



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



Seminário de Graduação em Geologia
MONOGRAFIA

Aplicação da classificação geomecânica *Slope Mass Rating* (SMR) em uma
pedreira de mármore no distrito de Itaoca, estado do Espírito Santo, Brasil

Autor: Garion Guidotti de Souza dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Marcos E. Hartwig

Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre R. dos Santos

ALEGRE, ES
NOVEMBRO/2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



Seminário de Graduação em Geologia
MONOGRAFIA

Uso da classificação geomecânica *Slope Mass Rating* (SMR) em uma pedreira de mármore no distrito de Itaoca, estado do Espírito Santo, Brasil

Garion Guidotti de Souza dos Santos

“Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Geólogo pela Universidade Federal do Espírito Santo”

ALEGRE, ES
NOVEMBRO/2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



Seminário de Graduação em Geologia
MONOGRAFIA

Uso da classificação geomecânica *Slope Mass Rating* (SMR) em uma pedreira de mármore no distrito de Itaoca, estado do Espírito Santo, Brasil

Garion Guidotti de Souza dos Santos

“Monografia apresentada e aprovada como requisito parcial para a obtenção do título de Geólogo pela Universidade Federal do Espírito Santo”

Orientador Prof. Dr. Marcos E. Hartwig

Co-orientador Prof. Dr. Alexandre R. dos Santos

Examinador Eng. Minas Celso Luiz Teixeira

Examinador Prof. Dr. Rogério Ribeiro (EESC-USP)

ALEGRE, ES
NOVEMBRO/2019

Dedico esse trabalho a minha mãe Caroline Maria Guidotti de Souza, ao meu pai José Carlos dos Santos, a minha bisavó Noemi Rocha e a minha avó Donésia Ferreira dos Santos por acreditarem em mim, por estarem sempre me apoiando e dando suporte para minha construção pessoal e profissional, servindo como verdadeiros modelos de vida.

“Se eu enxerguei mais longe, foi porque
me apoiei no ombro de gigantes”
(Isaac Newton)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, ao meu anjo da guarda e meus guias espirituais por estarem me guiando e fortalecendo nessa jornada. Aos meus pais, minha irmã Sophia Guidotti de Souza, meu irmão Pedro Okuyama, minha avó Donésia e ao meu primo Felipe Rubens por me ajudarem nos momentos difíceis e gostaria de acrescentar/desejar aos leitores desse meu agradecimento, uma base familiar forte para ajudar nos momentos de tormenta, pois sem uma base familiar e espiritual fortalecida, as chuvas se tornam tempestades.

Gostaria de agradecer imensamente ao profº Alexandre Rosa por estar comigo por toda a caminhada universitária, me adotando, confiando em mim, me mostrando o real valor do conhecimento e que podemos fazer de tudo, basta querermos. Meus intensos agradecimentos ao meu orientador Marcos Hartwig, Clayton Janoni, Caio Turbay, Rodson Abreu, Ariadne Marra, Caroline Cibele, Paulo de Tarso, Juan Ayala, Marilane Gonzaga, Fabrícia Brenda, Éder Moreira, Jenesca Florencio e Mirna Neves pela dedicação do tempo, fornecimento de experiências... ajudando a formar minha base profissional e uma parcela do que sou hoje. Agradeço aos demais servidores da UFES (motoristas e funcionários [tios e tias] do RU), a família do seu Orestes e da dona Lúcia, que permitiu adotar Cyborg nas minhas caminhadas de reflexão. E principalmente aquela que me adotou como neto nesses, durante 4 anos, e tem papel fundamental na minha vida pessoal, me mostrando que o mundo é feito de pessoas boas e de bons corações, que mesmo todos fazendo errado, o certo sempre será o certo, que sejamos então a mudança que o mundo precisa, mudando a nós, nos amando, para amarmos o próximo..... obrigado por tudo minha “vovó pretinha” (palavras dela) Dona Sirene.

Gostaria de agradecer também a todos que me ajudaram, direta ou indiretamente, a chegar nessa conquista, aos meus familiares tio Neno, tia Impera, tio Tiago, tio André, tio Neto, tio Maurício, vó Magali e Irani, vô Antônio. Aos meus professores do Colégio Objetivo que me deram a base formacional que tenho, aos meus amigos Vitor Alves (meu irmão de vida), Andrei Peres Júnior (best da zueira), Daniel Moore (esse viado sumiu), Tamires Velasco (minha Best das metas), Cassiano Neves Bragança (nosso futuro imperador), Franciane Babinski (a minha Best da ostentação), Leticia Quinelato (rottweiler de 1,50m), Marcel Sarcinelli (fechamento dos estudos) e Rafael Carlos Santana (best das putarias), ao meu amigo Rickson Bicalho (enciclopédia mineralógica), Weliton Sartorio, a SEEQUENT (Luciene Taurinho, Vinicius Figueiredo, Bartira Carv. e Frederic Vand.) e ao Centro Espírita Amor e Caridade por ajudarem no meu aprendizado espiritual.

Algumas pessoas entram nas nossas vidas como aprendizado, outras para nosso crescimento, outras para ensinarmos, outras para caminharmos. E entrou uma agora, aos 45 do segundo tempo, a qual pretendo levar para a vida, me mostrando que nada é por acaso, obrigado Lays Oliveira.

E gostaria de encerrar os agradecimentos, agradecendo a minha pessoa, pois nada disso teria acontecido se não fosse as ações que tomei dos pensamentos formados.

Que se encerre um ciclo e que comece outro, vamos com tudo...

RESUMO

Os sistemas de classificação geomecânica são de extrema importância para avaliação das condições de estabilidade de taludes em projetos de engenharia e mineração. A classificação *Slope Mass Rating* é uma das mais aceitas e utilizadas internacionalmente. No presente estudo, aplicou-se a primeira versão de 1985 da classificação SMR para o estudo das condições de estabilidade de uma pedreira de mármore, pertencente a Vale, localizada no município de Itaoca, estado do Espírito Santo, Brasil. Nesta versão da classificação, as rupturas em cunha não são consideradas. A classificação SMR é uma modificação da classificação *Rock Mass Rating* - RMR, originalmente desenvolvida para aplicações subterrâneas. Nela são utilizados, combinadamente, dados estruturais e dados da classificação RMR. Ambos foram obtidos a partir de outros trabalhos realizados na área de estudo. Os taludes da área de estudo estão divididos em três setores: NW, NE e SE. O talude NE apresenta três bancadas denominadas aqui de NE1, NE2 e NE3. Os resultados mostraram que os maciços apresentam em geral boas condições de estabilidade (classe SMR II), o que significa que necessitam apenas de cuidados simples, como limpeza e tratamentos pontuais. O talude NE2, por outro lado, apresentou uma classificação ruim (classe SMR IV), necessitando de tratamentos mais pesados. Contudo, rupturas do tipo planar foram observadas no talude NE1 da pedreira, que possui segundo a classificação boas condições de estabilidade. Isso pode ser decorrente da amostragem dos dados estruturais, que se concentram na base das faces expostas dos taludes.

Palavras Chave: *Engenharia Geotécnica. Análise de ruptura. Análise Cinemática. Estabilidade de taludes. Suporte de taludes*

ABSTRACT

Geomechanical classification systems are extremely important for assessing the slope stability conditions of engineering and mining projects. The Slope Mass Rating is one of the most widely accepted and used internationally. In the present study, the first 1985 version of the SMR classification was applied to study the stability conditions of a marble quarry located in the city of Itaoca, ES. In this version of the classification, wedge breaks are not considered. The SMR rating is a modification of the Rock Mass Rating - RMR rating, originally developed for underground applications. It uses structural data and RMR classification data in combination. Both were obtained from other studies carried out in the study area. The slopes of the study area are divided into three sectors: NW, NE and SE. The slope NE has three benches called here NE1, NE2 and NE3. The results showed that the massifs generally have good stability conditions (SMR II class), which means that they only need simple care, such as cleaning and punctual treatments. The slope NE2, on the other hand, presented a bad classification (class SMR IV), requiring heavier treatments. However, planar ruptures were observed in the quarry slope NE1, which has good stability conditions according to the classification. This may be due to the sampling of structural data, which focuses on the base of the exposed faces of the slopes.

Keywords: *Geotechnical Engineering. Rupture analysis. Kinematic analysis. Slope stability. Slope support.*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	2
2	MATERIAIS E MÉTODOS	4
3	ASPECTOS GEOLÓGICOS	5
3.1.	ORÓGENO ARAÇUAÍ	5
3.2.	GEOLOGIA REGIONAL	6
3.2.1.	GEOLOGIA ESTRUTURAL E METAMORFISMO REGIONAIS	8
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
4.1.	ANÁLISE CINEMÁTICA DE ESTABILIDADE DE TALUDES	10
4.1.1.	RUPTURA PLANAR	10
4.1.2.	RUPTURA POR TOMBAMENTO (FLEXURAL)	12
4.2.	CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA SMR – <i>SLOPE MASS RATING</i> (ROMANA, 1985)	14
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
5.1.	CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA RMR	16
5.2.	ANÁLISE ESTRUTURAL E CINEMÁTICA	17
5.3.	ANÁLISE ESTRUTURAL	17
5.3.1.	TALUDE NE1	17
5.3.2.	TALUDE NE2	18
5.3.3.	TALUDE NE3	19
5.3.4.	TALUDE SE	19
5.3.5.	TALUDE NW	20
5.4.	ANÁLISE CINEMÁTICA	21
5.4.1.	TALUDE NE1	21
5.4.2.	TALUDE NE2	22
5.4.3.	TALUDE NE3	22
5.4.4.	TALUDE SE	23
5.4.5.	TALUDE NW	24
5.5.	CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA SMR	24
6	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO	26
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo.....	2
Figura 2. Identificação dos setores da pedreira (NW, NE e SE) e a divisão das bancadas para o talude NE.....	3
Figura 3. Mapa geológico da área de estudo baseado em Silva (1993).....	8
Figura 4. Mecanismos de ruptura comumente observados em maciços rochosos estruturados.....	10
Figura 5. Geometria de um talude sujeito a ruptura planar: (a) seção transversal exibindo os planos formando a ruptura planar; (b) planos adjacentes responsáveis pela liberação de blocos; e (c) condição na qual o plano de deslizamento intercepta a crista do talude.Fonte: Modificado de Wyllie e Mah, 2004.....	11
Figura 6. <i>Overlay</i> para a identificação das famílias de descontinuidades que podem provocar ruptura planar.Fonte: Hartwig (notas de aula).....	12
Figura 7. Modo de ruptura por tombamento flexural.Fonte: Modificado de Wyllie e Mah, 2004.....	13
Figura 8. <i>Overlay</i> para análise cinemática por tombamento flexural. Fonte: Hartwig (notas de aula).....	13
Figura 9. Recomendações de tratamento do maciço segundo a classificação geomecânica SMR (Romana, 1985). Fonte: Adaptado de Romana (1985).....	16
Figura 10. Estereograma de contorno de pólos de juntas para o Talude NE1.....	18
Figura 11. Estereograma de contorno de pólos de juntas para o Talude NE2.....	18
Figura 12. Estereograma de contorno de pólos de juntas para o Talude NE3.....	19
Figura 13. Estereograma de contorno de pólos de juntas para o Talude SE.....	20
Figura 14. Estereograma de pólos de juntas para o Talude NW.....	20
Figura 15. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o talude NE1.....	21
Figura 16. Grande ruptura planar afetando o talude NE1.....	21
Figura 17. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o Talude NE2.....	22
Figura 18. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o Talude NE3.....	22
Figura 19. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o Talude SE.....	23

Figura 20. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o Talude NW.....24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Unidades litoestratigráficas presentes no Complexo Paraíba do Sul.....	6
Tabela 2. Fatores de ajuste da classificação geomecânica SMR (Romana, 1985). Fonte: Adaptado de Romana (1985).....	15
Tabela 3. Significado das classes geomecânicas SMR (Romana, 1985). Fonte: Adaptado de Romana (1985).....	15
Tabela 4. Classificação geomecânica média para os taludes da área de estudo. Fonte: Boulhosa (2018).....	17
Tabela 5. Geometria dos taludes estudados.....	17
Tabela 6. Síntese das famílias de descontinuidades que podem provocar rupturas para os taludes estudados.....	25
Tabela 7. Síntese dos valores de SMR calculados para as diferentes famílias de descontinuidades para os taludes estudados.....	25
Tabela 8. Tratamentos sugeridos pela classificação SMR para cada um dos taludes estudados.....	25

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de classificação geomecânica tem sido amplamente utilizados na engenharia geotécnica nos últimos 75 anos em todo o mundo, com o intuito de mensurar e avaliar a qualidade e as condições de estabilidade de maciços rochosos em escavações de talude, na mineração e em empreendimentos civis de infraestrutura como túneis (BIENIAWSKI, 1989). Estes sistemas se baseiam na atribuição de notas a respeito de diversos parâmetros do maciço rochoso a partir de pontos de amostragem, sendo que o resultado final indicará a qualidade do maciço rochoso e qual o sistema de suporte mais adequado a se empregar.

