

**CARACTERÍSTICAS DAS DESCONTINUIDADES DE TALUDES
ROCHOSOS EM PEDREIRA DE DIABÁSIO EM LIMEIRA (SP)**

Gabriel Keiti Tsukada Guibu¹; Ana Elisa de Abreu²; Rogério Pinto Ribeiro³;

João Antônio Curtis Neto⁴; Jozias Caetano de Souza Bravo⁵

Resumo – Este trabalho analisa as propriedades das descontinuidades das principais litologias presentes na pedreira a céu aberto, localizada no município de Limeira (SP). Nesse local, uma intrusão ígnea com grande variedade composicional é explorada para produção de agregado para construção civil. As rochas encaixantes são sedimentares. Realizaram-se levantamentos sistemáticos por meio do método de linha de varredura, em três litologias diferentes (monzodioritofanerítico grosso, monzodioritofanerítico médio e arenito), buscando evidenciar os diferentes comportamentos geotécnicos das rochas. Para cada linha de varredura, analisaram-se as características das descontinuidades que são mais importantes no estudo da estabilidade de taludes em rocha. Os dados levantados até o momento permitiram identificar que as litologias e as paredes das descontinuidades classificam-se como moderadamente alteradas, no arenito, e como são nas duas variedades de monzodiorito. As fraturas no arenito são mais persistentes que as fraturas das rochas ígneas e as rugosidades são mais lisas no arenito e no monzodioritofanerítico médio em relação ao monzodioritofanerítico grosso. A continuidade dos levantamentos permitirá a realização das análises cinemáticas nas várias frentes de lavra e seus acessos.

Abstract – This work analyzes the properties of the discontinuities in the open pit of a mining located in Limeira (SP). In this pit an igneous intrusion, with a large compositional variability is mined to produce aggregate for the civil construction industry. The wall-rocks are sedimentary rocks. Systematic surveys were carried out using the scanline method in three different lithologies (coarse phaneriticmonzodiorite, medium phaneriticmonzodiorite and sandstone), in order to evidence the geotechnical behaviour of these rocks. For each scanline all the characteristics of the discontinuities that are important for the study of slope stability were analysed. The data collected so far shows that the lithologies and the walls of the discontinuities are classified as moderately altered in the sandstone and as sound in monzodiorites. The fractures in the sandstone are more persistent than the fractures of the monzodiorites and the roughness is smoother in the sandstone and in the medium phaneriticmonzodiorite in relation to the coarse phaneriticmonzodiorite. Future surveys will enable the evaluation of slope stability using cinematic analysis.

Palavras-Chave – Estabilidade de talude em rocha; Sill de Limeira; linha de varredura.

¹ Geól., Universidade Estadual de Campinas, (11) 97200-3167, keiti.guibu@gmail.com

² Geól., PhD, Universidade Estadual de Campinas, (19)3521-4575, anaelisa@ige.unicamp.br

³ Geól., PhD, Escola de Engenharia de São Carlos, rogerioprx@sc.usp.br

⁴ Geól., MSc, Escola de Engenharia de São Carlos, geol.joaocurtis@gmail.com

⁵ Geól., MSc, Escola de Engenharia de São Carlos, joziascaetano@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Com a ampliação da atividade de mineração no país, houve um aumento da conscientização por maior segurança nessa atividade, de modo a evitar possíveis perdas de vidas e mitigar prejuízos econômicos. Dentro deste contexto, a aplicação do estudo da estabilidade de talude, na área de exploração mineral é realizada quando a extração ocorre em mina a céu aberto a partir de bancadas ou taludes subverticais. De maneira geral, essas instabilidades são ocasionadas por fatores extrínsecos (sobrecarga, gradiente térmico, etc.) e intrínsecos (distribuição espacial das descontinuidades, percolação de fluídos, tipo de rocha, etc.). Para garantir a estabilidade destes taludes são indispensáveis amplas investigações geotécnicas (MENEZES, 2012; REIS, 2010).

Uma das técnicas mais utilizadas nestas investigações é o método de levantamentos sistemáticos com base em linhas de varredura. A partir delas é possível obter informações sobre as características geológico-geotécnicas dos taludes, como por exemplo, características das descontinuidades (direções preferenciais, persistência, espaçamento, rugosidade, preenchimento, abertura e presença de água), tipo de rocha, possíveis alterações, etc. Fundamentado nas informações estruturais obtidas é possível identificar possíveis rupturas e classificá-las em planar, cunha ou tombamento. Esse estudo utiliza como base o método de projeção estereográfica e é denominada análise cinemática.

