



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



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

Garion Guidotti de Souza dos Santos

Orientador.: Prof. Dr. Marcos E. Hartwig

Co-Orientador.: Prof. Dr. Alexandre R. do Santos

ALEGRE, ES
DEZEMBRO/2019

Sumário

1.	Introdução.....	1
2.	Materiais e Métodos.....	6
3.	Aspectos Geológicos.....	11
4.	Resultados e Discussões.....	13
5.	Conclusões e Recomendações.....	29
6.	Referências.....	31

Introdução



Introdução

Sistema de classificação geomecânica

- **Para que servem?**

- Atribuição de classes para condições parâmetros de maciço a partir de amostragens.



Introdução

Sistema de classificação geomecânica – *Slope Mass Rating* (SMR)

- Método de classificação **específico** utilizado para a avaliação das condições de estabilidade de taludes **rochosos**;
- Um dos **mais utilizados no mundo**;
- Pioneiramente **proposto por Romana (1985)**
 - Variáveis
 - Adaptação da classificação *Rock Mass Rating* (BIENIAWSKI, 1989);
 - Modos de ruptura (relação geométrica das atitudes)



Introdução

Objetivo

- Aplicar a classificação geomecânica *Slope Mass Rating* (SMR) de Romana (1985) nos taludes de uma pedreira de mármore localizada no distrito de Itaoca, município de Cachoeiro de Itapemirim.



Introdução

Área de estudo

- Pedreira de mármore
 - Exploração de agregado para a construção civil;
 - Taludes apresentando problemas de estabilidade.

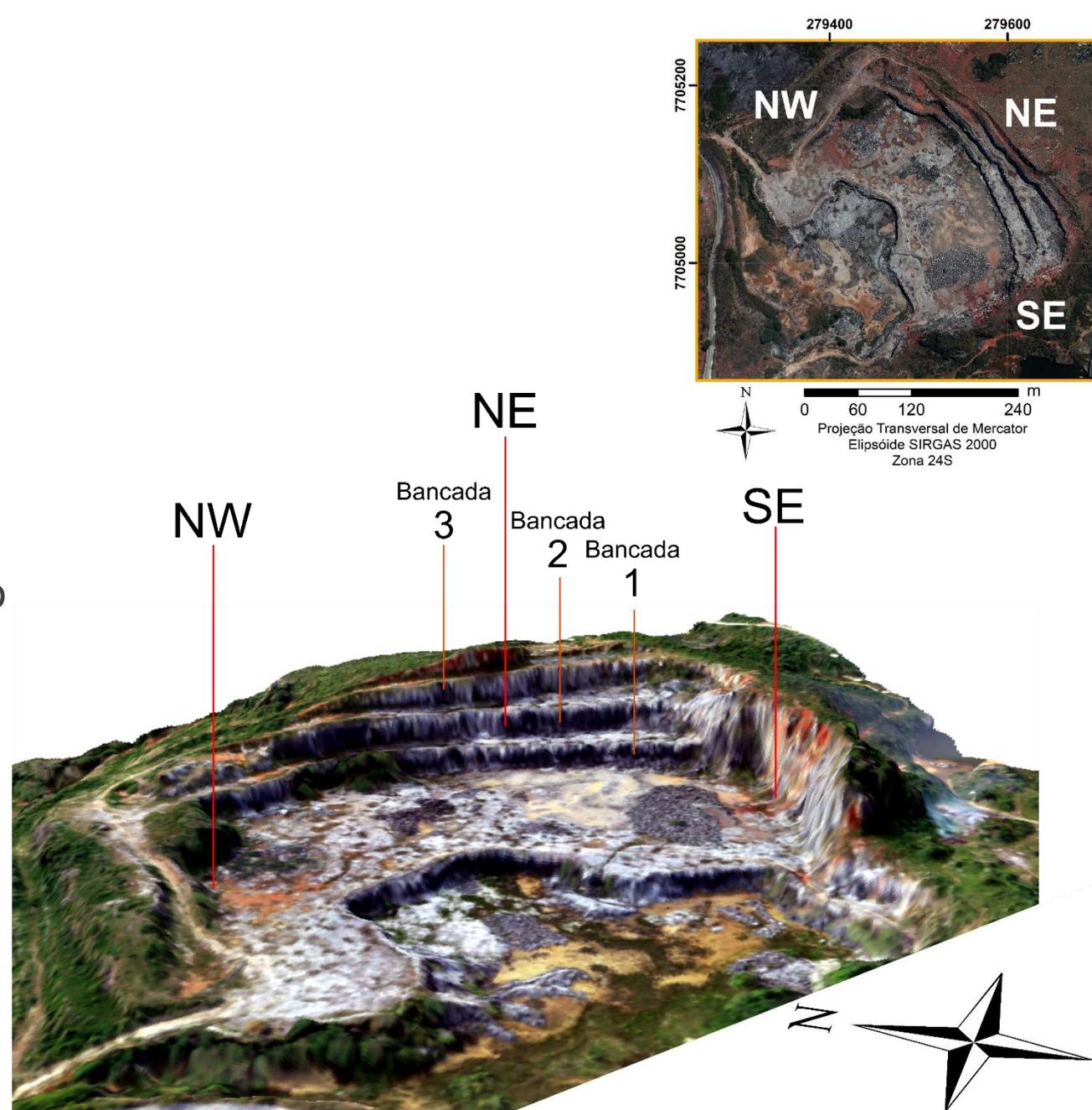


Figura 1. Identificação dos setores da pedreira (NW, NE e SE) e a divisão das bancadas para o talude NE. .