O sistema de classificação geomecânica *Slope Mass Rating* – SMR (ROMANA, 1985) é um dos mais utilizados para a avaliação das condições de estabilidade de taludes em rocha. Nesta classificação, os valores variam entre 0 e 100, sendo que 0 corresponde a um maciço muito ruim e 100 o oposto. De acordo com o valor SMR, se obtém cinco classes de estabilidade de maciço e seis classes de tratamento. Em suas variáveis, além de considerar os parâmetros utilizados na classificação *Rock Mass Rating* – RMR (BIENIAWSKI, 1989), a qual é amplamente adotada em escavações de túneis, ainda considera os modos de ruptura do maciço rochoso (e.g. planar e tombamento), que pode ser determinado a partir das relações geométricas entre a atitude dos planos de descontinuidade e a atitude do talude.

Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi o de aplicar a classificação geomecânica *Slope Mass Rating* - SMR (ROMANA, 1985) aos taludes de uma pedreira localizada no distrito de Itaoca, município de Cachoeiro de Itapemirim, região sul do estado do Espírito Santo, Brasil (Figura 1). Trata-se de uma pedreira inativa da Vale, a qual era utilizada no processo de pelletização do minério de ferro da empresa em Vitória, ES. Os taludes dessa pedreira vêm apresentando problemas de estabilidade.

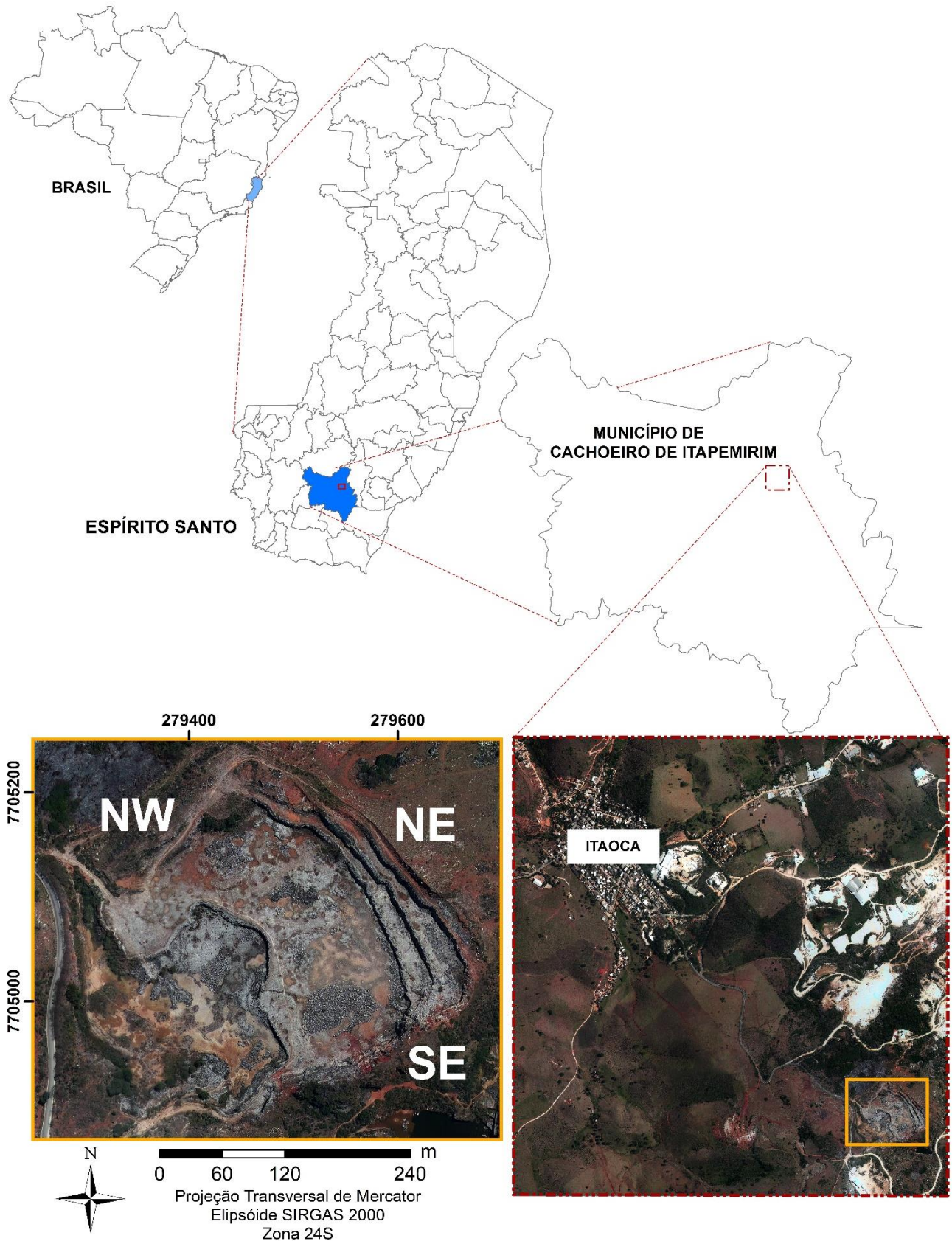


Figura 1. Localização da área de estudo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Dados de classificação RMR (BOULHOSA, 2018);
- Dados estruturais (SANTOS, 2018)
- Software *EXCEL*® (Microsoft)
- Software *Dips*® (Rocscience).

A área de estudo está dividida em três setores: NW, NE e SE. O setor NE possui três bancadas, denominadas como NE1, NE2 e NE3, de aproximadamente 10 metros de altura cada, enquanto os demais, apenas uma única bancada (Figura 1 e 2). Para a uso da classificação *Slope Mass Rating - SMR* (ROMANA, 1985), inicialmente determinou-se visualmente, por meio de estereogramas, as famílias de descontinuidades a partir dos dados estruturais, conforme Carneiro (1996). Os dados estruturais foram coletados por Santos (2018) por meio da técnica das *scanlines* (ou linhas de varredura), cuja extensão foi de 55 m. As famílias de descontinuidades foram identificadas para cada uma das bancadas de cada setor da mina. Em seguida, procedeu-se com a análise cinemática de estabilidade destes taludes (HUDSON; HARRISON, 1997). A classificação *Rock Mass Rating – RMR*, possui diversas atualizações entre os anos 70 e 80. Boulhosa (2018) utilizou a versão de Bieniawski (1989) a cada 5 m. Devido ao fato dos valores RMR possuírem pequena variação, adotou-se a média de seus valores para cada uma das bancadas. Finalmente, de posse da geometria dos taludes (direção e mergulho médios), procedeu-se com o emprego da classificação SMR para cada uma das famílias de descontinuidades que poderiam provocar rupturas do tipo planar ou tombamento. Detalhes sobre análise cinemática de estabilidade de taludes rochosos e sobre a classificação SMR serão descritos no Item 4 – Fundamentação Teórica.

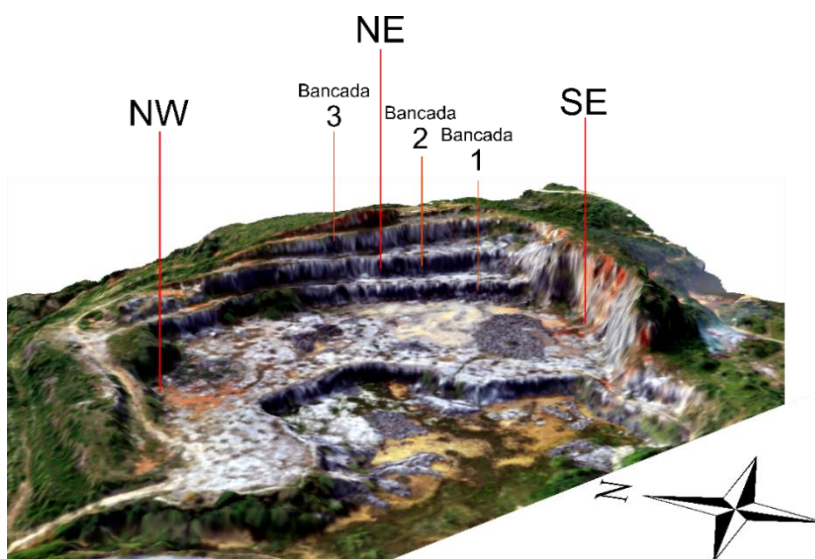


Figura 2. Identificação dos setores da pedra (NW, NE e SE) e a divisão das bancadas para o talude NE.

3 ASPECTOS GEOLÓGICOS

3.1. ORÓGENO ARAÇUAÍ

O orógeno Araçuaí, localizado no sudeste do Brasil, e sua contraparte africana, Cinturão Congo- Ocidental, constituem um sistema orogênico que se desenvolveu durante o ciclo Brasileiro-Pan-Africano entre as margens dos crátons do São Francisco e Congo (ALKMIM et al., 2006). O sistema orogênico Araçuaí-Congo Ocidental foi formado durante a amalgamação do Gondwana ocidental ao final do neoproterozóico e foi dividido em duas partes por efeito da abertura do oceano atlântico durante o cretáceo. O orógeno Araçuaí compreende sequências do tipo rifte a margem passiva, com restos ofiolíticos precursores da Bacia Macaúbas e intrusões pré- a pós-colisionais relacionados ao Arco Magmático Rio Doce (PEDROSA-SOARES et al., 2011). O magmatismo pré-colisional (630-580 Ma) consiste de granitoides cálcio-alcálicos tipo-I, metaluminosos a peraluminosos (TEDESCHI et al., 2016). As sequências supracrustais relacionadas ao arco são caracterizadas por sucessões metavulcano-sedimentares do Grupo Rio Doce e sequências metassedimentares depositadas em bacias de antearco (PEIXOTO et al., 2015) e retro-arco (GRADIM et al., 2014), que incluem os complexos paragnáissicos, Nova Venécia e Paraíba do Sul. O magmatismo sin-colisional (585-545 Ma) compreende predominantemente rochas granitoides tipo S, sub-alcálicas a alcálicas, peraluminosas (MELO et al., 2017). O magmatismo pós-colisional (525-480 Ma) inclui granitoides tipo I a A, metaluminosos a levemente peraluminosos, cálcio-alcálicos a alcálicos com alto teor de K e Fe (DE CAMPOS et al., 2016; PEDROSA-SOARES et al., 2011). O embasamento do orógeno Araçuaí constitui-se de rochas de alto grau de idade paleoproterozóica a arqueana, como granulitos, charnockitos intrusivos e migmatitos, incluídos nos complexos Caparaó, Juiz de Fora, Ipanema, Guanhões e Serra do Valentim. Estas rochas foram retrabalhadas no ciclo brasileiro e estão relacionadas ao cráton do São Francisco (VIEIRA; MENEZES, 2015; ALKMIM et al. 2006).