Este trabalho apresenta resultados obtidos em levantamentos sistemáticos, realizados em pedreira de brita localizada no município de Limeira, SP, e enfatiza a caracterização das descontinuidades presentes nos diversos litotipos aflorantes na cava e em seus acessos.

2. OBJETIVO

O trabalho teve como objetivo realizar levantamentos estruturais em uma Pedreira no município de Limeira, SP, permitindo diagnosticar as possíveis instabilidades nos taludes por meio do estudo cinemático. Os levantamentos de campo ainda estão em andamento. Neste artigo são apresentados resultados preliminares relativos às características das descontinuidades levantadas no local, principalmente a estatística dos dados de alteração das rochas e paredes, rugosidade e persistência, permitindo comparar as características predominantes em cada litotipo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho de campo na área de estudo foi realizado ao longo de três dias. Durante este período foi possível realizar levantamentos sistemáticos, das características geológicas-geotécnicas de três litotipos presentes na área da pedreira. As litologias estudadas foram: monzodioritofanerítico grosso (MzFG), monzodioritofanerítico médio (MzFM) e arenito (Ar). Os dois primeiros são denominados comercialmente de diabásio ou basalto e comercializados como brita. O arenito é uma das rochas encaixantes da intrusão ígnea e aflora na estrada de acesso à cava. A figura 1 apresenta a localização dos levantamentos sistemáticos executados.



Figura 1. Localização dos afloramentos descritos durante o trabalho de campo (Fonte: Google Earth).

Em geral, as características que representam a qualidade e o comportamento das descontinuidades nos maciços rochosos são a orientação espacial, persistência, espaçamento, rugosidade, abertura, preenchimento e presença de água. Utilizou-se o método denominado “linha de varredura” (*scanline*, termo em inglês) para a realização de levantamentos sistemáticos das descontinuidades. Os métodos mais utilizados na geotecnia são a amostragem por linha de varredura (*scanline*) e a técnica por janela (*window*, termo em inglês). De acordo com Fiori e Carmignani (2009) o método de análise por linha de varredura é a melhor técnica a ser utilizada, devido ao maior detalhamento da densidade e variedade das atitudes das descontinuidades. Esse método consiste, primeiramente, na escolha de locais que contém feições de interesse. Posteriormente, é demarcada uma linha contínua no afloramento, para finalmente caracterizar todas as descontinuidades que “cortam” este traçado.

O comprimento de cada “linha de varredura” levantada na pedreira em Limeira, juntamente com a orientação de cada talude está presente na tabela 1.

Tabela 1. Comprimento da “linha de varredura” e orientação de cada talude estudado.

Litologia	Comprimento da “linha de varredura”(m)	Orientação
MzFG	6	N70W/80SW
MzFM	10	N10W/70NE
Ar	8	N10W/70SW

Legenda: MzFG = monzodioritofanerítico grosso, MzFM = monzodioritofanerítico médio, Ar = arenito

Posteriormente, as medidas estruturais coletadas em campo foram plotadas na Rede Schmidt, com auxílio do *software* Dips 5.1 (Rocscience), visando identificar as famílias de fraturas. Além disso, com o mesmo *software*, foram construídos histogramas, das seguintes características: alteração da rocha e paredes, persistência e rugosidade, visando comparar as características de cada litotipo.

Para a classificação das propriedades das descontinuidades foram utilizadas as classes propostas pela ISRM (1978), com exceção da rugosidade, para a qual se utilizou a classificação proposta por Barton & Choubey (1977).

4. LOCALIZAÇÃO

A referida pedreira localiza-se no município de Limeira, SP, pertencente à Região Administrativa de Campinas. A área está localizada no km 140 da Rodovia Anhanguera, a uma distância aproximada de quarenta e sete quilômetros de Campinas. A principal via de acesso ao local se dá pela Rodovia Dom Pedro I e Anhanguera, SP-330.

5. CONTEXTO GEOLÓGICO

A intrusão de Limeira (SP) ocorre na borda leste da Bacia do Paraná em meio aos corpos sedimentares (arenitos/siltitos) do Subgrupo Itararé (Figura 2). Está associada ao intenso magmatismo fissural, pertencente à Formação Serra Geral, inserida na Província Magmática do Paraná. O primeiro estudo realizado na área foi o de Soares (1985 *apud* CARVALHO *et al.*, 1988), que descreveu a estrutura ígnea como um *sill*, devido a suas continuidades laterais, nomeando-a “*Sill* Limeira-Cosmópolis”.

