
4.4.2 Fator de segurança (FS) .....	105
5 INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO .....	106
6 CONCLUSÕES .....	107
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	108
ANEXO 1 – MAPA GEOLÓGICO – MATÁ YAU NOVO .....	109
ANEXO 2 – MAPA DE PONTOS .....	110
ANEXO 3 – PARÂMETROS OBTIDOS COM AS BOAS ANES .....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Localização da mina Vau Novo (Fonte: <i>Google Earth Pro</i> - 2016). .....	7
<b>Figura 2:</b> Mapa geológico regional mostrando o contexto da área de estudo (Extraído de Hackspacher <i>et al.</i> , 1993). .....	8
<b>Figura 3:</b> Exemplo para o cálculo do espaçamento real entre famílias de descontinuidades. Traduzido de IRSM (1978). .....	9
<b>Figura 4:</b> Conjunto de perfis de referência para determinação do JRC. Extraído de Barton e Choubey (1977). .....	16
<b>Figura 5:</b> Esquema com as propriedades das descontinuidades em rocha. Extraído de Hudson e Harrison (1997). .....	16
<b>Figura 6:</b> Análise cinemática de taludes rochosos: (a) famílias de descontinuidades no talude; e (b) regiões de instabilidade em projeções estereográficas de igual área. Extraído de Willye e Mah (2004). .....	18
<b>Figura 7:</b> Projeção estereográfica do cone de atrito sobrepondo as regiões de instabilidade. Extraído de Willye e Mah (2004). .....	19
<b>Figura 8:</b> Geometria da análise estática para ruptura planar. Extraído de Hudson e Harrison (1997). .....	21
<b>Figura 9:</b> Geometria utilizada para o cálculo do fator de segurança em cunhas. (a) Visão superior da cunha mostrando as linhas de intersecção e os planos; (b) Visão transversal, paralela à linha de intersecção 5, mostrando a altura da cunha e a distribuição da pressão de água; (c) Estereograma com os elementos necessários para análise de estabilidade em cunha. Extraído de Wyllie e Mah (2004). .....	22
<b>Figura 10:</b> Exemplo de estereograma do programa Dips 6.0 com os elementos para análise de estabilidade para rupturas planares. .....	23
<b>Figura 11:</b> Exemplo de estereograma do programa Dips 6.0 com os elementos para análise de estabilidade para rupturas em cunha. .....	24
<b>Figura 12:</b> Estereograma do programa Dips 6.0 com os elementos para análise de estabilidade por tombamentos .....	24
<b>Figura 13:</b> Metarritmito com bandas cinza-escuras alternadas com bandas amareladas. ...	26
<b>Figura 14:</b> Visão geral do metarenito com intercalações de metassiltito (SW-NE). .....	27
<b>Figura 15:</b> Fragmento da Brecha Dolomítica, com detalhe para as vênulas brancas de calcita. .....	27
<b>Figura 16:</b> Fragmento do Metarritmito Carbonático. Destaque para o aspecto bandado e coloração cinza clara. .....	28
<b>Figura 17:</b> Vista geral da mina Vau Novo (Corte S-N) – Foliação bem marcada no lado esquerdo, com mergulho para norte. .....	30

<b>Figura 18:</b> Zona de cisalhamento rúptil-dúctil no contato entre a brecha dolomítica (esquerda) e o metarritmito carbonático (direita) (NNW – SSE).....	30
<b>Figura 19:</b> Polos das foliações dos litotipos mapeados. Em azul 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 Schmidt-Lambert, hemisfério inferior. ....	31
<b>Figura 20:</b> Medidas da superfície dobrada no ponto BG-03. Em azul o plano com melhor ajuste dos dados e seu eixo b construído, em verde o plano referente à média das medidas de foliação. Diagrama Schmidt-Lamber, hemisfério inferior. ....	31
<b>Figura 21:</b> Estereograma com medidas de planos de falhas e estrias. Diagrama Schmidt-Lamber, hemisfério inferior. ....	32
<b>Figura 22:</b> Veios sigmoides de calcita na brecha dolomítica no ponto BG-23 indicando movimentação dextral (NE-SW).....	32
<b>Figura 23:</b> Localização das bancadas onde foram realizadas as <i>scanlines</i> . ....	33
<b>Figura 24:</b> Comparação entre os resultados finais dos sistemas de classificação SMR, RMR e RMRb (RMR sem o fator de correção em relação à orientação das discontinuidades). ...	44
<b>Figura 25:</b> Exemplo de ruptura planar no metarritmito. A imagem da direita mostra o aspecto geral do bloco, a da esquerda apresenta a vista em perfil. ....	44
<b>Figura 26:</b> Exemplo de cunha no metarritmito. A imagem da direita mostra o aspecto geral da cunha, a da esquerda apresenta a vista em perfil. ....	45

## INDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Estimativa da resistência à compressão uniaxial de rochas. Traduzido de ISRM (1978).....	12
<b>Tabela 2:</b> Parâmetros e pesos relativos para classificação geomecânica no sistema RMR. Traduzido de Bieniawski (1993).....	13
<b>Tabela 3:</b> Fatores de ajuste e classes SMR. Traduzido de Romana <i>et al.</i> (2003).....	14
<b>Tabela 4:</b> Tipos de ruptura e condições de instabilidade. Traduzido de Wyllie e Mah (2004). .....	17
<b>Tabela 5:</b> Classes de resistência à compressão uniaxial para os litotipos das <i>scanlines</i> . ....	34
<b>Tabela 6:</b> Parâmetros referentes à todas as famílias de descontinuidades. ....	34
<b>Tabela 7:</b> Parâmetros calculados para cada família de descontinuidade.....	35
<b>Tabela 8:</b> Pesos relativos para a classificação RMR .....	37
<b>Tabela 9:</b> Pesos relativos para classificação no sistema SMR .....	38
<b>Tabela 10:</b> Orientações dos taludes da cava atual e as orientações previstas para a cava final utilizadas nas análises de estabilidade. ....	39
<b>Tabela 11:</b> Parâmetros para a análise de estabilidade e cálculo do fator de segurança (Relatório Interno - Geoestável).....	39
<b>Tabela 12:</b> Análise cinemática para orientações de talude da cava atual, mostrando número de ocorrência e famílias de descontinuidade envolvidas nos mecanismos de ruptura. ....	40
<b>Tabela 13:</b> Análise cinemática para orientações de taludes da cava final, mostrando número de ocorrência e famílias de descontinuidade envolvidas nos mecanismos de ruptura .....	41
<b>Tabela 14:</b> Fatores de segurança para a geometria da cava atual. Condições estáveis (verde), inaceitáveis (amarelo) e de ruptura iminente (vermelho).....	42
<b>Tabela 15:</b> Fatores de segurança para a geometria da cava final. Condições estáveis (verde), inaceitáveis (amarelo) e de ruptura iminente (vermelho).....	42

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo de estabilidade de taludes é essencial para o planejamento e desenvolvimento de qualquer empreendimento ou obra de engenharia onde há riscos geotécnicos envolvidos. Aliado à classificação geomecânica de maciços, este estudo se faz ainda mais necessário em cavas de mineração a céu aberto, uma vez que eventuais deslizamentos de rocha podem gerar prejuízos que variam desde a perda de produção devido a remoção do material até o risco de vida da equipe.

Em geral, o rompimento de taludes em maciços rochosos está associado à presença de descontinuidades, como falhas, juntas, planos de foliação e estratificações. Assim é necessário obter modelos geológicos que possibilitem a identificação e caracterização dessas descontinuidades para uma avaliação de estabilidade adequada. Da mesma forma, é imprescindível a escolha de um sistema de classificação geomecânica adequado, que leve em consideração os aspectos críticos de um determinado empreendimento.

### 1.1. Objetivos

Este trabalho teve como objetivo a classificação geomecânica de maciços rochosos nos sistemas RMR (*Rock Mass Rating*) e SMR (*Slope Mass Rating*) e a avaliação da estabilidade de taludes de corte através das análises geométrica e cinemática. Para isso, foi estudada a mina Vau Novo, onde a empresa Geocal Mineração Ltda. exerce atividades de lavra para a extração de metacalcários do Grupo São Roque.

Para complementar os dados geotécnicos, também foi realizado o mapeamento geológico e estrutural da mina Vau Novo. O estudo visa contribuir para a melhor compreensão das condições de estabilidade dos taludes da mina e evitar possíveis desastres e acidentes relacionados à atividade de mineração.

### 1.2. Localização da área de estudo

O estudo foi realizado na mina Vau Novo, propriedade da mineradora Geocal Mineração Ltda., localizada no município de Santana de Parnaíba, região metropolitana de São Paulo (Figura 1). A mina tem como principal produto metacalcários do Grupo São Roque para uso como corretivo de solo e agregado. A escolha da área deu-se pelas suas características geológicas e geotécnicas, proximidade e facilidade de acesso.

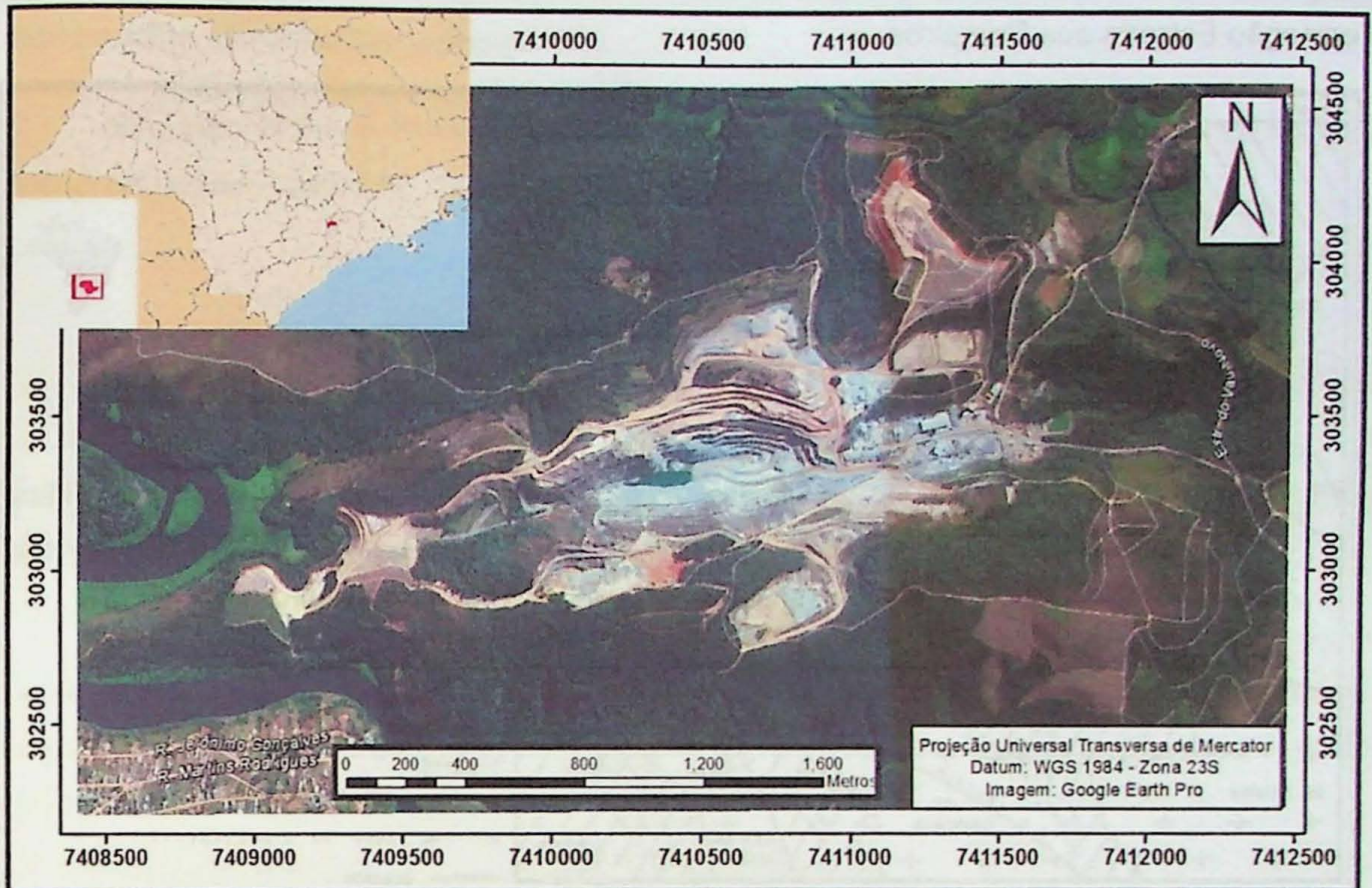


Figura 1: Localização da mina Vau Novo (Fonte: Google Earth Pro - 2016).

## 2. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Contexto geológico regional

A área de estudo situa-se na região norte da Província Mantiqueira (Almeida *et al.*, 1981), mais especificamente inserida no Grupo São Roque, de idade proterozóica, constituído por uma sequência metavulcanossedimentar delimitada, em conjunto com o Grupo Serra do Itaberaba, pelas zonas de cisalhamento Itu-Jundiuvira e Taxaquara (Figura 2).

Bergmann (1988) realizou o último mapeamento geológico de semidetalhe abrangendo a área de estudo. A autora subdividiu o Grupo São Roque em três formações e seus respectivos membros na região do Sinclínio de Pirapora, sendo da base para o topo: Formação Pirapora, Formação Estrada dos Romeiros e Formação Boturuna. A Formação Pirapora possui corpos metavulcânicos a subvulcânicos de caráter básico, e seus tufos e rochas piroclásticas subordinadas com um membro carbonático (cálcio-filitos e mármores dolomíticos a estromatólitos), sendo este explorado pela mina para fabricação de calcário agrícola, brita e pedra lavada. A Formação Estrada dos Romeiros apresenta contato transicional com a anterior e é composta por metarenitos na base e metapelitos no topo. Já a Formação Boturuna tem contato brusco a transicional em sua base e é constituída por



Deere, 1989), orientação das descontinuidades, resistência da rocha, grau de alteração e presença de água. Os parâmetros utilizados nos sistemas de classificação escolhidos para este trabalho são descritos a seguir.

Segundo Priest e Hudson (1981) o espaçamento médio ( $x$ ) e a frequência ( $\lambda$ ) de descontinuidades são dados pelas seguintes expressões:

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

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

onde:  $L$  é o comprimento da linha de amostragem e  $N$  é o número total de descontinuidades que interceptam a mesma.

O espaçamento médio é uma medida estatística utilizada para a classificação geomecânica que não leva em consideração a orientação da linha de amostragem (*scanline*). O espaçamento real entre as descontinuidades da família, como mostrado na figura 3, pode ser calculado pela expressão:

$$S = d_m \text{ sen } \alpha$$

Onde:  $d_m$  é o espaçamento médio da família medido ao longo da *scanline* e  $\alpha$  é o ângulo entre a *scanline* e a família amostrada.

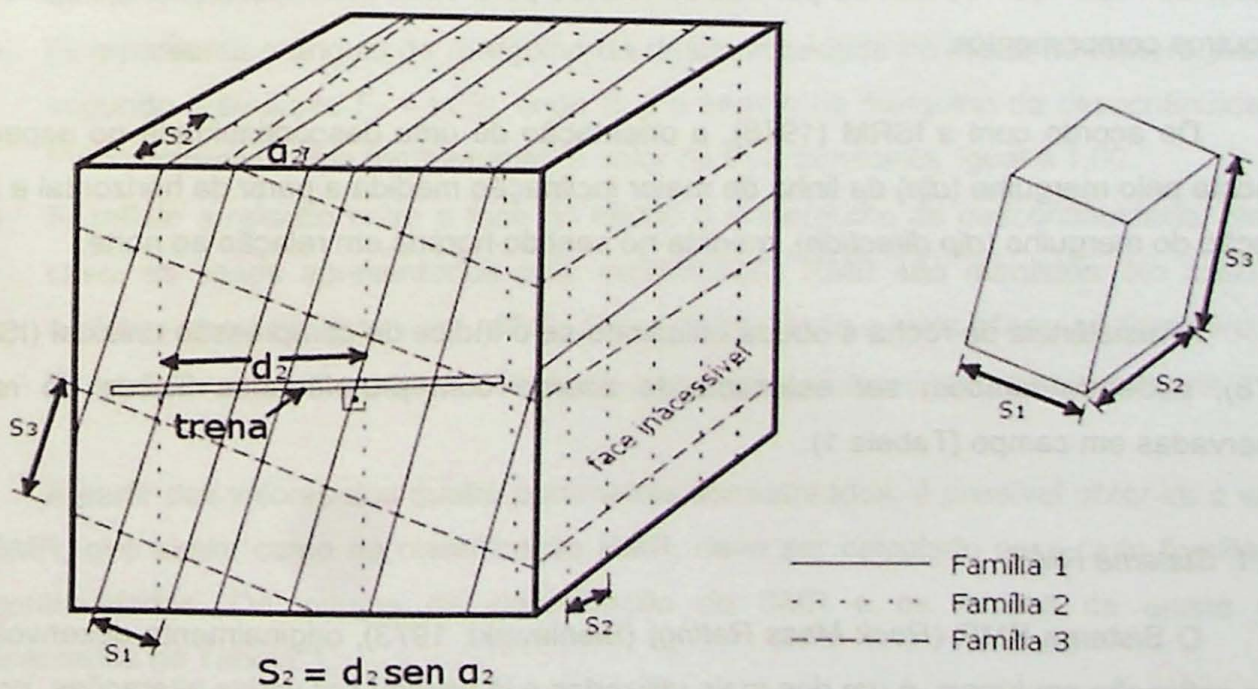


Figura 3: Exemplo para o cálculo do espaçamento real entre famílias de descontinuidades. Traduzido de IRSM (1978).

O RQD é um índice de qualidade baseado na modificação da porcentagem de recuperação de testemunhos de sondagem, onde são considerados apenas os fragmentos com comprimento superior ou igual a 100 mm. Matematicamente é expresso por:

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

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

Para aplicação em estudo de taludes, pode ser utilizada uma aproximação numérica para determinar o valor de um RQD "teórico" (RQD\*), onde são consideradas as medidas dos espaçamentos entre as fraturas contidas em uma linha de amostragem (*scanline*). Para Deere e Deere (1989), apesar de ser impossível uma correlação direta, a mais apropriada é aquela proposta por Priest e Hudson (1976) onde o RQD\* é calculado pela expressão:

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

Onde  $\lambda$  é a frequência de fraturas na linha de amostragem (número de fraturas dividido pelo comprimento da linha) e  $t$  é uma variável de corte que pode ser substituída por 0,1 para o cálculo do RQD\* de 100 mm ou por outros valores para obter RQD\* referente à fragmentos de outros comprimentos.

De acordo com a ISRM (1978), a orientação de uma descontinuidade no espaço é descrita pelo mergulho (*dip*) da linha de maior inclinação medida a partir da horizontal e pela direção do mergulho (*dip direction*), medida no sentido horário em relação ao norte.

A resistência da rocha é obtida utilizando-se o índice de compressão uniaxial (ISRM, 1978), podendo também ser estimada de acordo com propriedades físicas da rocha observadas em campo (Tabela 1).

### 2.2.1. Sistema RMR

O Sistema RMR (*Rock Mass Rating*) (Bieniawski, 1973), originalmente desenvolvido para aplicação em túneis, é um dos mais utilizados e já passou por várias alterações, porém manteve o mesmo princípio ao longo do tempo. A classificação atual proposta por Bieniawski (1993) utiliza como parâmetros: resistência à compressão uniaxial da rocha intacta, RQD, espaçamento das descontinuidades, condição das descontinuidades, influência d'água e orientação das descontinuidades.

Para sua aplicação, o maciço rochoso é dividido em regiões de características estruturais relativamente uniformes e cada região é avaliada de acordo com os parâmetros citados, sendo atribuídos pesos para a variação de cada um deles conforme mostrado na Tabela 2. Os pesos são somados resultando no valor do RMRb, onde é adicionado um fator relativo à orientação das descontinuidades, resultando no valor final do RMR. O resultado é utilizado para classificar o maciço em 5 classes diferentes: muito bom, bom, regular, pobre e muito pobre.

### 2.2.2. Sistema SMR

O valor do RMR sem o ajuste para a orientação das descontinuidades (RMRb) pode ser utilizado no sistema SMR (*Slope Mass Rating*), proposto por Romana *et al.* (2003), que consiste em uma adaptação do sistema RMR para o estudo de taludes. Neste sistema é adicionado ao RMRb um ajuste referente à orientação relativa entre as descontinuidades e o talude, e outro referente ao método de escavação, segundo a equação:

$$SMR = RMRb + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 \quad (\text{Romana } et al., 2003)$$

onde:

- RMRb é calculado de acordo com Bieniawski (1993);
- $F_1$  depende do paralelismo entre as descontinuidades e a direção do talude, de acordo com a equação  $F_1 = (1 - \text{sen } A)^2$ , sendo  $A$  o ângulo entre a direção do talude e as descontinuidades;
- $F_2$  representa o ângulo de mergulho da descontinuidade no modo de ruptura planar, segundo a equação  $F_2 = \text{tg}^2 B_j$ , onde  $B_j$  é o ângulo de mergulho da descontinuidade. Para rupturas do tipo tombamento, o valor de  $F_2$  é constante, igual a 1,00.
- $F_3$  reflete a relação entre a face do talude e o mergulho da descontinuidade. Neste caso, os pesos apresentados pela classificação RMR são mantidos. No caso de rupturas planares, este valor reflete a probabilidade de a junta aflorar na face livre.
- $F_4$  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 classificação do SMR e os fatores de ajuste são apresentados na Tabela 3.

Tabela 1: Estimativa da resistência à compressão uniaxial de rochas. Traduzido de 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	É riscada por 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 quebrar	50 – 100
R5	Rocha muito resistente	Amostras requerem muitos golpes firmes com o martelo geológico para quebra	100 – 250
R6	Rocha Extremamente resistente	Amostras são apenas lascadas com o martelo geológico	> 250

Tabela 2: Parâmetros e pesos relativos para classificação geomecânica no sistema RMR. Traduzido de Bieniawski (1993).

Parâmetros		Valores e Pesos Relativos						
Resistência da rocha intacta	Índice Puntiforme	10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 Mpa	Utilizar compressão simples		
	Compressão Simples	250 MPa	100-250 MPA	50-100 MPa	25-50 MPa	15-25 MPa	1-15 MPa	1 MPa
	<b>Peso Relativo</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
	RQD ( <i>rock quality designation</i> )	90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
<b>Peso Relativo</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>3</b>			
Espaçamento de fraturas	> 2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm			
<b>Peso Relativo</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>			
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			
	<b>Peso Relativo</b>	<b>30</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>0</b>		
Água Subterrânea	Infiltração em 10 m de túnel	Nenhuma ou	< 10 ou	10-25 ou	25-125 ou	> 125 ou		
	Relação: [pressão de água na fratura/ tensão principal máxima]	0 ou	< 0,1 ou	0,1-0,2 ou	0,2-0,5 ou	> 0,5 ou		
	Condições gerais	Completamente seco	Úmido	Molhado	Água sob pressão moderada	Problemas sérios de água		
<b>Peso Relativo</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0</b>			
Ajuste para orientação das descontinuidades em taludes								
Direção e mergulho	Muito favorável	Favorável	Aceitável	Desfavorável	Muito desfavorável			
<b>Peso Relativo</b>	<b>0</b>	<b>-2</b>	<b>-25</b>	<b>-50</b>	<b>-60</b>			
Classes do maciço rochoso								
Classe	I	II	III	IV	V			
Descrição	Muito bom	Bom	Regular	Pobre	Muito Pobre			
<b>Soma dos Pesos</b>	<b>100 – 81</b>	<b>81 – 61</b>	<b>60 – 41</b>	<b>40 – 21</b>	<b>20</b>			

Tabela 3: Fatores de ajuste e classes SMR. Traduzido de Romana *et al.* (2003).

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°	30 - 20°	20 - 10°	10 - 5°	< 5°
P/T $F_1$	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P $ \beta_j $	< 20°	20 - 30°	30 - 35°	35 - 45°	> 45°
P $F_2$	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T $F_2$	1	1	1	1	1
P $\beta_j - \beta_s$	> 10°	10 - 0°	0°	0 a -10°	< -10°
T $\beta_j + \beta_s$	< 110°	110 - 120°	>120°	-	-
P/T $F_3$	0	-6	-25	-50	-60

Onde: P, ruptura planar; T, tombamento;  $\alpha_j$  direção de mergulho da junta;  $\alpha_s$ , direção de mergulho do talude;  $\beta_j$ , mergulho da junta;  $\beta_s$ , mergulho do talude.

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

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

### 2.3. Estabilidade de taludes em rocha

A estabilidade de taludes rochosos é fortemente influenciada pelo controle estrutural da rocha em questão, em especial as descontinuidades. Em geral as rupturas ocorrem preferencialmente ao longo destes planos de fraqueza, que podem ser estratificações, foliações, juntas e falhas. Assim, é essencial que estas descontinuidades sejam caracterizadas de forma adequada para uma análise de estabilidade confiável

#### 2.3.1. Caracterização de descontinuidades

Além dos parâmetros utilizados para as classificações geomecânicas citados anteriormente, as propriedades geométricas relevantes das descontinuidades para o estudo de estabilidade de taludes também incluem: persistência, rugosidade, abertura e preenchimento (Hudson e Harrison, 1997).

A persistência é definida como o comprimento da descontinuidade ao longo do seu próprio plano, podendo ser mensurada a partir do seu traço visível no afloramento. A ISRM (1978) também indica observar as terminações do traço, especialmente se os mesmos se estendem para fora do talude, se estão conectados à outra descontinuidade ou se terminam em um trecho qualquer da rocha. Essas informações são utilizadas para delimitar as dimensões dos blocos.

De acordo com a IRSM (1978), a rugosidade das paredes de uma descontinuidade é um componente essencial de sua força de cisalhamento, especialmente em juntas não preenchidas, sendo quanto menor for a abertura dos planos de descontinuidade, maior será sua influência. A rugosidade pode ser determinada numericamente a partir de testes de inclinação nas superfícies da descontinuidade, resultando em um valor que representa o coeficiente de rugosidade da junta (JRC), apresentado no trabalho de Barton e Choubey (1977). Os autores também apresentam um método simplificado, a partir de comparação visual com perfis de padrões representativos de JRC (Figura 4).

A abertura é definida como a distância perpendicular que separa as duas paredes de uma descontinuidade onde o espaço entre elas é preenchido por ar ou água (IRSM, 1978). Quando este espaço vazio é preenchido por outro material (argila, clorita, calcita, etc.), o mesmo recebe o nome de preenchimento. Neste caso, a distância perpendicular entre as paredes da descontinuidade é a espessura do preenchimento.

Na Figura 5 é mostrado um esquema hipotético de um maciço rochoso onde são representadas as principais propriedades das descontinuidades utilizadas tanto na classificação geomecânica quanto na análise de estabilidade de taludes.

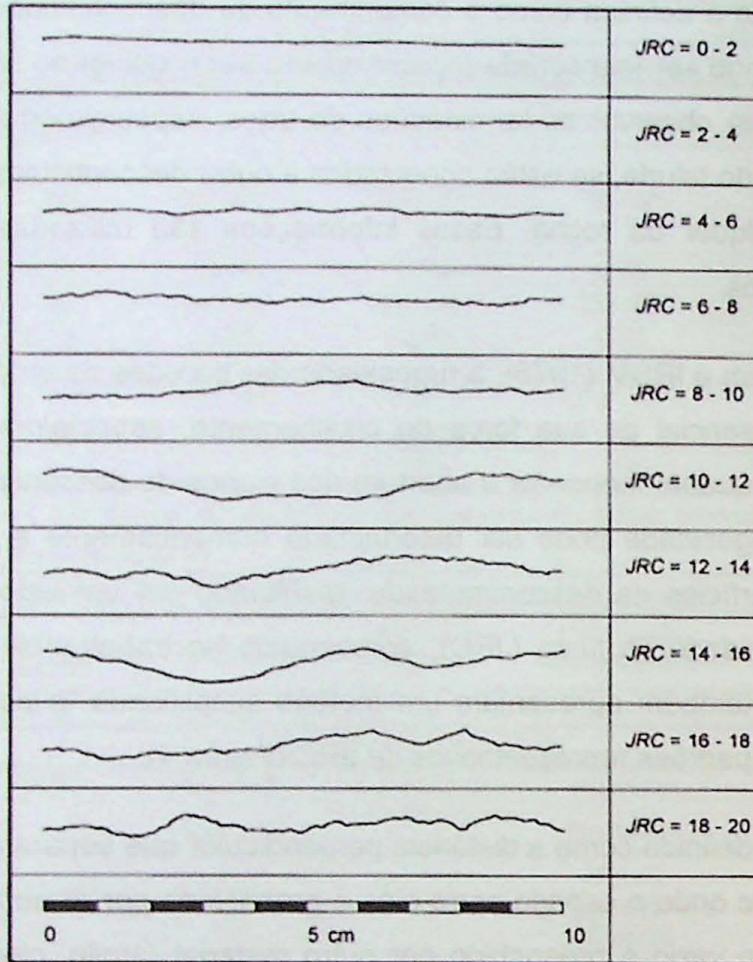


Figura 4: Conjunto de perfis de referência para determinação do JRC. Extraído de Barton e Choubey (1977).

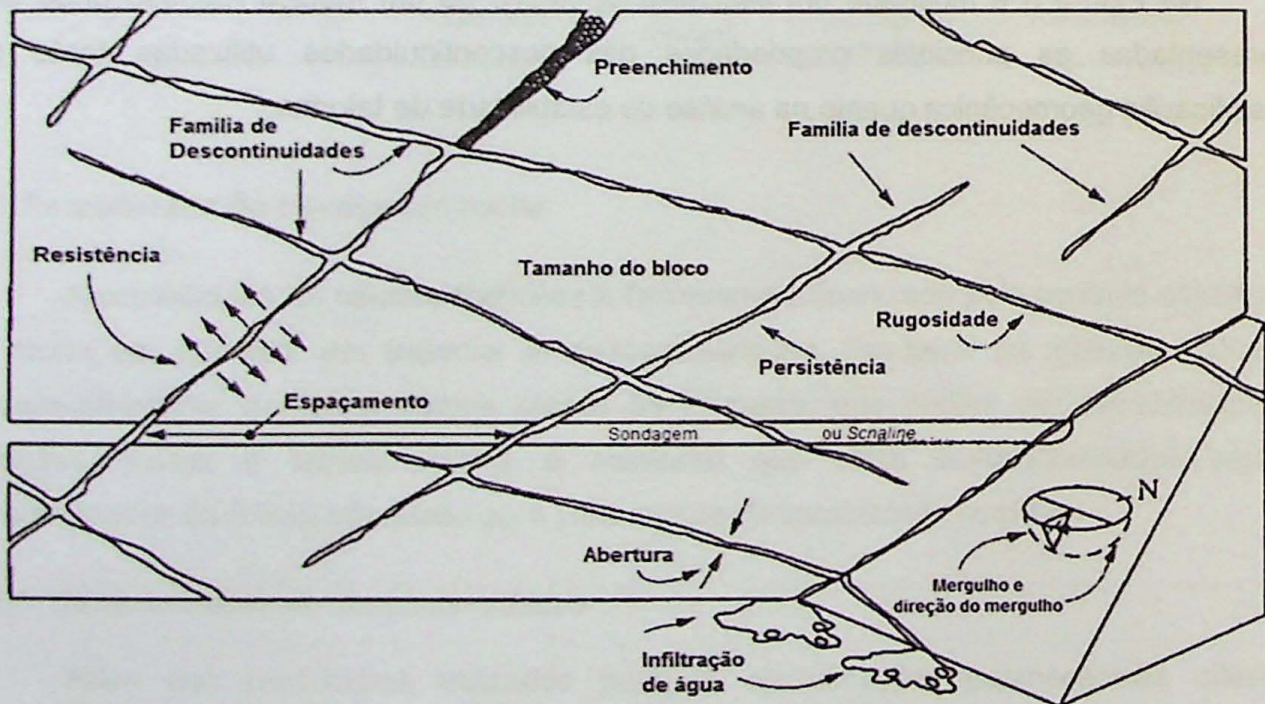


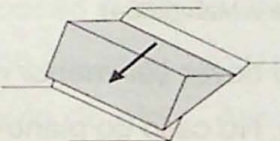
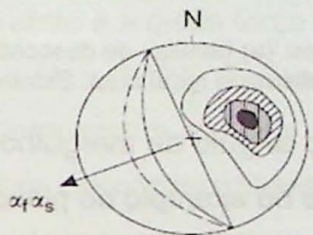
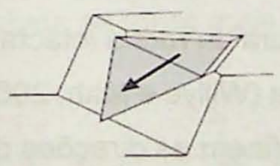
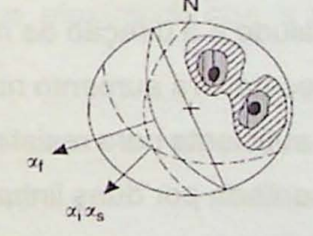
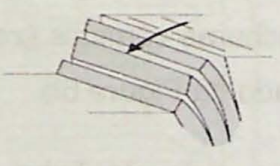
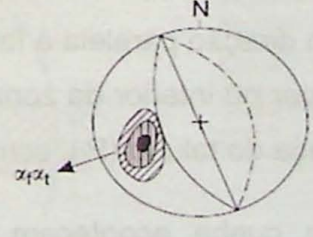



Figura 5: Esquema com as propriedades das descontinuidades em rocha. Extraído de Hudson e Harrison (1997).

### 2.3.2. Tipos de Ruptura

Diferentes tipos de rupturas estão associados a diferentes estruturas geológicas, podendo formar padrões de ruptura planar, em cunha, por tombamento ou circular (Wyllie e Mah, 2004). Essas rupturas podem ser reconhecidas através da análise geométrica, também conhecida como Teste de Markland (Markland, 1972), com o auxílio de estereogramas, onde são plotadas medidas de atitude dos planos de discontinuidades e do talude (Tabela 4).

Assim, pode-se determinar a forma dos blocos gerados por intersecções de discontinuidades e a direção na qual eles podem deslizar, porém a análise permite chegar a conclusões apenas em relação à orientação, não sendo possível determinar espaçamentos, posição e dimensões. Também há possibilidade de rupturas circulares, geralmente em rochas muito alteradas, onde há grande quantidade de solo e muitas discontinuidades orientadas aleatoriamente, ou rochas muito fraturadas, que comportam-se como solos. Este tipo de ruptura não será detalhada neste trabalho uma vez que não foram observadas em campo condições favoráveis para que ela ocorra.

Tabela 4: Tipos de ruptura e condições de instabilidade. Traduzido de Wyllie e Mah (2004).