Tectonicamente, o orógeno Araçuaí-Congo Ocidental está compartimentado em nove domínios estruturais distintos, que se desenvolveram em cinco estágios tectônicos, segundo o modelo tectônico denominado como “quebra-nozes” (ALKMIM et al. 2006). A área de estudo localiza-se no compartimento denominado como núcleo cristalino.

3.2. GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo insere-se na folha geológica Cachoeiro de Itapemirim – escala 1:100.000 (SILVA, 1993). O autor reconheceu nove unidades de mapeamento incluídas no Complexo Paraíba do Sul, descritas como uma assembleia de rochas supracrustais com características vulcano-sedimentares, migmatizadas e granitizadas (Tabela 1), além de um conjunto de rochas granitóides brasilianas sin a pós-colisionais, bem como granulitos arqueanos do embasamento relacionados ao Complexo Juiz de Fora (Figura 3).

Tabela 1. Unidades litoestratigráficas presentes no Complexo Paraíba do Sul.

Fonte: Modificado de Silva (1993)

Unidades	Litologias	Domínio
Pps4	Granada-sillimanita-biotita gnaissé, com quartzito com rochas calciossilicáticas e anfíbolitos subordinados.	Marinho Proximal
Pps6	Granada-biotita-cordierita-sillimanita gnaissé	
Pps7	Granada-sillimanita biotita gnaissé, com lentes de quartzito.	
Pps2	Biotita Gnaisses, Anfíbolio-Biotita Gnaisses e quartzitos.	Marinho mais proximal (plataforma carbonática)
Pps3	Anfíbolio-Biotita Gnaisses, Biotita Gnaisses, Mármore, Rochas calciossilicáticas, Anfíbolitos e quartzitos.	
Pps5	Biotita-hornblenda gnaissé.	
Pps8	Anfíbolio-biotita gnaissé, com subordinações de sillimanita-granada gnaissé.	
Pps1	Grafita-cordierita-granada-sillimanita-biotita gnaissé, com anfíbolitos quartzitos.	
Pps9	Anfíbolio-biotita gnaissé, gnaissé granítico e granatífero, quartzo-micaxistos e quartzitos.	Marinho Distal

Dentre as unidades descritas por Silva (1993), apenas a unidade Pps3 está presente na área de estudo tendo sido individualizada pelo autor em três faixas de direção aproximadamente N-S. A primeira inicia-se ao sul do Maciço Castelo e prolonga-se para sul, com largura média de 3 km. A segunda, com largura média de 4 km, inicia-se a norte da serra da Concórdia e se estende para norte adentrando a Folha Topográfica Afonso Cláudio. A terceira e última inicia-se em Cachoeiro de Itapemirim e prolonga-se também para norte, contudo, limita-se até a região de Itaoca. A unidade Pps3 tem direção regional que oscila entre N20°W e N20°E, com baixo ângulo de mergulho para E. Os gnaisses Pps3 presentes foram

separados dos Pps8 seguindo critérios de campo. As rochas gnáissicas são de composição tonalítica, apresentam tonalidade cinza clara a cinza-escura, granulação fina a média, bandadas com alternância anfibolítica e/ou biotíticas, apresentando estruturas dobradas e venulações graníticas, podendo conter minerais de granada. Intercalado aos gnaisses ocorrem lentes de mármore, divididas em duas subunidades, Pps3mm e Pps3mm1. A primeira é de coloração mais branca e pura, podendo apresentar porções impregnadas de minerais ferromagnesianos. A segunda subunidade é constituída de mármore impuro, silicoso, e apresenta intercalações de rochas anfibolíticas e rochas gnáissicas. Anfibolitos formam pequenos corpos lenticulares, concordantes com a foliação regional, e apresentam tonalidade esverdeada e granulação geralmente fina. Diques de natureza básica e félsica cortam os mármorees da unidade Pps3 (ALMEIDA et al. 2012; JORDT-EVANGELISTA; VIANA, 2000).

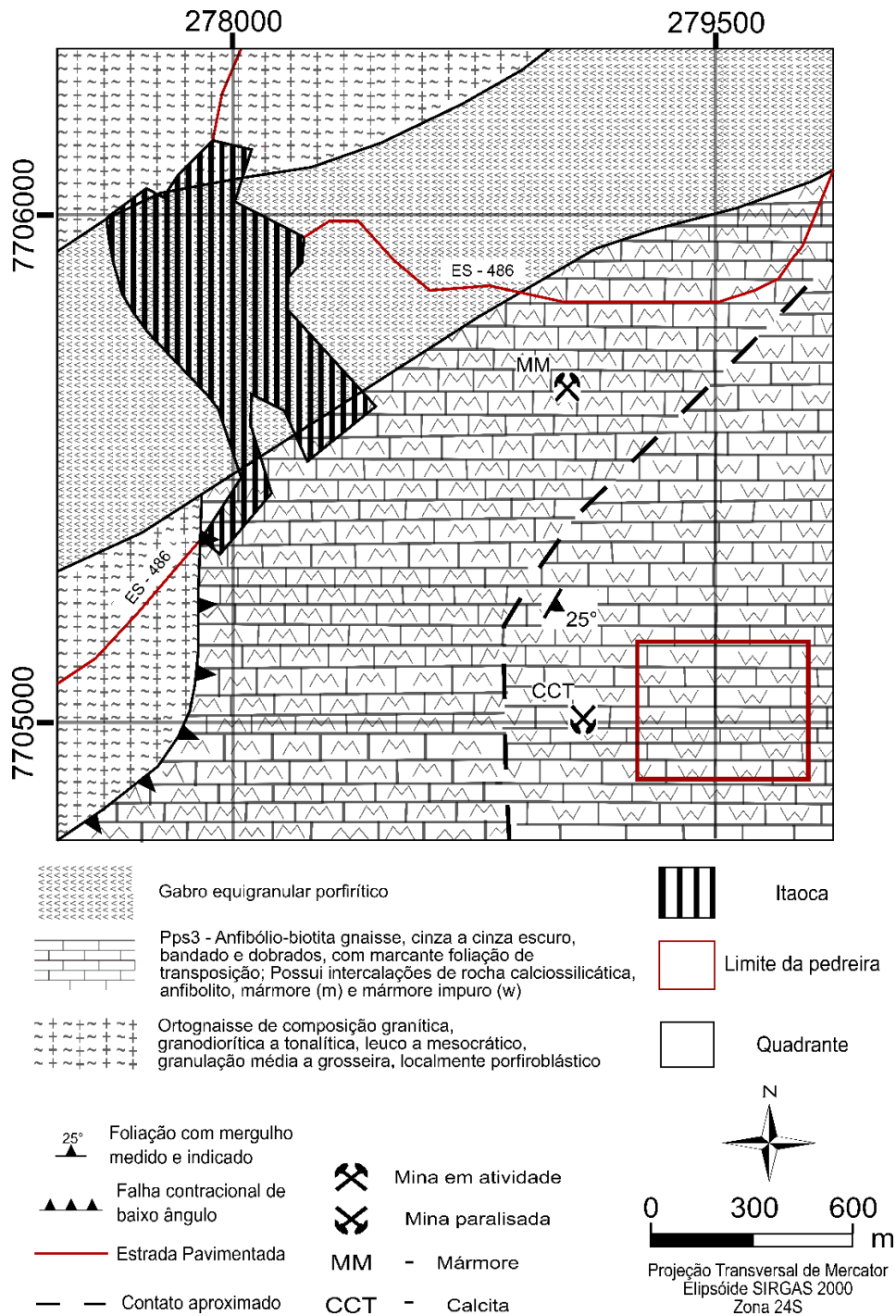


Figura 3. Mapa geológico da área de estudo baseado em Silva (1993).

Fonte: Adaptado de Silva (1993)

3.2.1. GEOLOGIA ESTRUTURAL E METAMORFISMO REGIONAIS

Segundo Silva (1993) as rochas da Folha Geológica Cachoeiro de Itapemirim (escala 1:100.000) estão estruturadas preferencialmente segundo a direção NE-SW e foram metamorfasadas em fácies anfibolito alto e granulito e, raramente, em fácies xisto verde. Segundo o referido autor, estas rochas registram ao menos quatro fases deformacionais: S0, D1, D2 e D3. O S0 é encontrado em unidades paraderivadas, que preservam superfície de

acamamento sedimentar original, onde o contato entre bandas é nítido ou gradativo, e presença de dobras intrafoliais. O D1 é a feição estrutural mais notável e de ocorrência regional, trata-se de um bandamento/foliação gnáissica com caráter protomilonítico a milonítico de baixo ângulo, são comuns dobras isoclinais intrafoliais com flancos rompidos ou não, níveis de leucossomas bandados e achatados, estruturas de boudinage, com zonas de cisalhamento dúctil contracional concordantes com a foliação e direção de transporte de leste para oeste. A fase D2 é representada principalmente por extensas zonas de cisalhamento dextral de alto ângulo de direção preferencial NE, marcadas por dobras de arrasto de diferentes ângulos interflanquial e estruturas sigmoidais. O D3 é representado por dobras muito abertas, paralelas, do tipo deslizamento flexural, com eixos orientados aproximadamente segundo leste-oeste com caimentos fracos a moderados e planos axiais subverticalizados, não há nenhuma ocorrência de foliação relacionada a estes dobramentos.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Taludes rochosos, naturais ou de escavação, estão intrinsecamente sujeitos a rupturas. Estas rupturas ocorrem devido à presença de descontinuidades, como falhas, juntas e foliações. Uma forma de se avaliar as condições de estabilidade de taludes em rocha é por meio das classificações geomecânicas. Uma das classificações mais conhecidas neste sentido é a classificação SMR – *Slope Mass Rating* (ROMANA, 1985). Esta classificação combina as informações contidas na classificação RMR – *Rock Mass Rating* (BIENIAWSKI, 1989) mais utilizada em escavações subterrâneas, com informações sobre a relação geométrica entre a atitude das famílias de descontinuidades e a orientação do talude. Em função desta relação, os modos de ruptura em taludes rochosos podem ser classificados em: a) planar; b) cunha; e c) tombamento (WYLLIE; MAH, 2004; Figura 4). Maciços rochosos intensamente fraturados tendem a se comportar como solo e estão sujeitos a rupturas do tipo circular. Neste caso, utilizam-se outros métodos de avaliação das condições de estabilidade. A identificação destes modos de ruptura passa pela caracterização estrutural do maciço. Essa caracterização consiste na medida da atitude das descontinuidades que afloram na face exposta do talude. O método das *scanlines* é uma forma comumente empregada para a obtenção destes dados, e consiste na afixação de uma linha ao longo da base da face do talude, cuja extensão depende dos propósitos do levantamento e das características da área de estudo (PRIEST, 1993). Esta linha funciona como uma espécie de guia de amostragem, a partir da qual todas as descontinuidades geológicas que a interceptam são medidas com o

auxílio de uma bússola. Estes dados estruturais são então tratados graficamente a partir de estereogramas, e as famílias de descontinuidades que podem provocar os modos de ruptura referidos acima são identificadas visualmente. Este procedimento é conhecido também como análise cinemática de estabilidade de taludes, e trata-se apenas de uma análise sobre a viabilidade cinemática de movimento de blocos de um talude rochoso segundo algum mecanismo de ruptura. A seguir, será descrito os princípios da análise cinemática, segundo Hudson e Harrison (1997), e da classificação geomecânica SMR. No presente estudo, como utilizou-se a classificação SMR de Romana (1985) não será descrito o mecanismo de ruptura em cunha, pois o mesmo não foi incorporado nesta versão da classificação.