Materiais e Métodos



Materiais e Métodos

- Foram utilizados os seguintes materiais
 - Dados de classificação RMR (BOULHOSA, 2018);
 - Dados estruturais (SANTOS, 2018);
 - *Software EXCEL*® (Microsoft);
 - *Software Dips*® (Rocscience)



Materiais e Métodos

Classificação SMR – Slope Mass Rating (Romana, 1985)

$$SMR = RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

Análise estrutural e cinemática
Fatores de ajuste

Classificação Rock Mass Rating

- 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~~

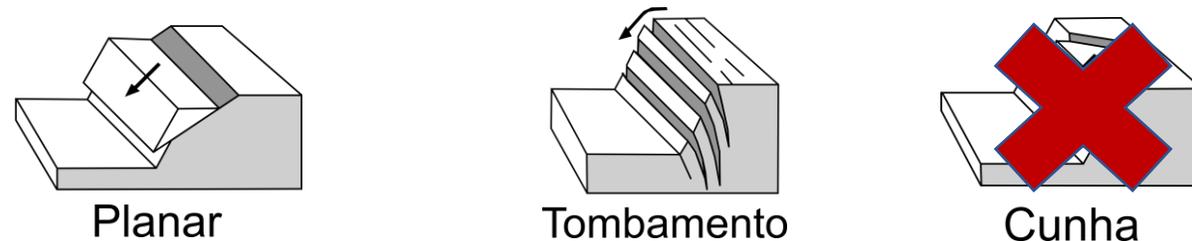


Figura 2. Mecanismos de ruptura comumente observados em maciços rochosos estruturados. Fonte.: Modificado de Wyllie e Mah, 2004.

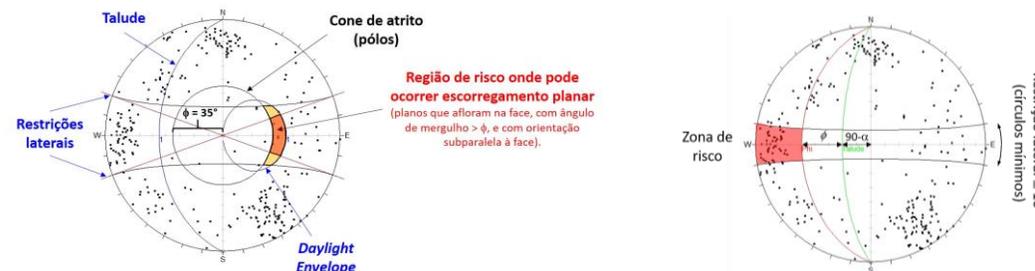


Figura 3. Overlay para a identificação das famílias de descontinuidades que podem provocar ruptura planar. Fonte.: Hartwig (notas de aula).

Figura 4. Overlay para análise cinemática por tombamento flexural. Fonte: Hartwig (notas de aula).



Materiais e Métodos

Classificação SMR – *Slope Mass Rating* (Romana, 1985)

$$SMR = RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

- Dados de classificação RMR (BOULHOSA, 2018)
 - Versão de Bieniawski (1989) a cada 5 metros
 - Média dos valores RMR por bancada
- Dados estruturais (SANTOS, 2018)
 - *Scanlines* com extensão de 55 metros
 - Dados agrupados por talude
 - Ângulo de atrito de 63°

Tabela 1. Geometria dos taludes estudados.

Fonte: Santos (2018).

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



Aspectos Geológicos



Resultados e Discussões



Estruturação

1. Classificação *Rock Mass Rating* (RMR)
2. Análise Estrutural
3. Análise Cinemática
4. Classificação *Slope Mass Rating* (SMR)

Resultados e discussões

- Classificação *Rock Mass Rating* (RMR)
Boulhosa (2018)
 - Maciços de **qualidade** geomecânica **boa e muito boa**
 - Classes I e II
 - **Coeficiente de variação baixo**
 - Homogeneidade dos dados

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

Fonte: Boulhosa (2018).

Taludes	Bancada	RMR Médio	CV (%)*
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

Resultados e discussões

- Análise estrutural
 - Talude NE1
 - Concentração 182 polos
 - Três famílias de descontinuidades