Tipo de Ruptura	Estereograma	Condições Estruturais
<p>Planar</p> 		<p>-Descontinuidade apresenta ângulo de mergulho menor que o do talude e direção paralela à face do talude.</p> <p>-Mergulho da descontinuidade maior que o ângulo de atrito.</p>
<p>Em Cunha</p> 		<p>- Direção da intersecção dos planos de descontinuidade próxima da direção do mergulho do talude.</p> <p>- O mergulho da intersecção menor que o mergulho do talude e maior que o ângulo de atrito.</p>
<p>Tombamento</p> 		<p>- Rocha resistente contendo descontinuidades com mergulho alto para dentro do talude.</p> <p>- Normal ao plano de tombamento com mergulho menor que a inclinação do talude e menor que o ângulo de atrito</p>
<p><b>Legenda:</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p> Concentração dos polos</p> <p> Grande círculo representando a face do talude</p> <p> Grande círculo representando as descontinuidades.</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><math>\alpha_f</math> Direção do mergulho da face do talude</p> <p><math>\alpha_s</math> Direção de deslizamento</p> <p><math>\alpha_t</math> Direção de tombamento</p> <p><math>\alpha_i</math> Direção do mergulho da linha de intersecção</p> </div> </div>		



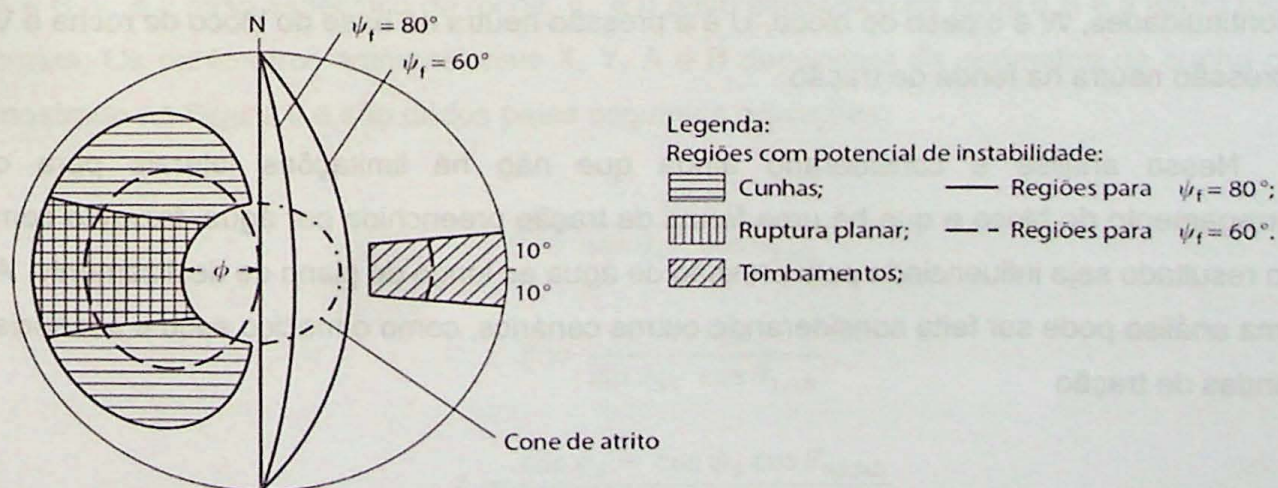
Para que ocorra tombamento o ângulo entre a direção de mergulho das descontinuidades que mergulham para dentro da face do talude e a direção de mergulho da face do talude não pode ser maior que 10 graus, assim poderão ser formadas uma série de placas paralelas à face do talude (Willye e Mah, 2004). Segundo Goodman e Bray (1976) para que ocorra escorregamento entre as camadas e tombamento flexural, as seguintes condições de restrição devem ser respeitadas:

$$(90^\circ - \psi_f) + \phi_j < \psi_p$$

Onde  $\psi_f$  é ângulo de mergulho da face do talude,  $\phi_j$  é o ângulo de atrito entre as camadas e  $\psi_p$  é o ângulo de mergulho de planos com potencial de tombamento e deslizamento.

Diferente das rupturas planares e em cunha, a região de instabilidade de tombamentos é representada no lado oposto do estereograma (hachuras diagonais), satisfazendo as condições citadas, como mostrado na Figura 6b. Polos de planos de descontinuidades suscetíveis a tombamento estarão contidos nessa área do estereograma ( $P_{cc}$ ).

Além das relações geométricas entre as descontinuidades e o talude, é necessário 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). Como mostrado na Figura 7, o atrito é tratado como um cone, projetado no estereograma com um círculo mínimo com raio igual ao valor do ângulo de atrito. Assim, somente descontinuidades com ângulo de mergulho superior ao ângulo de atrito, oferecerão risco de escorregamento. No exemplo foram considerados taludes com mergulhos de 60 e 80 graus, mostrando que a zona de instabilidade aumenta conforme o talude se torna mais inclinado.



**Figura 7:** Projeção estereográfica do cone de atrito sobrepondo as regiões de instabilidade. Extraído de Willye e Mah (2004).

#### 2.3.4. Fator de Segurança (FS)

O fator de segurança (FS) é calculado com base na teoria do equilíbrio-limite, onde são comparadas as resultantes das forças coesivas e de atrito ( $R_c + R\phi$ ) com as forças que atuam a favor do deslizamento (S).

$$FS = \frac{(R_c + R\phi)}{S}$$

Esta análise permite levar em consideração todas as forças atuantes nos mecanismos de ruptura, sendo que, para cada caso de estudo de estabilidade de taludes, utiliza-se uma equação que retrate todos os parâmetros envolvidos na determinação de tais forças. O objetivo desta razão é obter um valor numérico que expresse a estabilidade do talude, visando determinar se o talude possui resistência suficiente para suportar as tensões de cisalhamento provocadas pela ruptura ou deslizamento. O cálculo é facilitado com o auxílio de programas computacionais.

Para o cálculo do fator de segurança em rupturas planares é necessário assumir que o maciço rochoso é impermeável, o bloco que irá deslizar é rígido, as forças atuantes no plano de deslizamento obedecem aos critérios de Mohr-Coulomb e todas as forças atuantes passam pelo centroide do bloco deslizante (manutenção do momento-equilíbrio), como mostrado na Figura 8. Dessa forma, Hudson e Harrison (1997) apresentam a seguinte equação para o cálculo do fator de segurança:

$$FS = \frac{C'(H - z) \operatorname{cosec} \psi_p + (W \cos \psi_p - U - V \sin \psi_p) \tan \phi'}{V \cos \psi_p + W \sin \psi_p}$$

Onde  $C'$  é a coesão efetiva das descontinuidades,  $\phi'$  é o ângulo de atrito entre as descontinuidades,  $W$  é o peso do bloco,  $U$  é a pressão neutra na base do bloco de rocha e  $V$  é a pressão neutra na fenda de tração.

Nessa análise é considerado ainda que não há limitações laterais para o escorregamento do bloco e que há uma fenda de tração preenchida por água, fazendo com que o resultado seja influenciado pela pressão de água ao longo do plano de deslizamento. A mesma análise pode ser feita considerando outros cenários, como o maciço seco e ausência de fendas de tração

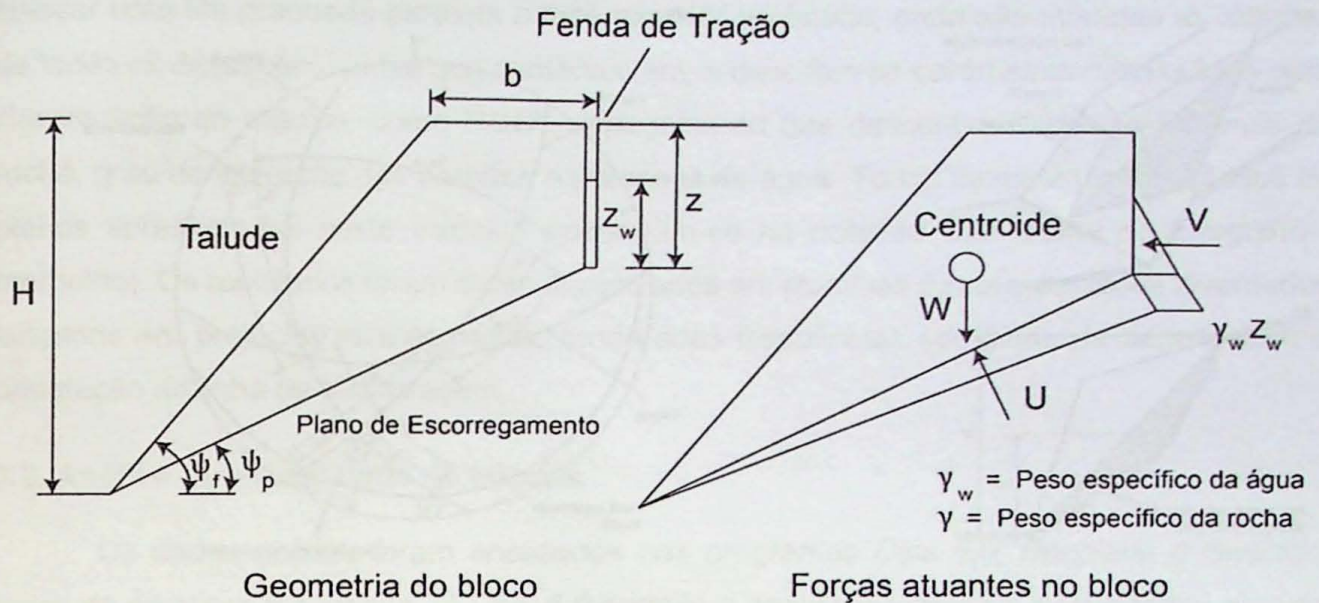


Figura 8: Geometria da análise estática para ruptura planar. Extraído de Hudson e Harrison (1997).

Em rupturas em cunha devem ser consideradas as forças atuantes nos dois planos, tornando a análise complexa do ponto de vista matemático. Willye e Mah (2004) apresentam alguns métodos simplificados, assumindo o maciço seco e o mesmo ângulo de atrito para os planos formados pela cunha. Uma análise mais completa é a proposta por Hoek *et al.* (1973) onde o cálculo do fator de segurança é realizado levando em consideração a geometria do talude, os diferentes ângulos de atrito dos planos A e B que formam a cunha e a presença de água, segundo a equação:

$$FS = \frac{3}{\gamma_r H} (c_A X + c_B Y) + \left( A - \frac{\gamma_w}{2\gamma_r} X \right) \tan \phi_A + \left( B - \frac{\gamma_w}{2\gamma_r} Y \right) \tan \phi_B$$

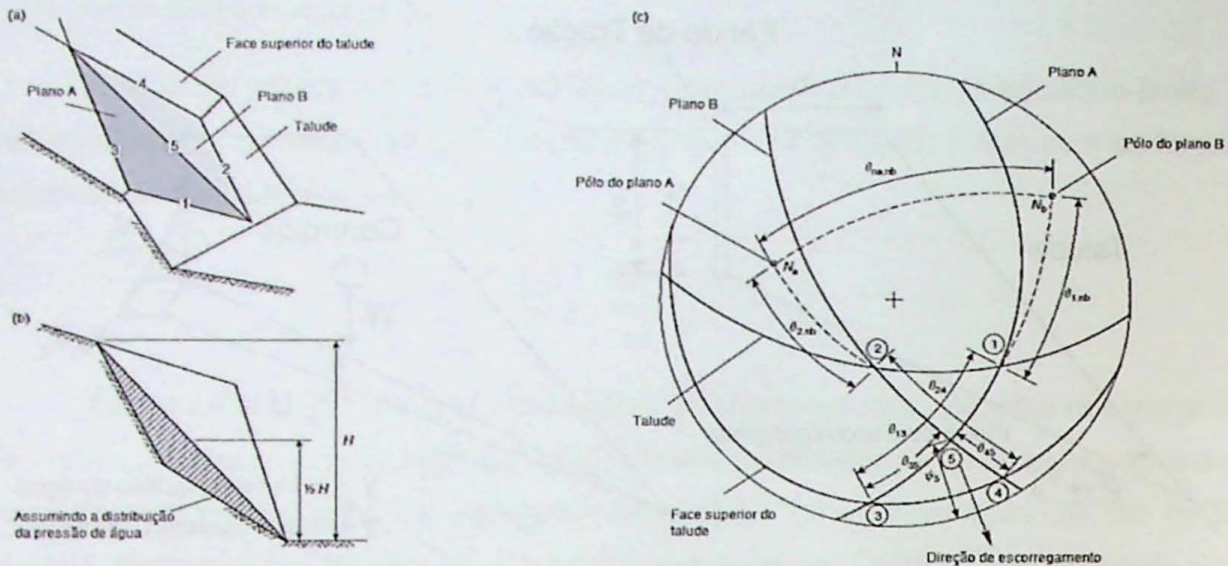
Onde  $c_A$  e  $c_B$  são as forças coesivas,  $\phi_A$  e  $\phi_B$  são os ângulos de atrito respectivos dos planos A e B,  $\gamma_r$  é o peso específico da rocha,  $\gamma_w$  é o peso específico da água e H é a altura total da cunha. Os parâmetros adimensionais X, Y, A e B dependem da geometria da cunha como mostrado na Figura 9 e são dados pelas seguintes equações:

$$X = \frac{\sin \theta_{24}}{\sin \theta_{45} \cos \theta_{2.na}}$$

$$Y = \frac{\sin \theta_{13}}{\sin \theta_{35} \cos \theta_{1.nb}}$$

$$A = \frac{\cos \psi_a - \cos \psi_b \cos \theta_{na.nb}}{\sin \psi_5 \sin^2 \theta_{na.nb}}$$

$$B = \frac{\cos \psi_b - \cos \psi_a \cos \theta_{na.nb}}{\sin \psi_5 \sin^2 \theta_{na.nb}}$$



**Figura 9:** Geometria utilizada para o cálculo do fator de segurança em cunhas. (a) Visão superior da cunha mostrando as linhas de intersecção e os planos; (b) Visão transversal, paralela à linha de intersecção 5, mostrando a altura da cunha e a distribuição da pressão de água; (c) Estereograma com os elementos necessários para análise de estabilidade em cunha. Extraído de Wyllie e Mah (2004).

O cálculo do fator de segurança para tombamentos pode ser definido, de forma simplificada, dividindo o coeficiente de atrito aplicado aos blocos de rocha ( $\mu_{disponível}$ ) pelo coeficiente de atrito necessário para o equilíbrio dado a força de suporte ( $\mu_{necessário}$ ), segundo a equação de Goodman e Bray (1976):

$$FS = \frac{\mu_{disponível}}{\mu_{necessário}}$$

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Mapeamento Geológico

Foi realizado o mapeamento dos litotipos aflorantes na mina com o objetivo de estabelecer o modelo geológico e estrutural adequado para a análise de estabilidade de taludes. Para isso, foi utilizado como base um mapa topográfico em escala 1 : 2.000, resultante de levantamento realizado em outubro de 2015 pela projetista S. Ruiz Topografia e Projetos Ltda. e fornecido pela Geocal Mineração Ltda. As medidas de atitudes de camadas e das discontinuidades foram efetuadas com uma bússola COCLA, as coordenadas dos pontos de mapeamento foram obtidas com o auxílio de um aparelho GPS portátil Garmin eTrex 10 e as litologias aflorantes anotadas de forma contínua diretamente no mapa topográfico, uma vez que o GPS simples não tem precisão compatível com esta escala de trabalho.

#### 3.2. Coleta e tratamento dos dados

Os dados referentes às discontinuidades foram coletados através de *scanlines* em trechos avaliados como representativos dos domínios estruturais. Este método consiste em

colocar uma fita graduada paralela a face exposta do talude, onde são medidas as atitudes de todas as descontinuidades que a intersectam, e descritos os parâmetros necessários para classificação do maciço, como RQD\*, espaçamento das descontinuidades, resistência da rocha, grau de alteração das paredes e presença de água. Todas as medidas de atitudes de planos apresentadas neste trabalho encontram-se na notação Clar (rumo do mergulho / mergulho). Os resultados foram então organizados em planilhas *Excel* e os dados levantados lançados em projeção estereográfica, tendo suas frequências corrigidas de acordo com a orientação da linha de amostragem.

### 3.3. Análise de estabilidade de taludes

Os dados obtidos foram analisados nos programas *Dips 6.0*, *Rocplane* e *Swedge*, todos da empresa Rocscience. O *Dips 6.0* permite a análise geométrica e cinemática através de estereogramas, enquanto o *Rocplane* e *Swedge* realizam cálculos de fator de segurança para rupturas planares e em cunha, respectivamente. Os programas permitem visualização em 3D dos dados e interação com a geometria da bancada, além de simular métodos de estabilização (e.g. tirantes).

A interface do programa *Dips 6.0* apresenta os principais elementos relacionados à análise cinemática de estabilidade de taludes. Na análise de ruptura planar (Figura 10) a zona crítica de instabilidade é marcada em vermelho, o cone do ângulo de atrito é plotado a partir do centro do estereograma e as linhas representam os limites laterais que satisfazem as condições de paralelismo necessárias para que haja instabilidade.

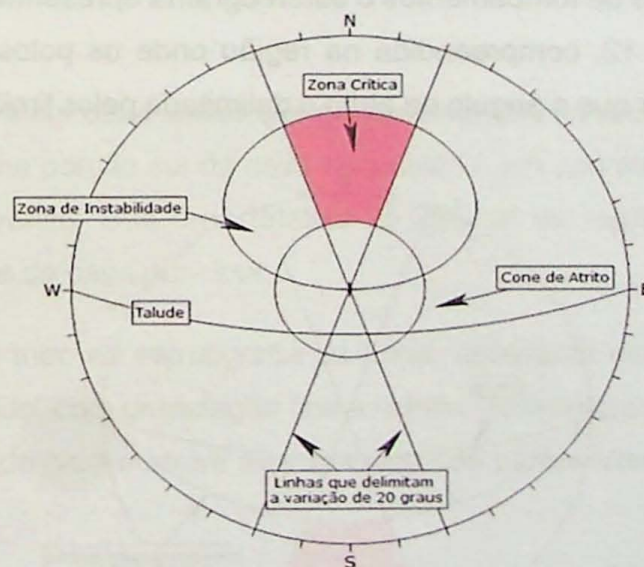


Figura 10: Exemplo de estereograma do programa *Dips 6.0* com os elementos para análise de estabilidade para rupturas planares.

A análise de rupturas em cunha apresenta elementos semelhantes, porém, diferente das rupturas planares, o cone do ângulo de atrito é plotado a partir da borda do estereograma. Nesta análise ainda é apresentada uma zona crítica secundária, considerada uma extensão da zona crítica, marcada em amarelo no estereograma (Figura 11). A zona crítica secundária é a área delimitada entre o talude e um plano com mesma inclinação do ângulo de atrito. Nesta região, apesar de as intersecções serem menos inclinadas que o ângulo de atrito, o deslizamento pode ocorrer em um único plano, que possui o mergulho maior que o ângulo de atrito.

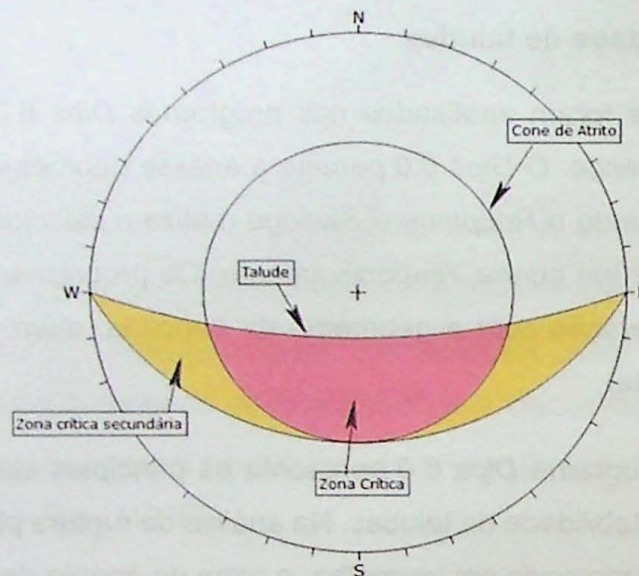


Figura 11: Exemplo de estereograma do programa Dips 6.0 com os elementos para análise de estabilidade para rupturas em cunha.

Por fim, na análise de tombamentos o estereograma apresenta a zona crítica marcada em vermelho na Figura 12, compreendida na região onde os polos das discontinuidades possuem mergulho maior que o ângulo de atrito e delimitada pelos limites laterais de 20 graus.

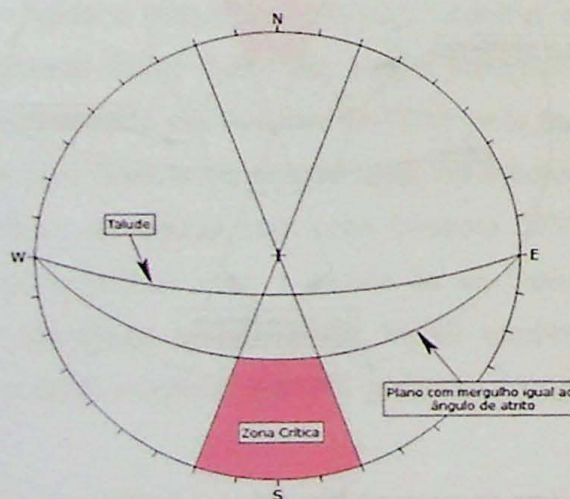


Figura 12: Estereograma do programa Dips 6.0 com os elementos para análise de estabilidade por tombamentos

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Aspectos geológicos locais

O mapeamento dos litotipos presentes na mina Vau Novo foi realizado de forma detalhada e factual, percorrendo e analisando todos os afloramentos acessíveis através das bancadas na cava principal. O mapa final foi complementado com os dados da cava secundária, atualmente inativa, obtidos por Viana (2015). As regiões sem informações não são aflorantes, ou são cobertas por vegetação e/ou inacessíveis.

Durante a execução dos trabalhos de campo, o lado norte da mina esteve em processo de decapeamento, tendo sua geometria alterada ao longo do desenvolvimento deste projeto. Decidiu-se utilizar a base topográfica mais recente disponibilizada pela mineradora na época do mapeamento, em razão de ser a mais semelhante à geometria da mina nesta etapa do trabalho. O mapa geológico da mina Vau Novo e o mapa de pontos dos trabalhos de campo encontram-se nos Anexos 1 e 2, respectivamente.

As unidades litológicas mapeadas foram identificadas como quartzito, metarritmito, metarenito com intercalações de metassiltito, brecha dolomítica, metarritmito carbonático, metassiltito homogêneo e metassiltito com intercalações de metarenito. A descrição a seguir foi feita conforme o empilhamento aparente dessas unidades observado na mina, ao longo da foliação principal ( $S_0//S_n$ ), não representando obrigatoriamente o empilhamento estratigráfico original. Não se observa minerais metamórficos a olho nu, sendo a foliação caracterizada pelo brilho de micas muito finas.

#### Quartzito

O quartzito aflora em duas lentes alongadas inseridas no metassiltito homogêneo nas duas cavas da mina e na porção sul da cava secundária, em contato com o metassiltito com intercalações de metarenito. Sua área totaliza 25.250 m<sup>2</sup> da região mapeada, com maior exposição no lado norte da cava principal.

É a unidade de topo na estratigrafia da mina, apresenta estrutura maciça, em geral muito fraturado e alterado, com granulação fina a média. Tem coloração verde escura quando são e varia de amarelado para marrom avermelhado nas partes alteradas.

#### Metarritmito

A unidade do metarritmito aflora nas bancadas do lado norte da cava principal, com área de exposição de 78.055 m<sup>2</sup>. Encontra-se abaixo do quartzito e possui contato basal tectônico com a brecha dolomítica e com o metarenito com intercalações de metassiltito

Apresenta bandas silto-argilosas centimétricas cinza-escuras alternadas com bandas mais arenosas marrom-amareladas que variam de milimétricas a centimétricas (Figura 13). No geral, encontra-se mais alterada acima da bancada 740, com coloração variando nos tons de cinza claro, amarelo e marrom avermelhado.



Figura 13: Metarritmito com bandas cinza-escuras alternadas com bandas amareladas.

#### Metarenito com intercalações de metassiltito

A unidade do metarenito com intercalações de metassiltito aflora na porção nordeste da cava principal, com área total de 33.638 m<sup>2</sup>. A espessura das camadas varia de decimétrica a métrica, com granulometria fina a média e coloração variando de marrom avermelhada a amarelada. Já as camadas de metassiltito são decimétricas, com coloração marrom amarelada (Figural 14).

Os afloramentos encontram-se, no geral, moderadamente alterados, muito fraturados e possuem acamamento com mergulhos menores em relação às outras unidades.

#### Brecha Dolomítica

A Brecha Dolomítica constitui a principal unidade explorada na mina Vau Novo. Aflora na região central e basal da cava principal e em uma faixa alongada na cava secundária. Sua área total de exposição totaliza 61.460 m<sup>2</sup>. Possui contato superior com o Metarritmito e o Metarenito com intercalações de metassiltito e contato basal com o Metarritmito Carbonático.

Trata-se de uma rocha acinzentada escura, em geral não foliada, com fragmentos angulosos de dimensões variadas, de centimétricas a decimétricas, com vênulas brancas de

calcita de tamanhos variados (Figura 15). Encontra-se fresca em praticamente toda a região da cava principal, com exceção ao contato superior, geralmente alterado. Apresenta ainda padrão de fraturamento irregular e planos de falhas de alta persistência.



**Figura 14:** Visão geral do metarenito com intercalações de metassiltito (SW-NE).



**Figura 15:** Fragmento da Brecha Dolomítica, com detalhe para as vênulas brancas de calcita.

## Metarritmito Carbonático

A unidade do Metarritmito Carbonático também apresenta potencial para minério e é explorada secundariamente na mina Vau Novo. Seguindo o plano da foliação principal, encontra-se abaixo da Brecha Dolomítica e no topo do metassiltito homogêneo. Aflora em ambas as cavas, aparentemente com continuidade de exposição entre as duas. Sua região mapeada possui 80.425 m<sup>2</sup>.

É a principal unidade aflorante no talude sul da cava principal, possui aspecto bandado, com alternância de bandas acinzentadas claras e esverdeadas, ricas em calcita e sílica (Figura 16).



Figura 16: Fragmento do Metarritmito Carbonático. Destaque para o aspecto bandado e coloração cinza clara.

## Metassiltito Homogêneo

A unidade do metassiltito homogêneo encontra-se abaixo do metarritmito carbonático, aflorando em uma faixa delgada na região sul da cava principal e em uma lente na região central da cava secundária, possuindo área total de exposição de 20.280 m<sup>2</sup>.

Diferentemente do metarritmito, não apresenta bandas arenosas, sendo composto essencialmente por sedimentos siltosos, com foliação marcada pelas micas.

Os afloramentos encontram-se, no geral, muito fraturados e moderadamente alterados, com coloração avermelhada nas partes sãs e amarelada nas partes alteradas. Possui alguns níveis restritos mais arenosos e foliação bem marcada com mergulho alto.

## Metassiltito com intercalações de metarenito

Aflora somente na cava secundária, abrangendo uma área total de 17.123 m<sup>2</sup>. Foi descrito por Viana (2015) como uma rocha de coloração cinza escura a clara quando sã e coloração vermelha alaranjada, verde acinzentada e marrom amarelada quando alterada. Os

níveis arenosos possuem granulometria fina a média, com espessuras variando de milimétricos a decimétricos intercalados com silte, localmente constituindo metapelitos.

#### 4.2. Geologia estrutural

As rochas mapeadas na mina Vau Novo apresentam estrutura geral na direção ENE-WSW, com mergulhos altos para norte, marcada pelo acamamento sedimentar paralelo a uma clivagem ardosiana ou xistosidade fina, caracterizando a foliação principal ( $S_0//S_n$ ) (Figura 17). O acamamento é nítido principalmente nas rochas com bandamento composicional, e a xistosidade definida por minerais micáceos principalmente nas porções pelíticas, paralela ao acamamento.

Apenas muito localmente observa-se uma clivagem tectônica oblíqua ao acamamento. Pelo menos uma fase de dobramento cerrado afeta a foliação principal ( $S_0//S_n$ ), com planos-axiais paralelos à estruturação geral.

Durante o mapeamento foram observadas duas zonas de cisalhamento que delimitam os contatos sul e norte da brecha dolomítica, paralelas ao eixo principal da cava. No lado norte a falha corta ainda a unidade do metarritmito, colocando-o em contato com o metarenito com intercalações de metassiltito. Já no contato sul, a zona de cisalhamento possui caráter dúctil-rúptil, estabelecendo o contato com o metarritmito carbonático através de falhas e dobras (Figura 18).

Ao plotar em diagrama Schmidt-Lambert os dados referentes à todos os litotipos mapeados (Figura 19), observa-se uma concentração preferencial com atitude 343/63, correspondendo à atitude da foliação predominante na mina, embora haja um viés para o metarritmito carbonático, onde foi possível coletar mais medidas e as mesmas não possuem grande variação. Os dados também sugerem o ajuste a uma guirlanda com atitude 253/88 e eixo b construído com caimento 073/01; esta conformação sugeriria um dobramento mais aberto da foliação principal ( $S_0//S_n$ ), o qual é apenas observado na porção leste da cava principal, onde a foliação principal torna-se horizontal.



**Figura 17:** Vista geral da mina Vau Novo (Corte S-N) – Foliação bem marcada no lado esquerdo, com mergulho para norte.



**Figura 18:** Zona de cisalhamento rúptil-dúctil no contato entre a brecha dolomítica (esquerda) e o metarritmito carbonático (direita) (NNW – SSE).

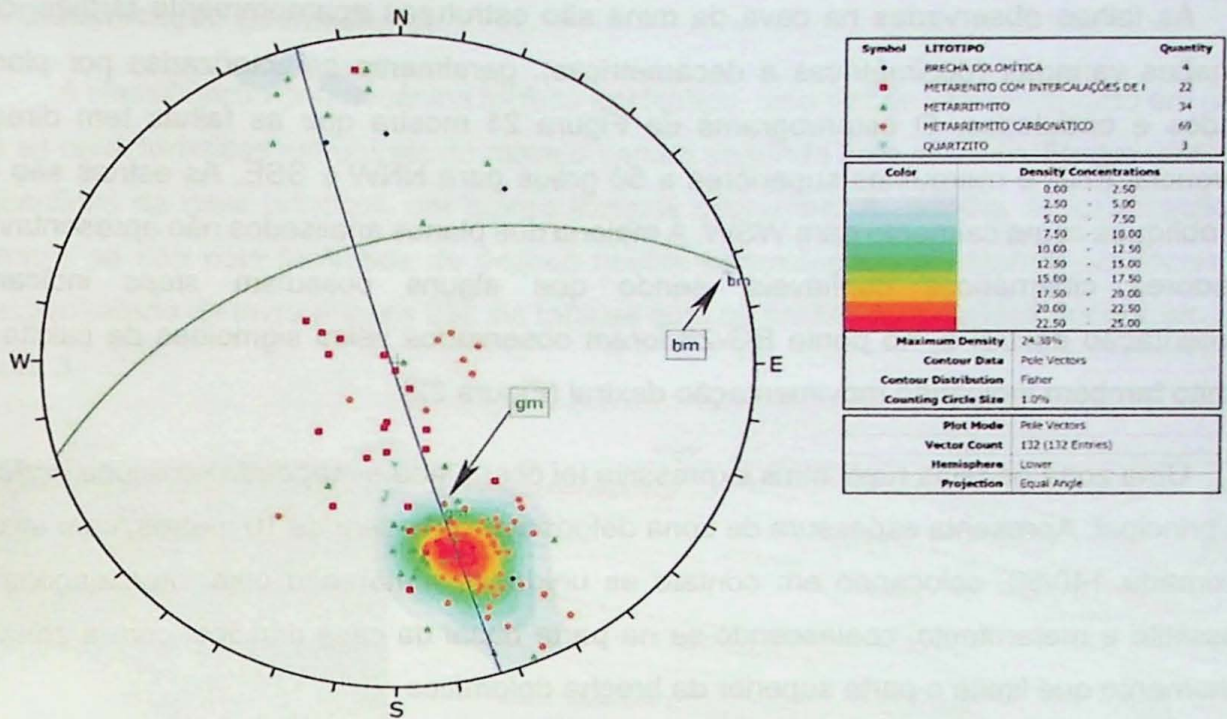


Figura 19: Polos das foliações dos litotipos mapeados. Em azul o plano com o melhor ajuste dos dados e seu eixo b construído (bm), em verde o plano referente à média das medidas de foliação (gm). Diagrama Schmidt-Lambert, hemisfério inferior.

Em algumas regiões da mina é possível observar dobras decamétricas em diferentes unidades, porém em bancadas inacessíveis. No ponto BG-03, onde aflora o metarritmito, foi medida a superfície de uma dobra recumbente, afetando  $S_0//S_n$ . Como mostrado na figura 20, os dados sugerem que estes dobramentos menores são coaxiais com o dobramento regional observado na mina Vau Novo.

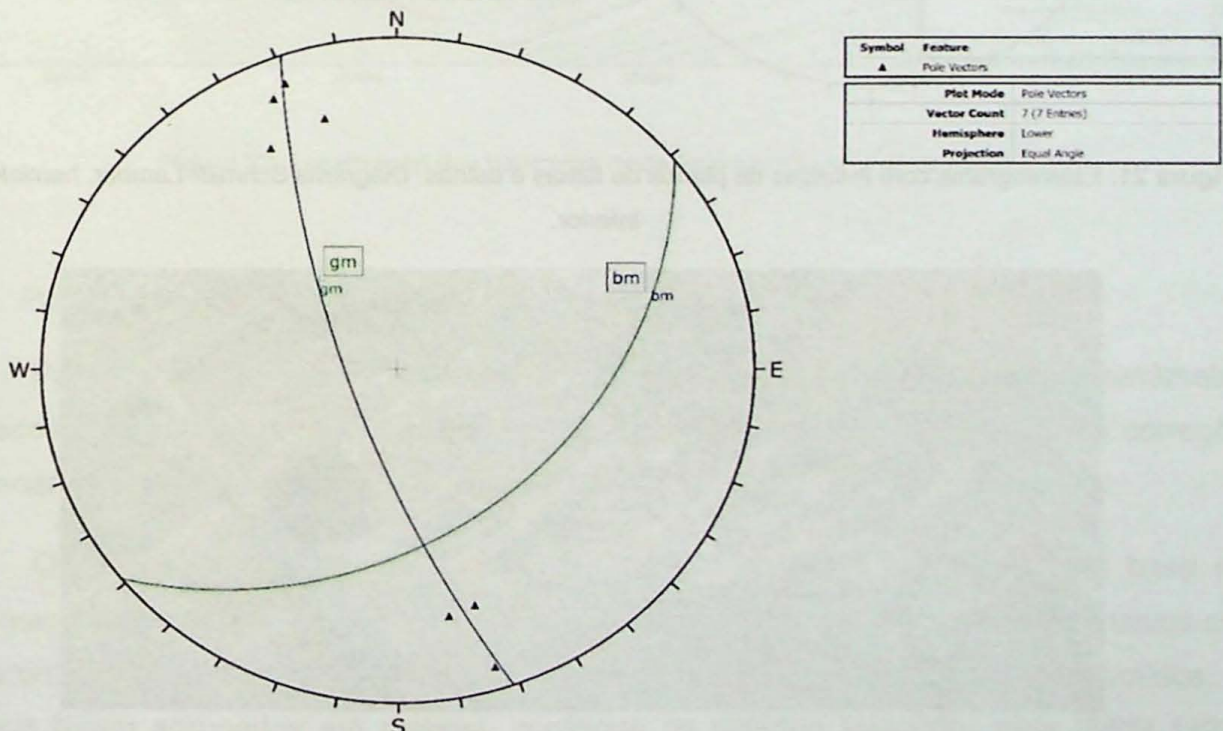


Figura 20: Medidas da superfície dobrada no ponto BG-03. Em azul o plano com melhor ajuste dos dados e seu eixo b construído, em verde o plano referente à média das medidas de foliação. Diagrama Schmidt-Lambert, hemisfério inferior.