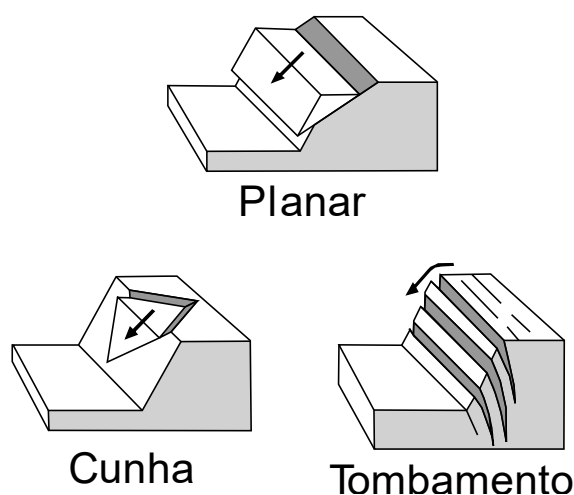


Figura 4. Mecanismos de ruptura comumente observados em maciços rochosos estruturados.

Fonte: Modificado de Wyllie e Mah, 2004.

4.1. ANÁLISE CINEMÁTICA DE ESTABILIDADE DE TALUDES

4.1.1. RUPTURA PLANAR

Para que a ruptura planar ocorra algumas condições devem ser satisfeitas, a saber:

- (a) A orientação do plano de deslizamento deve ser subparalelo a orientação do talude ($< \pm 20$ graus);
- (b) O plano de deslizamento deve aflorar na face do talude com mergulho inferior que o ângulo de mergulho do talude ($\psi_p < \psi_f$);

- (c) O ângulo de mergulho do plano de deslizamento deve ser maior que seu ângulo de atrito ($\psi_p > \phi$);
- (d) O plano de deslizamento deve interceptar a crista do talude ou terminar em uma trinca de tração;
- (e) O plano de deslizamento é interceptado por superfícies laterais que viabilizam a liberação de blocos.

A Figura 5 ilustra as condições na qual a ruptura planar pode ocorrer. Estas condições podem ser facilmente identificadas em estereogramas a partir da construção de um *overlay*, conforme a Figura 6. Nesta figura, estão plotados pólos de descontinuidades. O ângulo de atrito considerado é de 35 graus. O talude possui orientação N-S e mergulha para oeste com 45 graus. A linha azul (*daylight envelope*) representa a envoltória de todos os planos de descontinuidades que irão aflorar na face exposta do talude. As restrições laterais podem ser representadas como círculos mínimos ou linhas verticais, com ângulos de ± 20 graus em relação ao rumo de mergulho do talude. A meia lua hachurada indica a zona de risco. Os pólos dos planos contidos nesta área seriam aqueles sujeitos a ruptura planar. Notar que para a análise de ruptura planar trabalha-se com a projeção de pólos. Neste caso, o ângulo de atrito é contado a partir do centro do diagrama. O ângulo de atrito médio dos planos de descontinuidades pode ser identificado rapidamente em campo a partir do ensaio *Tilt Test*. Neste ensaio, basta colocar um bloco de rocha entre 10-20 cm sobre outro e basculá-lo até que o bloco superior deslize sobre o bloco inferior, e medir o ângulo no qual o deslizamento ocorreu.

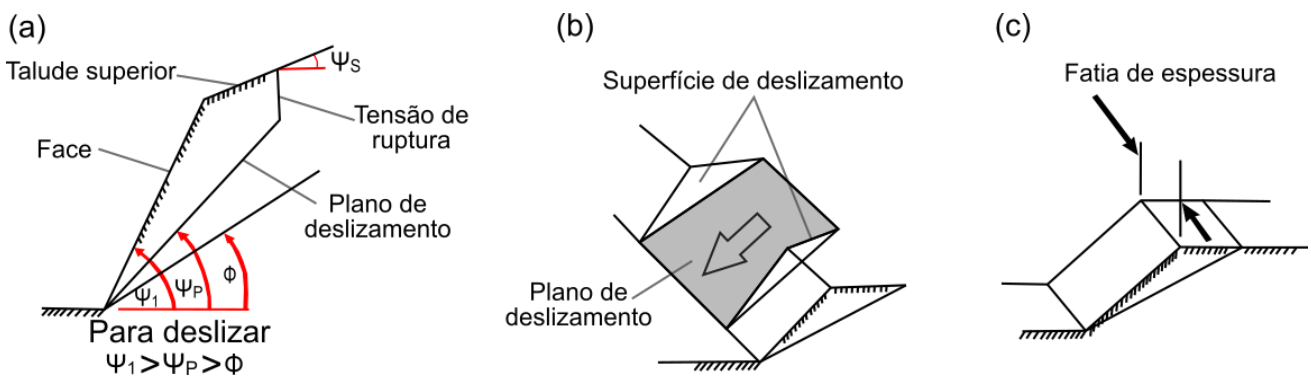


Figura 5. Geometria de um talude sujeito a ruptura planar: (a) seção transversal exibindo os planos formando a ruptura planar; (b) planos adjacentes responsáveis pela liberação de blocos; e (c) condição na qual o plano de deslizamento intercepta a crista do talude.

Fonte: Modificado de Wyllie e Mah, 2004.

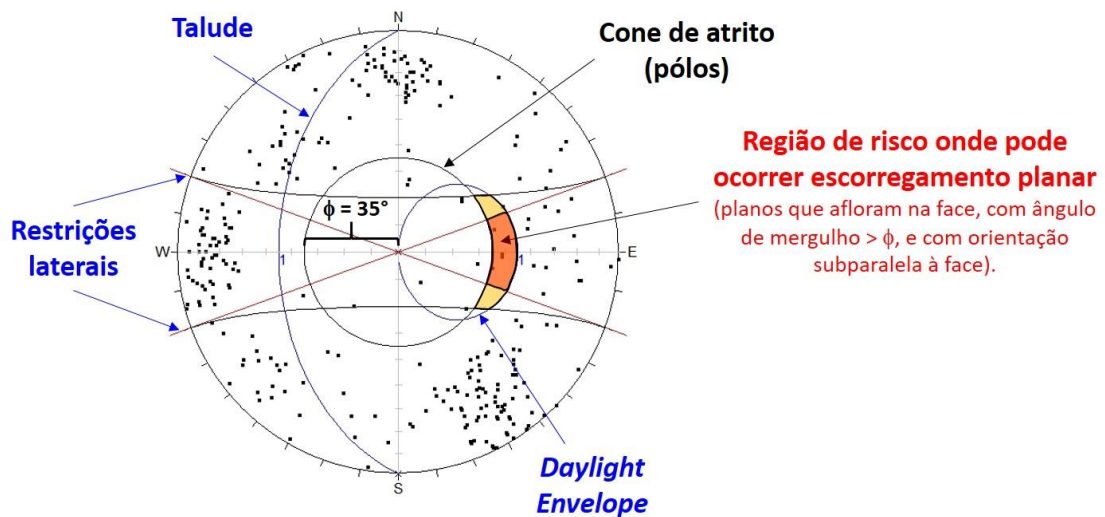


Figura 6. Overlay para a identificação das famílias de descontinuidades que podem provocar ruptura planar.

Fonte: Hartwig (notas de aula).

4.1.2. RUPTURA POR TOMBAMENTO (FLEXURAL)

Existem dois tipos de tombamento de blocos: tombamento direto e tombamento flexural. Contudo, a classificação SMR permite avaliar apenas o segundo caso, que será apresentado a seguir.

No modo de ruptura por tombamento flexural, as camadas se rompem por flexão (Figura 7). Ocorrem tipicamente em rochas bem foliadas, como xistos, filitos ou camadas sedimentares estratificadas. Assim como no modo de ruptura planar, algumas condições devem ser satisfeitas para que este modo de ruptura ocorra:

- (a) Uma família de descontinuidades mergulha para dentro do maciço com alto ângulo de mergulho;
- (b) A orientação desta família de descontinuidades deve ser subparalela à orientação do talude ($< \pm 10$ graus);

Quando um talude é escavado, a tensão principal máxima tende a se orientar paralelamente ao rumo de mergulho do talude. Neste caso, o tombamento flexural ocorre quando o vetor de compressão principal faz um ângulo com as descontinuidades (ou com as

camadas) maior que o ângulo de atrito medido em relação à normal da descontinuidade (ϕ), conforme a equação:

$$\delta > \phi + (90 - \alpha)$$

Onde δ é igual ao mergulho das descontinuidades e α ao mergulho do talude. A Figura 8 ilustra o *overlay* para a análise de ruptura por tombamento flexural. Nesta figura estão representados os pólos das descontinuidades. O ângulo de atrito é de 30 graus e o talude possui orientação N-S e mergulho de 80 graus para oeste. As restrições laterais estão indicadas como círculos mínimos, mas podem também ser representadas como linhas verticais. A região hachurada indica a zona de risco. Os pólos dos planos que estão incluídos nesta área estão propensos a ruptura por tombamento flexural. Neste exemplo, existe um grande número de pólos nesta zona.

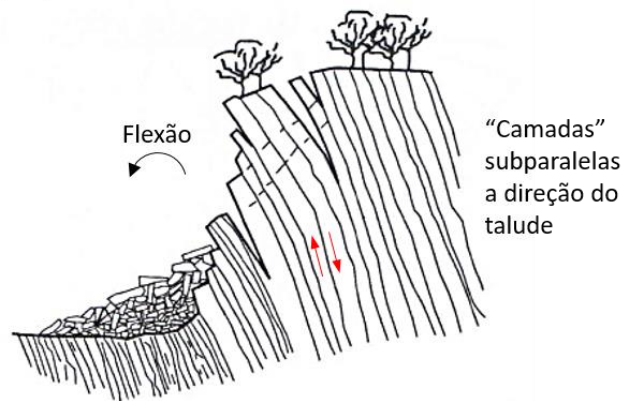


Figura 7. Modo de ruptura por tombamento flexural.

Fonte: Modificado de Wyllie e Mah, 2004.

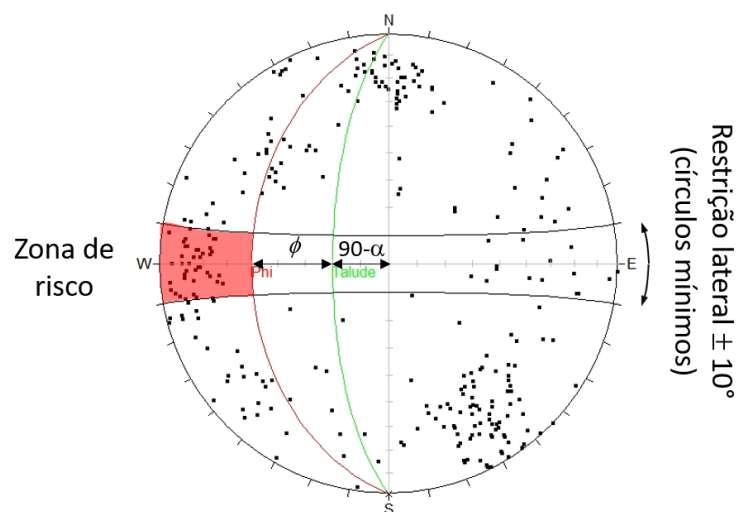


Figura 8. *Overlay* para análise cinemática por tombamento flexural.

Fonte: Hartwig (notas de aula).