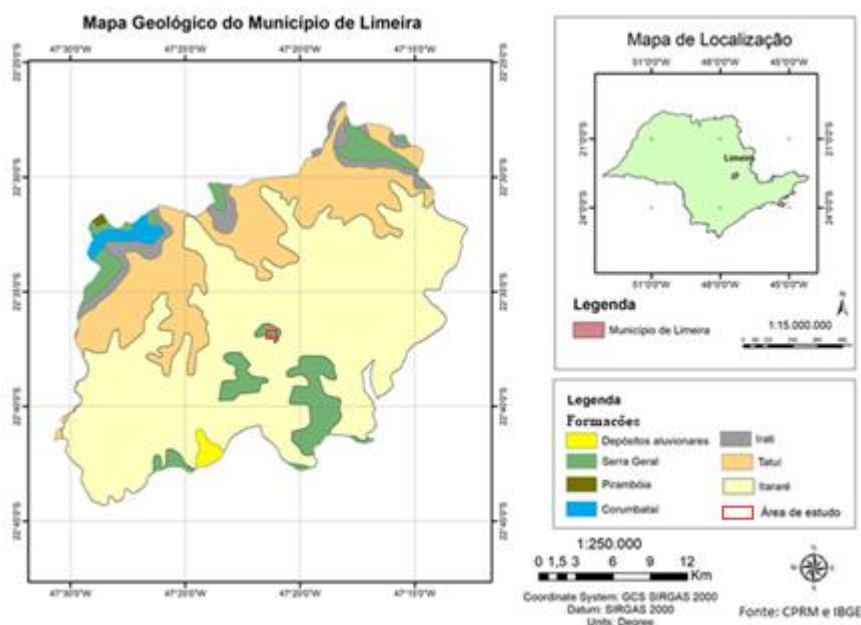


Figura 2. Mapa geológico do Município de Limeira, juntamente com a localização da área de estudo
Fonte: CPRM – Mapa Geológico de São Paulo 1:750.000.

Este *sill*, pertencente à Formação Serra Geral, encontra-se aflorante na Pedreira em Limeira, sendo explorado para produção de brita. Nesse local o corpo intrusivo apresenta uma grande variedade composicional (basalto-diabásio-monzodiorito-riolito), textural e estrutural (FARIA, 2015).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estudo em questão foram descritas 60 descontinuidades para o MzFG; 75 descontinuidades para o MzFM e 22 descontinuidades para o arenito. Com base nos dados apresentados e na rápida análise visual (Figura 3), nota-se que o talude de arenito é menos fraturado quando comparado aos taludes de monzodiorito, justificando a presença de apenas 22 descontinuidades na “linha de varredura” de 8 metros, segundo maior comprimento levantado neste estudo.

