

UTILIZAÇÃO DE MÉTODO GRÁFICO PARA CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA PELO SISTEMA SLOPE MASS RATING (SMR) - APLICAÇÃO NA MINA DE SANTA LUZ (BA)

USE OF GRAPHICAL METHOD FOR GEOMECHANICAL CLASSIFICATION BY SLOPE MASS RATING SYSTEM (SMR) - APPLICATION IN THE SANTA LUZ MINE (BA)

GABRIEL BARBOSA SOARES

*Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil
E-mail: gabriel.barbosa.soares@usp.br*

EDILSON PISSATO

*Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil
E-mail: pissato@usp.br*

LEANDRO RIBES DE LIMA

*Yamana Gold Inc., Barrocas, BA, Brasil
E-mail: leandro.lima@yamana.com*

RESUMO ABSTRACT

A mineração Santaluz pertence à empresa Mineração Fazenda Brasileiro, subsidiária da Yamana Gold Inc., e está localizada na cidade de Santaluz, BA. Atualmente está em fase de implantação e apresenta uma série de problemas geotécnicos de estabilidade dos taludes relacionados principalmente ao fraturamento do maciço. Para identificação dos mecanismos envolvidos nesses processos, foi realizada uma caracterização geológico-geotécnica para avaliação da estabilidade dos taludes, seguida da classificação geomecânica do maciço. A caracterização consistiu na, coleta de dados através de 12 *scanlines* por meio da quais foram descritas as características das descontinuidades, obtendo-se dados relativos à rugosidade, alteração, número de famílias, persistência e espaçamento, com aplicação direta nos sistemas de classificação geomecânicas Q e RMR (*Rock Mass Rating*). Também foram realizadas medidas das orientações das descontinuidades. O sistema SMR (*Slope Mass Rating*) também foi utilizado por tratar-se de um sistema de classificação geomecânica com aplicação direta na estabilidade de taludes. Para obtenção dos parâmetros utilizados para esse sistema utilizou-se a metodologia gráfica, na qual os ângulos entre os taludes e descontinuidades são obtidos por

The Santaluz mining company owned by Fazenda Brasileiro Mining Company, a subsidiary of Yamana Gold Inc., located in Santaluz, BA. It is currently under implementation and have a series of geotechnical problems of slopes stability, mainly related to the fracturing of the rock mass. To identify the mechanisms involved in these processes, geological and geotechnical characterization to evaluate the stability of slopes was held, followed by the massive geomechanics classification. The characterization, the data collection using 12 m of scanlines for which the characteristics of discontinuities been described, yielding roughness data, alteration, number of families, persistence and spacing, with direct application to the geomechanical classification systems Q and RMR (*Rock Mass Rating*). Also the guidelines of discontinuities measurements were performed. The system SMR (*Slope Mass Rating*) was also used because it is a geomechanics classification system with direct application in slope stability. To obtain the parameters used for this system was used to imaging methods in which the angles between the slopes and discontinuities are obtained by stereograms. Six slopes were chosen for the application of the method. The data collected allowed the

meio de estereogramas. Seis taludes foram escolhidos para a aplicação do método. Com os dados coletados foi possível definir a atitude média de cinco sistemas de descontinuidades: A foliação (250/40), J1 (185/80), J2 (020/80), J3 (140/85) e J3.2 (142/60). O maciço foi considerado seco e em geral apresentou-se pouco alterado. Os maciços em boas condições obtiveram a mesma classificação (bom) pelo sistema *Q* e *RMR*, porém em regiões mais fraturas os sistemas divergiram em até duas classes, sendo obtidas pelo sistema *Q* as piores classificações (muito ruim, ruim). Pela análise cinemática foram comprovadas rupturas em quatro taludes dos seis escolhidos, sendo o sistema *SMR* aplicado somente nos taludes com rupturas em potencial. Nesses quatro taludes os sistemas *SMR* e *RMR* apresentaram resultados praticamente iguais, porém se utilizado apenas o *RMR_b*, notam-se valores inconsistentes com a realidade, demonstrando a importância da orientação das descontinuidades em relação à classificação geomecânica aplicada à de taludes.

Palavras-chave: estabilidade, taludes, classificações geomecânicas, mineração.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de classificação de maciço podem ser entendidos como um sistema de comunicação mundial para engenheiros, geólogos e projetistas, amplamente utilizado na caracterização, classificação e no conhecimento sobre as propriedades dos maciços rochosos. Eles fornecem dados quantitativos das propriedades do maciço, tanto de suas descontinuidades, como também do maciço como um todo.

Entretanto, as classificações de maciços introduzem incertezas durante a caracterização que podem afetar o valor final obtido.

Existem diversos sistemas de classificação de maciços, sendo os mais difundidos o *Q* (Barton et al. 1974) e o *RMR* (Bieniawski 1989), porém ambos inicialmente foram propostos para túneis. Bieniawski introduziu alguns fatores de correção ao sistema para que essa classificação pudesse ser utilizada em taludes porém sem detalhar a forma de sua obtenção, o que torna, na prática o *RMR* difícil de ser aplicado para taludes e não há um estudo realizado sobre sua efetividade nesse âmbito (Tomás et al. 2011).

definition of the average attitude of 5 discontinuities systems: The foliation (250/40), J1 (185/80), J2 (020/80), J3 (140/85) and J3.2 (142/60). The rock mass was considered dry and generally presented itself little changed. The rock mass in good condition had obtained the same classification (good) by *Q* and *RMR* system, but in regions where the rock was intensively fractured, the systems diverged in up to two classes, and obtained the *Q* system the worst ratings (very bad, bad). Through the kinematic analysis, ruptures were confirmed in four of the six slopes, chosen, and the *SMR* system applied only on the slopes with potential disruptions. In these four slopes the *SMR* and *RMR* systems showed results nearly identical but only used the *RMR_b* are noted inconsistent values with reality, demonstrating the importance of the orientation of the discontinuities in relation to the classification applied geomechanics to the slopes.

Keywords: stability, slopes, geomechanical classifications, mining.

Este trabalho foi realizado na Mina C1, da Yamana Gold Inc. no município de Santaluz, BA, comparando o sistema *Q*, *RMR* e *SMR* afim de averiguar a aplicação dos métodos para estimar a estabilidade de taludes. Para tanto, foram realizadas 12 *scanlines* dentro do *Pit*, coletando-se ao todo 135 medidas para a determinação e caracterização das famílias das descontinuidades principais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Classificações de maciços

Entende-se por maciço rochoso uma massa de rocha interrompida por descontinuidades, sejam falhas, juntas, acamamentos, etc., sob certas condições hidrogeológicas. Cada um desses elementos é determinante para o comportamento geomecânico geral do maciço.

As características do maciço diferem de local para local, sendo necessário distinguir os atributos que condicionam o seu comportamento frente às solicitações impostas por determinada obra. Este procedimento é denominado caracterização geológico-geotécnica, ou geológico-geomecânica do maciço rochoso.

O ato de hierarquizar estas características, organizando-as individualmente em classes, às quais se possa associar comportamentos diferenciados do meio rochoso para as condições consideradas, denomina-se Classificação Geomecânica do maciço (Junior Serra & Ojima, 1999).

As classificações de maciços vem sendo utilizadas a mais de 60 anos para várias finalidades, existindo hoje várias em uso cujo alguns exemplos estão citados na tabela 1.

Tabela 1 – Classificações correntemente utilizadas, adaptado de Bieniawski (1993).

Nome da Classificação	Autor e data	País de origem	Aplicação
Rock loads	Terzaghi 1946	EUA	Túneis
Stand-up time	Lauffer 1958	Austria	Túneis
NATM	Rabcewicz. 1964	Austria	Túneis
RQD	Deere & Deere 1988	EUA	Túneis
RSR	Wickham et al. 1972	EUA	Túneis
RMR (Rock Mass Rating)	Bieniawski 1973	África do Sul	Túneis, minas, taludes, fundações
	Laubscher 1977	África do Sul	Túneis, minas, taludes, fundações
Variações do RMR	Serafim & Pereira 1983	Portugal	Fundações
	Gonzales de Vallejo 1983	Espanha	Túneis
	Romana 1985	Espanha	Taludes
	Robertson 1988	Canadá	Taludes
Q System	Barton et. al. 1974	Noruega	Túneis
Descrição geotécnica básica	ISRM 1981	Canadá	Geral

Entre as classificações mais difundidas no Brasil, estão o Q System (Barton 1974) e o Rock Mass Rating - RMR (Bieniawski 1989).

O Sistema RMR consiste na atribuição de pesos para os seguintes parâmetros: resistência da rocha intacta, RQD, espaçamento das descontinuidades, condições das descontinuidades, Influência da água subterrânea, orientação relativa das descontinuidades/escavação, sendo o valor do RMR a soma e todos os pesos atribuídos.

2.2 Slope mass rating (SMR)

O Slope Mass Rating (SMR) foi proposto por Romana (1985). Este sistema utiliza o RMR básico ou seja, sem correções, aplicando-se fatores de correção relativos às relações angulares entre a orientação da face dos taludes e a das descontinuidades. Uma de vantagens da aplicação desse sistema consiste no detalhamento de como definir quantitativamente os fatores de correção para

taludes propostos no sistema RMR (Irigaray et al. 2003). O SMR é definido pela seguinte relação:

$$SMR = RMR_b + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4 \quad (1)$$

Onde:

RMRb é o resultado obtido, sem nenhuma correção, de acordo com os parâmetros de classificação segundo Bieniawski (1989). F_1 depende do ângulo entre a direção da descontinuidade (α_j), e a direção da face do talude (α_s), que pode ser expresso da seguinte forma.

$$F_1 = (1 - \sin(\alpha_j - \alpha_s))^2 \quad (2)$$

Sendo que o valor de F_1 varia de 1, quando ambas as direções são paralelas, a 0.15, que é o menor valor possível segundo a tabela 2 de Romana (1985).

Tabela 2 - Valores dos fatores F1, F2 e F3 (Romana 1985).

Modo de Ruptura	Muito Favorável	Favorável	Moderado	Desfavorável	Muito Desfavorável	
P	$\alpha_j - \alpha_s$					
T	$\alpha_j - \alpha_s - 180$					
C	-					
P/T/C	F_1	0,15	0,4	0,70	0,85	1,00
P	< 20°					
C	20° - 30°					
P/C	F_2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T	F_2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
P	> 10°					
C	10° - 0°					
T	0°					
P/C/T	F_3	0	-6	-25	-50	-60
		< 110°				
		110° - 120°				
		> 120°				

P - Ruptura planar; T - Ruptura por tombamento; C - Ruptura por cunha
 - Direção do talude; α_j - Direção da fratura; - Direção de mergulho da linha de intersecção;
 - Mergulho do talude; - Mergulho da junta; - linha de intersecção

F_2 , segundo Romana (1993), pode ser considerado como a resistência ao cisalhamento da descontinuidade, que na ruptura planar, depende do ângulo de mergulho da descontinuidade (β_j), porém no caso de tombamento, o valor de F_2 será igual a 1. Pode ser determinado como

$$F_2 = \tan^2 \beta_j \tag{3}$$

O valor de F_2 pode variar entre 1,00, para descontinuidades com mergulho maior ou igual a 45°, até 0,15, para mergulhos menores que 20°.

F_3 reflete a relação entre a face do talude (β_s) (figura 1) e o mergulho da descontinuidade (β_j), também presente em RMR_{76} (Bieniawski 1976). No modo de ruptura planar, F_3 refere-se à probabilidade da ruptura ocorrer no talude.

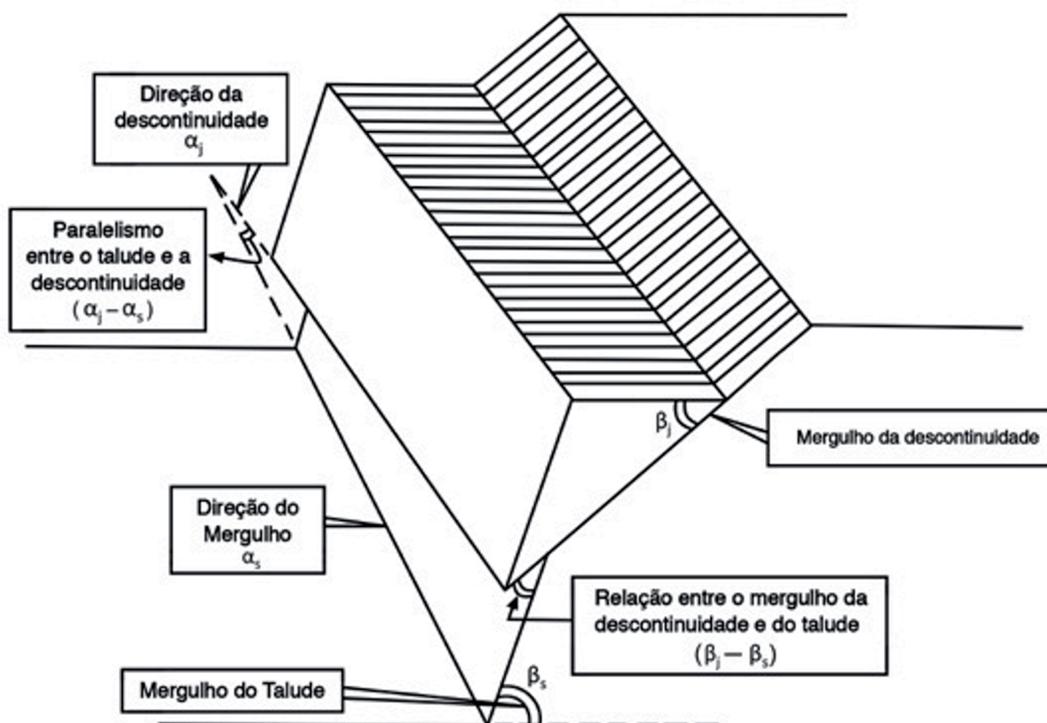


Figura 1 - Modelo de ruptura planar mostrando os ângulos β''_j , β''_s , α''_j e α''_s . Fonte: Singh & Goel (1999)

F_4 é um fator de ajuste que depende do método de escavação utilizado para produção do talude, variando entre +15, para taludes naturais, a -8 para detonações inadequadas (tabela 3)

Tabela 3 - Valores de F_4 para o método de escavação aplicado.