4.2. CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA SMR – *SLOPE MASS RATING* (ROMANA, 1985)

A classificação geomecânica SMR - *Slope Mass Rating* foi pioneiramente proposta por Romana (1985). Essa classificação pode ser entendida como uma adaptação da classificação RMR – *Rock Mass Rating* (BIENIAWSKI, 1989) por meio de fatores de ajuste, os quais adequam o seu uso à taludes rochosos, uma vez que foi percebido a grande influência da orientação das descontinuidades na estabilidade das encostas, conforme Equação 1:

$$SMR = RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 \quad (\text{Equação 1})$$

Na classificação geomecânica RMR, os seguintes parâmetros são identificados em campo:

- I) Resistência da rocha intacta
- II) *Rock quality designation* (RQD)
- III) Espaçamento das descontinuidades
- IV) Condição das descontinuidades
- V) Condição hidrogeológica
- VI) Orientação das descontinuidades para aplicações em túneis

Nesta classificação os valores de RMR variam de 0 a 100. Baixos valores de RMR indicam maciços e qualidade geomecânica ruim e altos valores o oposto. Em aplicações à taludes, os itens V e VI não são levados em conta. Em função do valor RMR e da geometria do túnel estudado, esta classificação permite definir o sistema de suporte mais recomendado.

O fator de ajuste F1 está relacionado ao paralelismo entre a direção das descontinuidades e à orientação do talude, o fator F2 depende do mergulho da descontinuidade, o fator F3 relaciona o mergulho das descontinuidades e a inclinação do talude e o fator F4 refere-se ao método de escavação do talude (Tabela 2). A classificação SMR também varia de 0 a 100, sendo que baixos valores indicam maciços de qualidade ruim e altos valores o oposto (Tabela 3). Segundo o índice SMR se obtém cinco classes de maciço e seis classes de medidas de contenção (Figura 9).

Tabela 2. Fatores de ajuste da classificação geomecânica SMR (ROMANA, 1985).

Fonte: Adaptado de Romana (1985).

Tipos de falhas		Muito favorável	Favorável	Normal	Desfavorável	Muito desfavorável
P	A = $ \alpha_j - \alpha_s $	>30°	30 - 20°	20° - 10°	10° - 5°	<5°
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180° $					
P/T	F1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P	B = $ \beta_j $	<20°	20°-30°	30°-35°	34° - 45°	> 45°
P	F2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T		1.00				
P	C = $\beta_j - \beta_s =$	>10°	10°-0°	0°	0-(-10°)	<(-10)
T	$\beta_j + \beta_s =$	<110°	110°-120°	>120°	-	-
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

Falhas: P - Planar; T - Tombamento. **Direção de mergulho:** α_j - descontinuidade; α_s - talude. **Mergulho:** β_j - descontinuidade; β_s - talude.

Método de Escavação (F4)	
Talude Natural	+15
Pré-corte	+10
Explosão controlada	+8
Explosão Mecânica	0

Tabela 3. Significado das classes geomecânicas SMR (ROMANA, 1985).

Fonte: Adaptado de Romana (1985).

Classes	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descrição	Muito ruim	Ruim	Normal	Bom	Muito bom
Estabilidade	Completamente instável	Instável	Parcialmente estável	Estável	Completamente estável
Feições	Circular	Planar ou em cunha	Algumas planares ou muitas cunhas	Alguns blocos	Nenhum
Probabilidade das falhas	0.9	0.6	0.4	0.2	0

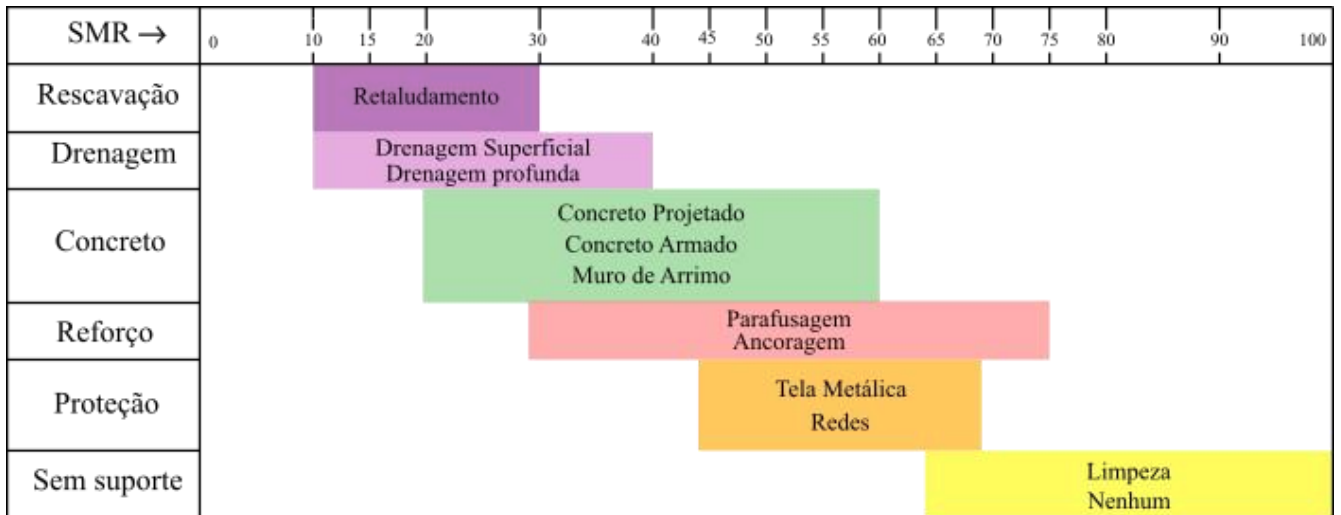


Figura 9. Recomendações de tratamento do maciço segundo a classificação geomecânica SMR (ROMANA, 1985)

Fonte: Adaptado de Romana (1985).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA RMR

Os dados referentes a classificação geomecânica foram retirados a partir do trabalho de Boulhosa (2018) e foram coletados em intervalos de 5 m de distância. A área de estudo foi dividida em três taludes principais denominados de NW, NE e SE. O talude NE possui três bancadas denominadas de 1, 2 e 3, sendo que a primeira está na porção inferior do talude e a 3 na parte superior. Os demais taludes possuem apenas uma bancada.

A Tabela 4 mostra os valores médios de RMR e o coeficiente de variação de cada um destes taludes. Nota-se maciços de qualidade geomecânica boa a muito boa (classes I e II). Os baixos valores de coeficiente de variação determinados indicam homogeneidade nos dados geomecânicos. Observa-se que o talude NW é o que possui os menores valores de RMR. Constata-se também que no talude NE, os valores de RMR aumentam com a profundidade.

Tabela 4. Classificação geomecânica média para os taludes da área de estudo.

Fonte: Boulhosa (2018).

Taludes	Bancada	RMR Médio	Coefficiente de Variação (%)
NE	NE 1	83,74	8,69
	NE 2	78,3	11,85
	NE 3	73,2	22,03
SE	-	75,6	12,9
NW	-	67,7	28,3

5.2. ANÁLISE ESTRUTURAL E CINEMÁTICA

Para a realização da análise estrutural e cinemática da pedreira foram utilizados os dados obtidos por Santos (2018), os quais foram obtidos pelo método das *scanlines*. Estes dados foram agrupados por talude, sendo suas análises apresentadas separadamente e a geometria para cada talude é apresentada na Tabela 5. O ângulo de atrito utilizado foi de 63°, cujo valor, foi obtido pela autora a partir da literatura.

Tabela 5. Geometria dos taludes estudados.

Taludes	Rumo mergulho	Mergulho
NE	233	80
SE	330	80
NW	144	80

5.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

5.3.1. TALUDE NE1

O estereograma da Figura 10 reproduz a concentração de 182 polos de juntas obtidos para o talude NE1. Conforme esta figura, três famílias de descontinuidades podem ser identificadas: F1 (203/76), F2 (266/73) e F3 (230/66).

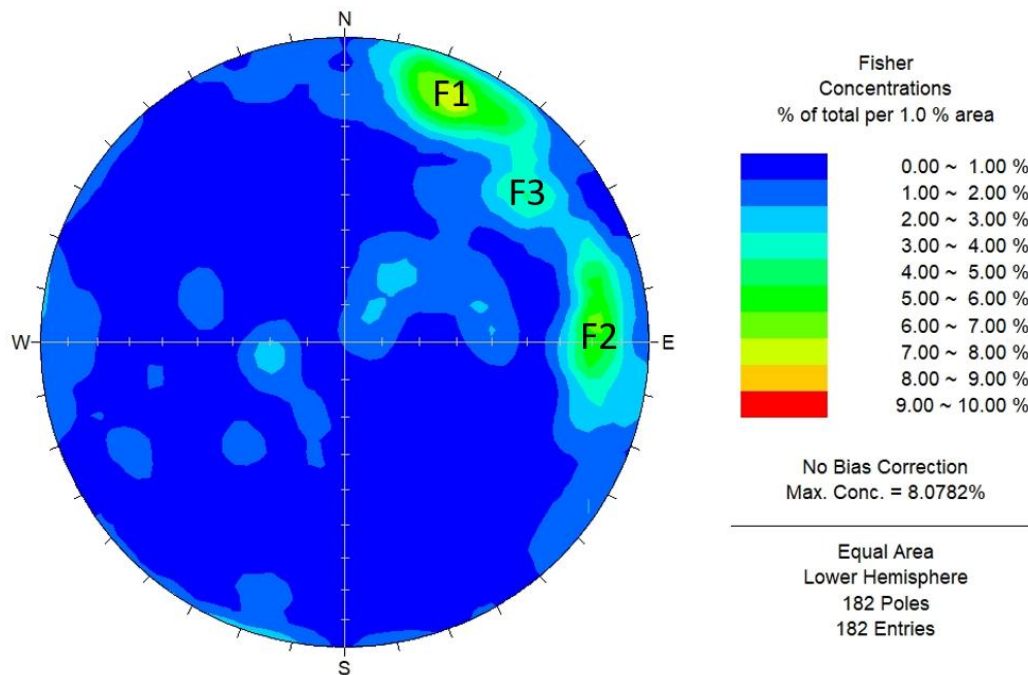


Figura 10. Estereograma de contorno de pólos de juntas para o Talude NE1.

5.3.2. TALUDE NE2

O estereograma da Figura 11 reproduz a concentração de 124 polos de juntas obtidos para o talude NE2. Conforme esta figura, nove famílias de descontinuidades podem ser identificadas: F1 (horizontal), F2 (053/20), F3 (246/60), F4 (219/63), F5 (169/79), F6 (207/85), F7 (302/86), F8 (012/46) e F9 (269/68).

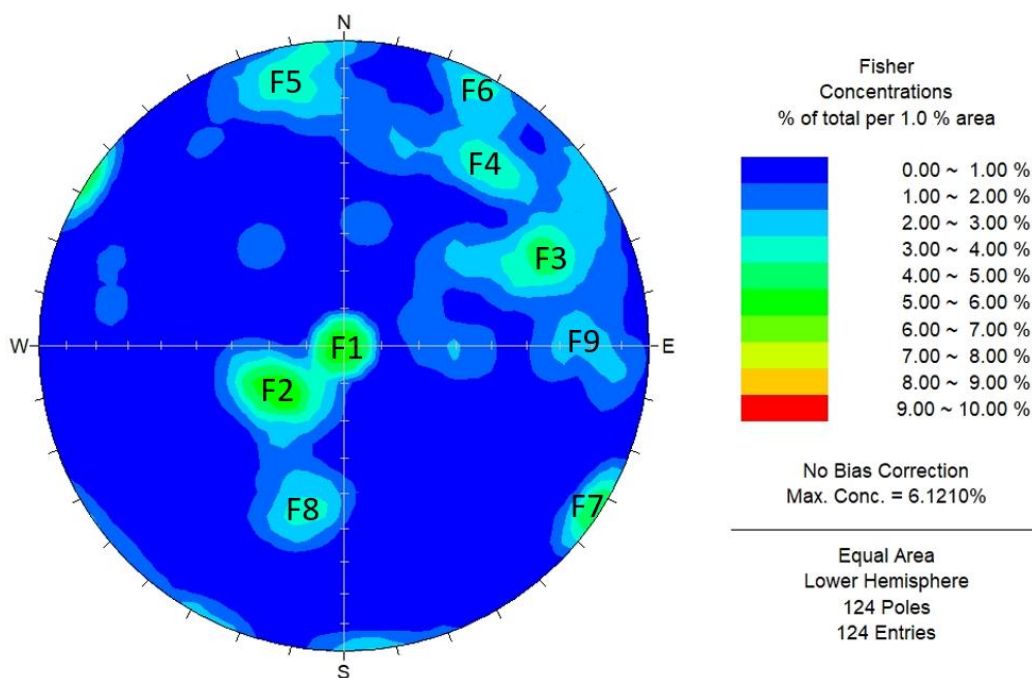


Figura 11. Estereograma de contorno de pólos de juntas para o Talude NE2.

