

KLINGER SENRA REZENDE

**CORRELAÇÕES ENTRE PROPRIEDADES GEOMECÂNICAS PARA
ANFIBOLITOS E XISTOS DO SUL DO ESTADO DE MINAS GERAIS, BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

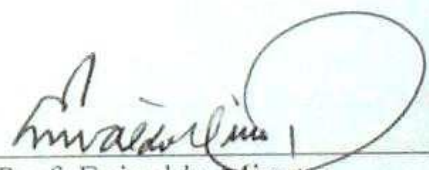
**CORRELAÇÕES ENTRE PROPRIEDADES GEOMECÂNICAS PARA
ANFIBOLITOS E XISTOS DO SUL DO ESTADO DE MINAS GERAIS, BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

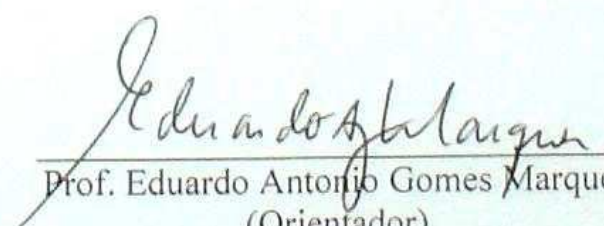
APROVADA: 25 de janeiro de 2016.



Prof. Adonai Gomes Fineza



Prof. Enivaldo Minette



Prof. Eduardo Antonio Gomes Marques
(Orientador)

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

R467c
2016 Rezende, Klinger Senra, 19-
Correlações entre propriedades geomecânicas para anfíbolitos e xistos do sul do estado de Minas Gerais, Brasil / Klinger Senra Rezende. - Viçosa, MG, 2016.
vi, 152f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Eduardo Antônio Gomes Marques.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Mecânica das rochas. 2. Rochas metafórmicas. 3. Rochas sedimentares. 4. Anfíbolitos. 5. Xistos. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. II. Título.

CDD 22. ed. 624.1513

Dedico esta vitória a Deus, pois toda honra e toda glória pertencem a Ele, dedico também aos meus pais Raymundo e Donatilha, à minha irmã Cida e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família pelo apoio ao longo destes dois anos de caminhada na pós-graduação e por sempre torcerem por meu sucesso. Obrigado por serem a família que sempre esteve presente.

À Amanda, pelo companheirismo, compreensão, carinho e atenção em todos os momentos.

Ao meu orientador, Eduardo Marques, pela completa prontidão e excelente orientação deste trabalho.

Aos estudantes André Lorenzoni, André Teles e Vítor Luiz pelo apoio na execução dos ensaios de laboratório.

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia Civil, sempre prontos a auxiliarem no que fosse preciso.

Aos mestrandos que compartilharam o mesmo período e as mesmas dificuldades da pós. Em especial, ao amigo Weiner, ao dividirmos experiências profissionais e aos amigos de almoço aos sábados, Paulo Borges e Eduardo Souza.

À AMG *Mining*, por ceder seu espaço, cooperar e acreditar que este trabalho seria factível, especialmente à toda equipe da gerência de operação da mina e do setor de geologia e sondagens, em especial ao engenheiro Renan Flores, ao geólogo Caymon Assumpção e ao técnico em mineração André Ferreira, pela prestatividade e esclarecimentos.

Ao Professor Cláudio Lúcio Lopes Pinto, da Universidade Federal de Minas Gerais, pelo apoio em um dos ensaios realizados na pesquisa.

À Universidade Federal de Viçosa, por permitir a realização deste trabalho e a obtenção do título. À CAPES, pelo incentivo à pesquisa, pelas oportunidades concedidas e pela bolsa.

A todos os amigos que fizeram parte desta conquista.

RESUMO

REZENDE, Klinger Senra, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Janeiro de 2016.
Correlações entre propriedades geomecânicas para anfíbolitos e xistos do sul do estado de Minas Gerais, Brasil. Orientador: Eduardo Antonio Gomes Marques.

Este trabalho apresenta uma série de correlações de propriedades geomecânicas para anfíbolitos e xistos da região Sul de Minas Gerais, na tentativa de se conseguir equações que permitam a obtenção da resistência mecânica das rochas através de ensaios mais simples, rápidos e menos onerosos que o convencional ensaio de resistência à compressão uniaxial. Assim, três ensaios foram realizados para fim desta correlação: o ensaio de carga pontual (*point load test*), o ensaio de dureza de Schmidt e o ensaio de velocidade de propagação de ondas, ambos realizados no Laboratório de Mecânica das Rochas da Universidade Federal de Viçosa. Os resultados se mostraram satisfatórios para os litotipos em estudo, tendo sido obtidos bons coeficientes de determinação e boas correlações. Como resultado da correlação entre resistência à compressão uniaxial (σ_c) e índice de carga pontual (Is_{50}), obtiveram-se valores de parâmetro de correlação “*a*” entre 13,92 e 24,62 para os anfíbolitos e, para o xisto grafitoso estudado, um valor de “*a*” igual a 33,06. Uma equação linear de correlação entre $\sigma_c \times Is_{50}$ foi encontrada para os anfíbolitos em estudo, que formaram a maior parte das amostras ensaiadas, com um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,81. Ao correlacionar resistência à compressão uniaxial e dureza de Schmidt analisando-se todos os litotipos, obteve-se uma equação exponencial apresentando R^2 igual a 0,50. Este coeficiente apresentou significativa melhora ao se excluir da análise o anfíbolito foliado, em que o novo coeficiente de determinação foi igual a 0,94. Por fim, analisando a correlação entre resistência à compressão uniaxial e velocidade de ondas, obteve-se uma equação linear com R^2 igual a 0,78. Este mesmo coeficiente foi alterado para 0,90 ao se analisar apenas litotipos de mesmo grau de alteração.

ABSTRACT

REZENDE, Klinger Senra, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2016.
Correlations between geomechanical properties to amphibolites and schists from South of Minas Gerais state, Brazil. Adviser: Eduardo Antonio Gomes Marques.

This work presents the results of a series of geomechanical parameters tests performed on amphibolites and schist from south of Minas Gerais state, Brazil, in an attempt to support equations that allow the determination of mechanical strength from more simple and low-cost tests instead of uniaxial compressive strength tests. For this three tests were done to support those correlations: point load test, Schmidt Hammer hardness test and wave propagation velocity, all performed at Rock Mechanics Laboratory, Universidade Federal de Viçosa. Results have proved that good correlations and determination coefficient could be achieved for all rocks under study. For the correlation between uniaxial compressive strength (σ_c) and point load index (Is_{50}), values for “a” parameters between 13.92 and 26.62 were found for amphibolites, and equal to 33.06, for graphite-rich schists. A linear correlation equation, with R^2 equal to 0.81, for $\sigma_c \times Is_{50}$ was found for the amphibolites, that comprises the major amount of rocks under study. When trying to correlate uniaxial compressive strength with Schmidt hardness for rock types under study an exponential equation with a R^2 equal to 0.50. This coefficient has presented a significant improvement, passing to a value equal to 0.94. Finally, for the correlation between σ_c and wave velocity propagation, a linear equation with R^2 equal to 0.78. This same coefficient has improved to 0.90 by analyzing only rock types of the same weathering level.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO GERAL	1
ARTIGO CIENTÍFICO 1 - CORRELAÇÕES ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL E ÍNDICE DE CARGA PONTUAL PARA ALGUNS ANFIBOLITOS E XISTOS DO SUL DO ESTADO DE MINAS GERAIS, BRASIL ..	3
ARTIGO CIENTÍFICO 2 - CORRELAÇÕES ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL E DUREZA DE SCHMIDT PARA ALGUNS ANFIBOLITOS E XISTOS DO SUL DO ESTADO DE MINAS GERAIS, BRASIL	31
ARTIGO CIENTÍFICO 3 - CORRELAÇÕES ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL E VELOCIDADE DE ONDAS PARA ALGUNS ANFIBOLITOS E XISTOS DO SUL DO ESTADO DE MINAS GERAIS, BRASIL	51
CONCLUSÕES GERAIS	71
PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	72
ANEXOS	73

INTRODUÇÃO GERAL

Para fins de projetos geotécnicos envolvendo rochas, uma importante propriedade utilizada é a resistência à compressão uniaxial das mesmas. Para sua obtenção, projetistas necessitam realizar ensaios de resistência que, muitas vezes, podem ser onerosos e demorados. Neste contexto, uma série de correlações entre esta propriedade e outras obtidas através de ensaios mais simples que possam ser realizados até mesmo em campo, ou que a montagem de sua infraestrutura seja mais simples e rápida, devido aos aparelhos serem de pequeno porte e portáteis, tem sido desenvolvida já há quase cinco décadas, buscando uma convergência entre equações que permitam a obtenção desta resistência para vários tipos de rochas.

Visando uma contribuição ao banco de dados de correlações de literaturas técnicas existentes, foram realizados vários ensaios no Laboratório de Mecânica das Rochas da Universidade Federal de Viçosa, sendo eles: ensaio de resistência à compressão uniaxial, ensaio de carga pontual (*point load test*), ensaio de dureza de Schmidt e ensaio de velocidade de propagação de ondas, sendo os dois primeiros ensaios destrutivos e os dois últimos ensaios não destrutivos.

As rochas utilizadas nesta pesquisa são provenientes de uma mina localizada na zona rural de Nazareno, ao sul de Minas Gerais, chamada Mina de Volta Grande, na região conhecida como Província Pegmatítica de São João Del Rei, apresentada na Figura 1. Os litotipos são basicamente anfíbolitos e um xisto grafitoso, sendo que estes anfíbolitos foram classificados em função da presença ou não de foliação e veios de quartzo (característicos na região) e graus de alteração. Assim, os mesmos foram classificados como anfíbolito W1, anfíbolito quartzoso W1, anfíbolito foliado W1, anfíbolito W1/2 e xisto grafitoso W1.

Os resultados da pesquisa, apresentados a seguir, foram divididos sob a forma de três artigos científicos, dos quais o primeiro já foi submetido a um periódico científico internacional. Ao final, apresenta-se uma conclusão geral do trabalho.

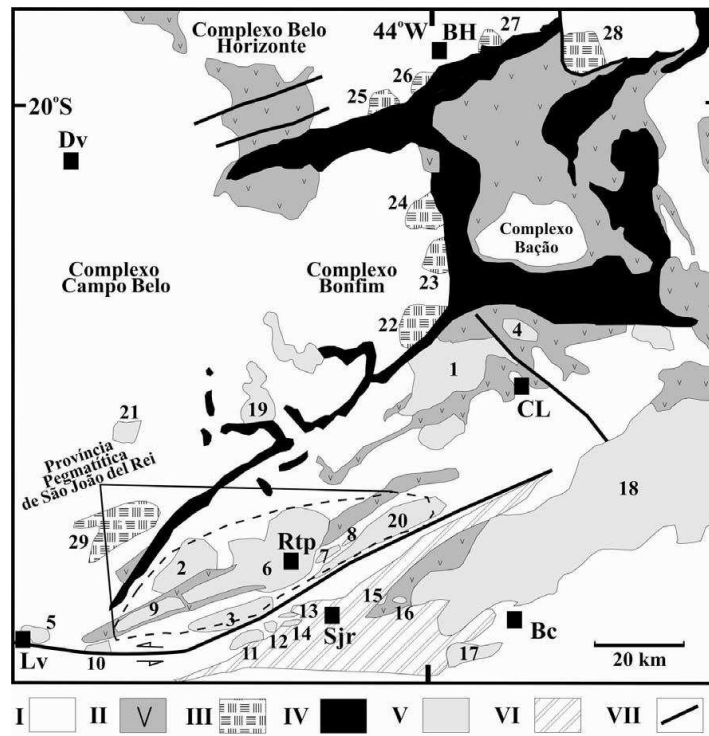


Figura 1 - Mapa geológico esquemático da borda meridional do Cráton São Francisco com a localização aproximada da Província Pegmatítica de São João Del Rei. Algarismos romanos representando as rochas e algarismos arábicos representando os minerais presentes na região. Detalhes da legenda em JAQUES (2014).

ARTIGO CIENTÍFICO 1

**CORRELAÇÕES ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL E ÍNDICE
DE CARGA PONTUAL PARA ANFIBOLITOS E XISTOS DO SUL DO ESTADO
DE MINAS GERAIS, BRASIL**

CORRELAÇÕES ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL E ÍNDICE DE CARGA PONTUAL PARA ALGUNS ANFIBOLITOS E XISTOS DO SUL DO ESTADO DE MINAS GERAIS, BRASIL

CORRELATIONS BETWEEN UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH AND POINT LOAD INDEX FOR SOME AMPHIBOLITES AND SCHISTS FROM MINAS GERAIS STATE, BRAZIL

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de uma série de ensaios laboratoriais de resistência mecânica realizados em rochas metamórficas da Província Pegmatítica de São João Del Rey, localizada ao Sul do estado de Minas Gerais, Sudeste do Brasil. Estudou-se a correlação entre valores de resistência à compressão uniaxial e resistência à carga pontual para anfibolitos são e levemente alterados, com ou sem presença de quartzo e um xisto grafitoso, ambos apresentando parâmetros de correlação “*a*”, entre resistência à compressão uniaxial e compressão puntiforme, condizentes com algumas literaturas técnicas que abordam o assunto, como Foster (1983) e Goodman (1989), de maneira a complementar resultados anteriormente alcançados por Jaques (2014) nas mesmas rochas, visando aumentar a representatividade estatística das correlações encontradas. Como resultado, obtiveram-se valores de “*a*” entre 13,92 e 24,62 para os anfibolitos e, para o xisto grafitoso são, um valor de “*a*” igual a 33,06. Uma equação linear de correlação entre $\sigma_c \times I_{s50}$ foi encontrada para os anfibolitos em estudo, que formaram a maior parte das amostras ensaiadas, com um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,81. Os dados obtidos permitem, ainda, concluir que os resultados de correlação devem ser utilizados com seriedade e parcimônia, não podendo ser generalizados para rochas similares, como algumas referências sugerem.

Palavras – chave: Resistência a carga pontual, resistência à compressão uniaxial, correlações de resistência, parâmetro “*a*”.

ABSTRACT

This paper presents the results of a series of strength lab tests performed on metamorphic rocks from São João del Rey Pegmatitic Province, located on south of Minas Gerais state, southeast Brazil. Correlations between uniaxial compressive strength and point load strength were studied and proposed for sound and moderately weathered amphibolites, with or without quartz, and a sound graphite-rich schist. For both rocks “*a*” parameters, which correlates uniaxial and point load strength, similar to those found in the literature (Foster, 1983; Goodman, 1989) were found. These results were used complementarily to those from Jaques (2014), for the same rocks, in order to improve its statistical representativeness. As a result, “*a*” factor between 13.92 and 24.62 were found for amphibolites and a “*a*” parameter equal to 33.06 was found for graphite-rich schist. A linear relationship between UCS and IS_{50} was found, and has presented a determination coefficient (R^2) equal to 0.81. Finally, the results also allows the conclusion that these correlations must not be generalised for other similar rocks, as suggested by some authors.

Key words: point load strength, uniaxial compressive strength, strength correlations, *a* parameter

1 INTRODUÇÃO

Propriedades de resistência mecânica são amplamente exploradas, visando sua utilização em projetos de engenharia. Assim, empresas de mineração têm demonstrado um interesse cada vez maior na aquisição desses parâmetros que possam ser obtidos através de ensaios que demandem menos tempo em sua realização e proporcionem menores custos, além de mobilizarem menor quantidade de material necessário à sua execução, visando sua utilização em projetos.

Neste contexto, trabalhos que determinem parâmetros geomecânicos de porções de rochas intactas e de descontinuidades são de fundamental importância em análises envolvendo estabilidade de taludes e escavações subterrâneas em rochas.

As rochas que constituem o maciço rochoso se encontram em geral submetidas a estados de tensões triaxiais, porém, em solicitações com taludes de corte, a compressão uniaxial representa de forma mais adequada o estado de tensões e tem sido a propriedade

mais utilizada. Desta forma, tanto a realização de ensaios de resistência à compressão uniaxial quanto de ensaios de compressão puntiforme – este último com a vantagem de realização em amostras irregulares, tem sido comumente empregada em estudos envolvendo mineração (MARQUES & PAES, 2013; MARQUES et al. 2015).

Outro enfoque é aquele em que as empresas baseiam seus projetos em dados secundários (de literatura técnica), para os mesmos tipos de solos ou rochas presentes em diferentes situações, utilizando-os de forma inadequada para fins de projetos executivos.

Visando um estudo mais aprofundado sobre estimativas de parâmetros para projeto, este trabalho tem como objetivo a obtenção de uma série de correlações entre valores de resistência à compressão uniaxial e de resistência à carga pontual (*point load index*), uma vez que esta última possui metodologia simplificada e rápida quando comparada a um ensaio de compressão uniaxial.

Desta forma, devido a esta maior simplicidade, tem-se cada vez mais buscado uma convergência para valores representativos de correlação entre resultados obtidos nos dois ensaios de resistência citados. Países como Estados Unidos, Irã, Singapura, Turquia, China, Austrália, Índia e outros têm intensificado seus estudos em correlações de propriedades geotécnicas, alcançando uma gama considerável de parâmetros de correlação.

Algumas literaturas, como Hassani et al. (1980), Vallejo et al. (1989), entre outras, consideram estes parâmetros variáveis para cada diferente tipo de rocha e outras, como Goodman (1989) e Barroso (1993), os consideram como uma média geral para todos os litotipos, representativa da correlação entre as duas formas de resistência (compressão uniaxial e carga pontual). Porém, os vários estudos têm mostrado a dificuldade de se obter um parâmetro de correlação com um exato valor de “*a*”, uma vez que muitos são os fatores que podem influenciar nas propriedades de resistência das rochas, como xistosidades, foliações, mineralogia, tamanho dos grãos, direção de carregamento etc. Assim, um estudo de correlações de propriedades mecânicas foi elaborado para algumas rochas metamórficas encontradas na zona rural de Nazareno, ao sul de Minas Gerais, sendo esta região conhecida como Província Pegmatítica de São João Del Rei (Figura 2).

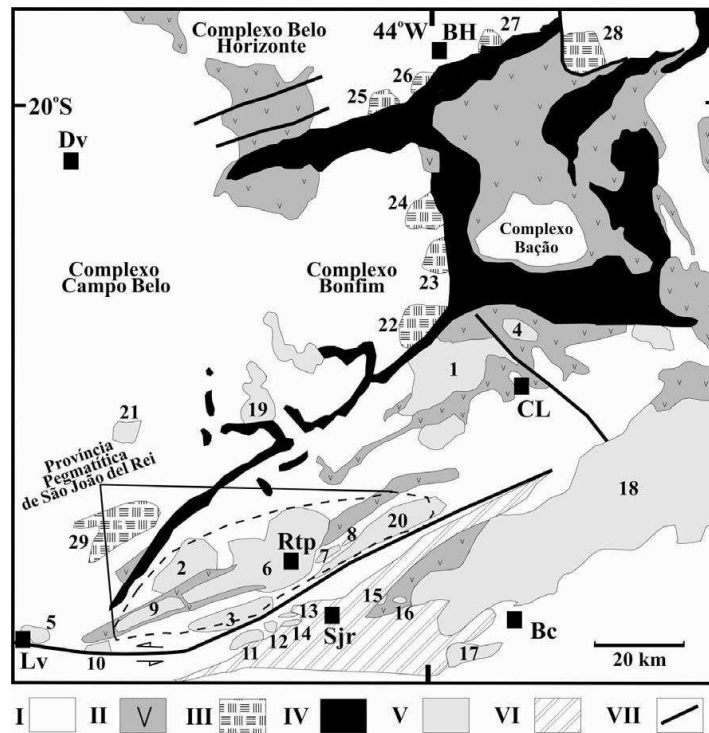


Figura 2 - Mapa geológico esquemático da borda meridional do Cráton São Francisco com a localização aproximada da Província Pegmatítica de São João Del Rei. Algarismos romanos representando as rochas e algarismos arábicos representando os minerais presentes na região. Detalhes da legenda em JAQUES (2014).

2 ENSAIOS REALIZADOS PARA FINS DE CORRELAÇÃO

2.1. Ensaio de resistência à compressão uniaxial

Como já citado, as rochas que constituem um maciço rochoso, geralmente, encontram-se em um estado de tensões triaxial, porém, Rezende (2014) destaca que o estudo do comportamento das rochas, quando submetidas à compressão simples (uniaxial), permite colocar em evidência fenômenos com interesse fundamental na mecânica dos maciços rochosos. O caso prático mais importante em que os maciços rochosos se encontram submetidos a um estado de compressão simples é o dos pilares de minas (AZEVEDO & MARQUES, 2006).

O ensaio de compressão uniaxial, no qual corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de rochas são comprimidos paralelamente a seu eixo longitudinal, é o ensaio mais antigo e simples em rochas, e continua sendo o mais conveniente e usual método para determinar as propriedades mecânicas da rocha (JAEGER & COOK, 1979).

Segundo Azevedo & Marques (2006), a preparação da amostra, cilíndrica, pode ser difícil e cara. A relação entre altura e diâmetro (H/D) deve variar, segundo determinação

da ISRM (2007), entre 2,5 e 3,0. Já a ASTM D 4543 (2008) recomenda uma relação H/D entre 2,0 e 2,5, enquanto o Eurocode 7 (2007) permite o uso de H/D entre 2,0 e 3,0.

Marques e Paes (2013) e Marques et al. (2015), após ensaiar amostras de alguns tipos de granitos e xistos uniaxialmente, observaram discrepâncias pouco acentuadas entre as relações H/D da ISRM (2007) e ASTM D 4543 (2008).

2.2. Ensaio de resistência à carga pontual

A determinação da resistência à compressão simples da rocha, através de ensaios de compressão uniaxial, é uma tarefa que requer especiais cuidados na preparação das amostras e condução dos ensaios. Em certos casos, o número de ensaios requeridos para determinar as propriedades de um vasto leque de tipos de rocha referentes a um projeto pode assumir um valor elevado. Existem outros casos em que a resistência à compressão simples e o comportamento tensão-deformação não necessitam ser estudados em detalhe, bastando o conhecimento aproximado do valor da resistência de pico. Nestas circunstâncias, haverá vantagem em recorrer a ensaios mais simples e econômicos que o ensaio de compressão uniaxial, desde que os resultados destes possam fornecer índices correlacionáveis com a resistência à compressão das rochas (ISRM, 1985).

Um método alternativo de aferir a resistência à compressão simples das rochas consiste na determinação do Índice de Resistência ou Índice de Carga Pontual, através do designado Ensaio de Carga Pontual (PLT), também conhecido por ensaio Franklin.

Este ensaio foi concebido como um ensaio de referência para classificação da resistência das rochas, que pode ser correlacionável com a resistência à compressão uniaxial e com outros índices de resistência. Este ensaio conduz, em termos genéricos, à determinação de dois índices, a saber: i) o Índice de Resistência à Carga Pontual, $I_s(50)$, e ii) o Índice de Anisotropia, $I_a(50)$, de carga pontual (este último, quando se ensaia um corpo de prova em diferentes direções, relacionando-as entre si). Basicamente, este método consiste em levar amostras de rocha à ruptura por meio de uma carga concentrada entre duas ponteiros cônicas, quer sob a forma de blocos prismáticos, cilíndricos ou de forma irregular; em que a direção de aplicação da carga pode ser axial ou diametral.

O equipamento do ensaio de PLT a utilizar (Figura 3), quer em laboratório (Figura 4a) quer em campo (Figura 4b), é constituído no seu essencial por um sistema de aplicação contínua de carga, um sistema de medição da força (P) e um sistema de medição

da distância (D), entre duas ponteiras, em regra, cônicas, através do qual é aplicada a carga.

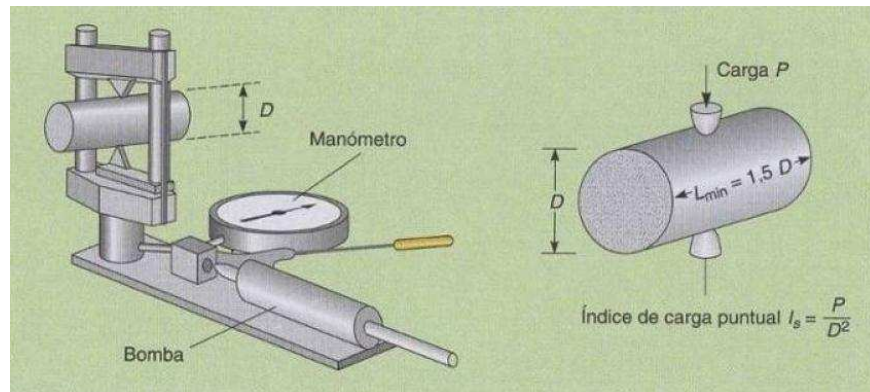


Figura 3 - Representação esquemática do equipamento para a execução do Ensaio de Carga Pontual – PLT. Fonte: RAMOS, 2009.

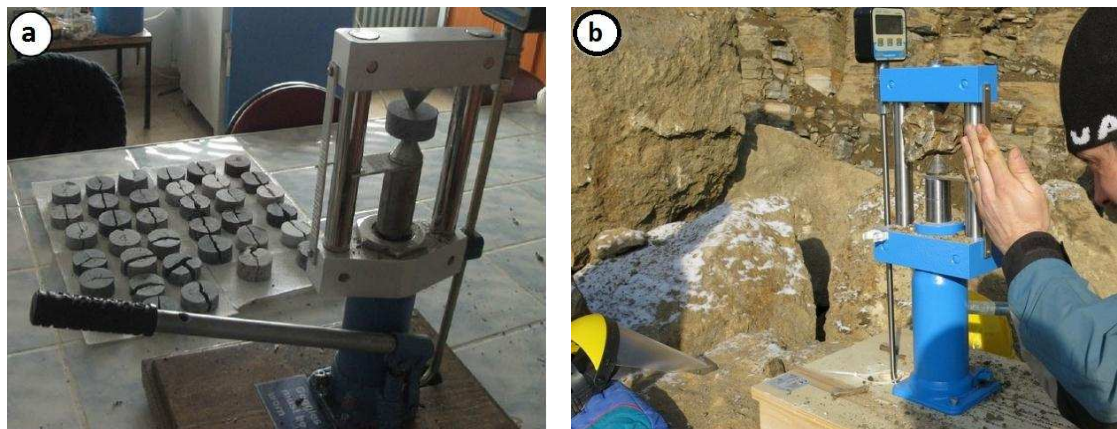


Figura 4 – Realização de ensaio de carga pontual (a) em laboratório; (b) em campo. Fonte: Adaptado de Kaya e Karaman (2015).

2.2.1. Índice de Carga Pontual

Como padrão, o índice de carga pontual é definido para o ensaio realizado sobre corpos de prova cilíndricos de rocha com diâmetro D igual a 50 mm, em que a aplicação da carga P é feita na direção diametral, sendo calculado pela expressão:

$$I_{s(50)} = \frac{P}{D^2} \quad (1)$$

Em que:

P é a carga de ruptura.

D é a distância entre ponteiras cônicas.

O índice da resistência à carga pontual I_s deverá ser corrigido para $I_{s(50)}$, ou seja, para o valor correspondente a $D = 50$ mm. De acordo com a norma ISRM (2007), o valor médio de $I_{s(50)}$ deverá ser calculado retirando-se os dois valores mais altos e os dois valores mais baixos, de uma amostra com dez corpos de prova, fazendo-se a média dos restantes valores.