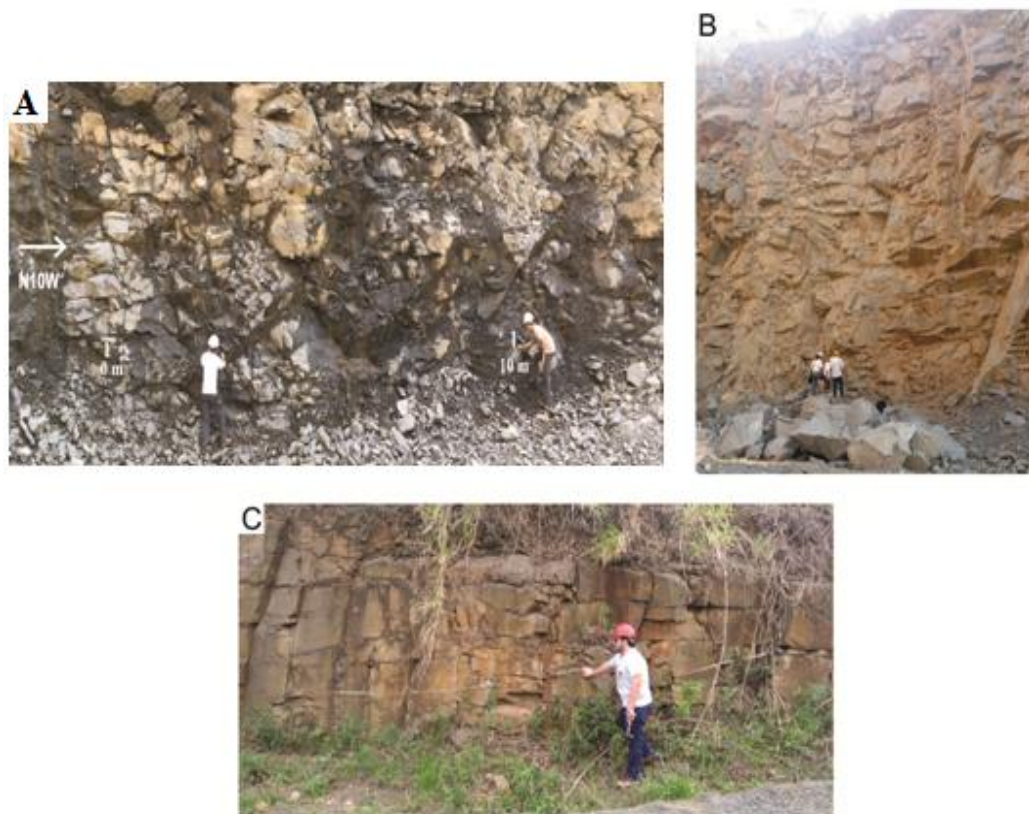


Figura 3. Detalhe da quantidade de fraturas nos taludes de (A) MzFM; (B) MzFM; (C) Arenito.

Ao comparar os esteoregramas feitos para o arenito, MzFM e MzFG (Figura 4.A, B e C), observa-se que as concentrações dos pólos, no MzFM, estão ainda indefinidas, ou seja, seus resultados encontram-se dispersos. Tal fato pode ser justificado como uma característica do maciço, porém para confirmar tal hipótese é necessário realizar mais levantamentos e aumentar a quantidade de descontinuidades amostradas nesta litologia.

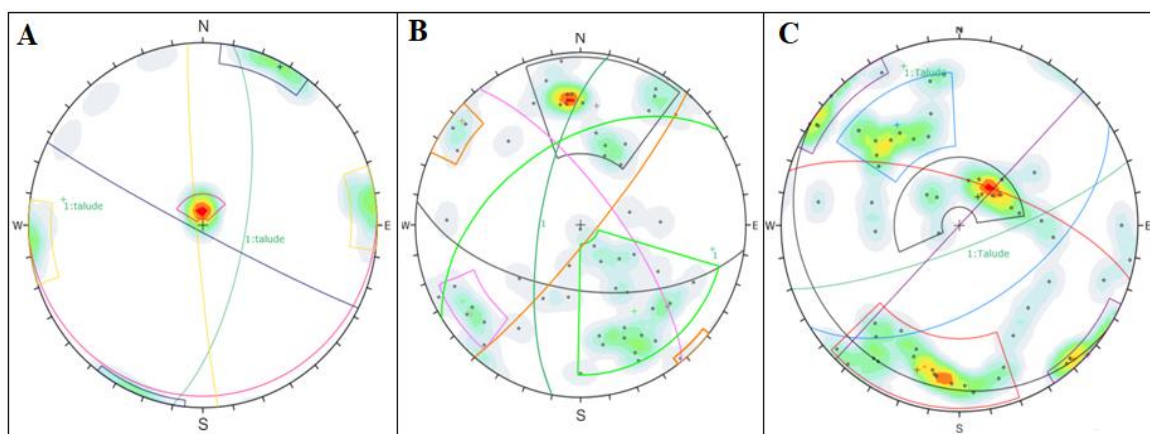


Figura 4. Comparação entre os esteogramas de (A) arenito; (B) MzFM; (C) MzFG.

De acordo com Serra Junior e Ojima (2010) a análise dos atributos do maciço na qual as descontinuidades estão presentes é essencial, uma vez que esses fatores controlam a resistência e o comportamento dos blocos. Vallejo *et al.* (2002) e Serra Junior e Ojima (2010) afirmam que, se submetidas às mesmas condições ambientais, as rochas ígneas possuem maiores resistências quando comparadas às rochas sedimentares, uma vez que os minerais que as constituem são menos suscetíveis ao intemperismo. No caso dos taludes estudados, verifica-se, a partir da figura 5, que os taludes formados por monzodiorito estão menos alterados (R6) em relação ao talude de arenito (R3). O mesmo comportamento é observado na figura 6, na qual as paredes de descontinuidades nomonzodiorito estão menos alteradas (R6) quando comparadas às alterações presentes nas paredes de arenito (R3). Confirmando a afirmação feita por Vallejo *et al.* (2002) e Serra Junior e Ojima (2010).