5.3.3. TALUDE NE3

O estereograma da Figura 12 reproduz a concentração de 97 polos de juntas obtidos para o talude NE3. Conforme esta figura, cinco famílias de descontinuidades podem ser identificadas: F1 (054/25), F2 (273/81), F3 (194/87), F4 (172/77) e F5 (230/73).

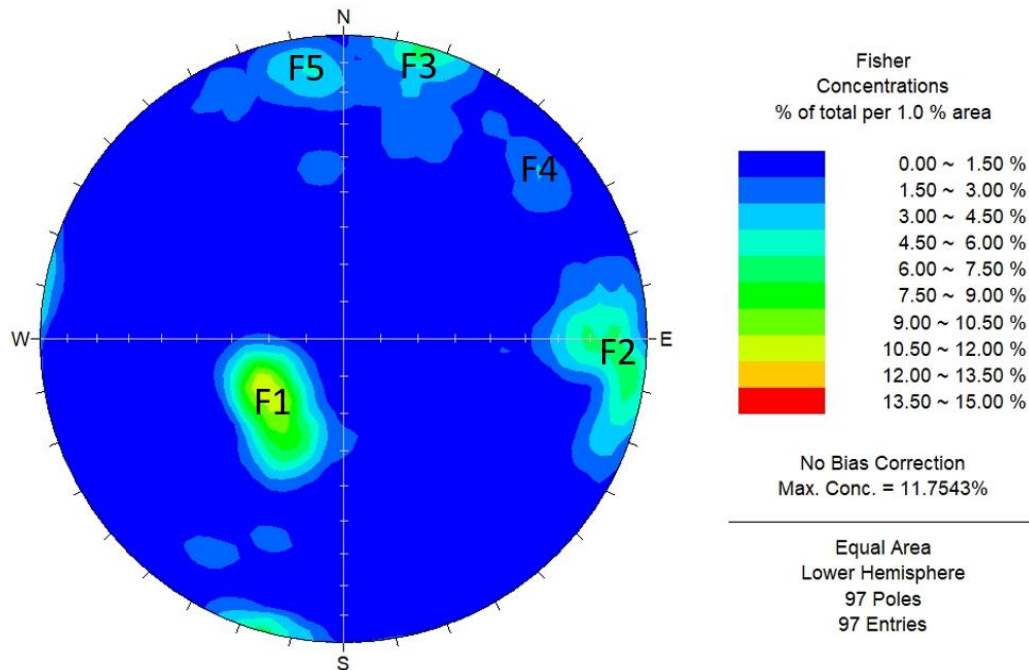


Figura 12. Estereograma de contorno de pólos de juntas para o Talude NE3.

5.3.4. TALUDE SE

O estereograma da Figura 13 reproduz a concentração de 98 polos de juntas obtidos para o talude SE. Conforme esta figura, dez famílias de descontinuidades podem ser identificadas: F1 (296/72), F2 (200/69), F3 (346/47), F4 (187/52), F5 (207/87), F6 (317/61), F7 (290/87), F8 (116/20), F9 (285/58) e F10 (161/68).

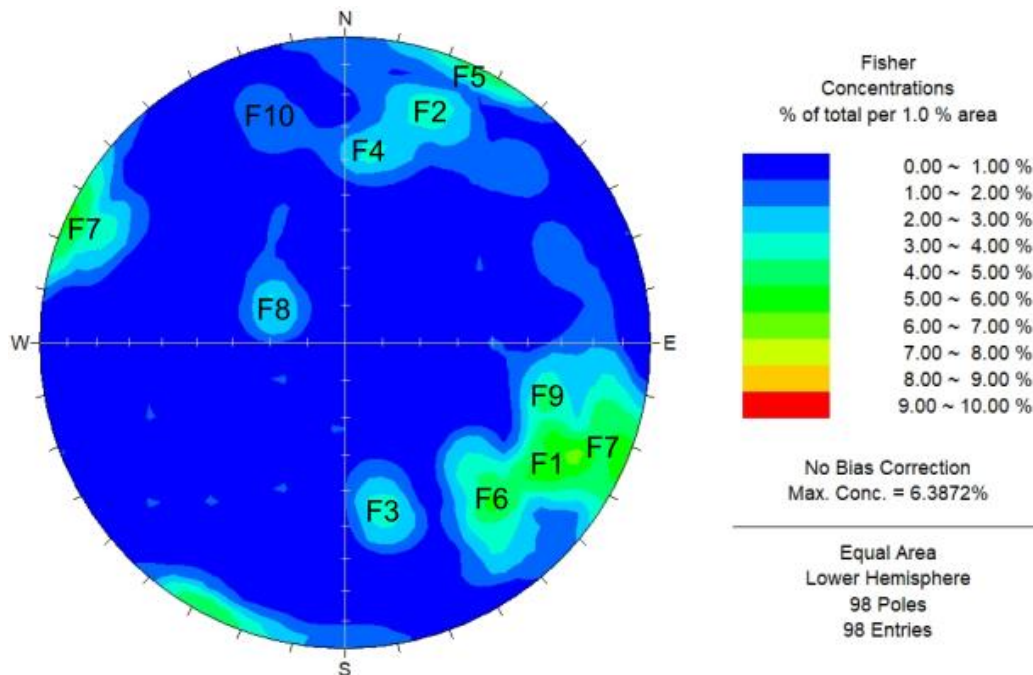


Figura 13. Estereograma de contorno de pólos de juntas para o Talude SE.

5.3.5. TALUDE NW

O estereograma da Figura 14 reproduz a concentração de 7 polos de juntas obtidos para o talude NW. Conforme esta figura, há poucas medidas estruturais e as mesmas mostram grande dispersão.

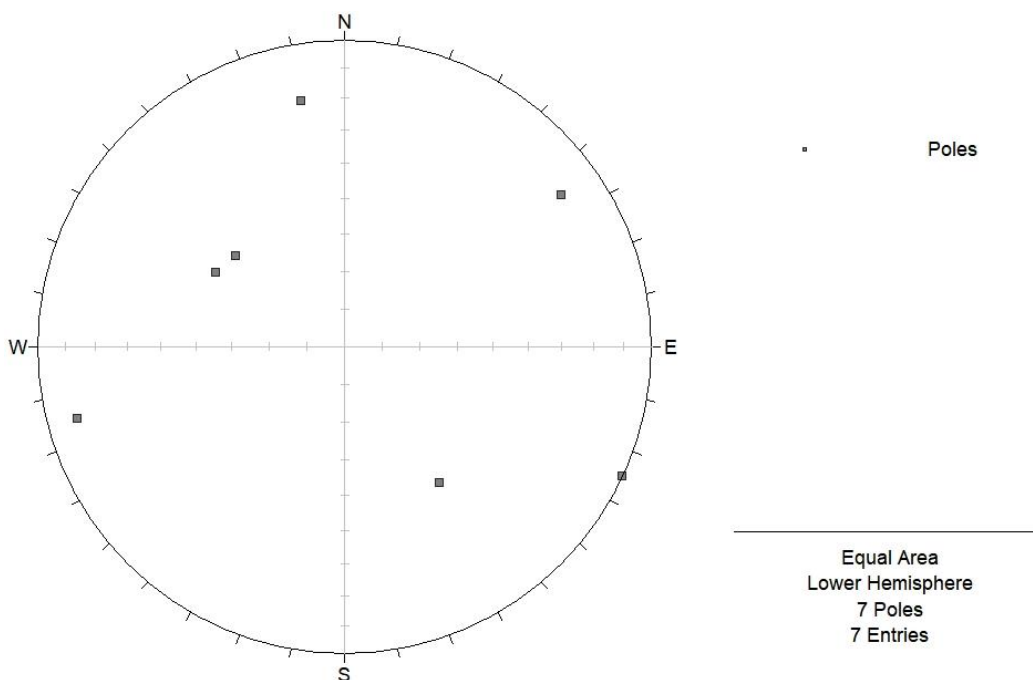


Figura 14. Estereograma de pólos de juntas para o Talude NW.

5.4. ANÁLISE CINEMÁTICA

5.4.1. TALUDE NE1

A Figura 15 retrata a análise cinemática para ruptura planar e por tombamento flexural para o talude NE1. Observa-se que a família de juntas F2 pode provocar ruptura planar (Figura 15a). Por outro lado, constata-se que a ruptura por tombamento flexural não afeta o talude NE1 (Figura 15b). A Figura 16 ilustra uma ruptura planar de grandes proporções afetando o talude NE1.

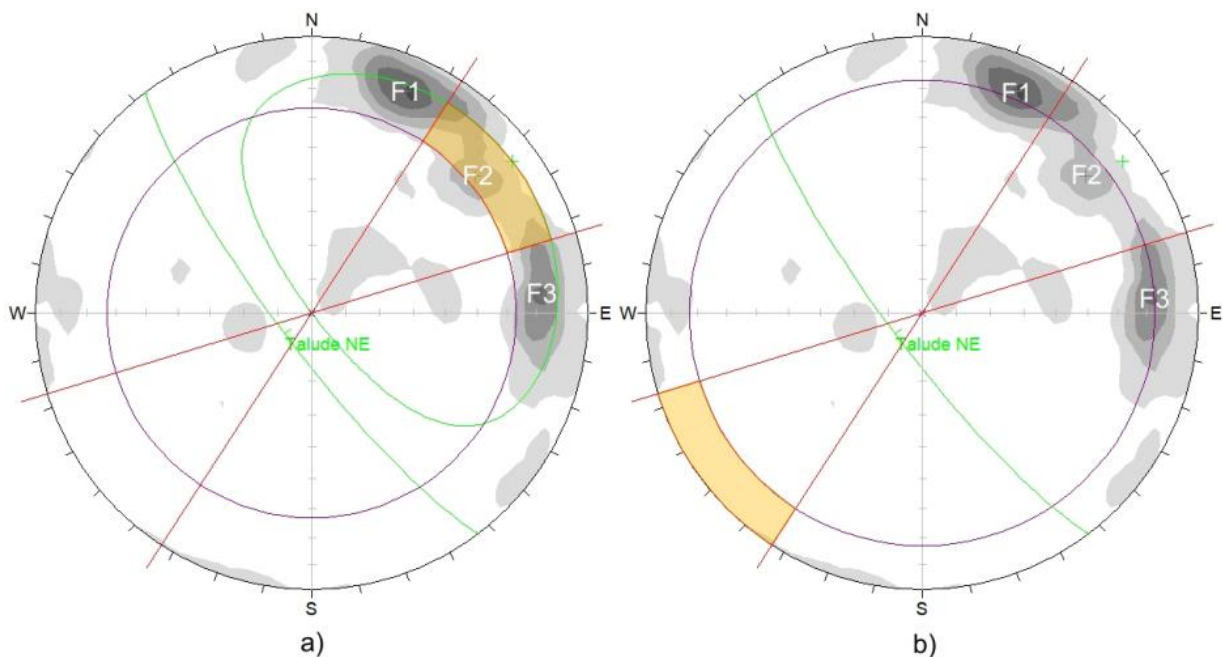


Figura 15. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o talude NE1.