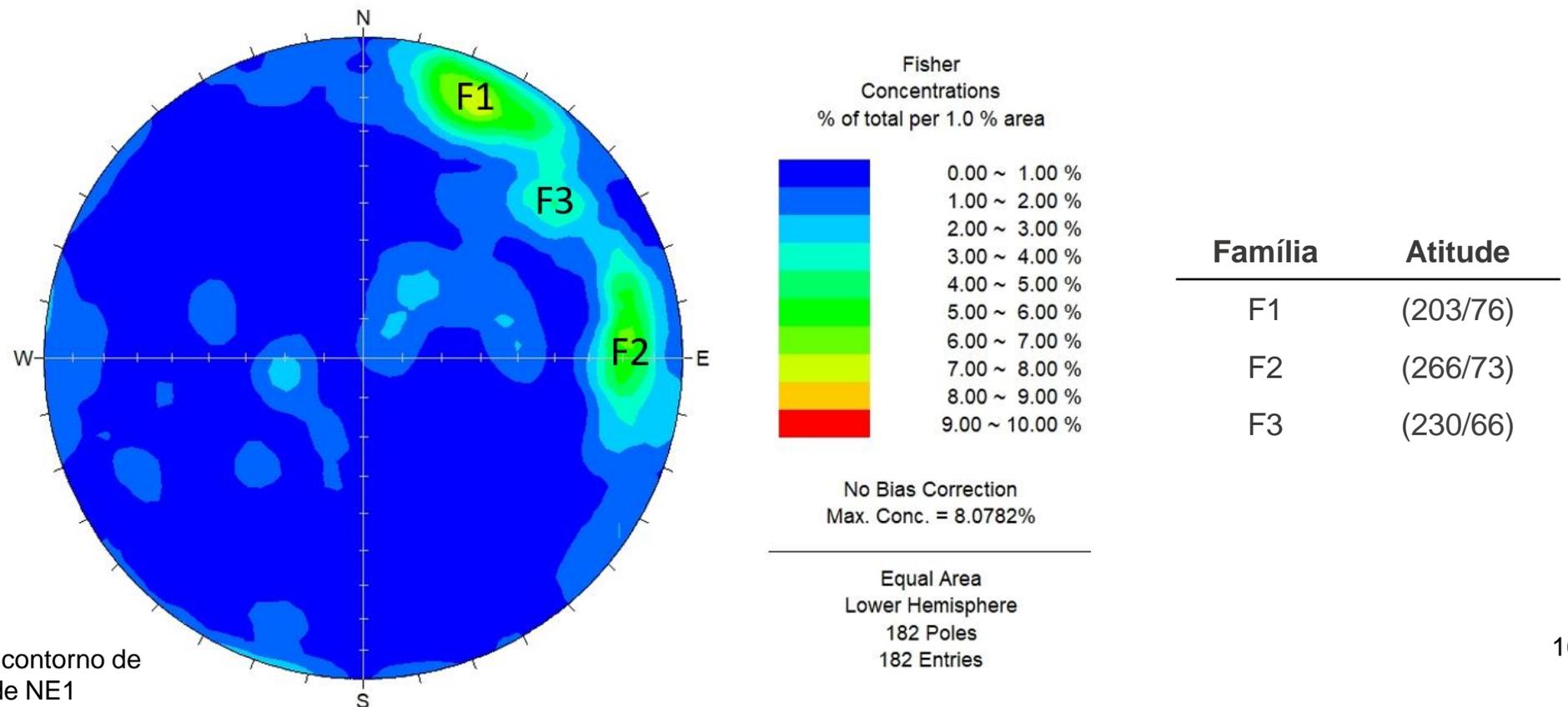


Figura 9. Estereograma de contorno de pólos de juntas para o Talude NE1

Resultados e discussões

- Análise estrutural

- Talude NE2

- Concentração 124 polos
- Nove famílias de descontinuidades

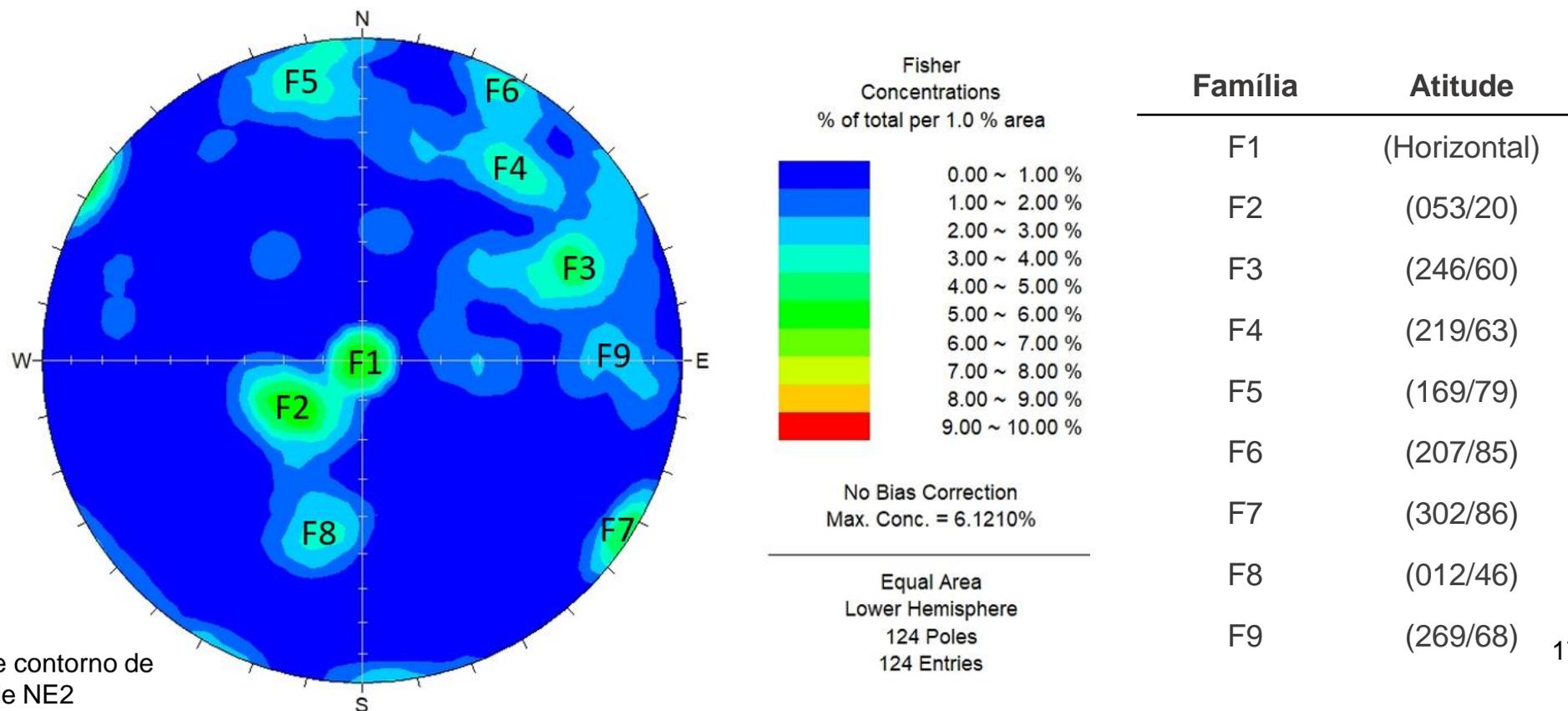


Figura 10. Estereograma de contorno de pólos de juntas para o Talude NE2

Resultados e discussões

- Análise estrutural
 - Talude NE3
 - Concentração 97 polos
 - Cinco famílias de descontinuidades