Para ensaios idênticos realizados sobre corpos de prova cilíndricos com outros diâmetros, a relação P/D^2 deverá ser multiplicada por um fator corretivo (F), a fim de se obter o índice de carga pontual normalizado, através da equação:

$$I_{s(50)} = F \frac{P}{D^2} \quad (2)$$

Em que:

$$F = \left(\frac{D}{50} \right)^{0,45} \quad (3)$$

No ensaio de carga pontual, podem, ainda, ser testados não só corpos de prova cilíndricos comprimidos diametralmente, mas também axialmente, e, ainda, corpos de prova com outras formas, regulares ou irregulares, desde que obedeçam aos critérios indicados na Figura 5. Para estes casos, é necessário definir um diâmetro equivalente D_e , a partir da área da seção transversal equivalente passante pelos pontos de aplicação da carga, sendo o índice de carga pontual corrigido calculado por meio das expressões que se seguem.

$$A = WD = \frac{\pi}{4} D_e^2 \quad (4)$$

$$D_e = \sqrt{\frac{4WD}{\pi}} \quad (5)$$

$$I_{s(50)} = F \frac{P}{D_e^2} \quad (6)$$

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45} \quad (7)$$

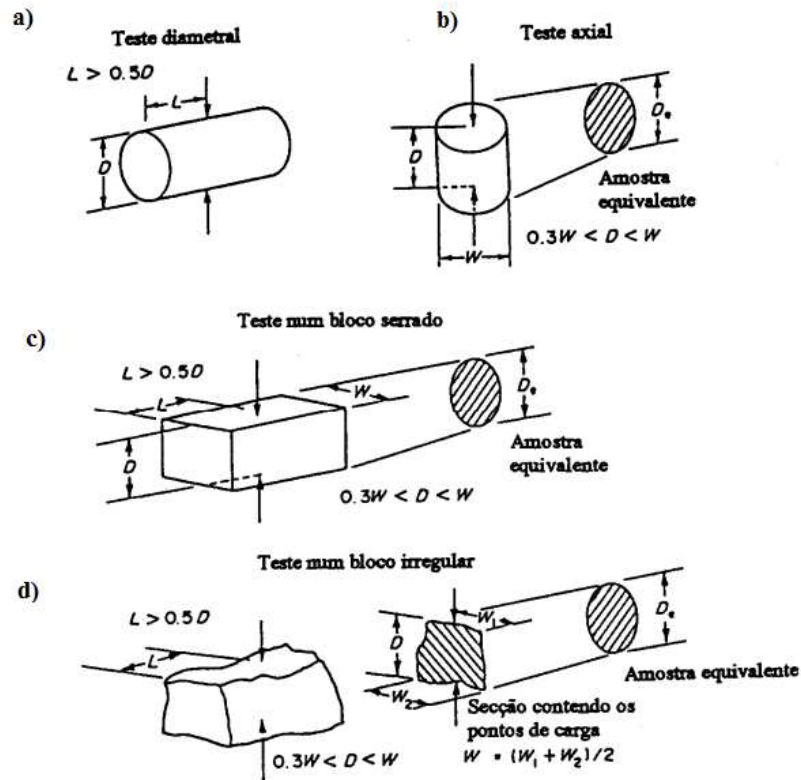


Figura 5: Relação das dimensões dos corpos de prova nos ensaios de carga pontual; a) para ensaio diametral; b) axialmente; c) para amostras em forma de blocos; d) para ensaio em formas irregulares. Fonte: Adaptado de ISRM (2007).

No caso dos lados do corpo de prova não serem paralelos, a dimensão perpendicular ao eixo do ensaio terá de ser calculada através da seguinte expressão:

$$W = \frac{w_1 + w_2}{2} \quad (8)$$

2.3. Correlações de resistência à compressão uniaxial e resistência à carga pontual

Em 1985, a Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM) propôs o ensaio de carga pontual como um ensaio que permite obter-se, indiretamente, a resistência

de uma rocha, à compressão ou à tração, de uma forma simples, rápida e econômica. Desde então, vários fatores ou parâmetros têm sido propostos para correlações. Franklin (1985), nos estudos pioneiros que fez em 1980, definiu uma relação linear entre a resistência à compressão uniaxial (σ_c) e a resistência à carga pontual (I_{s50}) considerando um fator de correlação de 25 para todas as rochas.

A esta relação linear, Bieniawski (1989) equacionou como mostrado na Eq. 9:

$$\sigma_c = a \cdot I_{s(50)} \quad (9)$$

Karaman (2001) avaliou os resultados obtidos para 48 tipos de rocha, de maneira a correlacionar σ_c e os resultados de compressão puntiforme, tendo sido encontradas fortes relações lineares entre estas propriedades. Singh et al. (2012), estudando esta relação para dez diferentes rochas ígneas da Índia também conseguiram boas correlações estatísticas para estas duas propriedades.

Rusnak e Mark (2000) ensaiaram mais de 10.000 amostras de rochas, retiradas de 908 furos de sondagem diferentes, em uma bacia sedimentar de carvão (Figura 6), em vários estados dos Estados Unidos, principalmente Virgínia e Illinois, sendo que as rochas ensaiadas eram folhelho, siltito, arenito e calcário. Neste estudo, os autores obtiveram um parâmetro a médio igual a 21,0.

Destaca-se que os dados mais comuns do parâmetro a encontrados na literatura referem-se a rochas sedimentares, sendo raros os resultados para rochas metamórficas.

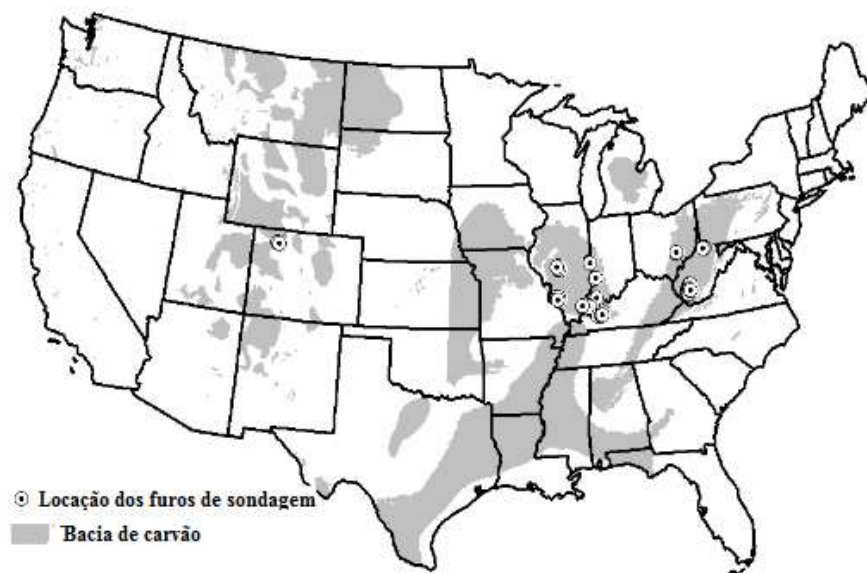


Figura 6 - Localização dos furos de sondagem de Rusnak e Mark (2000).

Ramos (2009), estudando algumas rochas metassedimentares, de diferentes graus de alteração, de antigas galerias da Mina das Aveleiras (também conhecida por Mina de Tibães), pertencente ao Mosteiro de S. Martinho de Tibães, situado na freguesia de Mire de Tibães, no Concelho de Braga, em Portugal, e buscando uma caracterização geológico-geotécnica e geomecânica dos maciços rochosos da região, realizou ensaios de resistência em laboratório em 100 corpos de prova, obtendo valores de parâmetro a entre 7,0 e 22,9, apresentando uma maior porcentagem dos resultados em torno de a igual a 21,0.

Marques e Paes (2013), estudando correlações $\sigma_c \times I_{s50}$ para quatro litotipos metamórficos de alto grau encontrados na borda Sul do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, sendo eles gnaisse, xisto grafitoso, rocha sílico-carbonatada e quartzo biotita xisto, encontraram valores de a entre 20,0 e 28,0 para os três primeiros litotipos, como pode-se constatar na Tabela 1. Para o último, quartzo biotita xisto, o valor de a encontrado foi de 8,95, abaixo das proposições da maioria das literaturas citadas em seu trabalho.

Em Singapura, estudando o comportamento geomecânico de rochas metassedimentares da Formação Jurong, em uma caverna subterrânea, contendo meta-siltito e meta-arenito, Li e Wong (2012) ensaiaram cerca de 118 corpos de prova em ensaios de compressão uniaxial e à carga pontual, obtendo valores de parâmetro a igual a 20 para meta-siltito e, 21 para meta-arenito.

Conde, Dinis da Gama e Lopes (2004) estudaram correlações entre o comportamento mecânico de três diferentes tipos de calcários, sendo dois deles extraídos da sub-bacia de Arruda dos Vinhos e o outro, extraído na Serra dos Candeeiros, ambos de formações sedimentares em Portugal. Aos calcários chamados de Calcário 1 e Calcário 2, os autores encontraram valores de parâmetro a entre 19,0 e 20,9. Para o Calcário 3, a obteve valor igual a 15,2. Ao verificar as análises químicas dos três calcários, verificou-se um menor teor de alguns óxidos, como Na_2O , K_2O , MgO , Fe_2O_3 , P_2O_5 , Al_2O_3 , e uma menor fração de quartzo no calcário 3, quando comparado aos demais.

Além das já citadas, muitas são as referências de literatura acerca destas correlações empíricas. Na Tabela 1, Jaques (2014) apresenta novas correlações propostas por vários autores para algumas rochas sedimentares e metamórficas encontradas em diversas regiões.

Tabela 1 - Correlações entre σ_c e $I_{s(50)}$ citadas por Jaques (2014)

Autores	País	Litotipo	Equação de correlação
---------	------	----------	-----------------------

Hassani et al. (1980)	Reino Unido	Rochas sedimentares	$\sigma_c = 29,0 I_{s(50)}$
ISRM (1985)	---	---	$\sigma_c = (20 - 25) I_{s(50)}$
Hawkins e Olver (1986)	Reino Unido	Calcário	$\sigma_c = 26,5 I_{s(50)}$
		Arenito	$\sigma_c = 24,8 I_{s(50)}$
O'Rourke (1988)	EUA	Rochas sedimentares	$\sigma_c = 30,0 I_{s(50)}$
Vallejo et al. (1989)	Índia	Quartzito	$\sigma_c = 17,4 I_{s(50)}$
		Folhelho	$\sigma_c = 12,6 I_{s(50)}$
Goodman (1989)		Vários	$\sigma_c = 24,0 I_{s(50)}$
Barroso (1993)	Brasil	Vários	$\sigma_c = 18 - 24 I_{s(50)}$
		Siltito	$\sigma_c = 14,7 I_{s(50)}$
Das (1985)	Canadá	Arenito	$\sigma_c = 18,0 I_{s(50)}$
		Folhelho	$\sigma_c = 12,6 I_{s(50)}$
Smith (1997)	Vários	Arenito/Calcário	$\sigma_c = 24,0 I_{s(50)}$
		Folhelho	$\sigma_c = 21,8 I_{s(50)}$
Rusnak e Mark (1999)	EUA	Siltito	$\sigma_c = 20,2 I_{s(50)}$
		Arenito	$\sigma_c = 20,6 I_{s(50)}$
		Calcário	$\sigma_c = 21,9 I_{s(50)}$
		Gnaisse	$\sigma_c = 27,6 I_{s(50)}$
Marques e Paes (2013)	Brasil	Micaxisto	$\sigma_c = 21,6 I_{s(50)}$
		Xisto Grafitoso	$\sigma_c = 20,8 I_{s(50)}$

Por fim, Silvakugan, Shukla e Das (2013) também reuniram vários destes estudos, apresentando-os como na Tabela 2. Diferentemente dos estudos apresentados até agora, estes autores apresentam algumas equações em forma de regressão linear, apresentando coeficientes lineares nas mesmas.

Tabela 2 – Correlações $\sigma_c - I_{s50}$

<i>Correlação</i>	<i>Referência</i>	<i>Litotipos</i>
$\sigma_c = 24 I_{s(50)}$	Broch e Franklin (1972)	-
$\sigma_c = 24 I_{s(50)}$	Bieniawski (1975)	Arenito, África do Sul
$\sigma_c = 29 I_{s(50)}$	Hassani et al. (1980)	Rochas sedimentares, Reino Unido
$\sigma_c = 14,5 I_{s(50)}$	Foster (1983)	Dolerito e Arenito
$\sigma_c = 12,5 I_{s(50)}$	Chau e Wong (1996)	Rochas de Hong Kong
$\sigma_c = 16 I_{s(50)}$	Read et al. (1980)	Basalto
$\sigma_c = 20 I_{s(50)}$	Read et al. (1980)	Rochas sedimentares, Austrália

$\sigma_c = 23,4 I_{s(50)}$	Singh e Singh (1993)	Quartzito, Índia
$\sigma_c = 15,3 I_{s(50)} + 16,3$	D'Andrea et al. (1964)	Vários tipos de rochas
$\sigma_c = 16,5 I_{s(50)} + 51,0$	Gunsallus e Kulhawy (1984)	Dolomita, arenito e calcário dos Estados Unidos
$\sigma_c = 9,3 I_{s(50)} + 20,04$	Grasso et al. (1992)	-
$\sigma_c = 23 I_{s(50)} + 13$	Cargill e Shakoor (1990)	Rochas dos estados Unidos e algumas do Canadá; amostras de 54 mm de diâmetro

Fonte: Silvakugan, Shukla e Das (2013). Nota: σ_c e $I_{s(50)}$ dados em MPa.

Alguns outros autores também relataram, em seus trabalhos, proposições de equações contendo coeficientes lineares para correlação entre σ_c e $I_{s(50)}$, como apresentado na Tabela 3. Porém, Antão (2012) ressalta a lógica destas equações apenas terem validade se a reta interceptar os dois eixos de um gráfico em sua origem (valor zero), ou seja, não existe um coeficiente linear para as equações, uma vez que não se poderá dizer, por exemplo, que uma rocha possuirá σ_c igual 29,6 MPa caso seu $I_{s(50)}$ seja igual a 0, como mostra a primeira equação da Tabela 3. Igual entendimento tiveram Diamantis et al. (2009) ao estabelecer a referida correlação, concluindo que as relações encontradas deveriam interceptar o zero.

Tabela 3 - Relações empíricas de correlação $\sigma_c - I_{s50}$ em forma de equações lineares possuindo coeficiente linear

Referências	Relação empírica
Deere e Miller (1966)	$\sigma_c = 20,7.I_{s(50)} + 29,6$
Singh (1981)	$\sigma_c = 18,7.I_{s(50)} - 13,2$
Cargill e Shakoor (1990)	$\sigma_c = 23,0.I_{s(50)} + 13,0$
Ulusay et al. (1994)	$\sigma_c = 19,0.I_{s(50)} + 12,7$
Kahraman (2001)	$\sigma_c = 23,6.I_{s(50)} - 2,7$ $\sigma_c = 8,4.I_{s(50)} + 9,5$
Fener et al. (2005)	$\sigma_c = 9,8.I_{s(50)} + 39,92$
Cobanglu e Celik (2008)	$\sigma_c = 7,18.I_{s(50)} + 27,78$ $\sigma_c = 11,78.I_{s(50)} - 9,17$
Yilmaz e Yuksek (2008)	$\sigma_c = 12,4.I_{s(50)} - 9,08$
Diamantis et al (2009)	$\sigma_c = 21,54.I_{s(50)} - 6,02$
Basu e Kamran (2010)	$\sigma_c = 11,103.I_{s(50)} + 37,659$
Heidari et al. (2012)	$\sigma_c = 5,575.I_{s(50)} + 21,92$ $\sigma_c = 5,557.I_{s(50)} + 23,68$ $\sigma_c = 3,495.I_{s(50)} + 24,84$
Kahraman et al. (2005)	
Rochas de porosidade < 1%	$\sigma_c = 24.83.I_{s(50)} - 39.64$

Rochas de porosidade > 1% Kahraman e Gunaydin (2009)	$\sigma_c = 10,22.I_{s(50)} + 24,31$
Rochas metamórficas	$\sigma_c = 18,45.I_{s(50)} - 13,63$
Rochas sedimentares	$\sigma_c = 29,77.I_{s(50)} - 51,49$
Rochas ígneas	$\sigma_c = 8,20.I_{s(50)} + 36,43$

Fonte: Adaptado de Azimian, Ajalloeian e Fatehi (2014) e Kahraman e Gunaydin (2009).

Nota: σ_c e $I_{s(50)}$ dados em MPa.

2.4. Correlações de σ_c / I_{s50} em função do grau de alteração da rocha

Segundo Antão (2012), a problemática do comportamento das rochas alteradas tem sido objeto de estudos nos últimos 30 anos, no sentido de compreender não só o seu comportamento, mas também a obtenção de parâmetros caracterizadores do seu grau de alteração e sua relação com as características mecânicas das rochas não alteradas.

Neste contexto, um aspecto paralelamente estudado é aquele envolvendo estas correlações, σ_c / I_{s50} , em função do grau de alteração das rochas.

Alguns autores, como Gupta e Rao (1998), estudando algumas rochas graníticas, verificaram que o parâmetro a variava consideravelmente na mesma rocha em função do grau de alteração das amostras, como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros de correlação a obtidos por vários autores em rochas graníticas com diferentes graus de alteração

Rocha	Grau de alteração				Fonte
	W1	W2	W3	W4	
Granito de grão médio a grosseiro porfirítico	12,7	12,9	18,3	-	(Gupta e Rao, 1998)
Granito de grão médio (Cornualha)	28,2	26,0	34,1	36,7	(Irlan e Dearman, 1978)
Granito de grão grosseiro	26,3	25,1	31,8	23,5	(Dearman e Irfan, 1978)
Granodiorito de Hong Kong	14,2	12,8	11,4	12,3	(Irlan e Powell, 1985)
Granito de grão médio da Coreia do Sul	21,8	35,6	25,7	100,0	(Lee, 1987)
Granito de grão grosseiro da Coreia do Sul	20,0	27,4	33,3	60,0	(Lee, 1987)
Granito do Porto	13,7	14,2	10,6	12,4	(Gama e Souza, 2004)

Lumb (1983), ao estudar a evolução da alteração de granitos de Hong Kong, verificou que a reduzia significativamente de 22 para valores da ordem de 10 para amostras mais alteradas.

Por sua vez, Hawkins (1998) considera haver acentuada dificuldade em se correlacionar σ_c e I_{s50} , devido à grande dispersão do parâmetro a em função do tipo de rocha e também em função do grau de alteração que as amostras de rocha apresentam. Analisando-se dados de vários autores, valores de a entre 7 e 68 podem ser encontrados para diferentes litologias e/ou graus de alteração.

3 METODOLOGIA

Todos os ensaios foram realizados utilizando-se das metodologias sugeridas pela International Society for Rock Mechanics (ISRM, 2007). Para a execução do estudo, dois litotipos foram selecionados: anfibolito e xisto grafitoso, nos diferentes graus de alteração W1 e W1/2, totalizando 103 amostras destinadas ao ensaio de carga pontual e 50 amostras destinadas ao ensaio de compressão uniaxial. Durante a coleta de testemunhos de sondagem em campo, através de observação de considerável teor de quartzo em determinadas porções nos testemunhos de anfibolito, descreveram-se estas como anfibolito quartzoso em grau de alteração W1. De forma análoga, observando-se a presença de porções de anfibolito com foliações bem desenvolvidas, descreveram-se estas como anfibolito foliado em grau de alteração W1. Estas mesmas subdivisões em anfibolito foram realizadas por Jaques (2014), realizando trabalhos de caracterização e classificação geomecânica de maciços rochosos da mesma mina em estudo.

Após coleta de material em campo, os testemunhos foram levados ao Laboratório de Mecânica das Rochas da Universidade Federal de Viçosa, onde foram preparados para os ensaios de carga pontual e compressão uniaxial, como apresentado na Figura 7.



Figura 7 - Preparação de amostras para realização de ensaios de PLT e UCS.

3.1. Ensaio de carga pontual

Todas as 103 amostras utilizadas no ensaio de carga pontual foram ensaiadas axialmente, uma vez que esta era a disposição semelhante àquela utilizada para o ensaio de compressão uniaxial, haja vista que o presente trabalho se refere à correlação entre as duas formas de resistência, PLT e UCS e, para tal, os dois ensaios deveriam ser realizados sobre condições de paralelismo ou perpendicularidade a foliações, caso estas existissem. A Figura 8 apresenta uma ilustração da execução do ensaio, em que a amostra era centralizada entre duas ponteiros cônicos e levada à ruptura através de aplicação de carga concentrada.

De acordo com a ISRM (2007), os ensaios apenas deveriam ser validados quando a ruptura ocorresse pelos dois planos perpendiculares à direção de carregamento (Figura 9). Quando isto não se verificasse, a amostra deveria ser descartada. Em várias amostras de anfibólito quartzoso, verificou-se ruptura ao longo das interfaces anfibólio/quartzo ou paralelamente a estas, como se esperava (Figura 10).



Figura 8 - Realização de ensaio de carga pontual.



(a)



(b)

Figura 9 – Exemplos de amostras rompidas e validadas para o ensaio PLT.



Figura 10 – Rompimentos de amostras de anfibolito quartzoso.

Estes mesmos rompimentos paralelos foram observados nas amostras de anfibolito foliado, como apresentado na Figura 11.



Figura 11 - Rompimentos paralelos às foliações para amostras de anfibolito foliado.

3.2. Ensaio de compressão uniaxial

Os ensaios de compressão uniaxial foram realizados em uma máquina universal de ensaios apresentada na Figura 12a. Centralizados nos pratos de carregamento da máquina, os 50 corpos de prova ensaiados eram cercados por uma grade de metal para se impedir que fragmentos de rocha pudessem ser projetados, podendo causar acidentes (Figura 12b e Figura 12c).

De acordo com a ISRM (2007), o carregamento da amostra deve ser realizado de forma contínua e a uma taxa constante até que a ruptura venha a ocorrer dentro de 5 a 10 minutos de carregamento. Alternativamente, a taxa de carregamento deve situar-se entre 0,5 a 1,0 MPa/s. O máximo carregamento em uma amostra deve ser gravado e anotado em Newtons (ou Kilonewtons e Meganewtons, quando necessário).



(a)



(b)



(c)

Figura 12 - (a) Máquina universal de ensaios, (b) célula de proteção, (c) amostra após rompimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaio de índices físicos

Para melhor caracterizar os litotipos em estudo, determinaram-se, em laboratório, as propriedades-índices dos mesmos, como apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Propriedades-índice dos litotipos em estudo

Litotipo	Grau de alteração	Massa específica aparente (kg/m ³)		Porosidade aparente (%)	Capacidade de Absorção Aparente (%)
		Seca	Saturada		
Anfibolito	W1	3061	3067	0,56	0,18
Anfibolito quartzoso Lote 1	W1	2492	2498	0,65	0,26
Anfibolito quartzoso Lote 2	W1	2446	2451	0,50	0,20
Anfibolito	W1/2	2722	2726	0,36	0,13
Anfibolito foliado	W1	2860	2862	0,21	0,07
Xisto grafitoso	W1	3058	3063	0,44	0,14

Nota: ANF – anfibolito, QTZ - anfibolito quartzoso, ANF Sn – anfibolito foliado, XG – xisto grafitoso.

4.2 Ensaio de carga pontual

A Tabela 6 apresenta os resultados dos ensaios de carga pontual dos litotipos em estudo, de acordo com seus respectivos graus de alteração.

Tabela 6 - Resultados dos ensaios de carga pontual

Litotipo	Grau de alteração	Tipo de teste	I _{s50} (MPa)	Desvio padrão (MPa)
Anfibolito	W1	Axial	9,04	0,43
Anfibolito quartzoso	W1	Axial	9,93	2,46
Anfibolito foliado	W1	Axial	6,79	0,9
Xisto grafitoso	W1	Axial	3,79	1,35
Anfibolito	W1/2	Axial	7,70	1,09

Dentre os anfibolitos ensaiados, constata-se que o anfibolito quartzoso apresentou uma maior resistência à carga pontual, possivelmente atrelada à ruptura de algumas amostras ter ocorrido ao longo de veios de quartzo presentes nas mesmas, como se observa na Figura 13. Com resistência inferior a este primeiro, encontra-se o anfibolito W1, possuindo estrutura sólida constituída de anfibólio e, na sequência, verifica-se uma maior resistência do anfibolito W1/2 em relação ao anfibolito foliado W1. Esta diferença de resistência pode ser explicada por um possível rompimento paralelo à foliação no anfibolito foliado enquanto que, apesar de o anfibolito W1/2 ser um pouco mais alterado, este não apresentou plano preferencial de ruptura.



Figura 13 - Corpo de prova de anfibolito quartzoso rompido ao longo de um veio de quartzo.

Por fim, percebe-se uma menor resistência à carga pontual para o xisto grafitoso, uma vez que este litotipo apresentou grafita em seu interior, tornando a ruptura sensível ao longo de planos que continham a mesma.

4.3 Ensaio de compressão uniaxial

Os resultados de ensaio de compressão uniaxial são apresentados na Tabela 7. De forma análoga aos resultados de resistência à carga pontual, pode-se julgar possíveis causas de variações de resistência para estes litotipos. Com uma maior resistência à compressão uniaxial, encontra-se o anfibolito W1, seguido pelo anfibolito quartzoso W1, xisto grafitoso W1, anfibolito W1/2 e, finalmente, anfibolito foliado W1. A maior parte das rupturas ocorreram ao longo de foliações ou interfaces anfibólio/quartzo, apresentando rompimentos em forma de fendilhamento, como no anfibolito W1 e cisalhamento, como no anfibolito foliado, ocorrendo, neste último, ruptura paralela à foliação (Figura 14).

Tabela 7 - Resultados dos ensaios de compressão uniaxial

Litotipo	Grau de alteração	σ_c (MPa)	Desvio padrão (MPa)
Anfibolito	W1	222,53	44,91
Anfibolito quartzoso	W1	160,09	51,98
Anfibolito foliado	W1	94,50	17,22
Xisto Grafitoso	W1	125,28	38,44
Anfibolito	W1/2	113,27	40,63



(a)



(b)

Figura 14 – (a) Ruptura por fendilhamento da amostra. (b) Ruptura por cisalhamento.

4.4 Correlações entre resistência à carga pontual e resistência à compressão uniaxial

A partir dos resultados de I_{s50} e σ_c obtidos, determinou-se o parâmetro a de correlação entre estas duas resistências, apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Determinação do parâmetro a de correlação I_{s50} e σ_c

Litotipo	Grau de alteração	I_{s50} (MPa)	σ_c (MPa)	a
Anfibolito	W1	9,04	222,53	24,62
Anfibolito quartzoso	W1	9,93	160,09	16,12
Anfibolito foliado	W1	6,79	94,50	13,92
Xisto Grafitoso	W1	3,79	125,28	33,06
Anfibolito	W1/2	7,7	113,27	15,00

Pela Tabela 8, observa-se uma aproximação de a para os litotipos: anfibolito quartzoso W1 ($a = 16,12$), anfibolito foliado W1 ($a = 13,93$), e anfibolito W1/2 ($a = 15,00$), enquanto anfibolito W1 e xisto grafitoso se distanciam dos demais. Esta aproximação de a para os três primeiros litotipos pode estar relacionada a algum defeito existente nestes anfibolitos, já que os mesmos não são compostos exclusivamente por anfibólios são como o anfibolito W1 é; ou, como no caso do anfibolito quartzoso, que possui certa porcentagem de quartzo (logo, interfaces anfibólio/quartzo); o anfibolito foliado, que apresenta planos de fraqueza paralelos à de foliação, não possuindo estrutura maciça em anfibólio e, por fim, o anfibolito W1/2, que possui sua matriz já um pouco alterada por intemperismo.

4.5 Tentativa de obtenção de equações lineares para correlações entre I_{s50} e σ_c

Buscando obter-se uma equação linear que melhor representasse uma correlação entre a resistência à carga pontual e a resistência à compressão uniaxial, assim como Azimian, Ajalloeian e Fatehi (2014) e Kahraman e Gunaydin (2009) apresentaram na Tabela 3, realizaram-se tentativas utilizando-se os litotipos do presente trabalho. Os resultados obtidos são apresentados a seguir.

Primeiramente, elaborou-se uma equação envolvendo os dois litotipos estudados, com suas variações: anfibolito W1, anfibolito quartzoso W1, anfibolito foliado W1, anfibolito W1/2 e xisto grafitoso W1. O gráfico gerado é apresentado na Figura 15. Considerando a crítica feita por Antão (2012) e demais autores, ao dizerem que esta correlação, necessariamente, deve possuir sua origem em zero (0), forçaram-se, aqui, estes gráficos a fazê-lo, obtendo-se uma equação dada por $\sigma_c = 18,685 \times I_{s50}$, e um coeficiente de correção $R^2 = 0,693$. Do contrário, o gráfico para tal correlação possuiria a equação $\sigma_c = 16,712 \times I_{s50} + 15,893$, com $R^2 = 0,703$.