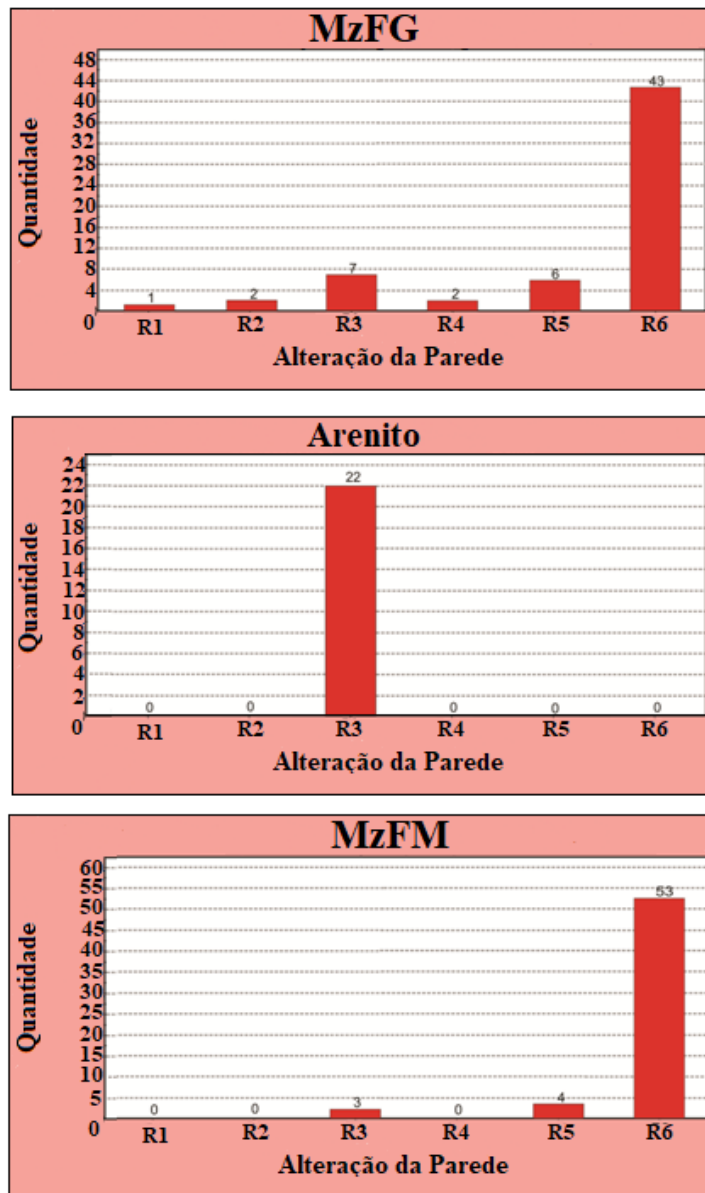


Figura 5. Histograma caracterizando a alteração das paredes, para cada litologia.