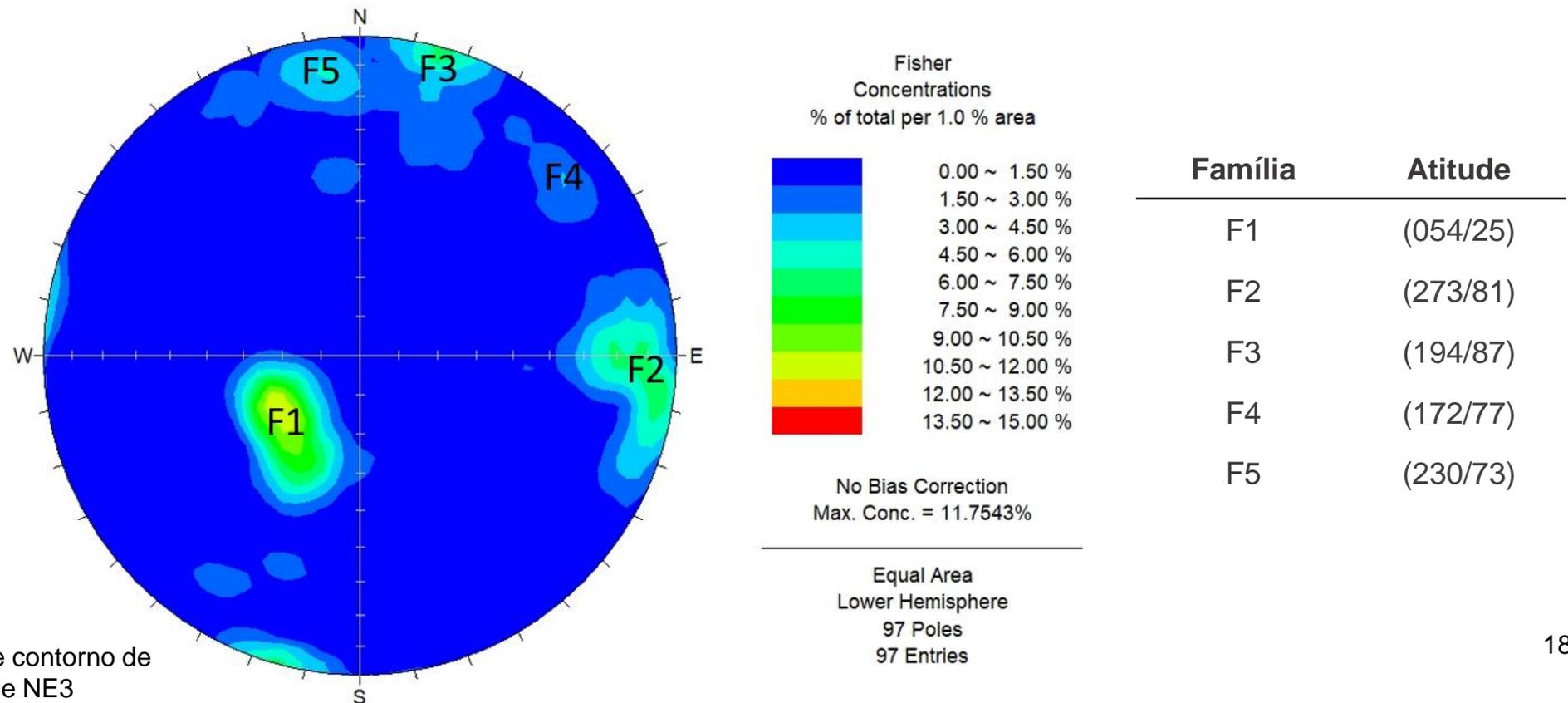


Figura 11. Estereograma de contorno de pólos de juntas para o Talude NE3

Resultados e discussões

- Análise estrutural
 - Talude SE
 - Concentração 98 polos
 - Dez famílias de descontinuidades