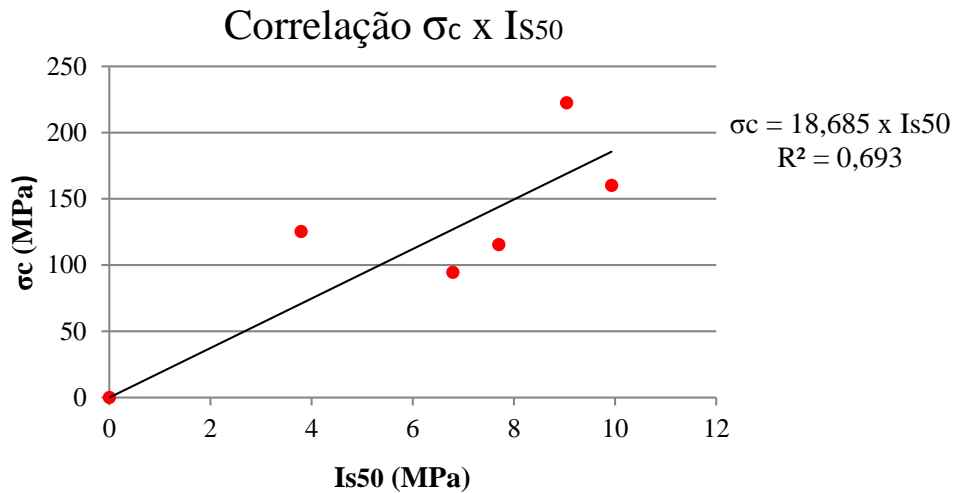


Figura 15 - Equação linear envolvendo correlações de resistência para todos os litotipos em estudo.

Buscando-se verificar uma correlação para um mesmo tipo de rocha, assim como Hawkins e Olver (1986), Vallejo et al. (1989) e Das (1985) e vários outros autores o fizeram, elaborou-se um gráfico com dados apenas dos anfibolitos em estudo, portanto, excluindo-se o xisto grafitoso da análise. De modo semelhante ao gráfico anterior, obtém-se a equação $\sigma_c = 18,874 \times Is_{50} - 7,7863$ e um $R^2 = 0,810$, caso não se utilizasse a metodologia de forçar a reta a passar pela origem do gráfico. Após fazer esta consideração, obtém-se o gráfico da Figura 16 e a seguinte equação: $\sigma_c = 17,962 \times Is_{50}$, com $R^2 = 0,808$.

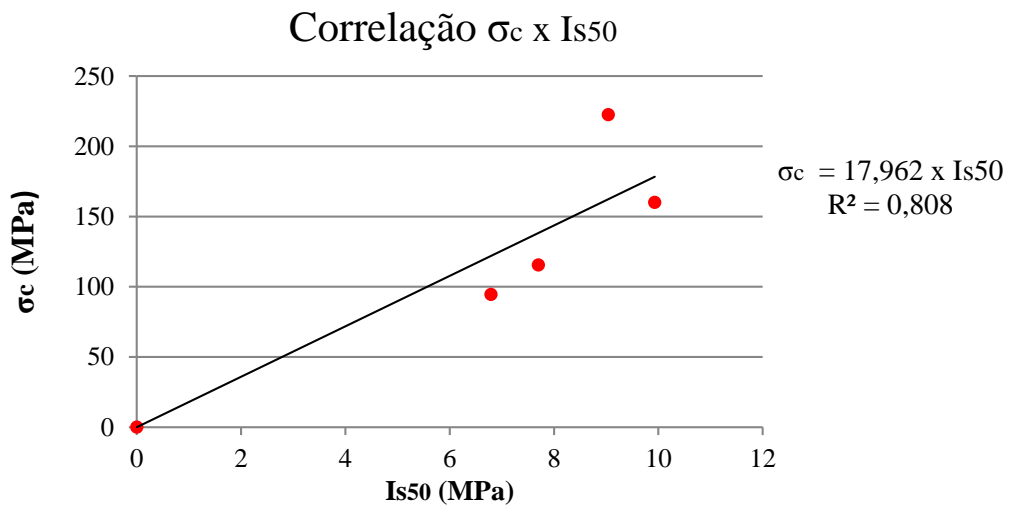


Figura 16 - Gráfico de correlações de resistência para anfibolitos.

5 CONCLUSÕES

Muitos têm sido os estudos de correlações de resistência à carga pontual e resistência à compressão uniaxial no mundo, em busca de uma convergência para valores de parâmetro a cada vez mais reais e aplicáveis à prática profissional no ramo da Mecânica das Rochas. Contudo, deve-se ressaltar que, apesar desses vários estudos, ainda não se alcançou esta efetiva convergência. Neste trabalho, os resultados apresentados mostram a dificuldade em se considerar um valor único de parâmetro a que possa ser utilizado, de forma geral, para todos os tipos de rocha, como alguns autores propõem. Contudo, a análise dos anfibolitos estudados possibilitou alcançar valores de a com representatividade estatística para os tipos de rocha estudados, de forma individualizada, apresentando ou não quartzo e foliação.

Portanto, as principais conclusões deste estudo são:

- A presença de estruturas ou fraturamento presentes nas rochas e sua relação com a direção de carregamento devem ser consideradas, de forma a permitir uma melhor avaliação dos resultados dos ensaios;
- O parâmetro a também parece ser afetado pelo grau de alteração, como observado nos ensaios com anfibolito W1 e W1/2, assim como propuseram Gupta e Rao (1998).
- O parâmetro a obtido para os anfibolitos pode ter sido afetado por defeitos mineralógicos e estruturais, contudo, os valores encontrados para o anfibolito W1 foram iguais àqueles apresentados por Goodman (1989);
- Uma boa equação de correlação foi encontrada para os anfibolitos estudados nesta pesquisa, na forma linear $\sigma_c = 17,962 \times I_{s50}$. Equações similares foram encontradas por Das (1985) ao estudar arenitos do Canadá e por Vallejo et. Al (1989), ao estudar quartzitos da Índia, como apresentou-se na Tabela 1, e;
- Por fim, a pesquisa permitiu uma contribuição no estudo das correlações, visando uma ampliação no banco de dados de literatura técnica, buscando a obtenção da resistência à compressão uniaxial através de um ensaio mais simples, sendo também mais econômico e rápido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTÃO, A. M., *Assessing the uniaxial compression strength of granites through the point load test: parametrization in function of the weathering grade of the rock*. Research Gate, 2012, 15 p.
- AZEVEDO, I.C.D.; MARQUES, E.A.G. *Introdução à Mecânica das Rochas*. Caderno Didático. Ed. UFV, 2006. 361P.
- AZIMIAN, A., AJALLOEIAN, R., FATEHI, L., *An Empirical Correlation of Uniaxial Compressive Strength with P-wave Velocity and Point Load Strength Index on Marly Rocks Using Statistical Method*, Geotechnical Geological Engineering, 2014, 32: 205-214p.
- BIENIAWSKI, Z. T (1989). *Engineering rock mass classification: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering*. New York, John, Wiley & Sons, 251p.
- CONDE, M. C., DINIS DA GAMA, C., LOPES, M. G., *Correlação entre o comportamento mecânico de agregados e das rochas originais*, Portugal, 2004, 9 p. (In Portuguese).
- DIAMANTIS, K., GARTZOS, E. e MIROS, G., *Study on uniaxial compressive strength, point load strength index, dynamics and physical properties of serpentinites from Central Greece: Test results and empirical relations*, Engineering Geology, 108: 199-207, 2009.
- FRANKLIN, J.A. *Suggested method for determining point load strength*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstract. 22:51-60, 1985.
- GUPTA, A. S.; RAO, K. S. *Index properties of weathered rocks: inter-relationships and applicability*. Bulletin Engineering Geology and Environment, 57: 161-172, 1998.
- HAWKINS, A.B., OLVER, J.A.G., 1986. *Point load tests: correlation factor and contractual use. An example from the Corallian at Weymouth*. In: Hawkins, A.B.

- (Ed.), Site Investigation Practice: Assessing BS 5930. Geological Society, London, pp. 269–271.
- HAWKINS, A. B.. *Aspects of Rock Strength*. Bulletin Engineering Geology and Environment, Vol. 57, p 17-30, 1998.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics. *Suggested method for determining point load strength*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 1985. 22: 51-60.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics. *The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring*: 1974-2006. In: Ulusay, R. & Hudson, J.A. (eds.), suggested methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM. Ankara, Turkey. 2007. 628 p.
- JAEGER, J. C.; COOK, N. W. *Fundamentals of Rock Mechanics*. 3^a Ed. London, 1979. 593 p.
- JAQUES, D. S., *Caracterização e classificação de maciços rochosos da mina de Volta Grande, Nazareno, Minas Gerais*, Dissertação de Mestrado, UFV, 2014.
- KARAMAN, S. *Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 38:981–994, 2001.
- KARAMAN, S., GUNAYDIN, O., *The effect of rock classes on the relation between uniaxial compressive strength and point load test*. Bulletin Engineering Geology and Environment. 68: 345 -353, 2009.
- KAYA, A.; KARAMAN, K., *Utilizing the strength conversion factor in the estimation of uniaxial compressive strength from the point load index*. Bulletin Engineering Geology and Environment., 2015.
- LI, D., WONG, L. N. Y., *Point Load Test on Meta-Sedimentary Rocks and Correlations to UCS and BTS*, Rock Mechanics and Rock Engineering, 2012, 46: 889 – 896.
- LUMB, P. *Engineering properties of fresh and decomposed igneous rocks from Hong Kong*. Engineering Geology, Volume 19, Issue 2, August 1983, Pages 81-94.

- MARQUES, A. A.; PAES, B. S. T.; MARQUES, E. A. G. PEREIRA, L. C. *Correlations between uniaxial compressive strength and point load strength for some Brazilian high-grade metamorphic rocks*. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. V. 4, No. 1, pg. 47-58, 2015.
- MARQUES, A. A.; PAES, B. S. T. *Caracterização, Análise e Correlações entre Resistências de Rochas de Cavas a Céu Aberto*. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013 (In Portuguese).
- RAMOS, B.M.C., *Ensaaios geomecânicos em rochas metassedimentares do maciço da Mina das Azeleiras (Mosteiro de Tibães): comparação, potencialidades e limitações*, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2009 (In Portuguese).
- REZENDE, K.S., *Classificação Mecânica e Tentativas de Correlações de Propriedades Geotécnicas de Rochas da Mina de Volta Grande, Nazareno, MG*. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
- RUSNAK, J., MARK, C., *Using the point load test to determine the uniaxial compressive strength of coal measure rock*. 19th Ground Control Conference in Mining, West Virginia University, Proceedings, 2000. pg. 362-371.
- SINGH T. N., ASHUTOSH K., VENKATESH, A. *Correlation Between Point Load Index and Uniaxial Compressive Strength for Different Rock Types*. Rock Mech. Rock Eng., 45:259-264, 2012.
- SIVACUGAN, N., SHUKLA, S. K., DAS, B. M., *Rock Mechanics: An Introduction*, Ed. CRC Press, 2013, 242 p.

ARTIGO CIENTÍFICO 2

**CORRELAÇÕES ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL E
DUREZA DE SCHMIDT PARA ALGUNS ANFIBOLITOS E XISTOS DO SUL DO
ESTADO DE MINAS GERAIS, BRASIL**

**CORRELAÇÕES ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO
UNIAXIAL E DUREZA DE SCHMIDT PARA ALGUNS
ANFIBOLITOS E XISTOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS,
BRASIL**

**CORRELATIONS BETWEEN UNIAXIAL COMPRESSIVE
STRENGTH AND SCHMIDT REBOUND HARDNESS FOR SOME
AMPHIBOLITES AND SCHISTS FROM MINAS GERAIS STATE,
BRAZIL**

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de correlação de resistência geomecânica através de ensaios destrutivos e não destrutivos para rochas extraídas da Província Pegmatítica de São João Del Rei, em Nazareno, Minas Gerais. Estudou-se a resistência de dois litotipos principais desta região, sendo eles anfibolitos e xisto grafitoso, nos graus de alteração W1 e W1/2. O anfibolito estudado apresentou variações como presença ou não de foliação e presença de veios de quartzo em diferentes proporções. Os ensaios destrutivos realizados foram ensaios de resistência à compressão uniaxial, enquanto os ensaios não destrutivos compreenderam ensaios de dureza de Schmidt ou esclerometria. Ao se correlacionar os resultados médios dos dois ensaios envolvendo todos os litotipos em estudo, obtiveram-se equações com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,50. Ao se excluir o litotipo anfibolito foliado, obteve-se um R^2 igual a 0,94. Acredita-se que esta diferença seja explicada pela presença de foliações no litotipo excluído, que podem ter prejudicado a resistência à compressão uniaxial, através de rompimento de amostras ao longo das foliações. Este rompimento não foi verificado no ensaio de esclerometria, uma vez que os rebotes do ensaio eram localizados.

Palavras – chave: dureza de Schmidt, resistência à compressão uniaxial, ensaios laboratoriais, rochas metamórficas.

ABSTRACT

This paper presents the results of some laboratory tests performed on metamorphic rocks from the São João Del Rei Pegmatitic Province, located on Nazareno, Minas Gerais state, southeast Brazil. Two lithotypes were tested – an amphibolite and a schist, sound to slightly weathered. Amphibolite types were divided based on some petrographic and mineralogical differences, such as presence of foliation, quartz veins and different amphibole proportions. Destructive tests performed were uniaxial compressive strength (UCS), while non-destructive tests performed were Schmidt rebound tests. Statistical correlations for these tests for all rocks under study have resulted in a determination coefficient (R^2) equal to 0.50. When excluding foliated amphibolite – which have presented a lower strength than other rocks, a R^2 equal to 0.94 have been reached. The lower strength measured for foliated amphibolite was due to the failure of rock samples along foliation on UCS tests, as during Schmidt rebound tests the presence of such structure has no influence on the results as no failure was caused.

Key words: Schmidt hardness, uniaxial compressive strength, laboratory tests, metamorphic rocks.

1 INTRODUÇÃO

Para um maior detalhamento em seus projetos, empresas do ramo da mineração e obras civis buscam conhecer a fundo sua matéria-prima para trabalho, seja ela solo ou rocha, buscando sempre conciliar segurança e economia. Uma das partes compõem esse conhecimento é a realização de ensaios de laboratório, que buscam caracterizar e classificar estes materiais para suas diversas finalidades nos projetos de engenharia.

Neste contexto, este trabalho busca a determinação da resistência geomecânica para alguns litotipos presentes na Província Pegmatítica de São João Del Rei, na região rural de Nazareno, em Minas Gerais (Figura 17), além da determinação de correlações entre resultados de um ensaio destrutivo, o ensaio de resistência à compressão uniaxial, e um ensaio não destrutivo, o ensaio de dureza de Schmidt. Esta correlação tem como principal objetivo a contribuição para uma base de dados existente em literatura técnica, que possa ser utilizada em estimativas de resistência de rochas, através de métodos mais simples, rápidos e menos onerosos, como o ensaio de esclerometria ou dureza de Schmidt, uma

vez que este ensaio pode ser executado *in situ*, não necessitando de retirada e deslocamento de material para laboratórios que possam se encontrar distantes do local de extração. Os litotipos estudados são basicamente anfibolitos e xisto grafitoso, sendo aqueles constituídos por um material maciço ou apresentando foliação, além de veios de quartzo em diferentes proporções nas amostras a serem ensaiadas.

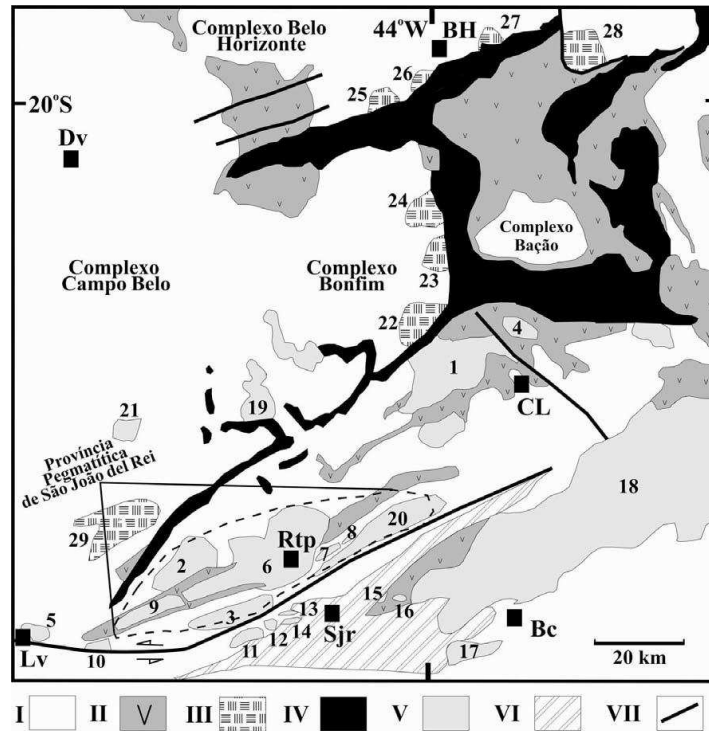


Figura 17 - Mapa geológico esquemático da borda meridional do Cráton São Francisco com a localização aproximada da Província Pegmatítica de São João Del Rei. Algarismos romanos representando as rochas e algarismos arábicos representando os minerais presentes na região. Detalhes da legenda em JAQUES (2014).

Muitos pesquisadores, como Shalabi, Cording e Al-Hattamleh (2007), Martins e Miranda (2010), Brandi, Barbosa e Guimarães (2015), entre outros, têm dedicado suas pesquisas aos estudos de correlação entre estes dois ensaios nos últimos anos, tanto para fins de caracterização geotécnica quanto para classificações geomecânicas em trabalhos de mineração. Segundo Ávila e Lana (2013), os resultados destas classificações, além da determinação de propriedades mecânicas de maciços rochosos, podem ser utilizados para sugerir uma série de procedimentos de engenharia, como a melhor direção de escavação e o tipo de suporte mais adequado na abertura de um túnel. Jimeno e Méndez (1997) apresentam a descrição de vários métodos de escavação que permitem classificar os maciços rochosos em função da sua escavabilidade. Esses métodos possibilitam a escolha dos equipamentos ou meios mais adequados para efetuar a escavação do maciço. Como

apresentado na Tabela 9, e a título de exemplo, o método de Franklin, um dos mais antigos e ainda mais usados, permite usar a resistência à compressão uniaxial ou o número (dureza) de Schmidt (MARTINS & MIRANDA, 2010).

Tabela 9 - Métodos para classificação dos maciços rochosos em função da escavabilidade.

Método	Parâmetros geomecânicos
Franklin (1971)	Índice de resistência à carga pontual (I_{s50}), resistência à compressão uniaxial, número de Schmidt, espaçamento entre fraturas, RQD.
Weaver (1975)	Velocidade sísmica, dureza, grau de alteração e parâmetros relacionados com as diaclases (espaçamento, continuidade, preenchimento e orientação).
Atkinson (1977)	Resistência à compressão uniaxial
Romana (1981)	Resistência à compressão uniaxial, RQD e abrasividade.
Abdullatif e Cruden (1983)	Índice RMR.
Scoble e Muftuoglu (1984)	Grau de alteração, Resistência à compressão uniaxial, Índice de resistência à carga pontual (I_{s50}), espaçamento entre diaclases e espessura dos estratos.
Hadjigeorgiou e Scoble (1988)	Índice de resistência à carga pontual (I_{s50}), tamanho do bloco, grau de alteração, disposição estrutural relativa.
Singh (1989)	Espaçamento entre descontinuidades, resistência à tração estimada a partir do índice de resistência à carga pontual e do ensaio brasileiro.

Fonte: Adaptado de Jimeno e Mêndez (1997).

2 ENSAIOS REALIZADOS PARA FINS DE CORRELAÇÃO

2.1. Ensaio de resistência à compressão uniaxial

As rochas que constituem um maciço rochoso, geralmente, encontram-se em um estado de tensões triaxial, porém, Rezende (2014) destaca que o estudo do comportamento das rochas, quando submetidas à compressão simples (uniaxial), permite colocar em evidência fenômenos com interesse fundamental na mecânica dos maciços rochosos. O caso prático mais evidente em que os maciços rochosos se encontram

submetidos a um estado de compressão simples é o dos pilares de minas (AZEVEDO & MARQUES, 2006).

O ensaio de compressão uniaxial, no qual corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de rochas são comprimidos paralelamente a seu eixo longitudinal, é o ensaio mais antigo e simples em rochas, e continua sendo o mais conveniente e usual método para determinar suas propriedades mecânicas (JAEGER & COOK, 1979).

Um ensaio de compressão uniaxial é baseado na aplicação de uma carga P distribuída uniformemente sobre a superfície de seção circular de um corpo de prova, levando o mesmo à ruptura, com esquema de carregamento apresentado na Figura 18.

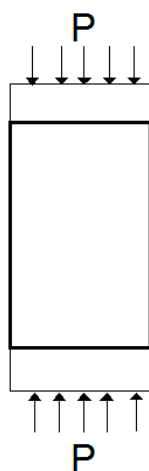


Figura 18 - Esquema de carregamento de um ensaio de resistência à compressão uniaxial.

Segundo Azevedo & Marques (2006), a preparação da amostra, cilíndrica, pode ser difícil e cara. A relação entre altura e diâmetro (H/D) deve variar, segundo determinação da ISRM (2007), entre 2,5 e 3,0. Já a ASTM D 4543 (2008) recomenda uma relação H/D entre 2,0 e 2,5, enquanto o Eurocode 7 (2007) permite o uso de H/D entre 2,0 e 3,0.

Marques e Paes (2013) e Marques et al. (2015), após ensaiar amostras de alguns tipos de granitos e xistos uniaxialmente, observaram discrepâncias pouco acentuadas entre relações H/D da ISRM (2007) e ASTM D 4543 (2008).

2.2. Ensaio de dureza de Schmidt

O ensaio é executado de forma simples e rápida, através de esclerometria. O esclerômetro de Schmidt, também chamado Martelo de Schmidt, é utilizado internacionalmente em Mecânica das Rochas, sendo normatizado, entre outras, pela International Society for Rock Mechanics – ISRM (2007).

Este método é frequentemente utilizado na estimativa da resistência das paredes de descontinuidades, assim como para avaliar a trabalhabilidade e facilidade de escavação e

perfuração por meios mecânicos. Contudo, deve-se mencionar que este método foi desenvolvido em 1948 por Ernst Schmidt para testar a dureza do concreto de uma forma não destrutiva e, só mais tarde é que foi aplicado para estimar a dureza das rochas (RAMOS, 2012).

O ensaio não requer grande preparo da superfície, porém é importante verificar se há presença de materiais soltos na superfície a ser ensaiada, o que pode acarretar uma baixa ou até nula determinação da resistência.

O esclerômetro de Schmidt é um instrumento portátil para ensaios não-destrutivos que tem como base a aplicação de um impacto através de uma massa de aço na superfície a ser ensaiada (no caso a rocha), a qual reage, sendo essa reação proporcional à sua dureza (GUERREIRO, 2000 apud FLEURY, OLKOWSKI & KUOKAWA, 2012).

Quando se pressiona o pistão do esclerômetro contra a superfície a ensaiar, comprime-se uma mola existente no interior do aparelho. Logo que a haste ou bigorna atinge o fim do seu curso, é libertada, instantaneamente, uma massa que choca com a sua extremidade interior. O choque é transmitido à superfície, a qual reage, provocando um rebote. O mesmo veio transmite rebote à massa móvel, que, ao deslocar-se registra o seu coeficiente de recuo, Q (*rebound coefficient*). Quanto mais dura e compacta for a superfície, maior será o rebote (LORENZONI & XAVIER, 2015).

2.3. Correlações entre a resistência à compressão uniaxial e a dureza de Schmidt

Vários têm sido os trabalhos de correlação entre resistência à compressão uniaxial e dureza de Schmidt, uma vez que esta última permite uma obtenção rápida e simples daquela. Data-se da década de 1960 os primeiros trabalhos com esta finalidade e hoje são desenvolvidas novas pesquisas em vários países, como Turquia, Hong Kong, Coréia do Sul, Portugal, Estados Unidos, Brasil e outros. Por exemplo, Ávila e Lana (2013), estudando comportamento geotécnico e classificações em taludes rochosos na região de Belo Horizonte-MG, realizaram 22 testes com esclerômetro de Schmidt para estimativa da resistência à compressão simples em maciços de gnaisse e obtiveram a seguinte equação: $\ln(\sigma_c) = 0,067HR + 0,792$, sendo σ_c a resistência à compressão simples da rocha em MPa e HR é o número ou dureza de Schmidt. Martins e Miranda (2010), estudando rochas graníticas em Portugal, apresentaram boas correlações, como $\sigma_c = 2,352N - 26,983$ com R^2 igual a 0,871 na forma de ajustamento linear e $\sigma_c = 11,658e^{0,039N}$ com R^2 igual a 0,967 na forma de ajustamento exponencial, sendo N o número de Schmidt.

Shalabi, Cording e Al-Hattamleh (2007) apresentam algumas correlações entre as propriedades em questão e também uma estimativa do módulo de elasticidade das rochas, como apresentado na

Tabela 10.

Tabela 10 - Correlações entre dureza de Schmidt e resistência à compressão uniaxial e módulo de elasticidade de rochas

Equação	R	Litotipo	Referência
$\sigma_c = 6,9 \times 10^{[1,348 \log(\gamma HR) - 1,325]}$ $E = 6,9 \times 9 \times 10^{[1,06 \log(\gamma HR) + 1,86]}$	-	25 unidades litológicas	Aufmuth (1973)
$\sigma_c = 2HR$	0,72	30 litotipos sedimentares	Singh et.al (1983)
$\sigma_c = 4,84HR - 7,61$	0,77	Anidrita, siltito, arenito e calcário	O'Rourke (1989)
$\sigma_c = 4,184HR - 65,792$	0,93	Rochas calcárias	Sachpazis (1990)
$\sigma_c = 8,36HR - 416$	0,87	Granito	Tugrul e Zarif (1999)
$\sigma_c = 2,208e^{0,067HR}$ $E = 0,00013(HR)^{3,09074}$	0,96 0,99	Calcário, arenito, granito, sienito, mármore	Katz et.al (2000)
$\sigma_c = e^{(0,059HR + 0,818)}$ $E = e^{(0,054HR + 1,146)}$	0,98 0,91	Gipso	Yilmaz e Sedir (2002)
$\sigma_c = 4 \times 10^{-6}(HR)^{4,2917}$	0,89	Calcário, mármore, basalto e arenito	Yasar e Erdogan (2004)
$\sigma_c = 3,201HR - 46,59$	0,76	Dolomita de baixa densidade e calcário dolomítico	Shalabi, Cording e Al-Hattamleh (2007).

E: módulo de elasticidade (GPa), γ = massa específica da rocha (g/cm^3), HR = dureza de Schmidt.

Fonte: Adaptado de Shalabi, Cording e Al-Hattamleh (2007).

Aydin e Basu (2005) também reuniram uma série de proposições destas correlações para outros litotipos, como mostrado na

Tabela 11.

Tabela 11 - Equações propostas para correlação de dureza de Schmidt e σ_c por Aydin e Basu (2005)

Referências	Correlações propostas	r	Tipo de rocha
Deere e Miller (1966)	$\sigma = 9.97.e^{(0.02.R_L.\rho)}$	0,94	28 litotipos diferentes
Dearman e Irfan (1978)	$\sigma_c = 0.00016.R_L^{3.47}$	-	Granito
Beverly et al. (1979); in Xu et al., 1990)	$\sigma_c = 12.74.e^{(0.02.R_L.\rho)}$ $E = 0.19.R_L.\rho^2 - 12.71$		20 litotipos diferentes
Kidybinski (1980)	$\sigma_c = 0.52.e^{(0.05.R_L+\rho)}$		Carvão, Folhelho, lamito, siltito, arenito
Shorey et al. (1984)	$\sigma_c = 0.40.R_N - 3.60$ $E = 1.89.R_L - 60.55$	0,94 0,93	Carvão Grau I a IV
Xu et al. (1990)	$\sigma = 2.98.e^{(0.06.R_L)}$ $E = 1,77.e^{(0.07.R_L)}$ $\sigma = 2.99.e^{(0.06.R_L)}$ $E = 2.71.e^{(0.04.R_L)}$ $\sigma = 2.98.e^{(0.063.R_L)}$ $E = 2.57.e^{(0.03.R_L)}$ $\sigma_c = 3.78.e^{(0.05.R_L)}$ $E = 1.75.e^{(0.05.R_L)}$ $\sigma_c = 1.26.e^{(0.52.R_L.\rho)}$ $E = 0.07.e^{(0.31.R_L.\rho)}$ $E = 0.19.R_L.\rho^2 - 7.87$	0,95 0,96 0,91 0,91 0,94 0,88 0,93 0,95 0,92 0,89 0,88	Micaxisto Prasinito Serpentinito Gabro Lamito ou argilito
Cargill e Shakoor (1990)	$\sigma_c = 3.32.e^{(0.04.R_L.\rho)}$	0,93	Arenitos
Kahraman (1996; In: Yilmaz e Sendir, 2002)	$\sigma_c = 0.00045(R_N.\rho)^{2.45}$	0,96	10 litotipos diferentes
Gokceoglu (1996; In: Yilmaz e Sendir, 2002)	$\sigma_c = 0.0001.R^{3.27}$	0,84	Marga
Kahraman (2001)	$\sigma_c = 6.97.e^{(0.01.R_N.\rho)}$ $E = 1.04.e^{(0.06.R_L)}$ $\sigma_c = 0.92.e^{(0.07.R_N)}$ $E = 0.72.e^{(0.05.R_N)}$	0,78 0,91 0,94 0,92	Carbonatos Grau I a IV
Aydin e Basu (2005)	$\sigma_c = 1.45.e^{(0.07.R_L)}$	0,92	Granito

Abreviações: E: Módulo de Young (GPa); ρ : massa específica (g/cm³); R_L e R_N : valor de rebote para martelos tipo L e N, respectivamente; r: coeficiente de regressão.

3 METODOLOGIA

Todos os ensaios foram realizados utilizando-se das metodologias sugeridas pela International Society for Rock Mechanics (ISRM, 2007). Para a execução do estudo, dois

litotipos foram selecionados: anfibolito e xisto grafitoso, nos diferentes graus de alteração W1 e W1/2, sendo este último assim classificado como uma classe pouco mais alterada que a classe W1, porém, não tão alterada para ser classificada como W2, totalizando 50 amostras para a realização dos ensaios de compressão uniaxial e dureza de Schmidt. Durante a análise de testemunhos de sondagem em campo, através de observação de considerável teor de quartzo em determinadas porções nos testemunhos de anfibolito, descreveram-se estas como anfibolito quartzoso (QTZ) em grau de alteração W1 em dois lotes em que, a princípio, a única diferença entre os lotes era a cor. De forma análoga, observando a presença de porções de anfibolito com foliação bem desenvolvida, descreveram-se estas como anfibolito foliado (ANF Sn) em grau de alteração W1. Estas mesmas subdivisões em anfibolito foram realizadas por Jaques (2014), realizando trabalhos de caracterização e classificação geomecânica de maciços rochosos da mesma mina em estudo.

Após coleta de material em campo, os testemunhos foram levados ao Laboratório de Mecânica das Rochas da Universidade Federal de Viçosa, onde foram preparados para a realização dos ensaios citados, como apresentado na Figura 19.



Figura 19 - Preparação de amostras para realização de ensaios de dureza de Schmidt e resistência à compressão uniaxial.

3.1. Ensaio de compressão uniaxial

Os ensaios de compressão uniaxial foram realizados em uma máquina universal de ensaios apresentada na Figura 20. Centralizados nos pratos de carregamento da máquina,

os 50 corpos de prova ensaiados eram cercados por uma grade de metal para se impedir que fragmentos de rocha pudessem ser projetados, podendo causar acidentes (Figura 21).



Figura 20: Aparelhagem para realização de ensaio de compressão uniaxial.

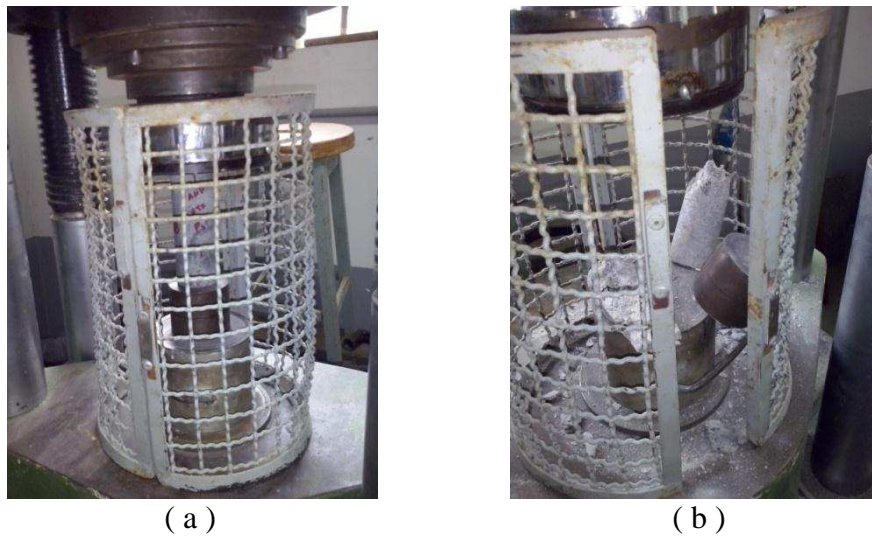


Figura 21 - Condição de ensaio (a) Antes da ruptura. (b) Após a ruptura.

De acordo com a ISRM (2007), o carregamento da amostra deve ser realizado de forma contínua e a uma taxa constante até que a ruptura venha a ocorrer dentro de 5 a 10 minutos de carregamento. Alternativamente, a taxa de carregamento deve situar-se entre 0,5 a 1,0 MPa/s. O máximo carregamento em uma amostra deve ser gravado e anotado em Newtons (ou Kilonewtons e Meganewtons, quando necessário).

3.2. Ensaio de dureza de Schmidt

Devido a políticas de segurança da mineradora fornecedora das amostras para ensaio, não se poderia realizar os ensaios de dureza de Schmidt *in situ*. Por isso, foram realizados nas mesmas amostras em que se realizariam os ensaios de compressão uniaxial. Seguindo metodologia da ISRM (2007), os corpos de provas tiveram 20 pontos equidistantes, marcados para se realizar os rebotes do esclerômetro de Schmidt. O esclerômetro utilizado é do tipo L, da Proceq, conhecido como Silver Schmidt (Figura 22).

Os corpos de prova eram centralizados em uma superfície plana através de um aparato que abraçava a amostra e os rebotes eram realizados sempre perpendicularmente à superfície dos corpos de prova e na vertical para baixo. O aparato, tal como as marcações nos corpos de prova são apresentados na Figura 23. Nesta, pode-se ver uma amostra de xisto grafitoso fissurada por um rebote em um dos pontos demarcados em uma das extremidades. Isto ocorreu devido ao rebote ter sido realizado sobre uma descontinuidade no corpo de prova, produzindo uma fissuração e tornando-o inválido para determinação da dureza de Schmidt.

O cálculo da dureza de Schmidt foi realizada através da média dos 10 maiores valores de rebote (valor Q), excluindo-se os demais valores.



Figura 22 - Esclerômetro de Schmidt Tipo L da Proceq.



Figura 23 - Aparato para centralização e marcações no corpo de prova.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Propriedades-índice

Para melhor caracterizar os litotipos em estudo, determinaram-se, em laboratório, as propriedades-índice dos mesmos, como apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Propriedades-índice dos litotipos em estudo

Litotipo	Grau de alteração	Massa específica aparente (kg/m ³)		Porosidade aparente (%)	Capacidade de Absorção Aparente (%)
		Seca	Saturada		
ANF	W1	3061	3067	0,56	0,18
QTZ Lote 1	W1	2492	2498	0,65	0,26
QTZ Lote 2	W1	2446	2451	0,50	0,20
ANF	W1/2	2722	2726	0,36	0,13
ANF Sn	W1	2860	2862	0,21	0,07
XG	W1	3058	3063	0,44	0,14

Nota: ANF – anfibolito, QTZ - anfibolito quartzoso, ANF Sn – anfibolito foliado, XG – xisto grafitoso.

4.2 Ensaio de compressão uniaxial

Os resultados de ensaio de compressão uniaxial são apresentados na Tabela 13. Com uma maior resistência à compressão uniaxial, encontra-se o anfibolito W1, seguido pelo anfibolito quartzoso W1, xisto grafitoso W1, anfibolito W1/2 e, finalmente, anfibolito foliado W1. A maior parte das rupturas ocorreu ao longo de foliações ou interfaces anfibólio/quartzo, apresentando rompimentos em forma de fendilhamento,

como no anfibolito W1 e cisalhamento, como no anfibolito foliado, ocorrendo, neste último, ruptura paralela à foliação (Figura 24).

Tabela 13 - Resultados dos ensaios de compressão uniaxial

Litotipo	Grau de alteração	σ_c (MPa)	Desvio padrão (MPa)
ANF	W1	222,53	44,91
QTZ Lote 1	W1	196,12	29,64
QTZ Lote 2	W1	123,68	37,42
ANF Sn	W1	94,50	17,22
XG	W1	115,47	38,44
ANF	W1/2	113,27	40,63



(a)



(b)

Figura 24 – (a) Ruptura por fendilhamento da amostra. (b) Ruptura por cisalhamento.

4.3 Ensaio de dureza de Schmidt

Os resultados dos ensaios de dureza de Schmidt são apresentados na Tabela 14. Como era esperado, observa-se uma queda da dureza de Schmidt em função do grau de alteração da rocha. O anfibolito W1 apresentou valor Q igual a 61,87, enquanto seu litotipo mais alterado, anfibolito W1/2, apresentou valor Q igual a 52,19. Nota-se também uma diferença nos valores Q entre os dois lotes de anfibolito quartzoso. Acredita-se que seja ocasionada por presença de planos de fraqueza mais bem definidos nas amostras do

Lote 2, uma vez que a resistência à compressão uniaxial também apresentou-se menor, enquanto a porosidade e absorção deste último eram inferiores ao Lote 1. Contudo, o litotipo anfibolito quartzoso apresentou valor Q médio (entre os dois lotes) de 56,33, sendo o terceiro mais resistente, após o anfibolito W1 e o anfibolito foliado W1. Portanto, em termos de resistência média entre os litotipos e para a classe de alteração W1, o xisto grafitoso se apresentou com menor resistência que o anfibolito, de forma geral.

Tabela 14 - Resultados do ensaio de dureza de Schmidt

Litotipo	Grau de Alteração	Dureza de Schmidt (Q)	Desvio-padrão
ANF	W1	61,87	1,36
QTZ Lote 1	W1	61,15	1,39
QTZ Lote 2	W1	51,51	1,55
ANF	W1/2	52,19	3,88
ANF Sn	W1	57,92	5,30
XG	W1	54,88	1,86

4.4 Correlações entre resistência à compressão uniaxial e dureza de Schmidt

A partir dos resultados de σ_c e valor Q obtidos, buscou-se uma tentativa de obtenção de equações que correlacionassem estas duas propriedades. Inicialmente, plotaram-se os resultados individuais de todas as amostras em estudo, obtendo-se uma correlação pobre, na forma $\sigma_c = 5,208.Q - 154,2$, com R^2 igual a 0,20, como na Figura 25.

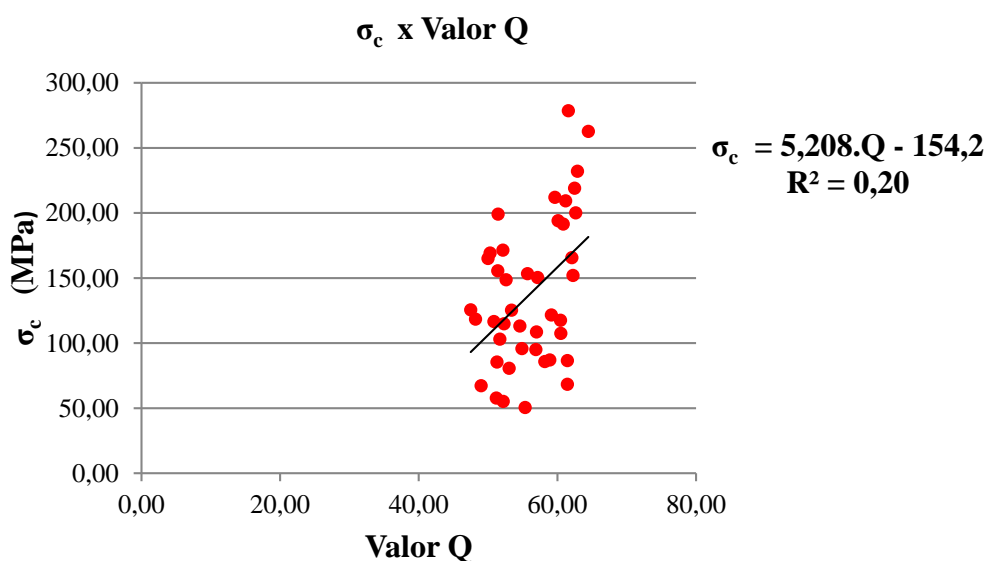


Figura 25 - Resultado de correlação de amostras individuais.

Elaborada esta correlação e concluída sua baixa representatividade por meio de seu coeficiente de determinação, estudou-se esta mesma dispersão por litotipo obtendo-se novas equações e coeficientes de determinação, mais uma vez pobres, como apresentado no Anexo 6.

Ao analisarem-se as resistências médias para cada litotipo em estudo, uma melhor equação encontrada apresentou-se na forma exponencial $\sigma_c = 6,97.e^{0,053Q}$, com R^2 igual a 0,50, como na

Figura 26. Uma equação apresentando um coeficiente de determinação mais expressivo foi encontrada excluindo-se o anfibolito foliado da análise de resistências médias: $\sigma_c = 4,98.e^{0,061Q}$, com R^2 igual a 0,94, como na Figura 27. Uma possível explicação para esta mudança é a presença da foliação no anfibolito foliado, que não apresentou o mesmo comportamento em ambos os ensaios, uma vez que esta pode ter causado rupturas paralela à mesma nos ensaios de compressão uniaxial, o que não ocorre nos ensaios com esclerômetro, em função da reduzida área de atuação do pistão em relação à foliação.

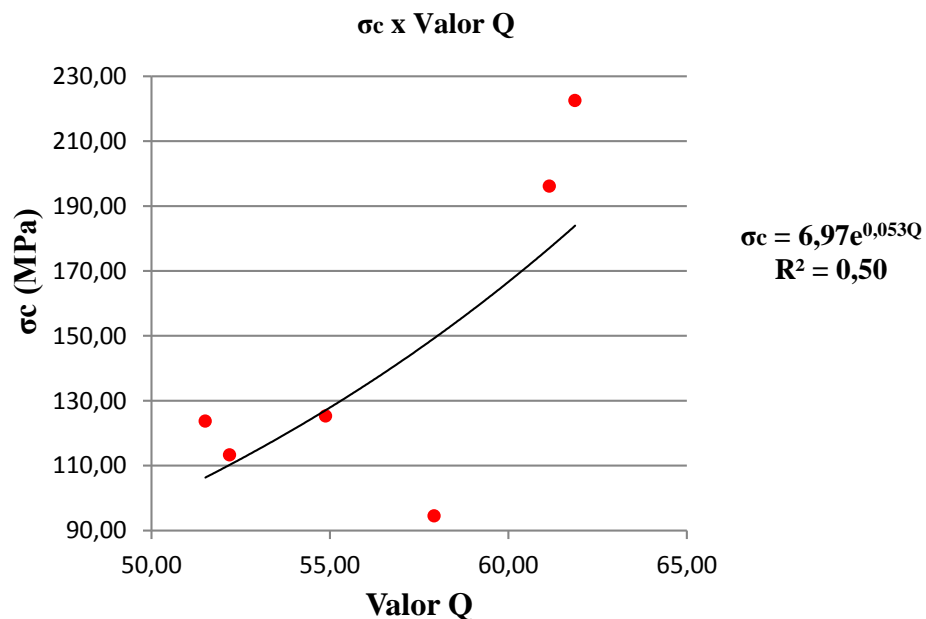


Figura 26 – Correlação $\sigma_c \times Q$ para todos os litotipos estudados.

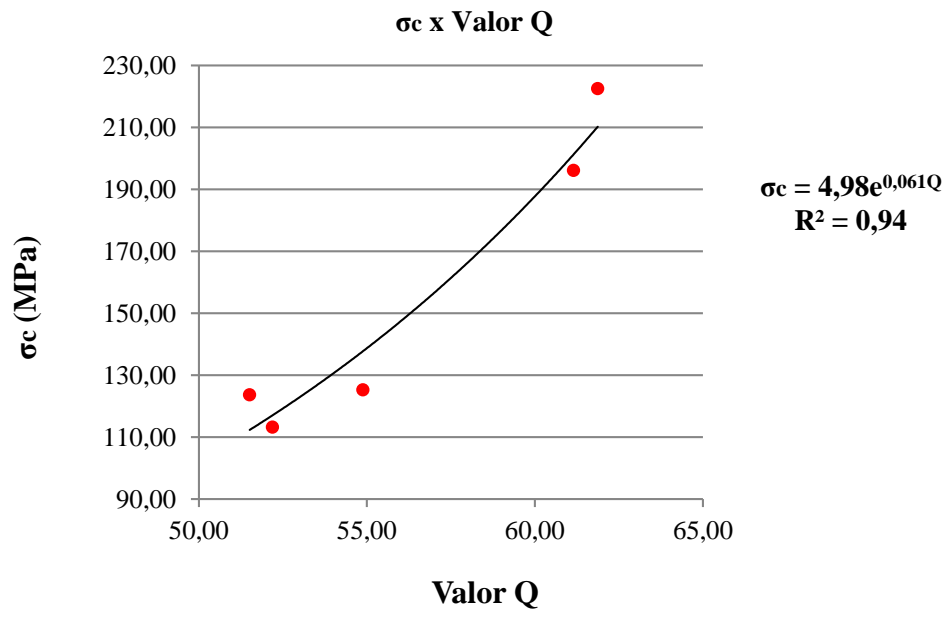


Figura 27 - Correlação σ_c x Q excluindo o anfibolito foliado.

6 CONCLUSÕES

Uma primeira correlação entre valores individuais de resistência à compressão uniaxial e de dureza de Schmidt apresentou-se pobre, pouco expressiva, em um gráfico em forma de uma nuvem de pontos, como na Figura 25, mas a correlação obteve melhora significativa ao se tentar correlacionar valores médios de resistência à compressão uniaxial e de dureza de Schmidt.

Os resultados médios obtidos apresentaram boas correlações ao comparar litotipos semelhantes em termos de homogeneidade ao excluir o anfíbolito foliado de uma das análises, uma vez que a foliação poderia mascarar a correlação.

O trabalho também possibilitou uma colaboração no avanço das pesquisas de correlações entre ensaios destrutivos e não destrutivos, uma vez que os presentes litotipos, anfíbolitos e xisto grafitoso ainda são pouco estudados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM - American Society for Testing and Materials, **D 4543 - *Standard Practices for Preparing Rock Core as Cylindrical Test Specimens and Verifying Conformance to Dimensional and Shape Tolerances***, 2008.

ÁVILA, C, R.; LANA, M, S., *Comportamento geotécnico e classificação geomecânica de maciços rochosos em taludes na região de Belo Horizonte*, Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, Vol.3, p. 21 – 29, 2013.

AYDIN, A.; BASU, A., *The Schmidt hammer in rock material characterization*, Department of Earth Sciences, The University of Hong Kong, China, 2005. 14p.

AZEVEDO, I.C.D.; MARQUES, E.A.G. *Introdução à Mecânica das Rochas*. Caderno Didático. Ed. UFV, Viçosa, 2006. 361P.

BRANDI, I.; BARBOSA, M.; GUIMARÃES, R. *Uso do esclerômetro de Schmidt na avaliação da resistência geomecânica de cavidades naturais subterrâneas em terrenos ferríferos, Carajás - PA.*, Congresso Brasileiro de Espeleologia, 33, 2015, Eldorado, 2015. p. 627-634.

- EUROCODE (2007), *Geotechnical Design – Part 2: Ground investigation and testing*. European Committee for Standardization, rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels, Belgium. 198 p.
- FLEURY, S.V; OLKOWSKI, G.F.; KUROKAWA, E., *Proposta de Metodologia para Diferenciação de Rochas Duras e Brandas em Auditorias com o Uso do Esclerômetro Silver Schmidt*, in: ENAOP, Palmas, 2012. 12p.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics. *The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring: 1974-2006*. In: Ulusay, R. & Hudson, J.A. (eds.), suggested methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM. Ankara, Turkey. 2007. 628 p.
- JAEGER, J. C.; COOK, N. W. *Fundamentals of Rock Mechanics*. 3^a Ed. London, 1979. 593 p.
- JAQUES, D. S., *Caracterização e classificação de maciços rochosos da mina de Volta Grande, Nazareno, Minas Gerais*, Dissertação de Mestrado, UFV, 2014.
- JIMENO, C. L; MÉNDEZ, B. D., *Classificacion de los terrenos según su excavabilidad*. Manual de túneles y obras subterráneas. Ed. C. López Jimeno. S. L. Madrid, 1997, p. 83 – 211.
- LORENZONI, A. L., XAVIER, A. T., *Determinação e correlação entre propriedades mecânicas em anfíbolitos*, Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, 2015.
- MARQUES, A. A.; PAES, B. S. T.; MARQUES, E. A. G. PEREIRA, L. C. *Correlations between uniaxial compressive strength and point load strength for some Brazilian high-grade metamorphic rocks*. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. V. 4, No. 1, pg. 47-58, 2015.
- MARQUES, A. A.; PAES, B. S. T. *Caracterização, Análise e Correlações entre Resistências de Rochas de Cavas a Céu Aberto*. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

- MARTINS, F. F., MIRANDA, T. F. da S., *Correlações entre algumas propriedades mecânicas de rochas graníticas com vista à escavação de túneis*, C-TAC - Comunicações e Conferências Nacionais, Universidade do Minho, 2010, 9 p.
- RAMOS, B.M.C., *Construção de Bases de Dados para a Previsão das Propriedades Mecânicas dos Granitos*, Tese de Mestrado, Universidade do Minho – Escola de Engenharia, 2012.
- REZENDE, K.S., *Classificação Mecânica e Tentativas de Correlações de Propriedades Geotécnicas de Rochas da Mina de Volta Grande, Nazareno, MG*. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
- SHALABI, F. I., CORDING, E. J., AL-HATTAMLEH, O. H., *Estimation of rock engineering properties using hardness tests*, Engineering Geology, 90 ed., p. 138-147.

ARTIGO CIENTÍFICO 3

**CORRELAÇÕES ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAxIAL E
VELOCIDADE DE ONDAS PARA ALGUNS ANFIBOLITOS E XISTOS DO
ESTADO DE MINAS GERAIS, BRASIL**

**CORRELAÇÕES ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO
UNIAXIAL E VELOCIDADE DE ONDAS PARA ALGUNS
ANFIBOLITOS E XISTOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS,
BRASIL**

**CORRELATIONS BETWEEN UNIAXIAL COMPRESSIVE
STRENGTH AND WAVE VELOCITY FOR SOME
AMPHIBOLITES AND SCHISTS FROM MINAS GERAIS STATE,
BRAZIL**

RESUMO

O presente trabalho buscou realizar correlações de ensaios de laboratório em anfibolitos e xistos encontrados na Província Pegmatítica de São João Del Rei, região Sul de Minas Gerais. Os litotipos foram classificados segundo presença ou não de foliações, veios de quartzo e grau de alteração. Desta forma, trabalhou-se com as seguintes classificações: Anfibolito W1, Anfibolito quartzoso W1, Anfibolito foliado W1, Anfibolito W1/2 e Xisto Grafitoso W1, em que W1 e W1/2 são as classes de alteração *sã* e um pouco mais alterada que *sã*, não chegando a ser classificada como W2, respectivamente. Os ensaios realizados para fim de correlação foram os ensaios de resistência à compressão uniaxial e velocidade de propagação de ondas ou velocidade sônica, sendo o primeiro, um ensaio destrutivo e o segundo, não destrutivo. 50 amostras foram ensaiadas no laboratório de Mecânica das Rochas da Universidade Federal de Viçosa, possibilitando alcançar bons resultados ao se correlacionar valores médios de resistência à compressão uniaxial (σ_c) e valores de velocidade de ondas (V_p) de todos os litotipos em estudo, na forma da equação linear $\sigma_c = 0,1843V_p - 896,3$ e um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,78. Em busca de uma melhor correlação, excluiu-se da análise o litotipo mais alterado, Anfibolito W1/2, correlacionando-se, assim, apenas os litotipos de grau de alteração W1, obtendo-se a seguinte equação linear: $\sigma_c = 0,1875V_p - 907,2$, apresentando R^2 igual a 0,90.

Palavras – chave: Correlações geomecânicas, velocidade de propagação de ondas, velocidade de ondas, velocidade sônica, resistência à compressão uniaxial.

ABSTRACT

The present work aimed to obtain statistic correlations for some laboratory tests performed on amphibolites and schists from São João Del Rei Pegmatitic Province, located at Minas Gerais State, Southeast Brazil. Rocks under study were separated accordingly to the following aspects: presence of foliation and quartz veins and weathering grade. Based on this, the rocks were classified as: Amphibolite W1, Quartz-rich amphibolite W1, Foliated amphibolite W1, amphibolite W1/W2 and Graphite-rich schist W1. The laboratory tests performed for correlation were uniaxial compressive strength and wave velocity propagation. For this, fifty rock samples were tested at Rock Mechanics Laboratory at Universidade Federal de Viçosa. Good statistic correlations were obtained when comparing average results for each property for all rock types under study, in the form of a linear equation ($\sigma_c = 0,1843V_p - 896,3$) with a determination coefficient (R^2) equal to 0.78. In an attempt to obtain better correlations, the more weathered rock type (amphibolite W1/W2) was excluded, so resulting in a linear equation ($\sigma_c = 0,1875V_p - 907,2$) with a R^2 equal to 0.90.

Key words: Geomechanical correlations, wave propagation velocity, wave velocity, sonic velocity, uniaxial compressive strength.

1 INTRODUÇÃO

Muitas empresas do ramo geotécnico têm buscado formas de obtenção de parâmetros de projeto que permitam uma redução de custos e uma maior facilidade de aquisição. Neste contexto, vários têm sido os estudos que buscam obter estes dados através de ensaios de laboratório mais simples de se executar ou até mesmo realizados *in situ*. Como exemplo, pode-se citar Chen et. Al (2015), Altindag (2012), Singh e Dubey (2000), entre outros.

Neste trabalho, realizaram-se ensaios (destrutivos) de resistência à compressão uniaxial e ensaios (não destrutivos) de determinação da velocidade de propagação de ondas, em rochas de uma mina em São João Del Rei, no Sul de Minas Gerais, na região conhecida como Província Pegmatítica de São João Del Rei, apresentada no mapa geológico da Figura 28.

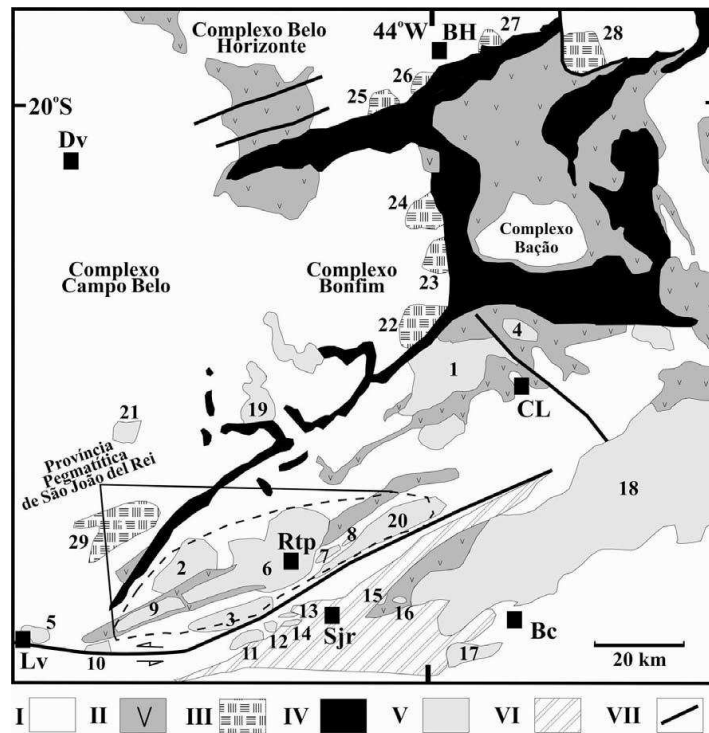


Figura 28 - Mapa geológico esquemático da borda meridional do Cráton São Francisco com a localização aproximada da Província Pegmatítica de São João Del Rei. Algarismos romanos representando as rochas e algarismos arábicos representando os minerais presentes na região. Detalhes da legenda em JAQUES (2014).

Os litotipos estudados foram anfibolitos e xistos grafitosos, sendo os anfibolitos classificados em função de presença ou não de foliação, veios de quartzo e graus de intemperismo classificados segundo a ISRM (2007), que os avalia como apresentado abaixo:

- W1 – Rocha sã: sem quaisquer sinais de alteração;
- W2 – Rocha pouco alterada: sinais de alteração apenas nas imediações das discontinuidades;
- W3 – Rocha medianamente alterada: alteração visível em todo o maciço rochoso mas a rocha não é friável;
- W4 – Rocha muito alterada: alteração visível em todo o maciço e a rocha é parcialmente friável;
- W5 – Decomposto (saibro): o maciço apresenta-se completamente friável com comportamento de solo.

Assim, os litotipos foram classificados quase que totalmente como classe de alteração W1, havendo apenas um litotipo de anfibolito classificado como W1/2, por não

se encontrar são como os demais e não tão alterado a ponto de ser classificado como W2. Logo, dividiram-se os litotipos em: anfíbolito W1, anfíbolito quartzoso W1, anfíbolito foliado W1, anfíbolito W1/2 e xisto grafitoso W1.

2 ENSAIOS REALIZADOS PARA FINS DE CORRELAÇÃO

2.1. Ensaio de resistência à compressão uniaxial

O ensaio de compressão uniaxial, no qual corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de rochas são comprimidos paralelamente a seu eixo longitudinal, é o ensaio mais antigo e simples em rochas, e continua sendo o mais conveniente e usual método para determinar as propriedades mecânicas da rocha (JAEGER & COOK, 1979).

Um ensaio de compressão uniaxial é baseado na aplicação de uma carga P distribuída uniformemente sobre a superfície de seção circular de um corpo de prova, levando o mesmo à ruptura, com esquema de carregamento apresentado na Figura 29.

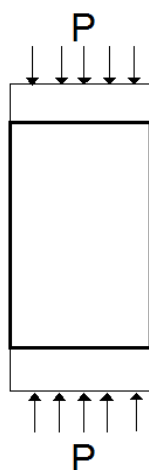


Figura 29 - Esquema de carregamento de um ensaio de resistência à compressão uniaxial.

Segundo Azevedo & Marques (2006), a preparação da amostra cilíndrica pode ser difícil e cara. A relação entre altura e diâmetro (H/D) deve variar, segundo determinação da ISRM (2007), entre 2,5 e 3,0. Já a ASTM D 4543 (2008) recomenda uma relação H/D entre 2,0 e 2,5, enquanto o Eurocode 7 (2007) permite o uso de H/D entre 2,0 e 3,0.

Marques e Paes (2013) e Marques et al. (2015), após ensaiarem amostras de alguns tipos de granitos e xistos uniaxialmente, observaram discrepâncias pouco acentuadas entre as relações H/D da ISRM (2007) e ASTM D 4543 (2008).

2.2. Ensaio de velocidade de ondas

Vibrações nas rochas se propagam, principalmente, por meio de ondas longitudinais e transversais. Teoricamente, a velocidade com que uma onda se propaga através da rocha depende exclusivamente de suas propriedades elásticas, módulo de elasticidade (E) e coeficiente de Poisson (ν), e de sua massa específica, γ . Na prática, o que se tem observado é que o grau de fissuramento e de alteração da rocha interfere nessas medidas (a velocidade de propagação diminui com a presença de fissuras). Desse modo, a velocidade de propagação da onda pode ser usada como índice para avaliar o grau de fissuramento e de intemperismo da rocha (GOODMAN, 1989).

Segundo Azevedo & Marques (2006), este índice é muito usado para determinar zonas de fraturamento e, ou, alteração em escavações a céu aberto ou subterrâneas. Assim, a velocidade de propagação de onda em uma amostra de rocha pode ser obtida da seguinte maneira: um cristal piezoelétrico (quartzo ou turmalina), emissor de ondas longitudinais, é adaptado a uma extremidade do corpo de prova cilíndrico. Na face oposta, é adaptado o cristal piezoelétrico receptor de vibrações. O tempo gasto para o percurso é determinado pela diferença de fase em um osciloscópio. A velocidade de propagação longitudinal (V_l) é calculada por:

$$V_l = \frac{L}{t} \quad (1)$$

Em que:

L – comprimento do corpo-de-prova

t – tempo de percurso da onda (medido).

Abaixo, são apresentados valores de velocidade de onda longitudinal para alguns minerais (Tabela 15).

Tabela 15: Velocidade de onda longitudinal dos minerais

Mineral	V _l (m/s)	Mineral	V _l (m/s)
Anfíbólio	7200	Muscovita	5800
Augita	7200	Olivina	8400
Calcita	6600	Ortoclásio	5800
Dolomita	7500	Pirita	8000
Epídoto	7450	Plagioclásio	6250
Gesso	5200	Quartzo	6050
Magnetita	7400	Muscovita	5800

Fonte: AZEVEDO & MARQUES (2006).

Na Tabela 16, são apresentados alguns valores típicos de velocidade de onda longitudinal de rochas.

Tabela 16: Velocidade de onda longitudinal de rochas

Rocha	v _l (m/s)
Arenito e quartzito	6000
Basalto	6500 – 7000
Calcário	6000 – 6500
Dolomito	6500 – 7000
Gabro	7000
Kinzigito	5300 - 5900
Rochas graníticas	5500 - 6000

Fonte: GOODMAN (1989).

2.3. Correlações entre resistência a compressão uniaxial e velocidade de ondas

Datam da década de 1970 os primeiros trabalhos de correlação entre resistência à compressão uniaxial e velocidade de ondas. Ainda hoje, vem sendo realizados estudos em várias partes do mundo, como Estados Unidos, Irã, Índia, Turquia, Brasil, entre outros.

A título de exemplo, Azimian, Ajalloeian e Fatehi (2014), ao ensaiar 40 amostras de rochas carbonatadas do sudeste de Shirz, no Irã, conseguiram boas correlações, na forma da equação linear $\sigma_c = 0,026 V_p - 20,207$, com R² igual a 0,909, na forma da equação exponencial $\sigma_c = 8,51e^{0,0006V_p}$, com R² igual a 0,85, apresentando ainda uma série

de correlações propostas por estudiosos destas correlações desde 1972, como apresentado na .

Tabela 17.

Tabela 17 - Equações correlacionando σ_c e V_p

Referências	Relação empírica
Freyburg (1972)	$\sigma_c = 35,0 V_p - 31,5$
Militzer e Stoll (1973)	$\sigma_c = 2,45 V_p^{1,92}$
Golubev e Rabinovich (1976)	$\log \sigma_c = 0,358 V_p - 0,283$
McNally (1987)	$\sigma_c = 1277e^{-117/V_p}$
Goktan (1988)	$\sigma_c = 36,0 V_p - 31,2$
Turgrul e Zarif (1999)	$\sigma_c = 35,54 V_p - 55$
Kahraman (2001)	$\sigma_c = 9,95 V_p^{1,21}$
Yasar e Erdogan (2004)	$\sigma_c = 31,5 V_p - 63,7$
Sousa et al (2005)	$\sigma_c = 22,032 V_p^{1,247}$
Kiliç e Teymen (2008)	$\sigma_c = 2,304 V_p^{2,4315}$
Sharma e Singh (2008)	$\sigma_c = 64,2 V_p - 117,99$
Cobanglu e Celik (2008)	$\sigma_c = 56,71 V_p - 192,93$
Diamantis et al (2011)	$\sigma_c = 0,14 V_p - 899,33$
Kurtulus et al (2011)	$\sigma_c = 0,0675 V_p - 245,13$
Yagiz (2011)	$\sigma_c = 49,4 V_p - 167$
Sarkar et al (2012)	$\sigma_c = 0,038 V_p - 50$
Altindag (2012)	$\sigma_c = 0,258 V_p^{1,194}$
Khandelwal (2013)	$\sigma_c = 0,033 V_p - 34,83$

Fonte: AZIMIAN, AJALLOEIAN E FATEHI (2014).

Chen et. al (2015), ao estudar 165 amostras de basalto nos Estados Unidos, obtiveram uma equação linear na forma $\sigma_c = 0,0338 V_p - 86,477$ e R^2 igual a 0,7937. Já Altindag (2012), ao ensaiar 97 amostras de rochas sedimentares na Turquia, alcançou uma equação polinomial $\sigma_c = 12,743 V_p^{1,194}$, com R^2 igual a 0,76, apresentando também outra série de correlações datadas desde 1988 em diante, como na

Tabela 18.

Tabela 18 - Algumas correlações empíricas entre σ_c e V_p encontradas na literatura técnica.

Equação	Unidade	Litotipo	Referências
$\sigma_c = 0,0642 V_p - 117,99$	Vp: m/s	Arenitos, micaxistos, basalto	Cheng e Hu (2003)
$\sigma_c = 35,54 V_p - 55$	-	Rochas graníticas	Tugrul e Zarif (1999)
$\sigma_c = 56,71 V_p - 192,93$	-	Arenito, calcário	Çobanogl e Çelik (2008)
$\sigma_c = 9,95 V_p^{1,21}$	Vp: km/s	Marga, calcário, dolomita, arenito, hematita, diabásio, turfa	Christaras et al (1997)
$V_p = 0,00317 \sigma_c + 2,0195$	-	-	Yasar e Erdogan (2004)
$\sigma_c = 0,78 e^{0,88V_p}$	Vp: km/s	Grupo vulcânico	Entwisle et al (2005)
$\sigma_c = 0,0407 V_p - 36,31$	σ_c : N/mm ²	-	Vasconcelos et al (2008)
$\sigma_c = 0,004 V_p^{1,247}$	Vp: m/s	Granitos	Sousa et al (2005)
$\sigma_c = 0,036 V_p - 31,18$	Vp: m/s	-	Goktan (1988)
$\sigma_c = 0,1564V_p - 692,41$	Vp: m/s	Arenitos	Chary et al (2006)
$\sigma_c = 7,1912 V_p + 26,258$	Vp: km/s	Arenito, calcário, cascalho, folhelho	Tercan et al (2005)
$\sigma_c = 21,677 V_p + 21,427$	Vp: km/s	Calcário, marga, calcário dolomítico, turfa, basalto	Yasar e Erdogan (2003)
$\sigma_c = 0,0188V_p + 0,0648$	Vp: km/s	Arenito	Zukui et al (2001)
$\sigma_c = 12,746 V_p^{1,194}$	Vp: km/s	Calcário, arenito, marga, dolomito, siltito	Altindag (2012)

Fonte: ALTINDAG (2012).

3 METODOLOGIA

Todos os ensaios foram realizados utilizando-se das metodologias sugeridas pela International Society for Rock Mechanics (ISRM, 2007). Para a execução do estudo, dois litotipos foram selecionados: anfibolito e xisto grafitoso, nos diferentes graus de alteração W1 e W1/2, totalizando 50 amostras. Durante a coleta de testemunhos de sondagem em campo, através de observação de considerável teor de quartzo em determinadas porções nos testemunhos de anfibolito, descreveram-se estas como anfibolito quartzoso (QTZ) em grau de alteração W1 em dois lotes em que, a princípio, a única diferença entre os lotes era a cor. De forma análoga, observando a presença de porções de anfibolito com foliação bem desenvolvida, descreveram-se estas como anfibolito foliado (ANF Sn) em grau de alteração W1. Estas mesmas subdivisões em anfibolito foram realizadas por Jaques

(2014), realizando trabalhos de caracterização e classificação geomecânica de maciços rochosos da mesma mina em estudo.

Após coleta de material em campo, os testemunhos foram levados ao Laboratório de Mecânica das Rochas da Universidade Federal de Viçosa, onde foram preparados para a realização dos ensaios citados, como apresentado na Figura 30.



Figura 30 - Preparação de amostras para realização de ensaios de dureza de Schmidt e resistência à compressão uniaxial.

3.1. Ensaio de compressão uniaxial

Os ensaios de compressão uniaxial foram realizados em uma máquina universal de ensaios apresentada na Figura 31. Centralizados nos pratos de carregamento da máquina, os 50 corpos de prova ensaiados eram cercados por uma grade de metal para se impedir que fragmentos de rocha pudessem ser projetados, podendo causar acidentes (Figura 32).



Figura 31: Aparelhagem para realização de ensaio de compressão uniaxial.

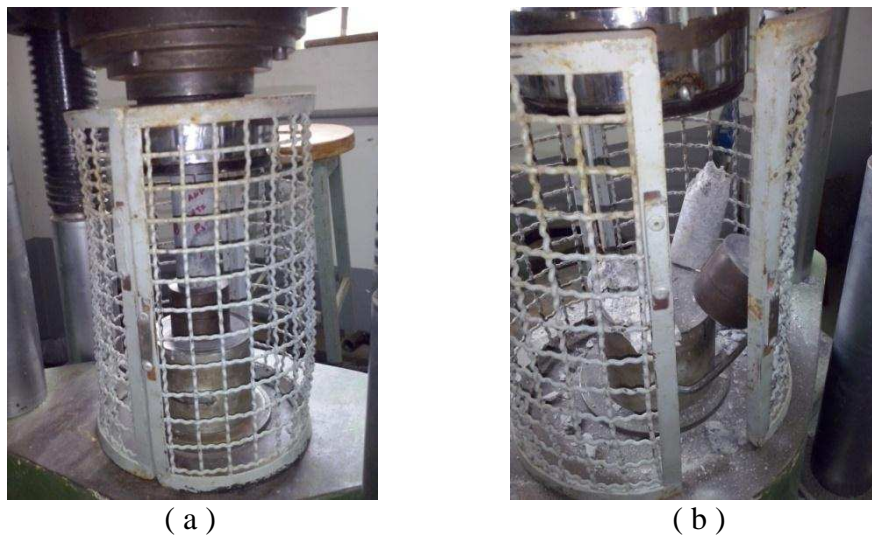


Figura 32 - Condição de ensaio (a) Antes da ruptura. (b) Após a ruptura.

De acordo com a ISRM (2007), o carregamento da amostra deve ser realizado de forma contínua e a uma taxa constante até que a ruptura venha a ocorrer dentro de 5 a 10 minutos de carregamento. Alternativamente, a taxa de carregamento deve situar-se entre 0,5 a 1,0 MPa/s. O máximo carregamento em uma amostra deve ser gravado e anotado em Newtons (ou Kilonewtons e Meganewtons, quando necessário).

3.2. Ensaio de velocidade de propagação de ondas

Por serem não destrutivos, os ensaios de velocidade de propagação de ondas foram realizados sobre as mesmas amostras em que se realizaram os ensaios de resistência à

compressão uniaxial, utilizando o equipamento de teste ultrassônico Pundit Lab, da Proceq, apresentado na Figura 33.



Figura 33 - Equipamento de teste ultrassônico Pundit Lab, da Proceq.

Através de dois transdutores (um transmissor e um receptor de ondas) de frequência 500 kHz, acoplava-se as amostras entre os mesmos, utilizando-se entre eles uma fina camada de vaselina, para que se garantisse um perfeito contato entre as superfícies (Figura 34). A velocidade de propagação de ondas (V_p) era calculada por meio de tempo necessário para que a onda sonora se propagasse de um transdutor a outro.

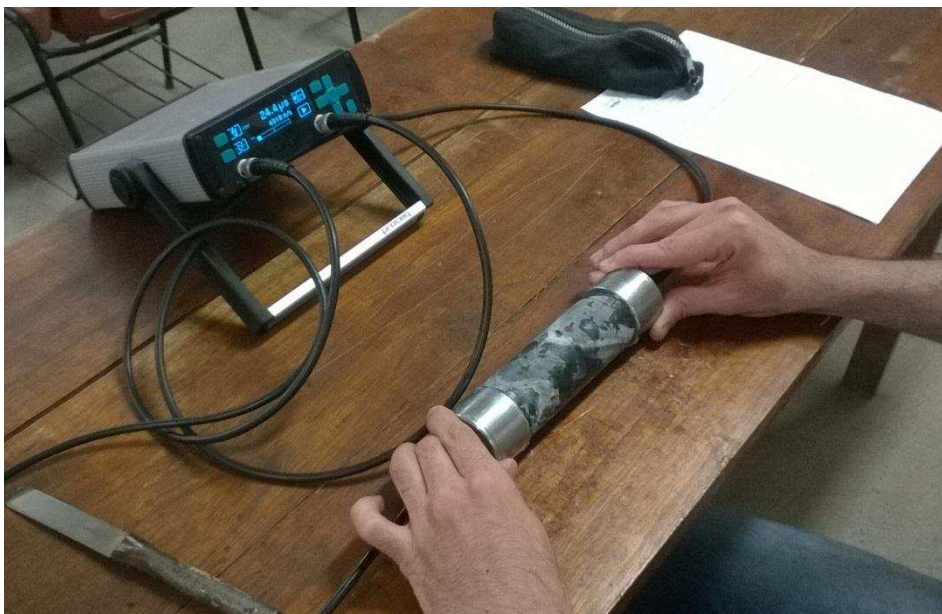


Figura 34 - Esquema de ensaio de velocidade de propagação de ondas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Propriedades-índice

Para melhor caracterizar os litotipos em estudo, determinaram-se, em laboratório, as propriedades-índices dos mesmos, como apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - Propriedades-índice dos litotipos em estudo

Litotipo	Grau de alteração	Massa específica aparente (kg/m ³)		Porosidade aparente (%)	Capacidade de Absorção Aparente (%)
		Seca	Saturada		
ANF	W1	3061	3067	0,56	0,18
QTZ Lote 1	W1	2492	2498	0,65	0,26
QTZ Lote 2	W1	2446	2451	0,5	0,2
ANF	W1/2	2722	2726	0,36	0,13
ANF Sn	W1	2860	2862	0,21	0,07
XG	W1	3058	3063	0,44	0,14

Nota: ANF – anfíbolito, QTZ - anfíbolito quartzoso, ANF Sn – anfíbolito foliado, XG – xisto grafitoso.

4.2 Ensaio de compressão uniaxial

Os resultados de ensaio de compressão uniaxial são apresentados na Tabela 20. Com uma maior resistência à compressão uniaxial, encontra-se o anfíbolito W1, seguido pelo anfíbolito quartzoso W1, xisto grafitoso W1, anfíbolito W1/2 e, finalmente, anfíbolito foliado W1. A maior parte das rupturas ocorreu ao longo da foliação ou interfaces anfíbolio/quartzo, apresentando rompimentos em forma de fendilhamento, como no anfíbolito W1 e cisalhamento, como no anfíbolito foliado, ocorrendo, neste último, ruptura paralela à foliação (Figura 35).

Tabela 20 - Resultados dos ensaios de compressão uniaxial

Litotipo	Grau de alteração	σ_c (MPa)	Desvio padrão (MPa)
ANF	W1	222,53	44,91
QTZ Lote 1	W1	196,12	29,64
QTZ Lote 2	W1	123,68	37,42
ANF Sn	W1	94,50	17,22
XG	W1	115,47	38,44
ANF	W1/2	113,27	40,63



(a)



(b)

Figura 35 – (a) Ruptura por fendilhamento da amostra. (b) Ruptura por cisalhamento.

4.3 Ensaio de velocidade de propagação de ondas

Os resultados dos ensaios de velocidade de propagação de ondas são apresentados na Tabela 21. Analisando-se os maiores e menores valores, o Anfibolito W1 apresentou o maior resultado de velocidade do som, enquanto o Anfibolito foliado W1 apresentou o menor. Nota-se que esta mesma relação foi obtida para o ensaio de resistência à compressão uniaxial.

Tabela 21 - Resultados do ensaio de velocidade de propagação de ondas

Litotipo	Alteração	Vp (m/s)	Desvio - padrão (m/s)
ANF	W1	6.026,10	252,23
QTZ Lote 1	W1	5.781,36	261,18
QTZ Lote 2	W1	5.649,17	178,54
ANF Sn	W1	5.313,54	197,82
XG	W1	5.484,78	399,51
ANF	W1/2	5.677,32	234,58

4.5 Correlações entre resistência à compressão uniaxial e velocidade do som

Resultados pobres foram obtidos ao correlacionarem as duas propriedades individualmente, ou seja, por amostra, encontrando-se uma equação linear na forma $\sigma_c = 0,1181V_p - 538,4$ e R^2 igual a 0,20, como apresentado na Figura 36.

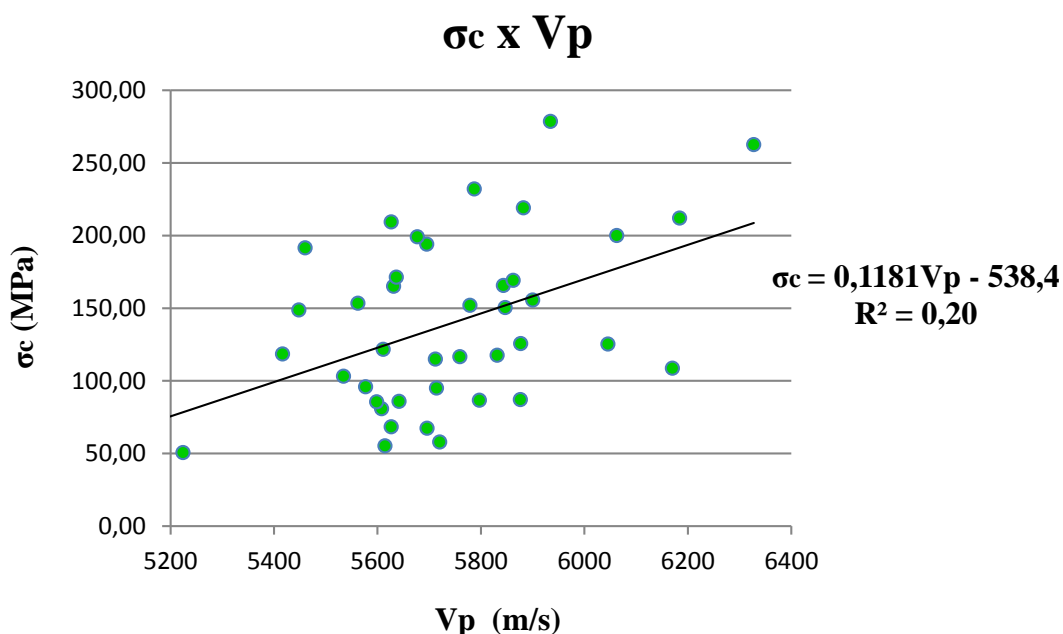


Figura 36 - Plotagem de correlação de resultados individuais (por amostra).

Elaborada esta correlação e concluída sua baixa representatividade por meio de seu coeficiente de determinação, estudou-se esta mesma dispersão por litotipo, obtendo-se novas equações e coeficientes de determinação, mais uma vez pobres, como apresentado no Anexo 7.

Em seguida, correlacionaram-se os valores médios de ambas as propriedades por litotipo, alcançando uma correlação com melhor coeficiente de determinação, na forma $\sigma_c = 0,1843V_p - 896,3$ e R^2 igual a 0,78, como pode se verificar na Figura 37.

Por fim, uma melhor correlação foi alcançada, excluindo-se da análise o litotipo de diferente grau de alteração, Anfibolito W1/2, obtendo-se uma equação na forma $\sigma_c = 0,1875V_p - 907,2$ e R^2 igual a 0,90, como na Figura 38.

Ou seja, de forma geral, a resistência à compressão apresenta boa relação direta com a velocidade de propagação de ondas. Assim, considera-se que esta última propriedade pode ser utilizada para a obtenção de forma indireta, da resistência à compressão uniaxial.

As correlações de valores médios encontradas foram semelhantes à correlação encontrada por Diamantis et al. (2011) e apresentada na .

Tabela 17, obtida ao estudar peridotitos da Grécia Central. Peridotitos são rochas ígneas plutônicas formadas essencialmente por olivinas, podendo conter outros minerais máficos, como o piroxênio, anfibólio, ou mica, e contendo pouco ou nenhum feldspato.

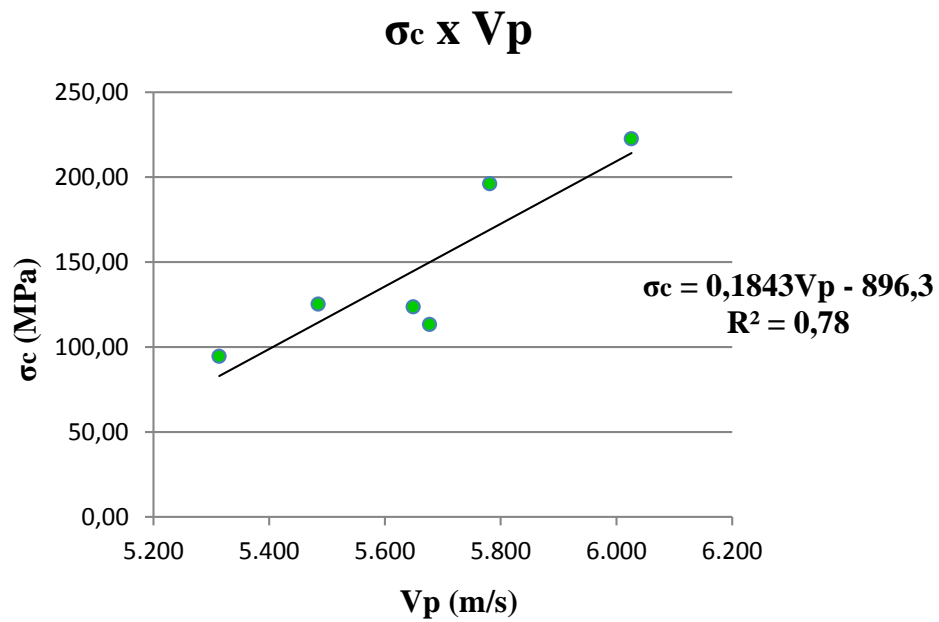


Figura 37 - Resultado da correlação de valores médios para todos os litotipos estudados.

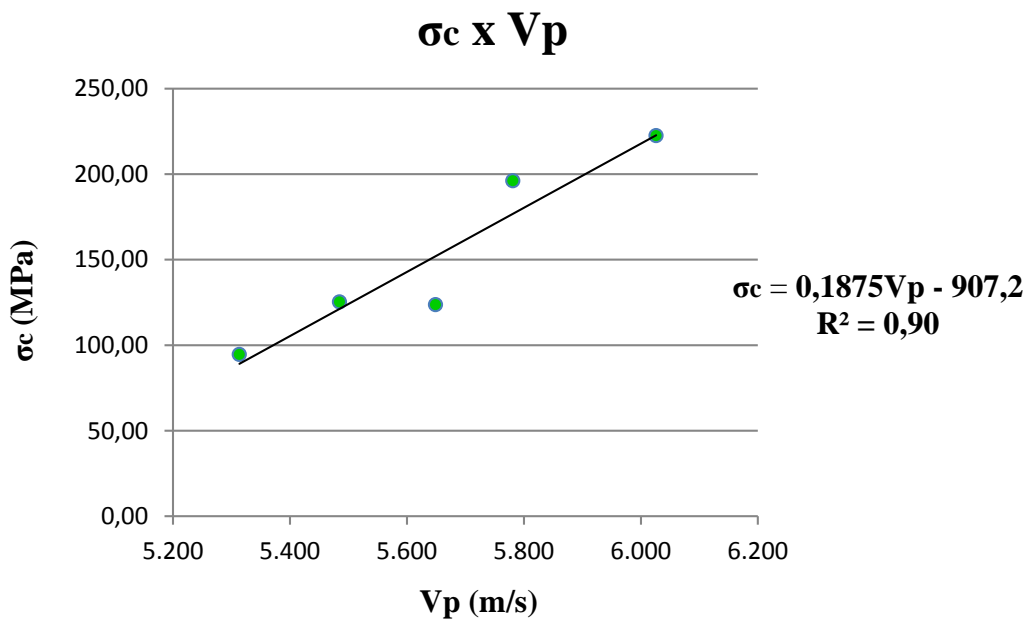


Figura 38 - Correlação de valores médios, excluindo-se o Anfibolito W1/2.

5 CONCLUSÕES

As principais conclusões do presente estudo foram as seguintes:

- Os resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial e velocidade de propagação de ondas proporcionaram a obtenção de boas correlações entre os valores médios destas propriedades por litotipo em estudo. Já para correlações entre valores individuais, ou seja, por amostra, obteve-se uma correlação baixa ou pobre, enfatizando-se aqui a necessidade de se trabalhar com valores médios em Mecânica das Rochas, assim como as próprias normas de padronização de ensaio sugerem.
- As correlações de valores médios encontradas foram semelhantes às correlações encontradas na literatura, apresentada na .
-
- Tabela 17, de Diamantis et al. (2011), obtida ao estudar peridotitos da Grécia Central. Este fato reforça e contribui para o estudo de uma convergência de valores ou intervalos de valores que possam ser utilizados para fins de correlação entre ensaios mais simples, como o de velocidade de propagação de ondas e ensaios mais complexos, como o de resistência à compressão uniaxial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTINDAG, R., *Correlation between P-wave velocity and some mechanical properties for sedimentar rocks*, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2012, p. 229 - 237.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, *Padronização das simbologias usadas em perfis de sondagens e seções geológicas – 1ª tentativa*, boletim 03, São Paulo, ABGE/IPT, 1976, 11p.

ASTM - American Society for Testing and Materials, D 4543 - *Standard Practices for Preparing Rock Core as Cylindrical Test Specimens and Verifying Conformance to Dimensional and Shape Tolerances*, 2008.

- AZIMIAN, A., AJALLOEIAN, R., FATEHI, L., *An Empirical Correlation of Uniaxial Compressive Strength with P-wave Velocity and Point Load Strength Index on Marly Rocks Using Statistical Method*, Geotechnical Geological Engineering, 2014, 32: 205-214p.
- AZEVEDO, I.C.D.; MARQUES, E.A.G. *Introdução à Mecânica das Rochas*. Caderno Didático. Ed. UFV, Viçosa, 2006. 361P.
- CHEN, X., SCHMITT, D. R., KESSLER, J. A., EVANS, J., KOFMAN, R., *Empirical relations between ultrasonic P-wave velocity, porosity and uniaxial compressive strength*, Canadian Society of Exploration Geophysicists, Vol. 40, n° 05, Maio de 2015, p. 24 – 29.
- EUROCODE (2007), *Geotechnical Design – Part 2: Ground investigation and testing*. European Committee for Standardization, rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels, Belgium. 198 p.
- GOODMAN, R.E. *Introduction to rock mechanics*. 2^a Ed. New York: John Wiley & Sons, 1989. 562 p.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics. *The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring*: 1974-2006. In: Ulusay, R. & Hudson, J.A. (eds.), suggested methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM. Ankara, Turkey. 2007. 628 p.
- JAEGER, J. C.; COOK, N. W. *Fundamentals of Rock Mechanics*. 3^a Ed. London, 1979. 593 p.
- JAQUES, D. S., *Caracterização e classificação de maciços rochosos da mina de Volta Grande, Nazareno, Minas Gerais*, Dissertação de Mestrado, UFV, 2014.
- MARQUES, A. A.; PAES, B. S. T.; MARQUES, E. A. G. PEREIRA, L. C. *Correlations between uniaxial compressive strength and point load strength for some Brazilian high-grade metamorphic rocks*. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. V. 4, No. 1, pg. 47-58, 2015.

MARQUES, A. A.; PAES, B. S. T. *Caracterização, Análise e Correlações entre Resistências de Rochas de Cavas a Céu Aberto*. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

REZENDE, K.S., *Classificação Mecânica e Tentativas de Correlações de Propriedades Geotécnicas de Rochas da Mina de Volta Grande, Nazareno, MG*. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

SINGH, T. N.; DUBEY, R. K., *Study of Transmission Velocity of Primary Wave (P-wave) in Coal Measure Sandstone*, Journal of Scientific & Industrial Research, Vol. 59, 2000, p. 482 – 486.

CONCLUSÕES GERAIS

As propriedades avaliadas apresentaram bons resultados de coeficientes de correlação, contribuindo para uma complementação na base de dados de correlações existente nas literaturas técnicas. Contudo, deve-se ressaltar algumas observações, como as que seguem:

- A busca por correlações deve ser tomada para litotipos específicos, uma vez que existem várias equações de correlação para vários tipos de rocha, não se devendo adotar equações genéricas para diferentes litotipos;
- A presença de estruturas ou fraturamento (“defeitos”) presentes nas rochas e sua relação com a direção de carregamento devem ser consideradas, de forma a permitir uma melhor avaliação dos resultados dos ensaios;
- Correlações entre litotipos de mesmo grau de alteração podem apresentar melhores resultados, em especial quando envolvem parâmetros sobre os quais o intemperismo tem muita influência, como o caso da correlação entre resistência à compressão uniaxial e velocidade de propagação de ondas, uma vez que a velocidade do som tende a ser afetada pela porosidade da rocha, assim como o intemperismo tende a alterar esta porosidade.

PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para trabalhos futuros:

- Estudar a anisotropia nos ensaios de resistência à compressão puntiforme para os litotipos estudados, a fim de se melhor caracterizar estas rochas, uma vez que não se dispôs de material suficiente para tal nesta pesquisa. Assim, poder-se-á determinar o índice de anisotropia dos anfibolitos e xisto grafitoso da pesquisa.
- Realizar análises mineralógicas destes litotipos, buscando-se quantificar a porcentagem de agentes “estranhos”, como os veios de quartzo, determinando-se, assim, qual sua contribuição para a variação de resistência nos anfibolitos quartzosos.
- Realizar estudos de durabilidade nestes litotipos, a fim de se analisar a influência do grau de alteração em termos percentuais de perda de resistência nos mesmos.

ANEXOS

ANEXO 1 - FORMULÁRIOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL

ANEXO 2 - FORMULÁRIOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À CARGA PONTUAL (*POINT LOAD TEST*)

ANEXO 3 - FORMULÁRIOS DOS ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DA DUREZA DE SCHMIDT

ANEXO 4 - FORMULÁRIOS DOS ENSAIOS DE VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS

ANEXO 5 - FORMULÁRIO DOS ENSAIOS DE ÍNDICES FÍSICOS

ANEXO 6 - GRÁFICOS DE CORRELAÇÕES σ_c x Valor Q POR LITOTIPO

ANEXO 7 - GRÁFICOS DE CORRELAÇÕES σ_c x V_p POR LITOTIPO

ANEXO 1

FORMULÁRIOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL



Ensaio mecânicos em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil

Mestrando Klínger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de Alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data de recebimento: 20/01/2015

Resistência à Compressão Uniaxial - ISRM, 2007

Nº	Amostra	1* h/d	D (mm)	H (mm)	P (kg)	P (kN)	A (cm²)	σ (MPa)	Descartados
1	1	2,24	47,50	106,60	-	-	17,72	-	Amostra de sacrifício
2	2	2,25	47,50	106,70	-	-	17,72	-	Amostra de sacrifício
3	3	2,25	47,50	106,90	-	-	17,72	-	Amostra de sacrifício
4	4	2,24	47,50	106,60	47440,00	464,91	17,72	262,36	
5	5	2,25	47,53	106,90	37870,00	371,13	17,74	209,17	
6	6	2,25	47,50	106,70	50310,00	493,04	17,72	278,23	
7	7	2,25	47,40	106,70	-	-	17,65	-	SIM
8	24	2,26	47,40	107,10	39400,00	386,12	17,65	218,81	
9	25	2,26	47,40	106,90	35980,00	352,60	17,65	199,82	
10	26	2,25	47,43	106,50	29830,00	292,33	17,67	165,46	

σ MÉDIO (MPa) = **222,53**

Observações

1* - Relação entre altura (h) e diâmetro (d) da amostra. Sendo $2,5 < h/d < 3$, o sugerido pela ISRM (2007).

Fotos ilustrativas dos ensaios:



Klínger S. Rezende

Executado por:
Klínger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo Antonio Gomes Marques*
Eduardo Antonio Gomes Marques

Data: 20/12/2015
Folha: 01/05



Ensaio mecânicos em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO QUARTZOSO (QTZ)

Grau de Alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data de recebimento: 20/01/2015

Resistência à Compressão Uniaxial - ISRM, 2007

Nº	Amostra	1* h/d	D (mm)	H (mm)	Lote	P (kg)	P (kN)	A (cm²)	σ (MPa)	Descartados
1	30	2,24	47,47	106,50	1	34540,00	338,49	17,70	191,26	
2	31	2,25	47,47	106,70		38250,00	374,85	17,70	211,80	
3	32	2,25	47,40	106,70		34910,00	342,12	17,65	193,88	
4	44	2,24	47,50	106,60		27450,00	269,01	17,72	151,81	
5	45	2,25	47,50	107,00		41920,00	410,82	17,72	231,83	
6	46	2,25	47,50	106,90	2	-	-	-	-	Amostra de sacrificio
7	47	2,25	47,30	106,60		10350,00	101,43	17,57	57,72	
8	48	2,25	47,43	106,80		18570,00	181,99	17,67	103,00	
9	49	2,25	47,43	106,90		14540,00	142,49	17,67	80,65	
10	50	2,26	47,40	106,90		26750,00	262,15	17,65	148,56	
11	51	2,26	47,43	107,10		21240,00	208,15	17,67	117,81	
12	53	2,25	47,43	106,80		22570,00	221,19	17,67	125,19	
13	56	2,25	47,43	106,90		35860,00	351,43	17,67	198,90	
14	57	2,24	47,43	106,30		20990,00	205,70	17,67	116,42	
15	59	2,25	47,43	106,90		29730,00	291,35	17,67	164,90	

σ MÉDIO (MPa) = 160,09

Observações

1* - Relação entre altura (h) e diâmetro (d) da amostra. Sendo $2,5 < h/d < 3$, o sugerido pela ISRM (2007).

Fotos ilustrativas dos ensaios:



Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo Antonio Gomes Marques*
Eduardo Antonio Gomes Marques

Data: 20/12/2015
Folha: 02/05



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO FOLIADO (ANF Sn)

Grau de Alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data de recebimento: 20/01/2015

Resistência à Compressão Uniaxial - ISRM, 2007

Nº	Amostra	1* h/d	D (mm)	H (mm)	P (kg)	P (kN)	A (cm ²)	σ (MPa)	Descartados
1	97	2,26	47,30	106,90	15600,00	152,88	17,57	87,00	
2	98	2,25	47,30	106,50	21060,00	206,39	17,57	117,46	
3	99	2,25	47,30	106,60	12240,00	119,95	17,57	68,26	
4	102	2,24	47,30	105,90	19460,00	190,71	17,57	108,53	
5	103	2,26	47,30	107,10	15370,00	150,63	17,57	85,72	
6	117	2,25	47,30	106,40	19350,00	189,63	17,57	107,92	
7	118	2,25	47,37	106,50	15550,00	152,39	17,62	86,47	

σ MÉDIO (MPa) = **94,50**

Observações

1* - Relação entre altura (h) e diâmetro (d) da amostra. Sendo $2,5 < h/d < 3$, o sugerido pela ISRM (2007).

Fotos ilustrativas dos ensaios:



Executado por:

Klinger S. Rezende
Klinger Senra Rezende

Verificado por:

Eduardo A. Marques
Eduardo Antonio Gomes Marques

Data: 20/12/2015

Folha: 03/05



Ensaio mecânicos

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de Alteração: W1/2

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data de recebimento: 20/01/2015

Resistência à Compressão Uniaxial - ISRM, 2007

Nº	Amostra	1* h/d	D (mm)	H (mm)	P (kg)	P (kN)	A (cm²)	σ (MPa)	Descartados
1	74	2,24	47,40	106,40	30430,00	298,21	17,65	169,00	
2	75	2,25	47,43	106,50	12120,00	118,78	17,67	67,23	
3	85	2,24	47,60	106,50	10020,00	98,20	17,80	55,18	
4	88	2,23	47,70	106,60	15480,00	151,70	17,87	84,89	
5	92	2,26	47,30	106,90	27860,00	273,03	17,57	155,38	
6	93	2,25	47,50	106,80	5200,00	50,96	17,72	28,76	SIM
7	94	2,25	47,50	106,80	21980,00	215,40	17,72	121,56	
8	95	2,25	47,40	106,80	22590,00	221,38	17,65	125,46	
9	96	2,25	47,50	106,70	22800,00	223,44	17,72	126,09	

σ MÉDIO (MPa) = 113,27

Observações

1* - Relação entre altura (h) e diâmetro (d) da amostra. Sendo $2,5 < h/d < 3$, o sugerido pela ISRM (2007).

Fotos ilustrativas dos ensaios:



Executado por:
Klinger Senra Rezende

Klinger S. Rezende

Verificado por:
Eduardo Antonio Gomes Marques

Eduardo Antonio Gomes Marques

Data: 20/12/2015
Folha: 04/05



Ensaios mecânicos em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: XISTO GRAFITOSO (XG)

Grau de Alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data de recebimento: 20/01/2015

Resistência à Compressão Uniaxial - ISRM, 2007

Nº	Amostra	h/d	D (mm)	H (mm)	P (kg)	P (kN)	A (cm²)	σ (MPa)	Descartados
1	124	2,26	47,43	107,00	16720,00	163,86	17,67	92,74	
2	125	2,26	47,30	107,00	26430,00	259,01	17,57	147,40	
3	126	2,24	47,53	106,60	20070,00	196,69	17,74	110,85	
4	143	2,25	47,37	106,50	27020,00	264,80	17,62	150,25	
5	144	2,26	47,30	106,90	16840,00	165,03	17,57	93,92	
6	145	-	47,50	-	-	-	-	-	SIM
7	146	2,25	47,43	106,60	20300,00	198,94	17,67	112,60	
8	147	2,25	47,50	106,80	30370,00	297,63	17,72	167,96	
9	154	2,24	47,50	106,40	8960,00	87,81	17,72	49,55	SIM

σ MÉDIO (MPa) = 125,28

Observações

1* - Relação entre altura (h) e diâmetro (d) da amostra. Sendo $2,5 < h/d < 3$, o sugerido pela ISRM (2007).

Fotos ilustrativas dos ensaios:



Executado por: Klinger Senra Rezende

Verificado por: Eduardo Antonio Gomes Marques

Data: 20/12/2015
Folha: 05/05

ANEXO 2

**FORMULÁRIOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À CARGA PONTUAL (*POINT
LOAD TEST*)**



Ensaio mecânicos em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrando em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO

Grau de Alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data de recebimento: 20/01/2015

Resistência à Compressão Puntiforme - ISRM, 2007

Nº	Amostra	¹ h/d	² Tipo	W (mm)	D (mm)	P (kN)	D _e ² (mm ²)	D _e (mm)	I _s (MPa)	F	I _{s(50)} (MPa)	Descartados
1	8	0,73	a	47,40	34,45	17,00	2079,11	45,60	8,18	0,96	7,84	
2	9	0,68	a	47,40	32,40	19,00	1955,39	44,22	9,72	0,95	9,19	
3	10	0,69	a	47,40	32,85	19,50	1982,55	44,53	9,84	0,95	9,34	
4	11	0,70	a	47,35	33,15	21,50	1998,54	44,71	10,76	0,95	10,23	
5	12	0,68	a	47,40	32,35	20,00	1952,37	44,19	10,24	0,95	9,69	
6	13	0,70	a	47,35	33,15	19,50	1998,54	44,71	9,76	0,95	9,28	
7	14	0,70	a	47,35	33,35	19,50	2010,60	44,84	9,70	0,95	9,23	
8	15	0,69	a	47,40	32,90	16,50	1985,57	44,56	8,31	0,95	7,89	
9	16	0,70	a	47,40	33,05	20,00	1994,62	44,66	10,03	0,95	9,53	
10	17	0,70	a	47,45	33,00	17,00	1993,70	44,65	8,53	0,95	8,10	SIM
11	18	0,69	a	47,45	32,55	18,00	1966,52	44,35	9,15	0,95	8,67	
12	19	0,70	a	47,40	33,05	18,00	1994,62	44,66	9,02	0,95	8,58	SIM
13	20	0,69	a	47,35	32,80	17,50	1977,44	44,47	8,85	0,95	8,40	
14	21	0,70	a	47,35	33,25	17,50	2004,57	44,77	8,73	0,95	8,31	
15	22	0,70	a	47,35	33,25	19,50	2004,57	44,77	9,73	0,95	9,26	
16	23	0,70	a	47,35	33,20	18,50	2001,56	44,74	9,24	0,95	8,79	
17	27	0,66	a	47,35	31,35	19,00	1890,03	43,47	10,05	0,94	9,44	
IS(50) MÉDIO (MPa) = 9,04												

Observações

1* - Relação entre altura (h) e diâmetro (d) da amostra: 0,3 < h/d < 1 para direção axial; h/d > 1 para direção diametral, segundo ISRM (2007).

2* - Tipo e direção de carregamento: a - axial; dm - diametral; // - paralelo a um plano de fraqueza; ⊥ - perpendicular a um plano de fraqueza.

Fotos ilustrativas do ensaio:



Executado por:

Klinger Senra Rezende
Klinger Senra Rezende

Verificado por:

Eduardo Antonio Gomes Marques
Eduardo Antonio Gomes Marques

Data: 20/12/2015

Folha: 01/05



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO QUARTZOSO

Grau de Alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data de recebimento: 20/01/2015

Resistência à Compressão Puntiforme - ISRM, 2007

Nº	Amostra	¹ h/d	² Tipo	W (mm)	D (mm)	P (kN)	D _e ² (mm ²)	D _e (mm)	I _S (MPa)	F	I _{S(50)} (MPa)	Descartados
1	28	0,66	a	47,50	31,15	12,00	1883,92	43,40	6,37	0,94	5,98	
2	29	0,68	a	47,40	32,35	13,50	1952,37	44,19	6,91	0,95	6,54	
3	33	0,69	a	47,40	32,75	15,50	1976,51	44,46	7,84	0,95	7,44	
4	34	0,69	a	47,40	32,80	19,00	1979,53	44,49	9,60	0,95	9,11	
5	35	0,69	a	47,40	32,90	17,50	1985,57	44,56	8,81	0,95	8,37	
6	36	0,68	a	47,60	32,50	16,00	1969,70	44,38	8,12	0,95	7,70	
7	37	0,67	a	47,50	32,05	14,50	1938,35	44,03	7,48	0,94	7,06	SIM
8	38	0,69	a	47,50	32,80	25,00	1983,71	44,54	12,60	0,95	11,96	
9	39	0,69	a	47,40	32,65	17,50	1970,48	44,39	8,88	0,95	8,42	
10	40	0,70	a	47,40	33,10	28,00	1997,64	44,69	14,02	0,95	13,33	
11	41	0,68	a	47,50	32,20	31,00	1947,42	44,13	15,92	0,95	15,05	
12	42	0,70	a	47,40	32,95	27,50	1988,58	44,59	13,83	0,95	13,13	
13	43	0,68	a	47,40	32,35	29,00	1952,37	44,19	14,85	0,95	14,05	
IS(50) MÉDIO (MPa) = 9,93												

Observações

1* - Relação entre altura (h) e diâmetro (d) da amostra: 0,3 < h/d < 1 para direção axial; h/d > 1 para direção diametral, segundo ISRM (2007).

2* - Tipo e direção de carregamento: a - axial; dm - diametral; // - paralelo a um plano de fraqueza; ⊥ - perpendicular a um plano de fraqueza.

Fotos ilustrativas do ensaio:



Executado por:

Klinger S. Rezende
Klinger Senra Rezende

Verificado por:

Eduardo Antonio Gomes Marques
Eduardo Antonio Gomes Marques

Data: 20/12/2015

Folha: 02/05



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klínger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO FOLIADO

Grau de Alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data de recebimento: 20/01/2015

Resistência à Compressão Puntiforme - ISRM, 2007

Nº	Amostra	¹ h/d	² Tipo	W (mm)	D (mm)	P (kN)	D _e ² (mm ²)	D _e (mm)	I _S (MPa)	F	I _{S(50)} (MPa)	Descartados
1	100	0,70	a	47,40	33,40	12,00	2015,74	44,90	5,95	0,95	5,67	
2	101	0,71	a	47,40	33,55	10,50	2024,79	45,00	5,19	0,95	4,95	
3	104	0,71	a	47,40	33,50	11,00	2021,78	44,96	5,44	0,95	5,19	
4	105	0,71	a	47,40	33,75	14,50	2036,86	45,13	7,12	0,95	6,80	
5	106	0,70	a	47,40	33,30	9,00	2009,71	44,83	4,48	0,95	4,26	
6	107	0,70	a	47,45	33,45	12,00	2020,89	44,95	5,94	0,95	5,66	
7	108	0,71	a	47,45	33,55	11,50	2026,93	45,02	5,67	0,95	5,41	
8	109	0,71	a	47,30	33,50	15,00	2017,51	44,92	7,43	0,95	7,08	
9	110	0,72	a	47,35	33,95	14,50	2046,77	45,24	7,08	0,96	6,77	
10	111	0,70	a	47,45	33,15	14,00	2002,76	44,75	6,99	0,95	6,65	
11	112	0,70	a	47,40	33,35	20,50	2012,72	44,86	10,19	0,95	9,70	
12	113	0,71	a	47,40	33,70	17,50	2033,85	45,10	8,60	0,95	8,21	
13	114	0,71	a	47,45	33,55	16,00	2026,93	45,02	7,89	0,95	7,53	
14	115	0,71	a	47,35	33,40	0,00	2013,62	44,87	0,00	0,95	0,00	SIM
15	116	0,71	a	47,40	33,50	17,00	2021,78	44,96	8,41	0,95	8,02	
16	119	0,70	a	47,40	33,20	16,00	2003,67	44,76	7,99	0,95	7,60	
17	120	0,70	a	47,40	33,40	15,50	2015,74	44,90	7,69	0,95	7,33	
18	121	0,71	a	47,45	33,50	15,00	2023,91	44,99	7,41	0,95	7,07	
19	122	0,71	a	47,40	33,55	16,00	2024,79	45,00	7,90	0,95	7,54	
20	123	0,71	a	47,40	33,60	16,00	2027,81	45,03	7,89	0,95	7,53	
IS(50) MÉDIO (MPa) =										6,79		

Observações

1* - Relação entre altura (h) e diâmetro (d) da amostra: 0,3 < h/d < 1 para direção axial; h/d > 1 para direção diametral, segundo ISRM (2007).

2* - Tipo e direção de carregamento: a - axial; dm - diametral; // - paralelo a um plano de fraqueza; ⊥ - perpendicular a um plano de fraqueza.

Fotos ilustrativas do ensaio:



Executado por: *Klínger S. Rezende*
Klínger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo Antonio Gomes Marques*
Eduardo Antonio Gomes Marques

Data: 20/12/2015
Folha: 03/05



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO

Grau de Alteração: W1/2

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data de recebimento: 20/01/2015

Resistência à Compressão Puntiforme - ISRM, 2007

Nº	Amostra	¹ h/d	² Tipo	W (mm)	D (mm)	P (kN)	D _e ² (mm ²)	D _e (mm)	I _S (MPa)	F	I _{S(50)} (MPa)	Descartados
1	76	0,69	a	47,50	32,65	12,50	1974,64	44,44	6,33	0,95	6,00	
2	77	0,65	a	47,50	30,65	18,50	1853,68	43,05	9,98	0,93	9,33	
3	78	0,65	a	47,55	30,90	15,00	1870,76	43,25	8,02	0,94	7,51	
4	79	0,65	a	47,50	30,65	15,00	1853,68	43,05	8,09	0,93	7,57	
5	80	0,70	a	47,50	33,10	15,50	2001,85	44,74	7,74	0,95	7,37	
6	81	0,70	a	47,50	33,10	19,50	2001,85	44,74	9,74	0,95	9,27	
7	82	0,69	a	47,45	32,95	12,00	1990,68	44,62	6,03	0,95	5,73	
8	83	0,69	a	47,50	32,95	12,50	1992,78	44,64	6,27	0,95	5,96	
9	84	0,68	a	47,60	32,45	8,00	1966,67	44,35	4,07	0,95	3,85	
10	86	0,57	a	47,60	26,95	14,50	1633,34	40,41	8,88	0,91	8,07	
11	87	0,69	a	47,65	33,10	16,50	2008,17	44,81	8,22	0,95	7,82	
12	89	0,70	a	47,55	33,15	19,00	2006,99	44,80	9,47	0,95	9,01	
13	90	0,70	a	47,50	33,30	18,50	2013,95	44,88	9,19	0,95	8,75	
14	91	0,70	a	47,60	33,25	19,00	2015,16	44,89	9,43	0,95	8,98	

IS(50) MÉDIO (MPa) = 7,70

Observações

1* - Relação entre altura (h) e diâmetro (d) da amostra: 0,3 < h/d < 1 para direção axial; h/d > 1 para direção diametral, segundo ISRM (2007).

2* - Tipo e direção de carregamento: a - axial; dm - diametral.

Fotos ilustrativas do ensaio:



Executado por:

Klinger S. Rezende
Klinger Senra Rezende

Verificado por:

Eduardo A. Marques
Eduardo Antonio Gomes Marques

Data: 20/12/2015

Folha: 04/05



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klínger Senra Rezende

Tipo petrográfico: XISTO GRAFITOSO

Grau de Alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data de recebimento: 20/01/2015

Resistência à Compressão Puntiforme - ISRM, 2007

Nº	Amostra	¹ h/d	² Tipo	W (mm)	D (mm)	P (kN)	D ² _e (mm ²)	D _e (mm)	I _S (MPa)	F	I _{S(50)} (MPa)	Descartados
1	127	0,65	a	47,55	30,90	6,50	1870,76	43,25	3,47	0,94	3,26	
2	128	0,65	a	47,55	30,80	4,50	1864,71	43,18	2,41	0,94	2,26	
3	129	0,64	a	47,50	30,55	2,50	1847,63	42,98	1,35	0,93	1,26	SIM
4	130	0,65	a	47,50	31,10	8,50	1880,89	43,37	4,52	0,94	4,24	
5	131	0,64	a	47,50	30,45	9,50	1841,58	42,91	5,16	0,93	4,82	
6	132	0,65	a	47,50	30,65	11,00	1853,68	43,05	5,93	0,93	5,55	
7	133	0,64	a	47,50	30,50	4,50	1844,61	42,95	2,44	0,93	2,28	
8	134	0,64	a	47,50	30,25	8,50	1829,49	42,77	4,65	0,93	4,33	
9	135	0,65	a	47,50	30,90	5,00	1868,80	43,23	2,68	0,94	2,51	
10	136	0,64	a	47,50	30,35	4,50	1835,53	42,84	2,45	0,93	2,29	
11	137	0,64	a	47,55	30,30	9,00	1834,44	42,83	4,91	0,93	4,58	
12	138	0,63	a	47,35	29,75	19,00	1793,56	42,35	10,59	0,93	9,83	
13	139	0,64	a	47,45	30,55	12,50	1845,68	42,96	6,77	0,93	6,33	
14	140	0,64	a	47,40	30,30	19,50	1828,65	42,76	10,66	0,93	9,94	
15	141	0,64	a	47,40	30,35	10,50	1831,67	42,80	5,73	0,93	5,34	
16	142	0,66	a	47,35	31,15	9,00	1877,97	43,34	4,79	0,94	4,49	
17	148	0,64	a	47,55	30,35	2,90	1837,47	42,87	1,58	0,93	1,47	SIM
18	149	0,64	a	47,40	30,25	8,50	1825,63	42,73	4,66	0,93	4,34	
19	150	0,63	a	47,50	30,05	4,00	1817,39	42,63	2,20	0,93	2,05	
20	151	0,65	a	47,50	30,85	3,70	1865,77	43,19	1,98	0,94	1,86	
21	152	0,64	a	47,40	30,20	6,70	1822,62	42,69	3,68	0,93	3,42	
22	153	0,63	a	47,50	29,90	8,50	1808,32	42,52	4,70	0,93	4,37	

IS(50) MÉDIO (MPa) = 3,79

Observações

1* - Relação entre altura (h) e diâmetro (d) da amostra: 0,3 < h/d < 1 para direção axial; h/d > 1 para direção diametral, segundo ISRM (2007).

2* - Tipo e direção de carregamento: a - axial; dm - diametral; //

Fotos ilustrativas do ensaio:



Executado por: Klínger S. Rezende
Klínger Senra Rezende

Verificado por: Eduardo Antonio Gomes Marques

Data: 20/12/2015
Folha: 05/05

ANEXO 3

**FORMULÁRIOS DOS ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DA DUREZA DE
SCHMIDT**



Ensaio de caracterização em rochas

Informações gerais

Interessado: Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - UFV
Mestrando Klínger Senra Rezende
Tipo petrográfico: Variado Grau de Alteração: Variado
Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG Data: 21/01/2015

Determinação da dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Nº	Amostras	Grau de Alteração	Dureza de Schmidt (Valor Q)	Desvio-padrão (Valor Q)
1	ANF	W1	61,87	1,36
2	QTZ Lote 1	W1	61,15	1,39
3	QTZ Lote 2	W1	51,51	1,55
4	ANF	W1/2	52,19	3,88
5	ANF Sn	W1	57,92	5,30
6	XG	W1	54,88	1,86

Observações

Fotos ilustrativas dos ensaios.



Executado por:

Klínger S. Rezende
Klínger Senra Rezende

Verificado por:

Eduardo A. Marques
Eduardo Antonio Gomes Marques

Data: 21/12/2015

Folha: 01/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	36,50					
		2	57,00				56,00	64,50
		3	54,00					64,00
		4	55,00				55,00	
		5	52,00					
		6	64,00				54,50	61,50
		7	61,00					
		8	57,50				54,00	61,00
		9	57,00					
1	#780	10	59,50	59,85	6,04	2,91	53,00	60,00
		11	51,00					
		12	52,50				52,50	59,50
		13	60,00					
		14	61,50				52,00	57,50
		15	64,50					
		16	51,50				51,50	57,00
		17	53,00					
		18	56,50				51,00	57,00
		19	56,00					
		20	54,50				36,50	56,50

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 02/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klínger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	38,00					
		2	55,50				59,00	64,50
		3	55,50					
		4	56,50				56,50	64,00
		5	59,00					
		6	63,00				56,50	64,00
		7	64,00					
		8	64,00				55,50	64,00
		9	64,50					
2	#800	10	61,50	63,00	6,42	1,27	55,50	63,50
		11	60,50					
		12	63,50				54,00	63,00
		13	62,50					
		14	64,00				54,00	62,50
		15	62,50					
		16	56,50				53,50	62,50
		17	51,00					
		18	54,00				51,00	61,50
		19	54,00					
		20	53,50				38,00	60,50

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klínger S. Rezende*
Klínger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 03/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	41,00					
		2	52,00				56,00	64,00
		3	56,00					
		4	54,00				55,50	63,00
		5	45,00					
		6	55,50				54,00	62,00
		7	60,00					
		8	59,50				53,00	61,00
		9	58,00					
3	#800	10	61,00	60,60	5,95	2,13	52,50	61,00
		11	63,00					
		12	62,00				52,50	60,50
		13	61,00					
		14	64,00				52,00	60,00
		15	60,50					
		16	52,50				51,50	59,50
		17	51,50					
		18	52,50				45,00	58,00
		19	57,00					
		20	53,00				41,00	57,00

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 04/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	54,50					
		2	57,50				57,50	66,50
		3	56,50				56,50	65,00
		4	55,00					
		5	54,50				56,00	65,00
		6	65,00					
		7	66,50				56,00	65,00
		8	64,00					
		9	63,00				56,00	65,00
4	#840	10	64,00	64,45	4,65	1,07	56,00	65,00
		11	65,00				55,50	64,00
		12	65,00					
		13	64,00				55,00	64,00
		14	63,00					
		15	65,00				54,50	64,00
		16	56,00					
		17	55,50				54,50	63,00
		18	56,00					
		19	56,00				54,50	63,00
		20	54,50					

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 05/52



Ensaio mecânicos em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)			
		1	45,00								
		2	51,50				57,00	64,50			
		3	56,00								
		4	54,00				56,00	63,50			
		5	58,00								
		6	57,00				55,00	63,00			
		7	57,00								
		8	59,00				54,00	62,00			
		9	61,50								
5	#860	10	62,00	61,20	5,40	2,44	54,00	62,00			
		11	63,00								
		12	61,50							51,50	61,50
		13	62,00								
		14	64,50							51,00	61,50
		15	63,50								
		16	51,00							50,50	59,00
		17	55,00								
		18	50,50							50,00	58,00
		19	54,00								
		20	50,00				45,00	57,00			

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 06/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klínger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	56,00					
		2	54,00				58,50	64,50
		3	59,00					
		4	56,00				56,00	64,50
		5	54,00					
		6	60,00				56,00	63,00
		7	60,50					
		8	64,50				55,50	62,50
		9	60,50					
6	#880	10	60,50	61,60	4,13	1,91	54,00	61,00
		11	58,50					
		12	61,00				54,00	60,50
		13	63,00					
		14	64,50				53,50	60,50
		15	62,50					
		16	51,00				53,50	60,50
		17	53,50					
		18	53,50				53,00	60,00
		19	55,50					
		20	53,00				51,00	59,00

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klínger S. Rezende*
Klínger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 07/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	41,50					
		2	49,00				58,00	63,50
		3	49,00					
		4	49,00				57,00	62,00
		5	49,50					
		6	60,00				57,00	61,50
		7	63,50					
		8	61,50				57,00	61,50
		9	59,00					
		10	60,00				56,50	61,00
7	#900	11	58,00	60,70	5,81	1,46		
		12	61,00				49,50	60,00
		13	61,50					
		14	62,00				49,00	60,00
		15	59,50					
		16	57,00				49,00	59,50
		17	57,00					
		18	57,00				49,00	59,00
		19	59,00					
		20	56,50				41,50	59,00

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 08/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klínger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)			
		1	33,50								
		2	35,00				60,00	64,50			
		3	46,00								
		4	48,00				58,50	64,00			
		5	49,00								
		6	61,00				57,50	63,50			
		7	63,50								
		8	60,00				57,50	63,00			
		9	64,00								
24	#920	10	61,00	62,50	9,25	1,35	56,00	63,00			
		11	63,00								
		12	63,00							49,00	62,50
		13	64,50								
		14	62,00							48,00	62,00
		15	62,50								
		16	57,50							46,00	61,00
		17	60,50								
		18	56,00							35,00	61,00
		19	58,50								
		20	57,50				33,50	60,50			

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klínger S. Rezende*
Klínger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 09/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
25	#940	1	50,00	62,65	6,08	1,06	60,00	64,50
		2	50,00					
		3	45,50					
		4	46,50					
		5	50,50					
		6	63,00					
		7	62,50					
		8	60,00					
		9	58,00					
		10	62,00					
		11	62,50					
		12	63,00					
		13	61,50					
		14	64,00					
		15	64,50					
		16	61,00					
		17	58,50					
		18	58,50					
		19	62,50					
		20	58,50					

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 10/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	51,50					
		2	52,00				59,50	63,00
		3	50,00					
		4	53,00				59,50	63,00
		5	53,00					
		6	62,00				58,00	62,50
		7	63,00					
		8	58,00				58,00	62,50
		9	61,00					
26	#960	10	61,50	62,10	4,36	0,66	57,50	62,00
		11	61,50					
		12	62,00				53,00	62,00
		13	62,50					
		14	62,50				53,00	62,00
		15	63,00					
		16	59,50				52,00	61,50
		17	58,00					
		18	57,50				51,50	61,50
		19	62,00					
		20	59,50				50,00	61,00

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 11/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO QUARTZOSO - Lote 1

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)	
30	#980	1	56,00	60,85	5,78	1,86	58,00	64,00	
		2	57,50					63,00	
		3	58,00					57,50	62,50
		4	57,00					57,00	61,50
		5	57,50					56,00	60,50
		6	59,50					60,00	60,00
		7	63,00					58,00	60,00
		8	64,00					59,50	59,50
		9	62,50					60,50	59,50
		10	60,00					48,50	60,00
		11	58,00					48,50	60,00
		12	59,50					47,50	59,50
		13	60,50					47,00	59,50
		14	60,00					47,00	59,50
		15	61,50					47,50	59,50
		16	45,00					47,00	59,50
		17	47,00					47,00	59,50
		18	47,50					47,00	59,50
		19	48,50					47,00	59,50
		20	50,00					45,00	58,00

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 12/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO QUARTZOSO - Lote 1

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
31	#1000	1	58,50	59,65	5,91	1,20	57,50	61,50
		2	60,00					
		3	60,50					
		4	58,00					
		5	54,00					
		6	59,50					
		7	61,50					
		8	61,00					
		9	60,00					
		10	55,00					
		11	57,00					
		12	58,00					
		13	57,50					
		14	59,50					
		15	54,00					
		16	45,00					
		17	45,50					
		18	47,00					
		19	50,00					
		20	43,00					

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 13/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO QUARTZOSO - Lote 1

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)			
		1	57,00								
		2	54,00				57,50	63,50			
		3	57,50								
		4	58,00				57,50	61,50			
		5	58,50								
		6	59,50				57,00	61,50			
		7	57,50								
		8	59,00				57,00	60,50			
		9	59,00								
32	#1020	10	57,00	60,10	4,76	1,68	54,00	60,00			
		11	63,50								
		12	61,50							53,00	59,50
		13	61,50								
		14	60,50							50,50	59,00
		15	60,00								
		16	53,00							49,00	59,00
		17	47,50								
		18	50,50							47,50	58,50
		19	47,50								
		20	49,00				47,50	58,00			

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 14/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO QUARTZOSO - Lote 1

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
44	#1041	1	56,00	62,25	3,48	1,69	59,50	65,50
		2	54,50					
		3	56,00					
		4	52,50					
		5	57,00					
		6	63,00					
		7	61,00					
		8	62,50					
		9	56,00					
		10	59,50					
		11	62,00					
		12	64,50					
		13	61,50					
		14	60,00					
		15	65,50					
		16	61,00					
		17	59,50					
		18	59,00					
		19	56,00					
		20	61,50					

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 15/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO QUARTZOSO - Lote 1

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
45	#1061	1	57,50	62,90	4,39	1,52	60,50	65,50
		2	60,50					65,00
		3	61,50					59,00
		4	59,00					64,00
		5	57,00					63,50
		6	57,50					62,50
		7	61,50					57,00
		8	63,50					62,50
		9	65,00					56,50
		10	62,50					61,50
		11	62,50					56,00
		12	65,50					52,00
		13	64,00					61,50
		14	61,50					51,00
		15	61,50					56,00
		16	51,00					51,50
		17	56,00					61,50
		18	51,50					51,00
		19	56,50					61,50
		20	52,00					51,00

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 16/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaios mecânicos em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV
Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO QUARTZOSO - Lote 2

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)		
46	#1082	1	34,50	53,15	8,55	2,08	47,00	55,00		
		2	43,00							
		3	33,00						43,00	55,00
		4	41,50							
		5	35,00							
		6	50,00						41,50	54,50
		7	49,50							
		8	53,00						40,00	54,50
		9	54,00							
		10	51,50						36,50	54,50
		11	54,50							
		12	55,00						35,00	54,00
		13	55,00							
		14	54,50						35,00	53,00
		15	54,50							
		16	36,50						34,50	51,50
		17	35,00							
		18	34,00						34,00	50,00
		19	40,00							
		20	47,00						33,00	49,50

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 17/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado:	Mestrado em Engenharia Civil - UFV	
	Mestrando Klinger Senra Rezende	
Tipo petrográfico:	ANFIBOLITO QUARTZOSO - Lote 2	Grau de alteração: W1
Procedência do material:	Mina de Volta Grande, Nazareno - MG	Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)		
47	#1104	1	35,50	51,20	7,15	2,03	46,00	54,50		
		2	37,00							
		3	34,00						40,00	53,50
		4	46,00							
		5	38,00						39,00	52,50
		6	53,50							
		7	50,50						38,50	52,00
		8	54,50							
		9	48,00						38,50	51,50
		10	49,50							
		11	51,50	38,00			51,00			
		12	51,00							
		13	49,00	37,00			50,50			
		14	52,00							
		15	52,50	36,00			49,50			
		16	38,50							
		17	40,00	35,50			49,00			
		18	38,50							
		19	36,00	34,00			48,00			
		20	39,00							

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 18/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO QUARTZOSO - Lote 2

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
48	#1124	1	38,50	51,70	7,74	2,00	43,50	54,50
		2	36,00					
		3	35,50					
		4	43,50					
		5	40,00					
		6	51,00					
		7	50,00					
		8	50,00					
		9	53,00					
		10	53,50					
		11	54,50					
		12	48,00					
		13	52,00					
		14	53,50					
		15	51,50					
		16	39,00					
		17	41,50					
		18	34,00					
		19	37,00					
		20	31,50					

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 19/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO QUARTZOSO - Lote 2

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
49	#1144	1	45,50	53,05	7,67	2,54	48,00	57,00
		2	37,50					56,50
		3	45,00					54,00
		4	36,50					54,00
		5	38,50					53,50
		6	56,50					53,50
		7	54,00					53,50
		8	53,50					53,50
		9	52,50					53,50
		10	54,00					53,50
		11	57,00					53,50
		12	48,00					53,50
		13	53,00					53,50
		14	49,50					53,50
		15	50,50					53,50
		16	50,00					53,50
		17	34,50					53,50
		18	37,00					53,50
		19	35,50					53,50
		20	41,50					53,50

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 20/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado:	Mestrado em Engenharia Civil - UFV		
	Mestrando Klinger Senra Rezende		
Tipo petrográfico:	ANFIBOLITO QUARTZOSO - Lote 2	Grau de alteração:	W1
Procedência do material:	Mina de Volta Grande, Nazareno - MG	Data:	08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)	
50	#1164	1	39,00	52,60	7,32	2,34	48,50	55,00	
		2	40,50						
		3	48,50						43,50
		4	38,50						55,00
		5	43,50						55,00
		6	53,50						40,50
		7	51,50						39,50
		8	55,00						54,00
		9	54,00						39,00
		10	55,00						53,50
		11	53,00						39,00
		12	55,00						53,00
		13	50,50						38,50
		14	48,50						51,50
		15	50,00						50,50
		16	36,50						37,50
		17	39,50						50,00
		18	39,00						36,50
		19	34,50						50,00
		20	37,50						48,50

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por:	<i>Klinger S. Rezende</i>	Verificado por:	<i>Eduardo A. G. Marques</i>	Data:	21/12/2015
	Klinger Senra Rezende		Eduardo A. G. Marques	Folha:	21/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado:	Mestrado em Engenharia Civil - UFV		
	Mestrando Klinger Senra Rezende		
Tipo petrográfico:	ANFIBOLITO QUARTZOSO - Lote 2	Grau de alteração:	W1
Procedência do material:	Mina de Volta Grande, Nazareno - MG	Data:	08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	37,00					
		2	39,00				40,50	53,00
		3	37,00					
		4	39,50				39,50	52,50
		5	37,00					
		6	49,50				39,00	51,00
		7	48,50					
		8	51,00				39,00	50,00
		9	53,00					
51	#1184	10	52,50	48,20	6,68	3,82	37,00	49,50
		11	48,00					
		12	43,00				37,00	48,50
		13	40,50					
		14	44,00				37,00	48,00
		15	50,00					
		16	39,00				34,50	44,00
		17	34,50					
		18	32,50				32,50	43,00
		19	42,50					
		20	32,50				32,50	42,50

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 22/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO QUARTZOSO - Lote 2

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
53	#1204	1	35,50	53,40	8,61	3,38	45,50	58,00
		2	40,00					57,50
		3	38,50					56,00
		4	41,50					55,50
		5	53,50					53,50
		6	52,00					53,00
		7	53,00					51,50
		8	51,50					55,50
		9	55,50					58,00
		10	58,00					48,50
		11	48,50					48,50
		12	48,50					45,50
		13	45,50					56,00
		14	56,00					57,50
		15	57,50					33,50
		16	33,50					34,00
		17	34,00					35,00
		18	35,00					36,50
		19	36,50					41,00
		20	41,00					33,50

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 23/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado:	Mestrado em Engenharia Civil - UFV		
	Mestrando Klinger Senra Rezende		
Tipo petrográfico:	ANFIBOLITO QUARTZOSO - Lote 2	Grau de alteração: W1	
Procedência do material:	Mina de Volta Grande, Nazareno - MG	Data: 08/09/2015	

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
56	#1224	1	38,00	51,45	6,81	1,79	47,50	53,50
		2	36,00					
		3	51,50					
		4	40,00					
		5	50,00					
		6	52,00					
		7	48,00					
		8	53,50					
		9	52,50					
		10	53,50					
		11	47,50					
		12	51,50					
		13	52,50					
		14	46,00					
		15	49,50					
		16	44,00					
		17	34,50					
		18	43,50					
		19	35,00					
		20	36,50					

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 24/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO QUARTZOSO - Lote 2

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
57	#1244	1	34,50	50,85	7,40	2,30	45,50	54,50
		2	42,50					
		3	37,00					
		4	35,00					
		5	44,50					
		6	53,00					
		7	50,00					
		8	50,00					
		9	47,50					
		10	52,50					
		11	45,50					
		12	49,00					
		13	52,00					
		14	54,50					
		15	52,00					
		16	33,50					
		17	35,50					
		18	37,00					
		19	35,50					
		20	48,00					

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 25/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado:	Mestrado em Engenharia Civil - UFV		
	Mestrando Klinger Senra Rezende		
Tipo petrográfico:	ANFIBOLITO QUARTZOSO - Lote 2	Grau de alteração:	W1
Procedência do material:	Mina de Volta Grande, Nazareno - MG	Data:	08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	36,50					
		2	38,50				45,50	52,00
		3	35,50				45,00	52,00
		4	37,00					
		5	45,00					
		6	52,00				38,50	52,00
		7	52,00				37,00	52,00
		8	50,00					
		9	48,50				36,50	50,00
57	#1264	10	52,00	50,00	7,40	2,01		
		11	45,50				35,50	50,00
		12	47,00					
		13	50,00				35,00	49,50
		14	49,50					
		15	52,00				35,00	48,50
		16	35,00					
		17	35,00				34,50	47,00
		18	34,50					
		19	30,50				30,50	47,00
		20	47,00					

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 26/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO QUARTZOSO - Lote 2

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)		
60	#1284	1	35,00	51,00	7,33	1,76	48,50	54,00		
		2	35,00							
		3	38,00						41,50	53,00
		4	37,50						38,00	52,00
		5	37,00						37,50	52,00
		6	50,50						37,00	51,00
		7	51,00						37,00	51,00
		8	50,50						37,00	51,00
		9	53,00						37,00	51,00
		10	52,00						36,50	50,50
		11	48,50						36,00	50,50
		12	49,00						35,50	49,50
		13	49,50						35,00	49,00
		14	54,00						35,00	49,00
		15	52,00						35,00	49,00
		16	36,50						35,00	49,00
		17	35,50						35,00	49,00
		18	36,00						35,00	49,00
		19	41,50						35,00	49,00
		20	48,50						35,00	48,50

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 27/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânicos em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klínger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO FOLIADO (ANF Sn)

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)			
		1	52,00								
		2	52,00				56,50	60,00			
		3	48,00								
		4	49,00				56,00	60,00			
		5	52,50								
		6	59,50				55,50	60,00			
		7	60,00								
		8	60,00				55,50	59,50			
		9	57,00								
97	#1488	10	58,50	58,90	3,94	1,10	52,50	59,50			
		11	59,00								
		12	59,50							52,00	59,00
		13	55,50								
		14	56,00							52,00	58,50
		15	60,00								
		16	55,50							49,50	58,00
		17	56,50								
		18	57,50							49,00	57,50
		19	49,50								
		20	58,00				48,00	57,00			

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por:

Klínger S. Rezende
Klínger Senra Rezende

Verificado por:

Eduardo A. G. Marques
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015

Folha: 28/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO FOLIADO (ANF Sn)

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)			
		1	55,50								
		2	52,00				55,50	63,00			
		3	53,50								
		4	55,00				55,00	63,00			
		5	53,50								
		6	59,00				55,00	62,50			
		7	63,00								
		8	58,00				53,50	62,00			
		9	58,00								
98	#1508	10	62,50	60,45	4,27	2,02	53,50	60,50			
		11	59,50								
		12	62,00							53,50	59,50
		13	63,00								
		14	60,50							52,00	59,00
		15	59,00								
		16	50,50							51,00	59,00
		17	53,50								
		18	55,00							50,50	58,00
		19	50,50								
		20	51,00				50,50	58,00			

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 29/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO FOLIADO (ANF Sn)

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	49,00					
		2	51,50				56,50	63,00
		3	49,50					63,00
		4	53,50				56,00	
		5	54,50					63,00
		6	60,00				54,50	
		7	60,50					61,50
		8	60,50				54,00	
		9	61,50					61,50
99	#1529	10	63,00	61,45	4,66	1,17	53,50	
		11	63,00					61,00
		12	63,00				53,50	
		13	60,50					60,50
		14	61,00				53,50	
		15	61,50					60,50
		16	56,00				51,50	
		17	53,50					60,50
		18	53,50				49,50	
		19	56,50					60,00
		20	54,00				49,00	

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 30/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klínger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO FOLIADO (ANF Sn)

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)			
		1	50,00								
		2	51,00				54,50	60,50			
		3	53,50								
		4	51,50				53,50	60,00			
		5	55,50								
		6	59,00				53,00	59,50			
		7	54,50								
		8	55,00				51,50	59,00			
		9	55,50								
102	#1549	10	56,00	57,00	3,51	2,44	51,50	56,00			
		11	60,50								
		12	53,00							51,00	55,50
		13	54,50								
		14	50,00							50,00	55,50
		15	60,00								
		16	51,50							50,00	55,00
		17	59,50								
		18	54,50							50,00	54,50
		19	50,00								
		20	49,50				49,50	54,50			

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por:

Klínger S. Rezende
Klínger Senra Rezende

Verificado por:

Eduardo A. G. Marques
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015

Folha: 31/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO FOLIADO (ANF Sn)

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)			
		1	41,50								
		2	45,50				55,00	62,50			
		3	51,50					62,00			
		4	55,50				54,00				
		5	52,00					61,50			
		6	62,50				53,00				
		7	55,00					60,50			
		8	52,50				52,50				
		9	58,00					58,00			
103	#1569	10	60,50	58,20	5,38	3,10	52,00				
		11	55,00							56,00	
		12	62,00								56,00
		13	56,00							51,50	
		14	52,00								56,00
		15	61,50							47,50	
		16	54,00								55,50
		17	56,00							45,50	
		18	53,00								55,00
		19	55,00								
		20	47,50				41,50	55,00			

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 32/52



Ensaios mecânicos em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO FOLIADO (ANF Sn)

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	51,50					
		2	53,50				56,00	63,00
		3	53,00					
		4	58,00				54,00	63,00
		5	53,50					
		6	62,50				53,50	62,50
		7	63,00					
		8	62,50				53,50	62,50
		9	58,00					
117	#1589	10	63,00	60,50	4,76	2,45	53,00	62,00
		11	62,00					
		12	61,00					
		13	57,00					
		14	58,00					
		15	56,00					
		16	48,00					
		17	54,00					
		18	51,00					
		19	50,50					
		20	52,50				48,00	57,00

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por:

Klinger S. Rezende
Klinger Senra Rezende

Verificado por:

Eduardo A. G. Marques
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015

Folha: 33/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO FOLIADO (ANF Sn)

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
118	#1609	1	51,50	61,45	4,26	1,40	58,50	63,50
		2	51,00					
		3	54,50					
		4	54,50					
		5	55,00					
		6	60,50					
		7	61,50					
		8	61,00					
		9	61,50					
		10	63,00					
		11	62,50					
		12	61,50					
		13	61,00					
		14	56,00					
		15	63,50					
		16	57,50					
		17	58,50					
		18	55,50					
		19	49,50					
		20	58,50					

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 34/52



Ensaios mecânicos em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1/2

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	46,00				46,00	52,50
		2	37,00					
		3	52,50				44,50	52,50
		4	39,50					
		5	36,50				44,50	51,50
		6	51,50					
		7	51,00				43,00	51,50
		8	49,50					
		9	49,00				39,50	51,00
74	#1304	10	49,50	50,30	7,15	1,96		
		11	44,50				37,00	50,00
		12	52,50					
		13	51,50				36,50	49,50
		14	46,00					
		15	50,00				34,50	49,50
		16	34,50					
		17	31,00				31,50	49,00
		18	43,00					
		19	31,50				31,00	46,00
		20	44,50					

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 35/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1/2

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	40,50					
		2	38,00				45,00	54,50
		3	40,00				44,00	52,50
		4	36,50					
		5	37,00					
		6	48,00				43,50	50,50
		7	48,50					
		8	50,50				40,50	50,50
		9	50,50					
75	#1324	10	45,50	49,00	6,10	2,97	40,00	48,50
		11	45,00					
		12	54,50				39,00	48,00
		13	39,00					
		14	52,50				38,00	48,00
		15	44,00					
		16	48,00				37,00	46,00
		17	46,00					
		18	46,00				36,50	46,00
		19	30,50					
		20	43,50				30,50	45,50

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 36/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1/2

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
85	#1344	1	46,50	52,20	7,05	2,82	47,50	55,50
		2	54,00					
		3	47,50					
		4	47,50					
		5	44,50					
		6	51,00					
		7	48,00					
		8	55,00					
		9	55,50					
		10	54,00					
		11	44,50					
		12	53,00					
		13	44,00					
		14	53,50					
		15	50,50					
		16	41,50					
		17	27,00					
		18	45,00					
		19	39,00					
		20	38,00					

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 37/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaios mecânicos em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klínger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1/2

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)		
88	#1364	1	45,00	51,30	7,41	4,23	43,00	58,00		
		2	33,50							
		3	35,50						42,50	55,00
		4	37,50						42,00	54,50
		5	42,50						40,00	54,00
		6	49,50						38,50	53,00
		7	58,00						37,50	50,00
		8	47,50						37,50	49,50
		9	42,00						40,00	47,50
		10	55,00						37,00	47,50
		11	46,50						35,50	46,50
		12	54,00						35,50	46,50
		13	53,00						33,50	45,00
		14	54,50						33,50	45,00
		15	40,00						33,50	45,00
		16	38,50						33,50	45,00
		17	37,50						33,50	45,00
		18	50,00						33,50	45,00
		19	37,00						33,50	45,00
		20	43,00						33,50	45,00

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por:

Klínger S. Rezende
Klínger Senra Rezende

Verificado por:

Eduardo A. G. Marques
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015

Folha: 38/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1/2

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
92	#1384	1	47,50	51,40	6,40	2,86	47,50	55,50
		2	43,50					55,50
		3	44,00					55,50
		4	38,50					55,50
		5	43,00					55,50
		6	53,50					55,50
		7	55,50					55,50
		8	50,00					55,50
		9	55,50					55,50
		10	49,00					55,50
		11	43,50					55,50
		12	47,50					55,50
		13	52,00					55,50
		14	52,00					55,50
		15	51,00					55,50
		16	38,50					55,50
		17	39,50					55,50
		18	35,00					55,50
		19	48,00					55,50
		20	35,50					55,50

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 39/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânicos em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1/2

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
93	#1404	1	48,00	56,65	6,23	2,76	53,00	62,00
		2	53,00					
		3	38,00					
		4	41,50					
		5	43,50					
		6	56,50					
		7	59,00					
		8	62,00					
		9	58,00					
		10	59,00					
		11	55,50					
		12	54,00					
		13	54,00					
		14	54,50					
		15	53,00					
		16	44,50					
		17	52,00					
		18	52,00					
		19	52,00					
		20	54,00					

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por:

Klinger S. Rezende
Klinger Senra Rezende

Verificado por:

Eduardo A. G. Marques
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015

Folha: 40/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1/2

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	54,00					
		2	56,00				57,00	60,50
		3	54,50				56,00	60,50
		4	58,00					
		5	58,50					
		6	60,50				54,50	59,50
		7	57,00					
		8	58,50				54,00	59,50
		9	59,50					
94	#1424	10	60,50	59,15	4,09	0,85	52,50	59,00
		11	59,00				51,00	59,00
		12	59,00					
		13	52,50				50,00	58,50
		14	58,50					
		15	59,50				49,50	58,50
		16	49,50					
		17	51,00				49,50	58,50
		18	49,50					
		19	49,00				49,00	58,00
		20	50,00					

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 41/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1/2

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
95	#1444	1	32,00	47,50	5,94	2,67	43,50	52,00
		2	49,00					
		3	33,50					
		4	41,00					
		5	33,00					
		6	44,50					
		7	39,00					
		8	50,00					
		9	48,00					
		10	41,50					
		11	48,00					
		12	49,00					
		13	46,00					
		14	44,00					
		15	52,00					
		16	43,50					
		17	40,00					
		18	44,50					
		19	40,50					
		20	35,50					

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 42/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de alteração: W1/2

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	34,50					
		2	35,00				40,00	49,00
		3	45,00					
		4	37,00				38,50	48,50
		5	38,00					
		6	49,00				38,00	47,00
		7	47,00					
		8	44,00				37,00	46,50
		9	46,50					
96	#1468	10	48,50	45,40	5,65	2,50	35,00	45,00
		11	40,50					
		12	45,00				34,50	45,00
		13	45,00					
		14	43,50				34,50	45,00
		15	38,50					
		16	32,00				33,50	44,00
		17	32,50					
		18	34,50				32,50	43,50
		19	33,50					
		20	40,00				32,00	40,50

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 43/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: XISTO GRAFITOSO

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	49,00					
		2	51,50				53,50	61,00
		3	54,00					
		4	48,50				51,50	59,50
		5	55,00					
		6	58,50				51,00	59,00
		7	55,50					
		8	61,00				49,00	58,50
		9	58,50					
124	#1629	10	59,00				48,50	58,50
		11	53,50	56,90	6,59	2,67		
		12	47,50				47,50	55,50
		13	54,50					
		14	59,50				46,00	55,00
		15	53,50					
		16	41,50				41,50	54,50
		17	46,00					
		18	41,00				41,00	54,00
		19	37,50					
		20	51,00				37,50	53,50

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 44/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: XISTO GRAFITOSO

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	44,50					
		2	45,50				54,50	61,00
		3	56,00					
		4	52,50				54,50	59,00
		5	54,50					
		6	56,00				52,50	58,50
		7	55,50					
		8	54,50				52,50	57,50
		9	61,00					
125	#1649	10	59,00	57,15	5,69	1,92	48,50	57,50
		11	55,00				48,00	56,00
		12	57,50					
		13	55,50					
		14	57,50					
		15	58,50					
		16	52,50					
		17	42,00					
		18	48,00					
		19	48,50					
		20	42,50			42,00	55,00	

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 45/52



Ensaios mecânicos em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: XISTO GRAFITOSO

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	47,40					
		2	45,50				50,50	59,50
		3	50,50					
		4	51,00				50,50	58,00
		5	49,50					
		6	59,50				50,00	57,00
		7	58,00					
		8	57,00				50,00	56,00
		9	48,50					
126	#1669	10	50,00	54,60	3,78	3,15	49,50	55,50
		11	51,50					
		12	56,00				49,00	55,00
		13	55,00					
		14	55,50				48,50	51,50
		15	51,50					
		16	48,50				48,50	51,50
		17	50,50					
		18	50,00				47,40	51,00
		19	49,00					
		20	51,00				45,50	51,00

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por:

Klinger S. Rezende
Klinger Senra Rezende

Verificado por:

Eduardo A. G. Marques
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015

Folha: 46/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: XISTO GRAFITOSO

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
143	#1691	1	46,50	55,70	4,98	3,20	51,50	61,50
		2	51,00					
		3	53,00					
		4	49,00					
		5	49,50					
		6	55,50					
		7	56,00					
		8	56,00					
		9	60,50					
		10	51,00					
		11	51,00					
		12	51,50					
		13	49,00					
		14	52,00					
		15	61,50					
		16	55,50					
		17	41,00					
		18	44,00					
		19	55,00					
		20	52,00					

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 47/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: XISTO GRAFITOSO

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
144	#1711	1	43,50	54,90	6,52	2,74	48,00	58,50
		2	41,50					
		3	38,50					
		4	44,00					
		5	39,00					
		6	48,00					
		7	54,00					
		8	54,00					
		9	53,50					
		10	56,50					
		11	57,50					
		12	53,50					
		13	57,00					
		14	58,50					
		15	55,50					
		16	44,00					
		17	49,00					
		18	43,00					
		19	48,00					
		20	46,00					

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 48/52



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: XISTO GRAFITOSO

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	41,00					
		2	37,00				-	-
		3	32,00				-	-
		4	*				-	-
		5					-	-
		6					-	-
		7					-	-
		8					-	-
		9					-	-
145	#1731	10		-	-	-	-	-
		11					-	-
		12					-	-
		13					-	-
		14					-	-
		15					-	-
		16					-	-
		17					-	-
		18					-	-
		19					-	-
		20					-	-

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Amostra descartada: o rebote foi suficiente para fraturar o corpo de prova em uma zona de fraqueza.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015

Folha: 49/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânicos em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: XSTO GRAFITOSO

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)		
146	#1735	1	42,00	52,30	7,14	3,31	45,50	57,00		
		2	39,50							
		3	33,50						44,00	55,00
		4	41,00						42,00	55,00
		5	44,00						41,00	54,00
		6	52,00						41,00	54,00
		7	57,00						40,50	52,00
		8	55,00						54,00	50,50
		9	49,50						39,50	50,00
		10	55,00						39,50	50,00
		11	50,50						34,50	49,50
		12	54,00						33,50	46,00
		13	50,00						40,50	52,00
		14	54,00						39,50	50,00
		15	46,00						34,50	49,50
		16	41,00						33,50	46,00
		17	39,50						40,50	52,00
		18	45,50						40,50	52,00
		19	34,50						40,50	52,00
		20	40,50						40,50	52,00

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por:

Klinger S. Rezende
Klinger Senra Rezende

Verificado por:

Eduardo A. G. Marques
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015

Folha: 50/52



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
03/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: XISTO GRAFITOSO

Grau de alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM, 2007

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	45,00					
		2	35,50				45,00	55,00
		3	41,00					55,00
		4	36,50				44,50	
		5	34,00					
		6	47,00				42,00	54,00
		7	54,00					
		8	53,00				41,00	53,50
		9	55,00					
147	#1755	10	50,50	52,15	7,03	2,48	41,00	53,00
		11	53,50					
		12	55,00				40,00	52,00
		13	51,00					
		14	52,00				38,50	51,00
		15	50,50					
		16	41,00				36,50	50,50
		17	40,00					
		18	44,50				35,50	50,50
		19	42,00					
		20	38,50				34,00	47,00

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo A. G. Marques*
Eduardo A. G. Marques

Data: 21/12/2015
Folha: 51/52



Ensaio mecânicos em rochas

Informações

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil - UFV

Mestrando Klínger Senra Rezende

Tipo petrográfico: XISTO GRAFITOSO (XG)

Grau de alteração: W1

Procedência do materia

Data: 08/09/2015

Ensaio de dureza de Schmidt - ISRM,

Amostra	Nº da série	Nº da determinação	Valor Q	Média Q para os 10 maiores	Desvio padrão para as 20 determinações	Desvio padrão para os 10 maiores	Valores excluídos (10 menores valores)	Valores selecionados (10 maiores valores)
		1	48,00				48,00	59,50
		2	44,00					
		3	43,00				47,00	58,00
		4	38,00					
		5	39,50				44,00	58,00
		6	52,50					
		7	56,00				43,00	56,50
		8	59,50					
		9	58,00				40,00	56,00
154	#1775	10	52,00	55,35	7,33	2,77		
		11	55,50				39,50	55,50
		12	56,50					
		13	54,00				39,50	54,00
		14	58,00					
		15	47,00				38,00	52,50
		16	40,00					
		17	39,50				-	52,00
		18	51,50					
		19	*				-	51,50
		20						

Observações

De acordo com a ISRM (2007), deve-se excluir as 10 menores determinações para cada amostra.

* Não foi realizado por se encontrar sobre descontinuidade frágil.

Executado por:

Klínger S. Rezende

Klínger Senra Rezende

Verificado por:

Eduardo Antônio Gomes Marques

Eduardo Antônio Gomes Marques

Data: 21/12/2015

Folha: 52/52

ANEXO 4

FORMULÁRIOS DOS ENSAIOS DE VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
04/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF)

Grau de Alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data de recebimento: 21/01/2015

Ensaio de velocidade de propagação de ondas

Nº	Amostra	H(mm)	t1(µs)	t2(µs)	t3(µs)	t médio (µs)	V (m/s)	Vméd (m/s)	Descartados
1	1	119,90	19,80	19,30	19,30	19,47	6159,25		
2	2	121,70	19,00	19,00	19,00	19,00	6405,26		
3	3	125,25	21,90	21,70	21,30	21,63	5789,68		
4	4	125,50	19,90	19,80	19,80	19,83	6327,73		
5	5	121,35	21,90	21,40	21,40	21,57	5626,74		
6	6	118,10	19,90	20,00	19,80	19,90	5934,67	6026,10	
7	7	125,20	20,10	20,10	20,10	20,10	6228,86		
8	24	125,10	21,50	21,20	21,10	21,27	5882,45		
9	25	125,70	20,90	20,90	20,40	20,73	6062,70		
10	26	119,60	20,50	20,60	20,30	20,47	5843,65		

Observações

-

Executado por:

Klinger S. Rezende

Klinger Senra Rezende

Verificado por:

Eduardo Antonio Gomes Marques

Eduardo Antonio Gomes Marques

Data: 22/12/2015

Folha: 01/05



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
04/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânicos em rochas

Informações gerais

Interessado Mestrado em Engenharia Civil

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO QUARTZOSO (QTZ)

Grau de Alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data de recebimento: 21/01/2015

Ensaio de velocidade de propagação de ondas

Lote 1

Nº	Amostra	H(mm)	t1(µs)	t2(µs)	t3(µs)	t médio (µs)	V (m/s)	Vméd (m/s)	Descartados
1	30	129,05	23,80	23,60	23,50	23,63	5460,51		
2	31	129,05	21,00	20,90	20,70	20,87	6184,50		
3	32	129,10	22,70	22,70	22,60	22,67	5695,59	5781,36	
4	44	115,00	20,00	19,90	19,80	19,90	5778,89		
5	45	129,25	22,50	22,30	22,20	22,33	5787,31		

Lote 2

Nº	Amostra	H(mm)	t1(µs)	t2(µs)	t3(µs)	t médio (µs)	V (m/s)	Vméd (m/s)	Descartados
6	46	128,55	22,40	22,90	22,40	22,57	5696,45		
7	47	124,90	22,10	21,80	21,60	21,83	5720,61		
8	48	128,40	23,30	23,20	23,10	23,20	5534,48		
9	49	126,75	22,80	22,60	22,40	22,60	5608,41		
10	50	128,40	23,70	23,50	23,50	23,57	5448,37		
11	51	120,25	22,40	22,20	22,00	22,20	5416,67	5653,90	
12	53	125,55	20,70	20,90	20,70	20,77	6045,75		
13	56	122,25	21,40	21,70	21,50	21,53	5677,24		
14	57	124,60	21,50	21,70	21,70	21,63	5759,63		
15	59	122,20	21,70	21,70	21,70	21,70	5631,34		

Observações

-

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo Antonio Gomes Marques*
Eduardo Antonio Gomes Marques

Data: 22/12/2015
Folha: 02/05



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
04/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânicos em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil

Mestrando Klinger Senra Rezende

Tipo petrográfico: ANFIBOLITO FOLIADO (ANF Sn)

Grau de Alteração: W1

Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG

Data de recebimento: 21/01/2015

Ensaio de velocidade de propagação de ondas

Nº	Amostra	H(mm)	t1(µs)	t2(µs)	t3(µs)	t médio (µs)	V (m/s)	Vméd (m/s)	Descartados
1	97	125,95	21,50	21,40	21,40	21,43	5876,36		
2	98	119,55	20,40	20,50	20,60	20,50	5831,71		
3	99	123,60	22,00	21,90	22,00	21,97	5626,71		
4	102	123,00	19,90	19,90	20,00	19,93	6170,57		
5	103	124,50	22,30	21,90	22,00	22,07	5641,99	5313,54	
6	117	119,70	119,70	19,90	20,00	53,20	2250,00		
7	118	120,20	20,70	20,70	20,80	20,73	5797,43		

Observações

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo Antonio Gomes Marques*
Eduardo Antonio Gomes Marques

Data: 22/12/2015
Folha: 03/05



Ensaio mecânico em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil
Mestrando Klinger Senra Rezende
Tipo petrográfico: ANFIBOLITO (ANF) Grau de Alteração: W1/2
Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG Data de recebimento: 21/01/2015

Ensaio de velocidade de propagação de ondas

Nº	Amostra	H(mm)	t1(µs)	t2(µs)	t3(µs)	t médio (µs)	V (m/s)	Vméd (m/s)	Descartados
1	74	117,25	20,00	20,00	20,00	20,00	5862,50		
2	75	117,15	20,60	20,60	20,50	20,57	5696,11		
3	85	124,65	22,20	22,20	22,20	22,20	5614,86		
4	88	124,85	22,30	22,30	22,30	22,30	5598,65		
5	92	121,35	20,40	20,60	20,70	20,57	5900,32		
6	93	124,75	24,20	24,30	24,30	24,27	5140,80	5677,32	
7	94	123,45	21,90	22,10	22,00	22,00	5611,36		
8	95	119,50	20,30	20,30	20,40	20,33	5877,05		
9	96	121,10	20,90	20,90	20,90	20,90	5794,26		

Observações

-

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende

Verificado por: *Eduardo Antonio Gomes Marques*
Eduardo Antonio Gomes Marques

Data: 22/12/2015
Folha: 04/05



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Certificado
04/05

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS

Ensaio mecânicos em rochas

Informações gerais

Interessado: Mestrado em Engenharia Civil
Mestrando Klinger Senra Rezende
Tipo petrográfico: XISTO GRAFITOSO (XG) Grau de Alteração: W1
Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG Data de recebimento: 21/01/2015

Ensaio de velocidade de propagação de ondas

Nº	Amostra	H(mm)	t1(µs)	t2(µs)	t3(µs)	t médio (µs)	V (m/s)	Vméd (m/s)	Descartados
1	124	120,00	20,90	21,10	21,00	21,00	5714,29		
2	125	128,05	21,90	21,90	21,90	21,90	5847,03		
3	126	117,55	25,30	25,60	25,70	25,53	4603,79		
4	143	127,75	22,90	23,00	23,00	22,97	5562,41	5484,78	
5	144	127,35	22,70	22,80	23,00	22,83	5577,37		
6	146	123,00	21,50	21,50	21,60	21,53	5712,07		
7	147	118,75	21,10	21,20	20,90	21,07	5636,87		
8	154	127,65	24,40	24,40	24,50	24,43	5224,42		

Observações

Executado por: *Klinger S. Rezende*
Klinger Senra Rezende
Verificado por: *Eduardo Antonio Gomes Marques*
Eduardo Antonio Gomes Marques
Data: 22/12/2015
Folha: 05/05

ANEXO 5

FORMULÁRIO DOS ENSAIOS DE ÍNDICES FÍSICOS



Ensaio de caracterização em rochas

Informações gerais

Interessado: Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - UFV
Mestrando Klinger Senra Rezende
Tipo petrográfico: Variado Grau de Alteração: Variado
Procedência do material: Mina de Volta Grande, Nazareno - MG Data de recebimento: 21/01/2015

Determinação da massa específica, porosidade e absorção d'água aparente - ISRM, 2007

Nº	Amostras	Grau de Alteração	Massa do agregado (g)			Massa específica (kg/m³)		Porosidade (%)	Absorção (%)
			Seco	1º S.S.S.	Submerso	Seca	Saturada		
1	ANF	W1	869,57	871,16	587,10	3061	3067	0,56	0,18
2	ANFqtz	W1	776,95	778,99	467,15	2492	2498	0,65	0,26
3	ANF	W1/2	760,80	761,80	482,34	2722	2726	0,36	0,13
4	ANFFol	W1	830,54	831,15	540,77	2860	2862	0,21	0,07
5	XG	W1	803,51	804,67	541,95	3058	3063	0,44	0,14

* - Massa saturada de superfície seca.

Observações

Fotos ilustrativas dos ensaios.



Executado por:

Klinger S. Rezende
Klinger Senra Rezende

Verificado por:

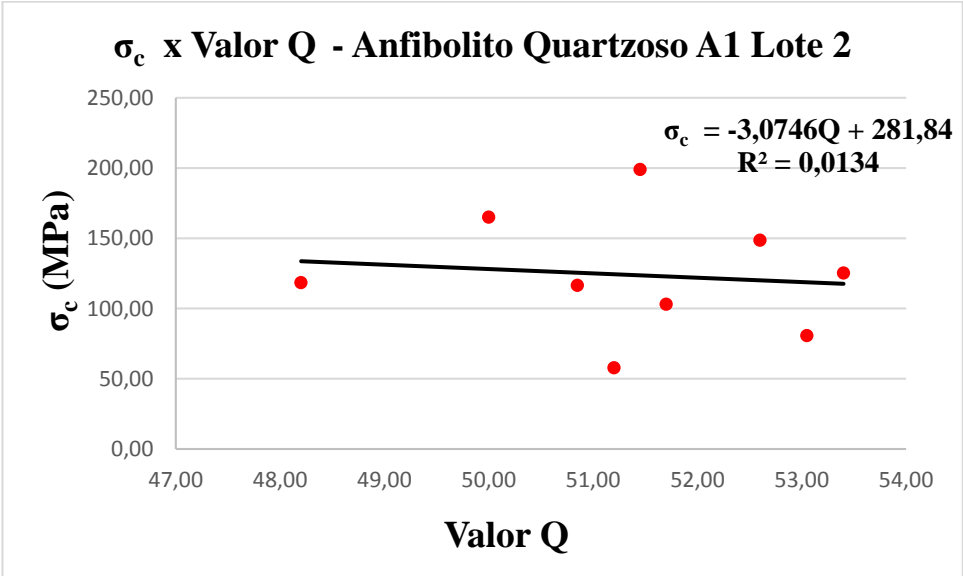
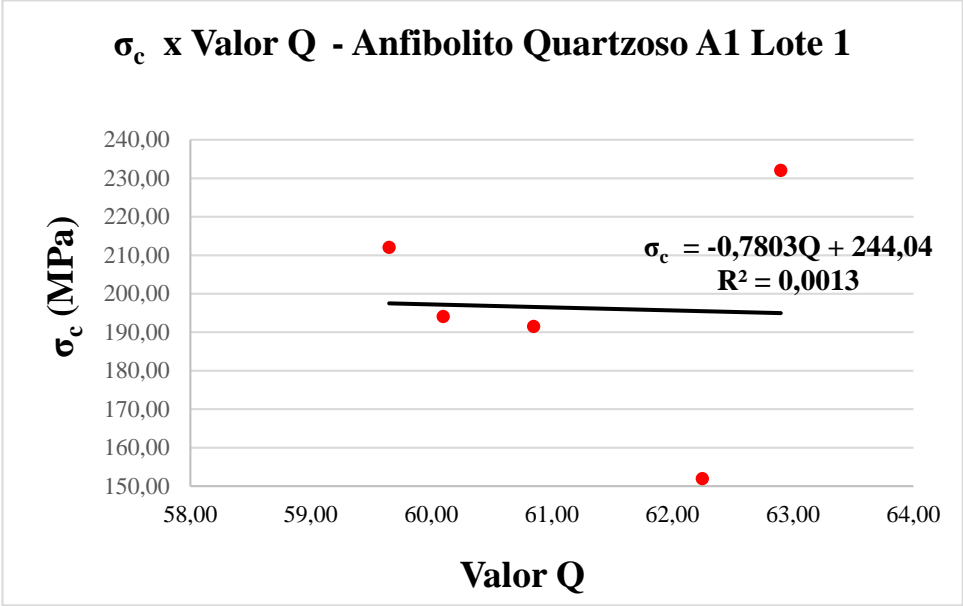
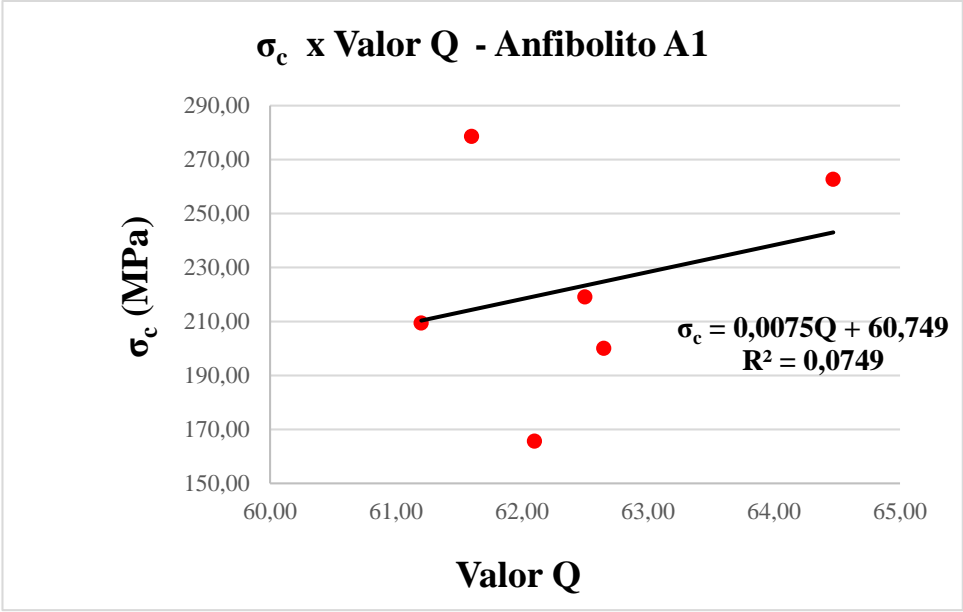
Eduardo Antonio Gomes Marques
Eduardo Antonio Gomes Marques

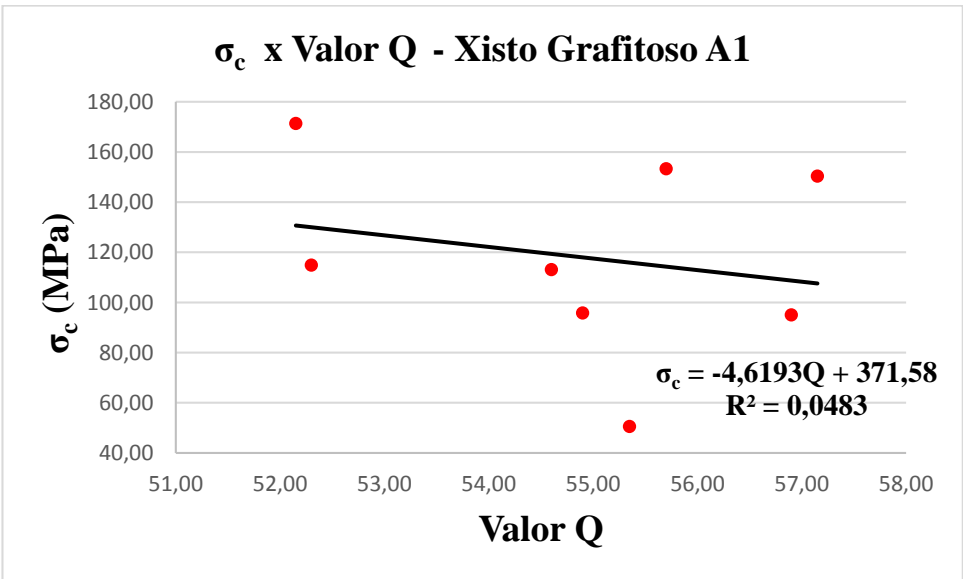
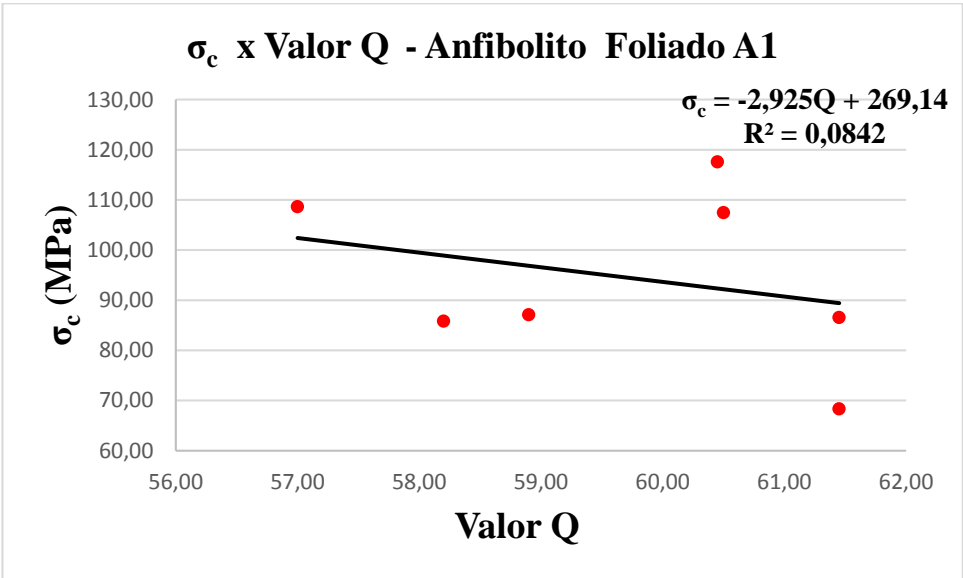
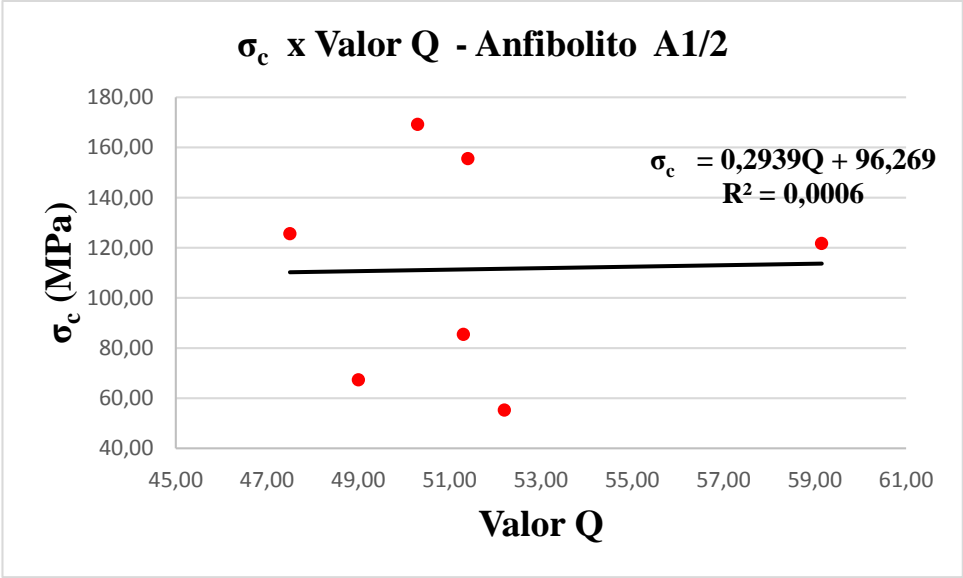
Data: 22/12/2015

Folha: 01/01

ANEXO 6

GRÁFICOS DE CORRELAÇÕES σ_c x Valor Q POR LITOTIPO





ANEXO 7

GRÁFICOS DE CORRELAÇÕES σ_c x V_p POR LITOTIPO