Método	Talude Natural	Pré-corte	Detonação Suave	Escavação Mecânica	Detonação Deficiente
F_4	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8

O valor final resultante da fórmula será o SMR, que indicará qual a classe do maciço estudado. Romana (1985) em sua descrição correlaciona a classe do maciço com o tipo de ruptura, sendo: Classe I - Sem rupturas; Classe II - Alguns blocos; Classe III - Poucas formações de cunha; Classe IV - Rupturas planares e cunhas grandes; Classe V - Rupturas planares grandes, comporta-se como solo (tabela 4).

Tabela 4 - Classe do SMR associada com seu respectivo valor, estabilidade do talude, possíveis rupturas e contenção sugerida.

Classe	Valor do SMR	Descrição	Estabilidade	Ruptura	Contenção
I	81 - 100	Excelente	Totalmente estável	Nenhuma	Nenhuma
II	61 - 80	Boa	Estável	Alguns Blocos	Ocasional
III	41 - 60	Razoável	Parcialmente Estável	Poucas formações de cunha	Sistemática
IV	21 - 40	Ruim	Instável	Planar e cunhas grandes	Corretiva
V	0 - 20	Muito Ruim	Totalmente Instável	Planares grandes, comporta-se como solo	Reescavação

2.3 Método gráfico

Tomás et al. (2012) sugere uma metodologia que faz uso de projeções estereográficas para determinação dos fatores F_1 , F_2 e F_3 . Conforme esta metodologia a equação do SMR pode ser reescrita como:

$$SMR = RMR_b + (\psi \cdot F_3) + F_4 \tag{4}$$

Onde F_1, F_2 são agrupados em um mesmo parâmetro, chamado de ψ que varia de 0 a 1, sendo considerado como a porcentagem do fator F_3 mobilizado. Os diagramas foram gerados considerando-se a combinação dos fatores F_1 e F_2 proposto por Romana (1985), que dependem unicamente do paralelismo entre a direção de mergulho

das discontinuidades (ou a direção da linha de intersecção no caso de ruptura por cunha), e a direção de mergulho do talude.

Os estereogramas para a obtenção dos fatores são separados por tipos de ruptura (planar, tombamento ou cunha) e para serem utilizados, o plano do talude e as polares das discontinuidades devem ser plotadas em um estereograma. Sobrepondo os estereogramas e colocando o plano do talude no local indicado, o polo de cada set de descontinuidade indicará o tipo de ruptura e o valor de ψ . Portanto tem-se ao final, três *estereogramas para a determinação* de ψ , sendo um para ruptura planar (figura 2) um para ruptura em cunha (figura 3) e outro para ruptura por tombamento (figura 4).

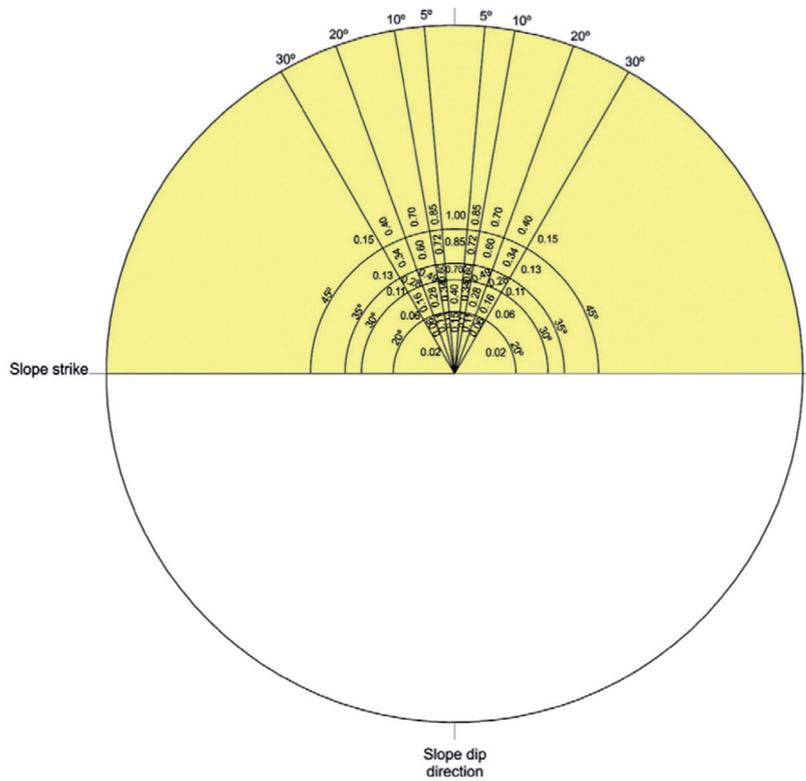


Figura 2 - Estereograma para obtenção do fator ψ para o caso de ruptura planar. (Tomás et al. 2012)

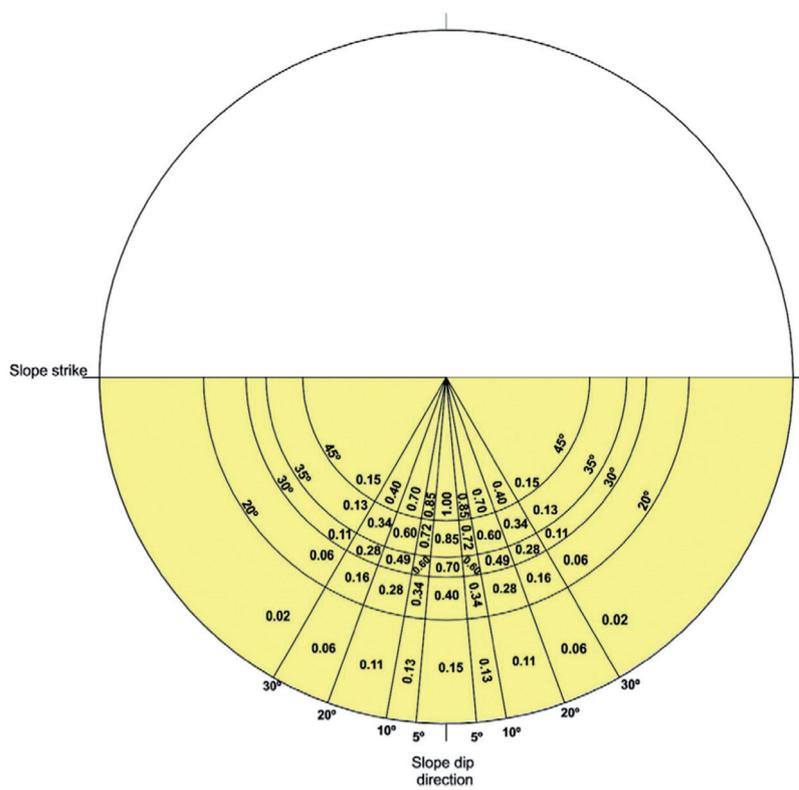


Figura 3 - Estereograma para obtenção do fator ψ para o caso de ruptura por cunha. (Tomás et al. 2012)

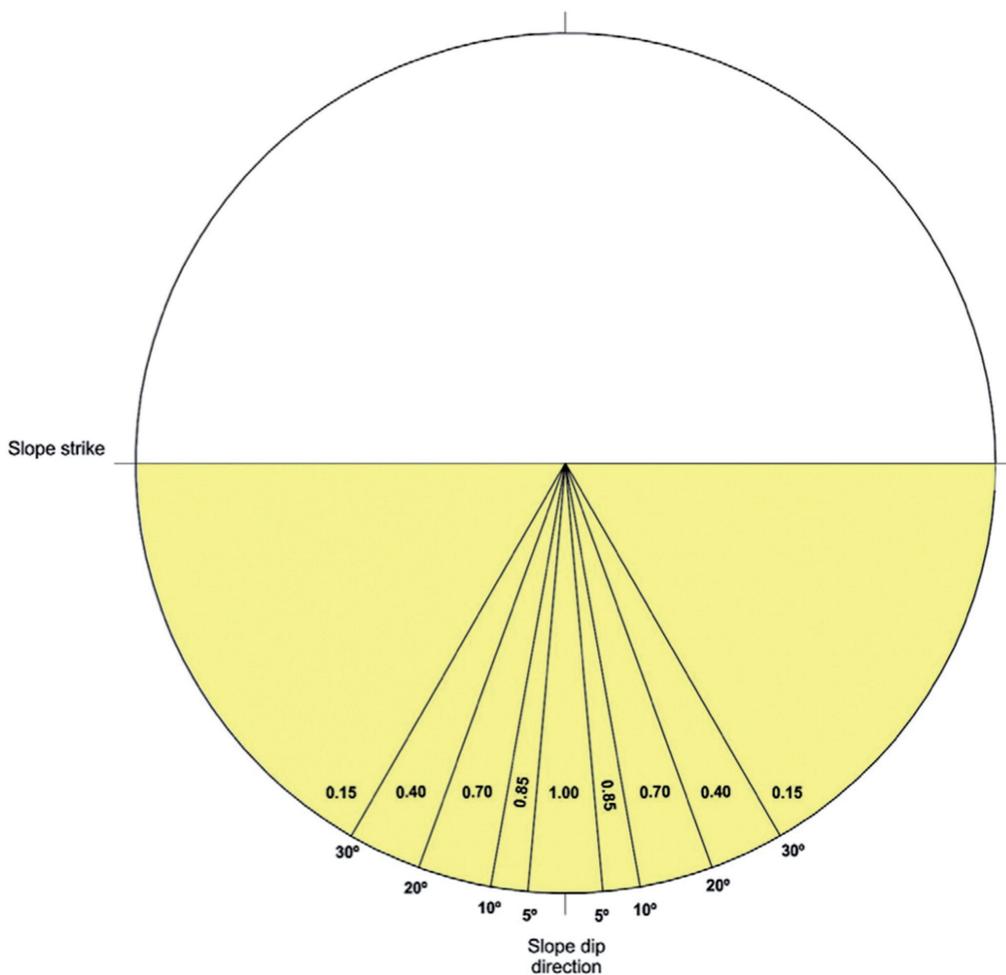


Figura 4 - Estereograma para obtenção do fator ψ para o caso de ruptura por tombamento. (Tomás et al. 2012)

Como F_3 depende do ângulo de mergulho do talude, um estereograma específico deve ser usado para cada valor de mergulho do talude e tipo de ruptura.

Para rupturas planares (figura 5) já com o polo do talude plotado (P_s) e orientado para sul, deve-se traçar uma reta que o una ao centro do estereograma (O) assim formando uma linha, que será o raio do semicírculo a ser projetado.

Após o semicírculo ser desenhado, traça-se dois outros semicírculos concêntricos variando 10° para mais e para menos, assim obtém-se três semicírculos no final que dividem a parte superior do estereograma em 4 áreas, as quais variam de 0 a -60.

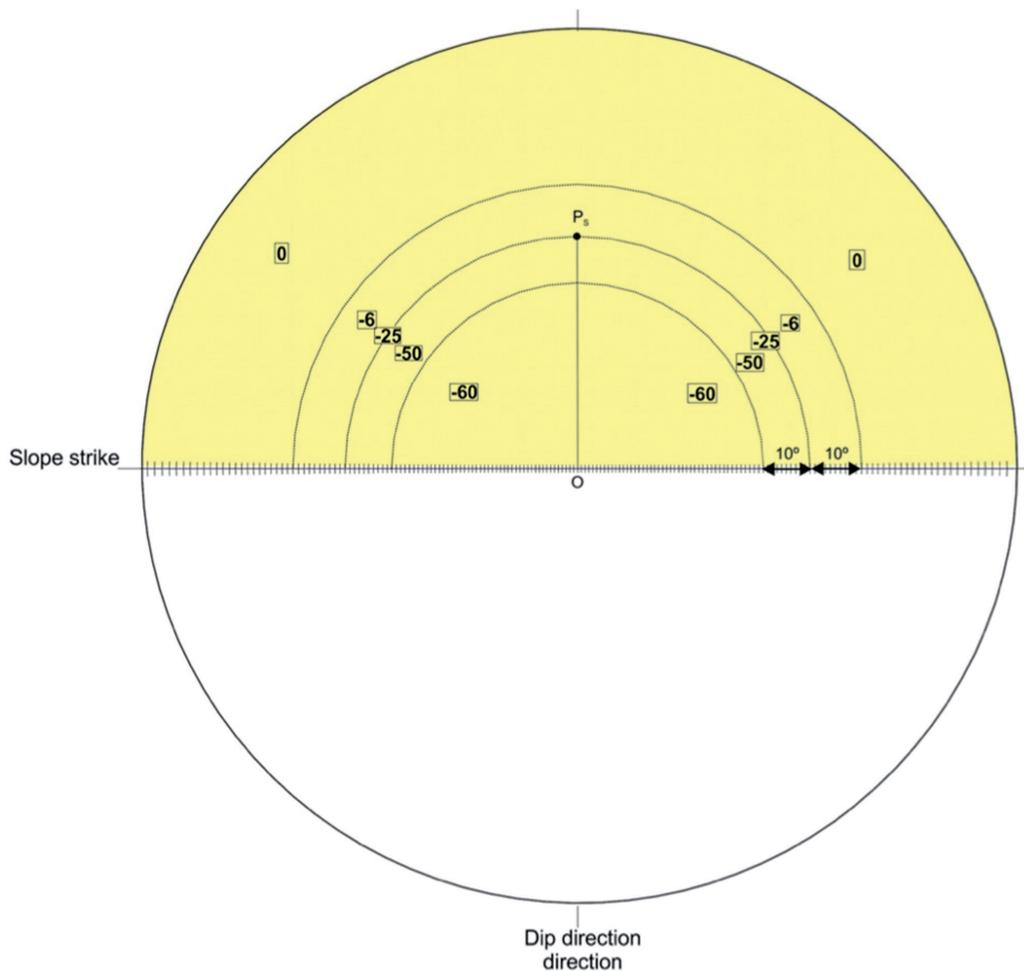


Figura 5 - Método de construção do estereograma para determinação do F_3 para rupturas planares. P_s é o polo do talude. (Tomás et al. 2012)

Para confecção do estereograma para os casos de rupturas em cunha (figura 6), plota-se o polo da projeção da linha de mergulho máximo (Q) do talude. Esse ponto ligado ao centro (O) formará uma linha (OQ) que será o raio do semicírculo que tangencia o plano do talude.