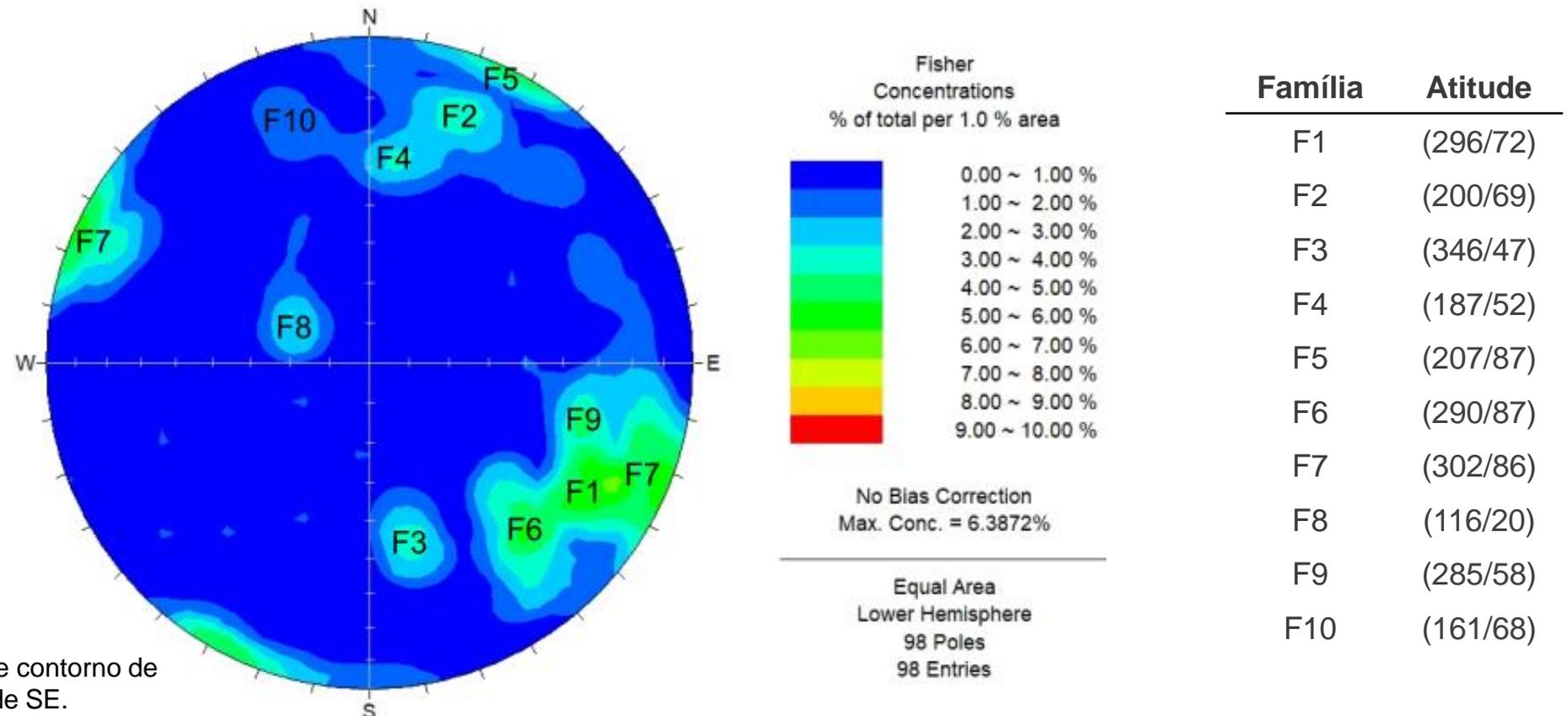


Figura 12. Estereograma de contorno de pólos de juntas para o Talude SE.

Resultados e discussões

- Análise estrutural
 - Talude NW
 - Sete polos de descontinuidades

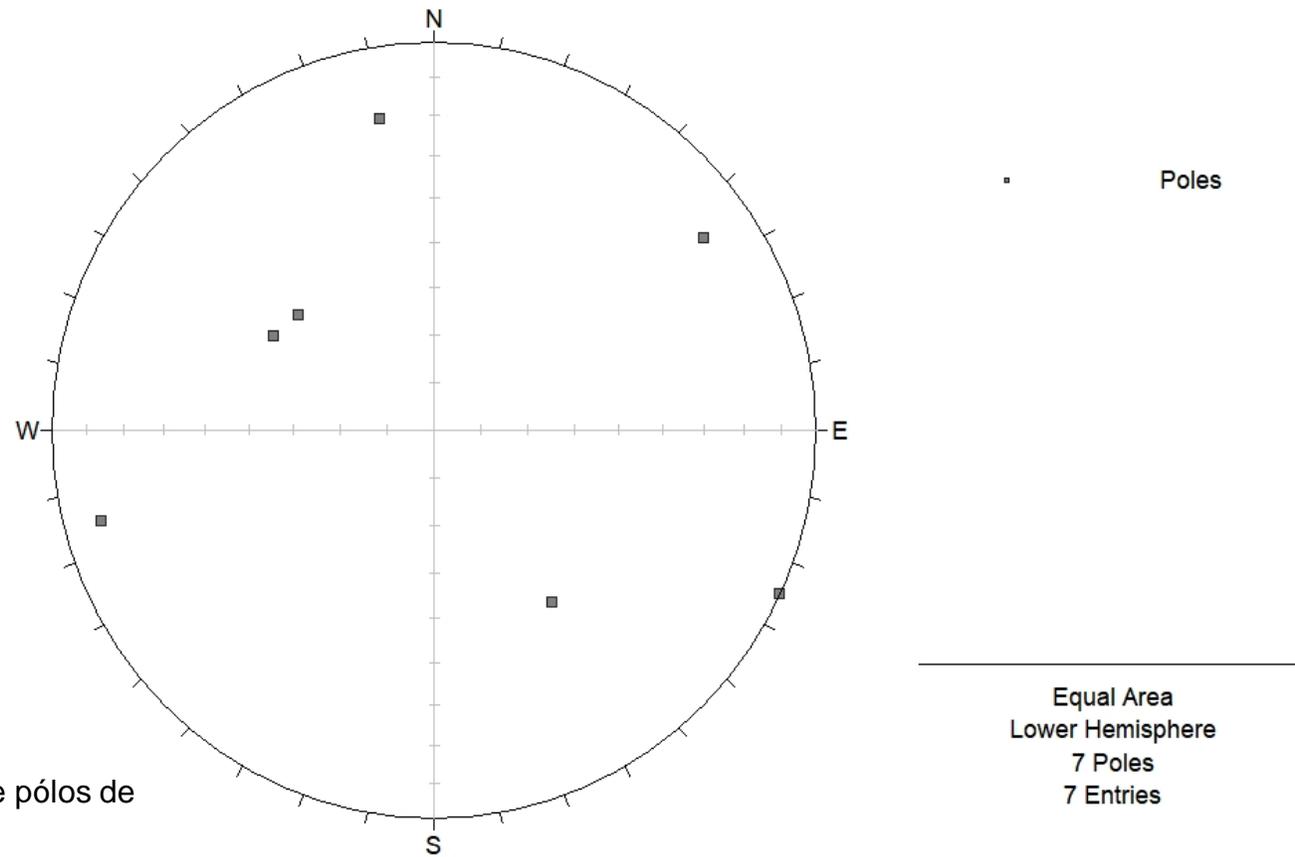


Figura 13. Estereograma de pólos de juntas para o Talude NW.

Resultados e discussões

- Análise cinemática
 - Talude NE1
 - Possível ruptura planar – família de juntas **F2**
 - Sem possibilidade de ruptura por tombamento flexural



Figura 15. a) Grande ruptura planar afetando o talude NE1.

b)

Figura 14. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o talude NE1.