As falhas observadas na cava da mina são estruturas aparentemente tardias, com dimensões variadas (decimétricas a decamétricas), geralmente caracterizadas por planos estriados e ondulados. O estereograma da Figura 21 mostra que as falhas tem direção preferencial ENE e mergulhos superiores a 50 graus para NNW e SSE. As estrias são em geral oblíquas com caimento para WSW. A maioria dos planos analisados não apresentavam indicadores cinemáticos confiáveis, sendo que alguns possuíam *steps* indicando movimentação dextral e, no ponto BG-23 foram observados veios sigmoides de calcita no dolomito também indicando movimentação dextral (Figura 22).

Uma zona de falha rúptil mais expressiva foi observada e mapeada no talude norte da cava principal. Apresenta espessura de zona deformada da ordem de 10 metros, com atitude aproximada 140/60, colocando em contato as unidades metarenito com intercalações de metassiltito e metarritmito, coalescendo-se na parte basal da cava principal com a zona de cisalhamento que limita a parte superior da brecha dolomítica.

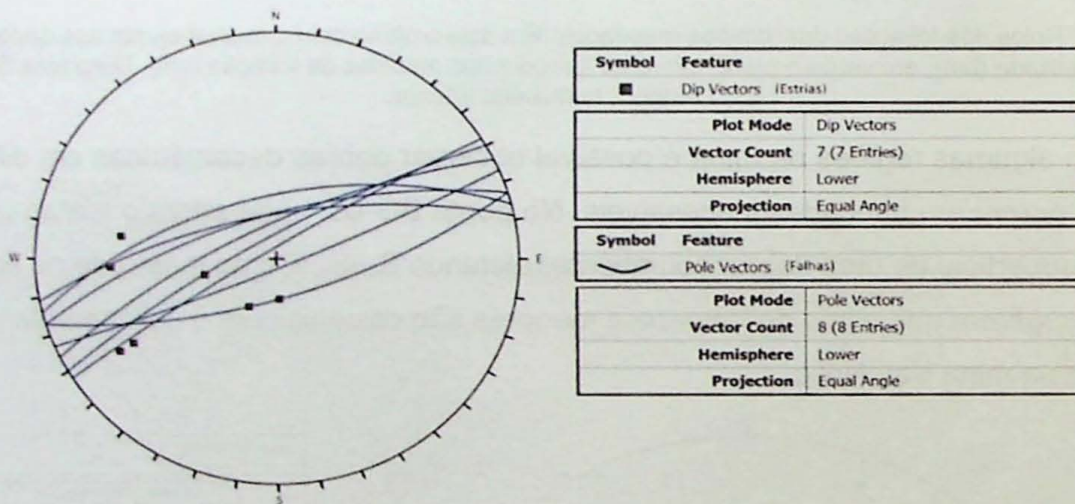


Figura 21: Estereograma com medidas de planos de falhas e estrias. Diagrama Schmidt-Lamber, hemisfério inferior.



Figura 22: Veios sigmoides de calcita na brecha dolomítica no ponto BG-23 indicando movimentação dextral (NE-SW).

### 4.3. Classificação geomecânica

A classificação geomecânica foi feita por litotipo, uma vez que foi observado em campo que as características estruturais do maciço variam segundo este aspecto. Foram realizadas 5 *scanlines* na cava principal, em quatro litotipos diferentes. A escolha da localização das mesmas se deu pela facilidade de acesso nestas bancadas e por estarem em locais com pouca atividade de lavra (Figura 23). As tabelas com os parâmetros obtidos encontram-se no Anexo 3.

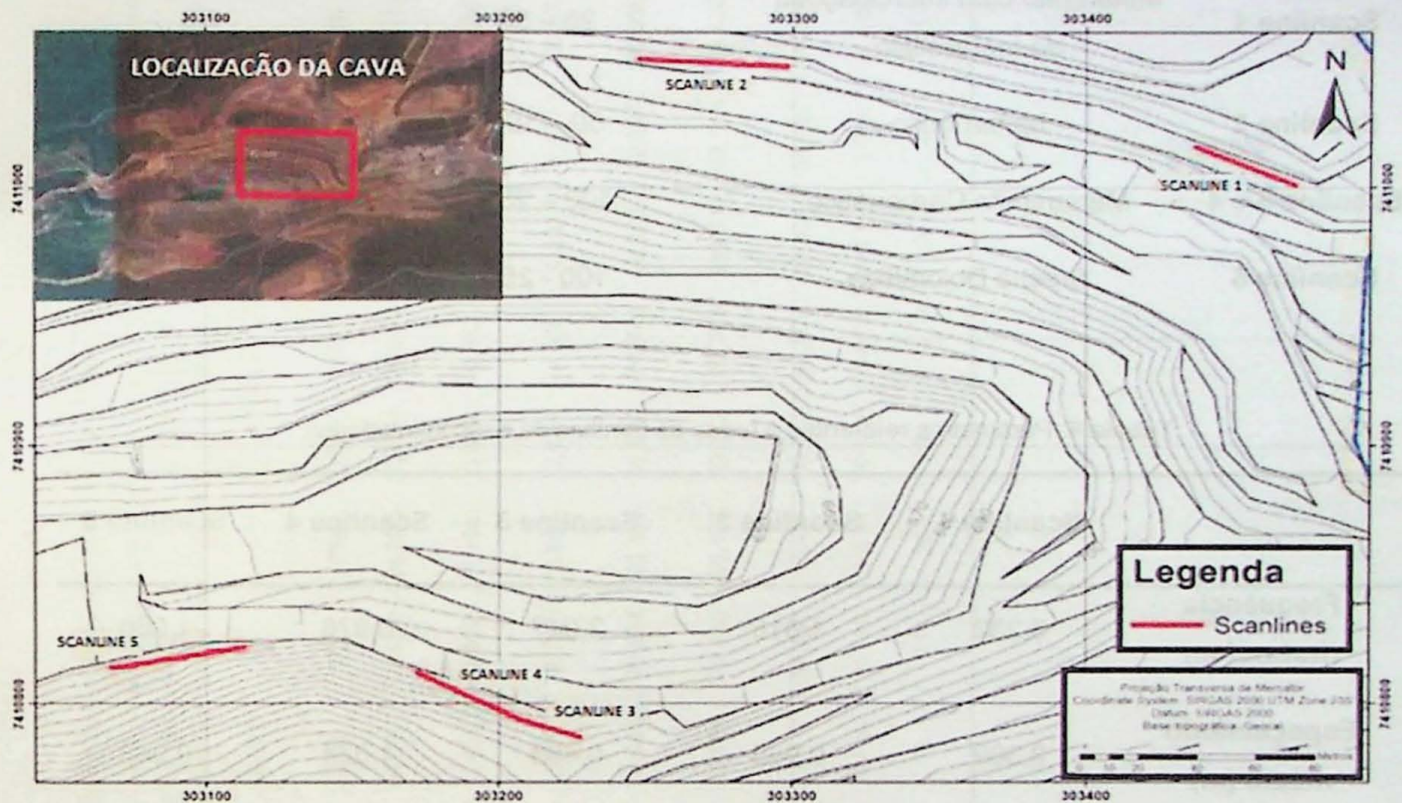


Figura 23: Localização das bancadas onde foram realizadas as *scanlines*.

#### 4.3.1. Parâmetros para Classificação

Para cada litotipo 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 1) e nos resultados de ensaios com Esclerômetro de Schmidt disponibilizados pela mineradora. Com os valores obtidos, os litotipos foram agrupados em classes, conforme os critérios sugeridos pela ISRM (1978) (Tabela 5).

Com base nos dados obtidos nas linhas de amostragem, foram calculados os parâmetros referentes à todas as famílias de descontinuidades presentes em cada *scanline*, incluindo frequência, espaçamento médio e RQD\* para valores de 0,1 m, 0,3 m e 1,0 m (Tabela 6).

Tabela 5: Classes de resistência à compressão uniaxial para os litotipos das *scanlines*.

Scanline	Litotipo	Resistência uniaxial da rocha intacta (MPa)	Resistência
Scanline 1	Metarenito com intercalações de metassiltito	25 – 50	R3
Scanline 2	Metarritmito	50 – 100	R4
Scanline 3 e 4	Metarritmito Carbonático	100 – 250	R5
Scanline 5	Brecha Dolomítica	100 - 250	R5

Tabela 6: Parâmetros referentes à todas as famílias de descontinuidades.

	Scanline 1	Scanline 2	Scanline 3	Scanline 4	Scanline 5
Frequência (fratura/ m)	3,232	1,015	2,047	0,976	1,060
Espaçamento médio (m)	0,309	0,985	0,488	1,024	0,943
RQD* 0,1 m (%)	95,778	99,518	98,170	99,553	99,476
RQD* 0,3 m (%)	74,697	96,204	87,341	96,463	95,898
RQD* 1,0 m (%)	16,710	79,016	39,337	74,447	71,370
Número total de dados	140	48	52	40	53

Em seguida, os dados foram corrigidos de acordo com a orientação das *scanlines* e projetados em diagramas de igual-área (rede de Schimidt-Lambert), definindo agrupamentos de famílias por *cluster* com raio de busca de 30°. Os resultados são apresentados no Anexo 4. Os parâmetros foram novamente calculados para cada família de descontinuidade, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7: Parâmetros calculados para cada família de descontinuidade

	Scanline 1			Scanline 2			Scanline 3			Scanline 4			Scanline 5					
Atitude do Talude (Dipdir/Dip)	202/41			187/41			023/64			023/64			339/65					
Família	F1A	F1B	F1C	F1D	F1E	F2A	F2B	F2C	F3A	F3B	F3C	F3D	F4A	F4B	F5A	F5B	F5C	F5D
Atitude média (Dip/Dipdir)	270/82	331/05	176/89	312/71	225/73	161/73	347/67	251/70	341/70	031/14	195/64	075/72	340/60	029/75	016/80	052/90	304/65	098/82
Frequência (fraturas/ m)	1,422	0,474	0,867	0,375	0,237	0,365	0,451	0,368	1,168	0,404	0,242	0,518	0,611	0,300	0,236	0,301	0,213	0,134
Espaçamento médio (m)	0,703	2,111	1,154	2,665	4,221	2,741	2,219	2,720	0,856	2,474	4,135	1,931	1,637	3,337	4,236	3,326	4,701	7,442
RQD* 0,1 m (%)	99,079	99,891	99,645	99,931	99,972	99,935	99,901	99,934	99,369	99,920	99,971	99,870	99,821	99,956	99,973	99,956	99,978	99,991
RQD* 0,3 m (%)	93,114	99,081	97,153	99,412	99,759	99,443	99,164	99,435	95,123	99,321	99,749	98,911	98,513	99,620	99,761	99,617	99,805	99,921
RQD* 1,0 m (%)	58,412	91,767	78,468	94,496	97,600	94,764	92,437	94,691	67,424	93,731	97,507	90,434	87,457	96,314	97,616	96,921	98,034	99,175
Persistência	< 1 m	< 1 m	< 1 m	< 1 m	< 1 m	< 1 m	< 1 m	< 1 m	1-3 m	< 1 m	1-3 m	< 1 m	1-3 m	< 1 m	< 1 m	< 1 m	< 1 m	< 1 m
Número de dados	56	18	33	12	9	14	19	11	29	8	4	9	24	11	11	14	10	6

Observa-se que as *scanlines* 1, 2, 3 e 4 apresentam uma família com atitude aproximada 340/70, correspondente à foliação metamórfica predominante paralela ao acamamento ( $S_0/S_n$ ). Este padrão não é reconhecido na Scanline 5, correspondente à brecha dolomítica, que mostra um padrão de faturamento irregular, com grande dispersão nas atitudes das descontinuidades, o que dificulta o agrupamento em famílias. Nota-se ainda que, apesar de as linhas de amostragem 3 e 4 terem sido feitas no mesmo litotipo, a primeira possui maior número de fraturas e famílias, o que pode ser explicado devido à proximidade ao contato com o metassiltito homogêneo, onde a foliação é mais intensa e marcante, e há uma zona cisalhada no maciço.

As informações coletadas em campo mostraram que as descontinuidades de todas as *scanlines* apresentam algumas características semelhantes: são consideradas fechadas, com abertura inferior a 2,5 mm, paredes duras, lisas a pouco rugosas, predominantemente sem preenchimento. Na unidade do metarenito com intercalações de metassiltito e no metarritmito há veios de quartzo milimétricos, porém sem representatividade suficiente para afetar a classificação geomecânica.

Em relação aos aspectos hidrogeológicos, não foi constatada a presença de nenhuma surgência de água nas faces dos taludes estudados. Para este trabalho não foi realizado monitoramento do nível d'água subterrâneo, assim, para efeito de classificação, foi considerado que o maciço encontra-se completamente seco.

#### 4.3.2. Sistema RMR

Como proposto em ambos os sistemas de classificação, decidiu-se utilizar as famílias de descontinuidades com características mais desfavoráveis para a qualidade do maciço. As mesmas foram escolhidas com base na análise de estabilidade, utilizando a família mais propícia para rupturas. Para efeito de classificação, foi considerada a atitude do talude onde as *scanlines* foram realizadas. Após o cálculo de todos os parâmetros necessários, foi atribuído o peso relativo proposto por Bieniawski (1993) para a família que define pior qualidade para cada *scanline* (Tabela 8).

Tabela 8: Pesos relativos para a classificação RMR

Parâmetro	Scanline 1	Scanline 2	Scanline 3	Scanline 4	Scanline 5
Atitude do Talude	202/41	187/41	203/64	203/64	339/65
Atitude da Família	270/82	347/67	341/70	340/60	304/65
Resistência da rocha intacta	4	7	12	12	12
RQD* ( <i>rock quality designation</i> )	20	20	20	20	20
Espaçamento médio de fraturas	15	20	15	20	20
Condições das fraturas	25	25	25	25	25
Água Subterrânea	15	15	15	15	15
<b>RMRb</b>	<b>79</b>	<b>87</b>	<b>87</b>	<b>92</b>	<b>92</b>
Ajuste para orientação das descontinuidades	-2	-25	-2	-2	-2
<b>Total</b>	<b>77</b>	<b>62</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>90</b>
<b>Classificação</b>	<b>Bom</b>	<b>Muito bom</b>	<b>Muito bom</b>	<b>Muito bom</b>	<b>Muito bom</b>

Por se tratar de um parâmetro qualitativo e designado originalmente para túneis, o ajuste para a orientação das descontinuidades é de difícil aplicação neste estudo. Decidiu-se então basear o peso do parâmetro nos fatores de segurança obtidos com a análise de estabilidade, onde o metarritmito apresentou os piores resultados.

O resultado final mostra que o maciço encontra-se nas classes Bom e Muito Bom segundo a classificação RMR. É possível ainda observar uma correlação entre a qualidade do maciço e a profundidade das bancadas, com considerável melhoria nas bancadas inferiores, onde as rochas encontram-se menos alteradas e mais resistentes.

#### 4.3.3. Sistema SMR

A classificação no Sistema SMR foi feita com base no valor RMRb, utilizando as correções propostas por Romana *et al.* (2003) de acordo com as orientações das descontinuidades mais desfavoráveis para a qualidade do maciço. Os resultados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Pesos relativos para classificação no sistema SMR

Fator de Correção	Scanline 1	Scanline 2	Scanline 3	Scanline 4	Scanline 5
Atitude do Talude	202/41	187/41	203/64	203/64	339/65
Atitude da Família	270/82	347/67	341/70	340/60	304/65
F1					
<i>Planar</i>	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
<i>Tombamento</i>	0,15	0,40	0,15	0,15	0,15
F2	1	1	1	1	1
F3					
<i>Planar</i>	0	0	-6	-50	0
<i>Tombamento</i>	-25	0	-25	-25	-25
(F1 x F2 x F3)	-3,75	0	-3,75	-7,5	-3,75
F4	0	0	0	0	0
RMRb	79	87	87	92	92
<b>Total</b>	<b>75,25</b>	<b>87</b>	<b>83,25</b>	<b>84,5</b>	<b>88,25</b>
<b>Classificação</b>	<b>Bom</b>	<b>Muito Bom</b>	<b>Muito bom</b>	<b>Muito bom</b>	<b>Muito bom</b>

Dentro da classificação SMR o maciço também se enquadrou nas classes Bom e Muito Bom, com pouca probabilidade de rupturas, sendo mais provável que aconteça tombamento. Esta classificação, no entanto, não avalia a possibilidade de rupturas em cunha.

#### 4.4. Análise de estabilidade de taludes

Assim como a classificação geomecânica, a análise de estabilidade de taludes também foi realizada para cada litotipo. Como os dados das *scanlines* 3 e 4 foram amostrados no metarritmito carbonático, os mesmos foram agrupados para a análise de estabilidade, sendo consideradas as famílias mais representativas de cada *scanline*. No Anexo 5 são apresentadas as imagens panorâmicas dos taludes amostrados.

Para a análise de estabilidade na cava atual foram consideradas 8 orientações de taludes globais e de bancada, obtidas através do mapa topográfico utilizado no mapeamento geológico-estrutural. Já para a geometria da cava final, foram consideradas as 5 atitudes dos taludes globais previstos no relatório geotécnico da empresa Geoestável, cedido pela mineradora Geocal Ltda (Tabela 10). O mesmo relatório apresenta os valores do ângulo de atrito, coesão e massa específica dos litotipos utilizados para a análise de estabilidade e para o cálculo do fator de segurança, como mostrado na Tabela 11.

**Tabela 10:** Orientações dos taludes da cava atual e as orientações previstas para a cava final utilizadas nas análises de estabilidade.

Cava atual			Cava Final		
Talude	DipDir	Dip	Talude	DipDir	Dip
T1A	000	70	T1F	162	41
T2A	015	65	T2F	214	41
T3A	086	30	T3F	352	41
T4A	143	56	T4F	332	41
T5A	180	40	T5F	067	41
T6A	210	40			
T7A	255	50			
T8A	340	65			

**Tabela 11:** Parâmetros para a análise de estabilidade e cálculo do fator de segurança (Relatório Interno - Geoestável)

Litotipo	Ângulo de atrito ( $\phi$ )	Coesão (kPa)	Massa Específica (kN/m <sup>3</sup> )
Metarenito com intercalações de metassiltito (Mta)	39,44	30,00	20,00
Metarritmito (Mtr)	24,69	40,00	40,00
Metarritmito Carbonático (Mrc)	40,19	80,00	26,00
Brecha Dolomítica (Dol)	35,34	80,00	25,00

#### 4.4.1. Análise Cinemática

Nas Tabelas 12 e 13 são apresentados os resultados da análise cinemática para a cava atual e a cava final, respectivamente. Em cada orientação de talude considerada, foi feita a análise para todos os litotipos amostrados nas *scanlines* em relação aos mecanismos de ruptura planar, em cunha e tombamento.

Os taludes T3A, T5A e T6A da cava atual, não apresentaram possibilidade de ruptura para nenhum dos litotipos amostrados. Os estereogramas com todas as análises onde foi reconhecida a possibilidade de ruptura encontram-se no Anexo 6.

Tabela 12: Análise cinemática para orientações de talude da cava atual, mostrando número de ocorrência e famílias de descontinuidade envolvidas nos mecanismos de ruptura.

Talude	Litotipo	Planar	Estruturas	Cunha	Estruturas	Tombamento	Estruturas
T1A	Mta	0	-	1	F1A x F1D	1	F1C
	Mtr	1	F2B	2	F2C x F2B ; F2A x F2B	1	F2A
	Mrc	1	F3A	1	F3A x F4B	1	F3C
	Dol	1	F5A	2	F5B x F5C; F5C x F5D	1	F5A
T2A	Mta	0	-	1	F1A x F1D	2	F1C ; F1E
	Mtr	1	F2B	0	-	0	-
	Mrc	2	F3A; F4B	1	F3A x F4B	1	F3C
	Dol	1	F5A	1	F5C x F5D	1	F5A
T4A	Mta	0	-	0	-	1	F1D
	Mtr	0	-	0	-	0	-
	Mrc	0	-	0	-	1	F3A
	Dol	0	-	0	-	0	-
T7A	Mta	0	-	0	-	1	F1A
	Mtr	0	-	0	-	0	-
	Mrc	0	-	1	F3A x F3C	0	-
	Dol	0	-	0	-	0	-
T8A	Mta	1	F1D	1	F1A x F1D	1	F1C
	Mtr	1	F2B	1	F2B x F2C	1	F2A
	Mrc	1	F3A	1	F3A x F4B	0	-
	Dol	0	-	2	F5B x F5C; F5C x F5D	0	-

**Tabela 13:** Análise cinemática para orientações de taludes da cava final, mostrando número de ocorrência e famílias de descontinuidade envolvidas nos mecanismos de ruptura

Talude	Litotipo	Planar	Estruturas	Cunha	Estruturas	Tombamento	Estruturas
T1F	Mta	0	-	0	-	1	F1C
	Mtr	0	-	0	-	0	-
	Mrc	0	-	0	-	0	-
	Dol	0	-	0	-	0	-
T2F	Mta	0	-	0	-	0	-
	Mtr	0	-	0	-	0	-
	Mrc	0	-	0	-	0	-
	Dol	0	-	0	-	1	F5A
T3F	Mta	0	-	0	-	1	F1C
	Mtr	0	-	0	-	1	F2A
	Mrc	0	-	0	-	0	-
	Dol	0	-	1	F5C x F5D	0	-
T4F	Mta	0	-	0	-	0	-
	Mtr	0	-	0	-	0	F2A
	Mrc	0	-	0	-	0	-
	Dol	0	-	0	-	0	-
T5F	Mta	0	-	0	-	1	F1A
	Mtr	0	-	0	-	1	F2C
	Mrc	0	-	0	-	0	-
	Dol	0	-	0	-	1	F5B

#### 4.4.2. Fator de segurança (F.S.)

Os fatores de segurança foram calculados para todas as condições de instabilidade de acordo com mecanismo de ruptura envolvido nas mesmas (Tabelas 14 e 15). De acordo com a norma brasileira de segurança NBR 11682-2009 são consideradas condições de segurança adequadas os fatores de segurança superiores a 1,3. Para fatores de segurança entre 1,1 e 1,3 as condições são consideradas inaceitáveis, enquanto para valores inferiores a 1,1 o risco de ruptura é iminente.

Em algumas análises, apesar de grande parte dos polos de uma família estarem contidos na região crítica de instabilidade, a média das atitudes encontra-se fora deste campo. Para o cálculo do fator de segurança nessas situações, foi considerada a atitude dos polos concentrados dentro do campo de instabilidade.

**Tabela 14:** Fatores de segurança para a geometria da cava atual. Condições estáveis (verde), inaceitáveis (amarelo) e de ruptura iminente (vermelho).

Talude	Litotipo	Tipo de Ruptura	Fator de Segurança	Talude	Litotipo	Tipo de Ruptura	Fator de Segurança
T1A	Mta	Cunha	2,98	T4A	Mta	Tomb	4,33
		Tomb.	1,25		Mrc	Tomb.	3,86
	Mtr	Planar	1,17	T7A	Mta	Tomb.	11,95
		Cunha	0,78 e 11,24		Mrc	Cunha	5,34
		Tomb.	0,88	T8A	Mta	Planar	1,59
	Mrc	Planar	1,95		Mta	Cunha	4,19
		Cunha	2,84		Mta	Tomb.	5,88
		Tomb.	1,25		Mtr	Planar	0,87
	Dol	Planar	1,25		Mtr	Cunha	0,78
		Cunha	21,77 e 4,5		Mtr	Tomb.	1,47
		Tomb.	5,21		Mrc	Planar	9,30
	T2	Mta	Cunha	20,18	Mrc	Cunha	12,84
Tomb.			2,27 e 6,45	Dol	Cunha	4,82 e 4,82	
Mtr		Planar	1,69				
Mrc		Planar	1,57 e 2,33				
		Cunha	3,9				
		Tomb.	2,57				
Dol		Planar	1,70				
		Cunha	4,75				
	Tomb.	5,46					

**Tabela 15:** Fatores de segurança para a geometria da cava final. Condições estáveis (verde), inaceitáveis (amarelo) e de ruptura iminente (vermelho).

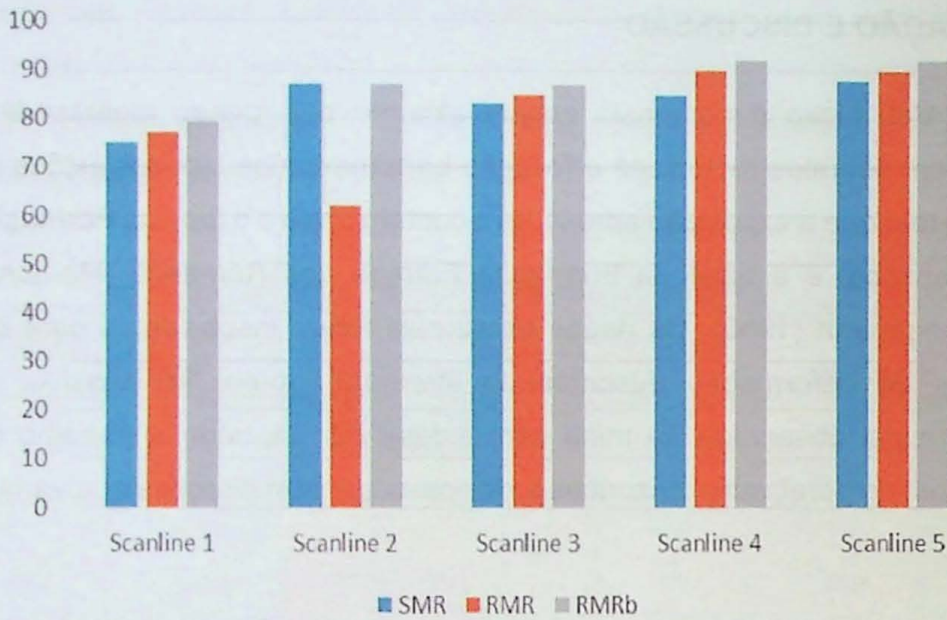
Talude	Litotipo	Tipo de Ruptura	Fator de Segurança	Talude	Litotipo	Tipo de Ruptura	Fator de Segurança
T1F	Mta	Tomb.	9.42	T4F	Mtr	Tomb.	1.99
T2F	Dol	Tomb.	5.92	T5F	Mta	Tomb.	7.09
T3F	Mta	Tomb	9.42		Mtr	Tomb.	1.71
	Mtr	Tomb.	1.99		Dol	Tomb.	11.66
	Dol	Cunha	27.24				

## 5. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO

A mina Vau Novo é composta essencialmente por rochas metassedimentares e carbonáticas, com contatos tectônicos e foliação bem marcados. As descrições das rochas mapeadas sugerem que a exposição apresenta o contato entre a o topo da Formação Pirapora (Membro Carbonático) e a base da Formação Estrada dos Romeiros (Membro Arenoso) descritos por Bergmann (1988). Os dados estruturais foram insuficientes para hierarquizar todas as fases de deformação descritas na literatura, porém foi possível associar a deformação principal observada na mina com a fase F2, segundo o trabalho de Bistrichi (1982), com eixos, no geral, sub-horizontais e planos axiais com direções que variam de N60E a E-W.

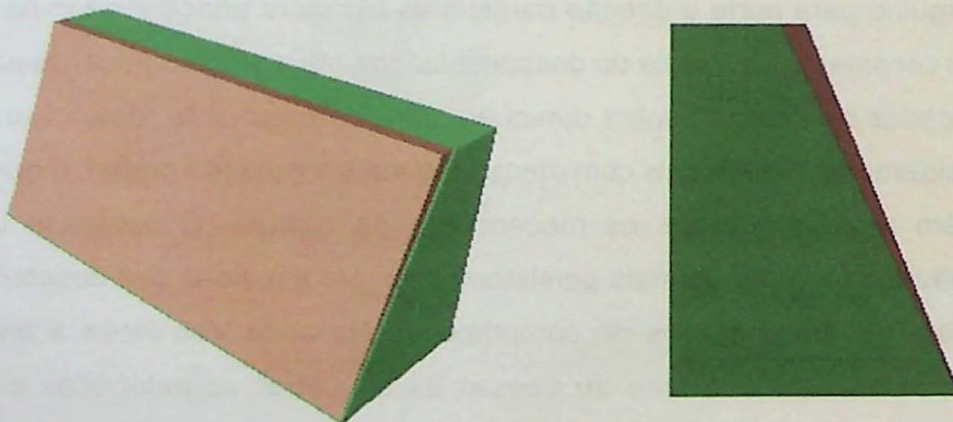
Os sistemas de classificação geomecânica, no geral, não apresentaram discrepância em relação ao resultado final (Figura 24). Apenas o sistema RMR atribuiu notas inferiores à *scanline* 2 devido à correção relativa à orientação das descontinuidades. Como já discutido anteriormente, esta correção utiliza critérios qualitativos, e, apesar de refletir a inferioridade do maciço em relação às possibilidades de deslizamentos, não deve ser tomada como absoluta. Os critérios de correção utilizados no sistema SMR foram considerados mais apropriados para a classificação de maciços com taludes de corte, uma vez que considera a contribuição dos mecanismos de ruptura de forma individual.

A análise cinemática para a cava atual mostrou que os principais problemas de estabilidade estão associados a rupturas em cunha e tombamentos, especialmente nos taludes com mergulho para norte e direção paralela às estrutura principal da mina, uma vez que a foliação foi considerada a família de descontinuidade mais problemática. Já para a cava final as possibilidades de deslizamentos diminuem consideravelmente, devido ao fato de o projeto final considerar taludes globais com mergulhos mais baixos (41 graus), o que favorece a estabilidade em relação a todos os mecanismos de ruptura. O resultado carece de informações relativas às estruturas mais persistentes, já que a maioria das descontinuidades amostradas variam de 1 a 3 metros de comprimento. Na mina Vau Novo a amostragem mostrou-se complicada devido à falta de acesso às bancadas abandonadas e à intensa atividade de mineração nas bancadas acessíveis.



**Figura 24:** Comparação entre os resultados finais dos sistemas de classificação SMR, RMR e RMRb (RMR sem o fator de correção em relação à orientação das descontinuidades).

Os fatores de segurança obtidos apresentam condições estáveis para a maioria das análises realizadas. Assim como na análise cinemática, os maiores problemas encontram-se nos taludes com atitudes próximas à da foliação principal da mina, principalmente nas regiões onde afloram o metarritmito. Nas rupturas planares, os planos de deslizamento apresentam mergulho próximo ao da face de talude, formando blocos delgados, como no exemplo da Figura 25. As cunhas formadas também apresentam forma delgada, com plano de deslizamento muito inclinado, favorecendo a estabilidade (Figura 26).



**Figura 25:** Exemplo de ruptura planar no metarritmito. A imagem da direita mostra o aspecto geral do bloco, a da esquerda apresenta a vista em perfil.

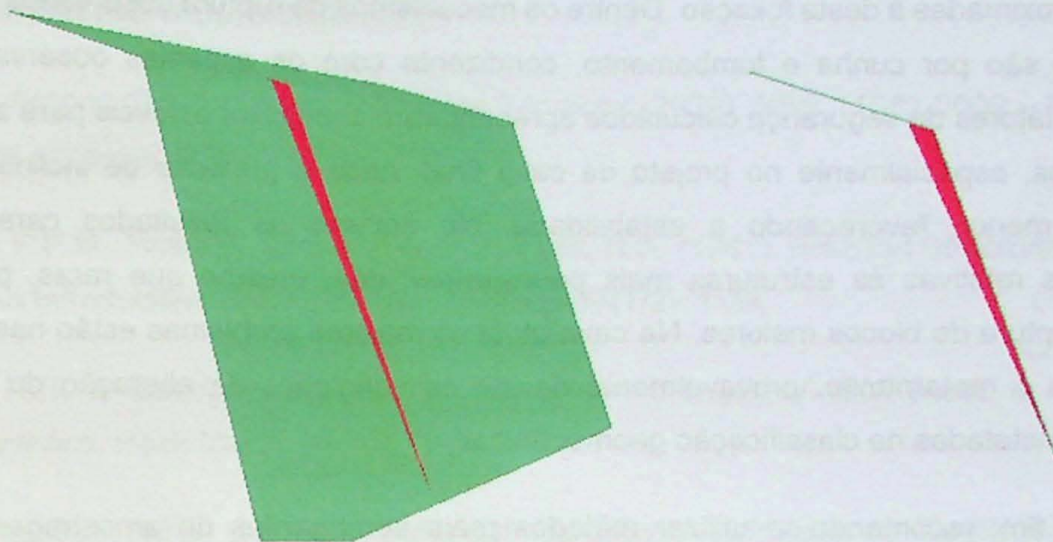


Figura 26: Exemplo de cunha no metarritmito. A imagem da direita mostra o aspecto geral da cunha, a da esquerda apresenta a vista em perfil.

Alguns fatores de segurança apresentam valores elevados devido aos parâmetros geotécnicos utilizados para o cálculo. Para uma análise mais precisa seria importante realizar ensaios pontuais nos mesmo locais onde foram realizadas as *scanlines*.

## 6. CONCLUSÕES

A principal proposta deste trabalho foi abordar os parâmetros geotécnicos relevantes para a classificação geomecânica e análise de estabilidade de taludes, correlacionando-os com os aspectos geológicos. Desta forma, o mapeamento inicial foi de suma importância não só para o reconhecimento da geologia e estruturação local, mas também para identificar os problemas relacionados à estabilidade, assim como as dificuldades para utilizar a metodologia escolhida.

O modelo geológico mostrou o forte controle estrutural presente na mina Vau Novo, levando a escolha da amostragem por litotipo, uma vez que os mesmos apresentam padrões próprios de fraturamento e deformação. A análise conjunta dos dados já obtidos anteriormente por Viana (2015), permitiu observar a complexidade deste modelo, já que há aparente repetição das camadas na cava secundária.

Os sistemas de classificação geomecânica escolhidos apresentaram resultados satisfatórios, sendo o sistema SMR considerado mais adequado para estudos envolvendo análise de estabilidade de taludes. Nos dois sistemas utilizados os maciços se enquadraram nas classes bom e muito bom, com pouca discrepância quando comparados os resultados finais.

A análise cinemática permitiu identificar que o maiores problemas em relação à estabilidade estão relacionados com a foliação principal das rochas e com os taludes com

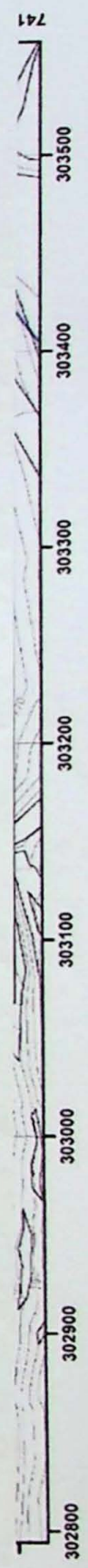
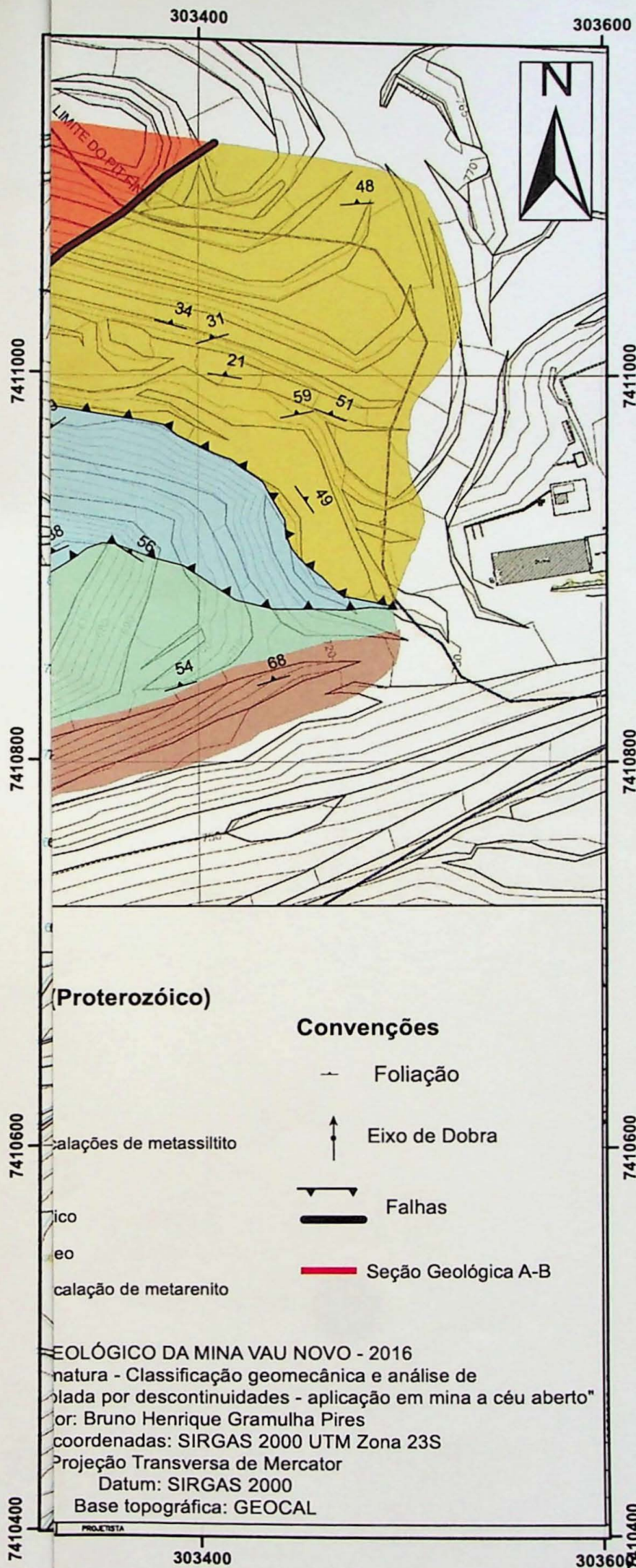
atitudes aproximadas à desta foliação. Dentre os mecanismos de ruptura observados, os mais recorrentes são por cunha e tombamento, condizente com os aspectos observados em campo. Os fatores de segurança calculados apresentaram condições estáveis para a maioria das análises, especialmente no projeto da cava final, onde a previsão de inclinação dos taludes é menor, favorecendo a estabilidade. No entanto os resultados carecem de informações relativas às estruturas mais persistentes, que, mesmo que raras, poderiam induzir a ruptura de blocos maiores. Na cava atual os maiores problemas estão nas regiões onde aflora o metarritmito, provavelmente devido às condições de alteração do mesmo, também constatadas na classificação geomecânica.

Por fim, recomenda-se utilizar métodos mais abrangentes de amostragem, como sensoriamento remoto e fotogrametria, principalmente nas regiões inacessíveis da mina, onde não foi possível obter muitas informações. Da mesma forma, seria importante realizar ensaios geotécnicos pontuais na mesma região onde foram amostradas as descontinuidades, para obter uma análise mais precisa e completa.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

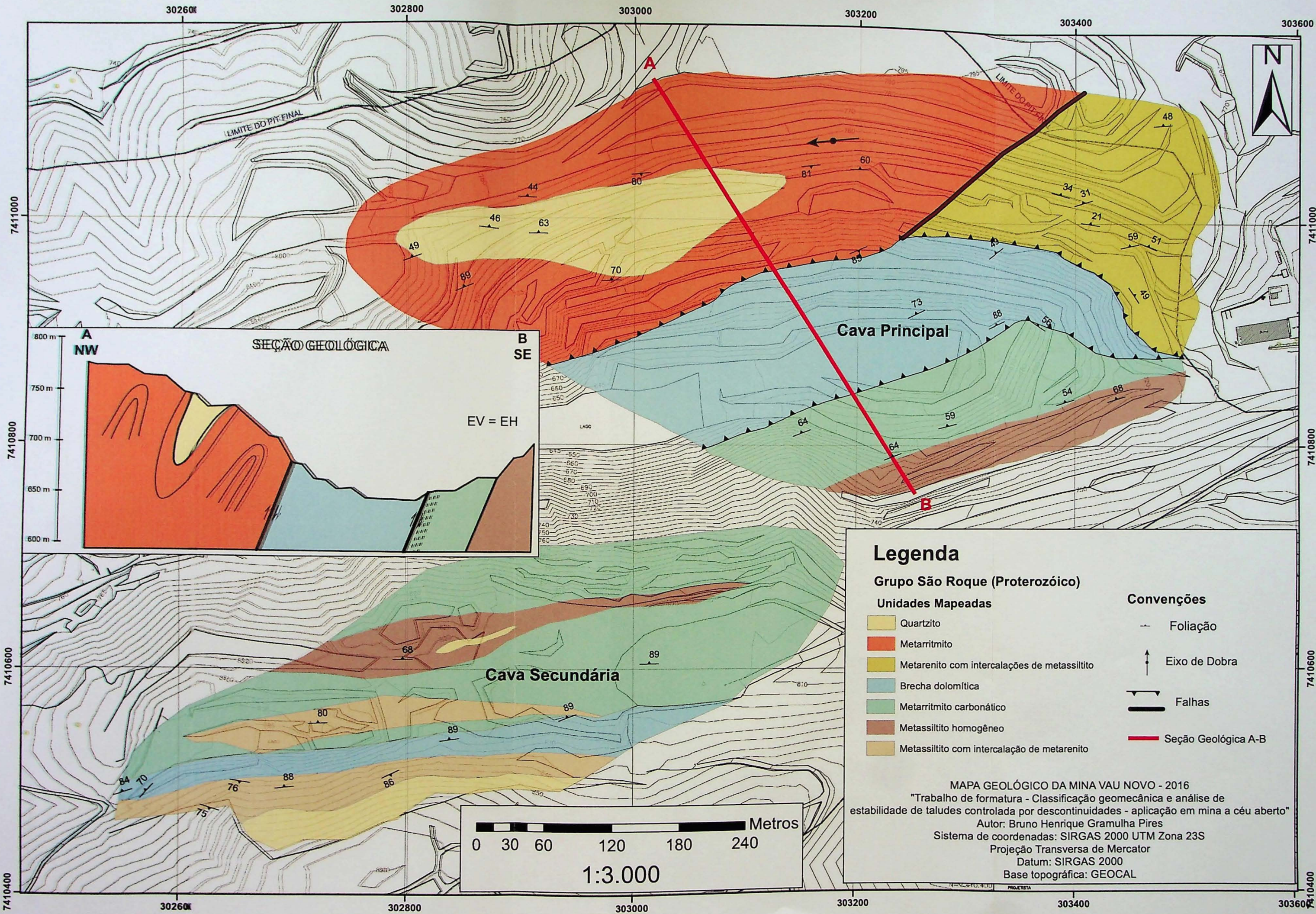
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682-2009 – Estabilidade de encostas. ABNT, 33p.
- Almeida, F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck, R.A. (1981). Brazilian Structural Provinces: An Introduction. *Earth-Science Reviews*, 17(1/2): 1-29.
- Barton, N.R. e Choubey, V. (1977). *The shear strength of rock joints in theory and practice*. Rock Mech. 10(1-2), 1-54.
- Bergmann, M. (1988). *Caracterização Estratigráfica e Estrutural da Seqüência Vulcano-Sedimentar do Grupo São Roque, na região de Pirapora do Bom Jesus - SP*. (Dissertação) Mestrado. São Paulo: Instituto de Geociências – USP.
- Bieniawski Z.T. (1973). Engineering classification of rock masses. *Trans S. Afr. Inst. Civ. Eng.*, 15:335-44.
- Bieniawski, Z. T. (1993) Classification of rock masses for engineering: the RMR system and future trends. *In: Hudson, J.A. Comprehensive rock engineering*. Londres: Pergamon Press ( v. 3, p. 553-573).
- Bistrichi C.A. (1982). *Geologia do Sinclínório de Pirapora, SP*. (Dissertação) Mestrado. São Paulo: Instituto de Geociências - USP
- 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.
- Geoestável Consultoria e Projetos (2013). Estudos de estabilidade geotécnica de taludes operacionais e finais da cava Santana do Parnaíba – SP. Relatório não publicado.
- Goodman, R.E. e Bray, J.W. (1976). *Toppling of Rock Slopes*. Proc. Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and Slopes. Boulder, Colorado, ASCE Vol.2, pp. 201-234.
- Google Earth Pro (2016). *Google Earth™*, serviço de mapas.
- Hackspacher, P.C., Godoy, A.M., Oliveira, M.A.F. (1993). A Evolução Crustal do Bloco São Roque na Região Sudeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 23(3):260-264.

- Hoek, E., Bray, J. e Boyd, J. (1973). *The stability of a rock slope containing a wedge resting on two intersecting discontinuities*. *Quart. J. Engn Geol.*: 22-35.
- Hudson, J. A., Harrison, J. P. (1997). *Engineering rock mechanics: an introduction to the principles*. Londres: Elsevier, 444 p.
- 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.
- Markland, J. T. (1972) *An useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge sliding type of failure is expected*. Imperial College Rock Mechanics Research Report No. 19, 10 pp.
- Pantelidis, L. (2009). *Rock slope stability assessment through rock mass classification systems*. *Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences* 46: 315-325.
- Priest S.D. e Hudson J.A. (1976). *Discontinuity Spacings in Rock*. *Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 13: 135-148.
- Priest S.D. e Hudson J.A. (1981). *Estimation of Discontinuity Spacing and Trace Length Using Scanline Surveys*. *Int. J. of Rock Mechanics, Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 18: 183-197.
- 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.
- Viana, C. D. (2015). *Análise estrutural de descontinuidades baseada em técnicas de structure from motion: aplicação em mina a céu aberto*. São Paulo. (Dissertação) Mestrado. São Paulo: Instituto de Geociências – USP.
- Wyllie, D. C., Mah, C. W. (2004). *Rock Slope Engineering: Civil and Mining*. Londres: Spon Press, 456



JSP

ANEXO 1: MAPA GEOLÓGICO DA MINA VAU NOVO



### Legenda

**Grupo São Roque (Proterozóico)**

**Unidades Mapeadas**

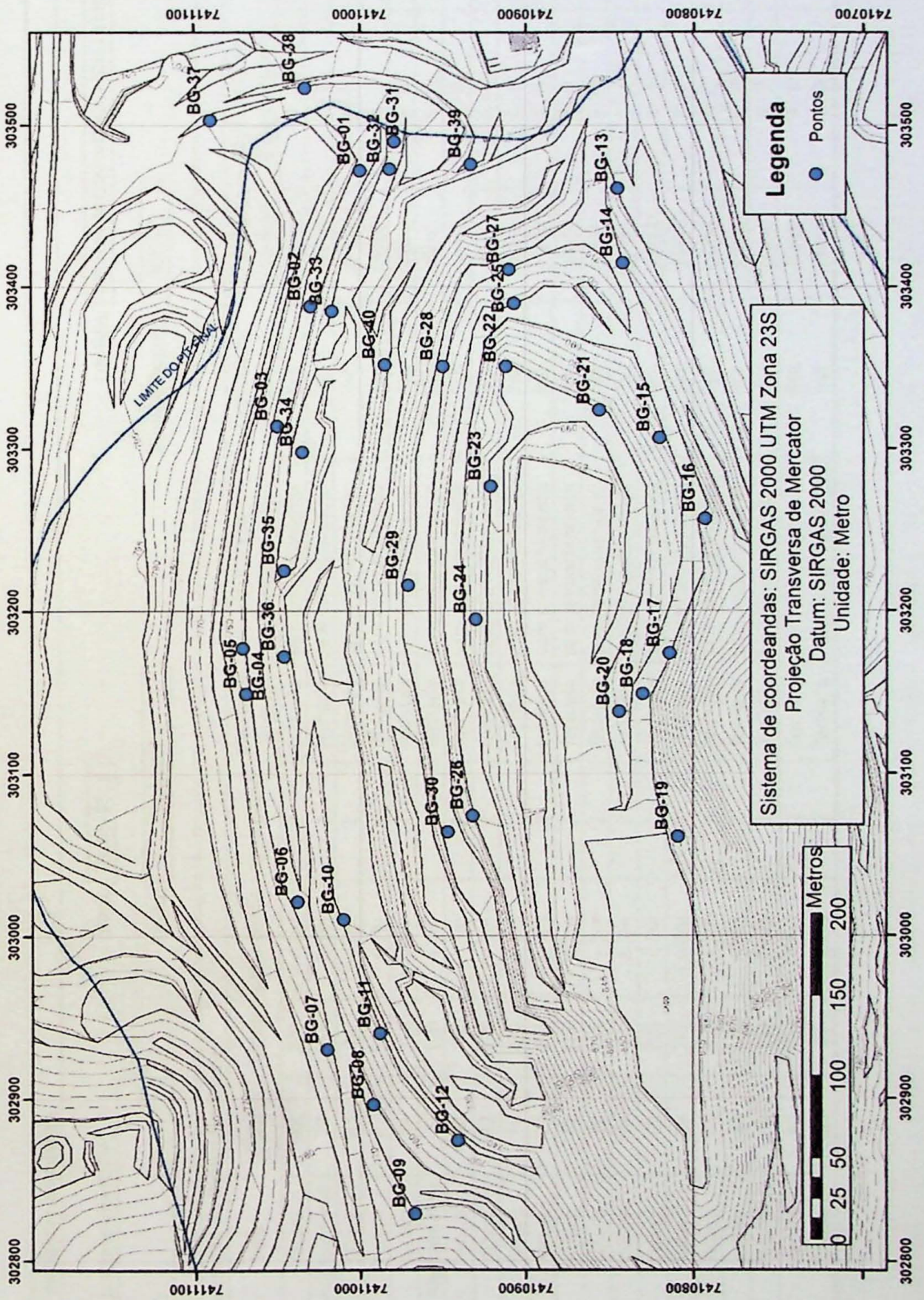
- Quartzito
- Metarritmito
- Metarenito com intercalações de metassiltito
- Brecha dolomítica
- Metarritmito carbonático
- Metassiltito homogêneo
- Metassiltito com intercalação de metarenito

**Convenções**

- Foliação
- Eixo de Dobra
- Falhas
- Seção Geológica A-B

MAPA GEOLÓGICO DA MINA VAU NOVO - 2016  
 "Trabalho de formatura - Classificação geomecânica e análise de estabilidade de taludes controlada por discontinuidades - aplicação em mina a céu aberto"  
 Autor: Bruno Henrique Gramulha Pires  
 Sistema de coordenadas: SIRGAS 2000 UTM Zona 23S  
 Projeção Transversa de Mercator  
 Datum: SIRGAS 2000  
 Base topográfica: GEOCAL

ANEXO 2 – MAPA DE PONTOS



INSTITUTO DE GEOCIENCIAS - USP  
- BIBLIOTECA -

27125

### ANEXO 3 – PARÂMETROS OBTIDOS COM AS SCANLINES

Levantamento de Descontinuidades												
Localização do ponto inicial (UTM)		Data: 13/05/2016		Litotipo: METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO								
Leste: 303472		Título: SCANLINE 1		Rumo/Mergulho		300/00						
Norte: 7411001												
Natureza e Orientação da Descontinuidade												
distância (m)	tipo	Dip	Dipdir	persistência	terminação	abertura/largura	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	coeficiente de rugosidade JRC	fluxo de água	
0.79	Fratura	88	278	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
0.82	Acamamento	20	114	1-3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
1.15	Fratura	83	76	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
1.36	Fratura	67	319	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
2.12	Fratura	64	318	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
2.67	Acamamento	5	120	< 1m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
2.78	Fratura	68	72	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
3.15	Fratura	82	356	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
3.48	Fratura	89	275	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
3.59	Fratura	79	342	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
3.50	Fratura	13	106	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
3.72	Fratura	82	251	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
3.78	Fratura	84	21	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
4.05	Fratura	69	292	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
4.31	Fratura	89	272	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
4.25	Fratura	74	52	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
5.03	Fratura	88	230	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	8 - 10	seca	seca
5.28	Fratura	89	141	1-3m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
5.72	Fratura	87	154	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca	seca
9.96	Fratura	85	97	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca

Levantamento de Descontinuidades												
Localização do ponto inicial (UTM)			Data: 13/05/2016		Litotipo: METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO							
Leste: 303472			Título: SCANLINE 1		Rumo/Mergulho		300/00					
Norte: 7411001												
Natureza e Orientação da Descontinuidade												
distância (m)	tipo	Dip	Dipdir	persistência	terminação	abertura/ largura	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	coeficiente de rugosidade JRC	fluxo de água	
5.76	Fratura	10	130	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
5.93	Fratura	59	322	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
6.2	Fratura	58	46	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	2 - 4	seca	seca
6.32	Fratura	67	330	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	8 - 10	seca	seca
6.62	Fratura	83	7	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca	seca
6.91	Fratura	51	50	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	2 - 4	seca	seca
7.12	Fratura	77	12	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca	seca
8.13	Fratura	70	357	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
8.2	Fratura	89	83	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
8.34	Fratura	83	276	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
8.6	Fratura	15	168	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
8.66	Fratura	2	266	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
8.8	Fratura	77	270	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
9.56	Fratura	85	271	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
9.73	Fratura	3	269	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
9.74	Veio	89	294	< 1m	2	aberta	quartzo	áspera	plana	8 - 10	seca	seca
9.78	Fratura	1	116	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca
9.92	Fratura	88	261	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	seca

**Levantamento de Descontinuidades**

Localização do ponto inicial (UTM)

Leste: 303472

Norte: 7411001

Data: 13/05/2016

Título: SCANLINE 1

Litotipo: METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO

Rumo/Mergulho 300/00

**Natureza e Orientação da Descontinuidade**

distância (m)	tipo	Dip	Dipdir	persistência	terminação	abertura/largura	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	coeficiente de rugosidade JRC	fluxo de água
10.02	Fratura	87	255	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
10.1	Fratura	89	350	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
10.22	Fratura	75	252	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
10.3	Fratura	88	40	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
10.7	Fratura	82	170	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
10.8	Fratura	86	174	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
11.25	Fratura	66	298	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
12.75	Fratura	78	351	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	áspera	plana	8 - 10	seca
13.11	Fratura	73	302	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
13.2	Fratura	74	320	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
13.24	Fratura	88	357	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
13.3	Fratura	67	277	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	3 - 8	seca
13.62	Veio	89	15	< 1m	2	aberta	quartzo	áspera	plana	8 - 10	seca
14.12	Fratura	7	269	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
14.29	Fratura	89	355	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
14.52	Fratura	51	290	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	rugosa	plana	10 - 12	seca
14.89	Fratura	79	266	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
15.02	Fratura	89	180	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
15.14	Fratura	87	8	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca

## Levantamento de Descontinuidades

Localização do ponto inicial (UTM)

Leste: 303472

Norte: 7411001

Data: 13/05/2016

Título: SCANLINE 1

Litotipo: METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO

Rumo/Mergulho 300/00

## Natureza e Orientação da Descontinuidade

distância (m)	tipo	Dip	Dipdir	persistência	terminação	abertura/ largura	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	coeficiente de rugosidade JRC	fluxo de água
15.53	Fratura	89	247	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	rugosa	plana	8 - 10	seca
16.03	Veio	89	6	< 1m	2	aberta	quartzito	rugosa	plana	8 - 10	seca
16.56	Fratura	83	184	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
17.32	Fratura	64	268	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
17.44	Fratura	88	8	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
17.56	Fratura	86	278	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
17.75	Fratura	83	282	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
17.82	Fratura	76	278	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
17.94	Fratura	82	66	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
18.04	Fratura	8	304	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
18.22	Fratura	88	1	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
18.5	Fratura	68	253	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
18.8	Fratura	63	266	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
19.33	Fratura	28	256	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
19.45	Fratura	80	101	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
19.52	Fratura	82	294	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
19.66	Fratura	83	219	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
19.87	Fratura	82	95	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
20.76	Fratura	67	277	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca

**Levantamento de Descontinuidades**

Localização do ponto inicial (UTM)

Leste: 303472

Norte: 7411001

Data: 13/05/2016

Título: SCANLINE 1

Litotipo: METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO

Rumo/Mergulho 300/00

**Natureza e Orientação da Descontinuidade**

distância (m)	tipo	Dip	Dipdir	persistência	terminação	abertura/ largura	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	coeficiente de rugosidade JRC	fluxo de água
21.44	Fratura	70	276	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
21.88	Fratura	68	275	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
22.1	Fratura	88	251	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
22.19	Fratura	88	115	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
22.41	Fratura	22	4	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
22.66	Fratura	74	269	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
22.78	Fratura	85	174	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
22.98	Fratura	89	258	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
23.07	Fratura	11	337	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
23.12	Fratura	88	247	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
23.31	Fratura	64	278	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
23.62	Fratura	73	312	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
23.71	Fratura	80	349	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	8 - 10	seca
23.82	Fratura	81	177	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
24.02	Fratura	75	301	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
24.35	Fratura	85	166	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
24.5	Fratura	82	305	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
25.04	Fratura	79	308	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
25.1	Fratura	15	345	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca

Levantamento de Descontinuidades												
Localização do ponto inicial (UTM)			Data: 13/05/2016		Litotipo: METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO							
Leste: 303472			Título: SCANLINE 1		Rumo/Mergulho			300/00				
Norte: 7411001												
Natureza e Orientação da Descontinuidade												
distância (m)	tipo	Dip	Dipdir	persistência	terminação	abertura/ largura	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	coeficiente de rugosidade JRC	fluxo de água	
25.67	Fratura	85	97	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
25.85	Fratura	88	173	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
25.98	Fratura	80	284	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
26.17	Fratura	72	279	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
27.08	Fratura	84	272	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
27.29	Fratura	67	231	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	áspera	plana	8 - 10	seca	
28.34	Fratura	87	172	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
29.17	Fratura	72	262	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
29.44	Fratura	86	103	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
29.76	Fratura	80	285	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
30.29	Fratura	31	321	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
30.51	Fratura	87	101	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
31.09	Fratura	77	268	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
31.36	Fratura	20	306	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
31.42	Fratura	81	267	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
31.56	Fratura	86	98	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
31.6	Fratura	76	127	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
31.91	Fratura	72	268	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
31.98	Fratura	73	275	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	

**Levantamento de Descontinuidades**

Localização do ponto inicial (UTM)

Leste: 303472

Norte: 7411001

Data: 13/05/2016

Título: SCANLINE 1

Litotipo: METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO

Rumo/Mergulho 300/00

**Natureza e Orientação da Descontinuidade**

distância (m)	tipo	Dip	Dipdir	persistência	terminação	abertura/ largura	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	coeficiente de rugosidade JRC	fluxo de água
32.15	Fratu	72	168	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
32.46	Fratu	87	65	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
32.57	Fratu	85	249	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
32.98	Fratu	61	231	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
33.04	Fratu	69	228	1 - 3m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	8 - 10	seca
33.07	Fratu	89	148	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
33.34	Fratu	71	306	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
33.51	Fratu	52	159	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
34.4	Fratu	77	172	1 - 3m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	8 - 10	seca
36.15	Fratu	25	5	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
36.75	Fratu	72	181	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
36.87	Fratu	53	166	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
38.82	Fratu	70	181	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
36.98	Fratu	80	214	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
37.59	Fratu	86	214	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
38.46	Fratu	89	87	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
38.53	Fratu	12	335	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
39.4	Fratu	81	258	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
39.6	Fratu	84	88	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca



**Levantamento de Descontinuidades**

Localização do ponto inicial (UTM)

Leste: 303290

Norte: 7411039

Data: 13/05/2016

Litotipo: METARRITMITO

Título: SCANLINE 2

Rumo/Mergulho 290/00

**Natureza e Orientação da Descontinuidade**

distância (m)	tipo	Dip	Dipdir	persistência	terminação	abertura/ largura	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	coeficiente de rugosidade JRC	fluxo de água
1	Fratura	89	244	1 - 3m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
1.78	Fratura	70	172	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
1.91	Foliação	59	343	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
3.78	Foliação	49	338	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
4.02	Fratura	70	156	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
5.29	Foliação	64	348	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
5.51	Fratura	62	347	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
7.43	Fratura	75	248	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
7.6	Fratura	77	243	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
7.91	Foliação	55	351	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
9.36	Fratura	75	164	3 - 10m	1	fechada	sem preenchimento	rugosa	plana	8 - 10	seca
10.81	Foliação	62	353	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
13.03	Fratura	45	274	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
13.47	Fratura	70	159	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
14.2	Fratura	70	72	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
14.75	Fratura	77	261	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
14.9	Fratura	69	164	3 - 10m	1	fechada	sem preenchimento	rugosa	plana	8 - 10	seca
15.03	Fratura	75	164	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
15.17	Fratura	72	274	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca

## Levantamento de Descontinuidades

Localização do ponto inicial (UTM)

Leste: 303290

Norte: 7411039

Data: 13/05/2016

Título: SCANLINE 2

Litotipo: METARRITMITO

Rumo/Mergulho 290/00

## Natureza e Orientação da Descontinuidade

distância (m)	tipo	Dip	Dipdir	persistência	terminação	abertura/ largura	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	coeficiente de rugosidade JRC	fluxo de água
15.32	Fratu	70	350	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
15.94	Fratu	72	165	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
16.36	Foliação	63	353	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
16.45	Fratu	71	164	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
17.96	Foliação	60	355	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
19.47	Fratu	71	166	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
19.56	Foliação	70	321	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
21.1	Foliação	64	352	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
22.8	Fratu	65	157	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
24.09	Fratu	68	162	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
24.36	Fratu	89	161	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
24.45	Foliação	52	349	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
26.43	Fratu	62	241	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
26.88	Fratu	53	239	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
28.06	Fratu	59	235	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
29.5	Foliação	67	356	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
30.59	Fratu	70	258	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
30.71	Foliação	65	355	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
30.92	Fratu	65	252	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca



## Levantamento de Descontinuidades

Localização do ponto inicial (UTM)

Leste: 303229

Norte: 7410797

Data: 13/05/2016

Título: SCANLINE 3

Litotipo:

METARRITMITO  
CARBONÁTICO

Rumo/Mergulho 300/13

## Natureza e Orientação da Descontinuidade

distância (m)	tipo	Dip	Dipdir	persistência	terminação	abertura/ largura	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	coeficiente de rugosidade JRC	fluxo de água
0.23	Fratura	9	52	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
0.25	Foliação	75	333	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
0.42	Fratura	60	197	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
0.67	Fratura	13	50	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
1.32	Foliação	69	346	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
2.57	Foliação	64	346	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
3.11	Fratura	41	291	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	ondulada	plana	4 - 6	seca
3.83	Foliação	73	339	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
4.34	Foliação	60	331	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
5.59	Fratura	89	1	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
7.32	Foliação	79	342	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
8.02	Fratura	77	72	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
8.73	Fratura	26	359	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
8.97	Foliação	74	337	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	ondulada	plana	4 - 6	seca
9.29	Foliação	73	342	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
9.43	Fratura	40	79	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
9.67	Foliação	20	49	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
10.15	Foliação	71	336	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
11.13	Fratura	22	337	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca

**Levantamento de Descontinuidades**

Localização do ponto inicial (UTM) Data: 13/05/2016  
 Leste: 303229 Litotipo: METARRITMITO  
 Norte: 7410797 Rumo/Mergulho 300/13

Título: SCANLINE 3

**Natureza e Orientação da Descontinuidade**

distância (m)	tipo	Dip	Dipdir	persistência	terminação	abertura/largura	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	coeficiente de rugosidade JRC	fluxo de água
11.82	Foliação	74	349	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
12.21	Fratura	8	36	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
12.89	Fratura	65	187	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
13.02	Fratura	2	297	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
13.66	Fratura	61	335	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
13.72	Fratura	78	78	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
14.38	Fratura	73	182	1 - 3m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
14.42	Foliação	75	339	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
14.63	Fratura	87	70	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
15.15	Foliação	77	341	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
15.25	Foliação	64	334	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
16.29	Foliação	59	322	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
16.96	Fratura	59	215	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
17.38	Fratura	70	61	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
18.2	Foliação	62	329	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
18.32	Fratura	72	45	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
18.84	Foliação	66	334	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
18.92	Foliação	82	339	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
19.12	Fratura	55	81	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca



**Levantamento de Descontinuidades**

Litotipo: METARRITMITO  
CARBONÁTICO

Data: 14/05/2016

Localização do ponto inicial (UTM)

Leste: 303207

Norte: 7410794

Título: SCANLINE 4

Rumo/Mergulho 300/13

**Natureza e Orientação da Descontinuidade**

distância (m)	tipo	Dip	Dipdir	persistência	terminação	abertura/ largura	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	coeficiente de rugosidade JRC	fluxo de água
0.46	Foliação	61	343	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
0.97	Fratura	88	89	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
1.17	Foliação	69	342	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
3.08	Foliação	70	341	3 - 10m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
4.26	Fratura	65	11	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
5.97	Foliação	52	337	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
7.23	Foliação	55	352	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
8.07	Foliação	56	346	3 - 10m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
8.98	Fratura	70	161	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	8 - 10	seca
11.89	Foliação	65	341	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	8 - 10	seca
12.53	Fratura	59	355	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
16.04	Foliação	55	349	3 - 10m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	8 - 10	seca
18.76	Fratura	58	33	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
19.04	Foliação	59	351	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
21.22	Foliação	55	342	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
23.15	Foliação	58	342	3 - 10m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
25.5	Foliação	61	326	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
27.15	Foliação	59	340	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
27.37	Fratura	68	217	< 1m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca

Levantamento de Descontinuidades												
Localização do ponto inicial (UTM)			Data: 14/05/2016			Litotipo: METARRITMITO CARBONÁTICO			Rumo/Mergulho 300/13			
Leste: 303207			Título: SCANLINE 4									
Norte: 7410794												
Natureza e Orientação da Descontinuidade												
distância (m)	tipo	Dip	Dipdir	persistência	terminação	abertura/ largura	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	coeficiente de rugosidade JRC	fluxo de água	
28.15	Foliação	61	334	1 - 3m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
31.87	Fratura	62	33	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
33.17	Foliação	66	324	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
33.57	Fratura	85	17	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
34.08	Foliação	59	336	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
34.35	Foliação	19	331	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
34.18	Fratura	80	27	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
34.9	Foliação	57	321	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
35.51	Fratura	62	49	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
36.04	Foliação	63	334	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
36.17	Foliação	60	331	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
36.49	Fratura	64	52	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
36.61	Foliação	58	330	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
37.02	Fratura	59	66	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
37.21	Foliação	57	334	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
37.88	Foliação	60	352	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
38.24	Fratura	75	59	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
38.49	Fratura	83	14	3 - 10m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
39.5	Fratura	86	14	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	



Levantamento de Descontinuidades												
Localização do ponto inicial (UTM)			Data: 14/05/2016		Litotipo: BRECHA DOLOMÍTICA						fluxo de água	
Leste: 303124			Título: SACNLINE 5		Rumo/Mergulho 270/15						coeficiente de rugosidade JRC	
Norte: 7410812											forma superficial	
Natureza e Orientação da Descontinuidade												
distância (m)	tipo	Dip	Dipdir	persistência	terminação	abertura/largura	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	coeficiente de rugosidade JRC	fluxo de água	
0.11	Fratu	42	70	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
0.88	Fratu	68	8	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
1.12	Fratu	71	297	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
1.25	Fratu	55	314	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
2.17	Fratu	70	39	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
3.29	Fratu	77	40	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
4.15	Fratu	75	40	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
5.01	Fratu	86	38	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca	
6.62	Fratu	46	272	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	rugosa	plana	10 - 12	seca	
6.81	Fratu	70	12	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	rugosa	plana	8 - 10	seca	
8.1	Fratu	80	56	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	rugosa	plana	8 - 10	seca	
10.25	Fratu	71	293	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	rugosa	plana	8 - 10	seca	
11.4	Fratu	68	314	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	rugosa	plana	8 - 10	seca	
12.82	Fratu	58	7	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	rugosa	plana	8 - 10	seca	
14.85	Fratu	72	27	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	estriada	6 - 8	seca	
17.15	Fratu	76	12	3 - 10m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	estriada	6 - 8	seca	
18.51	Fratu	15	166	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	rugosa	plana	8 - 10	seca	
18.59	Fratu	21	167	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	rugosa	plana	8 - 10	seca	
21.62	Fratu	85	23	3 - 10m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	estriada	4 - 6	seca	

**Levantamento de Descontinuidades**

Localização do ponto inicial (UTM)  
 Leste: 303124  
 Norte: 7410812

Data: 14/05/2016

Litotipo: BRECHA DOLOMÍTICA

Título: SACNLINE 5

Rumo/Mergulho 270/15

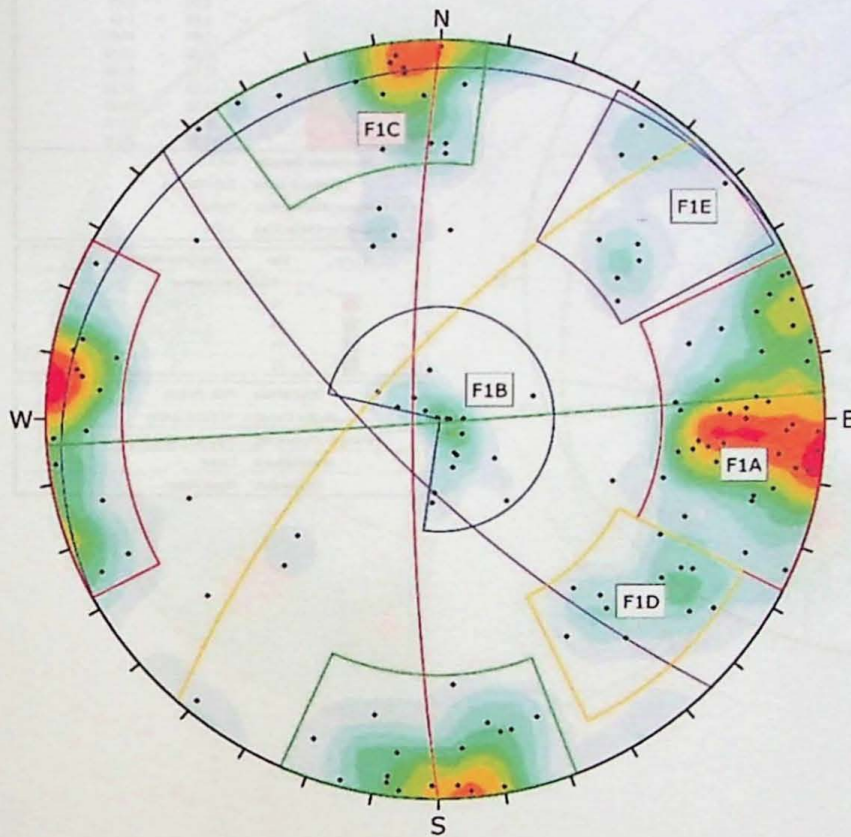
**Natureza e Orientação da Descontinuidade**

distância (m)	tipo	Dip	Dipdir	persistência	terminação	abertura/ largura	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	coeficiente de rugosidade JRC	fluxo de água
21.97	Fratura	19	170	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
22.15	Fratura	86	240	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
23.25	Fratura	89	6	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
24.32	Fratura	77	36	1 - 3m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
25.08	Fratura	76	12	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	rugosa	plana	8 - 10	seca
26.04	Fratura	86	102	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
26.96	Fratura	55	41	3 - 10m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
27.93	Fratura	38	204	1 - 3m	1	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
29.03	Fratura	79	175	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
30.82	Fratura	86	292	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
32.51	Fratura	84	192	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
33.52	Fratura	79	172	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
34.35	Fratura	58	318	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
34.52	Fratura	68	316	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
34.62	Fratura	43	4	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
34.72	Fratura	67	324	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
36.15	Fratura	81	227	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	4 - 6	seca
37.05	Fratura	69	218	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca
39.04	Fratura	87	249	< 1m	2	fechada	sem preenchimento	lisa	plana	6 - 8	seca



ANEXO 4 – FAMÍLIAS DE DESCONTINUIDADES POR SCANLINE

SCANLINE 1 – METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
Blue	0.00 - 0.80
Light Blue	0.80 - 1.60
Green	1.60 - 2.40
Yellow-Green	2.40 - 3.20
Yellow	3.20 - 4.00
Orange	4.00 - 4.80
Red-Orange	4.80 - 5.60
Red	5.60 - 6.40
Dark Red	6.40 - 7.20
Black	7.20 - 8.00

Maximum Density 7.94%

Contour Data Pole Vectors

Contour Distribution Fisher

Counting Circle Size 1.0%

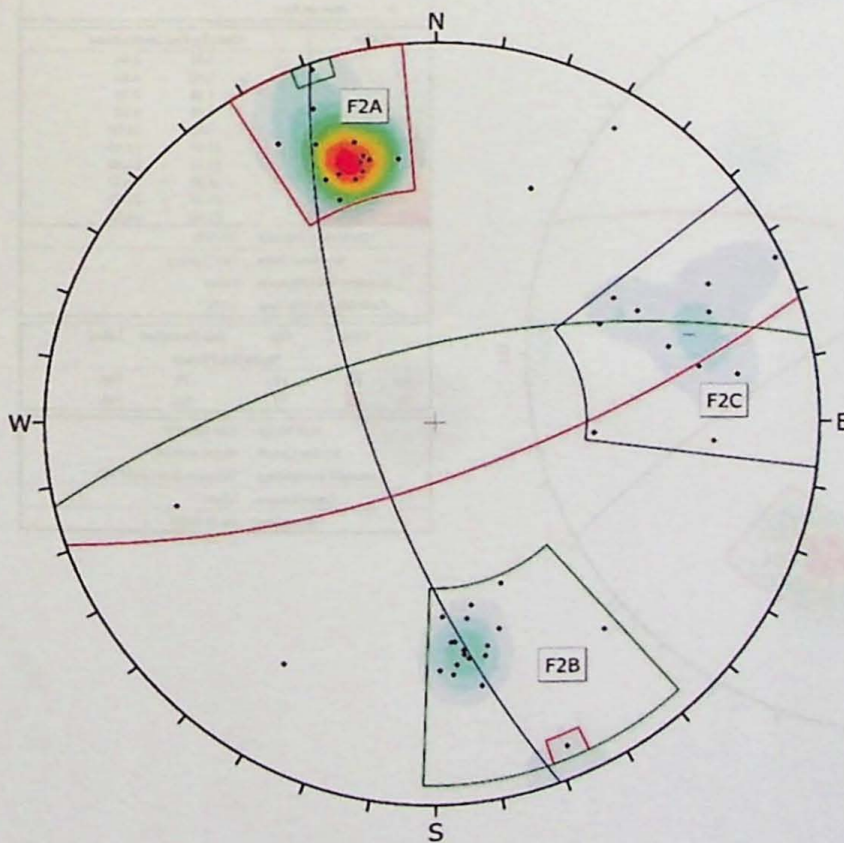
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	82	270	F1A
2m	5	331	F1B
3m	89	176	F1C
4m	71	312	F1D
5m	73	225	F1E

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	140 (140 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

SCANLINE 2 – METARRITMITO



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
Blue	0.00 - 3.00
Light Blue	3.00 - 6.00
Green	6.00 - 9.00
Yellow-Green	9.00 - 12.00
Yellow	12.00 - 15.00
Orange	15.00 - 18.00
Red-Orange	18.00 - 21.00
Red	21.00 - 24.00
Dark Red	24.00 - 27.00
Black	27.00 - 30.00

Maximum Density 29.09%

Contour Data Pole Vectors

Contour Distribution Fisher

Counting Circle Size 1.0%

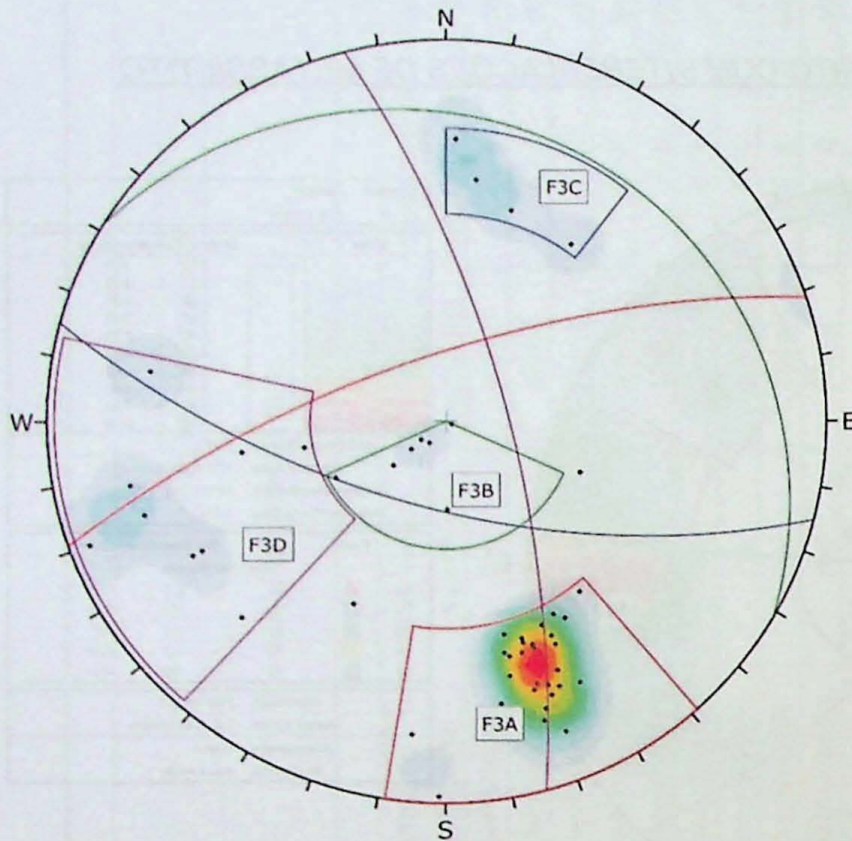
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	73	161	F2A
2w	67	347	F2B
3w	70	251	F2C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	48 (48 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

### SCANLINE 3 – METARRITMITO CARBONÁTICO



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.50
	2.50 - 5.00
	5.00 - 7.50
	7.50 - 10.00
	10.00 - 12.50
	12.50 - 15.00
	15.00 - 17.50
	17.50 - 20.00
	20.00 - 22.50
	22.50 - 25.00

Maximum Density	24.72%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

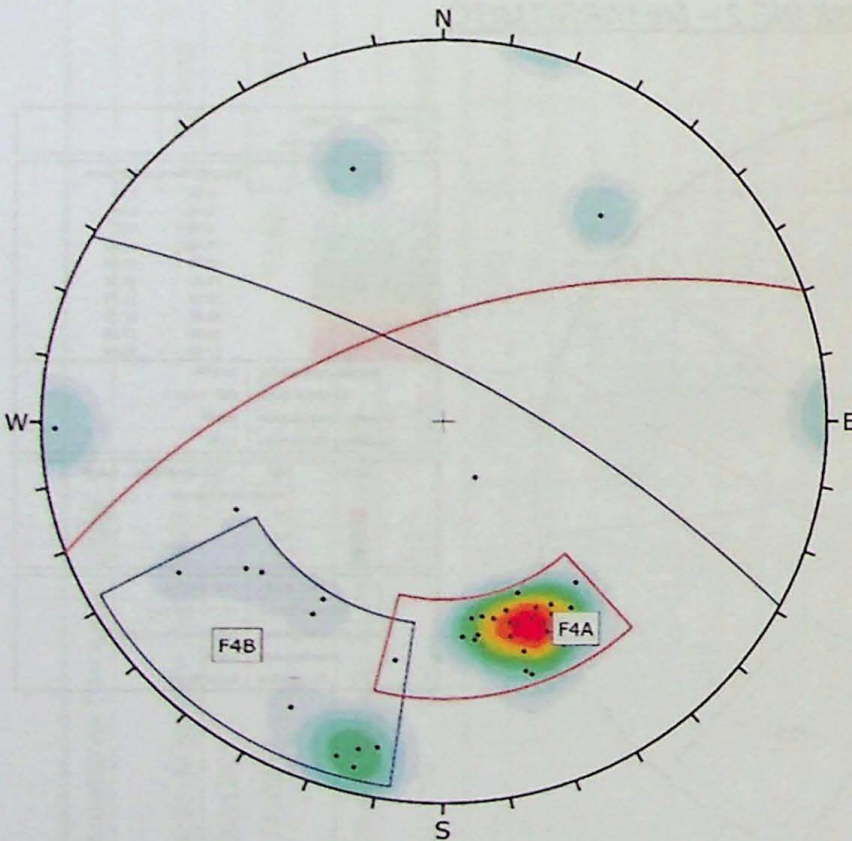
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	70	341	F3A
2w	14	31	F3B
3w	64	195	F3C
4w	72	75	F3D

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	52 (52 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

### SCANLINE 4 – METARRITMITO CARBONÁTICO



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.40
	2.40 - 4.80
	4.80 - 7.20
	7.20 - 9.60
	9.60 - 12.00
	12.00 - 14.40
	14.40 - 16.80
	16.80 - 19.20
	19.20 - 21.60
	21.60 - 24.00

Maximum Density	23.75%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

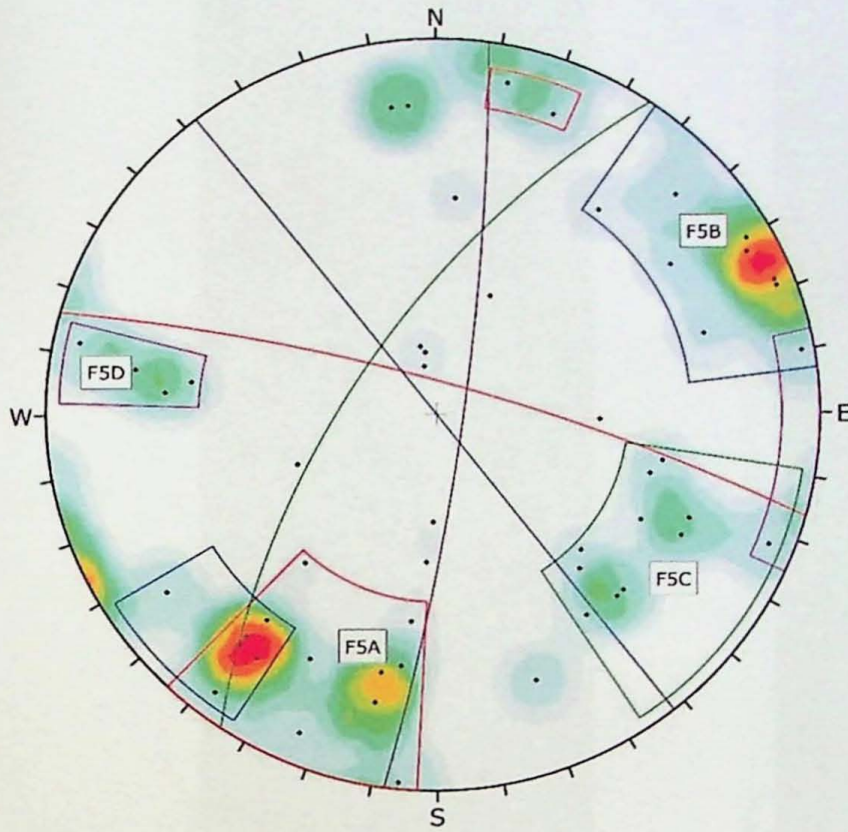
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
2w	75	29	F4B
3w	60	340	F4A

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	40 (40 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## SCANLINE 5 – BRECHA DOLOMÍTICA



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.00
	1.00 - 2.00
	2.00 - 3.00
	3.00 - 4.00
	4.00 - 5.00
	5.00 - 6.00
	6.00 - 7.00
	7.00 - 8.00
	8.00 - 9.00
	9.00 - 10.00

Maximum Density	9.37%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	80	16	F5A
2w	90	52	F5B
3w	65	304	F5C
4w	82	98	F5D

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	53 (53 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

**ANEXO 5 – IMAGENS DOS TALUDES AMOSTRADOS**

**METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO**



**METARRITMITO**

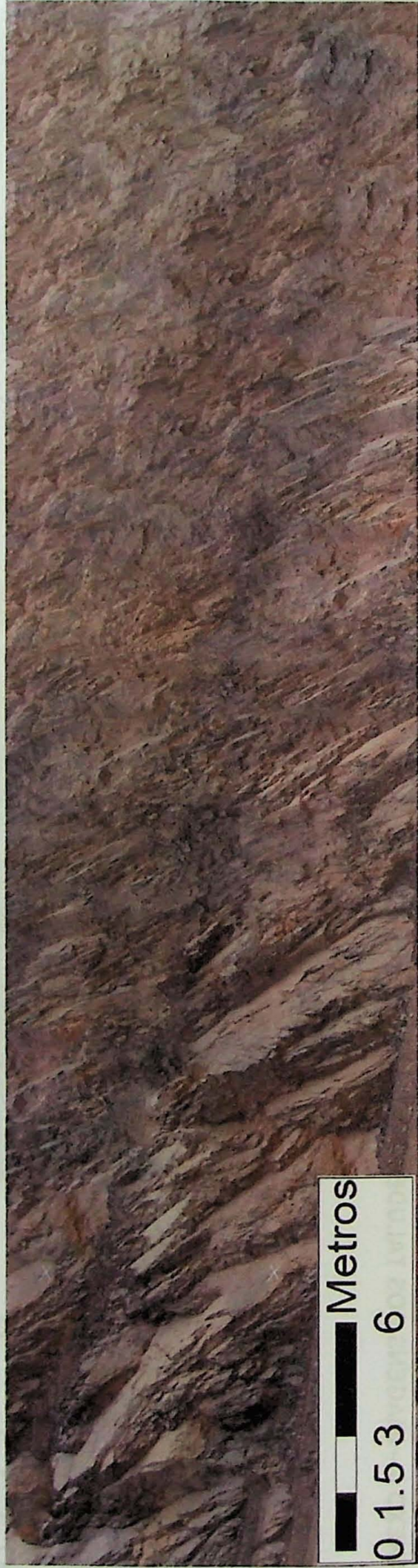


**METARRITMITO CARBONÁTICO 1**



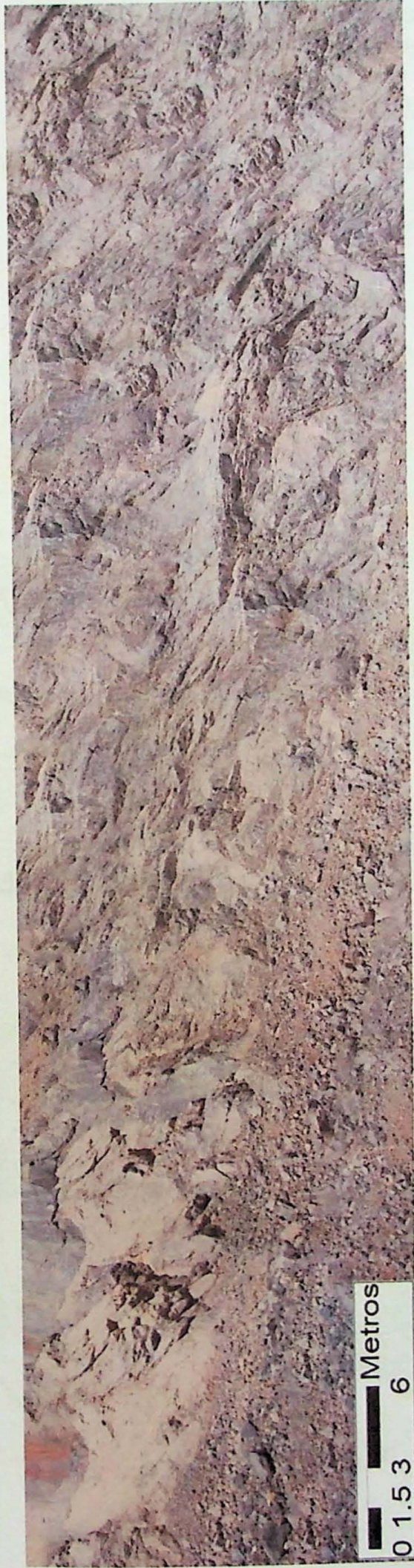
0 1.5 3 6  
Metros

**METARRITMITO CARBONÁTICO 2**



0 1.5 3 6  
Metros

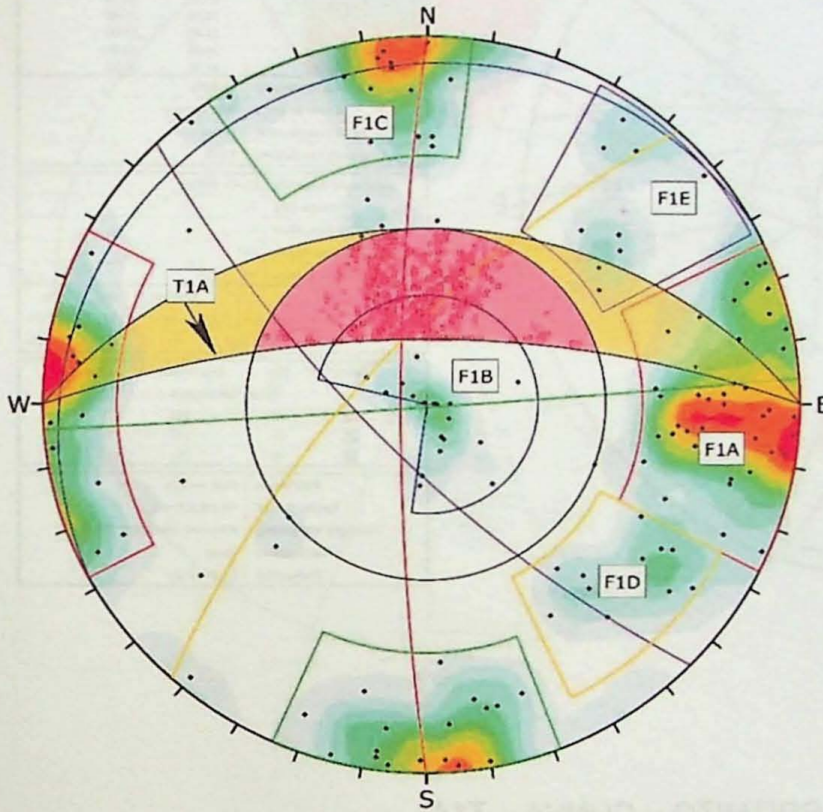
**BRECHA DOLOMÍTICA**



ANEXO 6 – ESTEREOGRAMAS COM AS ANÁLISES DE ESTABILIDADE ONDE FORAM IDENTIFICADAS POTENCIAIS RUPTURAS

CAVA ATUAL

METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO – CUNHA – T1A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
•	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
0.00	- 0.80
0.80	- 1.60
1.60	- 2.40
2.40	- 3.20
3.20	- 4.00
4.00	- 4.80
4.80	- 5.60
5.60	- 6.40
6.40	- 7.20
7.20	- 8.00

Maximum Density	7.94%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	0
Friction Angle	39°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	906	9728	9.31%

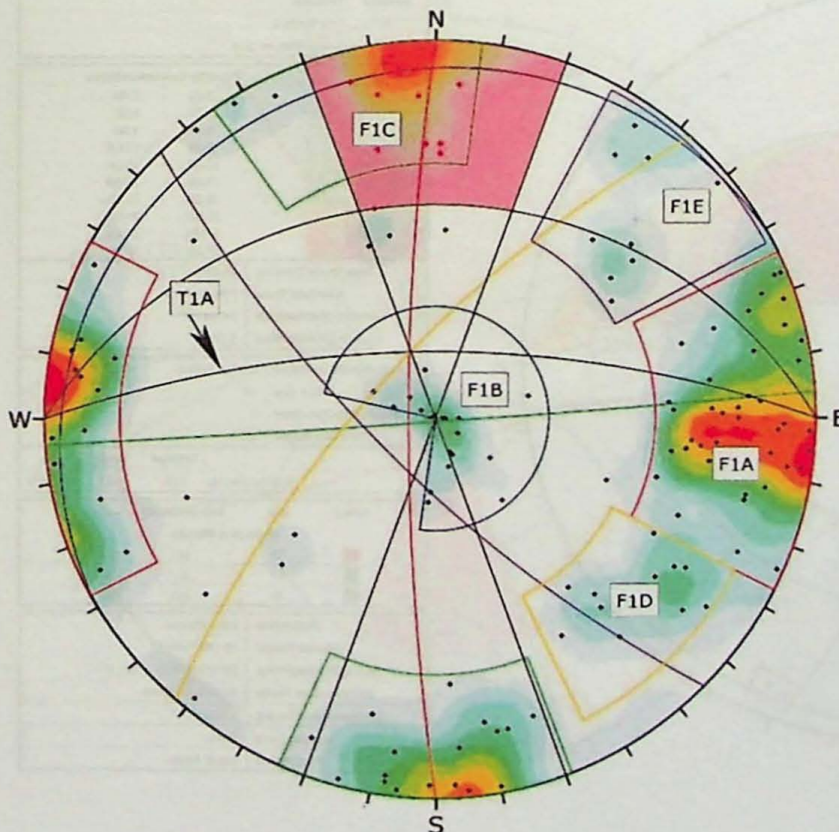
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	82	270	F1A
2m	5	331	F1B
3m	89	176	F1C
4m	71	312	F1D
5m	73	225	F1E

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	140 (140 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	9728
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO – TOMBAMENTO – T1A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
•	Critical Vectors

Color	Density Concentrations
0.00	- 0.80
0.80	- 1.60
1.60	- 2.40
2.40	- 3.20
3.20	- 4.00
4.00	- 4.80
4.80	- 5.60
5.60	- 6.40
6.40	- 7.20
7.20	- 8.00

Maximum Density	7.94%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Flexural Topping
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	0
Friction Angle	39°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Flexural Topping (All)	15	140	10.71%
Flexural Topping (Set 3)	14	33	42.42%

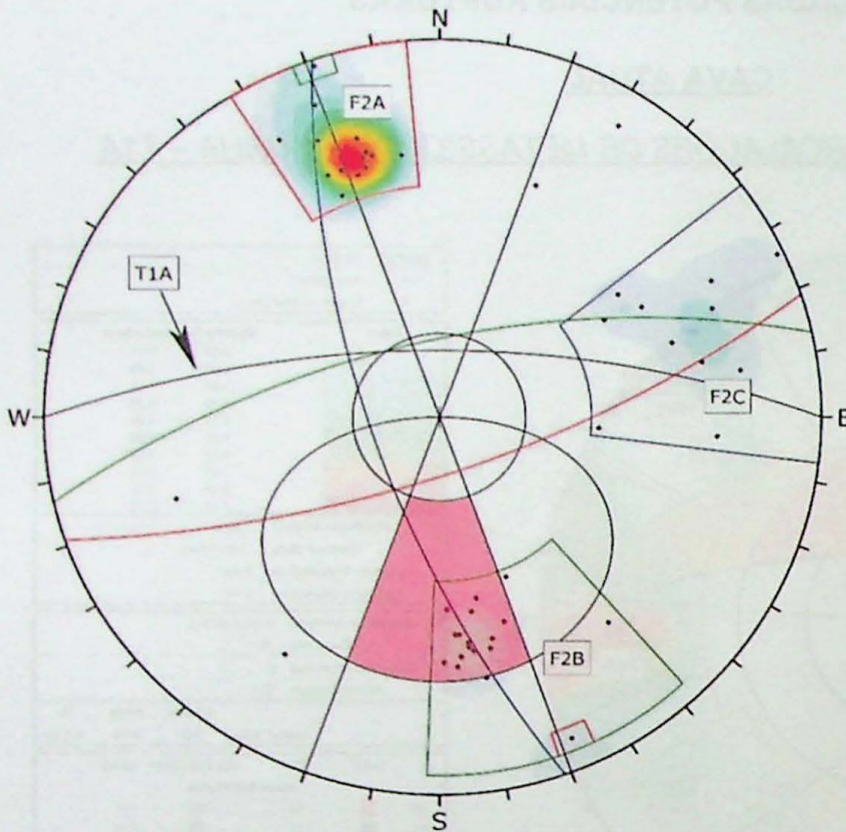
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	82	270	F1A
2m	5	331	F1B
3m	89	176	F1C
4m	71	312	F1D
5m	73	225	F1E

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	140 (140 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

### METARRITMITO – PLANAR – T1A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.00
	3.00 - 6.00
	6.00 - 9.00
	9.00 - 12.00
	12.00 - 15.00
	15.00 - 18.00
	18.00 - 21.00
	21.00 - 24.00
	24.00 - 27.00
	27.00 - 30.00

Maximum Density	29.09%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	0
Friction Angle	25°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	14	48	29.17%
Planar Sliding (Set 2)	14	19	73.68%

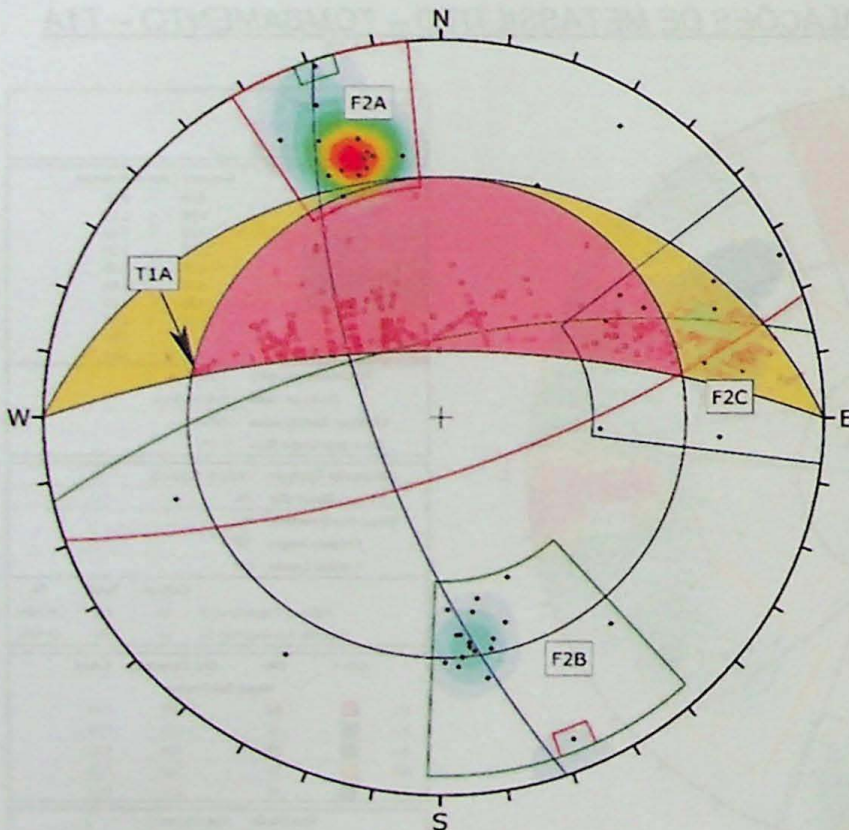
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	73	161	F2A
2w	67	347	F2B
3w	70	251	F2C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	48 (48 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

### METARRITMITO – CUNHA – T1A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
■	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.00
	3.00 - 6.00
	6.00 - 9.00
	9.00 - 12.00
	12.00 - 15.00
	15.00 - 18.00
	18.00 - 21.00
	21.00 - 24.00
	24.00 - 27.00
	27.00 - 30.00

Maximum Density	29.09%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	0
Friction Angle	25°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	502	1127	44.54%

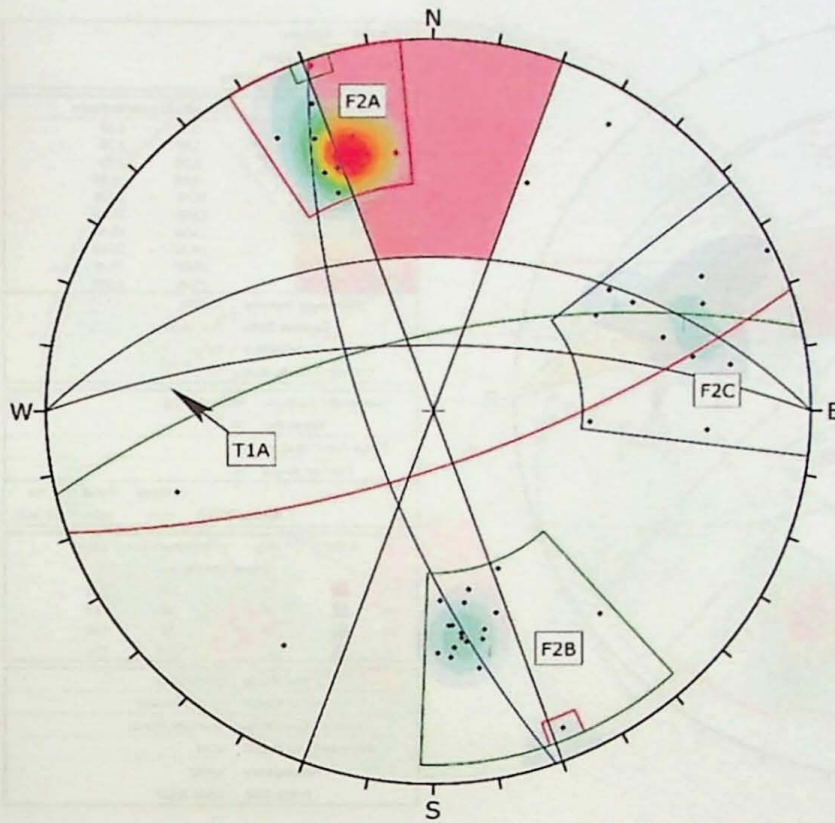
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	73	161	F2A
2w	67	347	F2B
3w	70	251	F2C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	48 (48 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	1127
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## METARRITMITO – TOMBAMENTO – T1A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
•	Critical Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.00
	3.00 - 6.00
	6.00 - 9.00
	9.00 - 12.00
	12.00 - 15.00
	15.00 - 18.00
	18.00 - 21.00
	21.00 - 24.00
	24.00 - 27.00
	27.00 - 30.00

Maximum Density	29.09%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

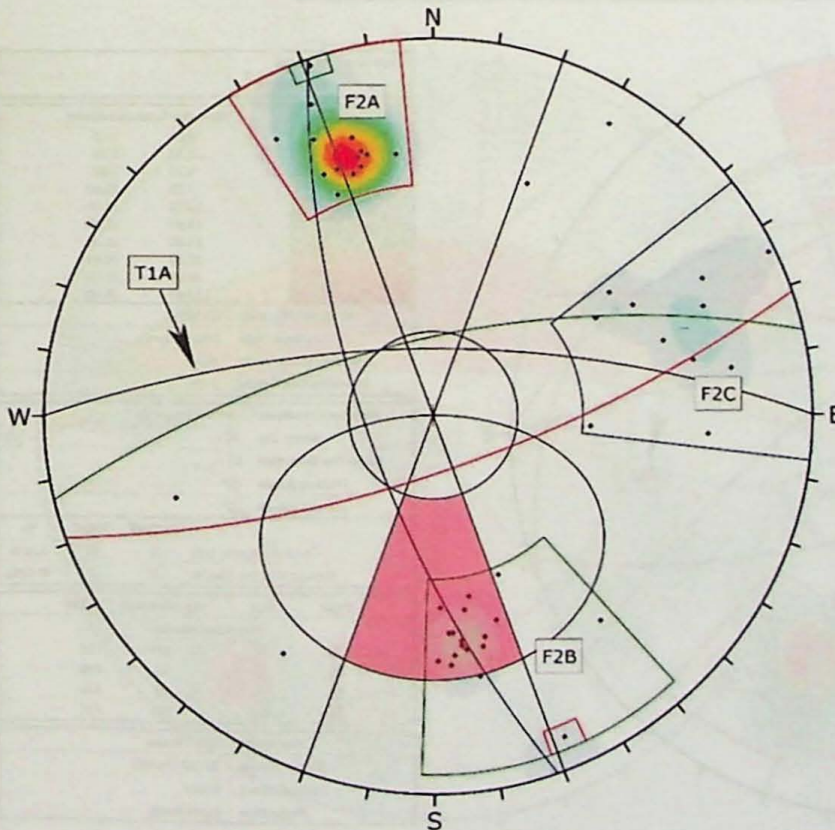
Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	0
Friction Angle	25°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	9	48	18.75%
Flexural Toppling (Set 1)	8	14	57.14%
Flexural Toppling (Set 2)	1	19	5.26%

Color	Dip	Dip Direction	Label
1w	73	161	F2A
2w	67	347	F2B
3w	70	251	F2C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	48 (48 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## METARRITMITO CARBONÁTICO – PLANAR – T1A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.00
	3.00 - 6.00
	6.00 - 9.00
	9.00 - 12.00
	12.00 - 15.00
	15.00 - 18.00
	18.00 - 21.00
	21.00 - 24.00
	24.00 - 27.00
	27.00 - 30.00

Maximum Density	29.09%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

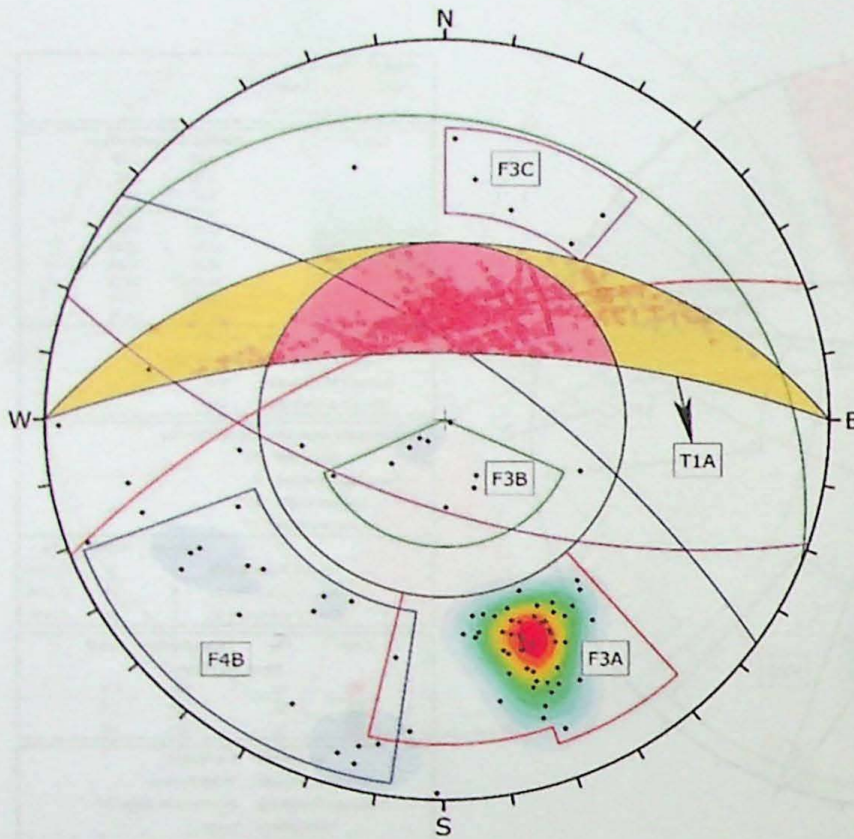
Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	0
Friction Angle	25°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	14	48	29.17%
Planar Sliding (Set 2)	14	19	73.68%