A partir desse semicírculo, dois semicírculos, concêntricos ao primeiro serão desenhados variando em 10° cada. Os valores de F_3 variam entre 0 a -60, diminuindo do centro para as bordas do estereograma.

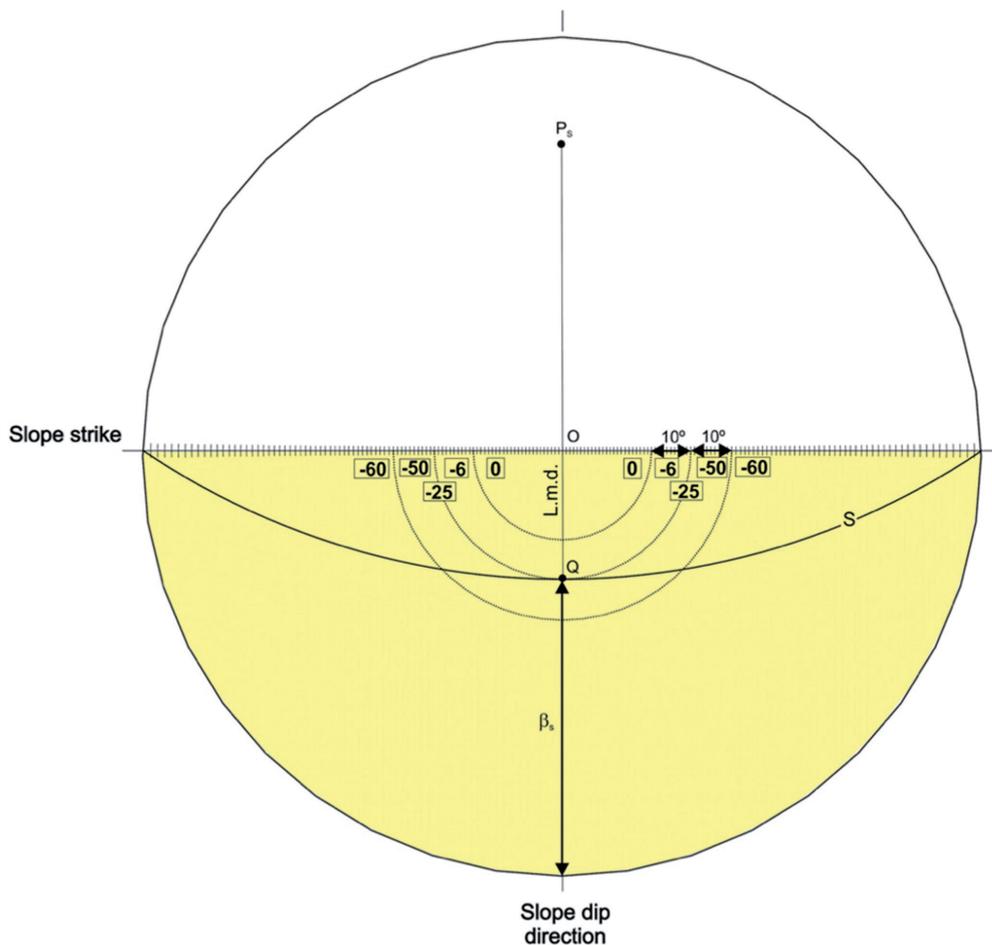


Figura 6 - Método de construção do estereograma para determinação do F_3 para rupturas por cunha. (Tomás et al. 2012)

Para rupturas por tombamento (figura 7), onde o raio OP_s interceptar o eixo EW do estereograma será denominado de ponto M . A partir desse ponto deve se medir 110° e 120° , em direção ao centro obtendo-se, respectivamente, o ponto T e o ponto S .

Com esses três pontos teremos dois novos raios, OT e OS , que servirão como raio para dois semicírculos que ocuparam a região sul do estereograma, os valores irão variar, do centro para a borda, entre 0 e -25.

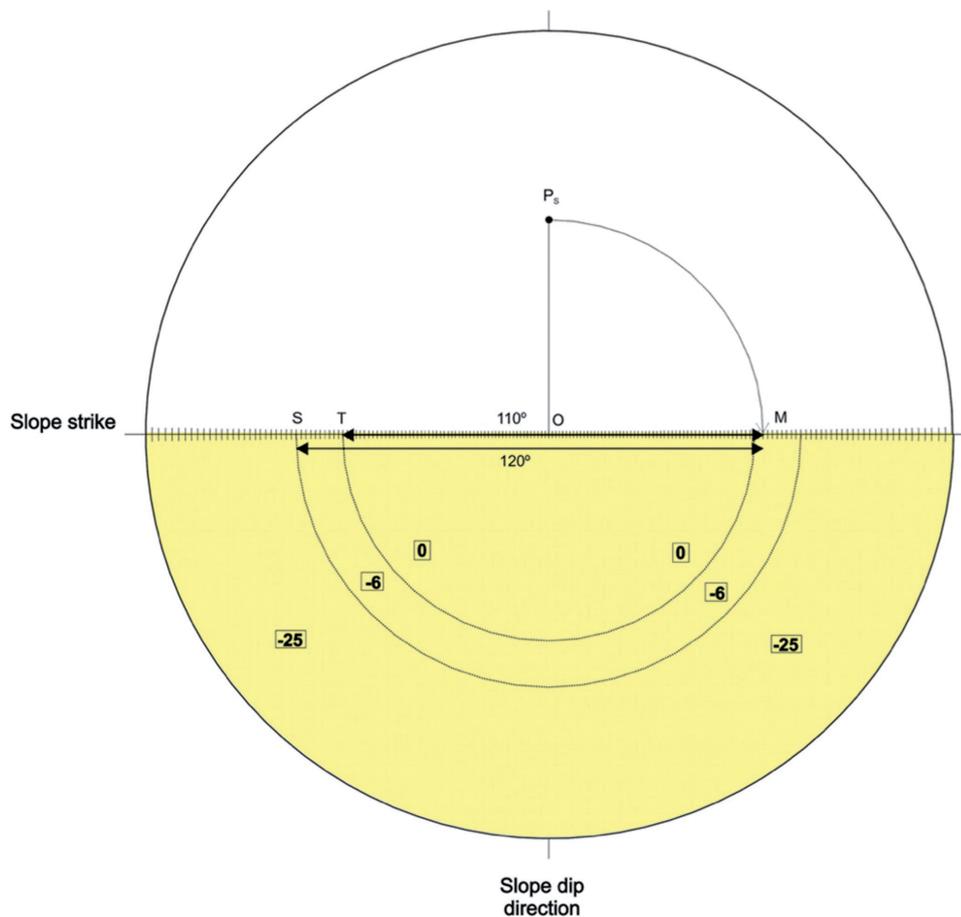


Figura 7 - Método de construção do estereograma para determinação do F_3 para rupturas por tombamento. P_s é o polo do talude. (Tomás et al. 2012)

A utilização desta metodologia, embora pareça complexa em um primeiro momento, facilita a obtenção dos parâmetros para a classificação SMR, que podem ser obtidos graficamente, além disso, este estudo apresentou resultados bastante satisfatórios.

2.4 Caracterização geomecânica

O trabalho se concentrou na *cava Antas 1*, da empresa Fazenda Brasileiro (figura 8), a única em

atividade no momento. Para coleta dos dados foi adotado o método de *scanlines* (Priest 1993), que consiste na análise e descrição das estruturas encontradas no maciço rochoso ao longo de uma linha paralela à frente do talude. Para isso, criou-se uma planilha com os parâmetros que atendessem às classificações do método *Q* e *RMR*. O *RQD* foi estipulado combinando a classificação do maciço realizada no campo com a dos bancos de dados da empresa.

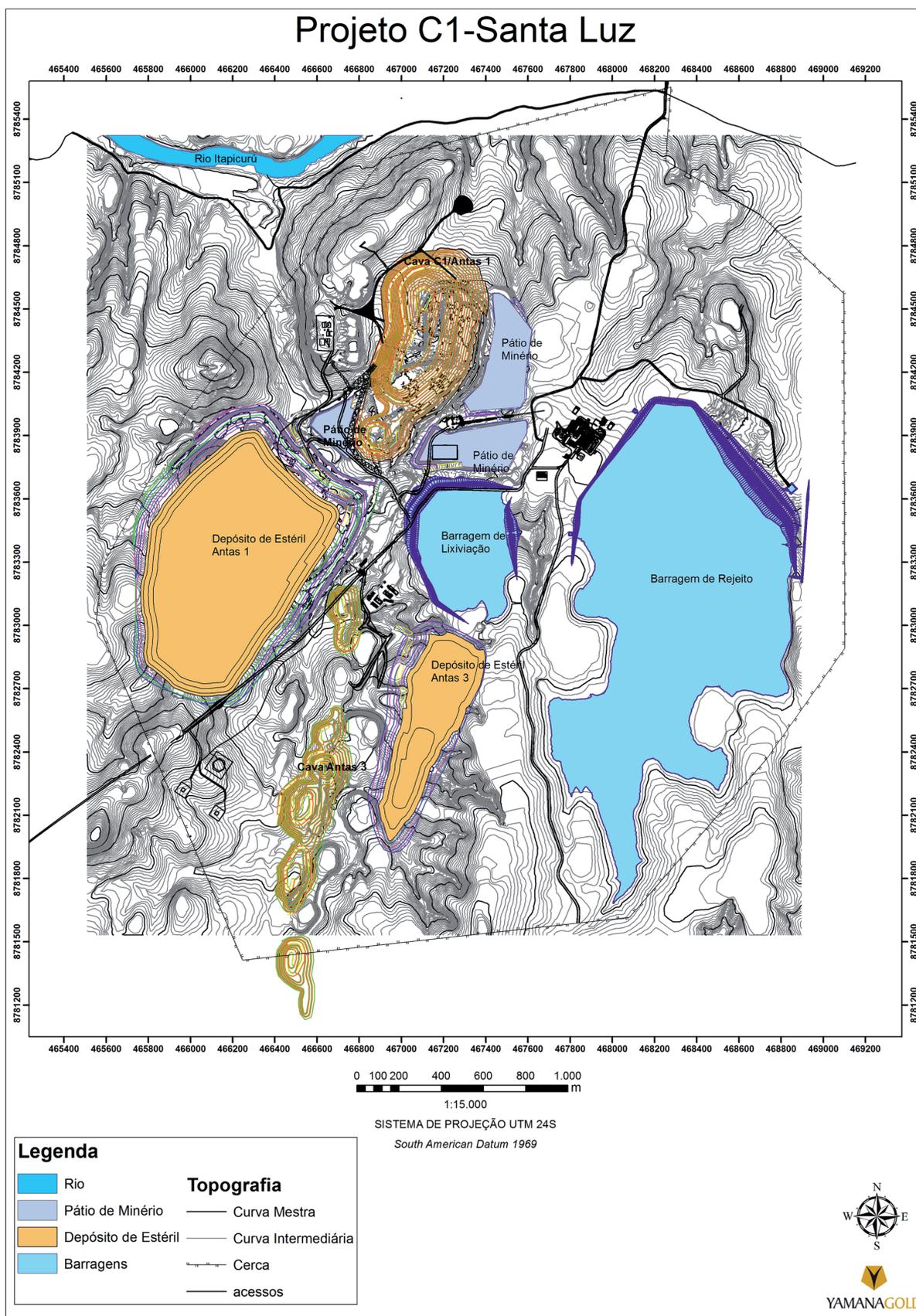


Figura 8 - Mapa do projeto final da mineração. A Cava Antas1/C1 localiza-se na porção norte do mapa.

Fonte: Yamana Gold Inc.

Comparando a classificação feita em campo com o banco de dados de geomecânica da empresa, se estabeleceu os valores do RQD para cada litologia (tabela 5).

Para a classificação de maciço utilizando os sistemas Q e o RMR, foi criada uma tabela no programa *Excel*, onde os dados coletados nas *scanlines*

foram inseridos, e assim comparados com as tabelas de cada método, assim obtendo os valores para os fatores de cada metodologia.

A classificação foi feita por litologia em cada *scanline*, pois em campo é nítido o diferente comportamento do maciço segundo esse aspecto.

Tabela 5 - Tabela com os valores do RQD por litologia para a classificação do maciço feita visualmente em campo

	RQD	Maciço		
		Ruim	Razoável	Bom
Litologia	<i>Metadacito</i>	35	70	83
	<i>Metadiorito</i>	45	75	90
	<i>Xisto-Carbonoso</i>	38	55	77
	<i>Brecha Dacítica</i>	30	70	80
	<i>Brecha Carbonosa</i>	25	50	75

3 RESULTADOS

3.1 Análise estrutural

3.1.1 Análise das *scanlines*

Foram realizadas 12 *scanlines* (Figura 9), variando entre 6 a 70 metros de extensão, e as

informações (litologia, tipo de fratura, direção e ângulo do mergulho, persistência, abertura das fraturas, espaçamento entre as fraturas e rugosidade) foram coletadas, no mínimo a cada 2 metros.

Os dados foram tratados nos programas *Openstereo*, *Dips 6.0*, *Excel* e *Photoshop CS6*.