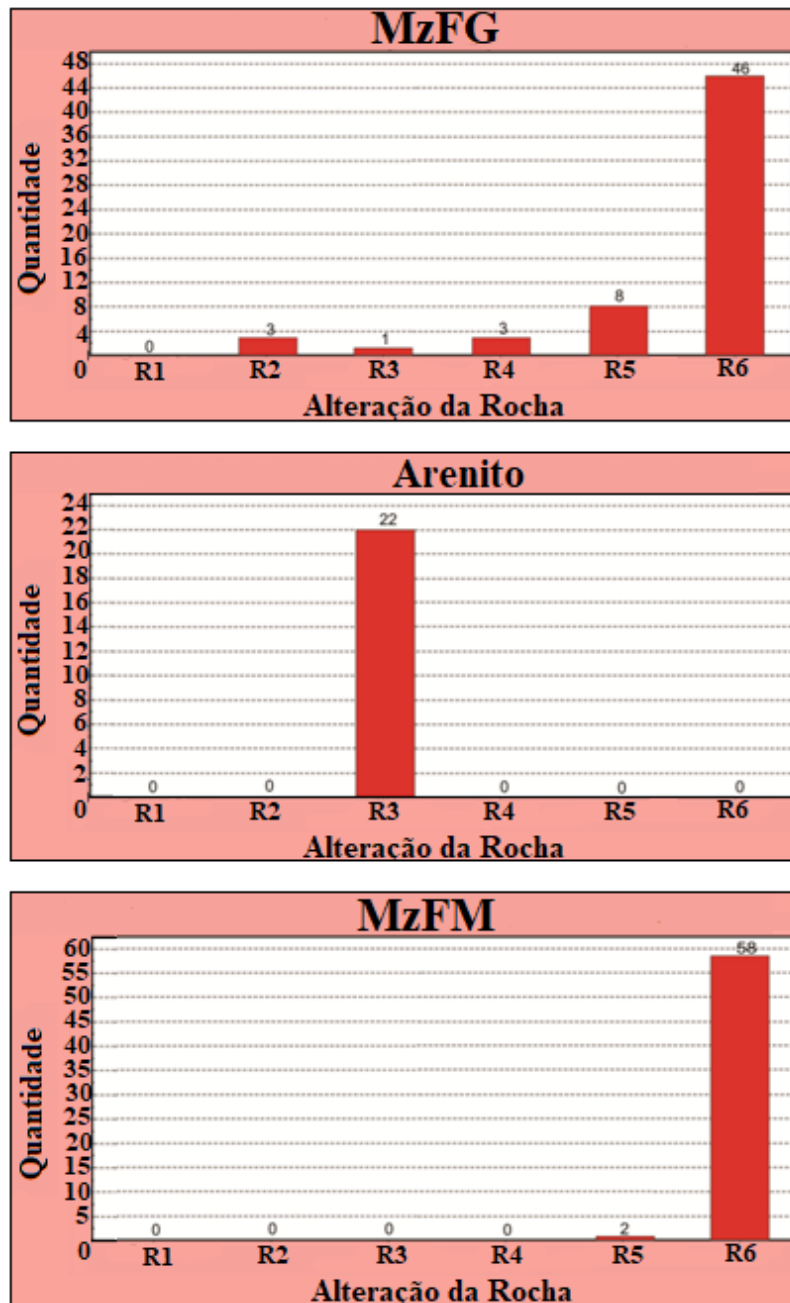


Figura 6. Histograma caracterizando a alteração da rocha, para cada litologia.

A análise das características das discontinuidades realizada evidencia o comportamento geotécnico distinto de cada litologia. Dessa maneira, observa-se que o histograma de rugosidade (Figura 7) para o talude de arenito e de monzodioritofanerítico médio (MzFM), está deslocado para a esquerda, ou seja, possuem rugosidades inferiores, quando comparadas ao monzodioritofanerítico grosso (MzFG).

No caso da persistência (Figura 8), as discontinuidades presentes nos taludes de monzodioritofanerítico médio e grosso possuem características semelhantes, com dimensões variadas, predominando discontinuidades menores que um metro. Nestas duas litologias os taludes utilizados para o levantamento sistemático tinham alturas aproximadas de 10 e 20 metros respectivamente. No arenito a maioria das discontinuidades possui pequenos comprimentos, entre 1 a 3 metros. Entretanto deve-se considerar que isso ocorre porque o talude levantado possuía uma altura limitada a três metros, prejudicando a determinação da persistência real das fraturas subverticais. Como consequência, as maiores persistências observadas ocorrem unicamente nas discontinuidades subhorizontais.