Resultados e discussões

- Análise cinemática
 - Talude NE2
 - Possível ruptura planar – família de juntas **F3** e **F4**
 - Sem possibilidade de ruptura por tombamento flexural

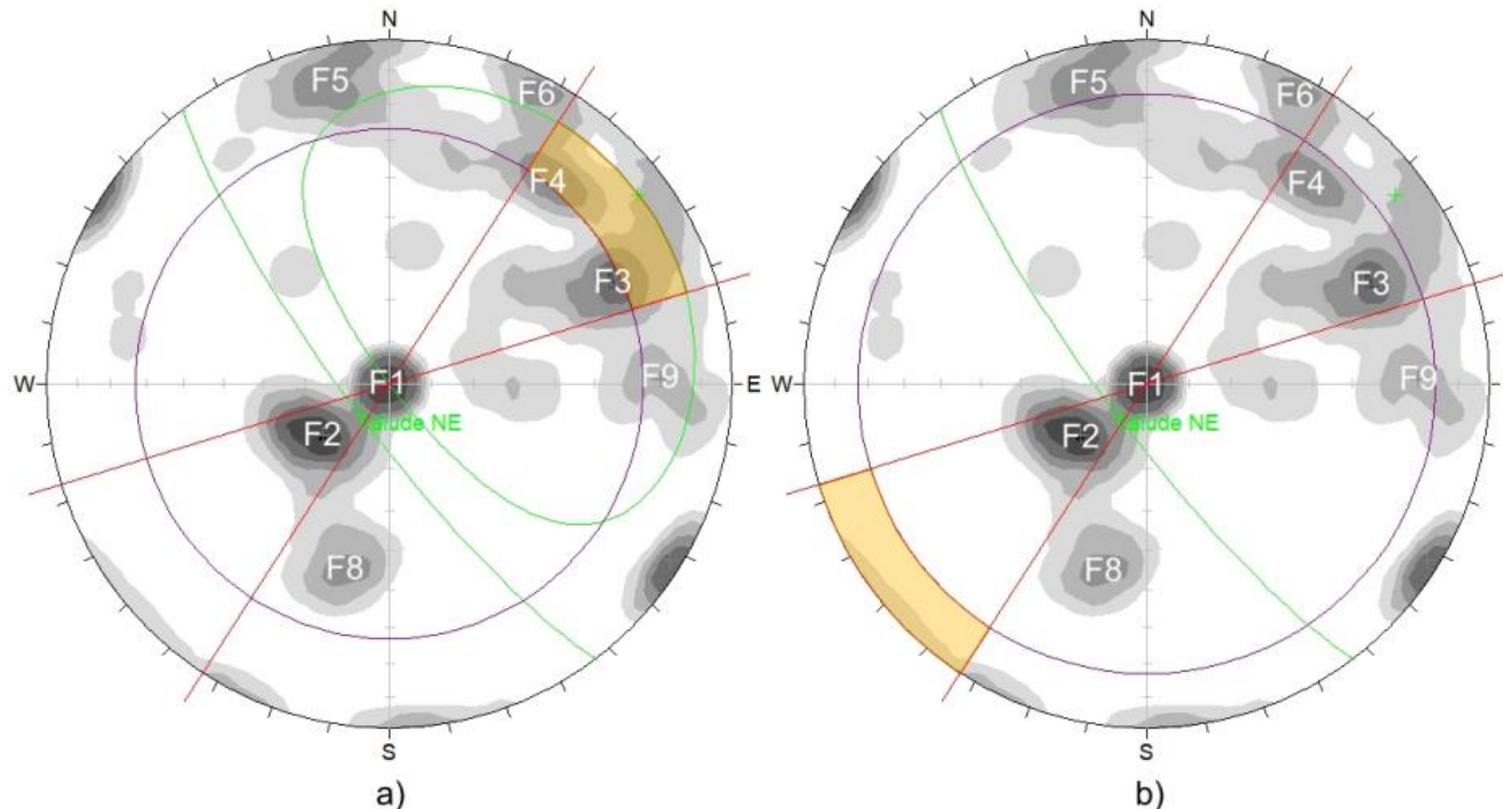


Figura 16. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o Talude NE2.

Resultados e discussões

- Análise cinemática
 - Talude NE3
 - Possível ruptura planar – família de juntas **F4**
 - Sem possibilidade de ruptura por tombamento flexural