Color	Dip	Dip Direction	Label
1w	73	161	F2A
2w	67	347	F2B
3w	70	251	F2C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	48 (48 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

METARRITMITO CARBONÁTICO – CUNHA – T1A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
○	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.60
	2.60 - 5.20
	5.20 - 7.80
	7.80 - 10.40
	10.40 - 13.00
	13.00 - 15.60
	15.60 - 18.20
	18.20 - 20.80
	20.80 - 23.40
	23.40 - 26.00

Maximum Density	25.48%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	70		
Slope Dip Direction	0		
Friction Angle	40°		
		Critical	Total
		1571	4184
			37.55%

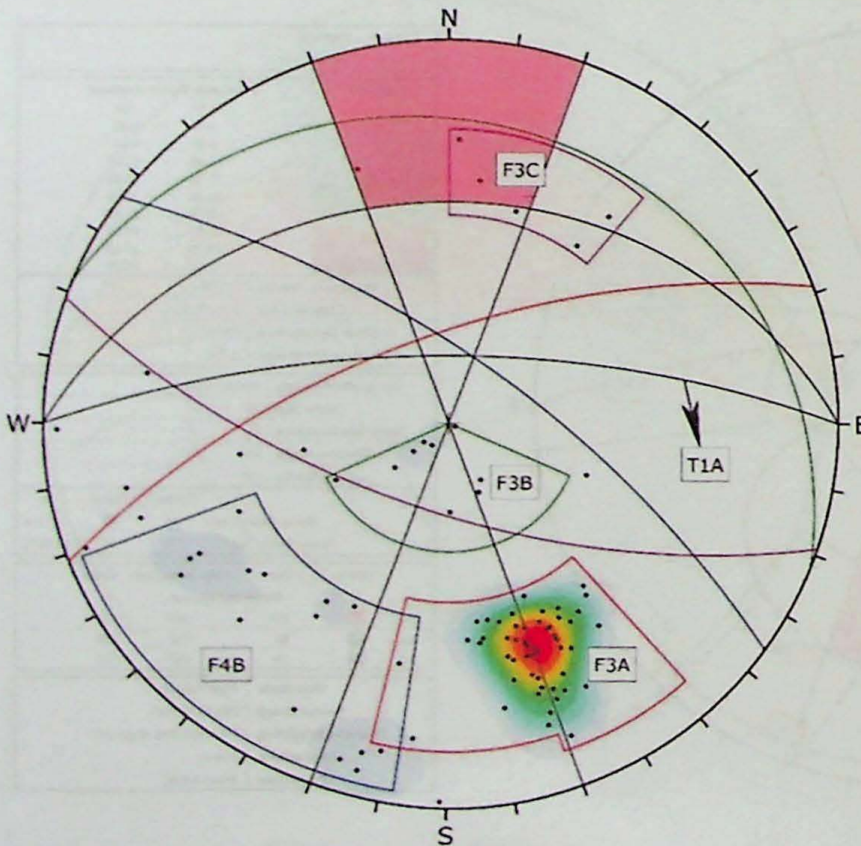
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	64	339	F3A
2m	70	36	F4B
3m	14	22	F3B
4m	64	199	F3C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	92 (92 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	4184
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

METARRITMITO CARBONÁTICO – CUNHA – T1A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.60
	2.60 - 5.20
	5.20 - 7.80
	7.80 - 10.40
	10.40 - 13.00
	13.00 - 15.60
	15.60 - 18.20
	18.20 - 20.80
	20.80 - 23.40
	23.40 - 26.00

Maximum Density	25.48%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis		Flexural Toppling	
Slope Dip	70		
Slope Dip Direction	0		
Friction Angle	40°		
Lateral Limits	20°		
		Critical	Total
		3	92
			3.26%
		2	5
			40.00%

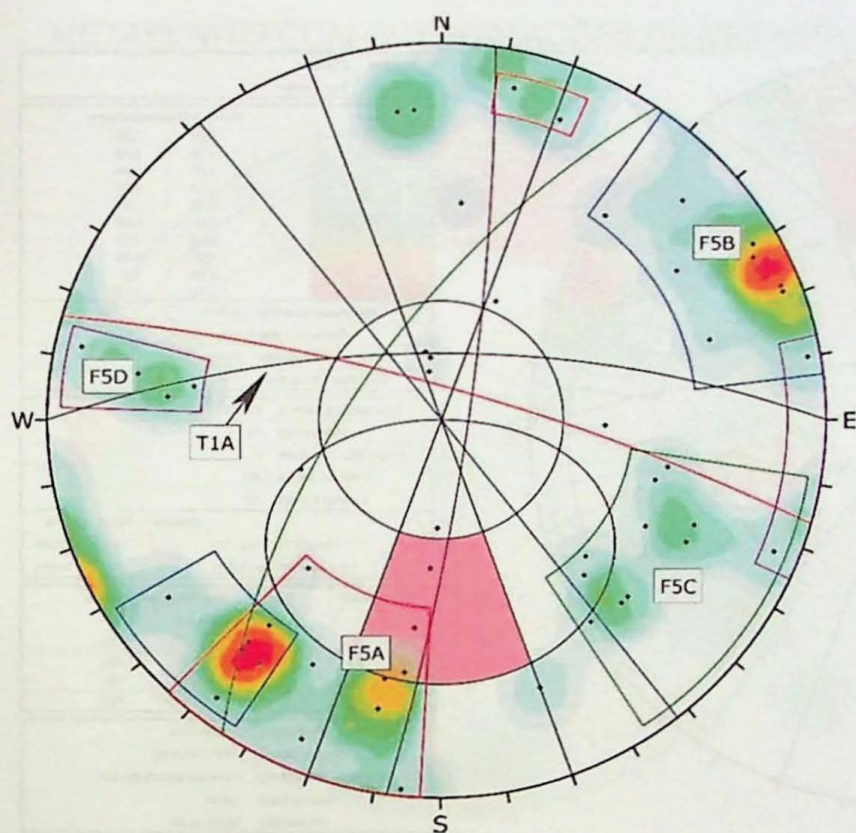
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	64	339	F3A
2m	70	36	F4B
3m	14	22	F3B
4m	64	199	F3C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	92 (92 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

### BRECHA METADOLOMÍTICA – PLANAR – T1A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
0.00	- 1.00
1.00	- 2.00
2.00	- 3.00
3.00	- 4.00
4.00	- 5.00
5.00	- 6.00
6.00	- 7.00
7.00	- 8.00
8.00	- 9.00
9.00	- 10.00

Maximum Density	9.37%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	0
Friction Angle	35°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	3	53	5.66%
Planar Sliding (Set 1)	2	11	18.18%

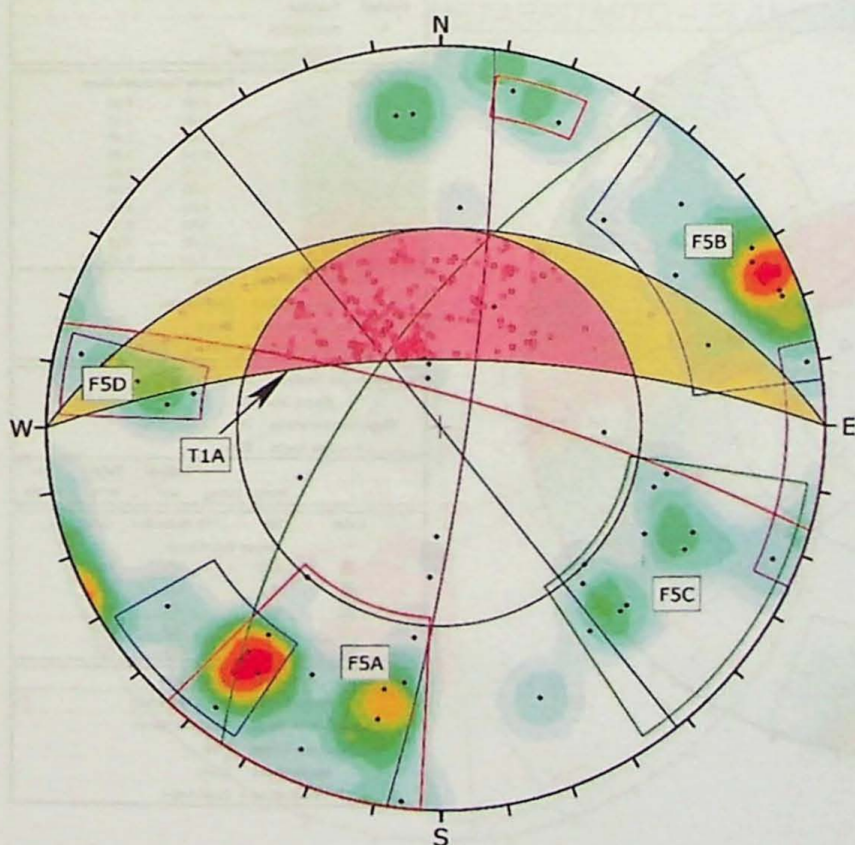
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	80	16	F5A
2w	90	52	F5B
3w	65	304	F5C
4w	82	98	F5D

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	53 (53 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

### BRECHA METADOLOMÍTICA – CUNHA – T1A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
○	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
0.00	- 1.00
1.00	- 2.00
2.00	- 3.00
3.00	- 4.00
4.00	- 5.00
5.00	- 6.00
6.00	- 7.00
7.00	- 8.00
8.00	- 9.00
9.00	- 10.00

Maximum Density	9.37%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	0
Friction Angle	35°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	386	1377	28.03%

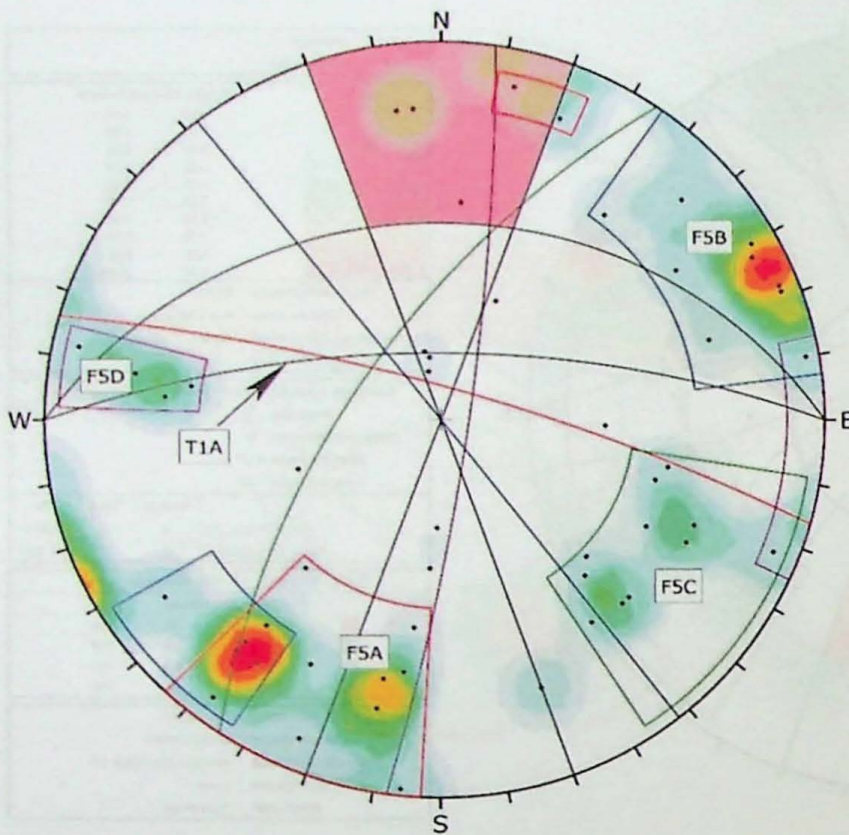
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	80	16	F5A
2w	90	52	F5B
3w	65	304	F5C
4w	82	98	F5D

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	53 (53 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	1377
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## BRECHA METADOLOMÍTICA – TOMBAMENTO – T1A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
0.00 - 1.00	
1.00 - 2.00	
2.00 - 3.00	
3.00 - 4.00	
4.00 - 5.00	
5.00 - 6.00	
6.00 - 7.00	
7.00 - 8.00	
8.00 - 9.00	
9.00 - 10.00	

Maximum Density 9.37%

Contour Data Pole Vectors

Contour Distribution Fisher

Counting Circle Size 1.0%

Kinematic Analysis		Flexural Toppling	
Slope Dip	70		
Slope Dip Direction	0		
Friction Angle	35°		
Lateral Limits	20°		

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	4	53	7.55%
Flexural Toppling (Set 1)	1	11	9.09%

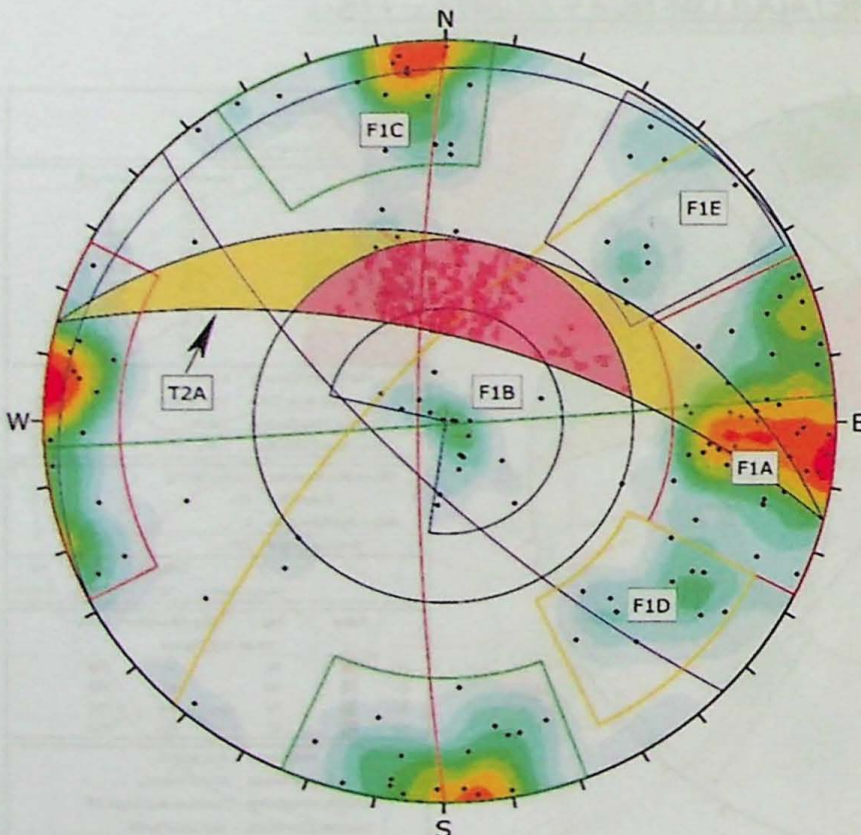
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	80	16	FSA
2w	90	52	FSB
3w	65	304	FSC
4w	82	98	FSD

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	53 (53 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO – CUNHA – T2A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
○	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
0.00 - 0.80	
0.80 - 1.60	
1.60 - 2.40	
2.40 - 3.20	
3.20 - 4.00	
4.00 - 4.80	
4.80 - 5.60	
5.60 - 6.40	
6.40 - 7.20	
7.20 - 8.00	

Maximum Density 7.94%

Contour Data Pole Vectors

Contour Distribution Fisher

Counting Circle Size 1.0%

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	65		
Slope Dip Direction	15		
Friction Angle	39°		

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	657	9728	6.75%

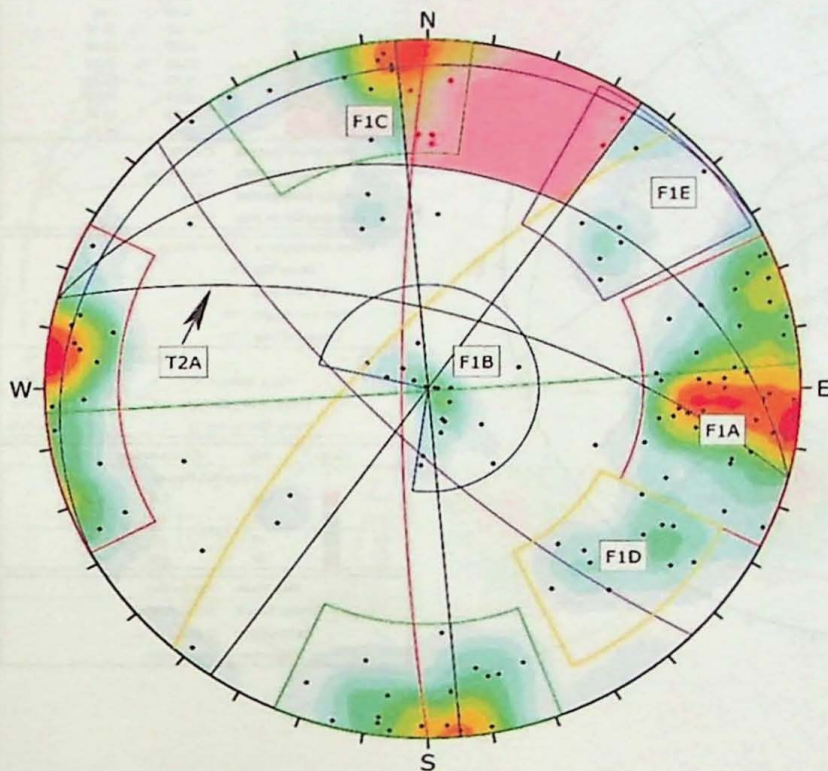
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	82	270	F1A
2m	5	331	F1B
3m	89	176	F1C
4m	71	312	F1D
5m	73	225	F1E

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	140 (140 Entries)
Intersection Mode	Grd Data Planes
Intersections Count	9728
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO – TOMBAMENTO – T2A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
•	Critical Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.80
	0.80 - 1.60
	1.60 - 2.40
	2.40 - 3.20
	3.20 - 4.00
	4.00 - 4.80
	4.80 - 5.60
	5.60 - 6.40
	6.40 - 7.20
	7.20 - 8.00

Maximum Density	7.94%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	65
Slope Dip Direction	15
Friction Angle	39°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	8	140	5.71%
Flexural Toppling (Set 3)	6	33	18.18%
Flexural Toppling (Set 5)	2	9	22.22%

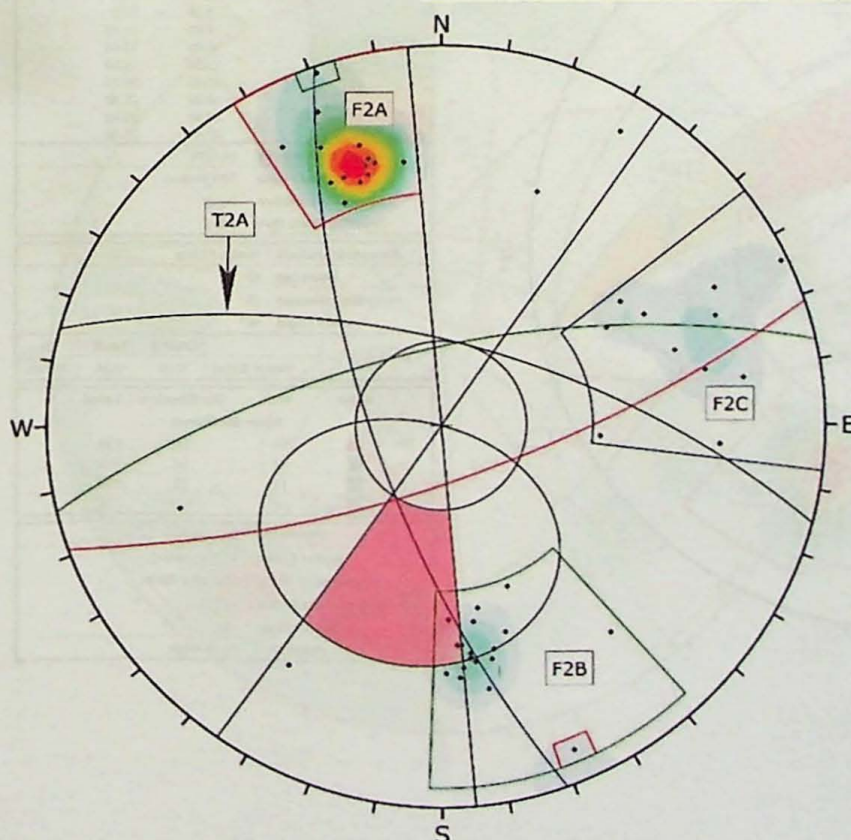
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	82	270	F1A
2m	5	331	F1B
3m	89	176	F1C
4m	71	312	F1D
5m	73	225	F1E

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	140 (140 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## METARRITMITO – PLANAR – T2A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.00
	3.00 - 6.00
	6.00 - 9.00
	9.00 - 12.00
	12.00 - 15.00
	15.00 - 18.00
	18.00 - 21.00
	21.00 - 24.00
	24.00 - 27.00
	27.00 - 30.00

Maximum Density	29.09%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	65
Slope Dip Direction	15
Friction Angle	25°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	3	48	6.25%
Planar Sliding (Set 2)	3	19	15.79%

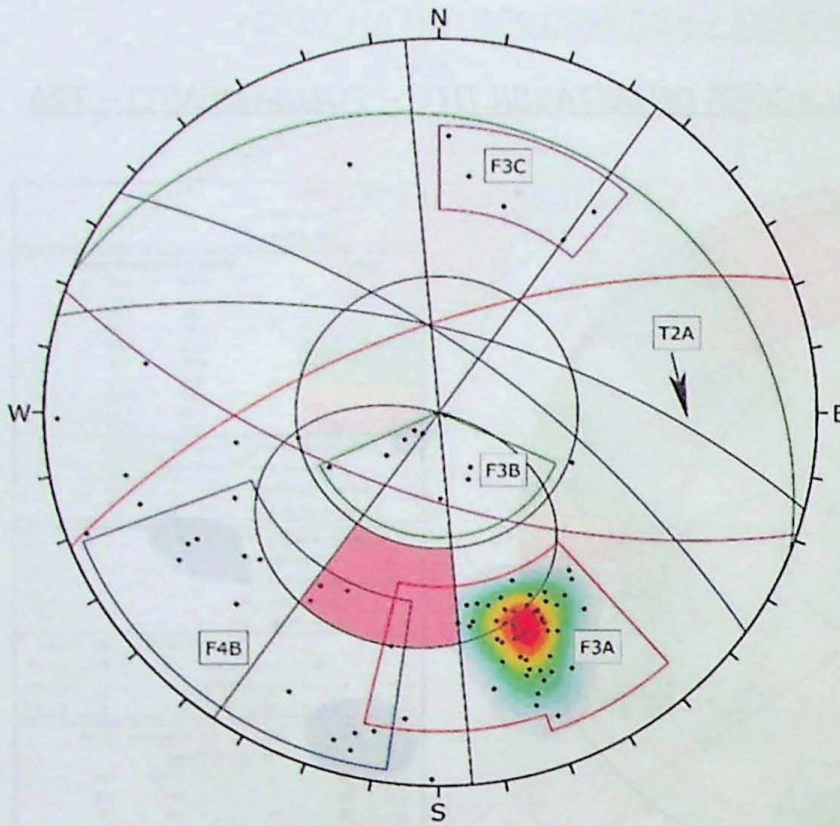
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	73	161	F2A
2w	67	347	F2B
3w	70	251	F2C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	48 (48 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## METARRITMITO CARBONÁTICO – PLANAR – T2A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.60
	2.60 - 5.20
	5.20 - 7.80
	7.80 - 10.40
	10.40 - 13.00
	13.00 - 15.60
	15.60 - 18.20
	18.20 - 20.80
	20.80 - 23.40
	23.40 - 26.00

Maximum Density	25.48%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis				
Slope Dip	65	Planar Sliding		
Slope Dip Direction	15			
Friction Angle	40°			
Lateral Limits	20°			

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	4	92	4.35%
Planar Sliding (Set 1)	1	52	1.92%
Planar Sliding (Set 2)	3	16	18.75%

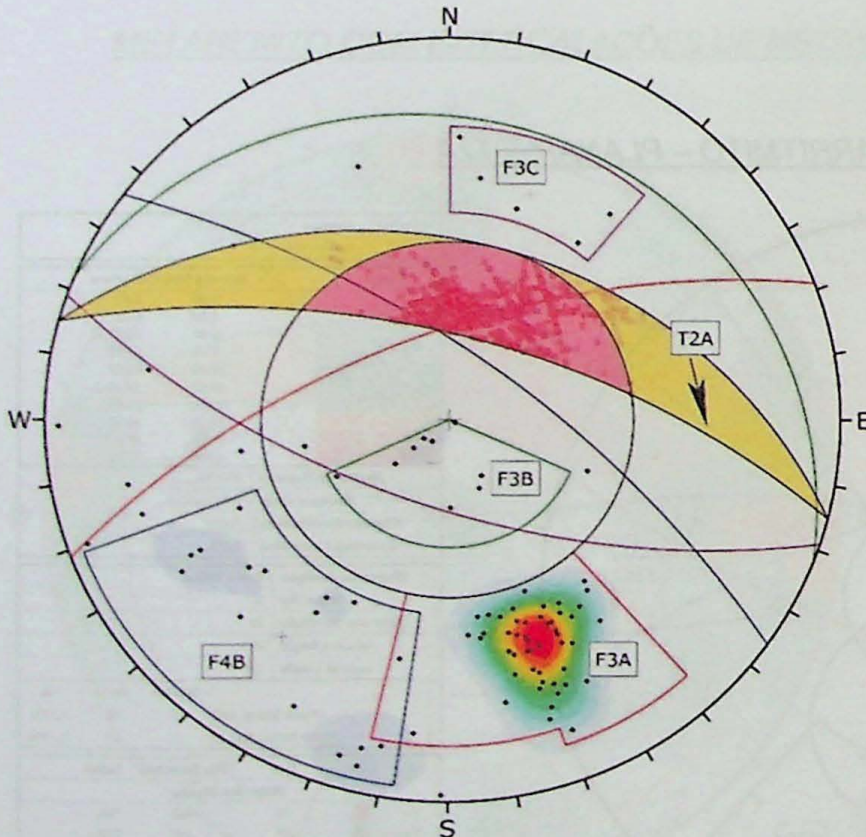
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	64	339	F3A
2m	70	36	F4B
3m	14	22	F3B
4m	64	199	F3C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	92 (92 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## METARRITMITO CARBONÁTICO – CUNHA – T2A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
•	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.60
	2.60 - 5.20
	5.20 - 7.80
	7.80 - 10.40
	10.40 - 13.00
	13.00 - 15.60
	15.60 - 18.20
	18.20 - 20.80
	20.80 - 23.40
	23.40 - 26.00

Maximum Density	25.48%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis				
Slope Dip	65	Wedge Sliding		
Slope Dip Direction	15			
Friction Angle	40°			

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	1119	4184	26.74%

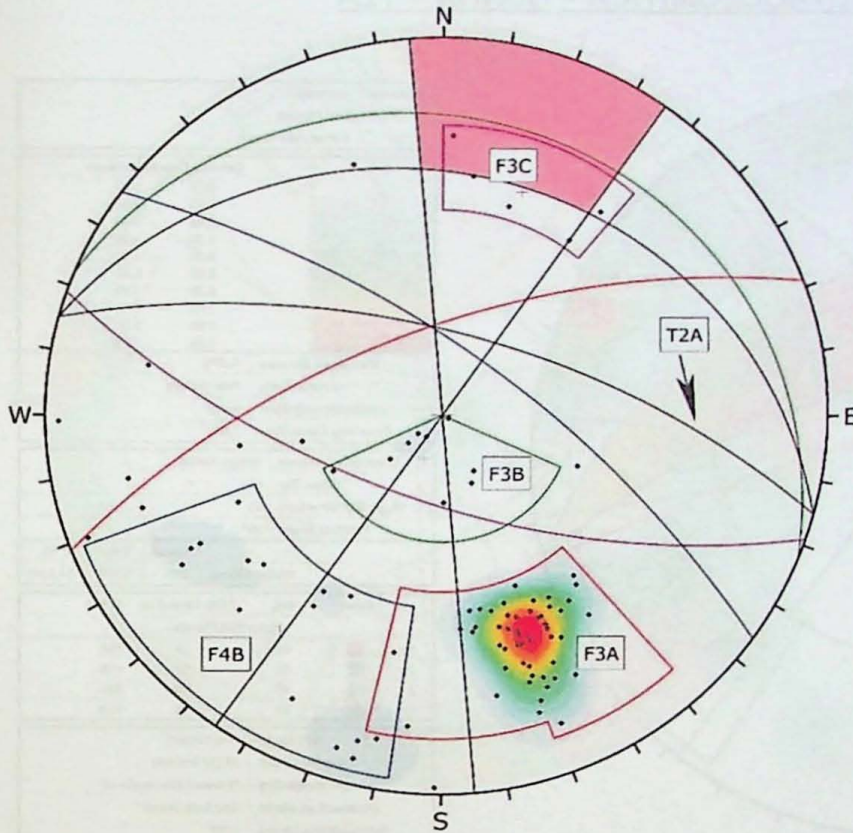
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	64	339	F3A
2m	70	36	F4B
3m	14	22	F3B
4m	64	199	F3C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	92 (92 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	4184
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## METARRITMITO CARBONÁTICO – TOMBAMENTO – T2A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
0.00	2.60
2.60	5.20
5.20	7.80
7.80	10.40
10.40	13.00
13.00	15.60
15.60	18.20
18.20	20.80
20.80	23.40
23.40	26.00

Maximum Density	25.48%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis		Flexural Topping	
Slope Dip	65		
Slope Dip Direction	15		
Friction Angle	40°		
Lateral Limits	20°		

	Critical	Total	%
Flexural Topping (All)	1	92	1.09%
Flexural Topping (Set 4)	1	5	20.00%

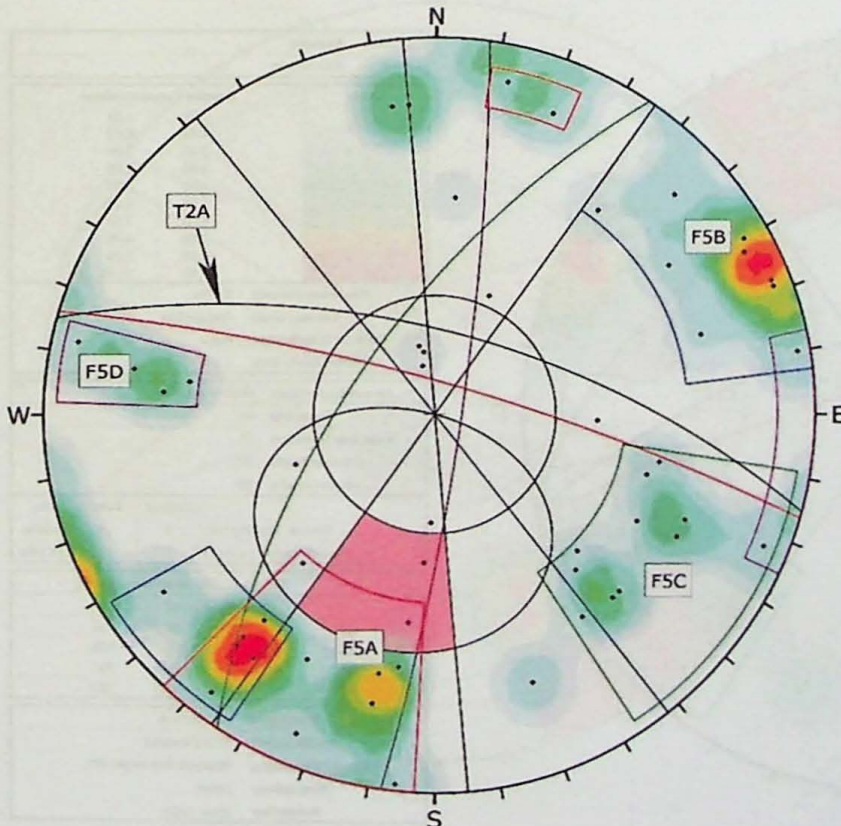
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
1m	64	339	F3A
2m	70	36	F4B
3m	14	22	F3B
4m	64	199	F3C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	92 (92 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## BRECHA METADOLOMÍTICA – PLANAR – T2A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
0.00	1.00
1.00	2.00
2.00	3.00
3.00	4.00
4.00	5.00
5.00	6.00
6.00	7.00
7.00	8.00
8.00	9.00
9.00	10.00

Maximum Density	9.37%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis		Planar Sliding	
Slope Dip	65		
Slope Dip Direction	15		
Friction Angle	35°		
Lateral Limits	20°		

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	2	53	3.77%
Planar Sliding (Set 1)	1	11	9.09%

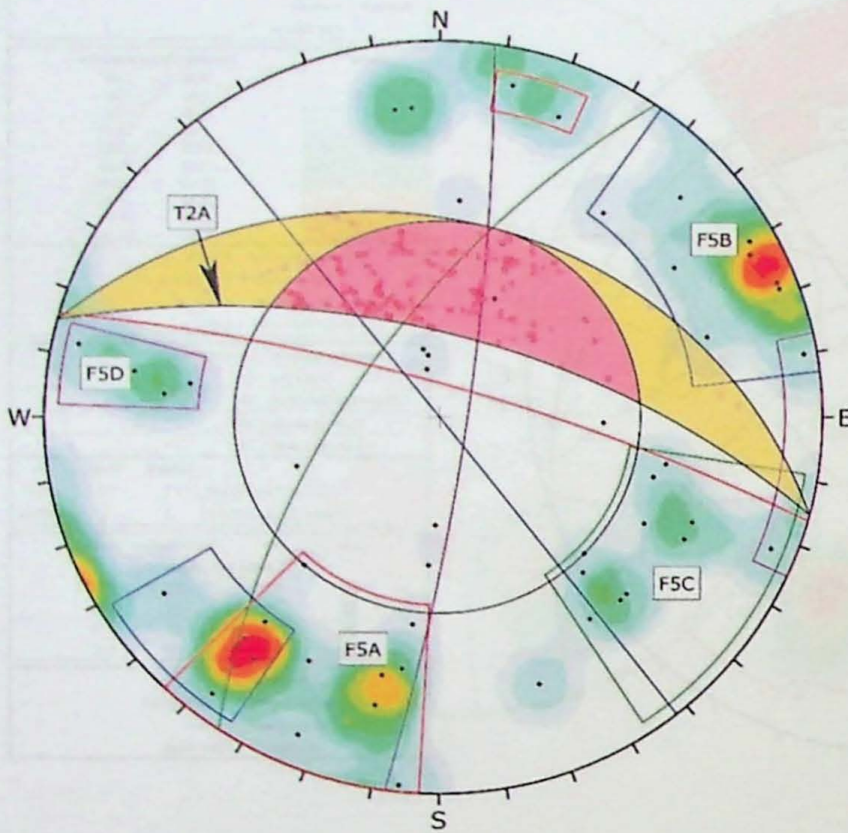
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
1w	80	16	F5A
2w	90	52	F5B
3w	65	304	F5C
4w	82	98	F5D