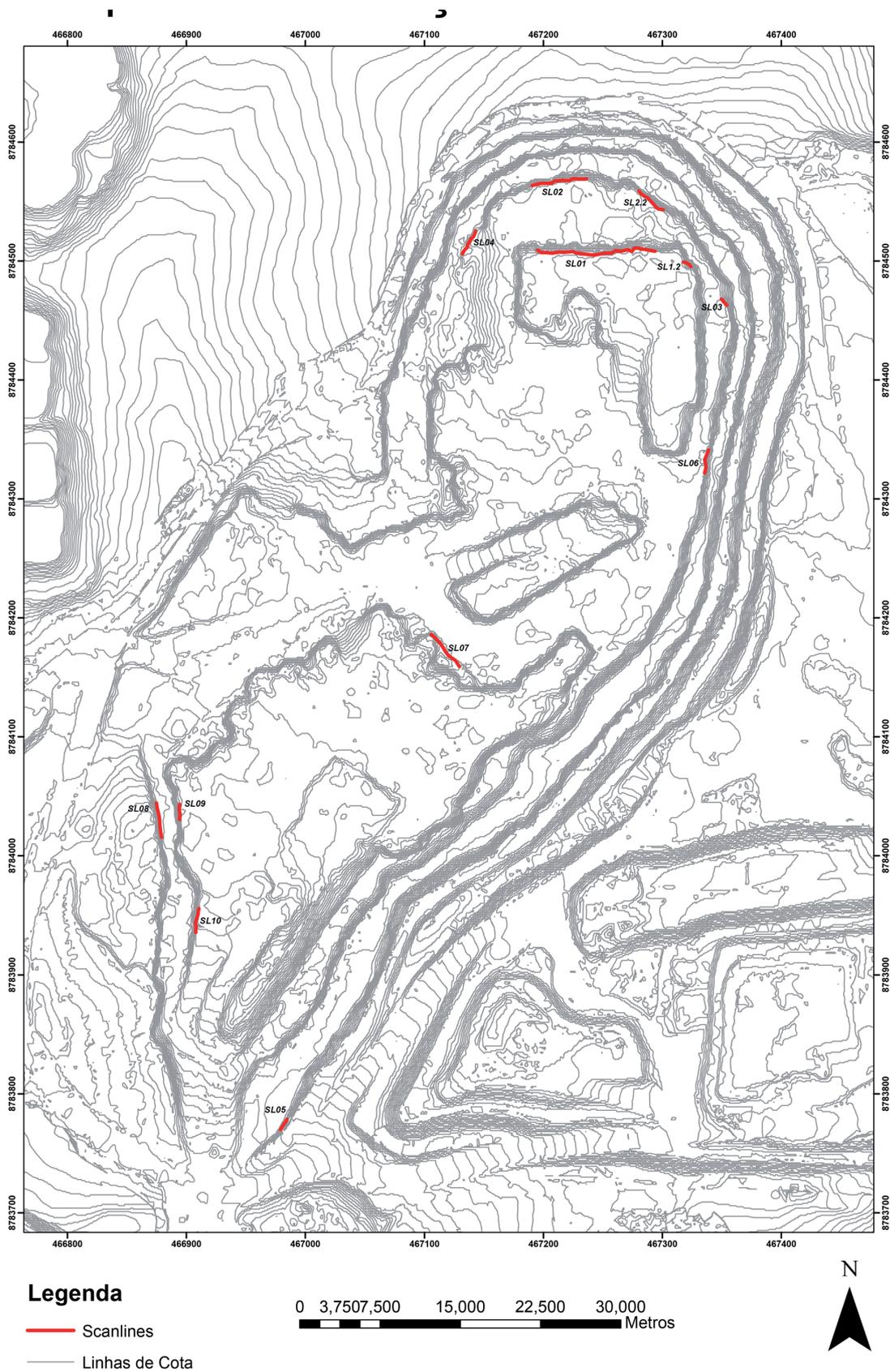


Figura 9 - Mapa de localização das scanlines na cava Antas 1.

3.1.2 Análise estereográfica

A partir das observações feitas em campo e pela análise das projeções estereográficas (figura 10) foi possível a divisão das descontinuidades

em famílias, juntas e falhas. A foliação (figura 11) é bem evidente nos metadioritos, principalmente nos da parte noroeste, nos xistos grafitosos e ausente nas lentes e no corpo de dacito.

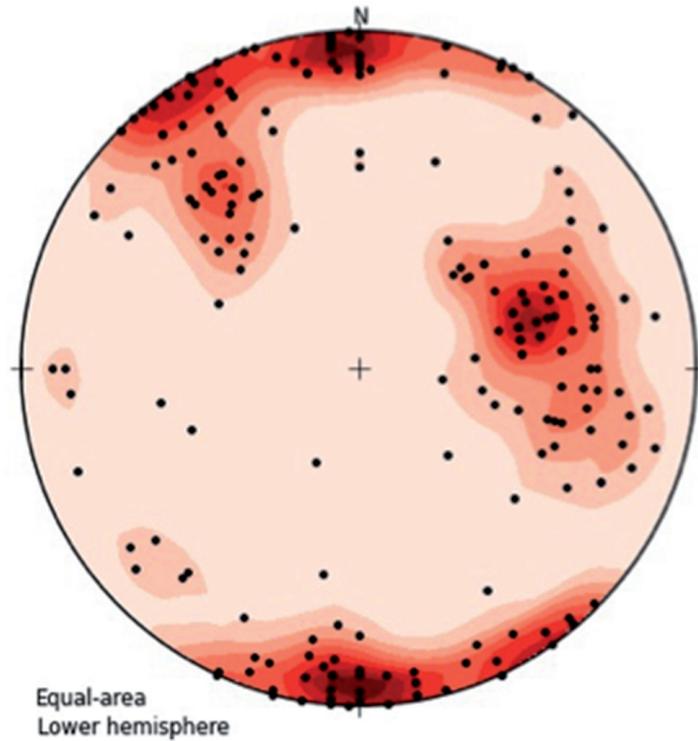


Figura 10 - Estereograma com as polares das descontinuidades analisadas nas 12 scanlines.

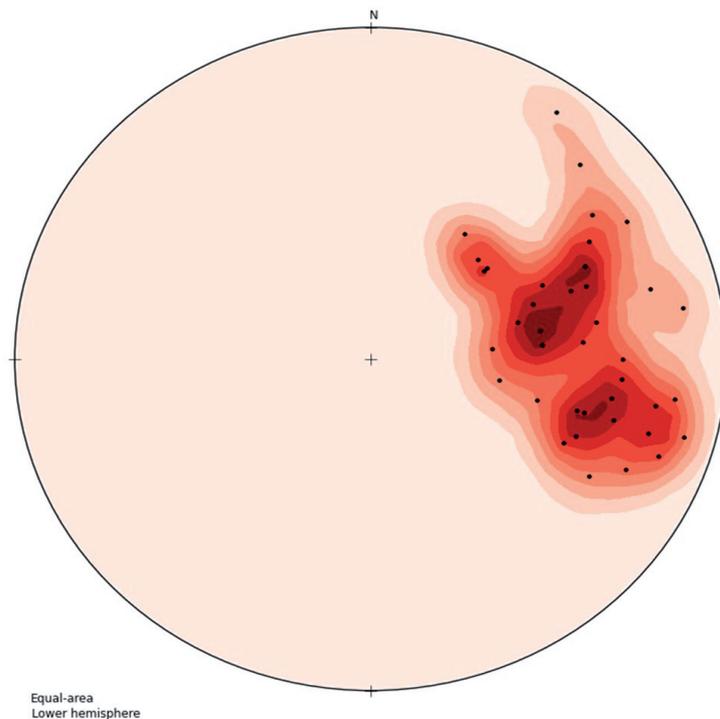


Figura 11 - Estereograma com as polares da foliação. Atitude 250/40.

Pela análise dos estereogramas nota-se que a foliação é dispersa, possivelmente devido ao esforços compressivos que atuaram em toda a região. As famílias de juntas foram chamadas de J1, J2, J3 e J3.2.

J1 (figura 12) tem direção praticamente E-W, mergulhando entre 75° a 85° para N e para S, J2 (figura 13) tem direção N295 com mergulho vertical,

variando entre 80° a 90°, J3 (figura 14) tem direção N057 com mergulho variando entre 90° e 75° com direção de mergulho para SE. J3.2 (figura 15) é provavelmente uma variação de J3 com um menor mergulho, mais evidente nos xistos carbonosos, ela tem direção N052 com mergulho variando entre 60° a 40° para SE.

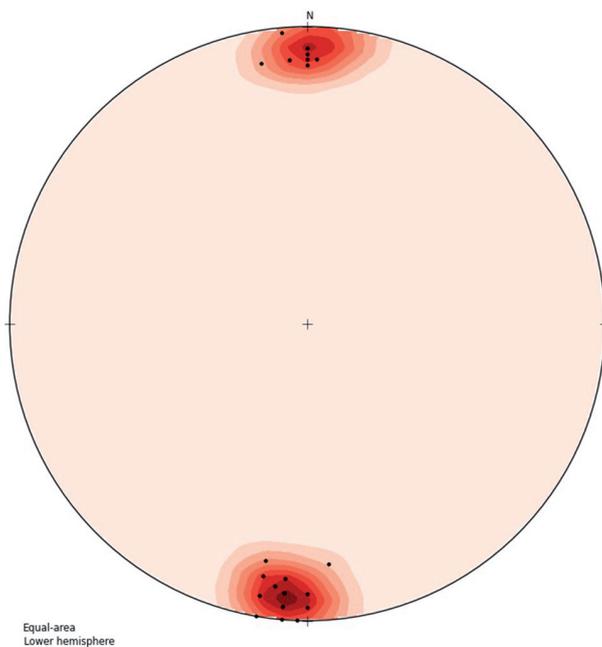


Figura 12 – Estereograma com a família J1. Atitude: 185/80 e 000/78

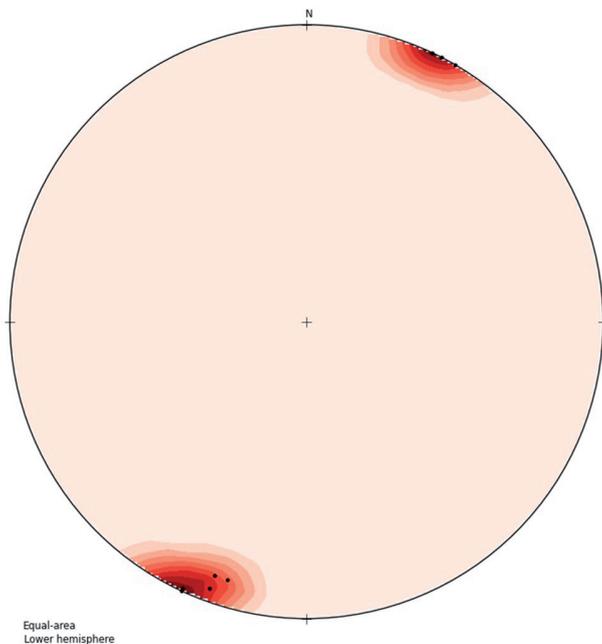


Figura 13 – Estereograma da família J2. Atitude: 020/80

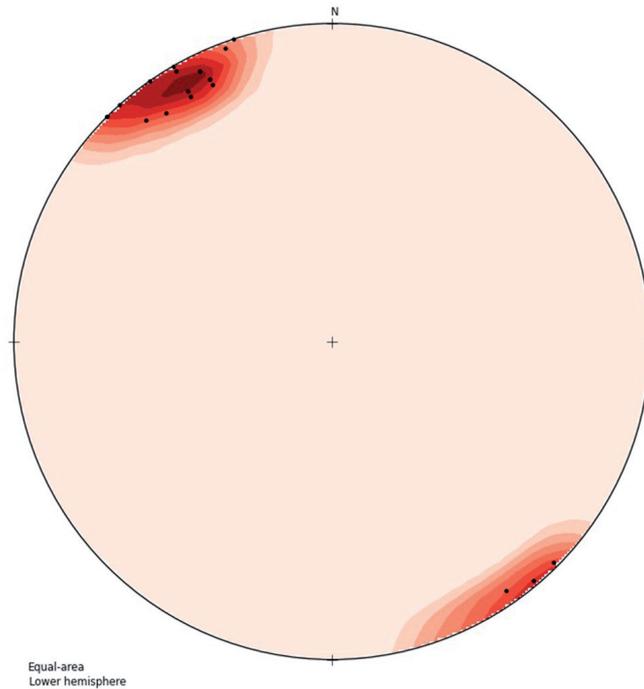


Figura 14 – Estereograma da família J3. Atitude: 140/85

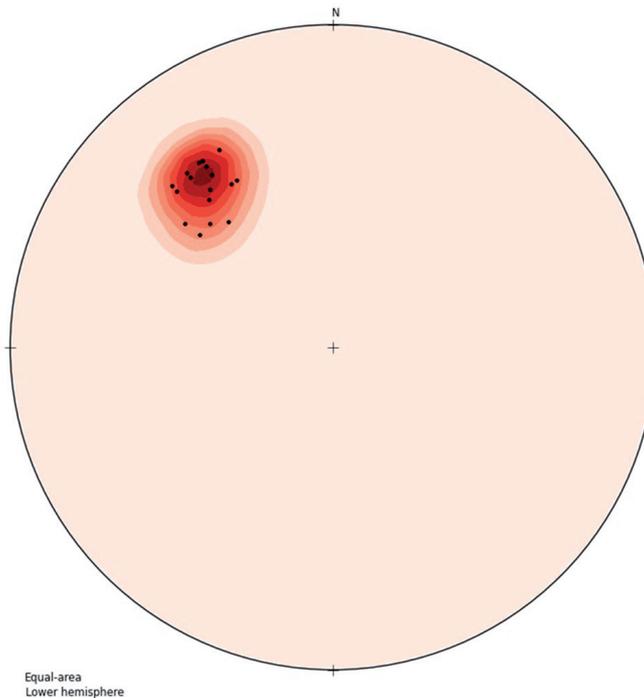


Figura 15 – Estereograma da família J3.2. Atitude: 142/60

Há também dois sistemas de falhas que não puderam ser bem definidos devido à baixa quantidade de medidas, um com atitude 240/50, chamado de falha 1, e outra com atitude 145/60, chamado de falha 2.

3.2 Análise cinemática

Para a análise cinemática foram definidos 6 taludes (figura 16), eles foram delimitados de forma que representasse a maior quantidade de scan-

lines realizadas. As atitudes dos taludes (direção do mergulho/mergulho) foram obtidas em campo e confirmadas no mapa topográfico da mina.