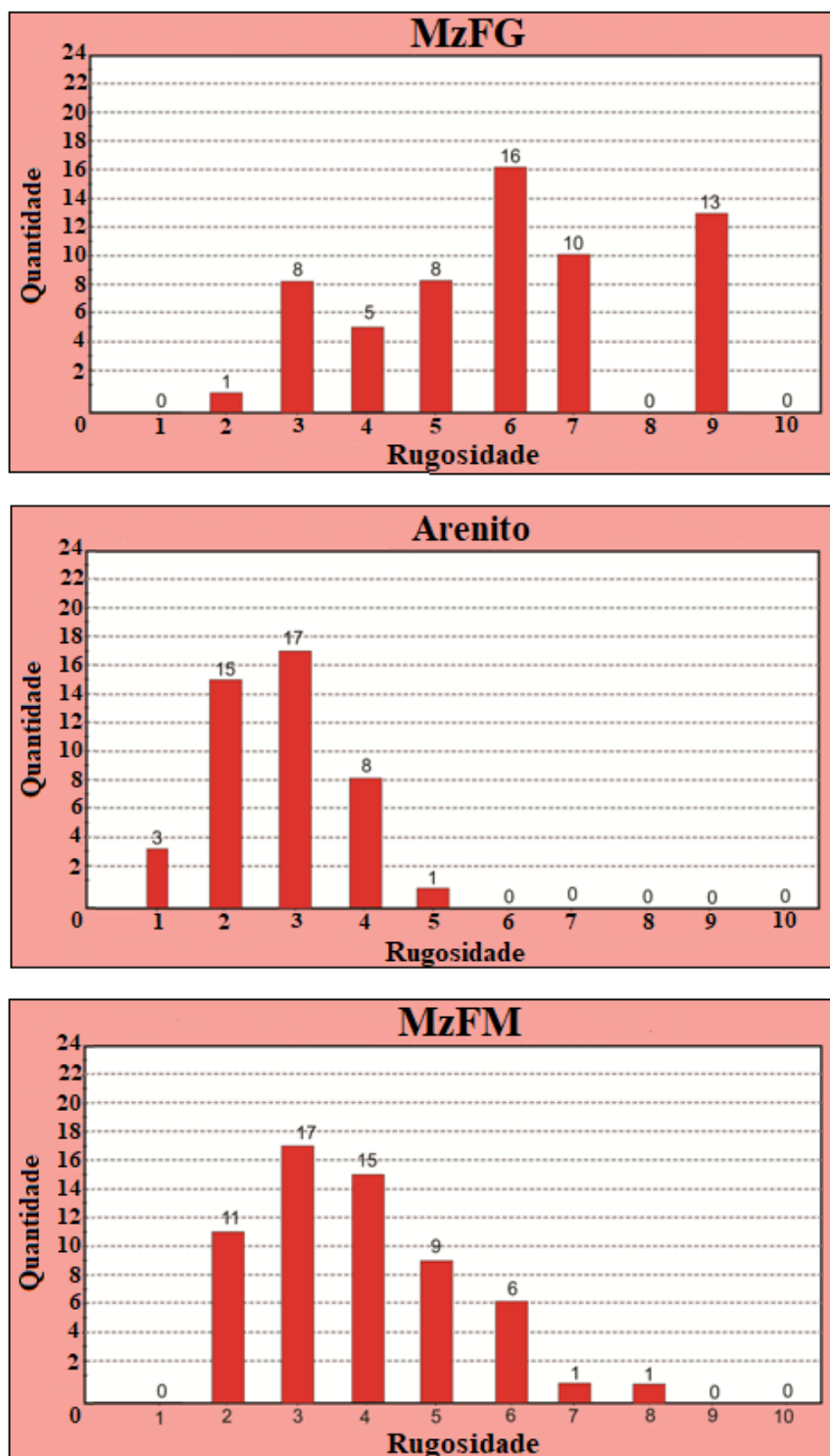


Figura 7. Histogramas caracterizando a rugosidade, para cada litologia.

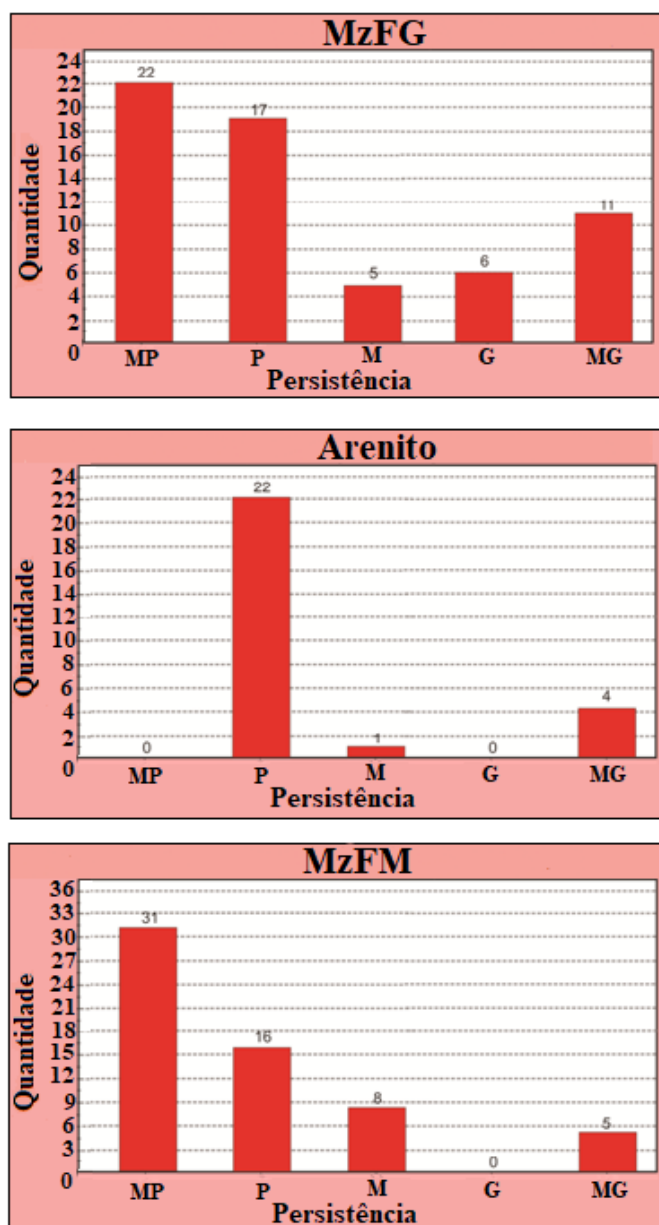


Figura 8. Histogramas caracterizando a persistência, para cada litologia.

7. CONCLUSÃO

O trabalho abordou a caracterização dos taludes presentes em uma Pedreira no município de Limeira, SP, analisando a predominância das características das discontinuidades em função do tipo litológico presente em cada talude.

Comparando os resultados obtidos, o arenito, pertencente ao Subgrupo Itararé, possui alterações (rocha/parede) moderadas, classificando-se, predominantemente, como R3. Já os taludes formados por monzodioritofanerítico grosso ou médio, pertencentes à Formação Serra Geral, estão praticamente sãos, classificando-se como R6.

Com relação à persistência, os monzodioritos possuem discontinuidades com dimensões, majoritariamente, inferiores a um metro, porém há grandes variações dimensionais. O arenito é caracterizado por uma persistência homogênea, quando comparado aos monzodioritos, com predominância de discontinuidades entre um a três metros. Por último, o arenito e o monzodioritofanerítico médio possuem superfícies mais lisas em relação ao monzodioritofanerítico grosso.

Cabe ressaltar que os resultados são preliminares. Faz-se necessário adquirir um número maior de dados sobre as características geológico-geotécnicas das descontinuidades presentes em cada litologia na pedreira para realização das análises cinemáticas das rupturas esperadas em cada setor da lavra.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Grupo Estrutural pelo suporte oferecido e por ter permitido o acesso às suas instalações.

REFERÊNCIAS

- BARTON, N.; CHOUBEY, V. (1977) *The shear strength of rock joints in theory and practice*. Rock Mech, 10(1-2): 1-54.
- CARVALHO, S. G.; NARDY, A. J. R.; OLIVEIRA, M. A. F.; SOARES, P. C.; ZANARDO, A.; ANTONIO, M. C. (1988) “*Geologia e litogeoquímica dos diabásios dos sills: Borda da ata e Limeira-Cosmópolis (SP): Resultados Preliminares.*” In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25, Belém. Anais... Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, p.1281-1292.
- FARIA, C. A. (2008) “*Evolução magmática do sill de Limeira: petrografia e geoquímica.*” Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 106p.
- FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. (2009) *Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes*. Segunda edição, Curitiba: Editora UFPR, 604p.
- GOODMAN, R. E. 1989. *Introduction to rock mechanics*. Segunda Edição, John Wiley Sons, New York, 526p.
- ISMR (International Society for Rock Mechanics) (1978) *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock mechanics*. International Journal of Rock Mechanics Science and Geomechanics. Abstract., 15, p.319-368.
- MAGALHÃES, F. S.; CELLA, P. R. C. (1998) *Estrutura de maciços rochosos*. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de (orgs.) *Geologia de Engenharia*. São Paulo, ABGE, p.39-55.
- MENEZES, I. P. (2012) “*Estudo de estabilidade de taludes da mina a céu aberto São Luís em Catas Altas/MG combinado técnicas de geoprocessamento e métodos usuais de investigação e análise geológico-geotécnicas.*” Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 147p.
- PRIST, S. D. (1993) *Discontinuity analysis for rock engineering*. London: Chapman & Hall, 471p.
- REIS, R. C. (2010) “*Estudo de estabilidade de talude da mina de Tapira – MG.*” Dissertação de Mestrado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 95p.
- SAVELY, J (1972) “*Orientation and engineering properties of joints in Sierrita Pit, Arizona.*” Dissertação de Mestrado, Universidade de Arizona, 134p.
- SERRA JUNIOR, E.; OJIMA, L. M. (1998) *Caracterização e classificação de maciços rochosos*. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de (orgs.) *Geologia de Engenharia*. São Paulo, ABGE, p. 211-226.
- VALLEJO, L. I. G. de; FERRER, M.; ORTUÑO, L.; OTEO, C. (2002) *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación, 713p.
- WYLLIE, D. C.; MAH C. W. (2004) *Rock slope engineering civil and mining*. Fourth edition, Spon Press, 431p.