Figura 16. Grande ruptura planar afetando o talude NE1.

5.4.2. TALUDE NE2

A Figura 17 retrata a análise cinemática para ruptura planar e por tombamento flexural para o talude NE2. Observa-se que as famílias de juntas F3 e F4 podem provocar ruptura planar (Figura 17a). Por outro lado, constata-se que a ruptura por tombamento flexural não afeta o talude NE2 (Figura 17b).

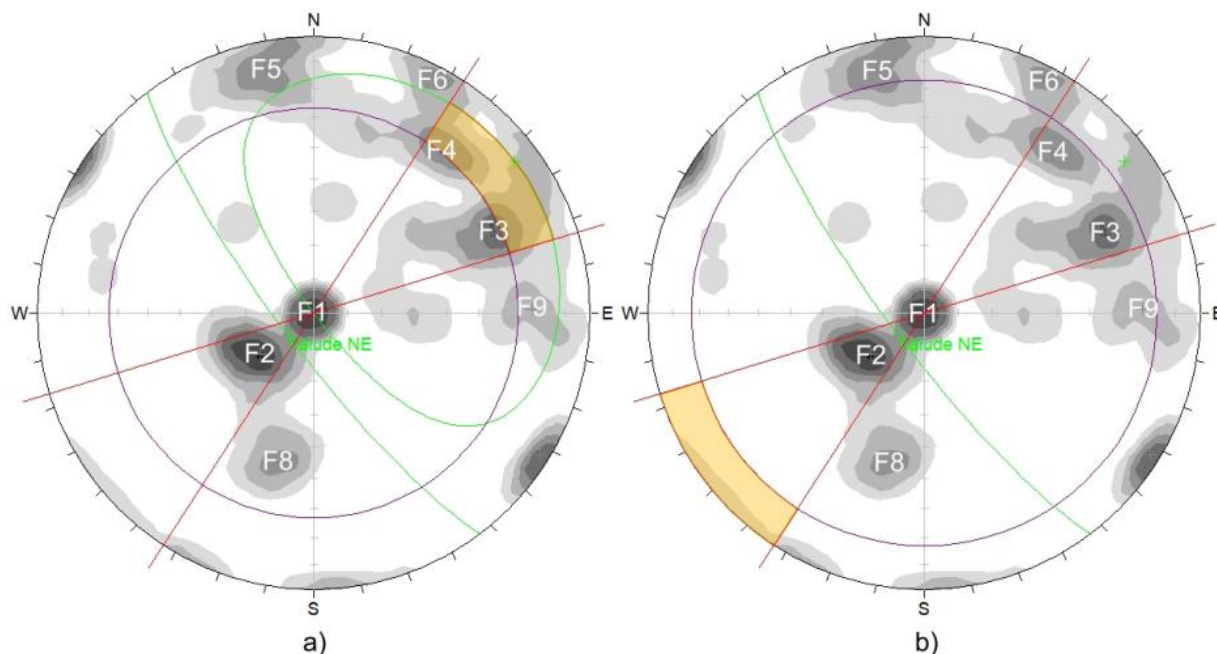


Figura 17. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o Talude NE2.

5.4.3. TALUDE NE3

A Figura 18 retrata a análise cinemática para ruptura planar e por tombamento flexural para o talude NE3. Observa-se que a família de juntas F4 pode provocar ruptura planar (Figura 18a). Por outro lado, constata-se que a ruptura por tombamento flexural não afeta o talude NE3 (Figura 18b).

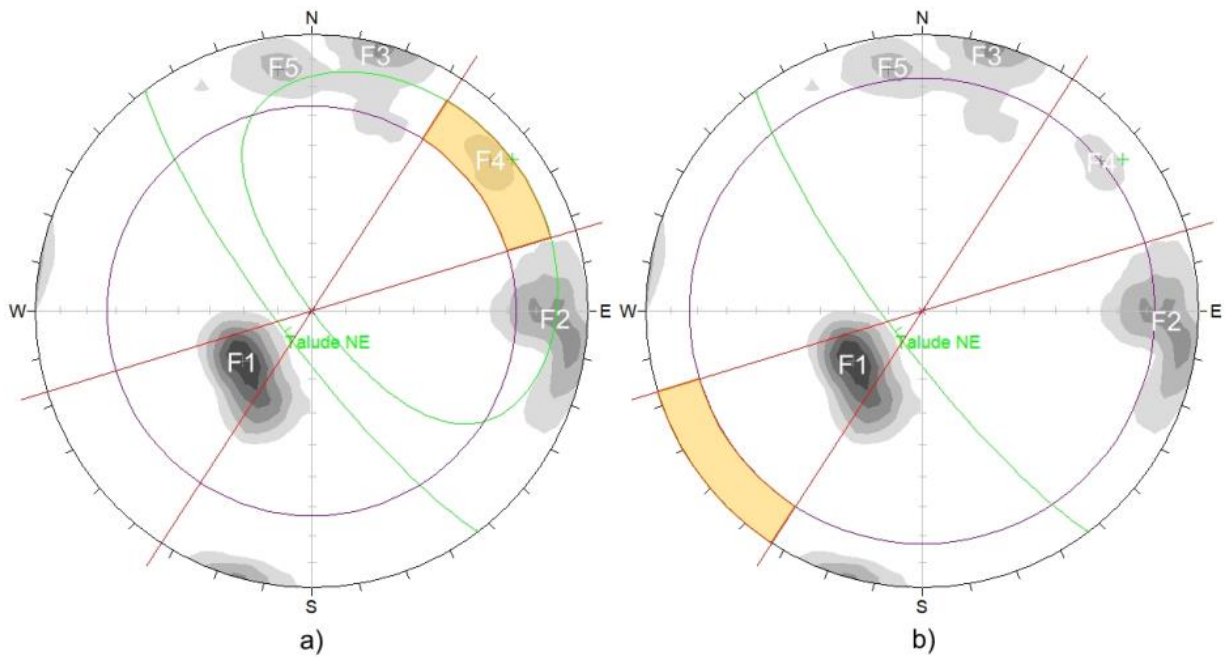


Figura 18. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o Talude NE3.

5.4.4. TALUDE SE

A Figura 19 retrata a análise cinemática para ruptura planar e por tombamento flexural para o talude SE. Observa-se que a família de juntas F6 pode provocar ruptura planar (Figura 18a). Constata-se também que existe alguma possibilidade das famílias de juntas F7 e F10 provocarem ruptura por tombamento flexural (Figura 18b).

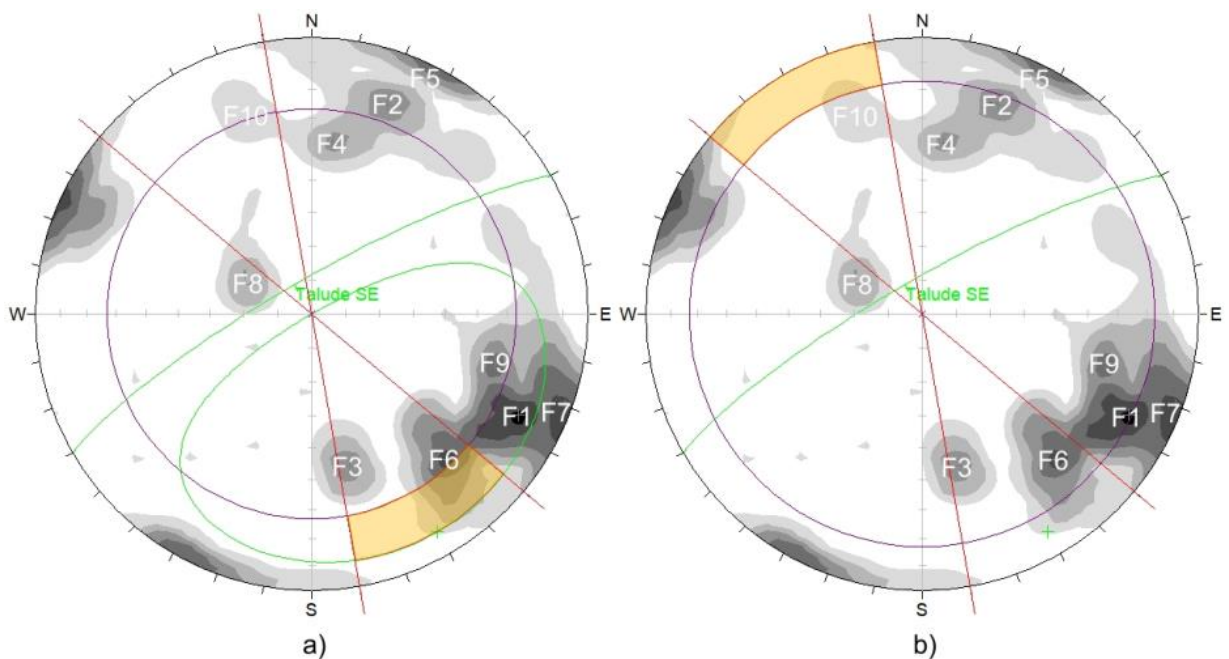


Figura 19. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o Talude SE.

5.4.5. TALUDE NW

A Figura 20 retrata a análise cinemática para ruptura planar e por tombamento flexural para o talude NW. Observa-se que existe algum potencial da família de juntas F1 provocar ruptura planar (Figura 20a). Por outro lado, constata-se que a ruptura por tombamento flexural não afeta o talude NW (Figura 20b).

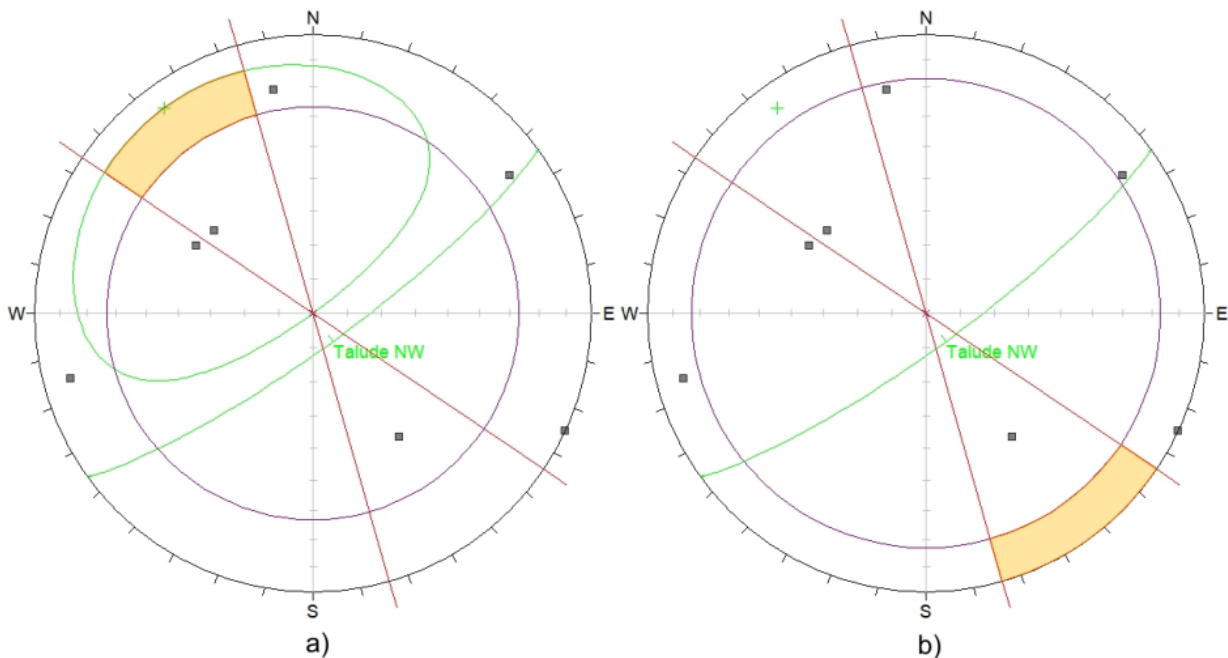


Figura 20. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o Talude NW.