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	53 (53 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## BRECHA METADOLOMÍTICA – CUNHA – T2A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
○	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.00
	1.00 - 2.00
	2.00 - 3.00
	3.00 - 4.00
	4.00 - 5.00
	5.00 - 6.00
	6.00 - 7.00
	7.00 - 8.00
	8.00 - 9.00
	9.00 - 10.00

Maximum Density	9.37%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	65
Slope Dip Direction	15
Friction Angle	35°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	204	1377	14.81%

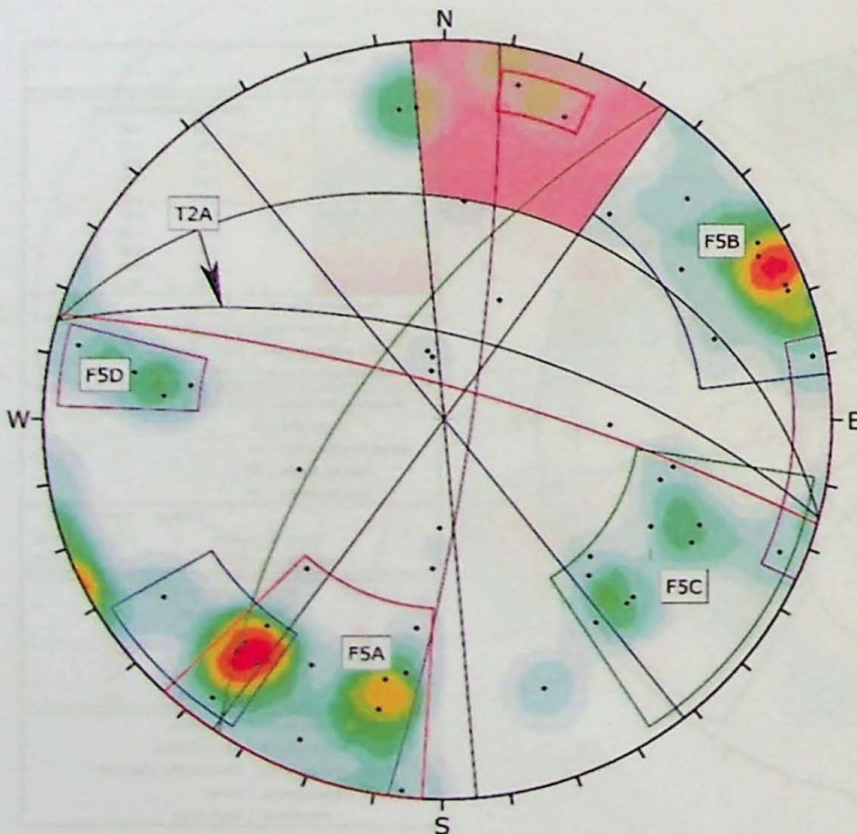
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	80	16	FSA
2w	90	52	FSB
3w	65	304	FSC
4w	82	98	FSD

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	53 (53 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	1377
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## BRECHA METADOLOMÍTICA – TOMBAMENTO – T2A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.00
	1.00 - 2.00
	2.00 - 3.00
	3.00 - 4.00
	4.00 - 5.00
	5.00 - 6.00
	6.00 - 7.00
	7.00 - 8.00
	8.00 - 9.00
	9.00 - 10.00

Maximum Density	9.37%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	65
Slope Dip Direction	15
Friction Angle	35°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	3	53	5.66%
Flexural Toppling (Set 1)	2	11	18.18%

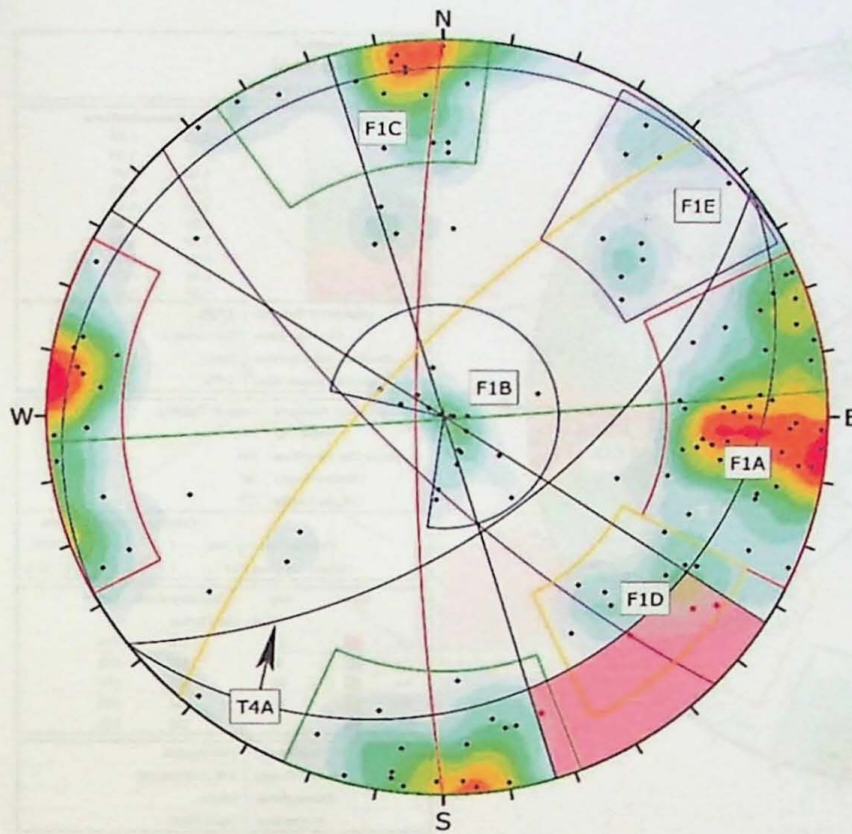
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	80	16	FSA
2w	90	52	FSB
3w	65	304	FSC
4w	82	98	FSD

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	53 (53 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO – TOMBAMENTO – T4A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
•	Critical Vectors

Color	Density Concentrations
Blue	0.00 - 0.80
Light Blue	0.80 - 1.60
Green	1.60 - 2.40
Yellow-Green	2.40 - 3.20
Yellow	3.20 - 4.00
Orange	4.00 - 4.80
Red-Orange	4.80 - 5.60
Red	5.60 - 6.40
Dark Red	6.40 - 7.20
Black	7.20 - 8.00

Maximum Density 7.94%

Contour Data Pole Vectors

Contour Distribution Fisher

Counting Circle Size 1.0%

Kinematic Analysis		Flexural Toppling	
Slope Dip	56		
Slope Dip Direction	143		
Friction Angle	39°		
Lateral Limits	20°		

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	4	140	2.86%
Flexural Toppling (Set 3)	1	33	3.03%
Flexural Toppling (Set 4)	3	12	25.00%

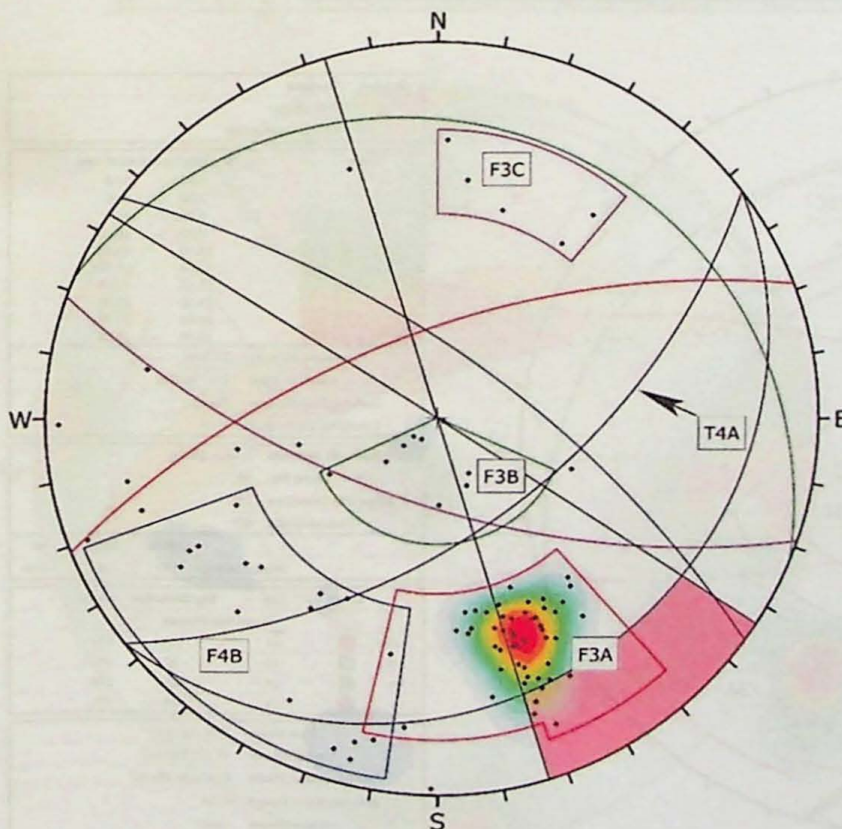
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Red	82	270	F1A
Blue	5	331	F1B
Green	89	176	F1C
Yellow	71	312	F1D
Purple	73	225	F1E

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	140 (140 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## METARRITMITO CARBONÁTICO – TOMBAMENTO – T4A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
Blue	0.00 - 2.60
Light Blue	2.60 - 5.20
Green	5.20 - 7.80
Yellow-Green	7.80 - 10.40
Yellow	10.40 - 13.00
Orange	13.00 - 15.60
Red-Orange	15.60 - 18.20
Red	18.20 - 20.80
Dark Red	20.80 - 23.40
Black	23.40 - 26.00

Maximum Density 25.48%

Contour Data Pole Vectors

Contour Distribution Fisher

Counting Circle Size 1.0%

Kinematic Analysis		Flexural Toppling	
Slope Dip	56		
Slope Dip Direction	143		
Friction Angle	40°		
Lateral Limits	20°		

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	5	92	5.43%
Flexural Toppling (Set 1)	5	52	9.62%

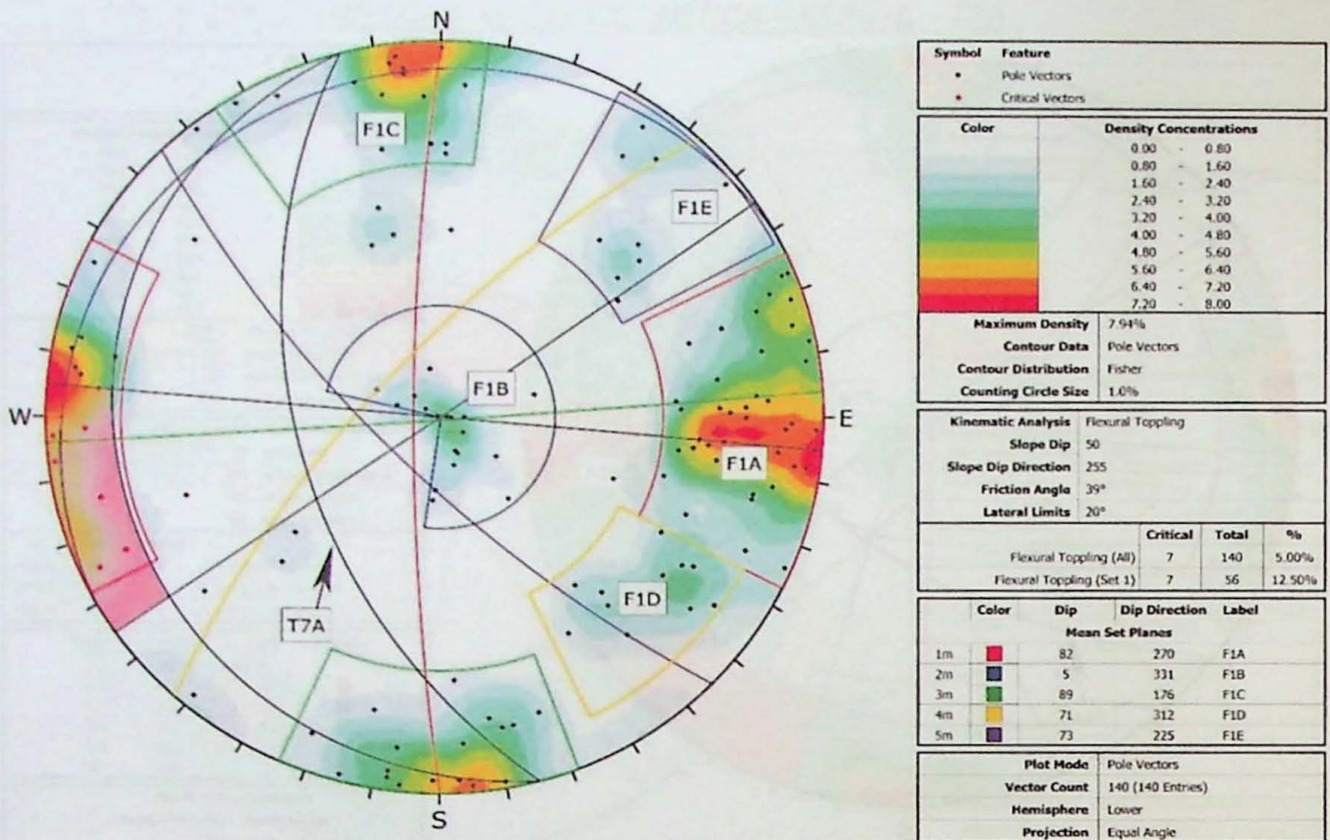
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Red	64	339	F3A
Blue	70	36	F4B
Green	14	22	F3B
Purple	64	199	F3C

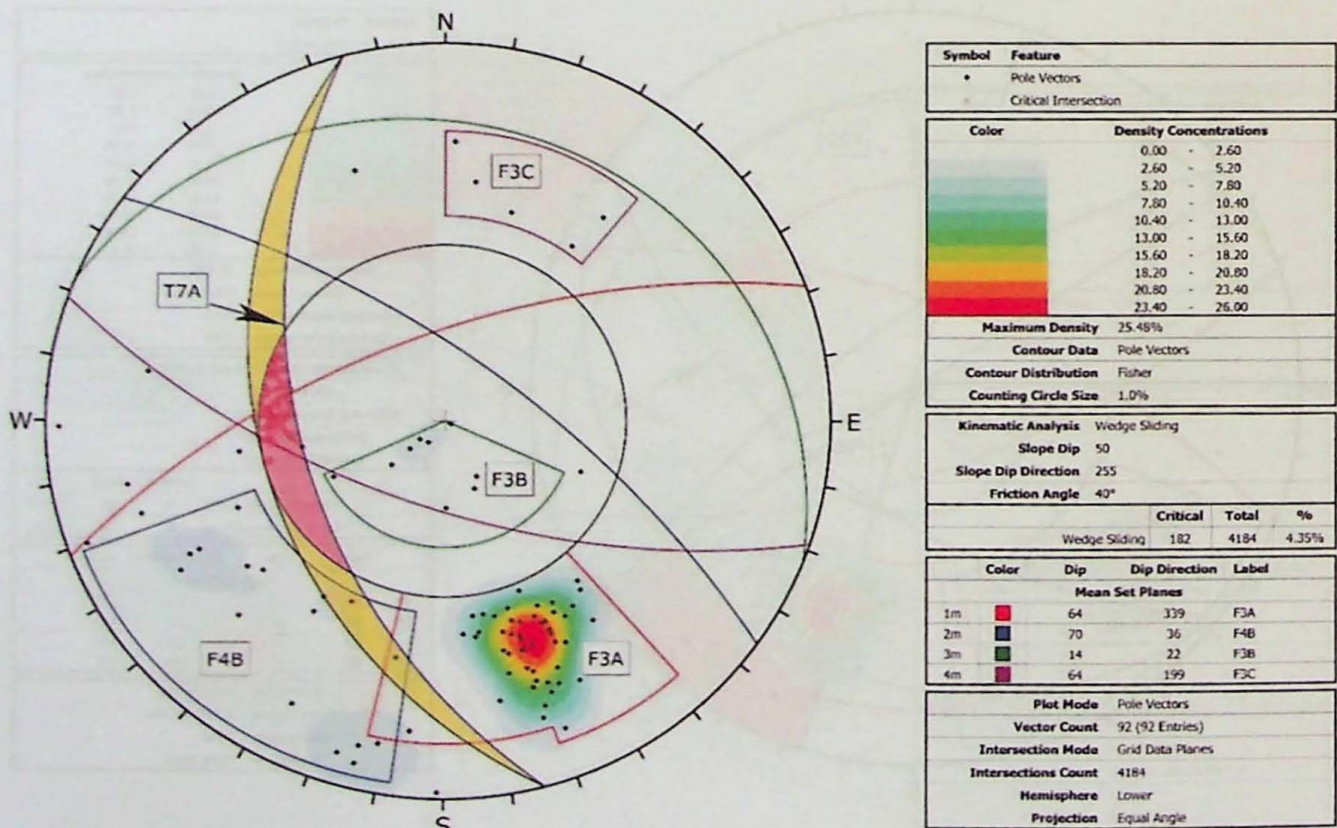
  

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	92 (92 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

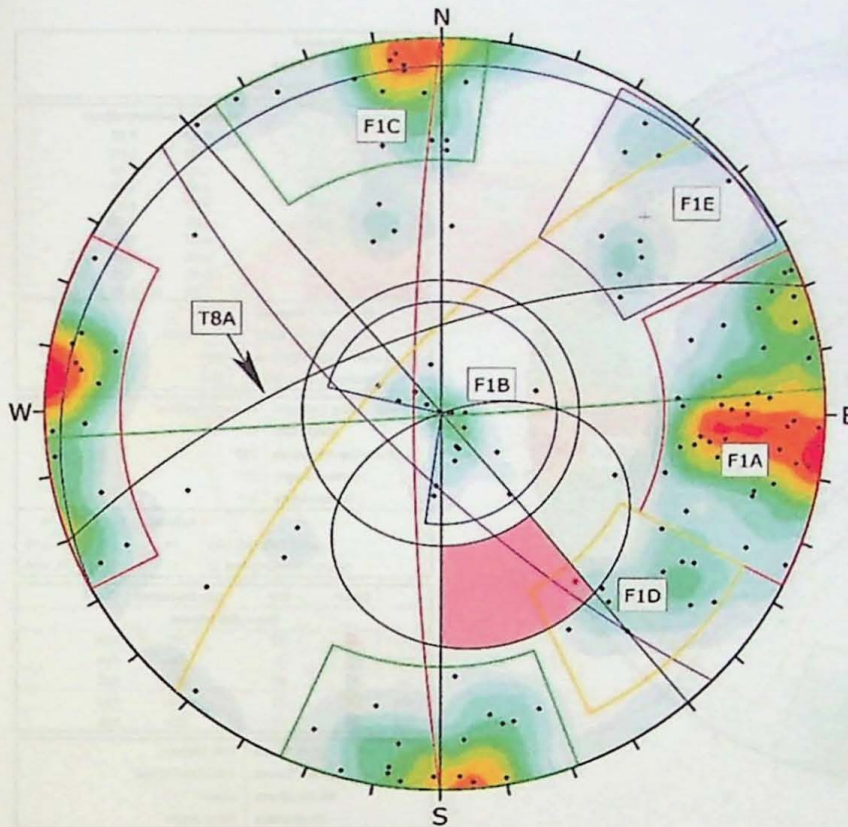
## METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO – TOMBAMENTO – T7A



## METARRITMICO CARBONÁTICO – CUNHA – T7A



## METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO – PLANAR – T8A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
•	Critical Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.80
	0.80 - 1.60
	1.60 - 2.40
	2.40 - 3.20
	3.20 - 4.00
	4.00 - 4.80
	4.80 - 5.60
	5.60 - 6.40
	6.40 - 7.20
	7.20 - 8.00

Maximum Density	7.94%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis		Planar Sliding	
Slope Dip	65		
Slope Dip Direction	340		
Friction Angle	39°		
Lateral Limits	20°		

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	1	140	0.71%
Planar Sliding (Set 4)	1	12	8.33%

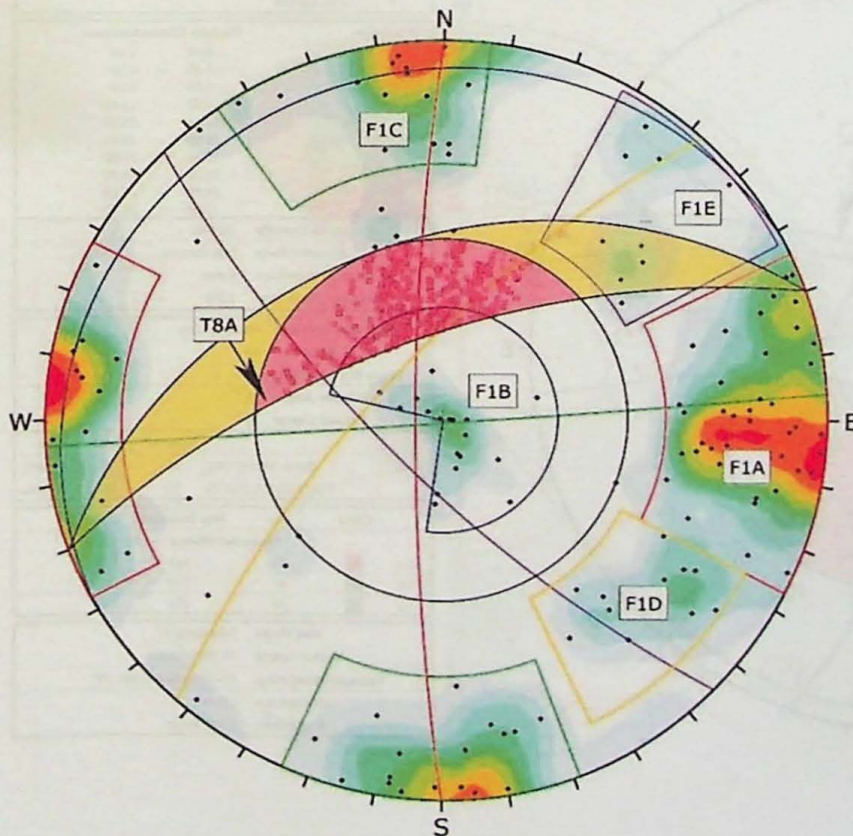
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	82	270	F1A
2m	5	331	F1B
3m	89	176	F1C
4m	71	312	F1D
5m	73	225	F1E

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	140 (140 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO – CUNHA – T8A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
•	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.80
	0.80 - 1.60
	1.60 - 2.40
	2.40 - 3.20
	3.20 - 4.00
	4.00 - 4.80
	4.80 - 5.60
	5.60 - 6.40
	6.40 - 7.20
	7.20 - 8.00

Maximum Density	7.94%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	65		
Slope Dip Direction	340		
Friction Angle	39°		

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	775	9728	7.97%

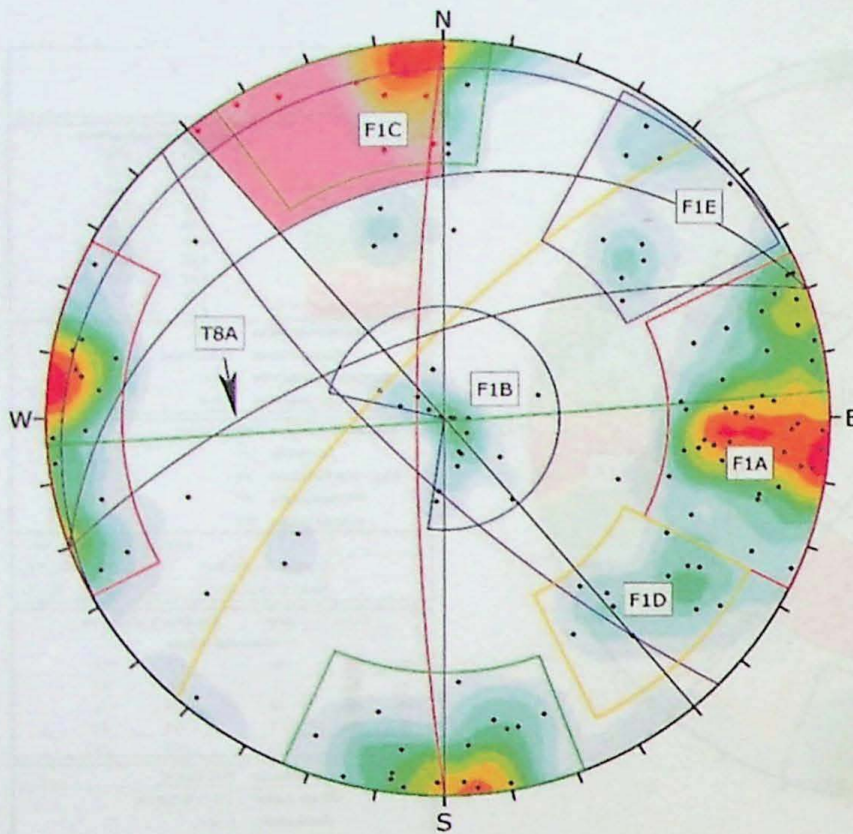
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	82	270	F1A
2m	5	331	F1B
3m	89	176	F1C
4m	71	312	F1D
5m	73	225	F1E

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	140 (140 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	9728
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

**METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO – TOMBAMENTO – T8A**



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
•	Critical Vectors

Color	Density Concentrations
0.00 - 0.80	
0.80 - 1.60	
1.60 - 2.40	
2.40 - 3.20	
3.20 - 4.00	
4.00 - 4.80	
4.80 - 5.60	
5.60 - 6.40	
6.40 - 7.20	
7.20 - 8.00	

Maximum Density	7.94%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	65
Slope Dip Direction	340
Friction Angle	39°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	14	140	10.00%
Flexural Toppling (Set 3)	13	33	39.39%

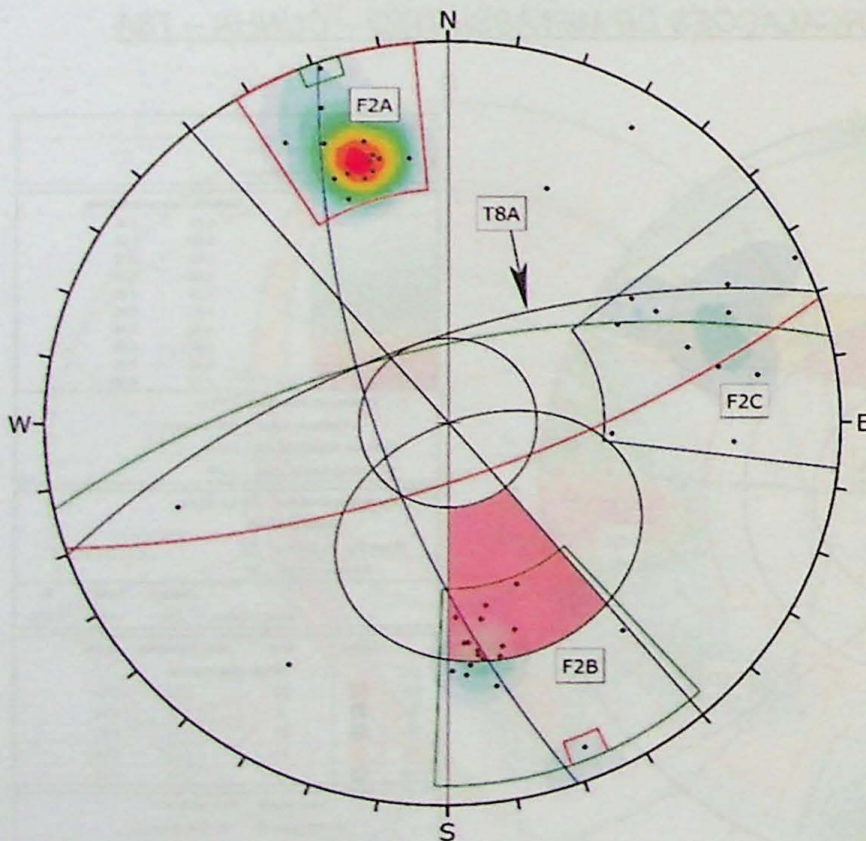
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	82	270	F1A
2m	5	331	F1B
3m	89	176	F1C
4m	71	312	F1D
5m	73	225	F1E

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	140 (140 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

**METARRITMITO – PLANAR – T8A**



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
0.00 - 3.00	
3.00 - 6.00	
6.00 - 9.00	
9.00 - 12.00	
12.00 - 15.00	
15.00 - 18.00	
18.00 - 21.00	
21.00 - 24.00	
24.00 - 27.00	
27.00 - 30.00	

Maximum Density	29.09%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	65
Slope Dip Direction	340
Friction Angle	25°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	12	48	25.00%
Planar Sliding (Set 2)	12	19	63.16%

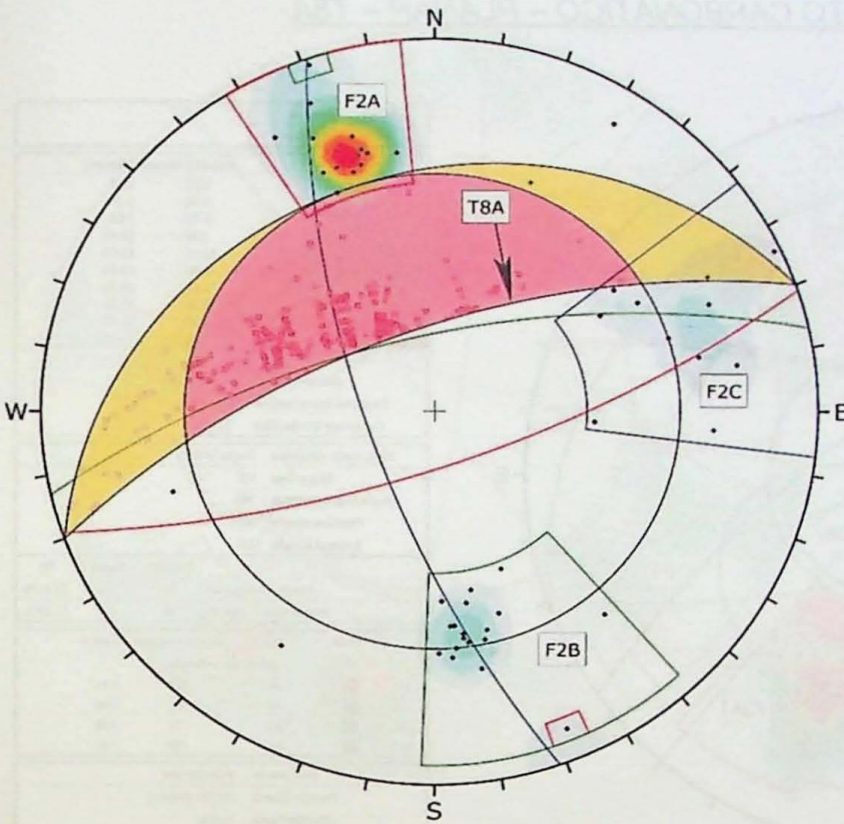
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	73	161	F2A
2w	67	347	F2B
3w	70	251	F2C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	48 (48 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

### METARRITMITO – CUNHA – T8A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
+	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.00
	3.00 - 6.00
	6.00 - 9.00
	9.00 - 12.00
	12.00 - 15.00
	15.00 - 18.00
	18.00 - 21.00
	21.00 - 24.00
	24.00 - 27.00
	27.00 - 30.00

Maximum Density 29.09%

Contour Data Pole Vectors

Contour Distribution Fisher

Counting Circle Size 1.0%

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	65		
Slope Dip Direction	340		
Friction Angle	25°		

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	344	1127	30.52%

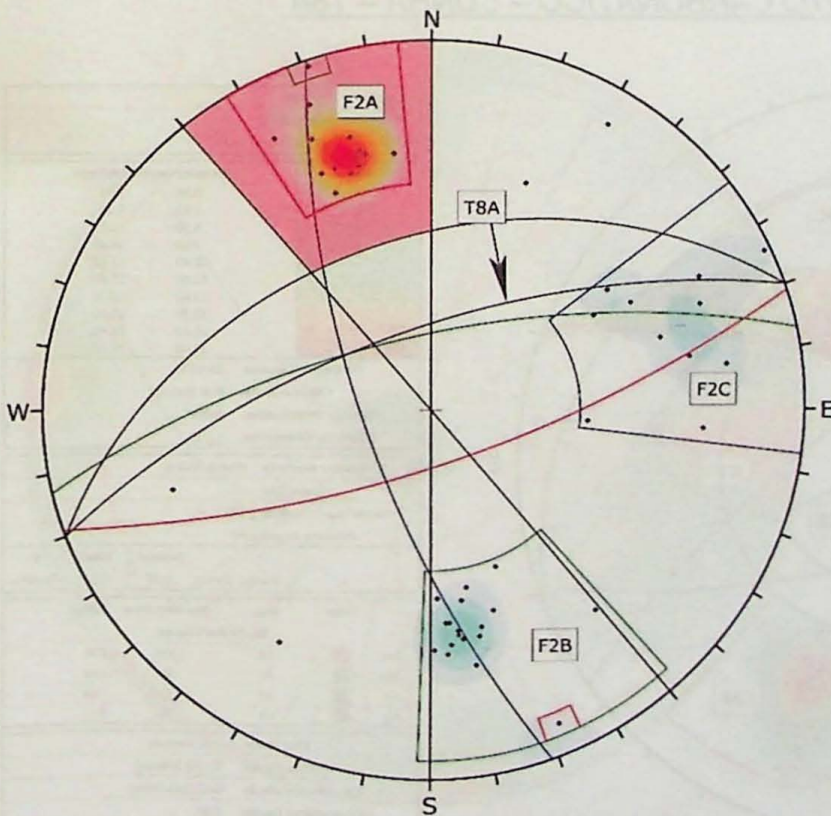
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	73	161	F2A
2w	67	347	F2B
3w	70	251	F2C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	48 (48 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	1127
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

### METARRITMITO – TOMBAMENTO – T8A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.00
	3.00 - 6.00
	6.00 - 9.00
	9.00 - 12.00
	12.00 - 15.00
	15.00 - 18.00
	18.00 - 21.00
	21.00 - 24.00
	24.00 - 27.00
	27.00 - 30.00

Maximum Density 29.09%

Contour Data Pole Vectors

Contour Distribution Fisher

Counting Circle Size 1.0%

Kinematic Analysis		Flexural Toppling	
Slope Dip	65		
Slope Dip Direction	340		
Friction Angle	25°		
Laternal Limits	20°		

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	15	48	31.25%
Flexural Toppling (Set 1)	14	14	100.00%
Flexural Toppling (Set 2)	1	19	5.26%