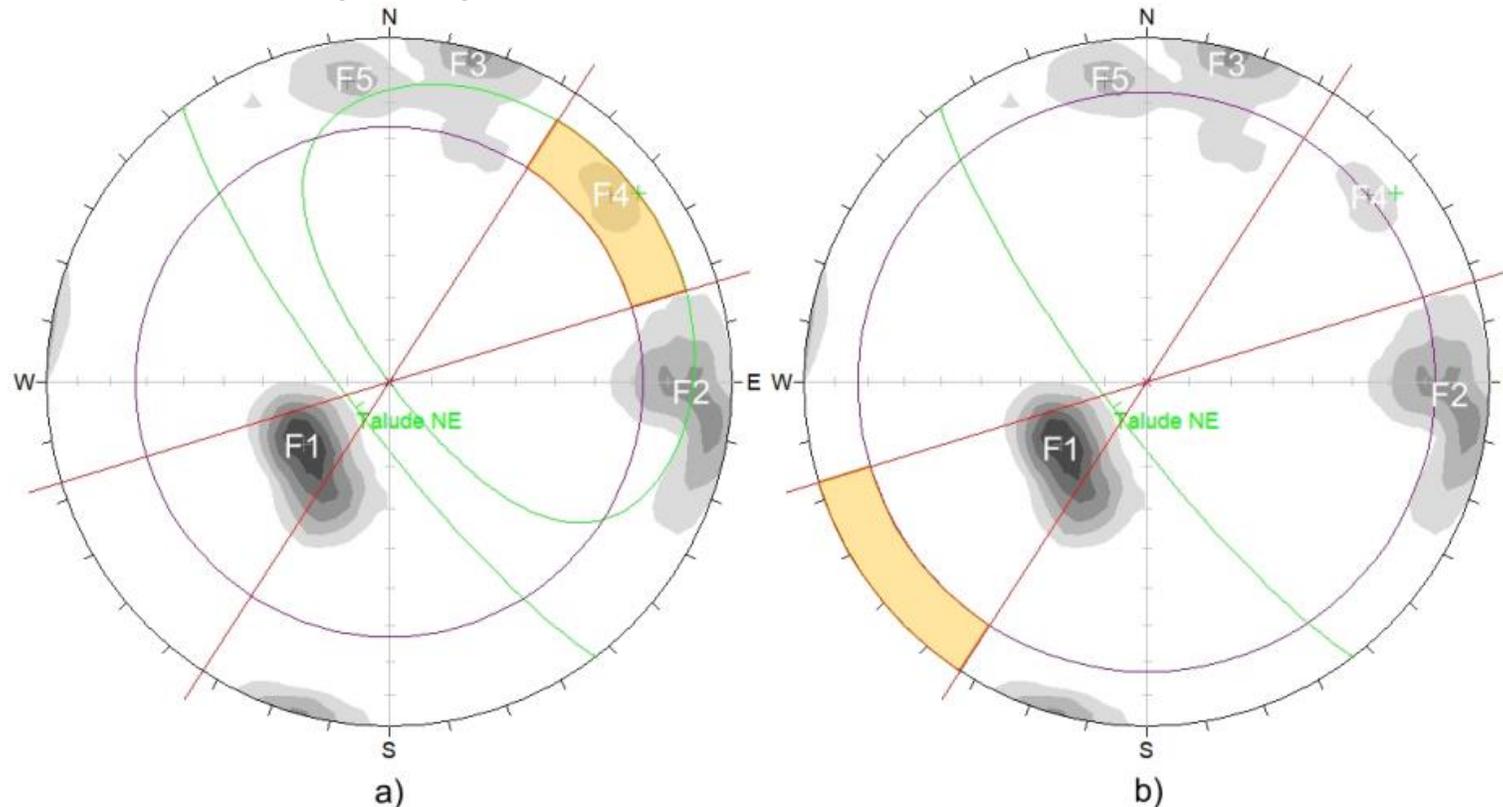


Figura 17. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o Talude NE3.

Resultados e discussões

- Análise cinemática

- Talude SE

- Possível ruptura planar – família de juntas **F6**
- Possibilidade de ruptura por tombamento flexural – família de juntas **F7 e F10** (dispersão)

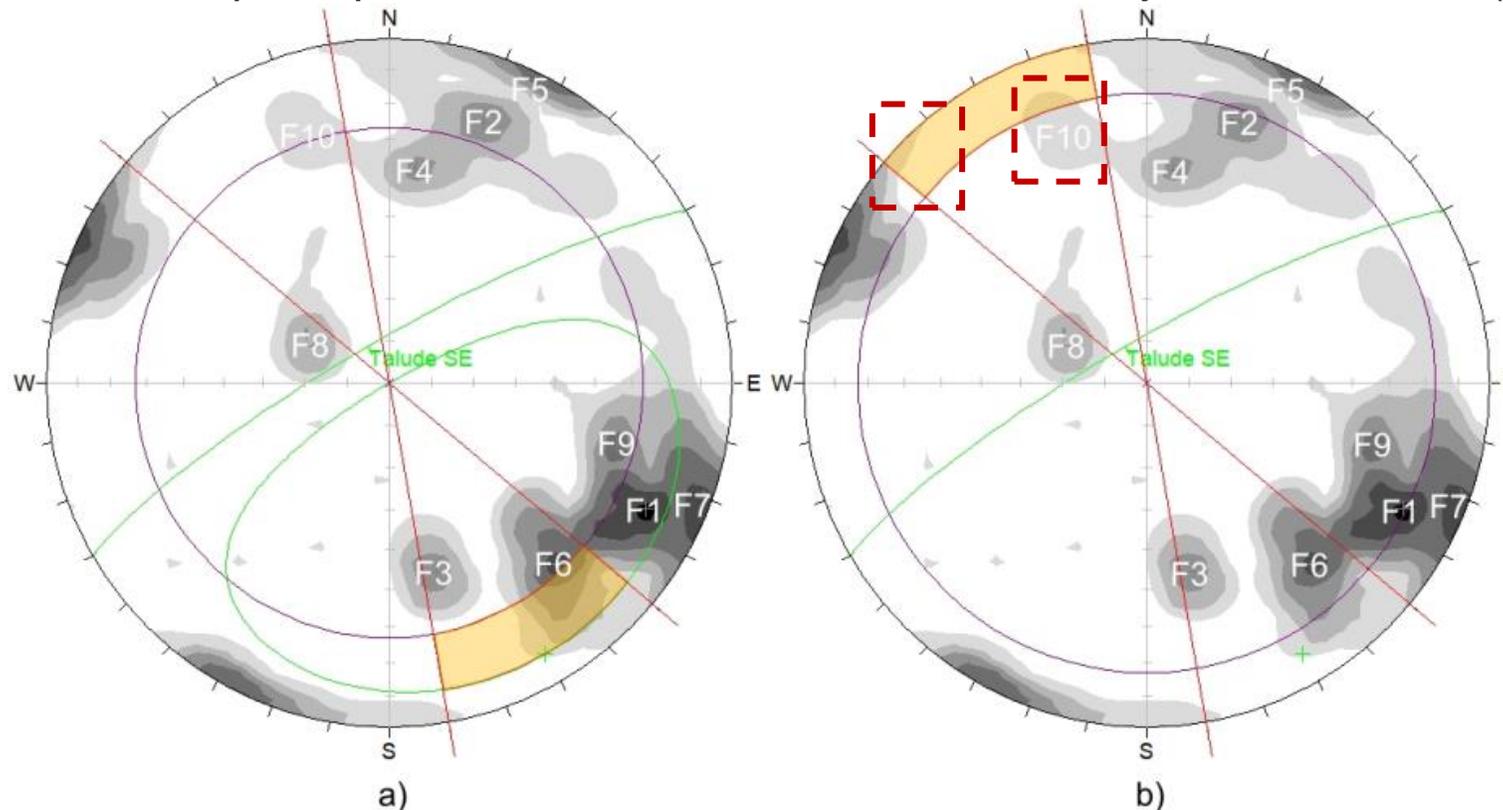


Figura 18. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o Talude SE.