5.5. CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA SMR

A Tabela 6 indica as famílias de juntas identificadas na análise cinemática, que podem provocar ruptura planar ou ruptura por tombamento flexural para os taludes estudados. Para o talude SE, onde está indicado “dispersão”, verificou-se que existe uma dispersão dos pólos ao redor das famílias F7 e F10, que se encontram na zona de risco para tombamento flexural. Destaca-se que não foi observado ruptura por tombamento flexural na área da mina.

A Tabela 7 reproduz o cálculo do SMR para as diferentes famílias de descontinuidades que podem provocar rupturas para os taludes estudados. Como não há nenhuma família que pode provocar ruptura planar ou por tombamento flexural no talude NW, o mesmo não figura nesta tabela. A Tabela 8 sintetiza a qualidade geomecânica dos taludes estudados e os tratamentos sugeridos pela classificação SMR.

Os resultados da classificação SMR mostram que predominam maciços de boa qualidade geomecânica (classe II). Todos os taludes analisados estão sujeitos ao modo de ruptura planar. Este modo de ruptura foi verificado no talude NE1 (Figura 16). Contudo, o talude NE2 foi o que apresentou o menor valor de SMR, sendo classificado como um maciço ruim, no qual um sistema de contenção mais reforçado é recomendado. Essa aparente discrepância pode estar relacionada à subamostragem dos dados estruturais de juntas, uma vez que esta ruptura ocorre na porção superior do talude. Uma forma de contornar este efeito, seria a utilização de drones para a caracterização estrutural dos taludes (JORDÁ-BORDEHORE et al. 2017).

Tabela 6. Síntese das famílias de descontinuidades que podem provocar rupturas para os taludes estudados.

Taludes	Bancadas	Ruptura planar	Ruptura tombamento flexural	Atitude
NE	1	F2	-	266/73
	2	F3 e F4	-	246/60 e 219/63
	3	F3	-	194/87
SE	-	F6	F7 e F10 (dispersão)	317/61, 290/87 e 161/68
NW	-	-	-	-

Tabela 7. Síntese dos valores de SMR calculados para as diferentes famílias de descontinuidades para os taludes estudados.

Taludes	Bancadas	Modo de ruptura	Famílias	RMR	Índices				SMR
					F1	F2	F3	F4	
NE	1	P T	F2 -	83,7	P = 0,15	P = 1	P = -50	0	F2 = 76,2
NE	2	P P T	F3 F4 -	78,3	P = 0,7 P = 0,7	P = 1 P = 1	P = -60 P = -60	0	F3 = 36,3 F4 = 36,3
NE	3	P T	F4 -	73,2	P = 0,15	P = 1	P = -50	0	F4 = 65,7
SE	-	P T T	F6 F7 F10	75,6	P = 0,15 T = 0,15 T = 0,15	P = 1 T = 1 T = 1	P = -60 T = -25 T = -25	0	F6 = 66,6 F7 = 71,8

Tabela 8. Tratamentos sugeridos pela classificação SMR para cada um dos taludes estudados.

Talude		SMR	Classe	Descrição	Tratamentos
NE	1	76,2	II	Bom	Limpeza
	2	36,3	IV	Ruim	Sistema de drenagem, concreto projetado e ancoragens
	3	65,7	II	Bom	Limpeza, ancoragens e tela metálica
SE	-	II	Bom		

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO

O objetivo do presente trabalho foi o de avaliar a aplicação da primeira versão da classificação geomecânica SMR nos taludes de uma pedreira de mármore localizada em Itaoca, ES. A classificação SMR é um método de classificação específico utilizado para a avaliação das condições de estabilidade de taludes rochosos, não permitindo a determinação do fator de segurança. Os resultados obtidos permitem concluir que:

- Os taludes estudados foram classificados em geral como maciços de boa qualidade geomecânica (classe SMR II), estando sujeitos a ruptura planar, com exceção do talude NW;
- O talude NE2 apresentou o menor valor de SMR, sendo classificado como um maciço ruim e necessitando, portanto, maior atenção do ponto de vista de estabilidade;
- Devido ao fato do levantamento estrutural ocorrer na porção inferior dos taludes, estruturas geológicas que ocorrem na metade superior não são amostradas por questões de dificuldade de acesso, ou seja, não leva em consideração a altura do talude. Esta subamostragem nos dados estruturais pode influenciar os resultados da classificação SMR, como verificou-se no talude NE1;
- Recomenda-se em trabalhos futuros a aplicação das versões mais recentes da classificação SMR, pois as mesmas incorporam nas análises as rupturas do tipo em cunha, vistas em campo e não estudadas neste trabalho.
- Para locais onde há a interferência da pressão d'água, recomenda-se o uso de adaptações do sistema SMR.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALKMIM, F. F.; PEDROSA-SORES, A. C.; NOCE, C. M.; CRUZ, S. C. P. 2007. **Sobre a Evolução Tectônica Do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental**. *Geonomos*, n. December 2015.
- ALMEIDA C.N., MELLO E.F., IZAQUE D.M., SILVA P.D. 2012. **Caracterização geológica e geoquímica das intrusões de rochas metamáficas e félsicas nos mármores do Sul do Espírito Santo**. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 42 (2) 245 – 264.
- BARTON, N. R.; BANDIS, S. C. **Review of predictive capabilities pf JRC-JCS model in engineering practice**. In: *Rock Joints, Proc int symp on rock joints, Loen, Norway* (eds N. Barton and O. Stephenson). 1990. p. 603-610.
- BIENIAWSKI, Z. T. **Engineering rock mass classifications : a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering**. [s.l.] Wiley, 1989.
- BOULHOSA, G. S. **Levantamento estrutural e estudo de classes geomecânicas de maciço utilizando o sistema rmr por análise geoestatística e imagens de drone: aplicação em uma mina de mármore inativa em Itaoca, ES**. Universidade Federal do Espírito Santo, p. 79, 2018.
- CARNEIRO, C.D.R (Coord.). 1996. **Projeção estereográfica para análise de estruturas: programas ESTER e TRADE**. Fundamentos teóricos, exercícios e aplicações em microcomputador, laboratório e campo. São Paulo: UNICAMP-CPRM-IPT. 158p.
- DE CAMPOS, C. P.; DE MEDEIROS, S. R.; MENDES, J. C.; PEDROSA-SOARES, A. C.; DUSSIN, I.; LUDKA, I. P. ; Dantas, E. L. 2016. **Cambro-Ordovician magmatism in the Araçuaí Belt (SE Brazil): snapshots from a post-collisional event**. *Journal of South American Earth Sciences*, 68, 248-268.
- GRADIM, C.; RONCATO, J.; PEDROSA-SOARES, A.C.; CORDANI, U.; DUSSIN, I.; ALKMIM, F.F.; QUEIROGA, G.; JACOBSSOHN, T.; SILVA, L.C. ; BABINSKI, M., 2014. **The hot back-arc zone of the Araçuaí orogen, Eastern Brazil: from sedimentation to granite generation**. *Brazilian Journal of Geology*. v. 44, p. 155–180.
- HARTWIG, M. E. **Mecânica das rochas**. Brasil, Espírito Santo: Alegre, 2018.
- HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS NETO, M. C.; SILVA, L. C.; TROUW,

- R. A. J. ; JANASI, V. A. **Província Mantiqueira**. In: BECA (Ed.). . Geologia do Continente Sul-Americano. São Paulo: [s.n.]. p. 203–234.
- HUDSON, J.A.; HARRISON, J.P. **Engineering Rock Mechanics: An introduction to the principles**. Pergamon. Elsevier Science. Kidling, Oxford, UK. Ppns 1-458,1997
- JORDÁ-BORDEHORE L., RIQUELME A., CANO M., TOMÁS R. 2017. **Comparing manual and remote sensing field discontinuity collection used in kinematic stability assessment of failed rock slopes**. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 97:24-32. [https:// doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.06.004](https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.06.004)
- JORDT-EVANGELITA, H. e VIANA, D. J., 2000. **Mármoreos da região de Itaóca (ES) e escarnitos no contato com diques máficos e félsicos: mineralogia e petrogênese**. Geonomos, 8(2): 61-67.
- MELO, M.G.; STEVENS, G.; LANA, C.; PEDROSA-SOARES, A.C.; FREI, D.; ALKMIM, F.F.; ALKMIN, L.A. 2017. **Two cryptic anatectic events within a syn-collisional granitoid from the Araçuaí orogen (southeastern Brazil): Evidence from the polymetamorphic Carlos Chagas batholith**. *Lithos*. v. 277. p. 51-71.
- PEDROSA-SOARES, A. C.; NOCA, C. M.; ALKMIM, F. F.; CARLOS, L.; BABINSKI, M.; CORDANI, U. ; CASTAÑEDA, C. 2007. **Orógeno Araçuaí: Síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977**. v. 15, n. 1, p. 1–16.
- PEDROSA-SOARES, A.C.; DE CAMPOS, C.P.; NOCE, C.; SILVA, L.C.; NOVO, T.; RONCATO, J.; MEDEIROS, S.; CASTAÑEDA, C.; QUEIROGA, G.; DANTAS, E.; DUSSIN, I. ; ALKMIM, F., 2011. **Late Neoproterozoic–Cambrian granitic magmatism in the Araçuaí orogen (Brazil), the Eastern Brazilian Pegmatite Province and related mineral resources**. *Geological Society of London*, Special Publication 350, p. 25–51.
- PEIXOTO, E.; PEDROSA-SOARES, A.C.; ALKMIM, F.F. ; DUSSIN, I.A., 2015. **A suture-related accretionary wedge formed in the Neoproterozoic Araçuaí orogen (SE Brazil) during Western Gondwanaland assembly**. *Gondwana Research*. v. 27, 878–896.
- PRIEST, S.D. 1993. **Discontinuity analysis for rock engineering**. London: Chapman ; Hall. 473p.
- ROMANA, R. M. **New Adjustment Ratings for Application of Bieniawski Classification to Slopes**. Proceedings of the International Symposium on the Role of Rock Mechanics in Excavations for Mining and Civil Works, International Society for Rock Mechanics. **Anais...Zacatecas: 1985**

ROMANA, R. M.; MONTALAR, E. Y.; SERÓN, J. B. G. **La clasificación geomecánica SMR : aplicación experiencias y validación**. V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, n. November 2001, p. 13, 2001.

SANTOS, S. T. **Análise cinemática de taludes de uma mina de mármore abandonada, no distrito de Itaoca – ES**. Universidade Federal do Espírito Santo, n. 1, p. 72, 2018.

SILVA, J. N. **Programa de levantamento geológico básico do Brasil. Cachoeiro de Itapemirim. Folha SF.24-V-A-V. Estado do Espírito Santo. Escala 1:100.000**. Brasília: [s.n.].

TEDESCHI, M., NOVO, T., PEDROSA-SOARES, A.C., DUSSIN, I., TASSINARI, C., SILVA, L.C., GONÇALVES, L., ALKMIM, F., LANA, C., FIGUEIREDO, C., DANTAS, E., MEDEIROS, S., DE CAMPOS, C., CORRALES, F., HEIBRON, M., 2016. **The Ediacaran Rio Doce magmatic arc revisited** (Araçuaí-Ribeira orogenic system, SE Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*. v.68, p. 248–268.

VIEIRA, V.S.; MENEZES, R.G. 2015. **Programa Geologia do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do estado do Espírito Santo. Escala 1:400.000**. Belo Horizonte: CPRM. 289p.

WYLLIE, D.C.; MAH, C.W. 2004. **Rock Slope Engineering: civil and mining**. London: Inst. of Mining and Metallurgy. 431p.