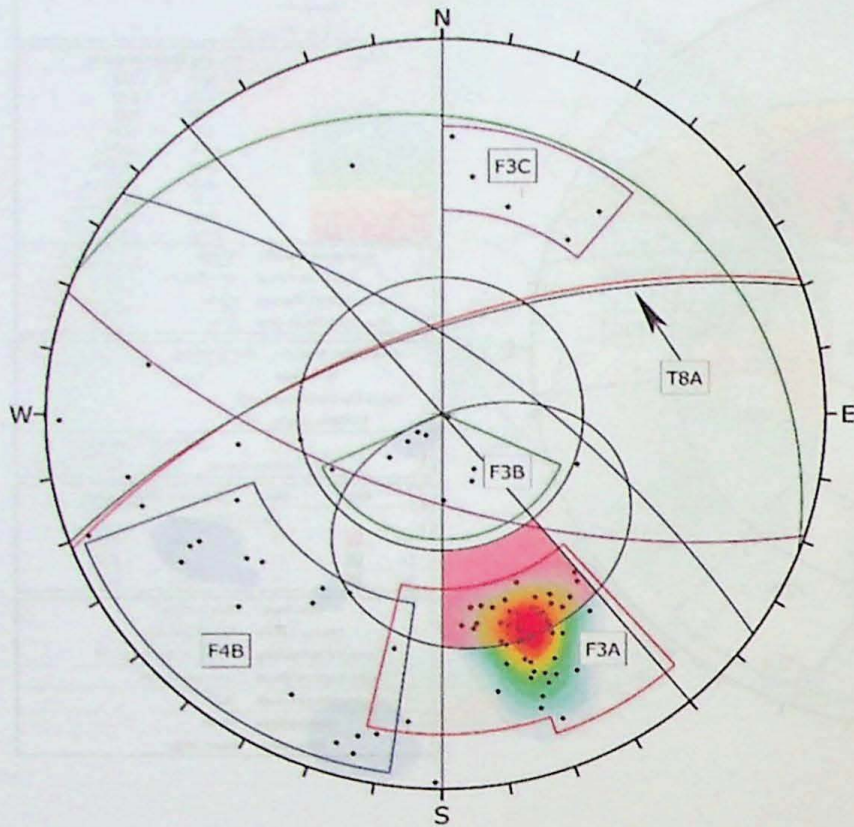
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	73	161	F2A
2w	67	347	F2B
3w	70	251	F2C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	48 (48 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## METARRITMITO CARBONÁTICO – PLANAR – T8A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.60
	2.60 - 5.20
	5.20 - 7.80
	7.80 - 10.40
	10.40 - 13.00
	13.00 - 15.60
	15.60 - 18.20
	18.20 - 20.80
	20.80 - 23.40
	23.40 - 26.00

Maximum Density 25.48%

Contour Data Pole Vectors

Contour Distribution Fisher

Counting Circle Size 1.0%

Kinematic Analysis		Planar Sliding		
Slope Dip	65			
Slope Dip Direction	340			
Friction Angle	40°			
Lateral Limits	20°			

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	30	92	32.61%
Planar Sliding (Set 1)	30	52	57.69%

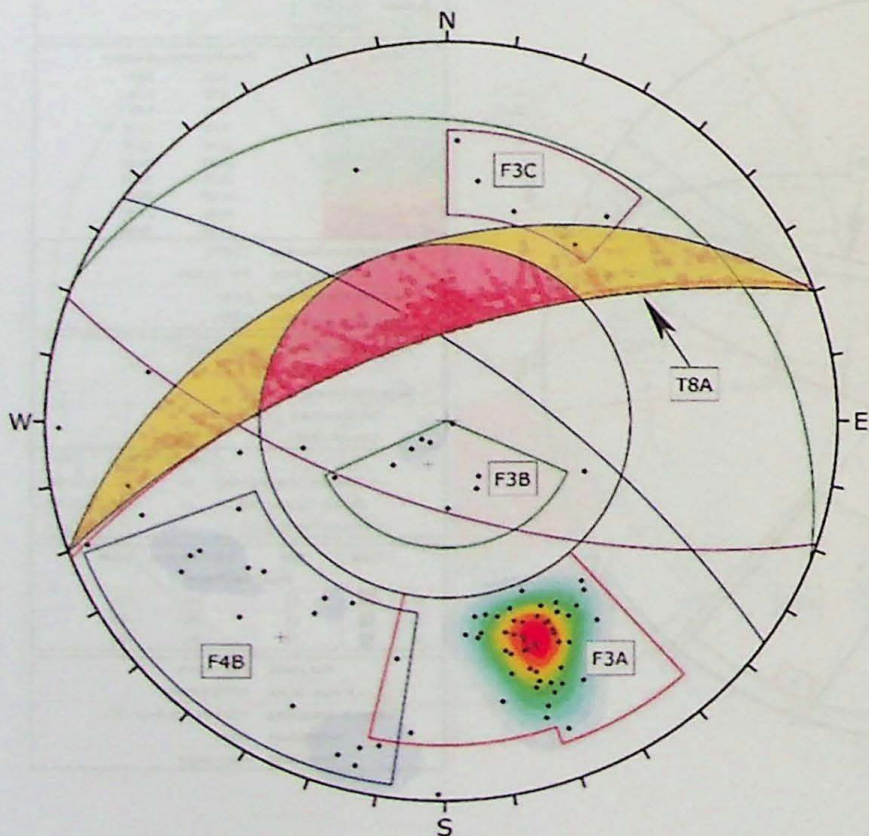
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	64	339	F3A
2m	70	36	F4B
3m	14	22	F3B
4m	64	199	F3C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	92 (92 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## METARRITMITO CARBONÁTICO – CUNHA – T8A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
○	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.60
	2.60 - 5.20
	5.20 - 7.80
	7.80 - 10.40
	10.40 - 13.00
	13.00 - 15.60
	15.60 - 18.20
	18.20 - 20.80
	20.80 - 23.40
	23.40 - 26.00

Maximum Density 25.48%

Contour Data Pole Vectors

Contour Distribution Fisher

Counting Circle Size 1.0%

Kinematic Analysis		Wedge Sliding		
Slope Dip	65			
Slope Dip Direction	340			
Friction Angle	40°			

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	1630	4184	38.96%

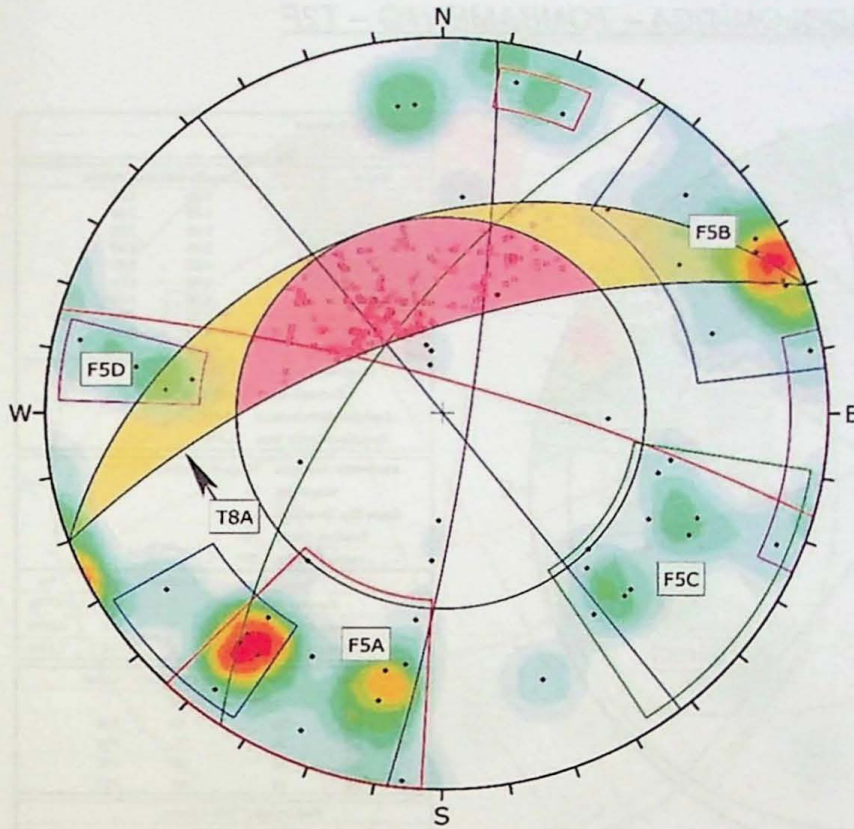
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	64	339	F3A
2m	70	36	F4B
3m	14	22	F3B
4m	64	199	F3C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	92 (92 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	4184
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## BRECHA METADOLOMÍTICA – CUNHA – T8A



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
—	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
0.00	- 1.00
1.00	- 2.00
2.00	- 3.00
3.00	- 4.00
4.00	- 5.00
5.00	- 6.00
6.00	- 7.00
7.00	- 8.00
8.00	- 9.00
9.00	- 10.00

Maximum Density 9.37%  
 Contour Data Pole Vectors  
 Contour Distribution Fisher  
 Counting Circle Size 1.0%

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	65		
Slope Dip Direction	340		
Friction Angle	35°		

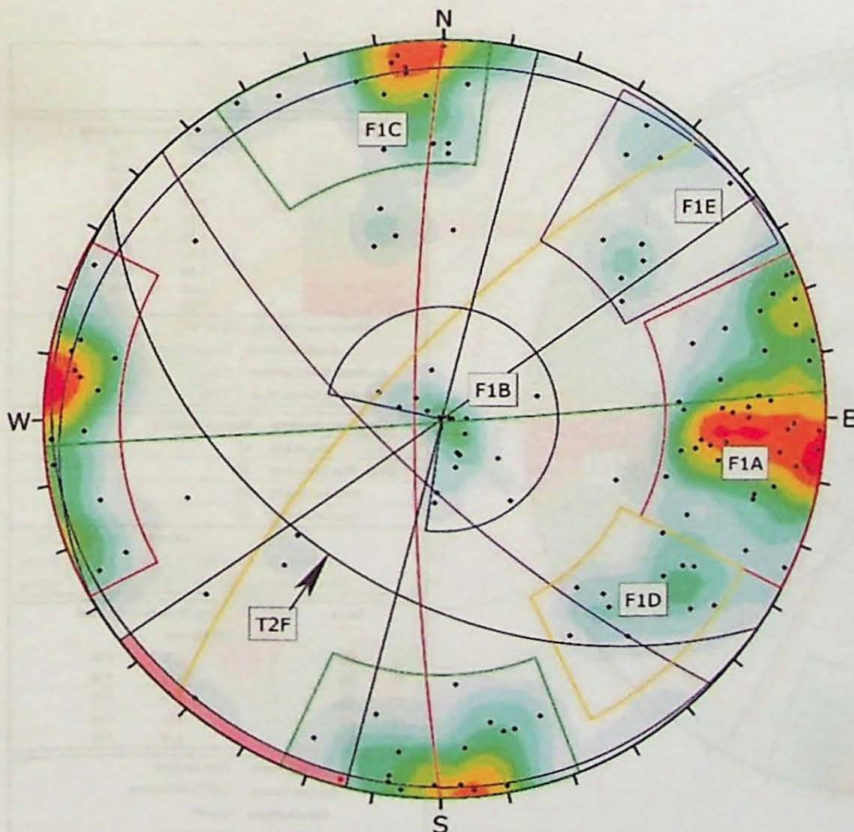
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	311	1377	22.59%

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	80	16	F5A
2w	90	52	F5B
3w	65	304	F5C
4w	82	98	F5D

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	53 (53 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	1377
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## CAVA FINAL

### METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO – TOMBAMENTO – T1F



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
—	Critical Vectors

Color	Density Concentrations
0.00	- 0.80
0.80	- 1.60
1.60	- 2.40
2.40	- 3.20
3.20	- 4.00
4.00	- 4.80
4.80	- 5.60
5.60	- 6.40
6.40	- 7.20
7.20	- 8.00

Maximum Density 7.94%  
 Contour Data Pole Vectors  
 Contour Distribution Fisher  
 Counting Circle Size 1.0%

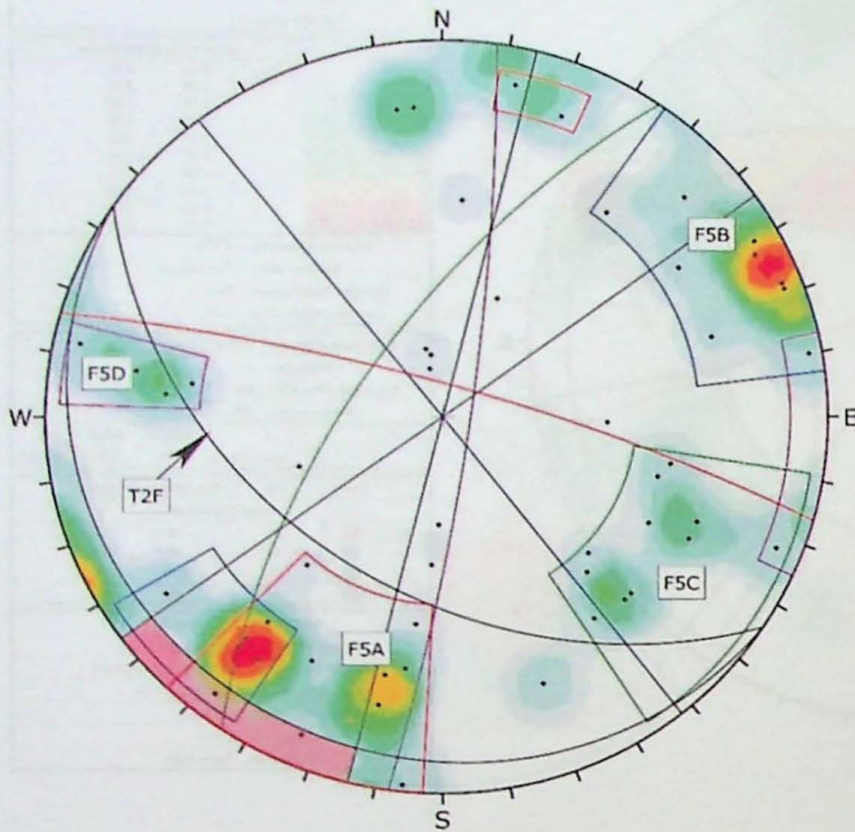
Kinematic Analysis		Flexural Toppling	
Slope Dip	41		
Slope Dip Direction	214		
Friction Angle	39°		
Lateral Limits	20°		

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	1	140	0.71%
Flexural Toppling (Set.3)	1	33	3.03%

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	82	270	F1A
2m	5	331	F1B
3m	89	176	F1C
4m	71	312	F1D
5m	73	225	F1E

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	140 (140 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## BRECHA METADOLOMÍTICA – TOMBAMENTO – T2F



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.00
	1.00 - 2.00
	2.00 - 3.00
	3.00 - 4.00
	4.00 - 5.00
	5.00 - 6.00
	6.00 - 7.00
	7.00 - 8.00
	8.00 - 9.00
	9.00 - 10.00

Maximum Density	9.37%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	41
Slope Dip Direction	214
Friction Angle	35°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	2	53	3.77%
Flexural Toppling (Set 1)	1	11	9.09%
Flexural Toppling (Set 2)	1	14	7.14%

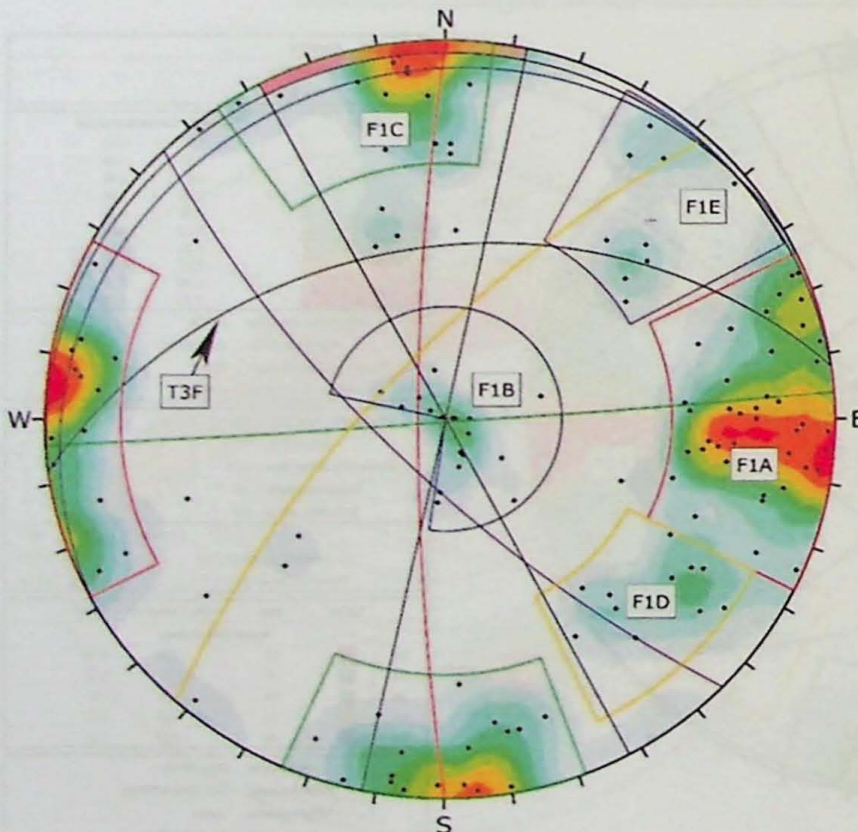
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	80	16	F5A
2w	90	52	F5B
3w	65	304	F5C
4w	82	98	F5D

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	53 (53 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO – TOMBAMENTO – T3F



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
•	Critical Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.80
	0.80 - 1.60
	1.60 - 2.40
	2.40 - 3.20
	3.20 - 4.00
	4.00 - 4.80
	4.80 - 5.60
	5.60 - 6.40
	6.40 - 7.20
	7.20 - 8.00

Maximum Density	7.94%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	41
Slope Dip Direction	352
Friction Angle	39°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	1	140	0.71%
Flexural Toppling (Set 3)	1	33	3.03%

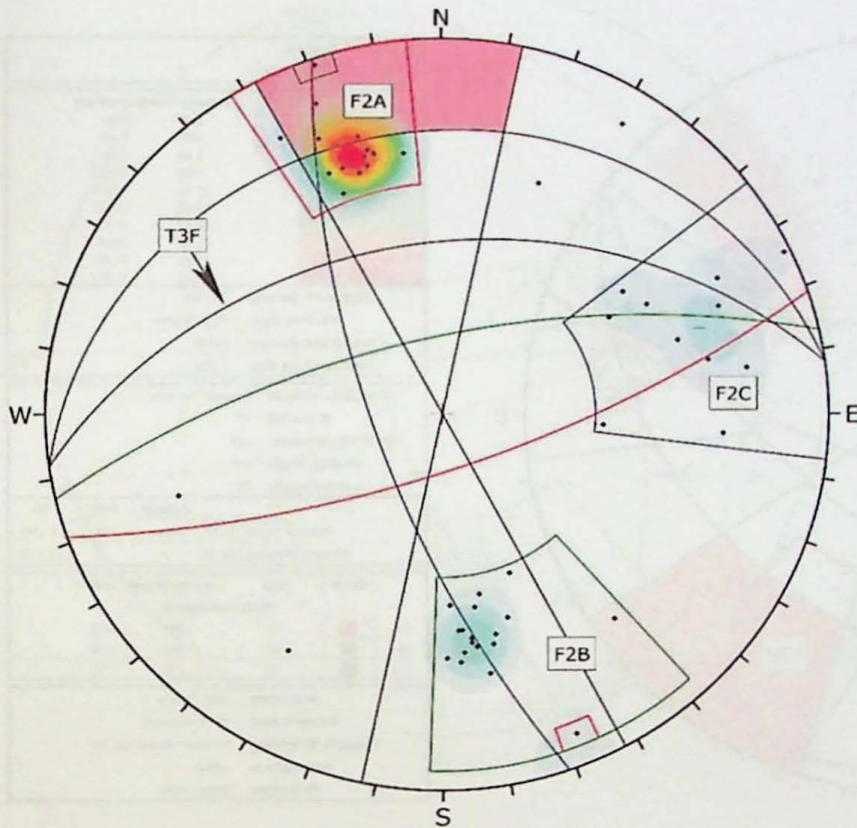
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	82	270	F1A
2m	5	331	F1B
3m	89	176	F1C
4m	71	312	F1D
5m	73	225	F1E

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	140 (140 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## METARRITMITO – TOMBAMENTO – T3F



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.00
	3.00 - 6.00
	6.00 - 9.00
	9.00 - 12.00
	12.00 - 15.00
	15.00 - 18.00
	18.00 - 21.00
	21.00 - 24.00
	24.00 - 27.00
	27.00 - 30.00

Maximum Density	29.09%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis		Flexural Topping		
Slope Dip	41			
Slope Dip Direction	352			
Friction Angle	25°			
Lateral Limits	20°			

	Critical	Total	%
Flexural Topping (All)	5	48	10.42%
Flexural Topping (Set 1)	4	14	29.57%
Flexural Topping (Set 2)	1	19	5.26%

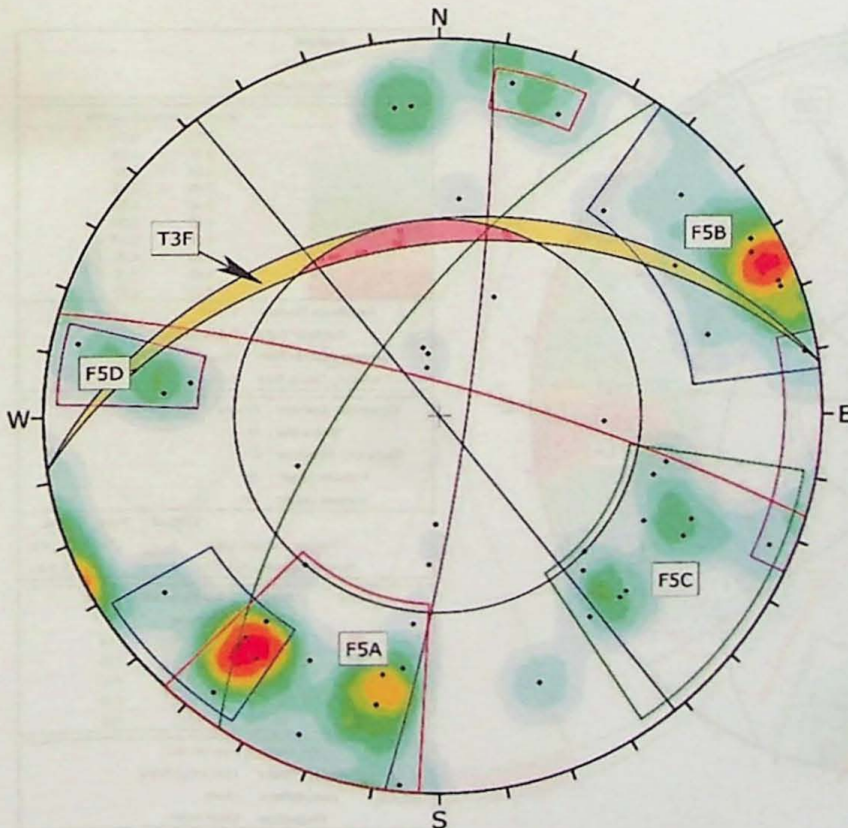
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	73	161	F2A
2w	67	347	F2B
3w	70	251	F2C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	48 (48 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## BRECHA METADOLOMÍTICA – CUNHA – T3F



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
○	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.00
	1.00 - 2.00
	2.00 - 3.00
	3.00 - 4.00
	4.00 - 5.00
	5.00 - 6.00
	6.00 - 7.00
	7.00 - 8.00
	8.00 - 9.00
	9.00 - 10.00

Maximum Density	9.37%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis		Wedge Sliding		
Slope Dip	41			
Slope Dip Direction	352			
Friction Angle	35°			

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	17	1377	1.23%

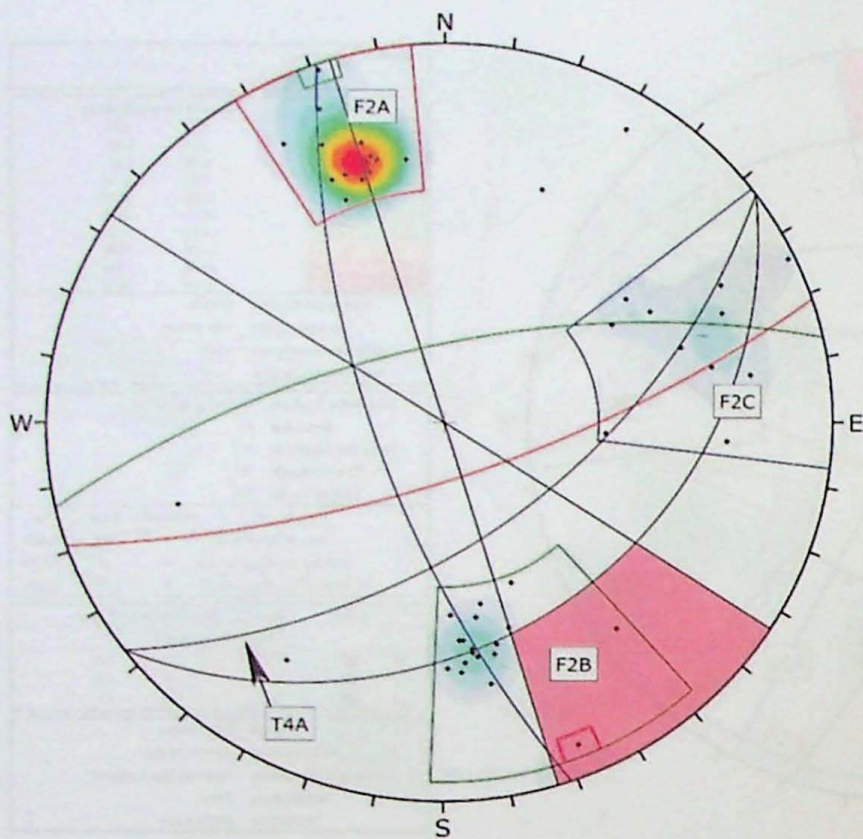
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	80	16	F5A
2w	90	52	F5B
3w	65	304	F5C
4w	82	98	F5D

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	53 (53 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	1377
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

**METARRITMITO – TOMBAMENTO – T4F**



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.00
	3.00 - 6.00
	6.00 - 9.00
	9.00 - 12.00
	12.00 - 15.00
	15.00 - 18.00
	18.00 - 21.00
	21.00 - 24.00
	24.00 - 27.00
	27.00 - 30.00

Maximum Density	29.09%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	56
Slope Dip Direction	143
Friction Angle	25°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	2	48	4.17%
Flexural Toppling (Set 2)	2	19	10.53%

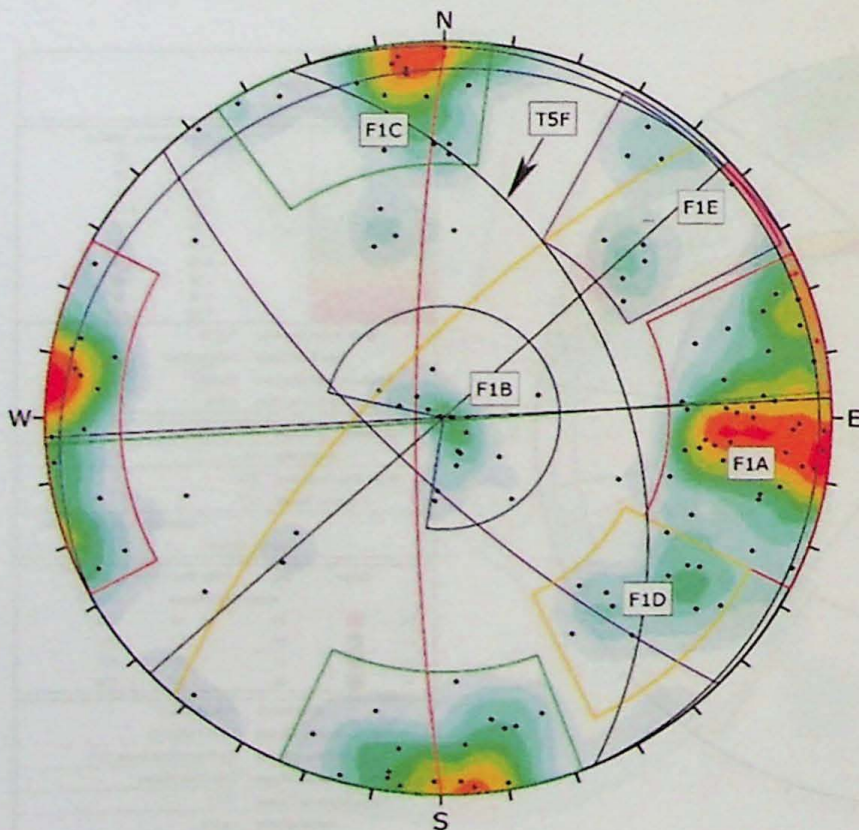
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	73	161	F2A
2w	67	347	F2B
3w	70	251	F2C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	48 (48 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

**METARENITO COM INTERCALAÇÕES DE METASSILTITO – TOMBAMENTO – T5F**



Symbol	Feature
•	Pole Vectors
•	Critical Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.80
	0.80 - 1.60
	1.60 - 2.40
	2.40 - 3.20
	3.20 - 4.00
	4.00 - 4.80
	4.80 - 5.60
	5.60 - 6.40
	6.40 - 7.20
	7.20 - 8.00

Maximum Density	7.94%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	41
Slope Dip Direction	67
Friction Angle	39°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	3	140	2.14%
Flexural Toppling (Set 1)	3	56	5.36%

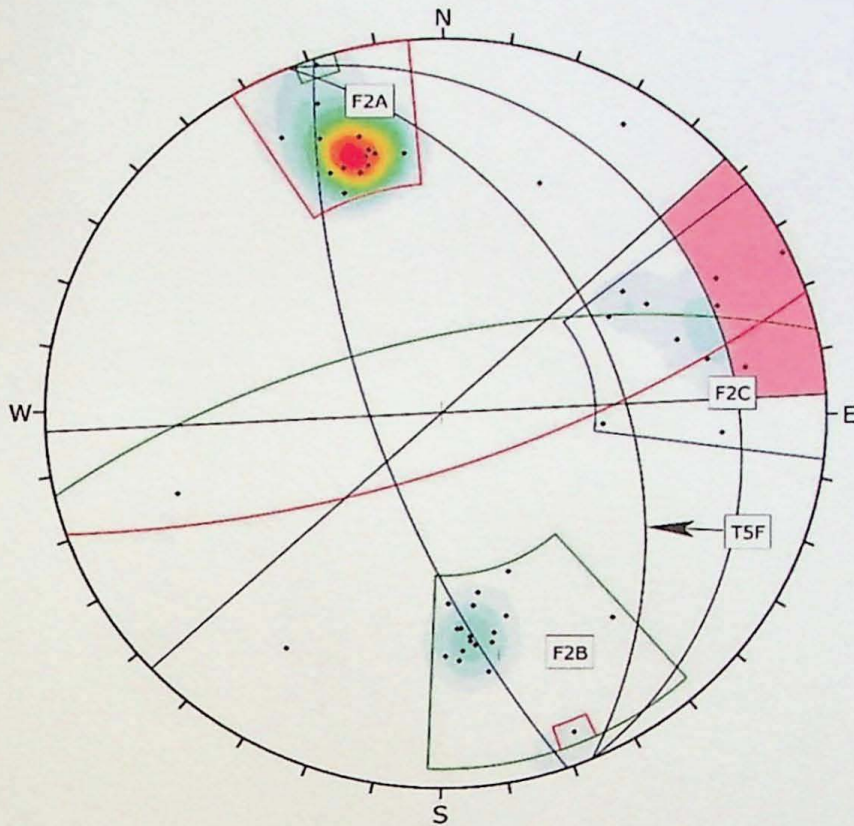
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	82	270	F1A
2m	5	331	F1B
3m	89	176	F1C
4m	71	312	F1D
5m	73	225	F1E

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	140 (140 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## METARRITMITO – TOMBAMENTO – T5F



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.00
	3.00 - 6.00
	6.00 - 9.00
	9.00 - 12.00
	12.00 - 15.00
	15.00 - 18.00
	18.00 - 21.00
	21.00 - 24.00
	24.00 - 27.00
	27.00 - 30.00

Maximum Density	29.09%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis		Flexural Topping		
Slope Dip	41			
Slope Dip Direction	67			
Friction Angle	25°			
Lateral Limits	20°			

	Critical	Total	%
Flexural Topping (All)	4	48	8.33%
Flexural Topping (Set 3)	4	11	36.36%

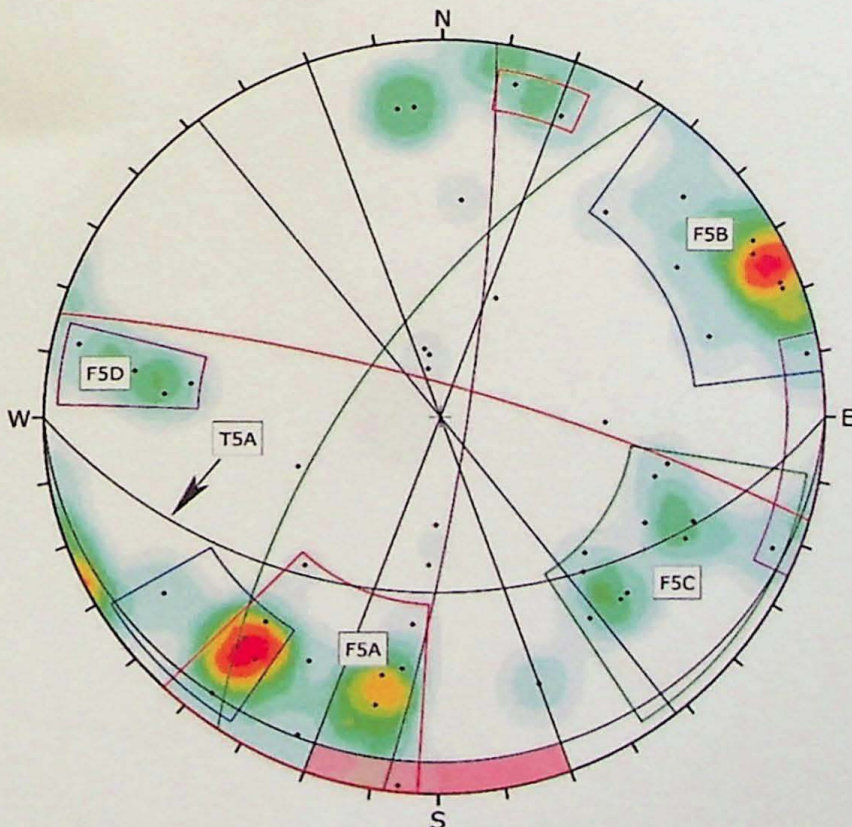
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
1w	73	161	F2A
2w	67	347	F2B
3w	70	251	F2C

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	48 (48 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

## BRECHA METADOLOMÍTICA – TOMBAMENTO – T3F



Symbol	Feature
•	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.00
	1.00 - 2.00
	2.00 - 3.00
	3.00 - 4.00
	4.00 - 5.00
	5.00 - 6.00
	6.00 - 7.00
	7.00 - 8.00
	8.00 - 9.00
	9.00 - 10.00

Maximum Density	9.32%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis		Flexural Topping		
Slope Dip	40			
Slope Dip Direction	180			
Friction Angle	35°			
Lateral Limits	20°			

	Critical	Total	%
Flexural Topping (All)	1	53	1.89%
Flexural Topping (Set 1)	1	11	9.09%

Color	Dip	Dip Direction	Label
1w	80	16	F5A
2w	90	52	F5B
3w	65	304	F5C
4w	82	98	F5D

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	53 (53 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

DOAÇÃO *Graduação*  
IGC  
Data: 20/03/18