As atitudes utilizadas foram as definidas nas scanlines e não as famílias previamente definidas.

Nos casos em que o maciço era constituído por mais de uma litologia, o ângulo de atrito (ϕ) adotado foi o mais baixo entre as litologias presentes no talude.

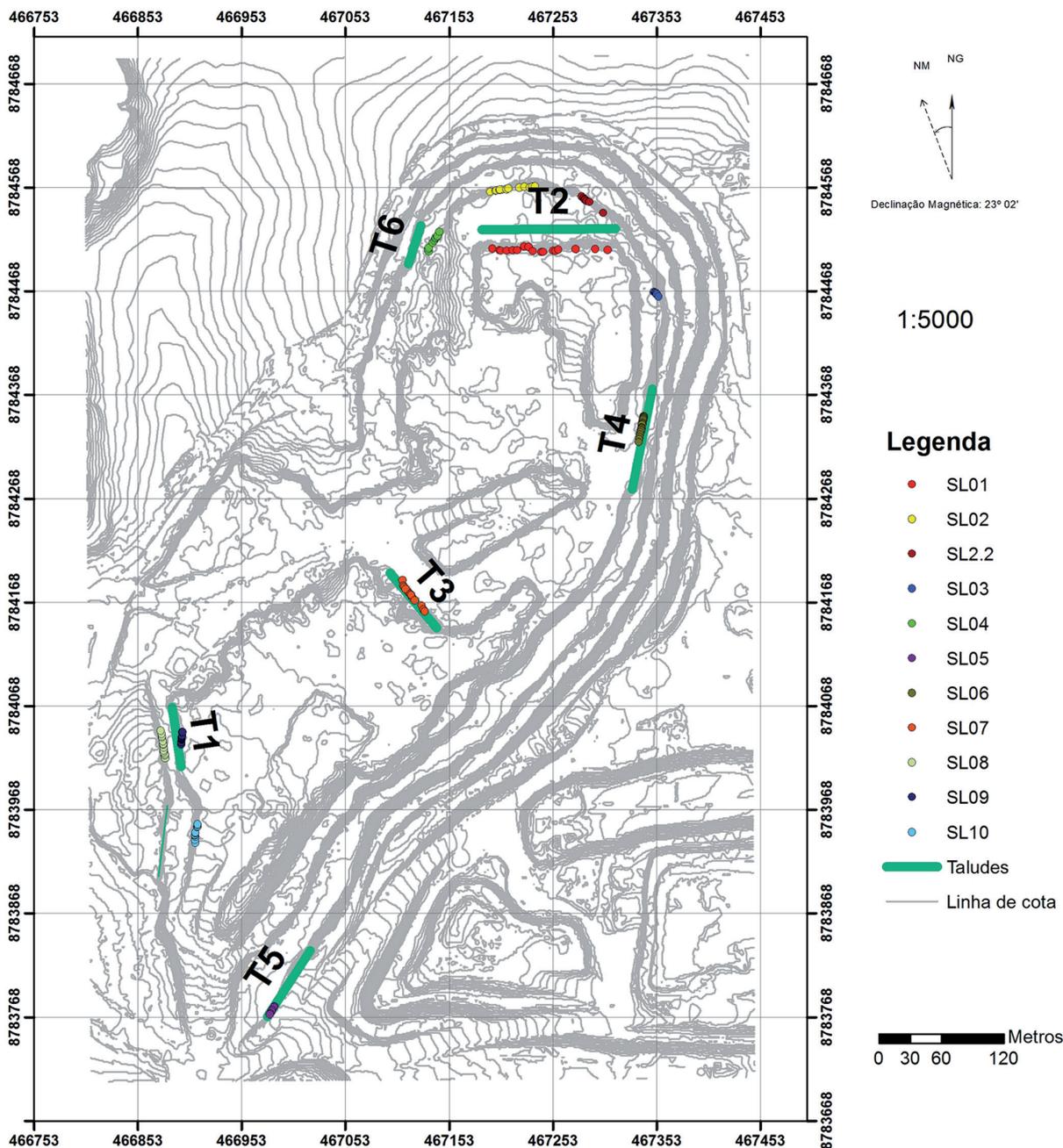


Figura 16 - Mapa de localização dos taludes com as scanlines realizadas.

3.2.1 Talude 1 (T1)

O T1 é constituído principalmente por xisto-carbonoso, com metadacitos imbricados na porção NW. O talude possui atitude de 102/60

e engloba as SL08 e SL09. Pela análise dos estereogramas (figura 17) há somente a possibilidade de ruptura por tombamento, ocasionada pela foliação.

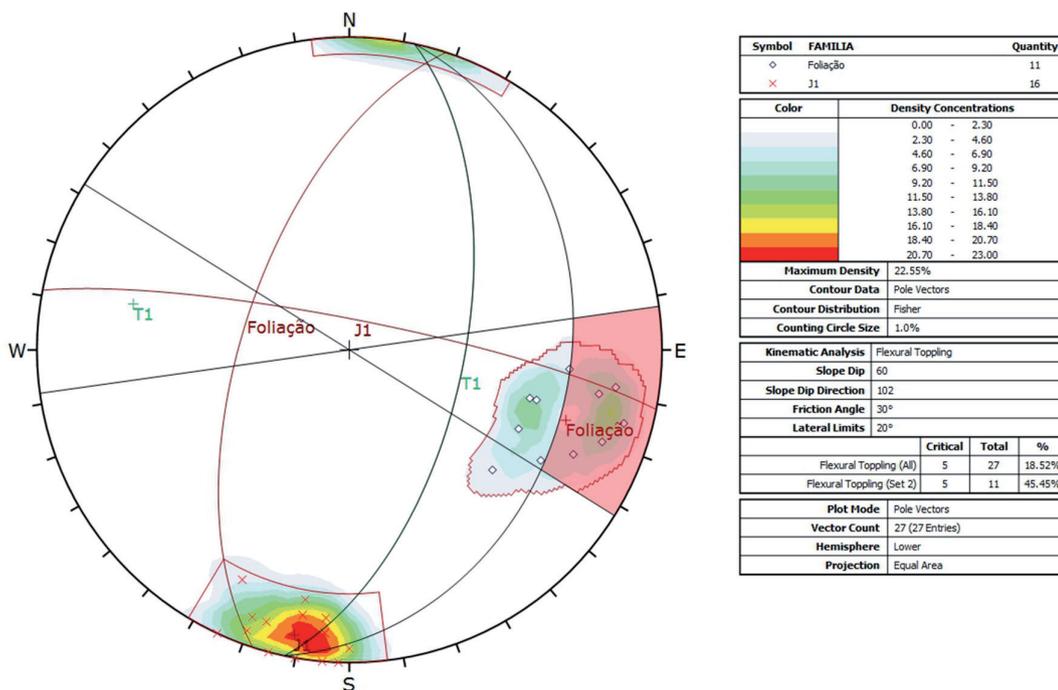


Figura 17 - Análise de ruptura por tombamento para o T1.

3.2.2 Talude 2 (T2)

O T2 é constituído por metadioritos, na parte mais W, metacacito, na parte central e xisto-carbonoso na parte E com atitude de 198/50 e engloba

as SL01, SL02 e SL2.2. Pela análise dos estereogramas (figura 18) há a possibilidade de ruptura por cunha, formadas pela intersecção da foliação com J3 e com J3.2.

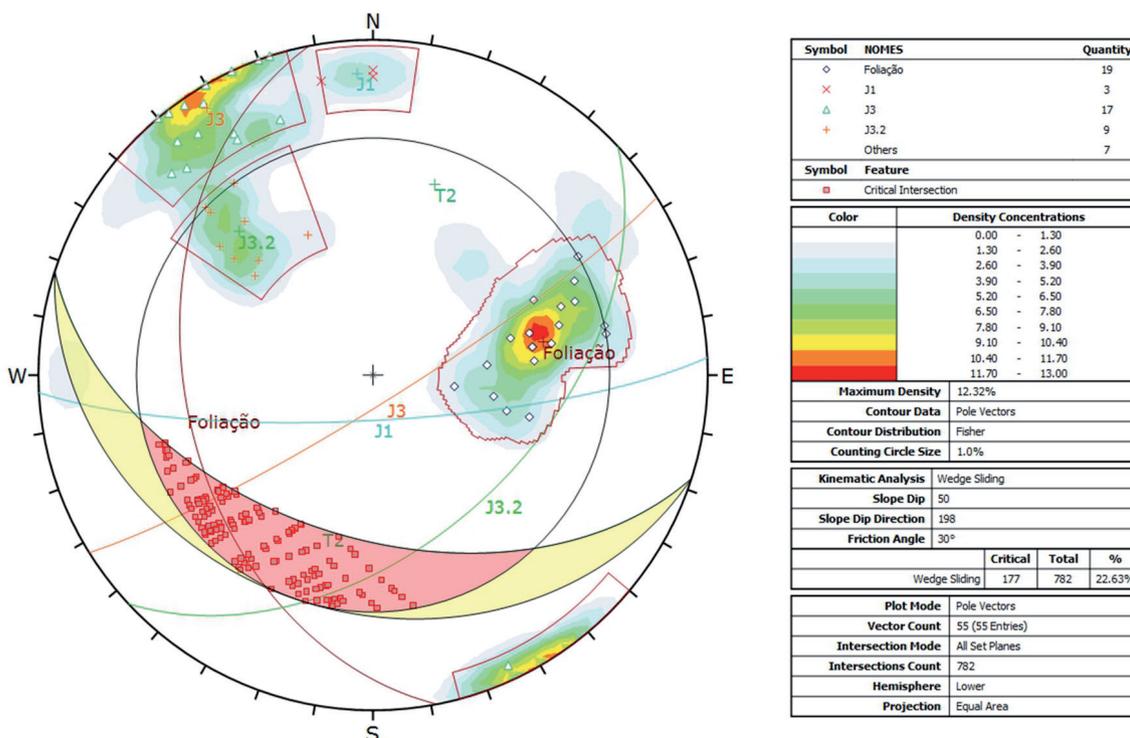


Figura 18 - Análise de ruptura por cunha para o T2.

3.2.3 Talude 3 (T3)

O T3 é constituído por xisto carbonoso na sua parte mais a NW e por um dacito na parte SE, a

atitude do talude é 250/50 e engloba somente a SL07. Pela análise dos estereogramas (figura 19) há apenas a possibilidade de ruptura por cunha, gerada pela intersecção da foliação com J3.2

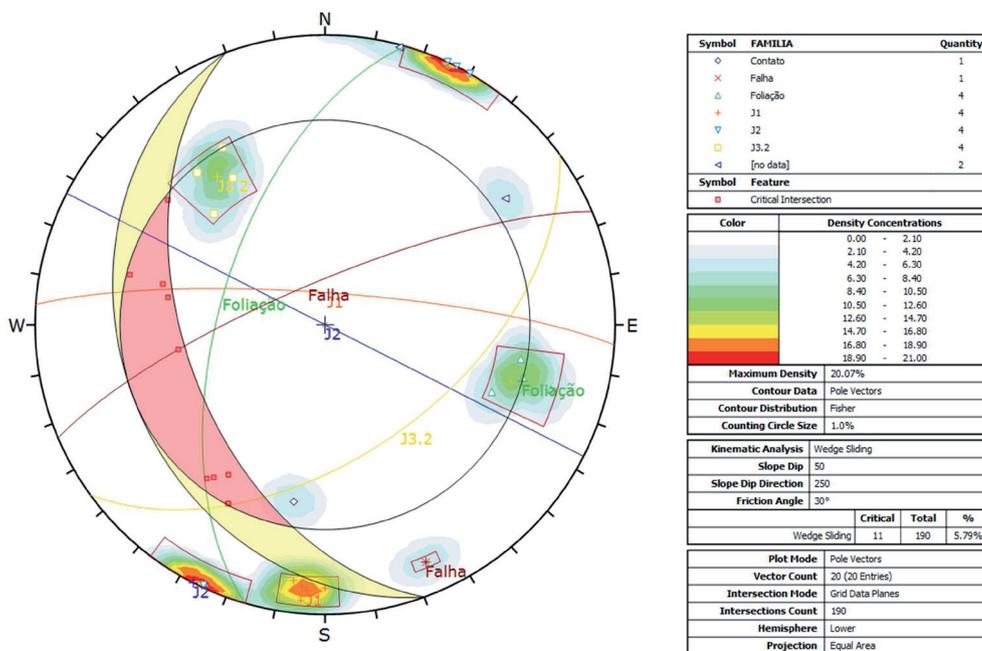


Figura 19 - Análise de ruptura por cunha para o T3.

3.2.4 Talude 4 (T4)

O T4 é constituído, em sua grande maioria, por xisto carbonoso, também há metadacito na sua parte mais norte. A atitude do talude é 302/60 e engloba somente a SL06. Pela análise dos

estereogramas (figura 20 e figura 21) há a possibilidade de ruptura por cunha, gerada pela intersecção da foliação com J3 e com a falha 1, e por tombamento, ocasionado pela J3, porém com uma probabilidade pequena (6%).

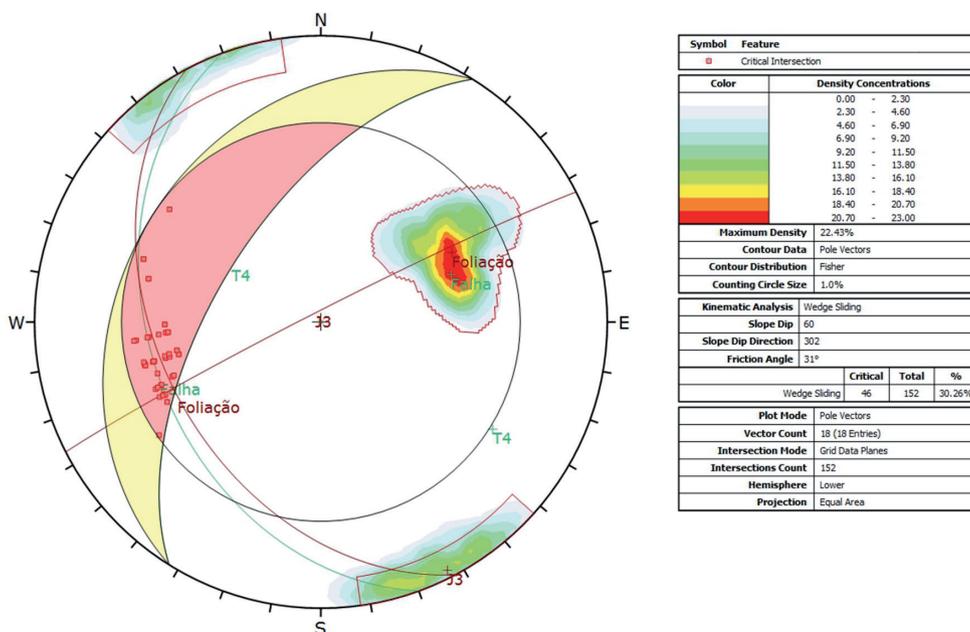


Figura 20 - Análise de ruptura por cunha para o T4.

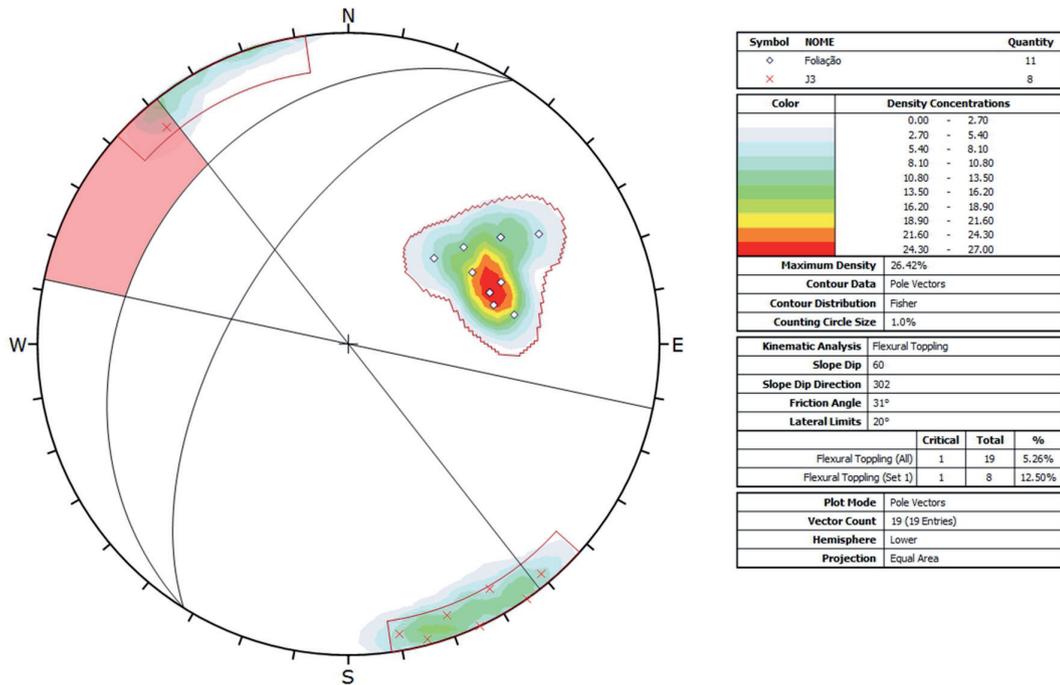


Figura 21 - Análise de ruptura por tombamento para o T4.

3.2.5 Talude 5 (T5)

O T5 é constituído unicamente por metadiacito. A atitude do talude é 323/45 e engloba somente a SL05. A análise dos estereogramas não indicou possibilidade de ocorrência de nenhum dos tipos de ruptura analisados.

3.2.6 Talude 6 (T6)

O T6 é constituído unicamente por metadiorito. A atitude do talude é 128/60 e contendo somente a SL04. A análise dos estereogramas não indicou possibilidade de ocorrência de nenhum dos tipos de ruptura analisados.

3.3 Classificação pelo sistema SMR com obtenção dos fatores por método gráfico

Como já ressaltado anteriormente, o sistema de classificação SMR (Slope Mass Rating) é calculado a partir da determinação de quatro fatores, que posteriormente são somados ao valor do RMR obtido porém desconsiderando o ajuste das direções das descontinuidades. Esses fatores

dependem da relação angular entre as descontinuidades que afetam o maciço rochoso e o talude em análise. Para obtenção desses fatores utilizou-se o método gráfico proposto por Tomás et al. (2012), e seus resultados serão mostrados a seguir.

Como o Talude 5 e 6 não apresentaram potencial de ruptura serão analisados somente os Taludes 1, 2, 3 e 4.

3.3.1 Talude 1

Em T1 há a possibilidade de ruptura por tombamento, portanto utilizou-se o diagrama da figura 4 para se obter o fator ψ . O maior valor possível para esse fator foi onde o pólo da foliação foi plotado, obtendo-se o valor de 0.85 (figura 22).

Para o fator F3 utilizou-se a metodologia de construção do diagrama para tombamentos, citada anteriormente (figura 7), o valor obtido foi -25 (figura 23). O valor do RMR utilizado foi 65.

Sendo assim o valor do SMR obtido para esse talude foi de 41.75, que segundo a classificação SMR é considerado um maciço razoável, porém no limite entre razoável e ruim.

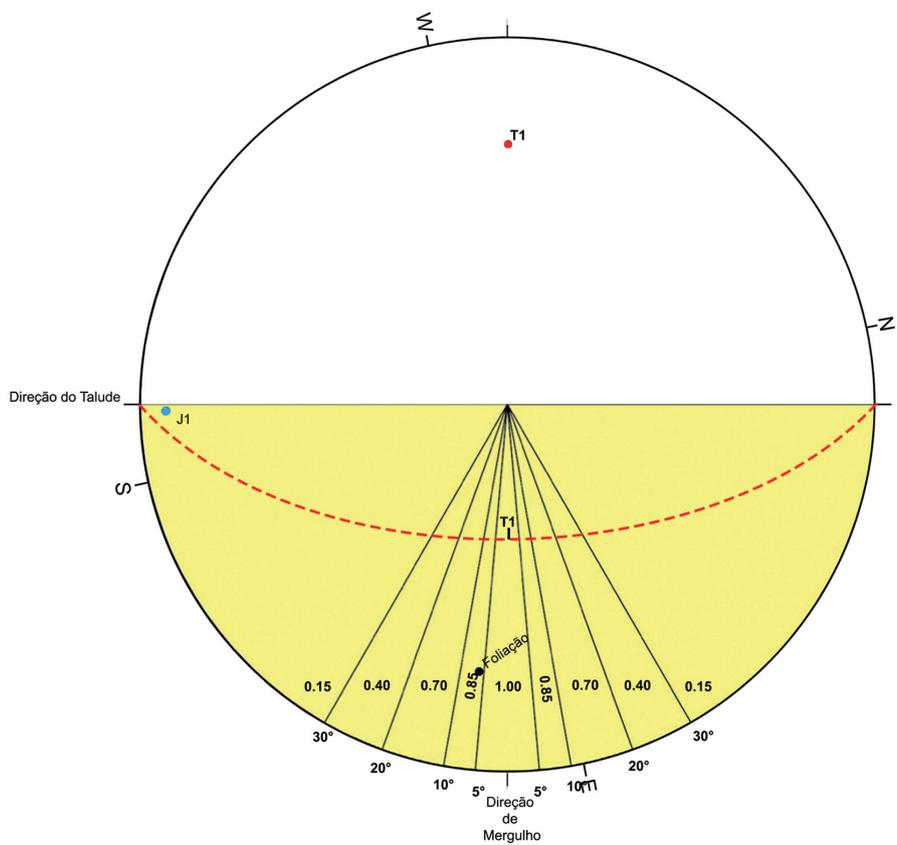


Figura 22 - fator $\psi = 0.85$ indicado pelo pólo da foliação.

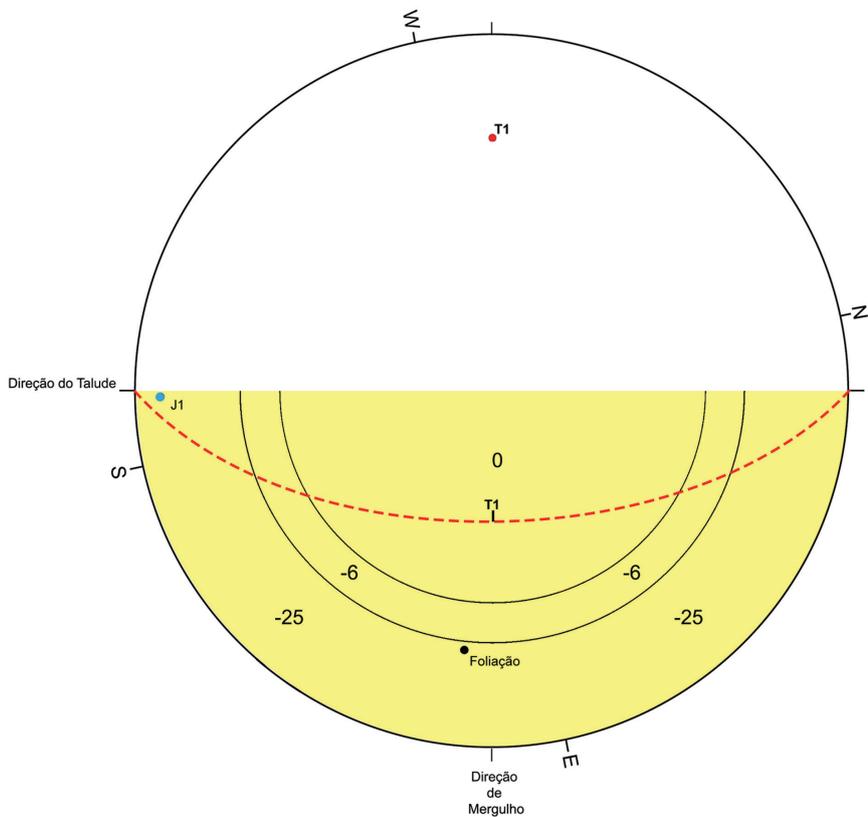


Figura 23 - $F3 = -25$ indicado pelo pólo da foliação

3.3.2 Talude 2

No talude T2 há a possibilidade de ruptura por cunha, o que levou a utilização do diagrama da figura 3 para se obter o fator ψ . O maior valor possível para esse fator foi onde J3.2 e a foliação se interceptam, obtendo-se o valor de 0.15 (figura 24).

Para o fator F3 utilizou-se a metodologia de construção do diagrama para cunhas proposta pelo método gráfico (figura 6), obtendo-se o valor de -60 (figura 25). O valor do RMR utilizado foi 63.

O valor do SMR obtido para esse talude foi de 54, que segundo a classificação SMR é considerado um maciço razoável.

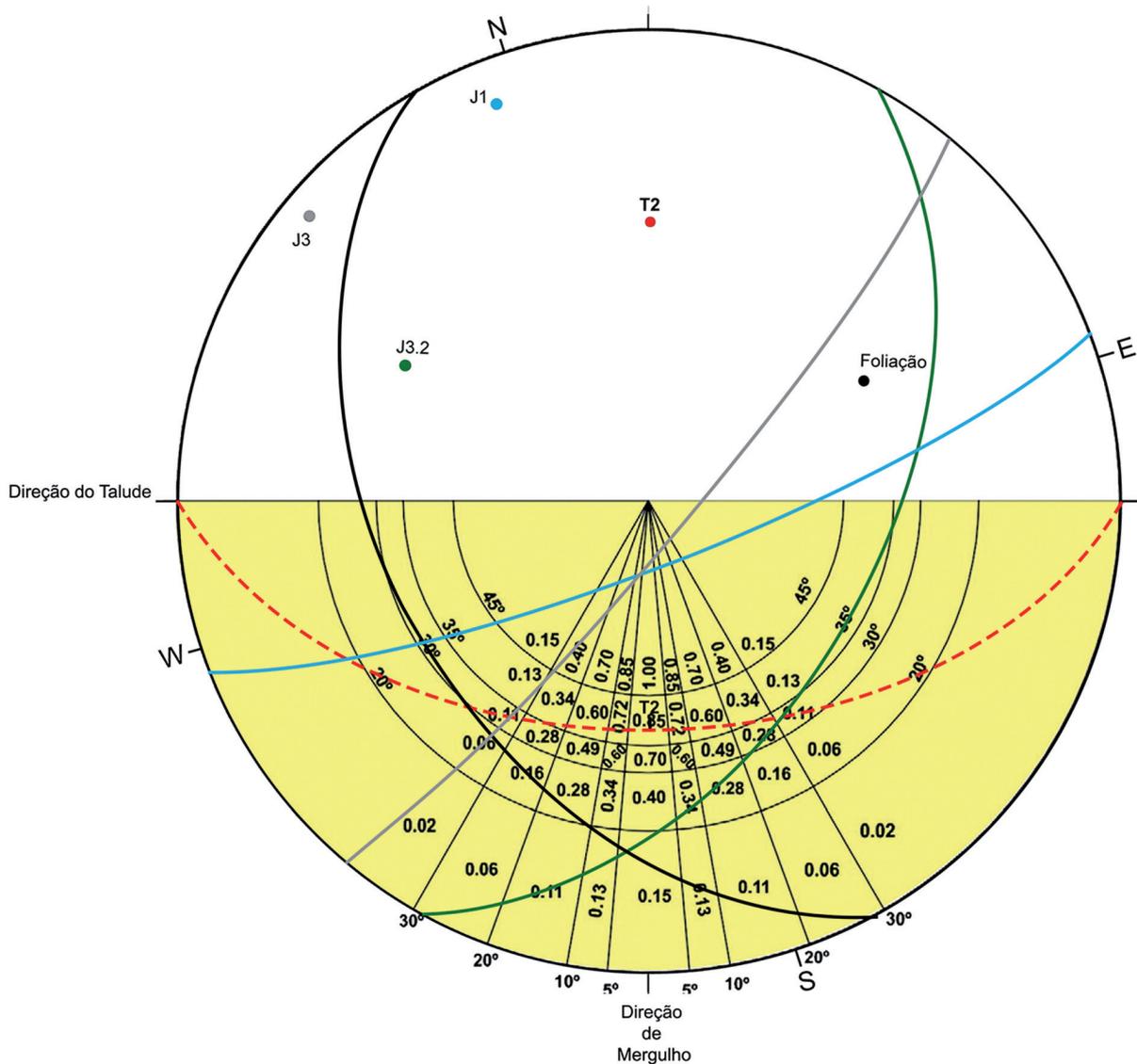


Figura 24 - fator $\psi = 0.15$ indicado pela intersecção dos planos de J3.2 e a foliação.

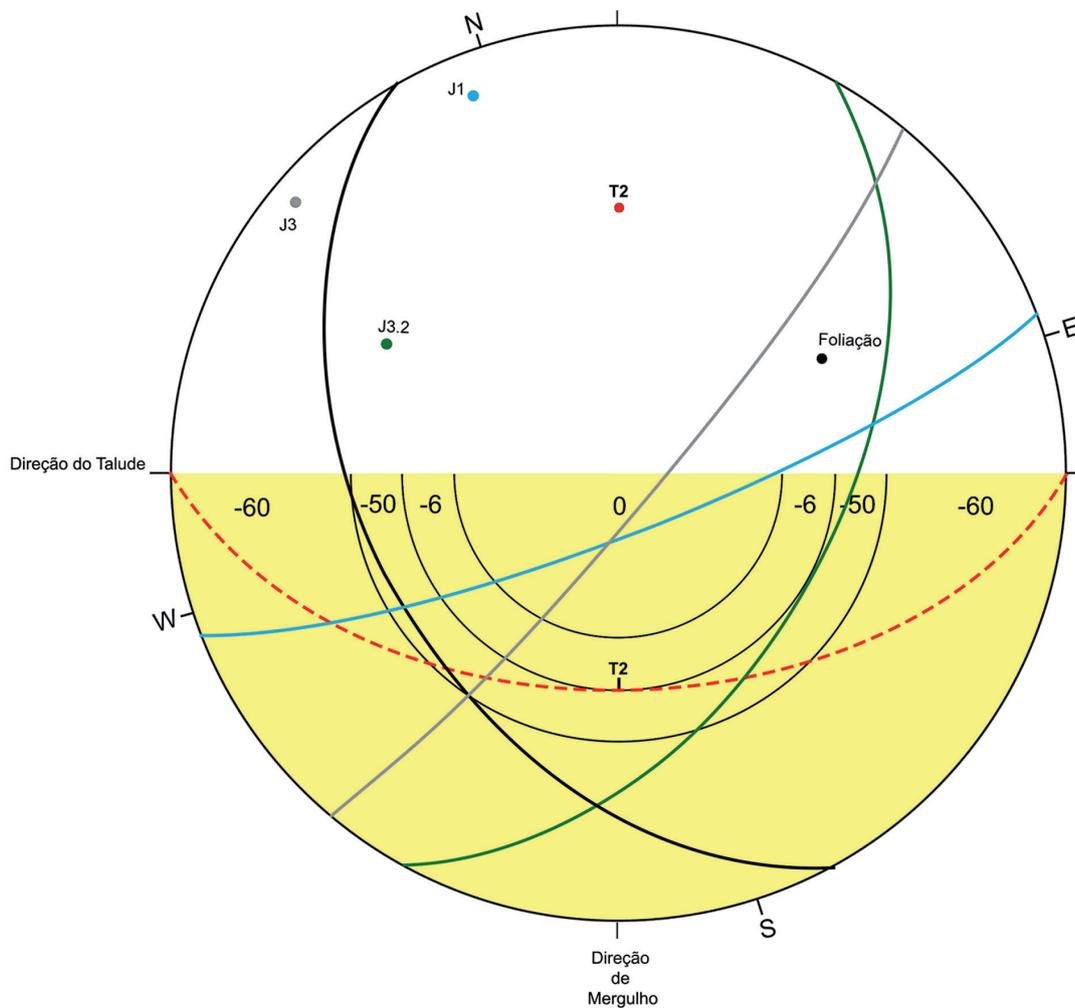


Figura 25 - $F_3 = -60$, indicado pela intersecção dos planos de J3.2 e a foliação.

3.3.3 Talude 3

Em T3 há a possibilidade de ruptura por cunha, para tal utilizou-se o diagrama da figura 7 para se obter o fator ψ . O maior valor possível para esse fator foi , novamente, onde J3.2 e a foliação se interceptam, obtendo-se o valor de 0.02 (figura 26).

Para a F3 utilizou-se a metodologia de construção do diagrama para cunhas, citada anteriormente (figura 10), o valor obtido foi -60 (figura 27). O valor do RMR utilizado foi 64.8.

O valor do SMR obtido para esse talude foi de 64.8, que segundo a classificação SMR é considerado um maciço bom.

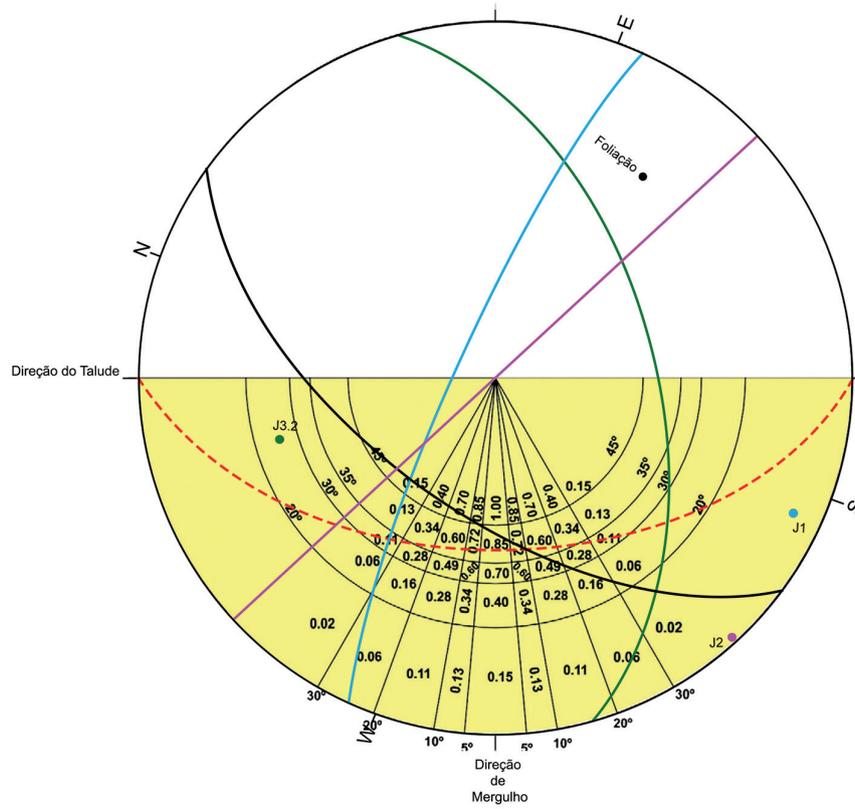


Figura 26 - $\psi = 0.15$ indicado pela intersecção dos planos de J3.2 e a foliação.

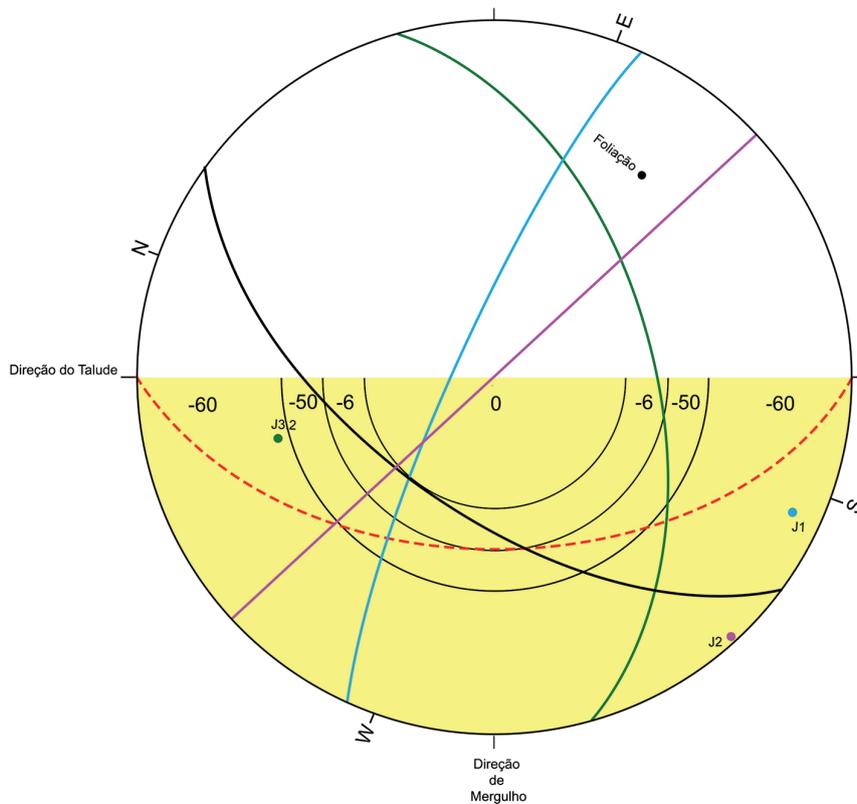


Figura 27 - $F3 = -60$, indicado pela intersecção dos planos de J3.2 e a foliação.

3.3.4 Talude 4

Em T4 há a possibilidade de ruptura por cunha e por tombamento. Para se obter o fator ψ utilizou-se os digramas figura 3 e figura 4, respectivamente. Para ruptura em cunha, o maior valor possível para o fator ψ foi 0.11 (figura 28), gerado pela intersecção do plano da foliação com J3. No caso de ruptura por tombamento, o valor obtido para o fator ψ foi 0.15 (figura 29), ocasionado por J3.

Para o fator F3 utilizou-se a metodologia de construção do diagrama para cunhas (figura 6) e para tombamento (figura 7), obtendo-se o calor de -60 para cunha (figura 30), e de -25 para tombamento (figura 31). O valor do RMR utilizado foi 63.

O valor do SMR obtido para esse talude foi de 56.4 para cunha e 59.25 para tombamento, que segundo a classificação SMR ambos são considerados maciços razoáveis.

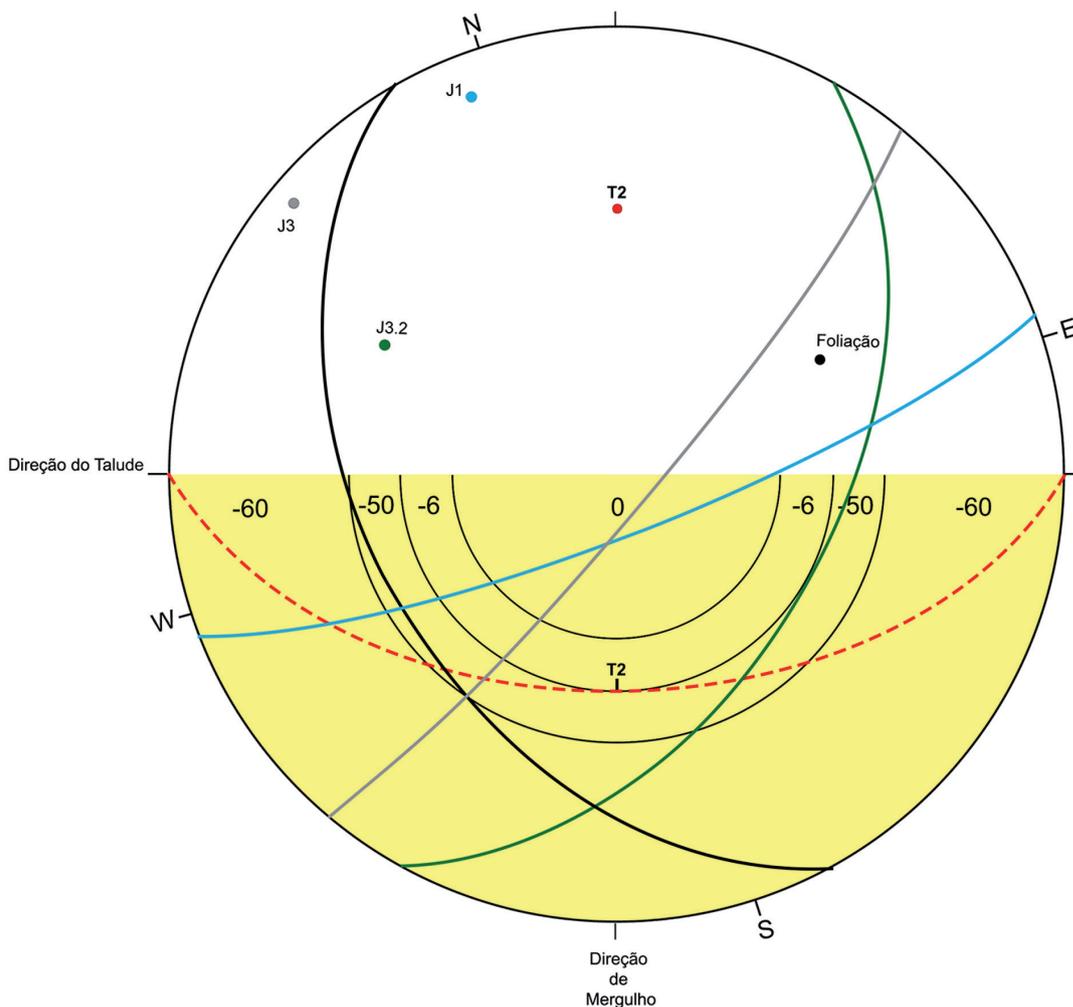


Figura 28 - $\psi = 0.15$ indicado pela intersecção dos planos de J3 e a foliação.

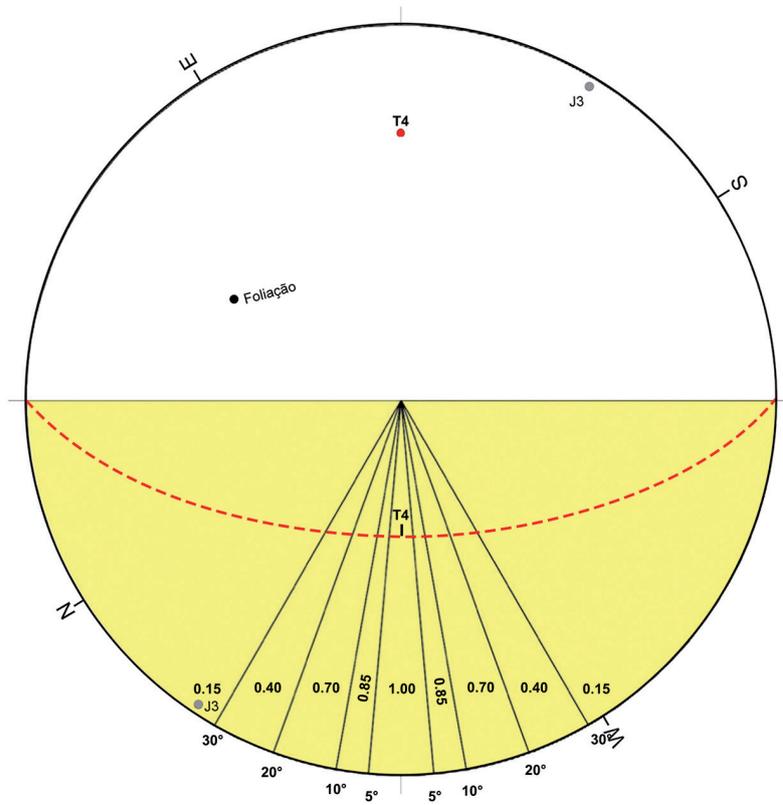


Figura 29 - $\psi = 0.15$ indicado pelo pólo de J3.

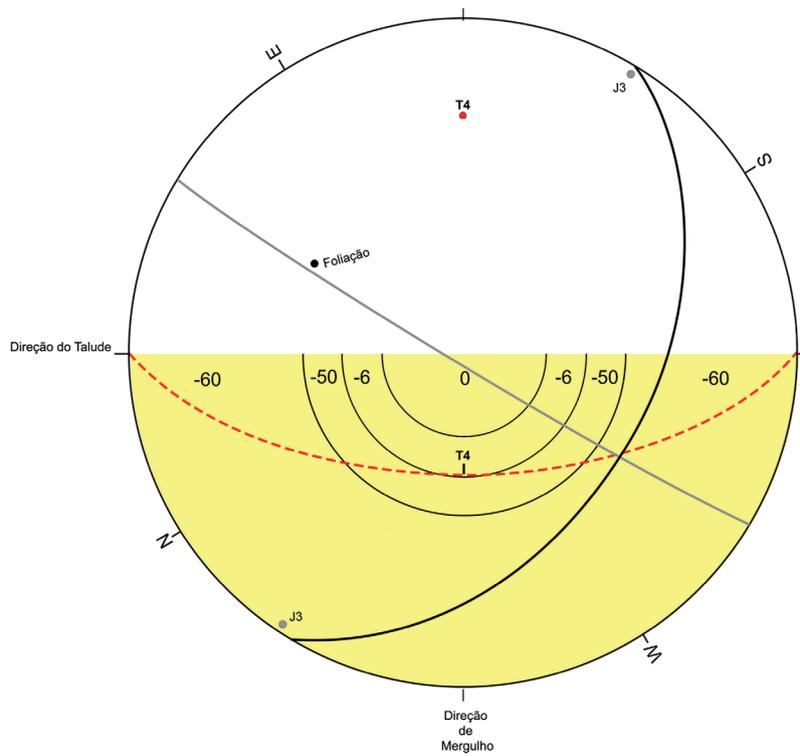


Figura 30 - $F_3 = -60$, indicado pela intersecção dos planos de J3 e a foliação.

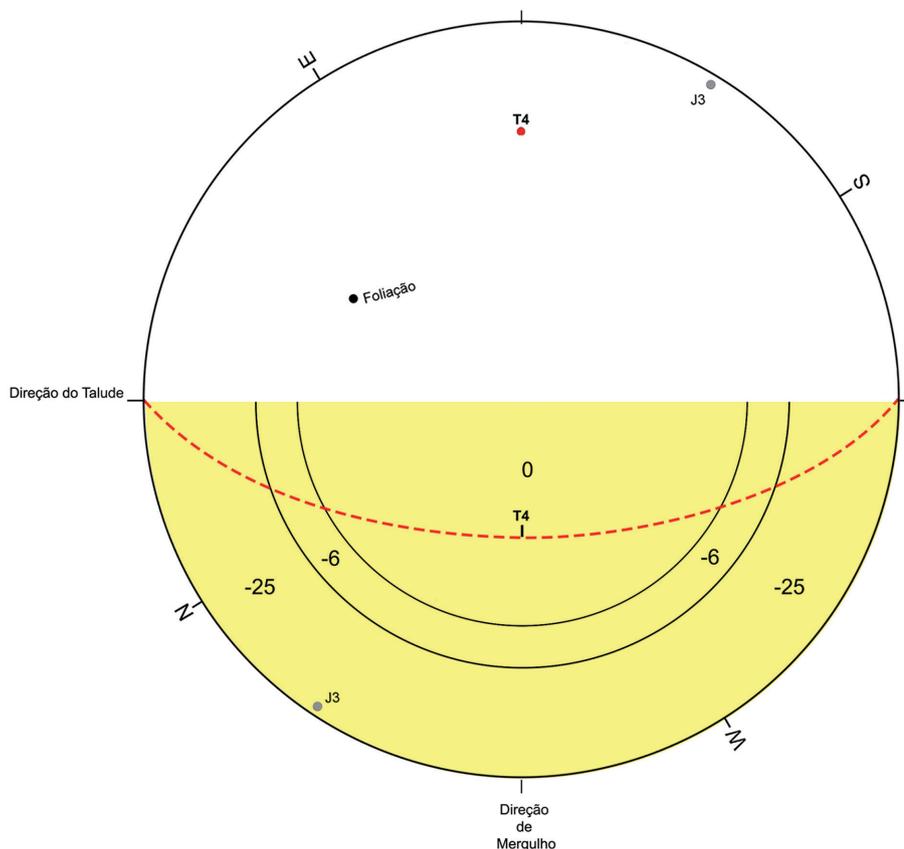


Figura 31 - F3 = -25, indicado pelo pólo de J3.

3.4 Comparação de resultados entre o SMR e o RMR

Observando o gráfico da figura 32 nota-se que RMR_b , em todos os taludes analisados, possui um valor maior do que o RMR e o SMR, todos classificados como bom.

Já o RMR e o SMR, na maioria dos taludes analisados, não mostraram grande divergência de valores, sendo todos eles classificados como Razoável,

porém no caso do talude 1 temos uma diferença de quase uma classe de maciço, pois o valor do SMR é próximo do considerado como ruim.

Isso nos mostra que, mesmo o maciço sendo considerado de boa qualidade, a presença de descontinuidades desfavoráveis pode fazer o talude ser classificado abaixo do esperado, mostrando como a orientação das juntas imperam sobre na classificação do talude segundo a metodologia RMR e SMR.

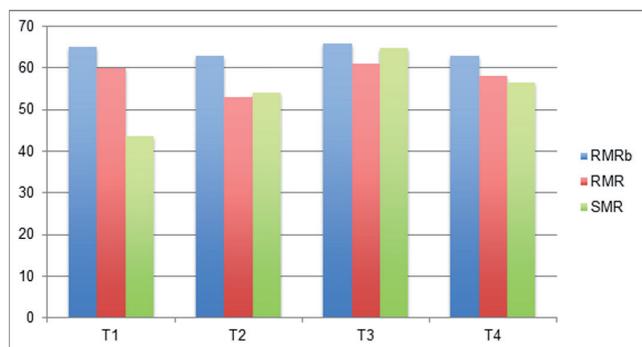


Figura 32 - Comparação entre os valores do RMRb, RMR e SMR.

4 CONCLUSÕES

Baseando-se nas informações coletadas na mina de Santaluz, Cava C1, foi realizada a classificação do maciço e a análise cinemática para assim realizar a comparação entre o RMR e o SMR.

Na classificação do maciço da mina tentou-se comparar as metodologias adotadas (Q, RMR e SMR), notando-se uma clara diferença entre a classificação segundo a litologia, sendo o xisto-carbonoso a mais problemática.

Obtenção dos fatores do SMR sugerida por Tomás et al. (2012) se mostrou rápida e de fácil execução, facilitando a aquisição dos valores dos fatores.

O sistema SMR e RMR possuem resultados similares classificando a maioria dos taludes como razoáveis, sendo, somente o talude 1, classificado como razoável pela RMR, está no limiar de razoável - ruim na classificação SMR.

Através das análises realizadas nota se que os valores do RMR são mais otimistas que os apresentados pelo sistema Q, entretanto o RMR_b apresentou resultados divergentes da realidade do maciço, deixando claro que se tratando de taludes, considerar a orientação das discontinuidades é de extrema importância.

Em relação ao sistema Q e RMR, as regiões do maciço mais integras possuem resultados semelhantes, como observado no metadiorito da SL02, porém onde a rocha está mais fraturada o sistema Q apresenta resultados consideravelmente mais baixos, como observado no xisto-carbonoso da SL06.

Isso ocorre um vez que a classificação RMR prioriza à qualidade da rocha, enquanto o sistema

Q considera mais importante o número de famílias de discontinuidades e as suas condições. Dessa forma se um trecho apresentar diversas famílias de discontinuidades mas bem espaçadas, o sistema Q, em relação ao RMR, obterá valores mais baixos.

REFERÊNCIAS

- Barton N., Lien R., Lunde J. 1974. Engineering Classification of Rock Masses for Design of Tunnel Support. *Rock Mechanics*, 6: 189-236
- Bieniawski Z.T. 1973. Engineering classification of jointed rock masses. *Trans. S. Afric. Inst. Civil Eng.*, 15: 335-344.
- Bieniawski Z.T. 1976. Rock mass classifications in rock engineering. In: *South African Institution of Civil Engineers, Symposium on Exploration for Rock Engineering, Proceedings*, p.: 97-106.
- Bieniawski Z.T. 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*. John Wiley & Sons, 251 p.
- Bieniawski Z.T. 1993. Classification of Rock Masses for Engineering: The RMR System and Future Trends. In: *Comprehensive Rock Engineering: Principles, Practice & Projects*, Editor: John A. Hudson. Imperial College of Science, Technology & Medicine, London, UK, vol 3, cap 22, p.: 553-573.
- Deere D.U. & Deere D.W. 1988. The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. In: *ASTM, Symp. Rock Classification for Engineering Purposes*, ASTM Special Technical Publication 984, p.: 91-101.
- Gonzalez de Vallejo L.I. 1983. A new rock classification system for underground assessment using surface data. In: *LNEC, International Symposium On Engineering Geology And Underground Construction, Proceedings*, LNEC, Lisbon, p.: 85-94.
- ISRM - International Society for Rock Mechanics. 1981. Basic geotechnical description of rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 18:85-110.
- Irigaray C., Fernández T., Chacón, J. 2003. Preliminary rock-slope-susceptibility assessment

- using GIS and the SMR classification. *Natural Hazards*, 30:309-324.
- Laubscher D.H. 1977. Geomechanics classification of jointed rock masses - minning applications. *Trans. Min. Metall.*, 86: A1-8.
- Lauffer H. 1958. Gebirgsklassifizierung für den stollenbau. *Geol. Bauwesen*, 24:46-51.
- Priest S.D. 1993. *Discontinuity analysis for rock engineering*. Chapman&Hall, London, 467p.
- Robertson A.M. 1988. Estimating weak rock strength. In: AIME - SME, Annual Meeting, Phoenix AZ, p.:1-5.
- Romana M. 1985. New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. In: ISRM, Int. Symp. on the role of rock mechanics in Excavations for mining and civil works, Proceedings, Mexico City, p.: 49-53.
- Rabcewicz L.V. 1964. The New Austrian Tunneling Method, Part one, *Water Power*, November 1964, 453-457, Part two, *Water Power*, December 1964, 511-515.
- Romana M. 1993. A geomechanical classification for slopes: slope mass rating. In: *Comprehensive Rock Engineering: Principles, Practice & Projects*, John A. Hudson (Ed.). Imperial College of Science, Technology & Medicine, London, UK, vol 3, cap 23, p.: 553-573.
- Serafim J.L., Pereira J.P. 1983. Consideration of the geomechanics classification of Bieniawski. In: *Proc. Int. Symp. International Symposium On Engineering Geology And Underground Construction*. Lisbon, v. 1, pp. II 33- II-42, LNEC, Lisbon.
- Serra Junior, E., Ojima L.M. 1998. Caracterização e classificação de maciços rochosos. In: A.M.S. Oliveira & S.N.A. Brito (eds) *Geologia de Engenharia*. ABGE, p.:211-226.
- Singh B. & Goel. R.K. 1999. *Rock Mass Classification: A Practical Approach in Civil Engineering*. Elsevier Science Ltd. Kidlington, Oxford, UK. ISBN 9780080430133.
- Terzaghi K. 1946. Rock Defects and loads on tunnel supports. In: *Rock tunneling with steel supports* (eds. R.V. Proctor & T. White, Commercial Shearing Co. Youngstown, p.: 17-99.
- Tomás R., Cuenca A., Cano M., García-Barba J. 2012. A graphical approach for slope mass rating (SMR). *Engineering Geology*, 124:67-76.
- Wickham G. E., Tiedermann H. R., Skinner E.W. 1972. Support determination based on geologic predictions. In: AIME, Conf. Rapid Excavation and Tunneling, Proceedings, New York, p.: 43-64.