Resultados e discussões

- Análise cinemática

- Talude NW

- Possibilidade baixíssima de ruptura planar
- Sem possibilidade de ruptura por tombamento flexural

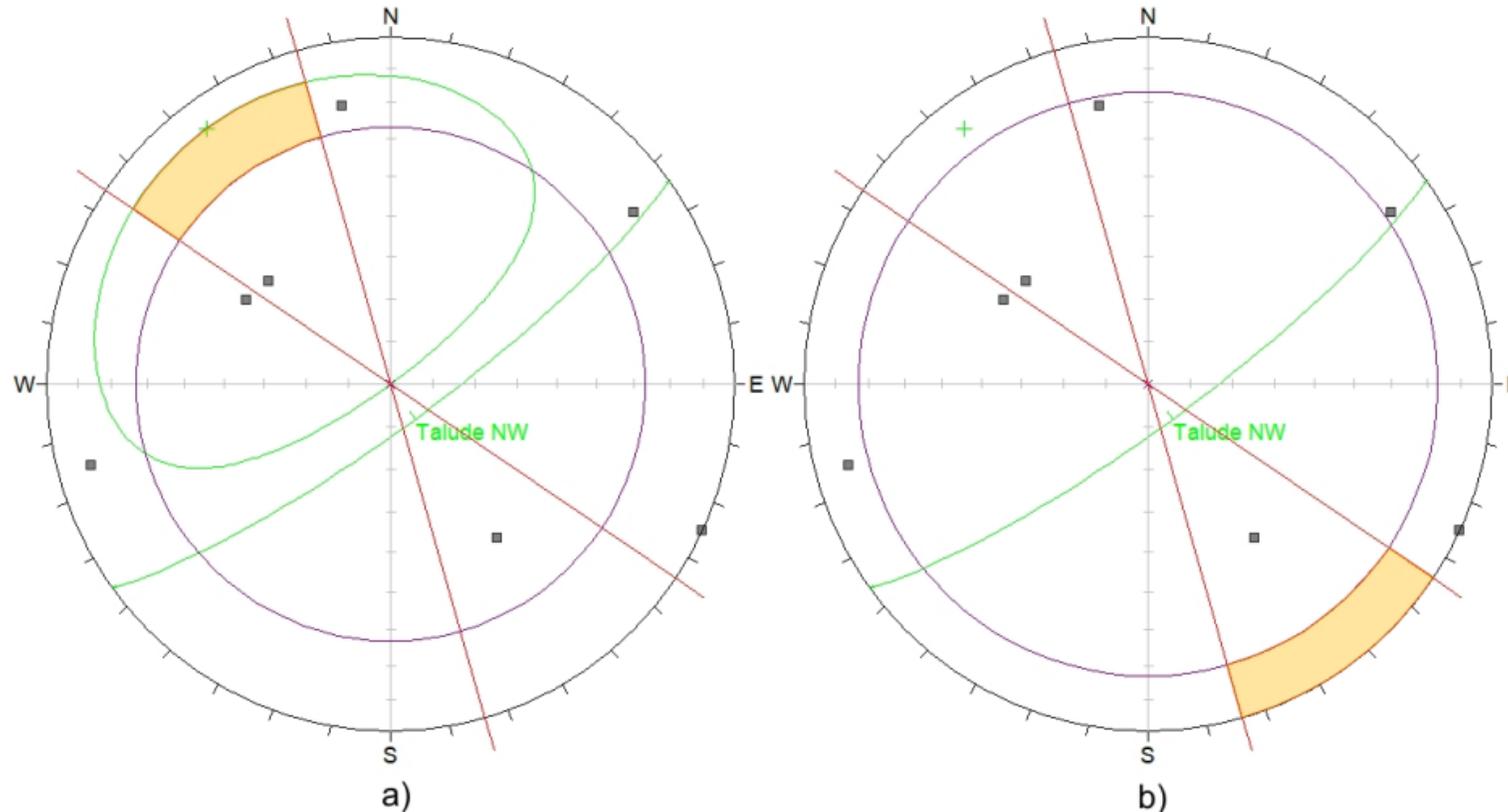


Figura 19. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o Talude NW.

Resultados e discussões

- Classificação geomecânica SMR
- Não foi observado tombamentos flexurais em campo

Tabela 5 . Síntese das famílias de descontinuidades que podem provocar rupturas para os taludes estudados.

Taludes	Bancadas	Ruptura planar	Ruptura tombamento flexural	Atitude
	1	F2	-	266/73
NE	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	-	-	-	-

Resultados e discussões

- Classificação *Slope Mass Rating* (SMR)

Tabela 7. Tratamentos sugeridos de SMR para as diferentes condições de taludes estudados..

						SMR
Talude		SMR	Classe	Descrição	Tratamentos	
NE	1	76,2	II	Bom	Limpeza	F2 = 76,2
	2	36,3	IV	Ruim	Sistema de drenagem, concreto projetado e ancoragens	F3 = 36,3 F4 = 36,3
SE	3	65,7	II	Bom		F3 = 65,7
	-	66,6	II	Bom	Limpeza, ancoragens e tela metálica	F3 = 66,6 F7 = 71,8 F10 = 71,8

Conclusões e Recomendações



Conclusões e recomendações

- Os resultados obtidos permitem concluir que:
 - Os **taludes estudados** estão sujeitos a **ruptura planar**, com **exceção** do talude NW;
 - Os **taludes estudados** foram **classificados** em geral como **maciços de boa qualidade** geomecânica (classe SMR II);
 - 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. 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, não estudadas neste trabalho.

Referências



Referências

- 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.
- DEGLER, R.; PEDROSA-SOARES, A. ; DUSSIN, I.; QUEIROGA, G.; SCHULS, B. **Contrasting provenance and timing of metamorphism from paragneisses of the Araçuaí - Ribeira orogenic system, Brazil:** Hints for Western Gondwana Assembly. International Association for Gondwana Research. Elsevier, 2017.
- 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. Pags 1-458,1997
- 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
- 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.].
- WYLLIE, D.C.; MAH, C.W. 2004. **Rock Slope Engineering: civil and mining.** London: Inst. of Mining and Metallurgy. 431p.

Obrigado a todos!!!

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





Mundo da Geomática

“A multidisciplinaridade e a integração harmônica de uma equipe correspondem ao sucesso de um trabalho em conjunto.”
(Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos)