



RESISTÊNCIA DE JUNTAS DE ROCHA NATURAIS E ALTERADAS
ARTIFICIALMENTE

Aline Helena Delfino Steffens

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Anna Laura Lopes da Silva Nunes

Rio de Janeiro
Setembro de 2018

RESISTÊNCIA DE JUNTAS DE ROCHA NATURAIS E ALTERADAS
ARTIFICIALMENTE

Aline Helena Delfino Steffens

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO
ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE
ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

Prof.^a Anna Laura Lopes da Silva Nunes, Ph.D.

Prof. Sergio Augusto Barreto de Fontoura, Ph.D.

Prof. Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão, Ph.D.

Prof. Willy de Alvarenga Lacerda, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

SETEMBRO DE 2018

Steffens, Aline Helena Delfino

Resistência de juntas de rocha naturais e alteradas artificialmente / Aline Helena Delfino Steffens. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

XIII, 209p.: il.; 29,7 cm.

Orientadora: Anna Laura Lopes da Silva Nunes

Dissertação (mestrado) – UFRJ / COPPE / Programa de Engenharia Civil, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 101-111.

1. Juntas rochosas. 2. Alteração acelerada. 3. Resistência ao cisalhamento. 4. Ensaio de cisalhamento direto de juntas.
I. Nunes, Anna Laura Lopes da Silva. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

Tudo vale a pena quando a alma não é pequena.

Fernando Pessoa

AGRADECIMENTOS

Inicialmente a Deus pelo acalento em todos os momentos de minha vida.

Ao meu pai Luiz Steffens e a minha mãe Arliane Delfino pelo apoio e carinho ao longo de todos os anos de minha vida.

À professora e orientadora Anna Laura Lopes da Silva Nunes, pelo desafio proposto, por todo o conhecimento transmitido ao longo do mestrado, pela paciência e tempo despendido com minhas imprecisões.

Ao professor Marciano Maccarini por ser uma grande fonte de inspiração e sempre impulsionar-me a novos conhecimentos no campo da geotecnia.

Aos professores Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão, Sergio Augusto Barreto de Fontoura e Willy Alvarenga Lacerda, pelas correções e contribuições ao trabalho.

Ao Percy pelo carinho, apoio incondicional, trocas de experiências e conhecimentos durante todo mestrado.

Aos meus colegas Marcela, Cristiano, Cid, Giulianna, Giovanni e Maria Luiza pela ajuda, companhia e parceria.

Aos funcionários e técnicos do Laboratório de Geotecnia e do Programa de Engenharia Civil da COPPE-UFRJ: João Batista e Equipe, Álvaro, Mauro, Hércio, Andrea, Cleiton, Roberto e Alice.

Ao professor Romildo Toledo pela disponibilidade do Laboratório de Estruturas da COPPE/UFRJ para o corte das amostras.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

RESISTÊNCIA DE JUNTAS DE ROCHA NATURAIS E ALTERADAS ARTIFICIALMENTE

Aline Helena Delfino Steffens

Setembro/2018

Orientadora: Anna Laura Lopes da Silva Nunes

Programa: Engenharia Civil

Os parâmetros de resistência de juntas são fatores essenciais para projetos de engenharia de rochas, especialmente taludes em maciços fraturados. A resistência ao cisalhamento e à compressão das juntas diminuem ao longo do tempo devido à ação de intemperismo, podendo provocar a ruptura do maciço originalmente estável. O principal objetivo desta pesquisa é estudar o comportamento de resistência ao cisalhamento de juntas rochosas com diferentes graus de intemperismo por meio de ensaios de cisalhamento direto de juntas de testemunhos, oriundos das sondagens na área do Canal 1 de interligação e adução do AHE Simplício na divisa de Minas Gerais e Rio de Janeiro. As juntas naturais foram alteradas em equipamento especial de percolação acelerada em laboratório em níveis de até 8300 horas (345 dias) de fluxo contínuo. As juntas foram caracterizadas e classificadas quanto à rugosidade (JRC) e nível de alteração. Ensaios com Martelo Schmidt foram realizados para obtenção de rebotes e resistência à compressão uniaxial. Foram realizados 26 ensaios de cisalhamento direto em juntas rugosas e lisas. As curvas de tensão - deslocamento cisalhante foram analisadas para a obtenção das envoltórias de resistência ao cisalhamento direto e ângulos de atrito de junta em função do nível de intemperismo. Os resultados indicam a redução do rebote e do ângulo de atrito com o aumento do intemperismo da junta.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

STRENGTH OF NATURAL AND ARTIFICIALLY WEATHERED
ROCK JOINTS

Aline Helena Delfino Steffens

September/2018

Advisor: Anna Laura Lopes da Silva Nunes

Department: Civil Engineering

The strength parameters of joints are fundamental in engineering design of fractured slopes. The shear and uniaxial compressive strengths of joints decrease over time, due to natural weathering, which may cause failures in the originally stable masses. The main objective of this research is to study the strength behavior of rock joints with different degrees of weathering by means of direct shear tests of specimens retrieved from boreholes in the Channel 1 area of interconnection and adduction to the AHE Simplício, located on the border of Minas Gerais and Rio de Janeiro states. Natural joints were subjected to artificial weathering in a special laboratory equipment in levels of up to 8300 hours (345 days) of continuous flow. The joints were characterized and classified by the roughness (JRC) and weathering level. Schmidt hammer tests were performed to obtain rebounds and uniaxial compressive strength. 26 shear tests were conducted directly in rough and smooth joints. The stress-displacement results have been analyzed for obtaining the direct shear strength parameters as a function of weathering level. The results indicate a reduction in the rebound and friction angle with increasing joint weathering.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	1
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVO DO TRABALHO.....	2
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	3
CAPÍTULO 2	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 CRITÉRIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO.....	6
2.2 PARÂMETROS DE INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO.....	13
2.2.1 RUGOSIDADE.....	13
2.2.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA JUNTA	22
2.2.3 INTEMPERISMO.....	26
2.3 ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO	32
CAPÍTULO 3	37
3 ÁREA DE ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	37
3.1 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO.....	37
3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	43
3.2.1 ANÁLISE PETROGRÁFICA	44
3.2.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL E DIAMETRAL	45
CAPÍTULO 4	51
4 METODOLOGIA.....	51
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS JUNTAS	52
4.2 ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO	56
4.2.1 PREPARAÇÃO DAS JUNTAS PARA CISALHAMENTO DIRETO.....	56
4.2.2 EQUIPAMENTO DE CISALHAMENTO DIRETO	59
4.3 ENSAIO DE MARTELO SCHMIDT	62

CAPÍTULO 5	64
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	64
5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS JUNTAS	64
5.2 ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO	71
5.2.1 COMPORTAMENTO TENSÃO-DESLOCAMENTO E ENVOLTÓRIA DE RESISTÊNCIA.....	73
5.3 ENSAIO DE MARTELO SCHMIDT	90
5.3.1 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL POR MEIO DE CORRELAÇÕES	90
5.3.2 VALORES DE REBOTE EM JUNTAS NATURAIS E ALTERADAS	94
5.3.3 CLASSIFICAÇÃO QUALITATIVA E VALORES DE REBOTE DAS JUNTAS	96
CAPÍTULO 6	99
6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	99
REFERÊNCIAS	101
ÂPENDICE I - COMPORTAMENTO TENSÃO - DESLOCAMENTO E ENVOLTÓRIA DE RESISTÊNCIA	112
ÂPENDICE II - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL POR MEIO DE CORRELAÇÕES	144
ÂPENDICE III - FICHAS TÉCNICAS	148
ÂPENDICE IV - DISTÂNCIA ENTRE ÁREA CISALHANTE E MOLDE DE GESSO..	208

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Envoltória de ruptura de Patton, 1966 (GRASSELLI, 2001).....	7
Figura 2.2 - Componentes da resistência ao cisalhamento para junta não planar (BARTON, 1973).....	15
Figura 2.3 - Classificação da rugosidade da descontinuidade (adapt. ISRM, 1978a). ...	16
Figura 2.4 - Classificação de JRC (BARTON e CHOUBEY, 1977).....	17
Figura 2.5 - Correlações entre valores de rebote do Martelo Schmidt e resistência à compressão uniaxial para diferentes tipos de rochas.....	25
Figura 3.1 - Mapa de localização do AHE Simplício.....	38
Figura 3.2 - Obras de interligação entre UHE Anta e UHE Simplício.....	39
Figura 3.3 - Mapa geológico com destaque para área de amostragem dos testemunhos.	40
Figura 3.4 - Ensaio de compressão uniaxial: (a) Verificação do paralelismo dos corpos de prova; b) Detalhe dos transdutores de deformação acoplados ao corpo de prova; c) Ensaio de compressão diametral com mordentes curvos; d) Corpo de prova após ensaio de compressão diametral (adapt. SALLES, 2013).	46
Figura 3.5 - Curvas tensão axial vs. deformação axial, lateral e volumétrica (SALLES, 2013).....	48
Figura 3.6 - Valores médios dos parâmetros de tensão axial em função do nível de alteração no laboratório (SALLES, 2013).....	48
Figura 3.7 - Resistência à tração vs. tempo de alteração no laboratório do Gnaisse Simplício (SALLES, 2013).	50
Figura 4.1 - Fluxograma da metodologia de estudo proposta.	51
Figura 4.2 – Ficha técnica de caracterização das amostras.	53
Figura 4.3 - Eixos para medida de JRC.....	55
Figura 4.4 - Identificação das juntas.....	55
Figura 4.5 – Preparação das juntas para cisalhamento direto: (a) Molde envolto com filme plástico; (b) Verificação da centralidade da 1ª metade da junta fixa ao suporte lateral; (c) Colocação da 1ª metade da junta no gesso líquido com auxílio de placas laterais; (d) Compatibilização das irregularidades da junta com fita para encapsulamento no gesso da	

2ª metade da junta; (e) Colocação da 2ª metade da junta no molde; (f) Contato da junta nos moldes de gesso.	58
Figura 4.6 - Equipamento de cisalhamento direto.	60
Figura 4.7 - Sistema de aplicação de carga.	60
Figura 5.1 – Amostras com variação de JRC médio após ensaio CD - Eixo AA/BB/CC.	70
Figura 5.2 - Amostras com variação de JRC médio após ensaio CD - Eixo DD/EE/FF.	71
Figura 5.3 - Curva tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal juntas rugosas.	72
Figura 5.4 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 0h–2.	74
Figura 5.5 - Envoltória de resistência – Junta: 0h–2.	74
Figura 5.6 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 600h–3.	76
Figura 5.7 - Envoltória de resistência – Junta: 600h–3.	76
Figura 5.8 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 1200h–2.	77
Figura 5.9 - Envoltória de resistência – Junta: 1200h–2.	77
Figura 5.10 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 2400h–1.	79
Figura 5.11 - Envoltória de resistência – Junta: 2400h–1.	79
Figura 5.12 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 4800h–1.	80
Figura 5.13 - Envoltória de resistência – Junta: 4800h–1.	80
Figura 5.14 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 8300h–3.	82
Figura 5.15 - Envoltória de resistência – Junta: 8300h–3.	82
Figura 5.16 - Valores de pico de tensão cisalhante vs. tensão normal em função dos níveis de alteração das juntas.	84
Figura 5.17 - Valores de tensão cisalhante em função da tensão normal – Juntas rugosas Gnaisse Simplício e dados de literatura.	86
Figura 5.18 - Envoltórias de resistência dos níveis de alteração – Juntas rugosas.	87
Figura 5.19 - Variação do ângulo de atrito vs. grau de intemperismo.	88
Figura 5.20 – Correlações entre rebote e resistência à compressão uniaxial – Grau de intemperismo natural (0 hora).	91
Figura 5.21 - Correlações entre rebote e resistência à compressão uniaxial – Grau de intemperismo 4800h.	92

Figura 5.22 - Resistência à compressão uniaxial determinados em laboratório e por Martelo Schmidt.	93
Figura 5.23 - Valores de rebote vs. grau de intemperismo das juntas.	94
Figura 5.24 - Valores de rebote de juntas não alteradas naturais obtidos por OLIVEIRA (2017).	95
Figura 5.25 - Valores de rebote por grau de intemperismo e valores de rebote de juntas não alteradas naturais de OLIVEIRA (2017).	96
Figura 5.26 - Comparação entre as faixas de valores de rebote do Martelo Schmidt e graus de intemperismo em diferentes tipos de rocha.	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Parâmetros estatísticos para determinação de JRC (adapt. TSE e CRUDEN, 1979).....	19
Tabela 2.2 - Equações empíricas para estimar JRC utilizando D (adapt. LI e HUANG, 2015).....	20
Tabela 2.3 - Correlações entre valores de rebote com Martelo Schimdt e resistência à compressão uniaxial para diferentes tipos de rochas.....	23
Tabela 2.4 - Intemperismo e propriedades físico-mecânica (HEIDARI <i>et al.</i> , 2013)....	28
Tabela 2.5 - Equações empíricas para determinar a resistência à compressão uniaxial (adapt. AREL e TUGRUL, 2001).	29
Tabela 2.6 - Correlações entre parâmetros físicos (BEGONHA e SEQUEIRA BRAGA 2002).....	30
Tabela 2.7 - Correlações entre parâmetros físicos (CERYAN <i>et al.</i> , 2008).....	31
Tabela 2.8 - Valores de ângulo de atrito de discontinuidades de diferentes tipos de rocha.	34
Tabela 2.9 - Valores de ângulo de atrito de diferentes tipos de juntas (adapt. DEARMAN <i>et al.</i> , 1978).....	35
Tabela 3.1 - Composição mineralógica (SALLES, 2013).....	45
Tabela 3.2 – Resistência à compressão uniaxial (SALLES, 2013).	47
Tabela 3.3 - Resistência à compressão diametral (SALLES, 2013).....	49
Tabela 4.1 - Correlações entre valores de rebote do Martelo Schmidt e resistência à compressão uniaxial (AYDIN e BASU, 2005).	63
Tabela 5.1 - Classificação do grau de intemperismo.....	64
Tabela 5.2 - JRC antes e depois do ensaio de cisalhamento direto.	66
Tabela 5.3 - Valores de ângulo de atrito obtidos da literatura de diferentes tipos de rochas (mod. ASADOLLAHI <i>et al.</i> , 2010).....	85
Tabela 5.4 - Ângulos de atrito das juntas em função grau de intemperismo.....	88
Tabela 5.5 - Valores de rebote e graus de intemperismo de rochas da literatura.	96

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

Os maciços rochosos são formados por matrizes de rochas ou rocha intacta e descontinuidades, o que resulta em uma estrutura descontínua, heterogênea, não linear elástica e anisotrópica. A presença de descontinuidades ou juntas em maciços rochosos podem condicionar a estabilidade de taludes, fundações, barragem e túneis.

A análise das propriedades mecânicas das juntas de rochas pode ser realizada por abordagens teóricas e empíricas. A primeira é pautada na teoria da plasticidade, dos contatos, entre outras e a abordagem empírica é desenvolvida a partir de observações experimentais, resultando na formulação de modelos e correlações (SANEI *et al.*, 2015).

As descontinuidades são caracterizadas mecanicamente pela resistência ao cisalhamento e à compressão uniaxial, tendo em vista que sua resistência à tração é nula.

A resistência ao cisalhamento de descontinuidades pode ser avaliada em ensaio de cisalhamento direto. O comportamento cisalhante das juntas é comumente estudado para condição de carga normal constante (CNL), com dilatação livre durante o cisalhamento, e para condição de rigidez normal constante (CNS), com restrição de dilatação.

A partir da década de 1960 vários autores desenvolveram critérios de resistência ao cisalhamento de descontinuidades, tais como PATTON (1966), LADANYI e ARCHAMBAULT (1969), BARTON (1973), GRASSELLI (2001) e SEIDEL e HABERFIELD (2002). Os critérios relacionam a resistência ao cisalhamento a parâmetros específicos, destacando-se o de BARTON (1973) que considera o grau de intemperismo e a rugosidade das juntas.

As descontinuidades estão expostas a processos de intemperismo que condicionam seu comportamento geomecânico, uma vez que suas propriedades de resistência diminuem com o aumento do nível de alteração, podendo provocar a ruptura do maciço rochoso. Vários autores avaliaram a influência do grau de intemperismo nas propriedades de resistência da rocha, tais como: AYDAN *et al.* (1996), MAIA (2001), AREL e TUGRUL (2001), BEGONHA e SEQUEIRA BRAGA (2002), CERYAN *et al.* (2008), MISCEVIC e VLASTELICA (2009, 2014), UNDUL e TUGRUL (2012), HEIDARI *et al.* (2013), ÖZVAN *et al.* (2014)

Desta forma, a presente pesquisa procura estudar o comportamento mecânico de juntas de maciços rochosos em função do aumento do grau de intemperismo e consequente redução da resistência ao cisalhamento.

O material selecionado para o estudo é o gnaiss do Aproveitamento Hidrelétrico de Simplício, AHE Simplício, na divisa dos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Durante a construção, foram observadas rupturas recorrentes dos taludes do Canal 1, condicionadas pelas juntas no maciço rochoso e estruturas reliquiares da junta no manto de solo residual. Considerando o histórico de rupturas na construção do Canal 1 e os diversos canais de interligação do aproveitamento hidrelétrico de Simplício, tornou-se importante o entendimento do comportamento mecânico das juntas sob a ação do intemperismo, representado pelo fluxo de água nos canais de interligação e adução da barragem.

A redução progressiva das propriedades de resistência com o intemperismo é diretamente relacionada à durabilidade, desempenho geotécnico e segurança de operação da barragem. Portanto, esta pesquisa aborda o comportamento de resistência ao cisalhamento de juntas rochosas em diferentes níveis de alteração, obtido em ensaios de cisalhamento direto de juntas.

1.1 OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo principal da pesquisa é estudar o comportamento de resistência de juntas rochosas em diferentes níveis de alteração obtidos naturalmente e em condições de intemperização acelerada em laboratório. As juntas foram obtidas de testemunhos de sondagem na área do Canal 1 do AHE Simplício. As juntas foram alteradas em equipamento de percolação acelerada por SALLES (2013), atingindo períodos de 8300 horas de fluxo contínuo. As juntas com diferentes níveis de intemperismo foram ensaiadas em equipamento de cisalhamento direto do tipo portátil para determinação do comportamento mecânico e ângulo de atrito, além de ensaios de Martelo Schmidt para obtenção dos rebotes e estimativa da resistência à compressão uniaxial. Foram realizados 26 ensaios de cisalhamento direto: 16 em superfícies rugosas e 10 em superfícies planares. As curvas de tensão cisalhante mobilizada por deslocamento horizontal foram avaliadas para determinação dos parâmetros de resistência.

Os principais objetivos específicos da pesquisa são:

- i. Compilação de critérios de resistência de juntas e valores de ângulos de atrito de juntas da literatura;
- ii. Compilação dos métodos de estimativa de resistência à compressão uniaxial em função de rebotes com Martelo Schmidt;
- iii. Consolidação das informações relevantes para a pesquisa, reportadas na tese de doutorado de SALLES (2013) e dissertação de mestrado de OLIVEIRA (2017);
- iv. Caracterização das juntas dos testemunhos de sondagem com descrição e análise das superfícies cisalhantes;
- v. Determinação do coeficiente de rugosidade de junta JRC de todas as amostras;
- vi. Realização de ensaios de Martelo Schmidt e obtenção dos rebotes e estimativas da resistência à compressão uniaxial em função do grau e intemperismo das juntas;
- vii. Realização dos ensaios de cisalhamento das juntas e obtenção das envoltórias de resistência das juntas em função do grau de intemperismo;
- viii. Análises de resultados.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é dividido em seis capítulos: introdução, revisão bibliográfica, área de estudo do AHE Simplício e caracterização das amostras, metodologia de estudo, resultados dos ensaios de laboratório.

No Capítulo 2 são apresentados critérios de análise de resistência ao cisalhamento de juntas e respectivos fatores de influência, ação do intemperismo em maciços rochosos e efeitos no comportamento geomecânico.

No Capítulo 3 disserta-se a respeito da área do AHE Simplício, local de amostragem dos testemunhos. Assim como, a caracterização das amostras e parâmetros mecânicos, determinados na presente pesquisa, complementarmente aos determinados por SALLES (2013).

O Capítulo 4 apresenta a metodologia de estudo, destacando-se a classificação e preparação das amostras para os ensaios de cisalhamento de juntas, descrição do equipamento utilizado no laboratório e ainda os ensaios complementares com Martelo Schmidt.

No Capítulo 5 são apresentados e discutidos os resultados dos ensaios de cisalhamento direto, com análises detalhadas das curvas de tensão cisalhante mobilizada por deslocamento horizontal. Apresenta também os resultados de rebote do Martelo Schmidt e as tentativas de correlação com a resistência à compressão uniaxial, considerando as relações empíricas da literatura técnica.

O Capítulo 6 resume as principais conclusões do estudo e indica aspectos a serem considerados em futuras pesquisas.

Finalmente, este documento apresenta um apêndice com todos os resultados e análises dos ensaios de cisalhamento direto de juntas e Martelo Schmidt.

CAPÍTULO 2

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os maciços rochosos são formados por matrizes de rochas (rocha intacta) e descontinuidades, o que resulta em uma estrutura descontínua, heterogênea, não linear elástica e anisotrópica. Dependendo do problema geotécnico e escala de análise, o desempenho do maciço rochoso será função do comportamento da rocha intacta ou das descontinuidades, em alguns casos dos blocos discretos na estrutura; ou mesmo da resistência global do maciço rochoso com presença de descontinuidades insignificantes ao problema (BRADY e BROWN, 2004).

Outros fatores também afetam o comportamento mecânico dos maciços tais como tensões *in situ*, condições hidrogeológicas e fatores geoambientais. O tipo de rocha e o grau de alteração determinam as propriedades resistentes da matriz rochosa.

As descontinuidades são caracterizadas mecanicamente por sua resistência ao cisalhamento e à compressão uniaxial, tendo em vista que sua resistência à tração é nula. Por sua vez as estruturas geológicas definem zonas e planos de fraqueza, concentrações de tensões, frentes de intemperismo, entre outros aspectos; o estado de tensões *in situ* determina modelos de deformações e comportamento mecânico global dos maciços rochosos (VALLEJO *et al.*, 2002).

As descontinuidades podem apresentar material de preenchimento localizado entre suas paredes e, nesta condição, a resistência ao cisalhamento dependente das propriedades físicas e mecânicas do material de preenchimento. A resistência ao cisalhamento de descontinuidades sem material de preenchimento é função do nível de tensão normal efetivo nos planos de cisalhamentos, propriedades das paredes das juntas, tipo de rocha, grau de rugosidade, o tamanho da descontinuidade (efeito de escala), grau de intemperismo, presença de água.

Na análise de estabilidade de maciços rochosos é necessário verificar o processo de ruptura que poderá ocorrer, seja pela rocha intacta, seja por um plano de descontinuidade ou ainda um processo complexo englobando várias descontinuidades. A análise permite determinar o elemento de estudo e, conseqüentemente, direcionar o programa de ensaios a ser executado.

WYLLIE e MAH (2004) destacam que a fase crítica na concepção de projetos de estabilidade de taludes é a determinação de valores de resistência ao cisalhamento

confiáveis, uma vez que pequenas mudanças nos valores dos parâmetros de resistência podem representar mudanças significativas na altura crítica do talude e/ou ângulo de inclinação do mesmo. A determinação adequada da resistência ao cisalhamento do maciço rochoso pode representar economia de milhões na concepção de projetos de estabilização.

A estimativa da resistência ao cisalhamento em maciços rochoso pode ser efetuada por meio de critérios empíricos, baseados em retro-análises e cálculos envolvendo índices de resistência da rocha, ou ensaios. Em laboratório pode-se executar ensaios de compressão triaxial convencional e triaxial de múltiplos estágios, ensaio de rampa e ensaio de cisalhamento direto. A determinação do uso de critérios de resistência ao cisalhamento das superfícies das discontinuidades ou das massas rochosas é realizada com base nos efeitos de escala e condições geológicas (WYLLIE e MAH, 2004).

A partir da década de 60, critérios de resistência ao cisalhamento de juntas foram desenvolvidos, destacando-se os modelos empíricos de PATTON (1966), LADANYI e ARCHAMBAULT (1969), BARTON (1973), BARTON *et al.* (1974), BARTON e CHOUBEY (1977), BARTON e BANDIS (1990), GRASSELLI (2001), SEIDEL e HABERFIELD, (2002). O critério mais utilizado é o de BARTON (1973).

Com ênfase em discontinuidades submetidas a tensões cisalhantes, este capítulo aborda a literatura técnica que fundamenta a dissertação. Faz-se uma breve revisão de teorias de análise da resistência ao cisalhamento desenvolvidas nas últimas décadas e parâmetros de influência na resistência ao cisalhamento de discontinuidades.

2.1 CRITÉRIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

PATTON (1966) verificou que a resistência ao cisalhamento em juntas decorrente da presença de irregularidades nas superfícies das discontinuidades e da carga normal. O autor propõe um modelo bilinear pautado em análises comparativas entre resultados de ensaios de resistência ao cisalhamento em juntas com e sem irregularidades na área cisalhante, associando o ângulo de inclinação das irregularidades da superfície cisalhante (i) ao ângulo de atrito mobilizado (ϕ).

O critério é baseado em duas hipóteses de comportamento cisalhante:

1. Para baixas tensões normais ocorre o deslizamento entre as irregularidades dos planos de cisalhamento, sendo a resistência expressa por:

$$\tau = \sigma \tan (\phi_b + i) \quad (2.1)$$

2. Para altas tensões normais ocorre o cisalhamento das irregularidades, sendo a resistência expressa por:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi_r \quad (2.2)$$

Onde: ϕ_b – ângulo de atrito básico; i – ângulo de inclinação das irregularidades; ϕ_r – ângulo de atrito residual; c – coesão aparente da junta; τ e σ – tensão cisalhante e tensão normal atuantes na superfície

O modelo de PATTON (1966) representa adequadamente o comportamento de superfícies planas com rugosidades de mesma geometria e grau de inclinação não variável durante o cisalhamento, conforme esquematizado na Figura 2.1 (LADANYI e ARCHAMBAULT, 1969).

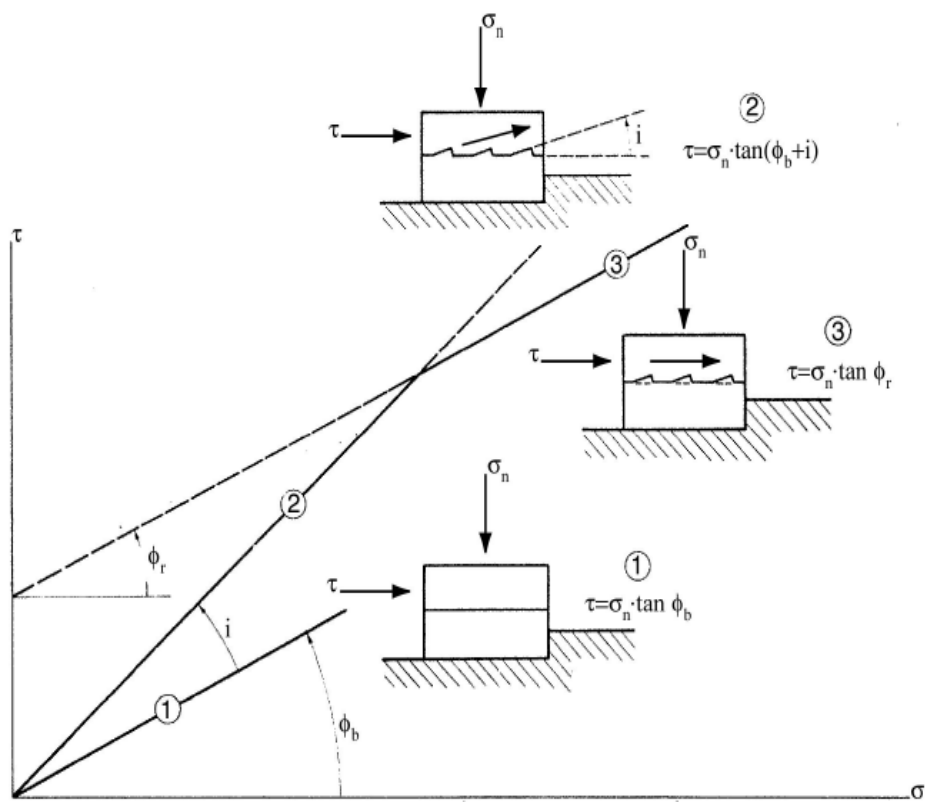


Figura 2.1 - Envoltória de ruptura de Patton, 1966 (GRASSELLI, 2001).

PATTON (1966) verificou a ocorrência simultânea de diferentes tipos de rupturas durante o cisalhamento, assim como diferentes intensidades de modos de ruptura. Tais fenômenos decorrem da superposição de efeitos de diferentes variáveis como: tamanhos e inclinações das irregularidades das amostras, ângulo de atrito, forças internas. As mudanças dos modos de rupturas de planos de superfícies rugosas são perceptíveis em envoltórias de resistência curvas e com inclinação variável. A resistência ao cisalhamento atribuída à rugosidade da superfície de cisalhamento é dada pela diferença entre a envoltória de resistência máxima e a envoltória de resistência residual. Os deslocamentos significativos entre planos de ruptura produzem perda de resistência e mudanças nas irregularidades das superfícies.

LADANYI e ARCHAMBAULT (1969) questionam o modelo bilinear de PATTON (1966), destacando que:

1. O atrito dinâmico mobilizado ao longo das superfícies por um pequeno deslocamento resulta na perda do intertravamento antes da ruptura;
2. A geometria da superfície submetida ao cisalhamento é variável durante todo o processo, uma vez que a distribuição de tensões não é uniforme e há quebra de parte das irregularidades nas superfícies;
3. As envoltórias reais do plano de ruptura se situam abaixo da envoltória do modelo bilinear.

De acordo com ROWE *et al.* (1964), citados por LADANYI e ARCHAMBAULT (1969), a força cisalhante em uma superfície com irregularidades regulares não cisalhadas pode ser considerada como o somatório das componentes de forças decorrentes de:

1. Trabalho externo realizado na dilatação contra a força normal externa;
2. Trabalho interno adicional realizado na fricção devido à dilatação;
3. Trabalho realizado pela fricção interna quando a amostra é restringida de variar o volume durante o cisalhamento.

LADANYI e ARCHAMBAULT (1969) acrescentam uma quarta componente a força cisalhante, oriunda do cisalhamento através das irregularidades. Propõem um

modelo de ruptura baseado na fricção básica, dilatação e cisalhamento, no qual os parâmetros são definidos conforme:

$$\tau = [\sigma (1-a_s) (v + \tan\phi_\mu) + a_s (\sigma \tan\phi_o + s_o\eta)] / [1 - (1 - a_s) v \tan\phi_f] \quad (2.3)$$

Onde: a_s – relação entre a área de irregularidades cisalhadas e a área total; v – taxa de dilatação dada pela razão entre os incrementos do deslocamento normal e cisalhante no momento da ruptura; ϕ_μ – ângulo de atrito resistente ao longo dos contatos das superfícies das irregularidades; s_o e ϕ_o – parâmetros de resistência ao cisalhamento do maciço rochoso; ϕ_f – média estatística do ângulo de atrito quando ocorre deslizamento ao longo de irregularidades de diferentes orientações; e η – grau de intertravamento.

BARTON (1973) desenvolveu seu método de determinação de resistência ao cisalhamento para juntas não planares, a partir de observações experimentais do comportamento de modelos de juntas. O autor verificou que envoltórias curvilíneas representam de forma mais realista o limite superior de resistência das juntas. O princípio básico do critério de resistência ao cisalhamento incorpora a geometria das superfícies das juntas e a resistência mecânica da parede da junta. Não são introduzidos os efeitos da mineralogia. O critério é expresso por:

$$\tau/\sigma_n = \tan [(JRC \log_{10} (JCS/\sigma_n) + \phi_r)] \quad (2.4)$$

Onde: τ – tensão de cisalhamento; σ_n – tensão normal; JRC – coeficiente de rugosidade da junta; JCS – coeficiente de resistência à compressão da junta; ϕ_r – ângulo de atrito residual.

Ressalta-se que o modelo constitutivo da Equação (2.4) corresponde ao regime elástico, enquanto o modelo de BARTON-LIEN-LUNDE corresponde ao regime plástico (BARTON e BANDIS, 1990).

O critério de BARTON (1973) é formulado com a introdução do coeficiente de rugosidade da junta (JRC) e o coeficiente de resistência à compressão da junta (JCS). A incorporação dos novos parâmetros empíricos permite considerar a rugosidade da superfície cisalhante, além do grau de intemperismo obtido a partir das medidas de resistência à compressão da junta. Para rochas não alteradas o valor de JCS é igual ao valor de resistência à compressão uniaxial da rocha intacta, enquanto para rochas

alteradas o valor de JCS representa uma fração da resistência à compressão uniaxial da rocha intacta.

Durante a aplicação de tensão cisalhante nas superfícies das juntas pode ocorrer rupturas locais nas irregularidades devidas aos esforços de tração. A presença da água em juntas rochosas reduz a resistência à tração e à compressão. A ação da água nas juntas de maciços rochosos produz alterações físicas e químicas que afetam diretamente as propriedades mecânicas, acarretando a diminuição da energia superficial e da resistência do mineral. Entretanto, destaca-se que, para alguns tipos de juntas, os efeitos da água parecem ser pouco efetivos e podem apresentar uma resistência ao cisalhamento ligeiramente maior quando molhados (BARTON, 1973).

Juntas com superfícies intemperizadas apresentam menor resistência à compressão e, conseqüentemente, ao cisalhamento. O nível de intemperização do material rochoso depende do tipo de rocha e de sua permeabilidade. Uma rocha com estrutura mais permeável sofrerá um processo de intemperização distribuído por toda estrutura. Por sua vez, rochas impermeáveis terão os efeitos dos processos de intemperização na zona superficial do material. A redução rápida da resistência ao cisalhamento devido à intemperização ocorre no primeiro aumento percentual no índice de alteração (BARTON, 1973).

GRASSELLI (2001) propõe um método de resistência ao cisalhamento empírico que relaciona a tensão cisalhante e os deslocamentos sob condições de tensão normal constante. As superfícies de juntas quando cisalhadas são submetidas a uma distribuição de esforços não uniforme, decorrente de parte da área superficial em contato direto. A área parcial de contato dependerá da direção de cisalhamento e das condições de carregamento. O autor quantificou a área de contato durante o estudo da resistência ao cisalhamento em testes realizados em réplicas de juntas de tração e em fraturas de tração induzidas em sete tipos de rochas. É verificada a área em contato durante o cisalhamento através da morfologia da superfície da amostra antes e depois da realização do ensaio. Utiliza-se o algoritmo de triangulação a partir do levantamento de pontos. A superfície da junta é discretizada em unidades triangulares tridimensionais. Desta forma, a resistência ao cisalhamento das juntas pode ser expressa por:

$$\tau_p = \sigma_n \tan(\phi_r') [1 + g] \quad (2.5)$$

Onde: τ_p – resistência de pico ao cisalhamento da junta; σ_n – tensão normal média aplicada; σ_t – resistência à tração; ϕ_r' – ângulo de atrito residual (medido após deslocamento de 5mm); g – contribuição da morfologia da junta.

A contribuição da morfologia da superfície da junta é dada pelos parâmetros expressos por:

$$g = e^{-(\theta^*_{\max}/9 A_0 C) (\sigma_n / \sigma_t)} \quad (2.6)$$

Onde: A_0 – área máxima de contato possível; θ^*_{\max} – ângulo máximo de mergulho aparente na direção do cisalhamento; θ^* – ângulo mínimo de mergulho aparente na direção do cisalhamento; C – parâmetro de rugosidade (calculada usando uma função de regressão de melhor ajuste, que caracteriza a distribuição dos ângulos de mergulho aparente sobre a superfície); 9 – parâmetro de ajuste adimensional.

Segundo GRASSELLI e EGGER (2003), o ângulo de atrito residual é influenciado diretamente pela distribuição espacial e magnitude das rugosidades. Quanto maior a rugosidade maior o ângulo de atrito residual. Rochas com planos de xistosidade, tais como gnaisse, condicionam os valores de ângulo de atrito residual igual ao básico. O ângulo de atrito básico pode ser considerado uma estimativa conservadora do limite inferior do ângulo de atrito residual, expresso por:

$$\phi_r^* = \phi_b + \beta_r = \phi_b + (\theta^*_{\max}/C)^{1,18} \cos \alpha \quad (2.7)$$

Onde: ϕ_b – ângulo de atrito básico; θ^*_{\max} – ângulo máximo de mergulho aparente na direção do cisalhamento; C – parâmetro de rugosidade; α – ângulo entre o plano de xistosidade e a normal da junta. Caso não haja xistosidade, o parâmetro é assumido zero; β_r – a contribuição da rugosidade para o ângulo de atrito residual.

O modelo proposto por GRASSELLI (2001) difere dos anteriores pela introdução de parâmetros tridimensionais que caracterizam a superfície da junta, permitindo considerar anisotropia de superfície e a micro-mecânica direcional das juntas.

SEIDEL e HABERFIELD (2002), com base em ensaios de cisalhamento direto em juntas rugosas incluindo perfis de irregularidades triangulares, propuseram a tensão cisalhante de ruptura dada por:

$$\tau_f = \tan(\phi_b + \theta) (\sigma_{no} + K x_f \tan\theta) \quad (2.8)$$

$$x_f = \lambda(\sigma_{cr} - 2\zeta_\theta \sigma_{no}) / (\sigma_{cr} + 2\lambda \zeta_\theta \kappa \tan\theta) \quad (2.9)$$

Onde: τ_f - tensão cisalhante global de ruptura; ϕ_b - ângulo de atrito básico; θ - ângulo entre a horizontal e a face triangular; σ_{no} - tensão normal global inicial; K - rigidez global; x_f - deslocamento cisalhante na ruptura; σ_{cr} - componente normal de Sokolovsky corrigida na tensão de ruptura; ζ_θ - fator de forma; λ - metade do comprimento da irregularidade; κ - fator de correção de ruptura.

SEIDEL e HABERFIELD (2002) destacam que o mecanismo de ruptura das irregularidades triangulares é análogo à ruptura do tipo rotacional de taludes. Entretanto, o método de estabilidade para análise dos planos de ruptura das irregularidades foi descartado devido à complexidade de aplicação. Os autores adotaram a solução analítica de Sokolovsky para simular o comportamento de interfaces de juntas com irregularidades triangulares. Atentando-se às interações elásticas entre irregularidades, a solução pode ser estendida há perfis com rugosidade complexa e aleatória. A solução de Sokolovsky é função dos parâmetros de resistência do material, da orientação da tensão e do ângulo das irregularidades, sendo independente da escala. O processo de cisalhamento é explicado por cinco fases simultâneas:

1. O deslocamento cisalhante é inicialmente afetado pelo deslizamento nas irregularidades mais íngremes;
2. Os deslocamentos causam dilatação;
3. A dilatação provoca a concentração de tensões nas zonas mais íngremes e elimina o contato nas irregularidades mais rasas;
4. Para um dado deslocamento crítico, em zonas de concentração de tensão, o esforço cisalhante nas irregularidades excede a resistência;

5. A ruptura das irregularidades resulta na transferência de esforços para demais zonas de contato, ocorrendo o cisalhamento progressivo das asperezas e, portanto, de toda interface.

O modelo teórico desenvolvido para simular o comportamento das juntas durante o cisalhamento de rochas brandas não considera deformações no modelo.

2.2 PARÂMETROS DE INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

A resistência ao cisalhamento em juntas é oriunda da resistência por atrito no contato entre superfícies deslizantes e da morfologia das superfícies das juntas. A resistência por atrito é determinada por meio do ângulo de atrito básico (ϕ_b), que por sua vez é função da resistência da rocha e sua composição mineral. O parâmetro geométrico é estimado com método compatível para análise da morfologia da superfície (TSE e CRUDEN, 1979).

Segundo BARTON (1973), KULATILAKE *et al.* (1995), RE e SCAVIA (1999), GENTIER *et al.* (2000), YANG *et al.* (2001), LOPEZ *et al.* (2003), FATHI *et al.* (2016), o mecanismo de resistência ao cisalhamento das juntas é fortemente associado à geometria da superfície, às propriedades mecânicas das rochas e às condições de carregamento. GRASSELLI e EGGER (2003) destacam que o aumento da tensão normal reduz a influência da morfologia da superfície na resistência ao cisalhamento.

Dentre os vários parâmetros que influenciam a resistência ao cisalhamento das juntas, a rugosidade e a resistência à compressão da junta são os mais importantes, tendo sido considerados pelo critério de ruptura de juntas de BARTON (1973).

2.2.1 RUGOSIDADE

O termo rugosidade tange as irregularidades da superfície de juntas em escala centimétrica (escala de laboratório), enquanto que ondulação se refere à escala métrica (escala *in situ*). A escala da rugosidade determina o comportamento da junta ao ser cisalhada. As superfícies de descontinuidades com ondulações em contato e interligadas sofrem dilatação, uma vez que possuem dimensões que resistem ao esforço cisalhante.

As irregularidades de pequena escala podem apresentar comportamento dilatante quando apresentam alta resistência ou baixos níveis de tensão. Caso contrário as irregularidades são desgastadas (ISRM, 1978a).

A rugosidade de superfícies pode ser avaliada de forma qualitativa e quantitativa. Ao longo das últimas décadas foram desenvolvidas novas técnicas de medidas da rugosidade de superfícies. A confiabilidade dos dados medidos em cada técnica de medição está relacionada com a precisão dos dados adquiridos e o estudo no qual os dados serão inseridos (DEVELI *et al.*, 2001).

A escolha do método de mensuração das irregularidades para uma aplicação específica é condicionada ao tamanho da amostra que pode ser avaliada, velocidade de medição, precisão, repetibilidade, resolução espacial, facilidade de medição, facilidade de análise de dados e adequação para uso *in situ*. Desta forma, a técnica de medição utilizada deve considerar o problema em estudo. Os dados inferidos pelo sistema de medição da rugosidade são o ponto de partida dos estudos empíricos, o que justifica a importância do sistema de quantificação (GRASSELLI, 2001).

Por meio de estudos de campo e de laboratório, PATTON (1966) verificou a influência da rugosidade das superfícies das juntas sobre a resistência ao cisalhamento. A caracterização das descontinuidades é uma etapa preliminar de estudo dos maciços rochosos que permite estimar um comportamento mecânico realístico. ZHANG *et al.* (2014) destacam que uma das tarefas mais desafiadoras na mecânica de rochas é caracterizar as descontinuidades em relação à abertura, rugosidade, propriedades de preenchimento e persistência.

BARTON (1973) explica o significado da rugosidade no cisalhamento de juntas por meio da Figura 2.2. Nota-se que, na Figura 2.2a, a junta tem uma superfície inclinada, idealizada e lisa. O deslizamento é apenas iniciado quando a força resultante é inclinada em um ângulo ϕ_b a partir da normal à superfície inclinada. Portanto, a tangente do "ângulo de atrito total" é igual à relação H/N . A inclinação real envolve diferentes valores de i (Figura 2.2b). Se o bloco hipotético for extraído para ensaio de cisalhamento, a resultante das forças H e N será inclinada e, portanto, a relação H/N é dada por $\tan(\phi_b + d_n + s_n)$, conforme Figura 2.2c. A componente angular d_n corresponde ao ângulo de dilatação de pico e é igual à inclinação instantânea de pico dv/dh ao longo da superfície de deslizamento.

A componente angular d_n é um parâmetro fenomenológico importante da resistência ao cisalhamento, uma vez que, para uma determinada tensão normal, representa o caminho mínimo de energia entre o modo "deslizamento" e o "cisalhamento" da junta. A componente de cisalhamento s_n , que representa a ruptura do material intacto (irregularidades), aumenta com o aumento da tensão normal, enquanto o ângulo de dilatação de pico faz exatamente o oposto.

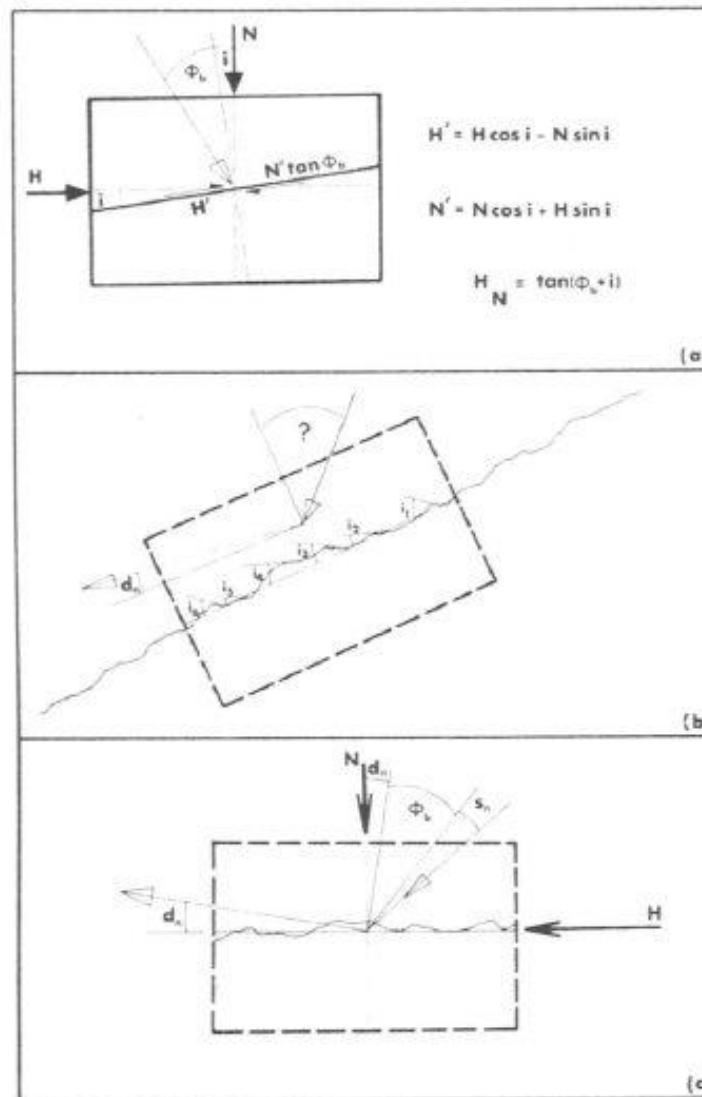


Figura 2.2 - Componentes da resistência ao cisalhamento para junta não planar (BARTON, 1973).

Em relação à quantificação da rugosidade, dentre várias técnicas de caracterização da geometria das superfícies, a classificação de ISRM (1978a) e de BARTON e CHOUBEY (1977) são as de maior representatividade e aplicação. Em ambos os casos a análise é realizada por comparação entre um único perfil representativo da superfície da junta e perfis padrão.

A ISRM (1978a) classifica a rugosidade em três grupos de perfis: recortada, ondulada e planar. Cada categoria é subdividida em mais três perfis superficiais: rugosa, lisa e polida (Figura 2.3). O perfil polido somente é válido para casos de deslocamentos cisalhantes já ocorridos ao longo da descontinuidade.

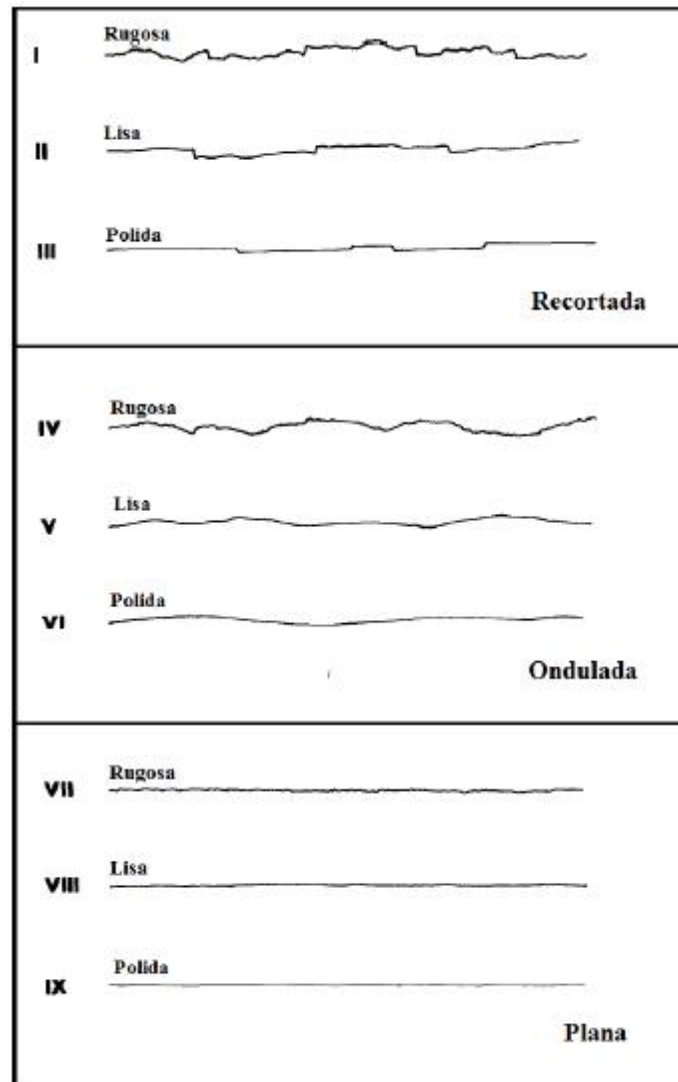


Figura 2.3 - Classificação da rugosidade da descontinuidade (adapt. ISRM, 1978a).

BARTON e CHOUBEY (1977) propuseram a mensuração da rugosidade das superfícies introduzindo o conceito de coeficiente de rugosidade de junta (JRC). A análise pode ser feita por meio de:

1. Comparação visual de um perfil da superfície da junta com perfis de rugosidade padrão, atribuindo valores de 0 a 20 em 10 perfis de rugosidade (Figura 2.4);
2. Ensaio de rampa (*tilt test*);

3. Métodos estatísticos ou fractais.

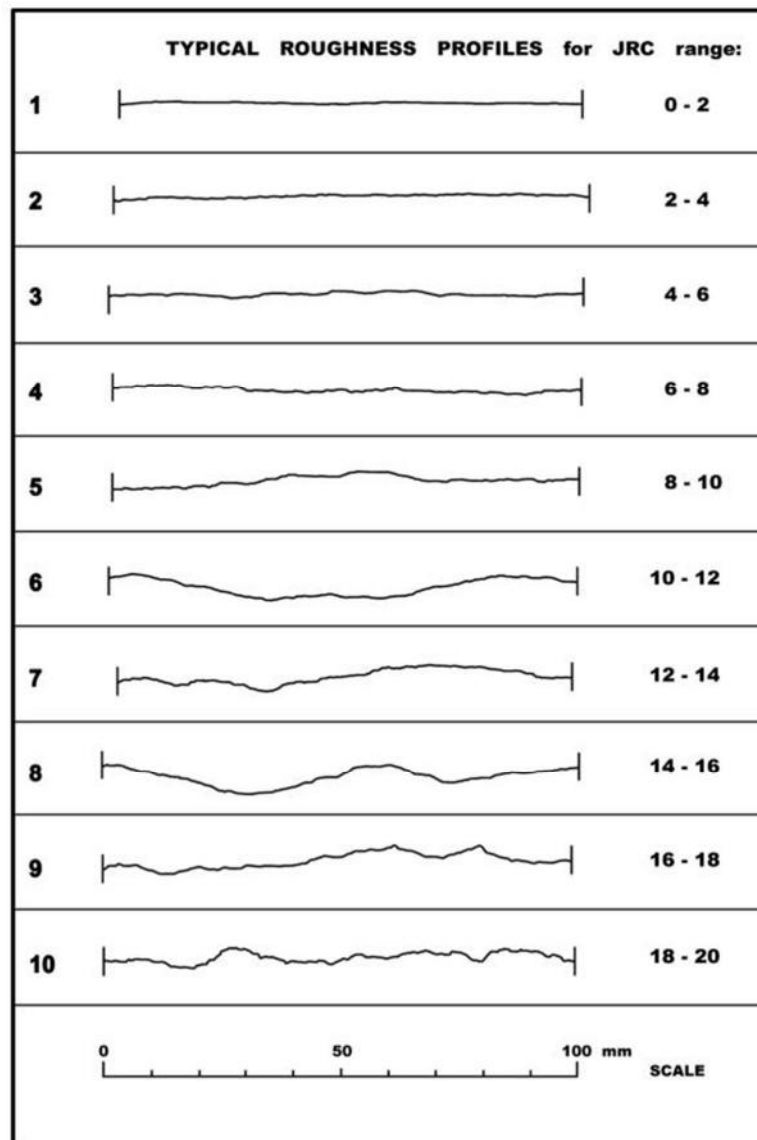


Figura 2.4 - Classificação de JRC (BARTON e CHOUBEY, 1977).

O ensaio de rampa consiste em verificar o ângulo de inclinação da base giratória, sobre a qual está disposta a amostra separada em dois blocos com superfícies sobrepostas, capaz de induzir o deslizamento entre as superfícies.

O valor de JRC é relacionado ao ângulo de inclinação máxima da rampa (α) para qual não ocorre deslizamento entre as superfícies (BARTON e BANDIS, 1990), por meio da expressão:

$$JRC = \frac{\alpha - \phi_r}{\log \left[\frac{JCS}{\sigma_n} \right]} \quad (2.10)$$

Onde: α – ângulo de pré deslizamento; ϕ_r – ângulo de atrito residual; JCS – coeficiente de resistência à compressão da junta; σ_n – tensão normal.

O teste de rampa é indicado para juntas com ruptura em ângulo de inclinação máximo entre 55° e 80° e valores de JRC inferiores a 10. Para o ângulo de inclinação máximo próximo a 90° ocorre o tombamento da amostra anteriormente ao deslizamento. Para amostras com JRC superior a 10 é geralmente impossível realizar o ensaio, recomendando-se a aplicação de testes de tração horizontal (BARTON e BANDIS, 1990).

O perfil de rugosidade de superfícies pode ser medido por meio de extensômetros, conectados a sistemas de aquisição de dados, que em contato com a superfície da junta medem o deslocamento vertical ao longo de uma linha. Os dispositivos necessários são simples e permitem quantificar de forma direta e prática o perfil de rugosidade real mais próximo aos perfis de JRC.

Foram desenvolvidos novos métodos para determinação do valor de JRC como análises fractal e estatística. Estas análises são realizadas sobre apenas um perfil bidimensional na superfície da junta, não considerando a distribuição espacial das irregularidades. Consequentemente, o valor medido de JRC não representa a máxima contribuição da morfologia das irregularidades a resistência ao cisalhamento.

TSE e CRUDEN (1979) propõem expressões para determinação de JRC, considerando a digitalização dos 10 perfis padrão de BARTON e CHOUBEY (1977) e a medida de oito parâmetros estáticos. Sobre a linha central da superfície da junta as irregularidades podem ser medidas através do desvio médio dado pela raiz do quadrado médio (RMS) ou pela média da linha central (CLA). Baseado na medida do RMS são obtidos 3 parâmetros: Z_2 , Z_3 , Z_4 . Os parâmetros estatísticos MSV e ACF são definidos considerando a distribuição das alturas das irregularidades em um perfil representativo. SF quantifica a variação da textura da superfície, independente do plano médio. Os parâmetros que melhor se correlacionam com JRC são Z_2 e SF. As equações da Tabela 2.1 são indicadas para superfícies de juntas difíceis de determinar o JRC e para baixas tensões normais aplicadas. A caracterização numérica evita subjetividade da análise do valor de JRC, resultando em uma estimativa mais precisa da rugosidade.

Tabela 2.1 - Parâmetros estatísticos para determinação de JRC (adapt. TSE e CRUDEN, 1979).

Parâmetro estatístico	JRC
$RMS = \sqrt{\frac{1}{M} \int_{x=0}^{x=M} y^2 dx}$	JRC = 2,37 + 70,97 (RMS)
$CLA = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} y dx$	JRC = 2,76 + 78,87 (CLA)
$Z_2 = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} (dy / dx)^2$	JRC = -4,41 + 64,46 (Z_2)
	JRC = -5,05 + 1,20tan ⁻¹ (Z_2)
	JRC = 32,20 + 32,47log (Z_2)
$Z_3 = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} (d^2 y / dx^2) dx$	JRC = -6,84 + 4,06 (Z_3)
$Z_4 = (\sum (x_i)_{positive} - \sum (x_i)_{negative}) / L$	JRC = 10,14 - 2,68 (Z_4)
$MSV = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} y^2 dx$	JRC = 5,43 + 293,97 (MSV)
$ACF = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} f_{(x)} f(x + Dx) dx$	JRC = 5,47 + 293,80 (ACF)
$SF = \int_{x=0}^{x=L} (f_{(x)} - f(x + Dx))^2$	JRC = 2,69 + 245,70 (SF)
RMS - quadrado médio da raiz; CLA - média da linha central; Z_2 - primeira derivada de RMS; Z_3 - segunda derivada RMS; Z_4 - percentual do excesso de distância medido ao longo do perfil, onde a inclinação é positiva (direção do deslocamento para cima) ao longo da distância em que a inclinação é negativa; MSV - valores médios quadrados; ACF - função de auto correlação, SF - função de estrutura.	

MANDELBROT (1977), reportado por LEE *et al.* (1990), introduziu o conceito de dimensões fracionárias. Uma dimensão fracional ou fractal possui a propriedade de auto similaridade. No campo euclidiano uma linha perfeitamente reta é dita 1-D, um plano ideal é 2-D e uma esfera ideal é 3-D. Curvas com partes indistinguíveis do todo ou com forma invariável com a escala de medição são ditas com auto similaridade

Os parâmetros fractais são também adequados para medir a rugosidade das juntas por serem independentes da escala de medição. Para estimar a dimensão fractal dos perfis de rugosidade D tem-se os métodos: divisor, contagem de áreas (*Box Counting*), variograma, espectral, comprimento de rugosidade, medida linear (SANEI *et al.*, 2015). A Tabela 2.2 apresenta as equações empíricas para estimar JRC utilizando D.

Tabela 2.2 - Equações empíricas para estimar JRC utilizando D (adapt. LI e HUANG, 2015).

No.	Equação	Método	R	SI	JRC ⁰	D Faixa [#]	Perfis	Referências
T1	$JRC = -1138,6 + 1141,6D$	C-W*	-	-	3	1,0 - 1,0149	Y	Turk <i>et al.</i> (1987)
T2	$JRC = -1022,55 + 1023,92D$	C-W*	0,9800	-	1,3700	1,0 - 1,0182	Y	Carr e Warriner (1987)
T3	$JRC = 209,7517D - 204,1486$	C-W	0,9470	0,5	5,6031	1,0 - 1,0686	N	Qin <i>et al.</i> (1993)
T4	$JRC = 172,206D - 167,2946$	C-W	0,998	-	4,9114	1,0 - 1,0876	Y	Zhou e Xiong (1996)
T5	$JRC = 7811778,928D^3 - 23723041,6842D^2 + 24014672,3562D - 8103409,7809$	C-W [#]	0,9930	0,05	-0,181	1,0 - 1,0144	Y	Bae <i>et al.</i> (2011)
T6	$JRC = 1000 (D-1)$	C-W*	-	-	0	1,0 - 1,0200	Y	Carr e Warriner (1987)
T7	$JRC = 1870 (D-1)$	C-W ^{MR}	-	0,68	0	1,0 - 1,0107	Y	Maerz e Franklin (1990)
T8	$JRC = 1647 (D-1)$	C-W	0,9600	-	0	1,0 - 1,0121	N	Liu (1993)
T9	$JRC = 1195,38 (D-1)$	C-W	-	-	0	1,0 - 1,0167	Y	Lamas (1996)
T10	$JRC = 479,396 (D-1)^{1,0566}$	C-W	-	-	0	1,0 - 1,0495	Y	Zhou e Xiong (1996)
T11	$JRC = 29,35 (D-1)^{0,46}$	C-W	0,905	0,02	0	1,0 - 1,4343	N	Jia (2011)
T12	$JRC = 150,5335 (D-1)^{0,5}$	C-W	-	-	0	1,0 - 1,0177	Y	Wakabayashi e Fukushima (1992)

No.	Equação	Método	R	SI	JRC ⁰	D Faixa [#]	Perfis	Referências
T13	$JRC = -0,87804 + 27,7844(D-1)/0,015 - 16,9304[(D-1)/0,15]^2$	C-W	0,9500	1	-0,8780	1,0005 - 1,0113	Y	Lee <i>et al.</i> (1990)
T14	$JRC = 28,5 - 33,18/[1+150(D-1)]$	C-W	0,999	0,5	-4,6800	1,0011 - 1,0194	N	Xu <i>et al.</i> (2012)
T15	$JRC = 100(D-1)^{0,4} (1-(1/EXP[300(D-1)]))$	C-W	-	0,5	0	1,0 - 1,0181	N	Xu <i>et al.</i> (2012)
T16	$JRC = 60(D-1)^{1,2}/[0,006 + (D-1)]$	C-W	-	0,5	0	1,0 - 1,0177	N	
T17	$JRC = 15179W_d (D-1)^{1,46}$	B-C	-	-	0	-	Y	Chen (2012)
T18	$JRC = 53,7031(D-1)^{0,3642}$	h-L ¹	0,9850	-	0	1,0 - 1,0664	N	Askari e Ahmadi (2007)
T19	$JRC = 85,2671 (D-1)^{0,5679}$	h-L ²	-	-	0	1,0 - 1,0778	Y	Xie e Pariseau (1994)

Obs.: SI: Intervalo de amostragem; R: coeficiente de correlação; JCR0: valor estimado de JRC para um plano pouco rugoso; D Range#: intervalo aplicável de valor independente; C-W: Medida com compasso, $D = -\Delta \log N / \Delta \log r$; C-W#: Medida com compasso em intervalo definido, $D = -\Delta \log [N+(f/r)] / \Delta \log r$; C-WMR: Medida com compasso; $D = 1 - \Delta \log(Nr) / \Delta \log r$; B-C: *Box counting*; $-\Delta \log G / \Delta \log e$; h-L¹: $D = \log 4 / \log \{4 \cos[\arctan(2h/L)]\}$; h-L²: $D = \log 4 / \log \{2(1 + \cos[\arctan(2h/L)])\}$; Wd : grau de ondulação, igual a r/L, r altura das irregularidades e L o comprimento projetado do perfil.

Observa-se que a maioria das equações empíricas da Tabela 2.2, representadas por T1, T2, T5, T6, T7, T9, T10, T12, T13 e T17, foram derivadas dos 10 perfis padrão de JRC propostos por BARTON e CHOUBEY (1977). As Equações T14 e T16 foram derivadas de 10 perfis publicados por XU *et al.* (2012). A Equação T3 foi derivada de sete perfis publicados por QIN *et al.* (1993). A Equação T11 foi derivada de 42 perfis publicados por JIA (2011). Nenhuma descrição clara da fonte de dados foi dada para o resto das equações (LI e HUANG, 2015).

2.2.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA JUNTA

A resistência à compressão da junta é uma componente importante tanto da resistência ao cisalhamento quanto da deformabilidade, principalmente para juntas sem material de preenchimento. Durante o processo de cisalhamento o contato entre as irregularidades produz tensões locais que ao atingirem valor próximo a resistência à compressão da junta danificam as áreas de contato (ZHAO, 1997). A determinação da resistência à compressão da junta pode ser realizada com Martelo Schmidt (MILLER, 1965; BARTON e CHOUBEY, 1977).

O ensaio com Martelo Schmidt consiste em posicionar perpendicularmente o martelo em relação à superfície da junta, tracionando-se a mola interna até a liberação da massa conectada. A massa ao ser liberada comprime a mola contra a superfície. A massa é lançada com a deflexão da mola, em direção oposta à superfície, contra o êmbolo, resultando no rebote R, que é associado ao valor da resistência à compressão da superfície ensaiada.

A energia de impacto da massa é subdividida: em energia absorvida (trabalho realizado na deformação plástica da rocha), energia transformada em calor e som, e energia de resistência à penetração da massa na superfície. A resistência à penetração da superfície rochosa indica sua dureza. A dureza da rocha permite o lançamento da massa contra o êmbolo. Quanto mais dura a rocha menor o tempo de penetração ou profundidade e menor trabalho ou perda de energia, logo, maior rebote (AYDIN e BASU, 2005).

A interpretação dos resultados é influenciada pelas irregularidades ao longo da superfície das juntas. A ação do intemperismo dificulta a análise de resultados, principalmente nos casos em que a intemperização ocorre em profundidade (BARTON, 1973; WILLIAMS e ROBINSON, 1983; OLIVEIRA, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

DAY e GOUDIE (1977), e WILLIAMS e ROBINSON (1983) indicam que a umidade e rugosidade da superfície das juntas reduzem os valores de rebote. SUMNER e NEL (2002) afirmam que efeito redutivo da umidade no valor de rebote é função do tipo de rocha. BALLANTYNE *et al.* (1990) e SUMNER e NEL (2002) concluíram que a presença de água em vazios subsuperficiais pode aumentar os valores de rebote.

Para McCARROLL (1991) as irregularidades da superfície não são um fator limitador ao uso do Martelo Schmidt. Eventuais discrepâncias dos valores de rebote não podem ser associadas discriminadamente à presença das irregularidades e degradação.

As principais referências normativas para o ensaio com Martelo Schmidt são ISRM (1978b) e ASTM D5873 – 14 (2014). Ressalta-se ainda a pesquisa desenvolvida por OLIVEIRA (2017) com este tipo de ensaio em juntas naturais sãs e alteradas, obtidas de testemunhos de sondagem.

KATZ *et al.* (2000), YAŞAR e ERDOĞAN (2004), FENER *et al.* (2005), AYDIN e BASU (2005), KILIÇ e TEYMEN (2008), GOKCEOGLU *et al.* (2009), TORABI *et al.* (2010) e HEIRADI *et al.* (2013) desenvolveram correlações empíricas entre os valores de rebote e a resistência à compressão uniaxial da rocha intacta e/ou resistência à compressão da junta de diferentes tipos de rochas (Tabela 2.3 e Figura 2.5).

Tabela 2.3 - Correlações entre valores de rebote com Martelo Schimdt e resistência à compressão uniaxial para diferentes tipos de rochas.

Autor	Classificação	Tipo de Rocha	Local
Katz <i>et al.</i> (2000) ¹	Sedimentar	Giz (<i>Maresha</i>)	<i>Bet Guvrin, Israel</i>
	Sedimentar	Calcário (<i>Cordoba</i>)	<i>Austin-Texas, USA</i>
	Sedimentar	Arenito (<i>Berea</i>)	<i>Amherst-Ohio, USA</i>
	Sedimentar	Calcário (<i>Indiana</i>)	<i>Bedford-Indiana, USA</i>
	Metamórfica	Mármore (<i>Carrara</i>)	<i>Carrara, Itália</i>
	Ígnea	Sienito (<i>Gevanim</i>)	<i>Ramon, Israel</i>
	Ígnea	Granito (<i>Mt Scott</i>)	<i>Wichita-Oklahoma, USA</i>
$\sigma_c = 2,208e^{0,067RN}$			
Fener <i>et al.</i> (2005) ¹	Ígnea	Basalto	<i>Melendizdagi, Turquia</i>
	Ígnea	Granito	<i>Uckapili, Turquia</i>
	Ígnea	Andesito	<i>Azatli, Turquia</i>
	Ígnea	Andesito	<i>Tepekoy, Turquia</i>
	Ígnea	Metagabro	<i>Uckapili, Turquia</i>
	Ígnea	Granodiorito	<i>Uckapili, Turquia</i>
	Metamórfica	Quartzito	<i>Gumusler, Turquia</i>
	Metamórfica	Mármore	<i>Gumusler, Turquia</i>
	Metamórfica	Mármore	<i>Uckapili, Turquia</i>

Autor	Classificação	Tipo de Rocha	Local
Fener <i>et al.</i> (2005) ¹	Sedimentar	Calcário	<i>Basmakci, Turquia</i>
	Sedimentar	Travertino	<i>Gokbez, Turquia</i>
	$\sigma_c = 4,24e^{0,059RN}$		
Aydin e Basu (2005) ^(1, 2)	Ígnea	Granito	<i>Hong Kong, China</i>
	$\sigma_c = 0,92e^{0,07RN}$		$\sigma_c = 1,45e^{0,07RL}$
Kiliç e Teymen (2008) ¹	Ígnea	Diorito	<i>Anatolia, Turquia</i>
	Metamórfica	Quartzito	
	Sedimentar	Calcário	
	Sedimentar	Arenito	
	Ígnea	Granodiorito	
	Ígnea	Basalto	
	Metamórfica	Mármore	
	Ígnea	Traquito	
	Sedimentar	Travertino	
	Ígnea	Andesito	
$\sigma_c = 0,0137RN^{2,2721}$			
Yasar e Erdogan (2004) ²	Sedimentar	Calcário	<i>Ceyhan, Turquia</i>
	Metamórfica	Mármore	<i>Barbaros, Turquia</i>
	Sedimentar	Calcário	<i>Antique Cream, Turquia</i>
	Metamórfica	Mármore	<i>Osmaniye, Turquia</i>
	Sedimentar	Arenito	<i>Handere, Turquia</i>
	Ígnea	Basalto	<i>Toprakkale, Turquia</i>
$\sigma_c = 4.10^{-6} RN^{4,2917}$			
Torabi <i>et al.</i> (2010) ²	Sedimentar	Siltito	<i>Tazareh, Irã</i>
	Sedimentar	Arenito	
	Metamórfica	Xisto	
	Sedimentar	Arenito fino a médio	<i>Zemestan Yort-Leste, Irã</i>
	Sedimentar	Siltito	
	Metamórfica	Xisto Fossilífero	
	Sedimentar	Arenito	<i>Zemestan Yort-Oeste, Irã</i>
	Sedimentar	Arenito Argiloso	
	Sedimentar	Arenito fino	<i>Takht, Irã</i>
	Sedimentar	Siltito	<i>Olang, Irã</i>
	Sedimentar	Arenito	
	Sedimentar	Siltito	
	Sedimentar	<i>Argilito</i>	
$\sigma_c = 0,0465RN^2 - 0,1756RN + 27,682$			
Gokceoglu <i>et al.</i> (2009) ³	Ígnea	Granitóide	<i>Turquia</i>
Heiradi <i>et al.</i> (2013) ³	Ígnea	Granito	<i>Malayer</i>
	Ígnea	Granitóide	

1 - martelo tipo N; 2 - martelo tipo L; 3 - tipo de martelo não informado.

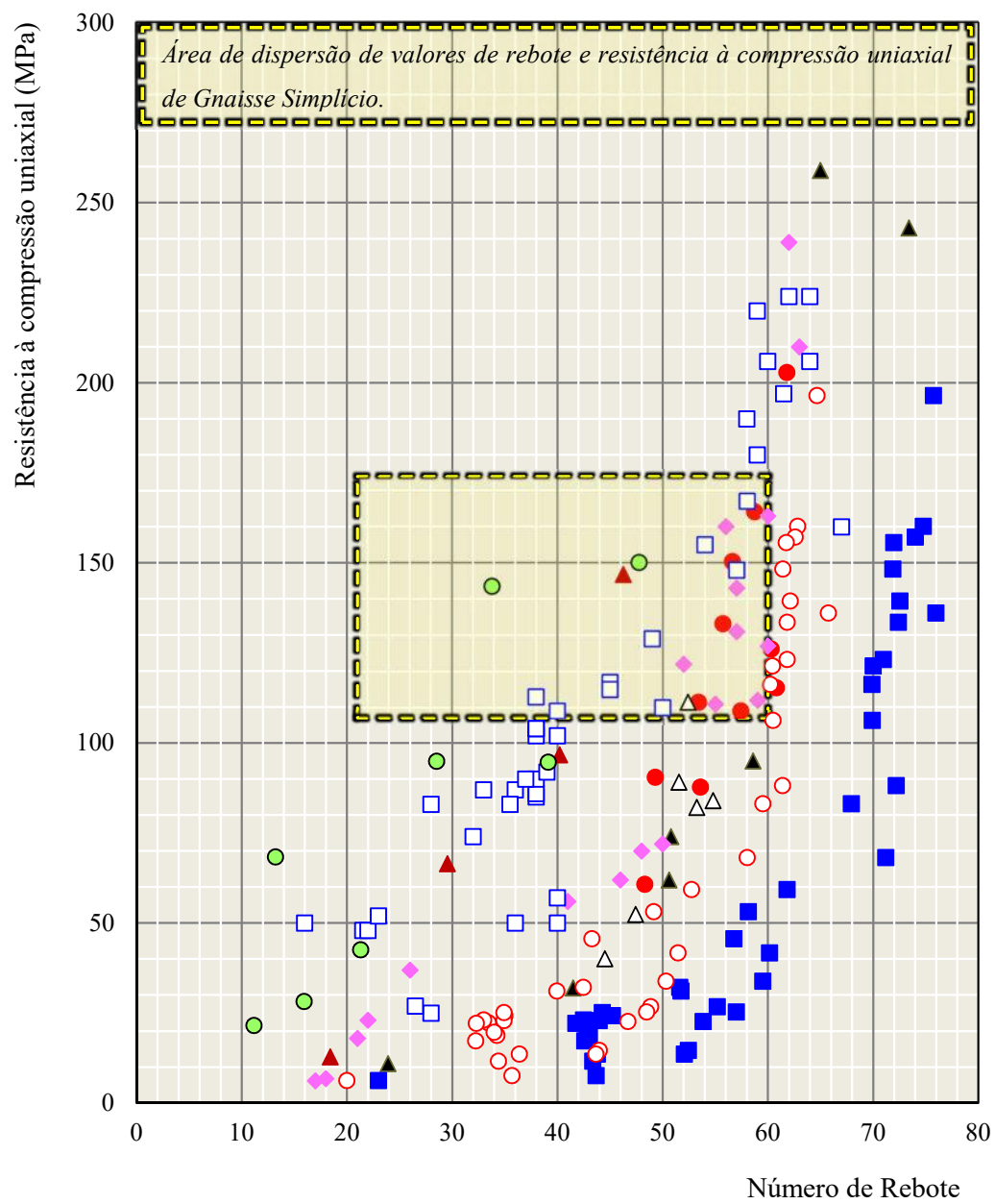


Figura 2.5 - Correlações entre valores de rebote do Martelo Schmidt e resistência à compressão uniaxial para diferentes tipos de rochas.

2.2.3 INTEMPERISMO

O intemperismo é o conjunto de processos físicos e químicos, que desagregam e decompõem as rochas, respectivamente. O intemperismo físico promove a desintegração da rocha sem alteração mineral, enquanto o intemperismo químico resulta da decomposição dos minerais constituintes em produtos minerais secundários estáveis ou metaestáveis (MISCEVIC e VLASTELICA, 2009, 2014).

O intemperismo afeta as propriedades mecânicas do material rochoso em superfície e em profundidades. O processo físico produz a geração e abertura de descontinuidades no maciço rochoso, fragmentando-o progressivamente até atingir níveis mais avançados de intemperismo, no qual se obtêm um material com características próximas ao solo (ARIKAN e AYDIN, 2012).

Os principais agentes do processo físico ou mecânico são vento, mudanças de temperatura, estágios de congelamento-descongelamento, erosão por córregos e rios e atividades humanas como o desmonte mecânico e com explosivos. Enquanto que os químicos são reações de hidratação, oxidação, hidrólise, dentre outras, que ocorrem pela percolação de águas poluídas ou saturadas de ácidos. Os minerais das rochas em contato com os agentes químicos formam no estágio mais avançado de intemperismo químico as argilas, óxidos de ferro e sais.

Segundo MISCEVIC e VLASTELICA (2014), a desagregação de materiais rochosos decorre do desenvolvimento de fissuras e da dissolução superficial em contato com a água. Estruturas internas nos maciços rochosos, como juntas de acamamento, são mais susceptíveis à exposição de agentes externos, como a penetração de água, aumentando a pressão nas juntas e resultando no aumento da sua abertura. Em contrapartida quando há um alívio de tensões devido a algum agente externo, há a geração de novas juntas, e conseqüentemente mais frentes de intemperismo físico e químico.

A resistência da rocha ao intemperismo depende do tipo de mineral da zona superficial e da porosidade. A estrutura dos minerais dominantes determina seu grau de estabilidade quanto aos processos de intemperização. A taxa de intemperismo é influenciada pelo clima (amplitude térmica e taxa de precipitação), taxa de percolação da água, oxidação da zona de intemperismo (ROBISON *et al.*, 1994; SRI-IN, 2007).

Os efeitos do intemperismo nos materiais rochosos podem ser averiguados em propriedades geotécnicas como: densidade seca, índice de vazios, teor de argila e velocidade de onda. Os sistemas de classificação do intemperismo podem ser divididos

em qualitativo-descritivos e quantitativos. Os métodos qualitativos são insuficientes para estimar as propriedades mecânicas e o comportamento de engenharia das rochas (HEIDARI *et al.*, 2013).

Os índices de alteração quantificam a extensão da alterabilidade do material rochoso. Pode-se utilizar os índices de alteração como parâmetros de entrada de critérios de resistência e propriedades de deformação das rochas, assim como determinar o grau do intemperismo do material. Por meio de testes químicos e geotécnicos determina-se relações estatísticas entre índices de alterabilidade e a resistência à compressão uniaxial, a resistência à tração, ao módulo tangente de elasticidade e ao módulo de deformação.

MAIA (2001) divide os índices de alteração em: petrográficos e mineralógicos, geoquímicos, propagação de ondas ultrassônicas, granulométricos, físicos e geomecânicos. O autor destaca também a caracterização dos materiais rochosos que servem como indicadores da alterabilidade do material tais como os ensaios de abrasão Los Angeles, microdureza Vickers, impacto Treton, ensaios de sanidade a sulfatos de sódio e magnésio, ataque pelo etilino-glicol e água oxigenada, além do ensaio de durabilidade (*slake durability*). Ainda emprega os ensaios com Martelo Schmidt para análise do intemperismo em material rochoso

A análise do processo de intemperismo *in situ* deve estar associada ao tipo de intemperismo dominante no local. A análise química do intemperismo em zona com predomínio de alteração física tem pouca representatividade (UNDUL e TUGRUL, 2012).

HEIDARI *et al.* (2013) determinaram correlações entre grau de intemperismo de rochas do tipo granito e granodiorito e propriedades físico-mecânicas tais como resistência à compressão uniaxial, resistência à tração, carga pontual, índice de absorção de água e porosidade da rocha, apresentadas na Tabela 2.4. Dentre os ensaios mecânicos, a resistência à tração é o parâmetro mais susceptível à redução. Verifica-se a quebra de ligações intergranulares e o aumento de microfraturas com aumento do intemperismo e, conseqüentemente, a redução da resistência à tração. As amostras de granodiorito no estado não intemperizado apresentam textura cristalina com grãos finos e propriedades de resistência elevadas. Entretanto, suas propriedades físico-mecânicas diminuem mais acentuadamente do que as amostras de granito, tendo em vista a sua mineralogia mais susceptível aos processos de intemperismos do que a do granito, corroborando a importância da mineralogia da rocha no processo de alteração.

Tabela 2.4 - Intemperismo e propriedades físico-mecânica (HEIDARI *et al.*, 2013).

Variáveis	Equações	R ²	Equações	R ²
	Granito		Granodiorito	
WD vs. σ_t	WD = -2,935 σ_t + 14,891	0,99	WD = -4,11 σ_t + 21,698	0,98
WD vs. I_s	WD = -1,566 I_s + 8,534	0,94	WD = -1,907 I_s + 9,487	0,97
WD vs. UCS	WD = -33,414UCS + 164,1	0,93	WD = -36,564UCS + 177,41	0,97
WD vs. V_p	WD = -925,22 V_p + 5007,3	0,87	WD = -1241.6 V_p + 6642,7	0,93
WD vs. E_t	WD = -10,121 E_t + 41,755	0,97	WD = -9,448 E_t + 36,34	0,92
WD vs. E_s	WD = -0,941Ln(E_s) + 3,669	0,95	WD = -3,262 E_s + 15,696	0,89
WD vs. SHR	WD = -6,02SHR + 39,972	0,99	WD = -26,55Ln(SHR) + 49,668	0,89
WD vs. G_s	WD = -0,0379 G_s + 2,6933	0,92	WD = 2,8202e ^{-0,022G_s}	0,83
WD vs. γ_d	WD = -0,091 γ_d + 2,7332	0,96	WD = 2,9255e ^{-0,049γ_d}	0,87
WD vs. QAI	WD = 0,838QAI - 0,702	0,94	WD = 0,1086e ^{0,7652QAI}	0,95
WD vs. n	WD = 2,1.n + 1,686	0,96	WD = 0,3288e ^{0,06836n}	0,97

σ_t – resistência à tração (ISRM,1978c); I_s – resistência de carga pontual (ISRM, 1985); UCS – resistência à compressão uniaxial; V_p – velocidade de onda – P (ISRM, 1981); E_s e E_t – módulos de elasticidade secante e tangente (ISRM,1979); SHR – número de rebote do Martelo Schmidt; G_s – Densidade dos grãos; γ_d – Peso específico seco; QAI – índice de rápida absorção da água; n – porosidade total.

AREL e TUGRUL (2001) realizaram análises petrográficas, mineralógicas e químicas em amostras de granodiorito para determinar o mecanismo principal de intemperismo e as alterações resultantes nas propriedades de engenharia. Os autores verificaram o predomínio de processos físicos no intemperismo da rocha, determinando correlações entre resistência à compressão uniaxial e índices petrográficos e químicos, conforme apresentado na Tabela 2.5. Os autores verificaram que as propriedades físicas e mecânicas do granodiorito intemperizado variam em uma ampla faixa, dependendo do grau de intemperismo. Observou-se que o peso unitário e a resistência da rocha decrescem com o intemperismo, enquanto a porosidade aumenta. As características texturais e estrutura da rocha fornecem o controle mais direto sobre a resistência. Os granodioritos intemperizados são frequentemente texturizados, fracamente ligados e microfraturados

Tabela 2.5 - Equações empíricas para determinar a resistência à compressão uniaxial (adapt. AREL e TUGRUL, 2001).

Resistência à compressão uniaxial σ_c (MPa)	
Equação	Coefficiente de Correlação (r)
$\sigma_c = 31,55 - 143I_p$	0,94*
$\sigma_c = 12,37 - 52WPI$	0,81*
$\sigma_c = 92,40 - 1,213MWPI$	0,71
$\sigma_c = 277 - 1,851RR$	0,75
$\sigma_c = 810 - 818VR$	-0,75
$\sigma_c = 1,412 - 26CWI$	-0,71
$\sigma_c = 1,437 - 27,79CAI$	-0,71
$\sigma_c = 15,81 - 1,049PI$	0,75
$\sigma_c = 3,66 \cdot 10^{-13} e^{1,28} \gamma_d$	0,85*
$\sigma_c = 1,97 \cdot 10^{-8} e^{0,86} \gamma_s$	0,84*
$\sigma_c = 317 e^{-0,46} n_e$	-0,95*
$\sigma_c = 597 e^{-0,34} n_t$	-0,94*

I_p – índice micropetrográfico; WPI – índice potencial de intemperismo; $MWPI$ – índice potencial de intemperismo modificado; RR – *Ruxton ratio*; VR – *Vogt ratio*; CWI – índice de intemperismo químico; CAI – índice de alteração química; PI – *Parker index*; γ_d – Peso específico seco (kN/m^3); γ_s – Peso específico saturado (kN/m^3); n_e – Porosidade efetiva (%); n_t – Porosidade total (%).

Nota: 1. Sinal negativo designa uma correlação inversa; 2. * Estatisticamente significativo ao nível de confiança de 95%; 3. e – função exponencial.

BEGONHA e SEQUEIRA BRAGA (2002) verificaram a ação do intemperismo em 167 testemunhos de granito com diferentes graus de alteração. Foram avaliados parâmetros físicos como porosidade total (N_T), porosidade livre (N_{48}), coeficiente Hirschwald ($S_{48} = N_{48}/N_T$), densidade seca (d), velocidade ultra-sônica (v), resistência à compressão uniaxial (σ_c), módulo de elasticidade (E) e deformação na ruptura (ϵ).

Os parâmetros foram correlacionados entre si, conforme sumariado na Tabela 2.6. Os resultados sugerem que a porosidade livre, velocidade ultra-sônica, resistência à compressão uniaxial e módulo de elasticidade são fortemente influenciados pelo intemperismo, enquanto que a densidade seca é pouco influenciada. Todos os parâmetros diminuem durante o processo de intemperismo das amostras, exceto a porosidade total, porosidade livre e a deformação na ruptura que aumentam.

Tabela 2.6 - Correlações entre parâmetros físicos (BEGONHA e SEQUEIRA BRAGA 2002).

Correlações	r	n
$N_{48} = 0,001940 + 0,8669N_T$	(+) 0,995	60
$d = 2,6635 - 0,0293N_T$	(-) 0,980	60
$d = 2,6562 - 0,0309N_{48}$	(-) 0,994	167
$v = 6819,3507 - 101,1176N_T$	(-) 0,934	47
$v = 5282,6800 - 1713,0167 \times \ln(N_{48})$	(-) 0,944	150
$v = 4,3527 \times 202,5238^d$	(+) 0,932	150
$\sigma = 184,9028 \times 0,7952^{N_{48}}$	(-) 0,965	55
$\sigma = 4,2830 \times 10^{-6} \times d^{17,9721}$	(+) 0,954	55
$\sigma = -594,7097 + 85,8524 \times \ln(v)$	(+) 0,914	55
$E = 23,2826 \times 0,7262^{N_{48}}$	(-) 0,976	57
$E = 4,5065 \times 10^{-10} \times d^{25,2266}$	(+) 0,966	57
$E = -78,9227 + 11,0114 \times \ln(v)$	(+) 0,938	57
$E = 0,0183\sigma_c^{1,3646}$	(+) 0,991	55

n - número de amostras testadas para cada grau de intemperismo.

CERYAN *et al.* (2008) avaliaram a ação do intemperismo e atividade hidrotérmica nas propriedades físicas de rochas granitóides. Determinaram correlações entre índices petrográficos e químicos, propriedades físicas e parâmetros de resistência, apresentadas na Tabela 2.7. A velocidade de onda P é destacada como medida com maior confiabilidade para avaliar a alteração das rochas.

Tabela 2.7 - Correlações entre parâmetros físicos (CERYAN *et al.*, 2008).

Correlações	N	R
$\sigma_c = 48,583\ln(I_p) + 36,136$	56	0,89
$\sigma_t = 3,88\ln(I_p) + 3,0931$	56	0,87
$E_t = (0,672\ln(I_p) + 0,844)10^4$	37	0,86
$E_s = (0,4935\ln(I_p) + 0,569)10^4$	37	0,84
$\sigma_c = 2,992P - 7,2CWPI - 100,52$	56	0,78
$\sigma_t = 0,015P - 0,191CWPI + 10,93$	56	0,90
$E_t = (0,03P - 0,033CWPI + 2,10)10^4$	37	0,91
$\sigma_c = 1566,7I_{mob} + 2,94PI - 380,7$	56	0,82
$\sigma_t = 141,2I_{mob} + 0,562PI - 59$	56	0,85
$E_t = 25,46I_{mob} + 0,68PI - 7,688)10^4$	37	0,83
$E_s = (17,65I_{mob} + 0,54PI - 5,818)10^4$	37	0,79
$\sigma_c = -3,51CWD - 0,195PWD + 134$	56	0,91
$\sigma_t = -0,354CWD - 0,78PWD + 12,267$	56	0,91
$E_t = -(0,064CWD - 0,019PWD + 2,389)10^4$	37	0,9
$E_s = (-0,05CWD - 0,005PWD + 1,717)10^4$	37	0,87
$\sigma_c = 0,761IQ + 2,936IVP - 196$	101	0,82
$\sigma_t = 0,085IQ + 0,324IVP - 25$	89	0,91
$E_t = (0,018IQ + 0,055IVP - 4,14)10^4$	37	0,89
$E_s = (0,015IQ + 0,039IVP - 3,081)10^4$	37	0,86
$\sigma_c = 1,758I_{efp} - 0,749I_{rms} + 86,62$	56	0,84
$\sigma_t = 0,068I_{efp} - 0,105I_{rms} + 4,52$	56	0,80
$E_t = (0,006I_{efp} - 0,022I_{rms} + 2,652)10^4$	37	0,81
$E_s = (0,00116I_{efp} - 0,0144I_{rms} + 1,702)10^4$	37	0,75
$\sigma_c = -4,158CD - 2,075SMC + 161,33$	56	0,92
$\sigma_t = -0,819CD - 0,175SMC + 14,14$	56	0,91
$E_t = (-0,156CD - 0,025SMC + 2,727)10^4$	37	0,93
$E_s = (-0,119CD - 0,016SMC + 1,93)10^4$	37	0,90

CD – relação entre micro fratura e vazios; I_p – índice micro petrográfico; σ_c – resistência à compressão uniaxial; σ_t – resistência à tração; E_t – módulo de elasticidade tangencial; E_s – módulo de deformação; P – índice Parker; I_{mob} – índice de mobilidade; $CWPI$ – índice de produto de intemperismo químico; PI – índice de produto; CWD – grau de intemperismo químico; PWD – grau de intemperismo físico; IQ – índice de qualidade; IVP – índice de velocidade de onda P ; I_{efp} – índice de porosidade efetiva; SMC – teor mineral secundário; N – número de testemunhos; R – coeficiente de correlação.

ÖZVAN *et al.* (2014) analisaram a resistência ao cisalhamento de rochas graníticas correlacionando o grau de intemperismo e os parâmetros de rugosidade JRC, ângulo de rugosidade do perfil (PRA) e coeficiente de rugosidade do perfil (PRC). O processo de intemperismo aumentou a rugosidade da superfície devido à presença de quartzo na matriz da rocha. Contudo, averiguou-se uma relação inversa entre os parâmetros de rugosidade da superfície e a resistência ao cisalhamento das juntas intemperizadas. Quanto maior o grau de intemperismo maior os parâmetros de rugosidade, entretanto menor a resistência ao cisalhamento.

Os resultados de ÖZVAN *et al.* (2014) contrapõem as análises de resistência ao cisalhamento de juntas pautadas apenas na morfologia da superfície das juntas. O critério de BARTON (1973), definido em função da morfologia da superfície cisalhante, quando comparado aos resultados experimentais de ÖZVAN *et al.* (2014) resulta em envoltórias superestimadas. Os autores destacam que para o critério de AYDAN *et al.* (1996), determinado em função de parâmetros friccionais da superfície da junta, houve boa aproximação entre os resultados experimentais e a envoltória de resistência. Ressalta-se que os autores admitiram os coeficientes JCS como os valores da resistência à compressão uniaxial reduzidos em 75%. Tal aproximação pode ter superestimado a envoltória de resistência de BARTON (1973), que estimou, por retro análise de ensaios de cisalhamento direto e rupturas de juntas não intemperizadas, a relação $JCS/\sigma_c = 1/4$, indicando-a aos casos em que não há determinação direta de JCS.

2.3 ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO

A resistência ao cisalhamento das discontinuidades é a propriedade mais importante para determinação de resistência de maciços rochosos fraturados. Para tanto é necessário estimar as características físicas e geométricas das discontinuidades.

A execução dos ensaios de cisalhamento direto de juntas é condicionada ao provável modo de ruptura. Com base na previsão do modo de ruptura, determina-se a metodologia de teste, a faixa de tensão aplicada durante o ensaio, o conjunto de juntas a serem testadas. O modo de ruptura é controlado pela orientação das juntas em relação à direção do carregamento e pelo espaçamento entre juntas em relação às dimensões carregadas (BARTON, 1973).

O ângulo de atrito é o parâmetro essencial na determinação da resistência ao cisalhamento em análises de estabilidade de taludes naturais, escavações subterrâneas,

entre outras. A estimativa do ângulo de atrito em discontinuidades pode ser realizada em ensaios de laboratório como o de cisalhamento direto, compressão triaxial em rochas com planos de fraqueza e ensaios de rampa.

As discontinuidades estão submetidas a condições de contorno variáveis. Analisa-se as discontinuidades para condição de dilatação livre com carga normal constante (CNL) ou para condição de rigidez normal constante com restrição da dilatação (CNS). A diferença entre as condições CNL e CNS é verificada principalmente após a resistência de pico. A partir deste ponto, na condição CNS, a restrição a dilatação produzirá um incremento de tensão normal proporcional a rigidez da rocha. A tensão normal atingirá um valor crítico, no qual as irregularidades sofrem rupturas individuais (SEIDEL e HABERFIELD, 2002).

Os fatores que influenciam a rigidez normal das juntas destacados por BANDIS *et al.* (1983) e GHAZVINIAN *et al.* (2013) são: área de contato real inicial; abertura das juntas; rugosidade da parede da junta; resistência e deformabilidade das irregularidades; espessura, tipo e propriedades físicas do material de preenchimento, quando houver.

TANG e WONG (2016) realizaram ensaios de cisalhamento direto em juntas rugosas artificiais de gesso, em condição CNL, verificando para altas taxas de carregamento normal que o comportamento cisalhante parece ser menos afetado pela velocidade de cisalhamento. Observou-se uma pequena redução no pico de resistência ao cisalhamento com o aumento da velocidade. Para baixa taxa de carregamento normal, o comportamento cisalhante parece ser significativamente afetado pela velocidade. Notou-se uma redução maior do pico de resistência ao cisalhamento com o aumento da velocidade. Os autores não encontraram uma relação entre a resistência ao cisalhamento e a velocidade cisalhante para juntas de arenito na faixa de velocidade de 0,012 a 0,180mm/min.

ATAPOUR e MOOSAVI (2014) verificaram que a resistência ao cisalhamento de juntas artificiais de gesso com superfícies planas e rugosas (triangular simétrica com $i = 10^\circ$ e 20°) diminui com aumento da velocidade. Para juntas de concreto com superfícies planas e triangulares simétricas com $i = 20^\circ$, a resistência aumenta com o aumento da velocidade. Para juntas com superfície rugosa com $i = 10^\circ$, a resistência diminui com aumento da velocidade cisalhante. Adotou-se a condição de ensaio CNL para amostras com superfícies planas e CNS para amostras com superfícies com irregularidades de $i = 10^\circ$ e $i = 20^\circ$. Os autores concluíram que o efeito da velocidade na resistência ao cisalhamento de juntas depende do tipo de rocha, da morfologia da superfície da junta,

do nível de tensão normal e da condição de ensaio e não há relação direta entre a velocidade do ensaio e a resistência ao cisalhamento de juntas.

A Tabela 2.8 e Tabela 2.9 apresentam valores de ângulo de atrito de descontinuidades de diferentes tipos de rocha obtidos da literatura.

Tabela 2.8 - Valores de ângulo de atrito de descontinuidades de diferentes tipos de rocha.

Rocha	Umidade	ϕ (°)	Referência
Granito (fino) - <i>D</i>	Seco	31-35 ¹	Coulson (1972) citado por Barton e Choubey (1977)
Granito (fino) - <i>D</i>	Úmido	29-31 ¹	
Granito (grosso) - <i>D</i>	Seco	31-35 ¹	
Granito (grosso) - <i>D</i>	Úmido	31-33 ¹	
Gnaisse - <i>D</i>	Seco	26-29 ¹	
Gnaisse - <i>D</i>	Úmido	23-26 ¹	
Granito - <i>D</i>	-	38-40 ¹	Hencher e Richards (1982, 2015)
Gnaisse (média fricção) - <i>D</i>	-	27-34	Wyllie e Mah (2004)
Granito (alta fricção) - <i>D</i>	-	34-40	
Granito - <i>D</i>	Seco	16,0-38,8 ³	Buocz <i>et al.</i> (2010)
	Seco	14,8-35,5 ²	
Granito - <i>D</i>	Seco	26-36 ³	Özvan <i>et al.</i> (2014)
	Seco	22-32 ²	
Granito - <i>D</i>	Seco	34 ¹	Yang <i>et al.</i> (2016)
Granito - <i>D</i>	Seco	34,29 ¹	Lee <i>et al.</i> (2014)
Gnaisse - <i>D</i>	Seco	34,22 ¹	
Granito - <i>D</i>	Seco	34,29 ¹	Park <i>et al.</i> (2013)
Gnaisse - <i>D</i>	Seco	34,19 ¹	
Gnaisse (juntas planares)	Seco	24-38	Steffens (2018)
Gnaisse (juntas rugosas)	Seco	27-37 ³	
Gnaisse - 90° da foliação	-	28	DeKlotz <i>et al.</i> (1964) citado por Goodman (1989)
Gnaisse - 30° da foliação	-	27,6	

1 - básico; 2 – residual; 3 – pico; D – descontinuidades.

Tabela 2.9 - Valores de ângulo de atrito de diferentes tipos de juntas (adapt. DEARMAN *et al.*, 1978).

Superfície da junta	ϕ' (°)	c' (kN/m ²)	Comentários	Autor
Sã				
Granito grão fino	31-35	-	Seco	Coulson (1971)
	29-31	-	Úmido	Coulson (1971)
Granito grão grosso	31-35	-	Seco	Coulson (1971)
	31-33	-	Úmido	Coulson (1971)
Gnaisse	26-29	-	Seco	Coulson (1971)
	23-26	-	Úmido	Coulson (1971)
Quartzo-monzonítico	28		Ângulo de atrito básico	Hendron (1974)
Granito, junta natural	30-50	100-300	Valores dependente da superfície rugosa e consequentemente tipo de junta	Hoek e Bray (1968)
Quartzo-monzonítico, junta natural	31-41	0-1000	$\phi' = 41^\circ$ abaixo de tensão normal de 20MN/m ² e coesão nula; $\phi' = 31^\circ$ acima de 20MN/m ² e coesão aparente 7MN/m ²	Hendron (1974)
Redução de cor				
Granito, junta lisa/pouco rugosa	29-33	-	Ângulo de atrito básico sugerido por experiência	Richards (1976)
Granito, junta natural lisa/pouco rugosa	29-32	-	Ensaio de cisalhamento direto em laboratório	L.N.E.C. (1965), citado por Deere e Patton (1971)
Granito, junta natural, textura rugosa	39	30 ¹	Ensaio em caixa de cisalhamento portátil, resultado considerado típico	Richards (1976)
Granito, junta natural, textura rugosa	62-63	600-1300	Ensaio de cisalhamento direto in situ	Serafim e Lopez (1961)
Intemperizado				
Granito, junta natural limpa com textura rugosa	38	30 ¹	Ensaio em caixa de cisalhamento portátil, resultado considerado típico	Richards (1976)
Granito, junta natural com textura rugosa	45-57	100-500	Ensaio de cisalhamento direto in situ	Serafim e Lopez (1961)
Granito, junta natural	26-33	-	Ensaio de cisalhamento direto em laboratório	L.N.E.C. (1965) em Deere e Patton (1971)
Solo				
Granito, junta natural limpa	38	30 ¹	Ensaio em caixa de cisalhamento portátil, resultado considerado típico	Richards (1976)

Superfície da junta	ϕ' (°)	c' (kN/m ²)	Comentários	Autor
Solo				
Granito, junta natural	41	100	Ensaio de cisalhamento direto in situ	Serafim e Lopez (1961)
Granito	27-31	0	500 testes, Barragem Cherry Valley	Roberts (1970), citado por Deere e Patton (1971)
Juntas com material de preenchimento				
Granito, junta natural preenchida com argila siltosa rígida marrom	31	30 ¹	Ensaio em caixa de cisalhamento portátil, resultado considerado típico	Richards (1976)
Granito, junta natural com cor intensa	31	30 ¹	Ensaio em caixa de cisalhamento portátil	Richards (1976)
Granito, juntas com manchas de manganês	26	-	Ensaio em caixa de cisalhamento portátil	Richards (1976)
Granito, junta preenchida com caulim	16,5	-	Ensaio em caixa de cisalhamento portátil	Richards (1976)
Contato rocha - Caulim	22-12	-	Testes originalmente em superfícies de caulim-calcário, mas em teoria aplicável em juntas de granito preenchidas com caulim	Kanji (1970)
Contato rocha - Ilita	11,5 - 6,5	-	Testes originalmente em superfícies de caulim-calcário, mas em teoria aplicável em juntas de granito preenchidas com caulim	Kanji (1970)
Contato rocha - Montmorilonita	4-11		Testes apenas em argila, mas em teoria aplicável juntas de granito preenchidas com montmorilonita	Kenney (1967)
Gnaise rico em veios negros de material orgânico	14,5	10	Juntas com pré-deslizamento – ensaios triaxiais CU	St. John <i>et al.</i> (1969)
	14,5	10	Juntas sem pré-deslizamento – ensaios triaxiais CU	

1 - valor de 30MN/m² é proposto como valor de projeto para coesão em todas as juntas de granito intemperizadas, baseado na experiência de Hong, 1976.

As principais referências normativas para ensaio de cisalhamento direto em juntas são ISRM (1974) e ASTM D5607 – 16 (2016).

CAPÍTULO 3

3 ÁREA DE ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

O presente capítulo trata da área escolhida para a obtenção de amostras de juntas a serem estudadas nesta pesquisa. Selecionou-se a área de implantação do Aproveitamento Hidrelétrico (AHE) de Simplício, localizado na fronteira dos Estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais. Esta área foi intensamente estudada pelo Grupo de Pesquisas de Alterabilidade da COPPE-UFRJ e PUC-Rio, desde o início de sua construção. Esta pesquisa faz parte do conjunto de dissertações de mestrado e teses de doutorado já concluídas pelo Grupo.

3.1 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO

O AHE Simplício está localizado nos municípios Três Riachos e Sapucaia, no Rio de Janeiro, e em Chiador e Além do Paraíba, em Minas Gerais. O circuito hidráulico de cerca de 30km foi construído a margem esquerda do rio Paraíba do Sul. O AHE de Simplício é composto pela Usina Hidrelétrica (UHE) de Anta com barramento do rio em Anta, localizada cerca de 3km a montante da cidade de Anta - RJ e pela Usina Hidrelétrica de Simplício a cerca de 9km a montante da cidade de Além do Paraíba - MG. A interligação entre as duas unidades foi realizada por um conjunto de estruturas de interligação como túneis e canais, juntamente com construções de diques e reservatórios intermediários que conduzem a vazão de produção de energia da UHE Anta até UHE Simplício, para a geração de energia com queda única de um desnível natural de 115m.

A Figura 3.1 apresenta o mapa de localização do AHE Simplício. A Figura 3.2 apresenta a sequência das obras de interligação desde a UHE Anta até a UHE Simplício, correspondentes ao Canal 1 (1905m), Túnel 1 (1458m), Canal 2 (1011m), Dique de Tocaia, Reservatório de Tocaia, Canal 3 (565m), Túnel 2 (1755m), Dique Louriçal 1, Túnel 2A (782m), Reservatório de Louriçal, Dique de Louriçal, Dique Alga 1, Túnel A5 (502m), Dique Alga 2, Túnel 5 (1590m), Reservatório de Calçado, Dique Estaca 1, Dique Estaca 2, Canal 6 (73m), Túnel 3 (6030m), Canal 7 (202m), Reservatório de Antonina, Dique Antonina, Túnel 8 (580m), Reservatório de Peixes, Dique Sul, Dique Norte e Canal de Adução. A Figura 3.3 apresenta o mapa geológico com destaque para a área de amostragem dos testemunhos de rocha, analisados nesta pesquisa.

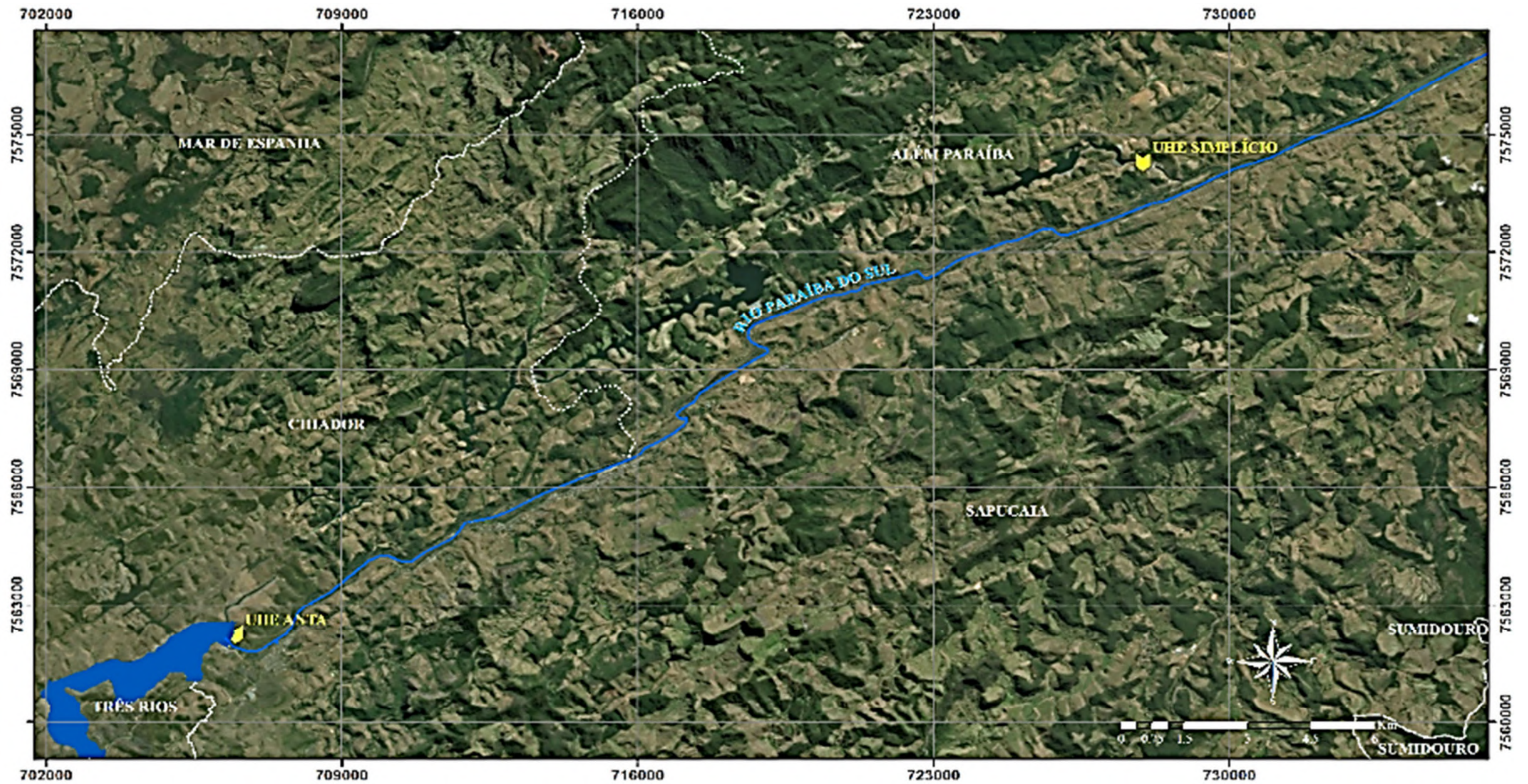
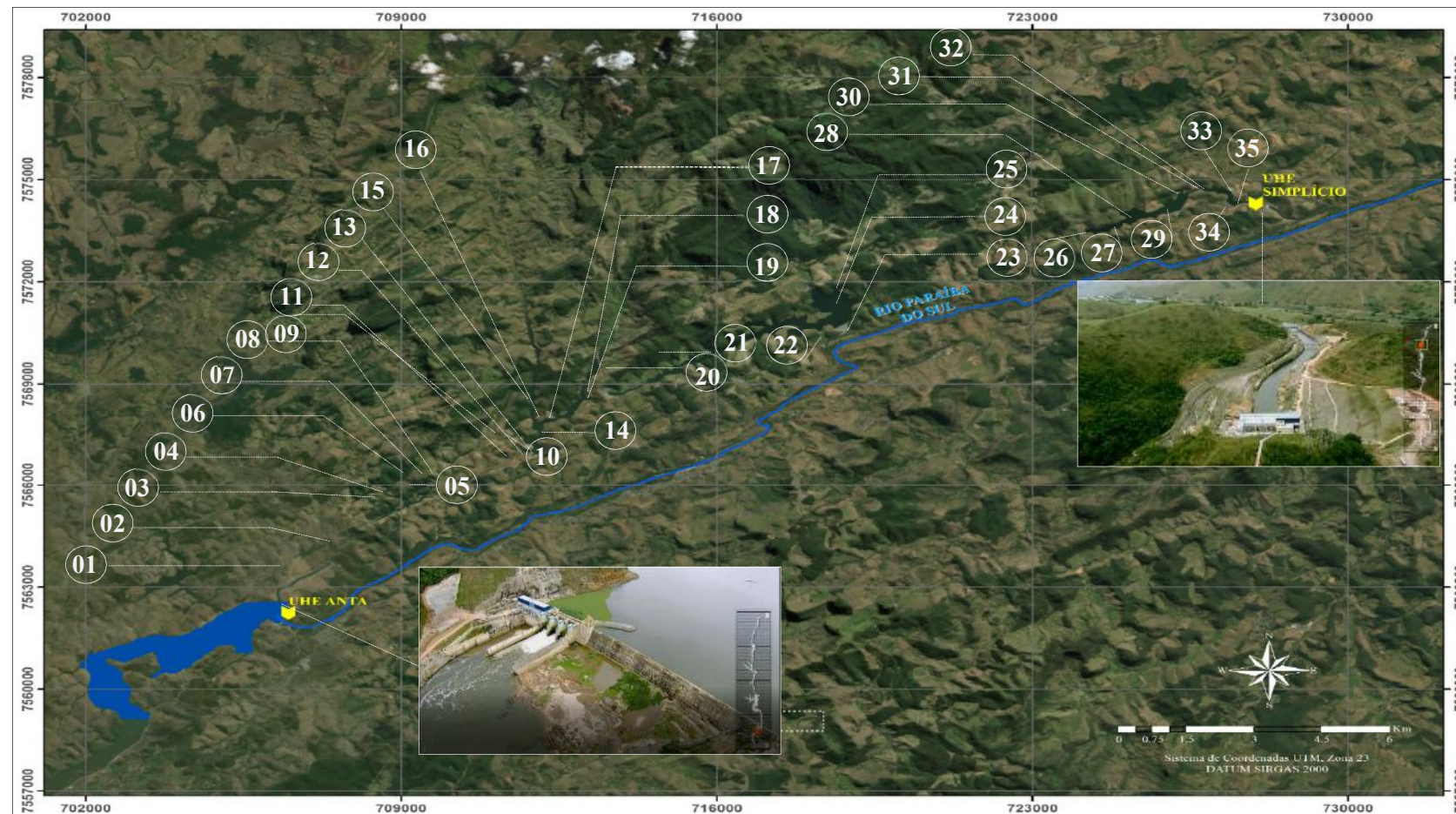


Figura 3.1 - Mapa de localização do AHE Símplicio.



A sequência das obras de interligação desde a UHE Anta até a UHE Simplício são 01 – Canal 1: 1905m; 02/03 – Túnel 1: 1458m; 04 – Canal 2: 1011m; 05 – Dique de Tocaia; 06 – Reservatório de Tocaia; 07 – Canal 3: 565m; 08/09 – Túnel 2: 1755m; 10 – Dique Louriçal 1; 11/12 Túnel 2A: 782m; 13 – Reservatório de Louriçal; 14 – Dique de Louriçal; 15 – Dique Alga 1; 16/17 – Túnel A5: 502m; 18 – Dique Alga 2; 19/20 – Túnel 5: 1590m; 21 – Reservatório de Calçado; 22 – Dique Estaca 1; 23 – Dique Estaca 2; 24 – Canal 6: 73m; 25/26 – Túnel 3: 6030m; 27 – Canal 7: 202m; 28 – Reservatório de Antonina; 29 – Dique Antonina; 30/31 – Túnel 8: 580m; 32 – Reservatório de Peixes; 33 – Dique Sul; 34 – Dique Norte; 35 – Canal de Adução (Fonte das imagens: https://www.youtube.com/watch?v=PxDfMOZ_usA).

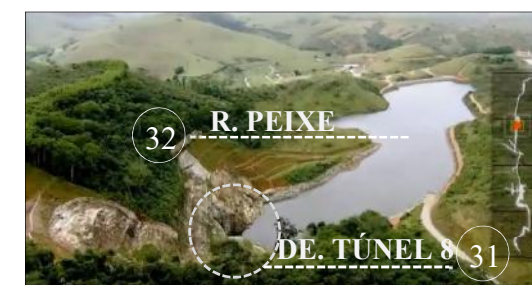


Figura 3.2 - Obras de interligação entre UHE Anta e UHE Simplício.

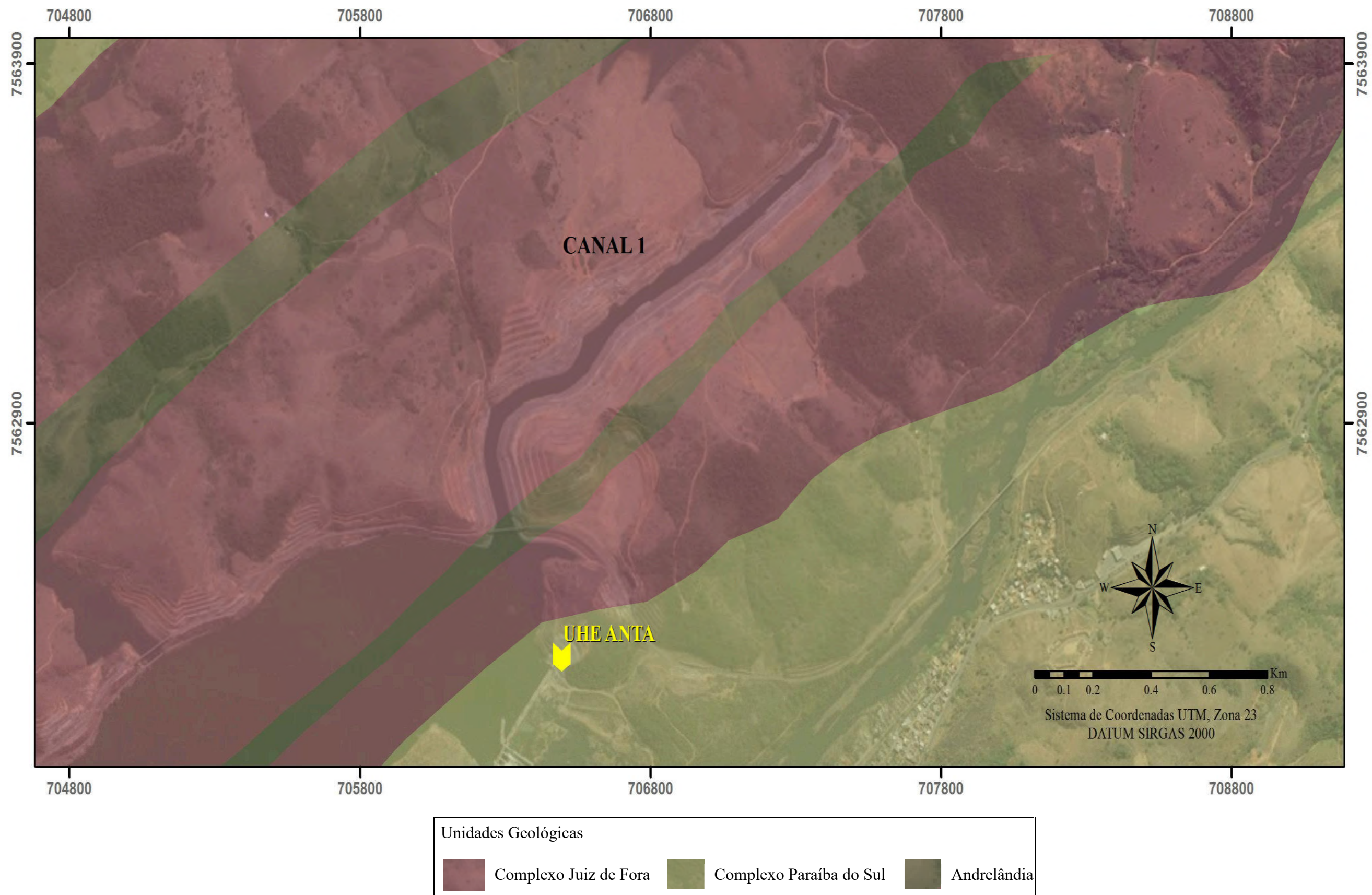


Figura 3.3 - Mapa geológico com destaque para área de amostragem dos testemunhos

O AHE Simplício está no domínio do Planalto da Mantiqueira, o qual possui relevo constituído por serras dissecadas, alongadas na direção nordeste, e um domínio de colinas de baixa amplitude altimétrica. Predominantemente, o Planalto da Mantiqueira apresenta um espesso manto de colúvios e de alteração intempérica, no qual há depósitos de minerais como bauxita, caulim e manganês. A morfologia do Planalto da Mantiqueira é caracterizada por encostas suaves e convexas, com áreas côncavas embutidas, relacionadas, em geral, às cabeceiras de drenagens ou canais de primeira ordem. Esse padrão de relevo é verificado na depressão da bacia do Rio Pombo, com altitude entre 200 e 400m, e pelo eixo do vale do Rio Paraíba do Sul, com altitudes entre 200 e 300m. A porção mais rebaixada situa-se na área da confluência dos rios Pirapetinga e Paraíba do Sul, com altitudes entre 70 e 90m. A rede hidrográfica da região integra a grande bacia do Rio Paraíba do Sul. Esta região pode ser subdividida em dois conjuntos de bacias de drenagem: a) bacias que drenam diretamente para o Rio Paraíba do Sul (parte preponderante); b) bacias tributárias do Rio Pombo, afluente do baixo vale do Rio Paraíba do Sul. Cicatrizes erosivas rasas ou profundas nas encostas estão associados a movimentos de massa, em geral ocorrentes em épocas de chuvas intensas, e voçorocas e sulcos muitas vezes associados ao manejo inadequado do solo (TUPINAMBÁ *et al.*, 2003).

A área está inserida na Faixa Ribeira, uma faixa móvel de idade neoproterozóica-cambriana, gerada durante as etapas finais da Orogênese Brasileira (ca. 630-480 Ma). Este segmento da faixa é compartimentado em diferentes terrenos tectono-estratigráficos, justapostos de leste para oeste durante a etapa principal de convergência, denominados Cabo Frio, Oriental, Paraíba do Sul e Ocidental. Cada um desses terrenos possui sua identidade lito-estratigráfica e pode ser subdividido em domínios tectônicos. O AHE Simplício está no Domínio Juiz de Fora do Terreno Ocidental e o Terreno Paraíba do Sul que é interpretado como uma klippe posicionada sobre o Terreno Ocidental. Para ambos os terrenos foi adotado uma subdivisão que compreende três conjuntos litológicos: i) rochas do embasamento pré-1,8 Ga, retrabalhadas na Orogênese Brasileira; ii) sucessões metavulcano-sedimentares neoproterozóicas; iii) granitos neoproterozóicos que foram agrupados também em função de suas relações com a deformação (TUPINAMBÁ *et al.*, 2003).

1. Terreno Ocidental: Domínio Juiz de Fora

Embasamento: Constituído pelo Complexo Juiz de Fora, o qual é composto por ortognaisses e metabasitos com paragêneses da fácies granulito. Ocorre em escamas tectônicas de direção NE-SW, interdigitadas às rochas da cobertura neoproterozóica. Na área do empreendimento a unidade compreende, predominantemente, ortognaisses e anfíbolitos miloníticos a ultramiloníticos pelo efeito cumulativo das deformações associadas às zonas de cisalhamento D2 e D3. Nessa região, parte deste conjunto adquire coloração bastante clara e aspecto fosco, levando a sua denominação local de Pedra Madeira. Estudos petrológicos realizados na folha Juiz de Fora indicam que o Complexo Juiz de Fora é constituído de duas suítes magmáticas básicas (toleítica e transicional), de distribuição restrita, e três suítes calcioalcalinas (alto, médio e baixo K), de ampla ocorrência. As idades U-Pb e Rb/Sr disponíveis indicam geração desta unidade no Paleoproterozóico.

Cobertura Neoproterozóica - A cobertura metassedimentar no Terreno Ocidental é a Megasseqüência Andrelândia, subdividida nas seguintes unidades litológicas:

Biotita gnaisse bandado - Caracteriza-se pela alternância métrica a centimétrica de camadas leucocráticas quartzo-feldspáticas e camadas mesocráticas ricas em biotita. A mineralogia é constituída por plagioclásio, quartzo, microclina perítica e biotita e os acessórios são granada, zircão, turmalina, monazita e apatita. Estruturas migmatíticas, principalmente estromáticas, mostram a diferenciação do gnaisse em paleossoma e neossoma, cujos leucossomas graníticos de granulação grossa são bordejados por melanossomas ricos em biotita e plagioclásio. O conjunto é cortado por stocks de biotita granito fino isotrópico, pegmatitos e aplitos. Ocorrem diversas intercalações de rochas calcissilicáticas e quartzitos impuros.

Sillimanita-granada-biotita gnaisse - Constitui a unidade superior da Megasseqüência Andrelândia, englobando gnaisses de derivação pelítica a semipelítica, ricos em biotita, granada e sillimanita, localmente com ortopiroxênio e feldspatos verdes. Estruturas migmatíticas estromáticas caracterizam, principalmente, os gnaisses semipelíticos, configurando metatexitos de leucossomas aluminosos, esbranquiçados a esverdeados, descritos a seguir em granitóides neoproterozóicos. Esses gnaisses possuem intercalações métricas a centimétricas de quartzitos, rochas manganésíferas (gonditos), biotita gnaisses bandados e rochas calcissilicáticas. Bancos de quartzitos foram

individualizados, variando desde muito puros a feldspáticos, podendo ainda conter mica branca, sillimanita, turmalina, zircão, magnetita e ilmenita.

2. Terreno Paraíba do Sul

Embasamento - O Complexo Quirino é outra unidade na qual está disposta o empreendimento. A rocha típica desta unidade é um gnaisse de grão grosso, meso a leucocrático, de composição tonalítica à granítica, com foliação descontínua marcada por aglomerados minerais de hornblenda e enclaves máficos alongados.

O Complexo Quirino é constituído de uma suíte calcio-alcalina de médio-K, que inclui ortognaisse tonalítico a granodiorítico, e uma suíte de alto-K, que compreende ortognaisse granodiorítico a granítico. Os dados U-Pb disponíveis indicam idade paleoproterozóica, com herança arqueana.

Cobertura Neoproterozóica - O conjunto metassedimentar deste terreno é representado pelas rochas do Grupo Paraíba do Sul. Ocorrem em camadas no núcleo de dobras reviradas, entre flancos ocupados por gnaisses do Complexo Quirino. Na porção sudoeste desta faixa predomina um sillimanita-granada-biotita gnaisse, muito micáceo, com camadas ricas em sillimanita, quartzo e muscovita, e níveis de leucossoma. Esta rocha passa gradualmente em direção NE para granada-biotita gnaisse rico em porfiroblastos arredondados de feldspato. Bancos métricos e lentes de mármore dolomítico, contendo flogopita, diopsídio e quartzo, ocorrem intercalados nos dois tipos de gnaisse. Lentes de rocha calcissilicática e anfíbolito são frequentes. Em geral, os afloramentos desta unidade estão muito intemperizados, resultando em barrancos de saprólito xistoso rosa.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras de rochas escolhidas para o estudo experimental são provenientes do furo de sondagem identificado como SR-657, localizado no Emboque Túnel 1 do AHE Simplicio. Após a análise dos testemunhos recuperados da sondagem, foram selecionadas amostras sem sinais de alteração, as quais foram preparadas para a realização dos ensaios de resistência à compressão uniaxial, resistência à compressão diametral, Martelo Schmidt e ensaios de cisalhamento direto de juntas, além da caracterização petrográfica.

As amostras foram separadas em grupos correspondentes aos 6 níveis de alteração, resultantes da ação da percolação acelerada, realizada em equipamento especialmente desenvolvido com tempos de exposição iguais a 600h, 1200h, 4800h, 6000h e 8300h, além do nível intacto, sem ação da alteração no permeâmetro de fluxo acelerado. Durante o processo de seleção das amostras atentou-se quanto às juntas induzidas durante o processo de sondagem rotativa, para que estas fossem descartadas da análise (SALLES, 2013).

O equipamento de percolação acelerada foi desenvolvido para induzir a intemperização das juntas naturais por fluxo de água. Idealiza-se simular o efeito produzido pela passagem de água nos canais de interligação e adução do AHE Simplício. O equipamento é composto por um sistema fechado de circulação de água com temperatura de aproximadamente 37°. A preparação das amostras para todos os ensaios foi realizada pela pesquisadora Raquel O. Salles durante sua pesquisa de doutorado em 2013. SALLES (2013) determinou a resistência à compressão uniaxial e diametral de corpos de prova preparados para os níveis de alteração intacto (0h), 600h, 1200h, 4800h, 6000h e 8300h. Para o ensaio de cisalhamento direto não foram preparadas amostras para o nível de intemperização de 6000h.

Para realização do ensaio de resistência ao cisalhamento foram preparadas quatro juntas para os níveis de alteração: 600h, 1200h, 2400h, 4800h. Para o grau de intemperismo de 8300h foram selecionadas cinco juntas.

3.2.1 ANÁLISE PETROGRÁFICA

SALLES (2013) determinou a composição mineralógica das rochas por meio de análise petrográfica em lâminas de amostras de níveis de alteração correspondentes ao intacto, 600h, 1200h, 2400h, 4800h e 8300h. O tipo litológico da rocha foi classificado como anfibólio-biotita-gnaisse, de granulometria fina e textura granoblástica com orientação dos máficos que compõe o índice de cor aproximado de 15%, ou seja, rocha félsica. A Tabela 3.1 apresenta os resultados da análise de composição mineralógica das amostras rochosas.

Tabela 3.1 - Composição mineralógica (SALLES, 2013).

Nível de Alteração	Minerais		
	Essenciais	Acessórios	Secundários
0h	Quartzo, k-feldspato, plagioclásio, biotita e anfibólio	Titanita, zircão e opacos	Sericita, clorita, biotita e óxido de ferro
600h		Zircão e opacos	Sericita e caulinita
1200h		Allanita, epidoto, zircão e opacos	Caulinita
2400h		Titanita, zircão, muscovita e opacos	Sericita e caulinita
4800h		Titanita, zircão, muscovita e opacos	Sericita e caulinita
8300h		Allanita, muscovita, zircão e opacos	Calcita, clorita, óxido de ferro, sericita e caulinita

3.2.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL E DIAMETRAL

As propriedades mecânicas das amostras foram determinadas a partir de ensaios de compressão uniaxial (altura dos corpos de prova de 11cm) e ensaio de compressão diametral (altura dos corpos de prova de 2,2cm). O diâmetro nominal de todas as amostras é igual a 44mm (SALLES, 2013). A Figura 3.4 ilustra aspectos da preparação de corpos de prova e da montagem dos ensaios de compressão uniaxial e ensaios de compressão diametral.

Na Tabela 3.2 são apresentados os valores da resistência à compressão uniaxial (σ_c), da tensão axial no final da Região I (σ_{RI}), da tensão axial no início da dilatância (σ_{ID}), do módulo de Young secante (E_S) e tangente (E_T) e do coeficiente de Poisson secante (ν_S) e tangente (ν_T), obtidos por SALLES (2013).

A Figura 3.5 apresenta as curvas tensão axial vs. deformação (axial, lateral e volumétrica) representativas de cada nível de alteração e a Figura 3.6 apresenta os valores médios da resistência à compressão uniaxial (σ_c), ao final da região I (σ_{RI}) e no início da dilatância (σ_{ID}) apenas com ensaios considerados representativos dos níveis de alteração.

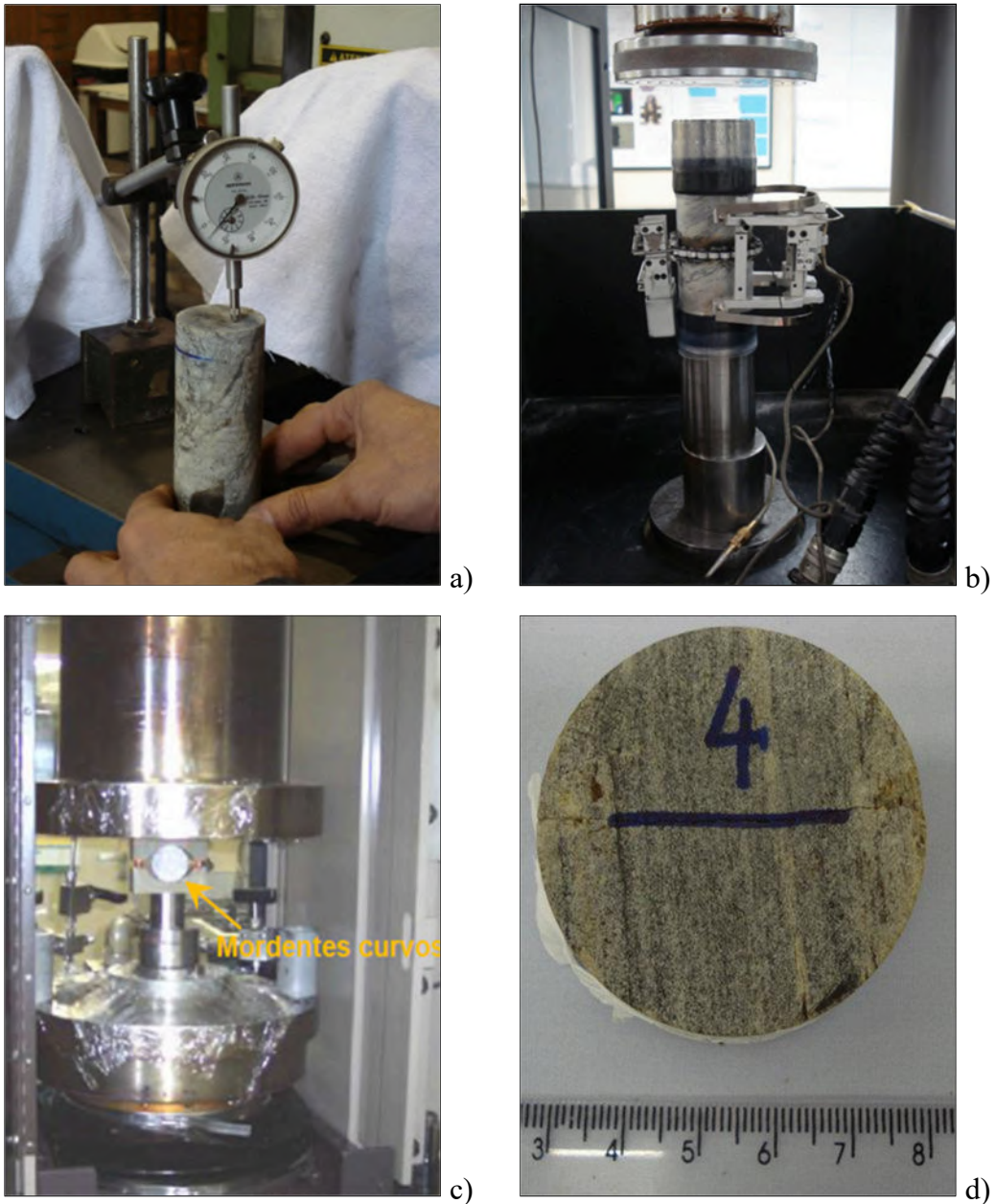


Figura 3.4 - Ensaio de compressão uniaxial: (a) Verificação do paralelismo dos corpos de prova; b) Detalhe dos transdutores de deformação acoplados ao corpo de prova; c) Ensaio de compressão diametral com mordentes curvos; d) Corpo de prova após ensaio de compressão diametral (adapt. SALLES, 2013).

A Tabela 3.3 apresenta os valores de resistência à compressão diametral para a condição de fratura primária (F_{FP}) e secundária (F_{FS}) com direção de carregamento paralelo e perpendicular a foliação das amostras (SALLES, 2013).

Tabela 3.2 – Resistência à compressão uniaxial (SALLES, 2013).

Nível de alteração	CP	σ_c	σ_{RI}	σ_{iD}	E_s	E_T	ν_s	ν_T
		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[GPa]	[GPa]		
0h	1	171,9	35,0	80,2	58,9	59,7	0,12	0,25
	2 ¹	145,5	14,5	35,6	36,4	47,9	0,13	0,25
	3	152,6	19,0	62,3	56,9	55,3	0,19	0,29
	4	174,0	26,0	63,0	47,8	52,4	0,14	0,33
	5 ¹	118,2	21,1	68,2	64,2	62,2	0,15	0,23
	6	160,8	30,2	117,0	74,4	64,8	0,09	0,15
600h	7 ¹	164,6	23,0	111,0	74,8	64,8	0,13	0,23
	8 ¹	133,6	25,4	78,1	67,5	69,6	0,13	0,24
	9	145,7	27,8	77,2	63,9	63,9	0,11	0,18
	10	137,8	22,8	74,2	74,9	70,3	0,14	0,23
	11	155,2	26,7	90,0	68,1	63,6	0,11	0,19
1200h	12	114,6	24,6	73,0	65,1	63,0	0,13	0,16
	13	138,4	41,7	92,6	73,6	70,6	0,07	0,17
	14	144,3	36,7	93,0	75,2	70,7	0,08	0,15
	15 ¹	106,8	30,0	89,5	65,1	57,4	0,10	0,13
	16	139,7	29,8	66,7	66,5	62,4	0,14	0,30
2400h	17 ¹	174,5	34,5	121,7	100,3	94,8	0,09	0,13
	18	167,1	38,0	80,0	50,7	57,6	0,09	0,24
	19	173,7	31,8	84,5	60,3	61,2	0,13	0,27
	20	159,2	27,5	80,5	56,0	56,0	0,13	0,27
	21	153,4	26,5	64,7	48,2	52,2	0,13	0,26
4800h	22 ¹	117,5	24,6	70,3	66,7	63,2	0,16	0,26
	23 ¹	148,6	26,8	86,4	59,0	51,6	0,14	0,20
	24	162,6	35,4	75,8	45,9	52,8	0,10	0,29
	25	151,2	40,0	88,0	47,0	52,5	0,07	0,19
	26	171,2	36,0	72,8	45,5	57,1	0,11	0,32
6000h	27	157,4	28,7	65,3	60,1	56,6	0,14	0,29
	28	149,3	38,4	81,8	48,8	52,2	0,1	0,22
	29 ¹	167,6	26,2	53,8	49,3	53,4	0,19	0,46
	30	141,4	25,6	55,4	42,1	55,2	0,08	0,17
	31 ¹	128,0	37,2	80,0	40,3	40,3	0,06	0,08
8300h	32	152,7	36,2	84,8	57,4	57,0	0,1	0,21
	33 ¹	173,9	21,7	60,0	52,7	56,5	0,16	0,30
	34	135,7	19,0	54,7	51,4	58,0	0,15	0,25
	35	154,5	24,6	52,0	42,2	51,1	0,16	0,38
	36 ¹	121,8	24,5	52,5	58,0	59,1	0,13	0,17
	37	128,3	27,6	77,4	68,3	64,8	0,13	0,20

1 - ensaios considerados como não representativos do nível de alteração.

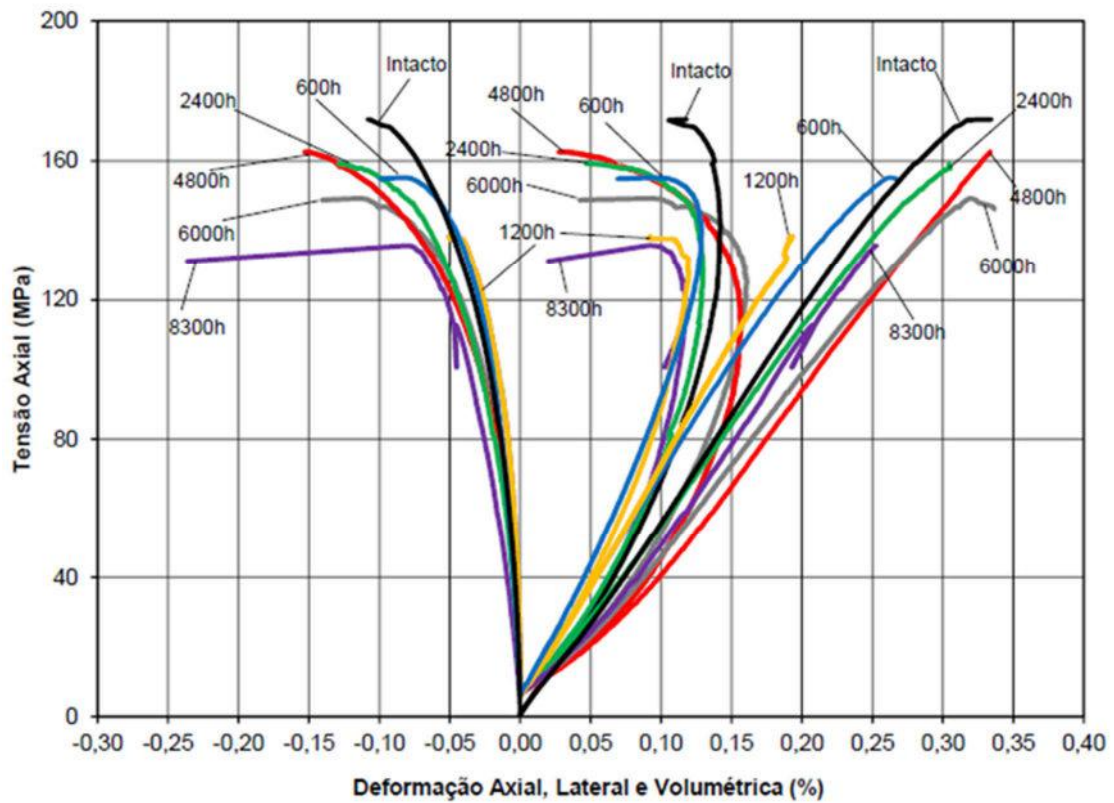


Figura 3.5 - Curvas tensão axial vs. deformação axial, lateral e volumétrica (SALLES, 2013).

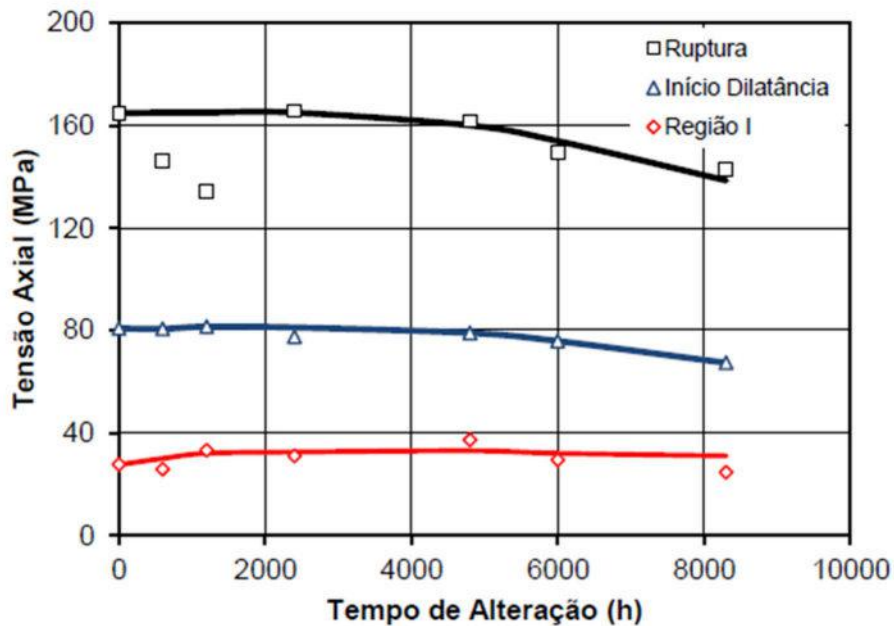


Figura 3.6 - Valores médios dos parâmetros de tensão axial em função do nível de alteração no laboratório (SALLES, 2013).

Tabela 3.3 - Resistência à compressão diametral (SALLES, 2013).

Nível de Alteração	Direção de carregamento							
	Paralelo à foliação				Perpendicular à foliação			
	F _{FP}	σ_{FP}	F _{FS}	σ_{FS}	F _{FP}	σ_{FP}	F _{FS}	σ_{FS}
	[KN]	[MPa]	[KN]	[MPa]	[KN]	[MPa]	[KN]	[MPa]
0h	12,0	7,5	13,3	8,3	13,9	8,9	21,5	13,8
	13,9	8,7	15,1	9,5	13,9	8,8	23,0	14,6
	13,0	8,2	22,8	14,4 ¹	14,1	8,8	23,7	14,9
600h	13,9	8,5	26,2	16,0	14,1	9,1	33,9	21,9
	13,6	8,7	24,2	15,5	14,1	8,8	27,9	17,3 ¹
	14,0	8,9	18,8	12,1 ¹	14,0	9,0	31,6	20,3
1200h	13,4	8,5	18,2	11,5	14,0	8,8	28,4	18,0
	13,0	8,2	30,4	19,1 ¹	13,8	8,7	41,4	26,2 ¹
	13,0	8,3	24,9	15,9	13,3	9,6	27,9	20,1
2400h	14,0	9,0	24,7	16,0	14,2	9,1	22,7	14,6
	12,3	7,5	29,0	17,8 ¹	14,1	9,1	24,0	15,5
	13,8	8,5	21,8	13,4	14,0	8,9	19,9	12,7
4800h	13,3	8,4	25,3	15,9	14,3	9,0	20,0	12,6 ¹
	11,8	7,4	25,8	16,1	13,8	8,7	25,8	16,2
	14,0	8,7	27,2	17,0	13,8	8,6	24,0	15,0
6000h	13,9	8,8	22,7	14,3	13,7	8,6	20,2	12,8
	13,6	8,4	22,3	13,8	13,6	8,5	24,0	15,0
	13,8	8,7	21,4	13,5	13,6	8,7	19,8	12,6
8300h	11,7	7,5	21,9	14,0	13,3	8,6	15,6	10,1 ¹
	12,9	8,1	22,5	14,2	13,3	8,4	22,3	14,1
	10,1	6,3	23,8	14,8	13,8	9,8	20,2	14,3
	13,4	8,4	29,9	18,8	13,9	8,6	28,0	17,4
	14,0	9,1	19,3	12,6 ¹	14,0	9,2	28,2	18,5
	13,1	8,3	28,3	17,9	13,8	8,9	26,8	17,2
	11,1	7,2	20,9	13,5	14,1	9,0	28,5	18,1
	10,6	6,7	21,8	13,7	13,7	8,7	33,3	21,2 ¹
	14,0	9,0	25,8	16,5				

1 - valores discrepantes em relação à média.

Na Figura 3.7 é apresentada a variação da resistência à tração na fratura primária (σ_{FP}) e secundária (σ_{FS}) em função do tempo de alteração no laboratório.

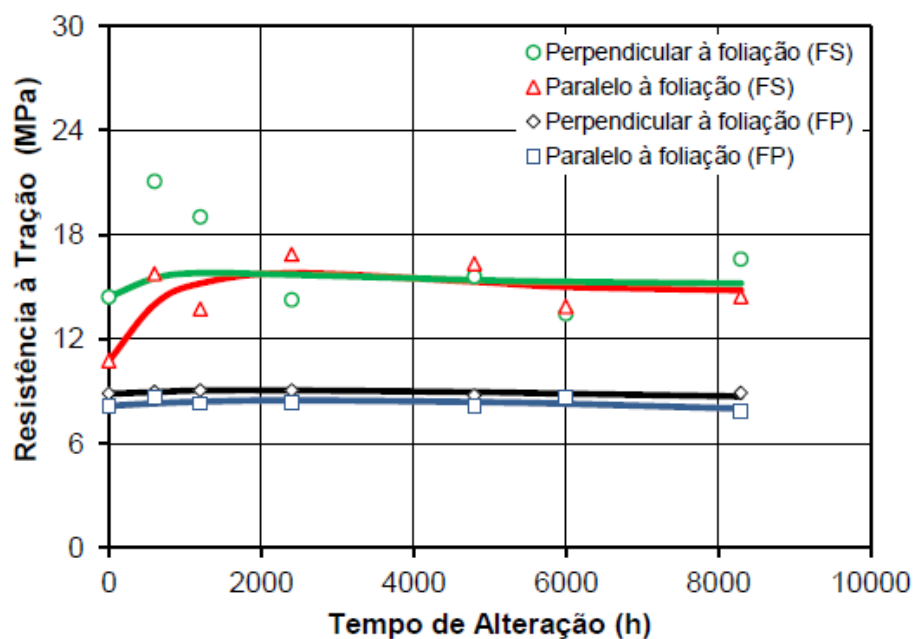


Figura 3.7 - Resistência à tração vs. tempo de alteração no laboratório do Gnaiss Simples (SALLES, 2013).

A partir da análise dos resultados dos ensaios de compressão uniaxial e compressão diametral, SALLES (2013) destaca que:

1. Os valores de resistência à compressão diametral e coeficiente de Poisson dos corpos de prova não foram correlacionados diretamente com os respectivos graus de intemperismo;
2. Os valores de resistência à compressão uniaxial, da tensão do início da dilatância (σ_{ID}) e módulos de Young dos corpos de prova diminuíram com o aumento do nível de alteração.

CAPÍTULO 4

4 METODOLOGIA

O presente capítulo apresenta a metodologia e os procedimentos referentes aos ensaios de cisalhamento direto e de Martelo Schmidt realizados em juntas naturais intactas e alteradas no equipamento de percolação acelerada. A Figura 4.1 apresenta o fluxograma da metodologia de estudo.

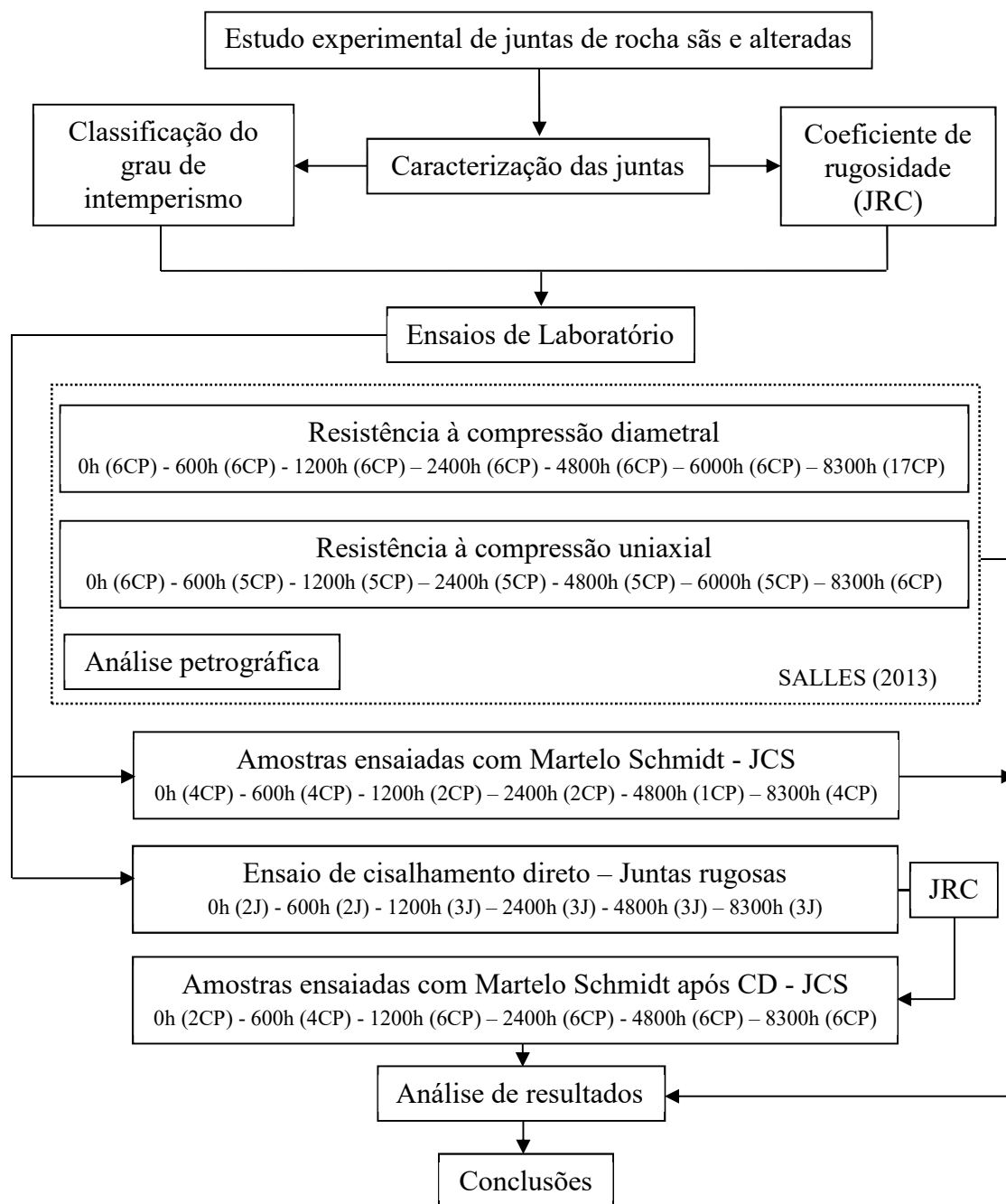


Figura 4.1 - Fluxograma da metodologia de estudo proposta.

Note-se no fluxograma os 6 níveis de alteração do material, representados por intacto e horas de percolação acelerada no equipamento correspondentes a 600h, 1200h, 2400h, 4800h e 8300h. O fluxograma também informa sobre os tipos de ensaios a serem realizados, quantidade de corpos de prova (CP) e juntas rugosas (J) ensaiados, além dos resultados e determinação de parâmetros.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS JUNTAS

Para a caracterização das juntas rugosas a serem ensaiadas no equipamento portátil de cisalhamento direto foi especialmente desenvolvida uma Ficha Técnica (Figura 4.2), na qual cada junta foi caracterizada quanto ao: diâmetro da seção transversal dos corpos prova, diâmetro máximo e mínimo da área cisalhante, área cisalhante, distância entre área cisalhante das juntas e material do molde/material confinante (gesso), análise de fissuras, grau de saturação, teor de umidade, características geológicas relevantes na superfície cisalhante, grau de alteração, coeficiente de rugosidade, classificação qualitativa quanto a cor, granulação, textura, dureza, estrutura.

A classificação do grau de alteração das juntas foi realizada seguindo as recomendações de GUIDICINI e NIEBLE (1984), IPT (1984) e OLIVEIRA (2017).

As amostras de gnaiss possuem planos de foliação verificados em análise visual. A morfologia da superfície de amostras é definida por inúmeros planos inclinados, resultando em estruturas rochosas com resistência ao cisalhamento reduzida na direção paralela aos planos. As juntas apresentam rugosidade anisotrópica sem um padrão geral de fraturamento.

Em relação à rugosidade das juntas, SALLES (2013) não avaliou o coeficiente de rugosidade da junta das amostras antes da intemperização por percolação acelerada. Apesar disto, no presente estudo foi realizada a avaliação deste parâmetro por meio da determinação do coeficiente de rugosidade das juntas, JRC, antes e depois dos ensaios de cisalhamento direto. Ressalte-se que o JRC é determinado em um perfil bidimensional da área cisalhamento e, portanto, não garante uma avaliação completa da morfologia da superfície cisalhante das juntas.

A análise visual para determinação do valor de JRC foi realizada considerando três eixos paralelos entre si na direção de cisalhamento e em três eixos ortogonais em relação à direção de cisalhamento, também paralelos entre si (Figura 4.3). A análise foi

realizada antes e depois do ensaio de cisalhamento direto. No Apêndice III e IV são apresentadas a caracterização das juntas.


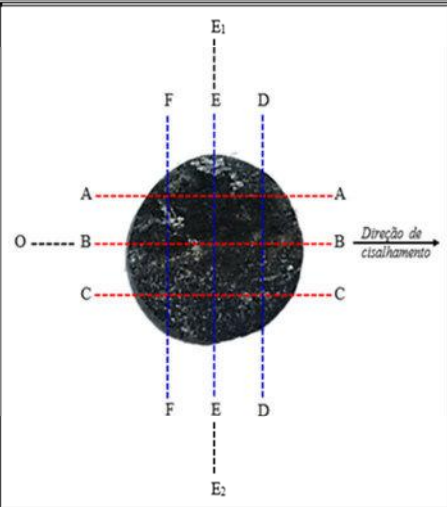
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS								
FICHA TÉCNICA								
Amostra:				Laboratorista:				
Local:								
Responsável:								
Informações básicas				Plano de cisalhamento				
Área cisalhante (mm ²)								
Diâmetro (mm)								
d _{max} - d _{min} (mm)								
Peso (g)								
Altura max - min (mm)								
Grau de Saturação								
Teor de umidade (%)								
Análise fissuras								
Descrição básica: características geológicas - (tipo de rocha, tipo de junta, presença de material de preenchimento, tipo de material, espessura do material)								
Coeficiente de Rugosidade da Junta - JRC								
				JRC = 0 - 2		JRC		
				JRC = 2 - 4		Eixo	Antes CD	Depois CD
				JRC = 4 - 6		AA		
				JRC = 6 - 8		BB		
				JRC = 8 - 10		CC		
				JRC = 10 - 12		DD		
				JRC = 12 - 14		EE		
				JRC = 14 - 16		FF		
				JRC = 16 - 18		Distância entre a área cisalhante e gesso		
				JRC = 18 - 20		OB (mm)		
		B (mm)						
		E ₁ (mm)						
		E ₂ (mm)						
Apêndice IV								
Classificação Qualitativa								
Cor	Homogênea			Heterogênea				
Granulação	Finíssima	Fina	Média	Grossa	M. Grossa			
Textura	Cristalina		Clástica		Fanerítica	A fanítica		
Dureza	Riscado pela unha			Riscados por canivete		Ris cam o vidro		
Estrutura	Maciça			Foliada	Estratificada			

Figura 4.2 – Ficha técnica de caracterização das amostras.


 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS			
FICHA TÉCNICA			
Grau de alteração (GUIDICINI & NIEBLE, 1984)			
Parâmetro	Rocha	Sigla	Característica
Estados de Alteração	São	A1	Macroscopicamente não há sinais de alteração física ou química; minerais apresentam brilho
	P. alterada	A2	Alteração incipiente dos minerais; em geral, a rocha exibe pouca descoloração.
	M. alterada	A3	Minerais medianamente alterados; em geral não apresentam brilho
	Muito alterada	A4	Minerais muito alterados; em geral pulverulentos e friáveis; totalmente sem brilho
Grau de alteração (IPT, 1984)			
Siglas	Denominações	Características da rocha	
A1 W1 RS	Rocha sã ou praticamente sã	Apresenta minerais primários sem vestígios de alterações ou com alterações físicas e químicas incipientes. Neste caso, a rocha é ligeiramente descolorida	
A2 W2 RAD	Rocha medianamente alterada	Apresenta minerais medianamente alterados e a rocha é bastante descolorida	
A3 W3 RAM	Rocha muito alterada	Apresenta minerais muito alterados, por vezes pulverulentos e friáveis	
A4 W4 REA	Rocha extremamente alterada	Apresenta minerais totalmente alterados e a rocha é intensamente descolorida, gradando para cores de solo	
Grau de alteração (Oliveira, 2017)			
Sigla	Item 5 - Grau de alteração		
A. Inalterada	Minerais originais intactos, sem indícios de decomposição, podendo existir leve oxidação.		
B. Pouco alterada	Alteração incipiente com pouca transformação dos componentes mineralógicos originais e pouca descoloração do material.		
C. Medianamente alterada	Minerais medianamente alterados e, em geral, sem brilho; maior descoloração do material.		
D. Muito alterada	Minerais muito alterados e sem brilho; superfície com intensa decomposição, desagregando-se facilmente.		
E. Extremamente alterada	Componentes mineralógicos originais transformados total ou parcialmente pelo intemperismo químico; transição da rocha para solo.		
Observações:			

Figura 4.2 (cont.) - Ficha técnica de caracterização das amostras.

As juntas foram identificadas pela posição das partes dos testemunhos nos moldes de gesso representadas pela junta de base (B) e junta de topo (T), grau de intemperismo e numeração algébrica (Figura 4.4).

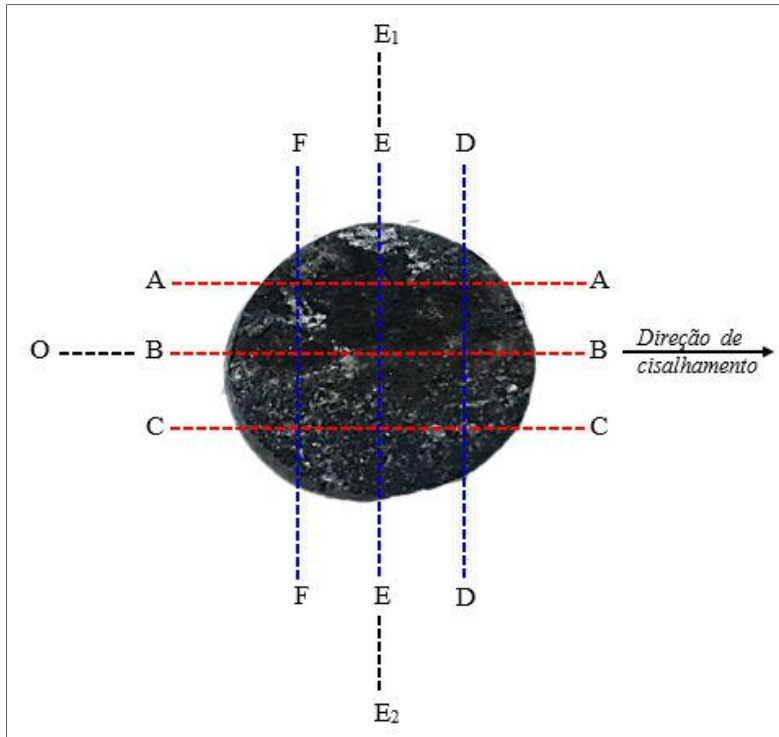


Figura 4.3 - Eixos para medida de JRC.



Junta de Topo (XXXXh – YT)
Junta de Base (XXXXh – YB)
<p><i>Código das juntas:</i> (XXXXh – YB)</p> <p>XXXX - nível de alteração acelerada em laboratório (h);</p> <p>Y - identificação da junta (1-5);</p> <p>(B ou T) - posição da junta no molde de gesso. (junta de base ou topo).</p>

Figura 4.4 - Identificação das juntas.

4.2 ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO

A metodologia de ensaio de cisalhamento de juntas utilizada nesta pesquisa foi desenvolvida considerando as recomendações da ISRM (1974) e ASTM D5607 – 16 (2016), procedimentos de utilização do manual do equipamento CONTROLS 45-D0548/D, além de informações da literatura técnica internacional.

Os taludes dos canais de interligação e adução do AHE Simplício estão expostos ao mecanismo de deslizamento na condição CNL e ininterruptamente sendo intemperizados pela percolação de água nos canais. Para compatibilizar as variáveis envolvidas na execução dos ensaios com as condições de campo dos canais do AHE Simplício e o grau de intemperismo das juntas foram realizados 10 ensaios preliminares em juntas planares (Apêndice AI).

A condição de ensaio aplicada em laboratório foi CNL, logo a tensão normal foi mantida teoricamente constante. Optou-se por realizar três níveis de carregamento normal para determinação da resistência ao cisalhamento: 0,5kN/A, 1,0kN/A e 1,5kN/A, onde A é a área de cisalhamento da junta.

A aplicação da carga normal foi realizada de forma gradual até o valor pré-estabelecido para o estágio, anteriormente a aplicação de força cisalhante.

4.2.1 PREPARAÇÃO DAS JUNTAS PARA CISALHAMENTO DIRETO

As amostras de testemunhos com as juntas exigem uma preparação especial para a realização de ensaios de cisalhamento direto no equipamento portátil do Laboratório de Mecânica das Rochas da COPPE.

A seção longitudinal das caixas do equipamento de cisalhante direto apresenta geometria triangular. Desta forma, as amostras cilíndricas são encapsuladas em gesso utilizando-se moldes de geometria compatível com as caixas de cisalhamento. O molde é composto pelo fundo metálico e laterais de acrílico aparafusadas, conforme mostrado na Figura 4.5.

O procedimento de encapsulamento consiste em:

1. Envolver o molde em toda sua extensão em filme plástico para que a desforma do gesso ocorra de forma rápida. Posicionar placas laterais para reduzir a largura das peças de gesso, facilitando o posicionamento nas caixas de cisalhamento;

2. Preparar a mistura de gesso-água e, em estado fluido, verter no molde. Posicionar a primeira metade da amostra no molde com auxílio do suporte lateral. O suporte é composto por duas barras paralelas de alumínio que comprimem a amostra lateralmente. Este acessório permite suspender o plano cisalhante da amostra em relação ao volume final de gesso, de forma a evitar a contaminação e garantir a centralidade do elemento e ainda horizontalizar o plano de cisalhamento da amostra. Note-se que a restrição do aparelho de cisalhamento a planos cisalhantes médios não horizontalizados pode inviabilizar a realização do ensaio de cisalhamento na direção mais crítica da junta. O tempo mínimo de cura para retirada das laterais de acrílico do molde e remoção da amostra encapsulada é de 10 minutos;
3. Ajustar as duas metades da junta, compatibilizando as irregularidades das superfícies superior (segunda metade da junta) e inferior (primeira metade da junta já encapsulada) e, em seguida, imobilizando o conjunto com fitas no entorno do plano cisalhante completamente compatibilizado. É verificada a compatibilização das irregularidades com marcações feitas nas laterais da junta;
4. Preparar o molde com o revestimento do filme plástico, verter a mistura fluida de gesso-água e posicionar a metade da amostra não encapsulada, porém fixa a outra metade já encapsulada.

As metades de testemunho com a junta devem estar centralizadas no molde para evitar a redução do limite máximo do deslocamento cisalhante da caixa superior igual a 25mm.

Na direção vertical, deve-se compatibilizar o plano cisalhante com as marcações nas laterais de acrílico. Caso o plano cisalhante seja posicionado muito abaixo das marcações, durante o cisalhamento haverá contato da caixa superior com a inferior.

Em contraposição, o plano cisalhante posicionado muito acima das marcações inviabiliza o contato dos transdutores de deslocamento, acoplados à caixa superior, com a caixa inferior do equipamento. As amostras devem ter a área cisalhante protegida durante todo processo de encapsulamento para que não haja contaminação pela mistura gesso-água.

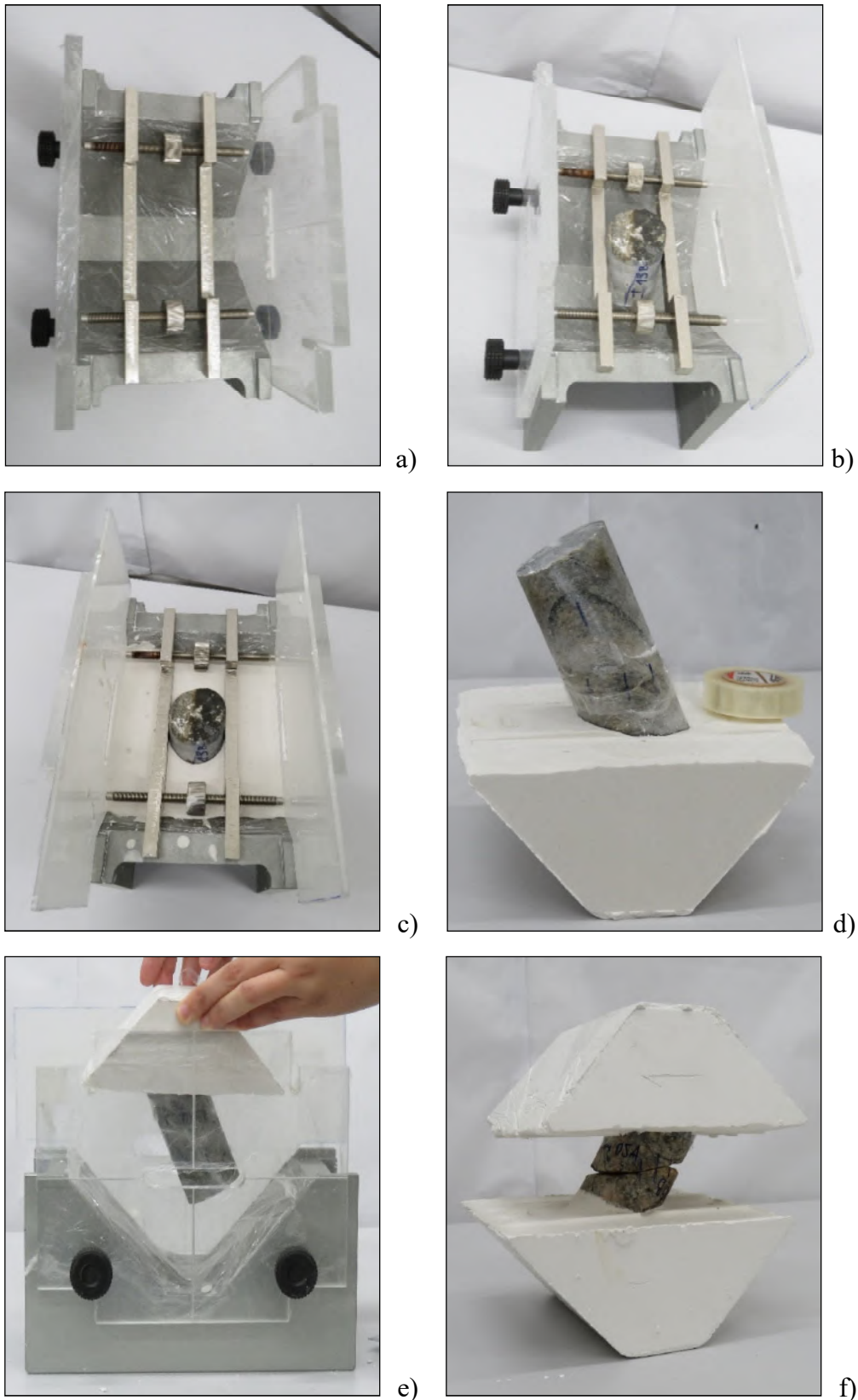


Figura 4.5 – Preparação das juntas para cisalhamento direto: (a) Molde envolto com filme plástico; (b) Verificação da centralidade da 1ª metade da junta fixa ao suporte lateral; (c) Colocação da 1ª metade da junta no gesso líquido com auxílio de placas laterais; (d) Compatibilização das irregularidades da junta com fita para encapsulamento no gesso da 2ª metade da junta; (e) Colocação da 2ª metade da junta no molde; (f) Contato da junta nos moldes de gesso.

4.2.2 EQUIPAMENTO DE CISALHAMENTO DIRETO

O equipamento de cisalhamento portátil é constituído basicamente por duas caixas: superior e inferior de modelo CONTROLS 45-D0548/D. As partes que constituem o equipamento de ensaio são apresentadas na

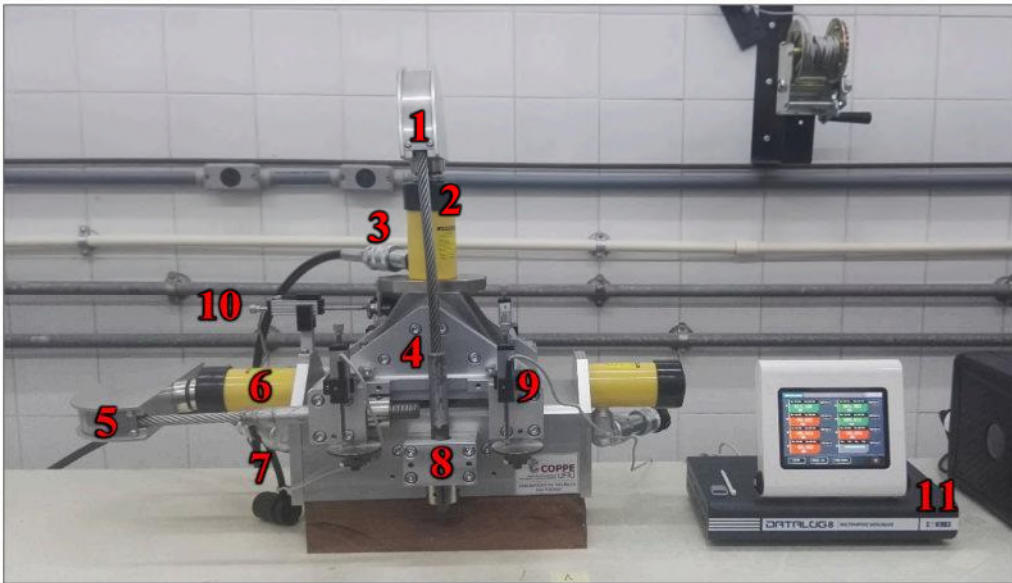
Figura 4.6 e Figura 4.7.

As tensões normal e cisalhante são aplicadas por meio de macacos hidráulicos independentes, com acionamento manual. Ambos possuem capacidade máxima de 70MPa, obtendo-se uma força máxima de 50 kN.

O macaco hidráulico de carregamento normal possui um sistema de suporte pneumático de pressão de baixa fricção. Trata-se de um êmbolo acionado durante a aplicação de carga pelo macaco, mantido em equilíbrio por uma contrapressão de ar comprimido. O equilíbrio do êmbolo é verificado por ranhuras na lateral do cilindro de aço que engloba o êmbolo e a seção de ar comprimido. O dispositivo tem como função compensar eventuais variações de tensão normal, aplicada as amostras, decorrente a dilatação durante o processo de cisalhante nas superfícies das juntas. Os macacos hidráulicos possuem manômetros e células de carga para verificação e acompanhamento das cargas aplicadas ao sistema.

As caixas superior e inferior são compostas pelos compartimentos de juntas, encapsulados em gesso, conectados a cilindros hidráulicos. Na caixa superior está acoplado um único cilindro hidráulico, e na caixa inferior dois cilindros hidráulicos em lados opostos, permitindo o deslocamento máximo de 25mm.

A transmissão de esforços ocorre sequencialmente, a partir do acionamento do macaco seguindo para os cilindros hidráulicos compostos por êmbolos na posição vertical e horizontal. Conecta-se um cabo de aço na vertical em três posições no sistema: as extremidades do cabo são conectadas a caixa inferior por meio das alças laterais, e na posição central acopla-se o cabo sobre o êmbolo do cilindro hidráulico da caixa superior, por meio de coroas de aço. Outro cabo de aço na horizontal é conectado a um dos cilindros horizontais da caixa inferior, dependendo do sentido de cisalhamento escolhido. Posiciona-se o cabo de aço sobre o êmbolo na posição central do cilindro hidráulico, também com o uso de uma coroa, e suas extremidades são fixadas nas alças laterais da caixa superior. Ao solicitar o cilindro hidráulico vertical, traciona-se o cabo que verticalmente aplica a tensão normal. Ao solicitar o cilindro hidráulico horizontal, traciona-se o cabo horizontalmente, deslocando a caixa superior.



Componentes: 1: Coroa vertical para aplicação da força normal; 2: Cilindro hidráulico da força normal; 3: Conexão da mangueira de macaco hidráulico da força normal; 4: Caixa superior de cisalhamento; 5: Coroa horizontal para aplicação da força tangencial; 6: Cilindro hidráulico da força tangencial; 7: Conexão da mangueira de macaco hidráulico da força tangencial; 8: Caixa inferior de cisalhamento; 9: Potenciômetro para medição de deslocamento vertical; 10: Potenciômetro para medição de deslocamento horizontal; 11: *Datalog*.

Figura 4.6 - Equipamento de cisalhamento direto.



Componentes: 1: Macaco hidráulico de aplicação de carga tangencial; 2: Célula de carga; 3: Manômetro; 4: Mangueira de conexão; 5: Macaco hidráulico de aplicação de carga normal; 6: Célula de carga; 7: Suporte pneumático de pressão; 8: Manômetro; 9: Mangueira de conexão.

Figura 4.7 - Sistema de aplicação de carga.

A medida de deslocamentos horizontais e verticais durante o ensaio é realizada com potenciômetros (CONTROLS 82-P9008/ELT). São utilizados quatro na posição vertical e um na posição horizontal. Os instrumentos verticais são alocados na caixa superior e apoiados sobre uma base (com forma de disco) na caixa inferior. Eles medem os deslocamentos verticais da caixa superior e, portanto, a dilatação durante o cisalhamento das superfícies das juntas. O deslocamento horizontal é medido pelo único potenciômetro acoplado horizontalmente na caixa inferior e em contato com a base em forma de disco na caixa superior. Toda aquisição de dados é realizada pelo datalog de modelo CONTROLS 82-P9008.

O equipamento portátil de cisalhamento permite a movimentação da caixa superior apenas na direção horizontal. Para que não haja contato lateral da caixa superior com a inferior, o plano de cisalhamento da amostra é posicionado o mais horizontalizado possível. A horizontalização da área cisalhante evita o deslocamento lateral da caixa superior e, conseqüentemente, o contato lateral entre as caixas superior e inferior. Conforme mencionado, a restrição do equipamento a deslocamentos laterais impossibilita, em algumas amostras, o posicionamento da área cisalhante na orientação mais desfavorável em relação à direção de cisalhamento.

Durante o ensaio de cisalhamento de juntas pode ocorrer variação da taxa de tensão cisalhante mobilizada e tensão normal aplicada devido à alteração de morfologia da superfície da junta, rupturas locais e redução da área de cisalhamento.

Deve-se também considerar que, ao longo do ensaio, a tensão normal no elemento superior da junta (peça móvel) é aplicada no centro de gravidade da peça. Em contrapartida, o elemento inferior (peça fixa) sofre um deslocamento contínuo do ponto de aplicação da tensão normal em relação ao centro de gravidade. Quanto maior o deslocamento da caixa superior em relação à caixa inferior, maior é a excentricidade de aplicação da carga normal em relação ao centro de gravidade do elemento inferior. Logo, aplica-se um momento rotacional na peça (fixa), que tenderá a aumentar a tensão normal aplicada. A cada incremento de deslocamento horizontal é produzido um incremento de resistência ao cisalhamento.

O equipamento de cisalhamento portátil não realiza a correção de variações da tensão normal durante o ensaio de cisalhamento de forma imediata e automática.

Os sistemas de cabos que interligam os cilindros hidráulicos e o equipamento são flexíveis, o que possibilita uma pequena inclinação da caixa superior quando aplicada a carga normal.

4.3 ENSAIO DE MARTELO SCHMIDT

A resistência à compressão da junta foi medida utilizando-se o Martelo Schmidt HT225 do tipo N. A energia de impacto do equipamento é $2,207J \pm 1J$, com amplitude de rebote de 10 a 100. Por meio dos valores de rebote é possível estimar a resistência à compressão das juntas alteradas e não alteradas, adotando-se relações empíricas.

A faixa indicada de resistência à compressão uniaxial para teste em concreto com Martelo Schmidt HT 225 é de 10 a 60MPa. Acima de tal faixa de resistência recomenda-se a utilização de curvas personalizadas, definidas pelo usuário, para correlacionar valores de rebote com a resistência à compressão uniaxial do material.

O tipo de martelo utilizado deve ser escolhido com base no objetivo do estudo, características, propriedades e dimensões do material. Para testemunhos de pequenas dimensões é indicado o uso do martelo do tipo L de baixa energia. Porém, para o desenvolvimento da pesquisa apenas o tipo N, de energia de impacto padrão, estava disponível.

Os valores de rebote das juntas foram medidos utilizando a metodologia proposta por OLIVEIRA (2017) e OLIVEIRA *et al.* (2018). As amostras de juntas dos testemunhos eram fixadas em uma morsa de bancada, com a extremidade correspondente à junta a ser testada posicionada verticalmente. A aplicação do martelo era realizada na posição horizontal.

Foram ensaiados 47 corpos de prova, apenas nas faces com juntas naturais, com 12 medições de rebote na parte central das amostras para evitar zonas de danos nas áreas perimetrais (17 corpos de prova ensaiados apenas com Martelo Schmidt e 30 corpos de provas ensaiados com Martelo Schmidt após cisalhamento direto). A metodologia de OLIVEIRA (2017) possui a vantagem da facilidade de execução e rapidez. Porém, possui como desvantagem a possibilidade da ruptura da amostra durante a sua fixação na morsa de bancada, especialmente para os corpos de prova com alteração elevada.

A relação entre valores de rebote e a resistência à compressão uniaxial é estimada por meio de correlações. AUFMUTH (1973) correlacionou valores de rebote de 800 amostras, representando 168 formações geológicas e 25 tipos litológicos. DEERE e MILLER (1966) utilizaram amostras de 55mm de diâmetro de 28 locais diferentes. BEVERLY *et al.* (1979) expandiram a pesquisa de DEERE e MILLER (1966) com dados adicionais de valores de rebote em mais 20 locais (KAHRAMAN, 2001). AYDIN e BASU (2005) apresentam correlações entre os valores do rebote dos martelos e a

resistência à compressão uniaxial, desenvolvidas por diversos autores, para diferentes tipos de rochas. A Tabela 4.1 sumaria as principais correlações entre o rebote e resistência à compressão uniaxial.

Tabela 4.1 - Correlações entre valores de rebote do Martelo Schmidt e resistência à compressão uniaxial (AYDIN e BASU, 2005).

Referência	Correlação	r	Tipo de Rocha	σ_c	R
Deere e Miller (1966)	$\sigma_c = 9,97e^{(0,02R_L\rho)}$	0,94	28 diferentes litologias	22-358	23-59
Aufmuth (1973)	$\sigma_c = 0,33(R_L\rho)^{1,35}$	0,80	25 diferentes litologias	12-362	10-54
Dearman e Irfan (1978)	$\sigma_c = 0,00016R_L^{3,47}$	-	Granito	11-266	23-62
Beverly <i>et al.</i> (1979)	$\sigma_c = 12,74e^{(0,02R_L\rho)}$	-	20 diferentes litologias	38-218	-
Aydin e Basu (2005)	$\sigma_c = 1,45e^{(0,07R_L)}$	0,92	Granito	6-196	20-65
Kahraman (1996)	$\sigma_c = 0,00045(R_N\rho)^{2,46}$	0,96	10 diferentes litologias	-	-

σ_c - resistência à compressão uniaxial (MPa); ρ – densidade da rocha (g/cm^3); RL - valor de rebote para martelos tipo L, RN valor de rebote para martelos tipo N, r = coeficiente de regressão. Relações em SI.

Nesta pesquisa os valores de rebote do Martelo Schmidt dos corpos de prova foram relacionados à resistência à compressão uniaxial considerando as correlações apresentadas na Tabela 4.1 e rebote do Martelo Schmidt tipo N. Entretanto, algumas correlações foram desenvolvidas para valores de rebote obtidos com martelo tipo L. Desta forma foi adotada a correção de tipo de martelo proposta por AYDAY e GÖKTAN (1992) para relacionar os valores de rebotes medidos com o martelo tipo N e L, expressa por:

$$R_L = -1,003 + 0,769R_N \quad (4.1)$$

CAPÍTULO 5

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados da caracterização das juntas, ensaios de cisalhamento direto e Martelo Schmidt. Os resultados dos ensaios são comparados aos apresentados por SALLES (2013) e literatura técnica.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS JUNTAS

A Tabela 5.1 apresenta os resultados das classificações qualitativas do grau de alteração de juntas naturais propostas por GUIDICINI e NIEBLE (1984), IPT (1984) e OLIVEIRA (2017). A classificação qualitativa das juntas foi realizada comparativamente entre os grupos de amostras. Utilizou-se as amostras do grupo intacto como referência inicial. Note-se que as amostras de juntas foram ensaiadas em cisalhamento direto e com Martelo Schmidt. Os índices 1 e 2 indicam, respectivamente, as amostras testadas com Martelo Schmidt, após sofrerem rotação no ensaio de cisalhamento direto e as amostras testadas apenas com Martelo Schmidt, sem cisalhamento prévio. As demais amostras foram ensaiadas primeiramente em cisalhamento direto e posteriormente foram testadas com o Martelo Schmidt.

Tabela 5.1 - Classificação do grau de intemperismo.

Amostra	Grau de alteração - Classificação		
	GUIDICINI e NIEBLE (1984)	IPT (1984)	OLIVEIRA (2017)
0h-1B ¹	A1	A1	B
0h-1T ¹	A1	A1	B
0h-2B	A1	A1	A
0h-2T	A1	A1	A
0h-3B ¹	A2	A1	B
0h-3T ¹	A2	A1	B
0h-4B	A2	A1	B
0h-4T	A2	A1	B
600h-1B	A2	A1	B
600h-1T	A2	A1	B
600h-2B ¹	A2	A1	B
600h-2T ¹	A2	A1	B

Amostra	Grau de alteração - Classificação		
	GUIDICINI e NIEBLE (1984)	IPT (1984)	OLIVEIRA (2017)
600h-3B	A3	A2	C
600h-3T	A3	A2	C
600h-4B ²	A2	A1	B
600h-4T ²	A2	A1	B
1200h-1B	A3	A1	C
1200h-1T	A3	A2	C
1200h-2B	A3	A2	C
1200h-2T	A3	A2	C
1200h-3B ²	A2	A1	B
1200h-3T ²	A2	A1	B
1200h-4B	A3	A2	C
1200h-4T	A3	A2	C
2400h-1B	A3	A2	C
2400h-1T	A3	A2	C
2400h-2B	A2	A2	B
2400h-2T	A3	A2	C
2400h-3B	A2	A1	A
2400h-3T	A2	A1	A
2400h-4B ²	A3	A2	C
2400h-4T ²	A2	A1	C
4800h-1B	A3	A2	C
4800h-1T	A3	A2	C
4800h-2B	A3	A2	C
4800h-2T	A3	A2	C
4800h-3B	A3	A2	C
4800h-3T	A3	A2	C
4800h-4B ²	A3	A3	C
4800h-4T ²	A3	A3	C
8300h-1B	A3	A2	C
8300h-1T	A3	A2	C
8300h-2B	A3	A2	C
8300h-2T	A3	A2	C
8300h-3B	A3	A2	C
8300h-3T	A3	A2	C
8300h-4B ¹	A3	A3	C
8300h-4T ¹	A3	A3	C
8300h-5B ²	A3	A3	C
8300h-5T ²	A3	A3	C

1 – Amostras testadas com Martelo Schmidt, após rotação no ensaio de cisalhamento direto; 2

– Amostras testadas apenas com Martelo Schmidt.

Observa-se a partir da classificação do grau de alteração de juntas naturais (Tabela 5.1) que o grau de intemperismo aumenta efetivamente com o aumento das horas de exposição das amostras no equipamento de percolação acelerada. Houve redução do brilho dos minerais com aumento do grau de intemperismo. Importante notar que as classificações qualitativas não permitem avaliar a profundidade da alteração por intemperismo nas amostras, fato que restringe a sua aplicação.

A Tabela 5.2 apresenta os valores de JRC das juntas avaliados antes e depois do ensaio de cisalhamento direto. Verifica-se que nem sempre o processo de cisalhamento produz alteração ou redução do valor de JRC. Além disto, a modificação da superfície da junta devido ao cisalhamento pode aumentar o valor de JRC em relação ao medido antes do ensaio de cisalhamento direto.

O cisalhamento em juntas de rochas inicia-se com desgastes de irregularidades de maior amplitude. Entretanto, as irregularidades também podem ser quebradas, alterando o perfil bidimensional utilizado para medir o JRC e isto pode aumentar o valor medido inicialmente. Ressalta-se que as avaliações para determinação de JRC foram realizadas por comparação visual.

SALLES (2013) fez análise qualitativa visual das juntas rochosas com o aumento dos níveis de alteração no equipamento de percolação acelerada, destacando: redução da quantidade minerais máficos, redução expressiva da foliação, perda da rugosidade nos níveis de 2400h e 8300h, presença de minerais amarelados oxidados, microfissuras visíveis a olho nu para o grau de intemperismo de 8300h.

Tabela 5.2 - JRC antes e depois do ensaio de cisalhamento direto.

Amostra	Eixo	Antes CD	Depois CD	Eixo	Antes CD	Depois CD
0h-1B ¹	AA	8	8	DD	16	8
	BB	12	12	EE	20	20
	CC	12	12	FF	16	10
	JRCm	11	11	JRCm	17	13
0h-1T ¹	AA	8	8	DD	14	14
	BB	14	14	EE	12	12
	CC	14	14	FF	12	12
	JRCm	12	12	JRCm	13	13
0h-2B	AA	12	12	DD	16	16
	BB	14	14	EE	16	16
	CC	14	14	FF	10	10
	JRCm	13	13	JRCm	14	14

Amostra	Eixo	Antes CD	Depois CD	Eixo	Antes CD	Depois CD
0h-2T	AA	10	10	DD	12	16
	BB	14	12	EE	12	12
	CC	12	12	FF	12	12
	JRCm	12	11	JRCm	12	13
0h-3B ¹	AA	20	20	DD	12	12
	BB	14	14	EE	16	16
	CC	12	12	FF	10	10
	JRCm	15	15	JRCm	13	13
0h-3T ¹	AA	12	12	DD	12	12
	BB	20	18	EE	12	12
	CC	16	12	FF	12	12
	JRCm	16	14	JRCm	12	12
0h-4B	AA	18	8	DD	12	12
	BB	16	16	EE	16	18
	CC	10	10	FF	10	10
	JRCm	15	11	JRCm	13	13
0h-4T	AA	18	8	DD	10	10
	BB	14	14	EE	16	12
	CC	16	16	FF	12	12
	JRCm	16	13	JRCm	13	11
600h-1B	AA	12	12	DD	12	12
	BB	12	12	EE	12	12
	CC	12	12	FF	12	12
	JRCm	12	12	JRCm	12	12
600h-1T	AA	10	10	DD	18	18
	BB	20	20	EE	16	16
	CC	14	14	FF	16	12
	JRCm	15	15	JRCm	17	15
600h-2B ¹	AA	16	16	DD	12	12
	BB	16	16	EE	12	12
	CC	16	10	FF	16	16
	JRCm	16	14	JRCm	13	13
600h-2T ¹	AA	16	16	DD	10	10
	BB	16	16	EE	16	16
	CC	12	12	FF	16	16
	JRCm	15	15	JRCm	14	14
600h-3B	AA	14	14	DD	14	14
	BB	20	20	EE	16	12
	CC	16	16	FF	16	16
	JRCm	17	17	JRCm	15	14
600h-3T	AA	12	12	DD	16	14
	BB	14	14	EE	16	16
	CC	12	12	FF	12	12
	JRCm	13	13	JRCm	15	14

Amostra	Eixo	Antes CD	Depois CD	Eixo	Antes CD	Depois CD
1200h-1B	AA	8	8	DD	16	16
	BB	14	14	EE	12	12
	CC	14	8	FF	10	10
	JRCm	12	10	JRCm	13	13
1200h-1T	AA	8	10	DD	12	12
	BB	14	14	EE	12	12
	CC	12	12	FF	12	12
	JRCm	11	12	JRCm	12	12
1200h-2B	AA	10	10	DD	14	14
	BB	16	16	EE	14	12
	CC	16	16	FF	14	14
	JRCm	14	14	JRCm	14	13
1200h-2T	AA	16	16	DD	14	14
	BB	16	12	EE	14	14
	CC	12	12	FF	14	14
	JRCm	15	13	JRCm	14	14
1200h-4B	AA	12	12	DD	10	12
	BB	16	16	EE	16	16
	CC	12	12	FF	14	12
	JRCm	13	13	JRCm	13	13
1200h-4T	AA	14	14	DD	16	12
	BB	12	12	EE	16	12
	CC	10	10	FF	16	16
	JRCm	12	12	JRCm	16	13
2400h-1B	AA	8	8	DD	10	14
	BB	14	14	EE	16	16
	CC	16	14	FF	10	10
	JRCm	13	12	JRCm	12	13
2400h-1T	AA	14	8	DD	14	14
	BB	12	12	EE	12	12
	CC	12	12	FF	12	12
	JRCm	13	11	JRCm	13	13
2400h-2B	AA	14	14	DD	12	12
	BB	14	14	EE	16	16
	CC	12	12	FF	10	10
	JRCm	13	13	JRCm	13	13
2400h-2T	AA	16	16	DD	12	12
	BB	12	12	EE	12	12
	CC	10	10	FF	8	8
	JRCm	13	13	JRCm	11	11
2400h-3B	AA	12	8	DD	14	10
	BB	20	18	EE	10	10
	CC	14	12	FF	10	16
	JRCm	15	13	JRCm	11	12

Amostra	Eixo	Antes CD	Depois CD	Eixo	Antes CD	Depois CD
2400h-3T	AA	8	8	DD	12	12
	BB	20	14	EE	12	12
	CC	14	14	FF	12	12
	JRCm	14	12	JRCm	12	12
4800h-1B	AA	16	16	DD	10	10
	BB	12	12	EE	12	12
	CC	16	16	FF	12	12
	JRCm	15	15	JRCm	11	11
4800h-1T	AA	16	16	DD	12	12
	BB	10	10	EE	16	16
	CC	12	12	FF	10	10
	JRCm	13	13	JRCm	13	13
4800h-2B	AA	20	8	DD	16	16
	BB	20	8	EE	16	16
	CC	12	12	FF	8	8
	JRCm	17	9	JRCm	13	13
4800h-2T	AA	12	8	DD	12	12
	BB	20	8	EE	16	16
	CC	14	14	FF	12	12
	JRCm	15	10	JRCm	13	13
4800h-3B	AA	14	14	DD	16	16
	BB	16	16	EE	18	18
	CC	20	20	FF	16	16
	JRCm	17	17	JRCm	17	17
4800h-3T	AA	8	14	DD	12	12
	BB	18	12	EE	12	12
	CC	20	8	FF	16	16
	JRCm	15	11	JRCm	13	13
8300h-1B	AA	20	18	DD	16	10
	BB	16	14	EE	16	10
	CC	14	14	FF	12	12
	JRCm	17	15	JRCm	15	11
8300h-1T	AA	12	12	DD	12	12
	BB	12	14	EE	12	12
	CC	12	12	FF	10	12
	JRCm	12	13	JRCm	11	12
8300h-2B	AA	12	12	DD	12	12
	BB	14	12	EE	18	18
	CC	12	12	FF	10	10
	JRCm	13	12	JRCm	13	13
8300h-2T	AA	14	14	DD	8	8
	BB	16	16	EE	20	8
	CC	10	10	FF	12	12
	JRCm	13	13	JRCm	13	9

Amostra	Eixo	Antes CD	Depois CD	Eixo	Antes CD	Depois CD
8300h-3B	AA	8	8	DD	12	12
	BB	12	12	EE	12	12
	CC	8	8	FF	12	12
	JRCm	9	9	JRCm	12	12
8300h-3T	AA	12	12	DD	12	12
	BB	18	18	EE	18	18
	CC	18	18	FF	8	8
	JRCm	16	16	JRCm	13	13
8300h-4B ¹	AA	20	8	DD	16	8
	BB	16	16	EE	12	12
	CC	16	16	FF	12	12
	JRCm	17	13	JRCm	13	11
8300h-4T ¹	AA	12	12	DD	16	12
	BB	20	18	EE	16	16
	CC	16	12	FF	16	12
	JRCm	16	14	JRCm	16	13

1 – Amostras testadas com Martelo Schmidt, após rotação no ensaio de cisalhamento direto.

Nas Figura 5.1 e Figura 5.2 são apresentados os valores de JRC médio das amostras que sofreram modificação do coeficiente após ensaio de cisalhamento direto. Os valores de JRC foram medidos nos eixos paralelos (AA/BB/CC) e perpendiculares à direção de cisalhamento (DD/EE/FF).

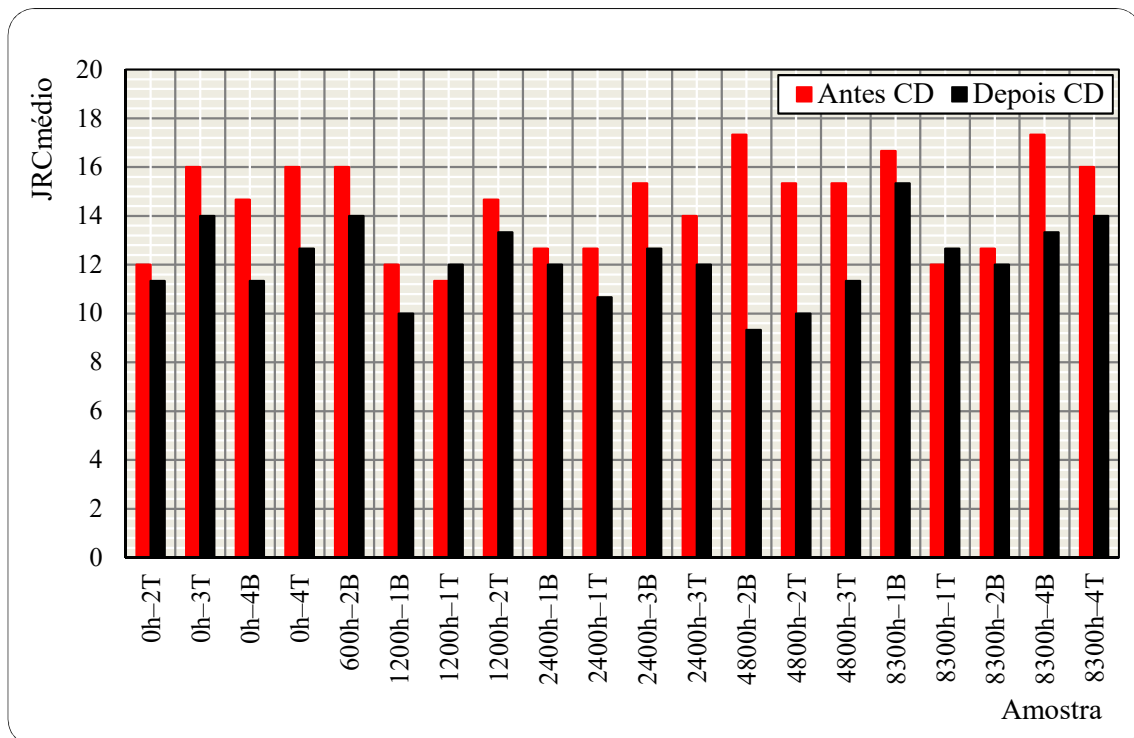


Figura 5.1 – Amostras com variação de JRC médio após ensaio CD - Eixo AA/BB/CC.

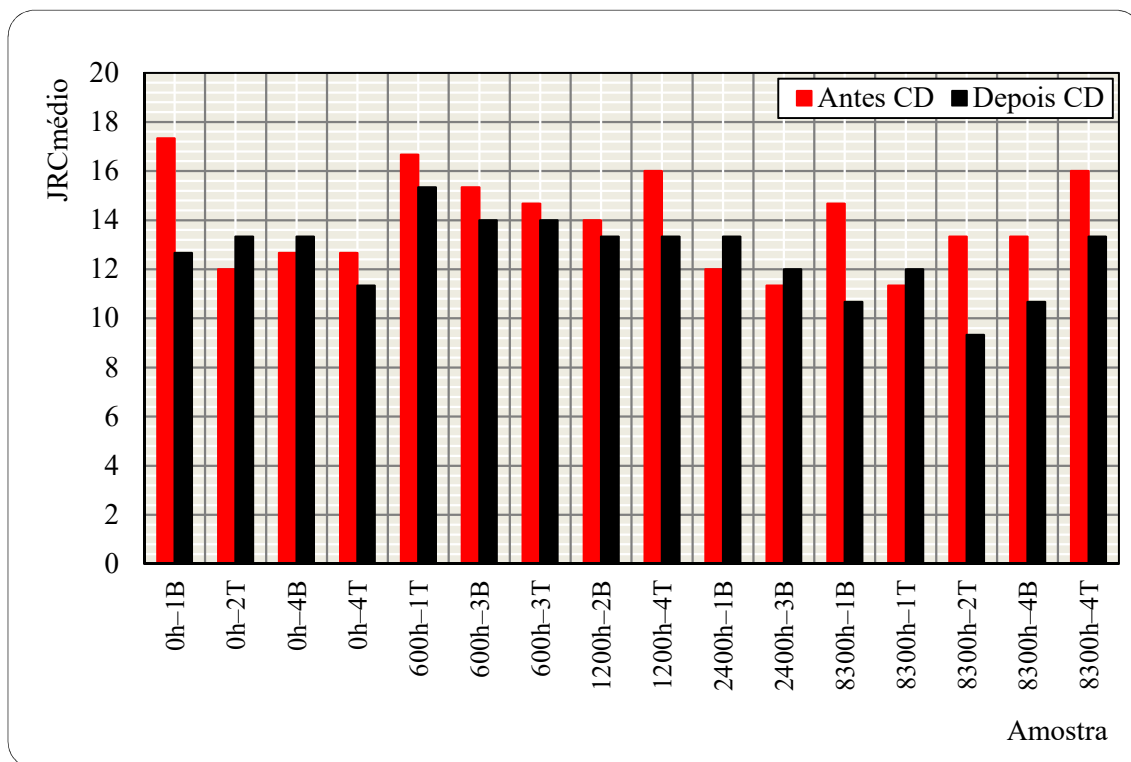


Figura 5.2 - Amostras com variação de JRC médio após ensaio CD - Eixo DD/EE/FF.

5.2 ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO

O deslocamento horizontal da parte superior da junta (elemento móvel) em relação ao inferior (elemento fixo) ocorre somente após a aplicação de uma tensão crítica de cisalhamento que está associada ao início do deslocamento relativo entre as áreas cisalhantes da junta. Ela é denominada nesta pesquisa de tensão crítica em função do processo físico correspondente à mobilização de uma tensão cisalhante maior que a resistência do imbricamento entre as irregularidades das áreas de contato das juntas rugosas ou a resistência por adesão das áreas de contato das juntas planares.

Desta forma, a tensão cisalhante crítica corresponde à tensão de cisalhamento a partir da qual são medidos incrementos de deslocamento horizontal da caixa superior do equipamento (efeito rotacional ou início do deslocamento relativo entre as áreas cisalhantes das juntas). Observa-se uma mudança de comportamento a partir da tensão cisalhante crítica em todos os ensaios (Figura 5.3).

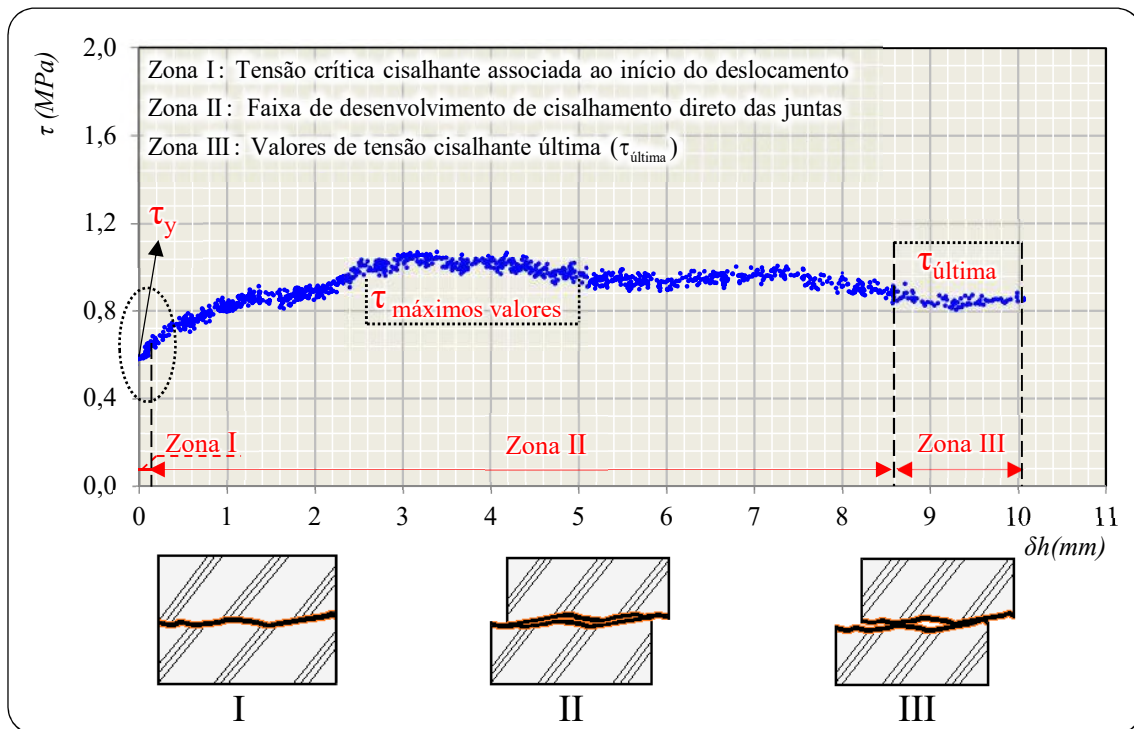


Figura 5.3 - Curva tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal juntas rugosas.

Os ensaios de cisalhamento de cada junta foram executados em 3 estágios, com tensões normais iguais a $0,5\text{kN/A}$, $1,0\text{kN/A}$ e $1,5\text{kN/A}$, onde A é a área de cisalhamento da junta. Algumas juntas apresentam área cisalhante reduzida, sendo necessário ajustar o valor de tensão normal aplicada ao tamanho da área de cisalhamento. Desta forma, foram aplicados valores de tensão normal inicial de $0,27$ a $0,33\text{MPa}$ no primeiro estágio de cisalhamento, $0,54$ a $0,67\text{MPa}$ no segundo estágio e $0,82$ a $1,0\text{MPa}$ no terceiro estágio. As velocidades médias de ensaio variaram entre $0,2$ a $1,0$ mm/min.

Foram verificadas variações da tensão normal aplicada em cada estágio devido à alteração mecânica das irregularidades e consequente variação da morfologia das áreas cisalhantes, reduções da área de cisalhamento, imbricamento inicial e eventuais tendências de rotação da junta.

Para determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento foram analisadas as curvas tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal. Foi verificada a presença de faixas de máximos valores de tensão cisalhante, picos de resistência referentes ao contato rocha-rocha, efeito de rotação, pico de resistência referente ao contato gesso-caixa do equipamento. Considerando os fatores de influência da resistência ao cisalhamento foram obtidas as envoltórias de resistência da junta por regressão linear, aplicando-se o critério de Mohr-Coulomb.

5.2.1 COMPORTAMENTO TENSÃO-DESLOCAMENTO E ENVOLTÓRIA DE RESISTÊNCIA

As análises apresentadas objetivam descrever um comportamento global das juntas sob cisalhamento direto. Foram destacados valores de tensão de cisalhamento médios para analisar as curvas tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal da junta.

A Figura 5.4 e Figura 5.5 apresentam as curvas tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal e envoltória de resistência, respectivamente, para a junta 0h-2 com grau de intemperismo igual ao estado intacto, isto é, sem alteração em laboratório ou no tempo de alteração igual a 0 horas ($N = 0h$).

Observa-se na Figura 5.4 que o imbricamento entre as áreas cisalhantes da junta 0h-2, devido às irregularidades da superfície da junta, provocam uma elevada resistência ao cisalhamento no início do primeiro estágio, sob tensão normal de 0,32MPa. No primeiro estágio, até aproximadamente 0,5mm de deslocamento horizontal da caixa superior do equipamento, não ocorre deslocamento relativo entre as faces da junta. Porém, foi observada a rotação da amostra dentro do equipamento. O pico de resistência medido é oriundo do contato dos moldes de gesso com as caixas metálicas do equipamento. A redução abrupta de resistência decorre do cisalhamento das irregularidades de maior amplitude. Nos estágios subsequentes não se observa pico de resistência ao cisalhamento no início do estágio, tendo em vista a redução da amplitude das irregularidades. No segundo e terceiro estágio não ocorre rotação da amostra. As tensões normais iniciais aplicadas no segundo e terceiro estágio são iguais a 0,59MPa e 0,89MPa, respectivamente. O deslocamento relativo entre as paredes das juntas coincide com início dos estágios.

A tensão cisalhante crítica no primeiro estágio é de 0,81MPa. Após o pico de tensão cisalhante de 0,81MPa (resultante do contato entre molde de gesso e caixas do equipamento), há um decréscimo de tensão cisalhante de aproximadamente 0,42MPa. Verifica-se o aumento gradual da resistência entre 2 e 6mm de deslocamento horizontal para tensão de 0,72MPa. A partir de 6mm, há um novo decréscimo da tensão cisalhante a 0,42MPa.

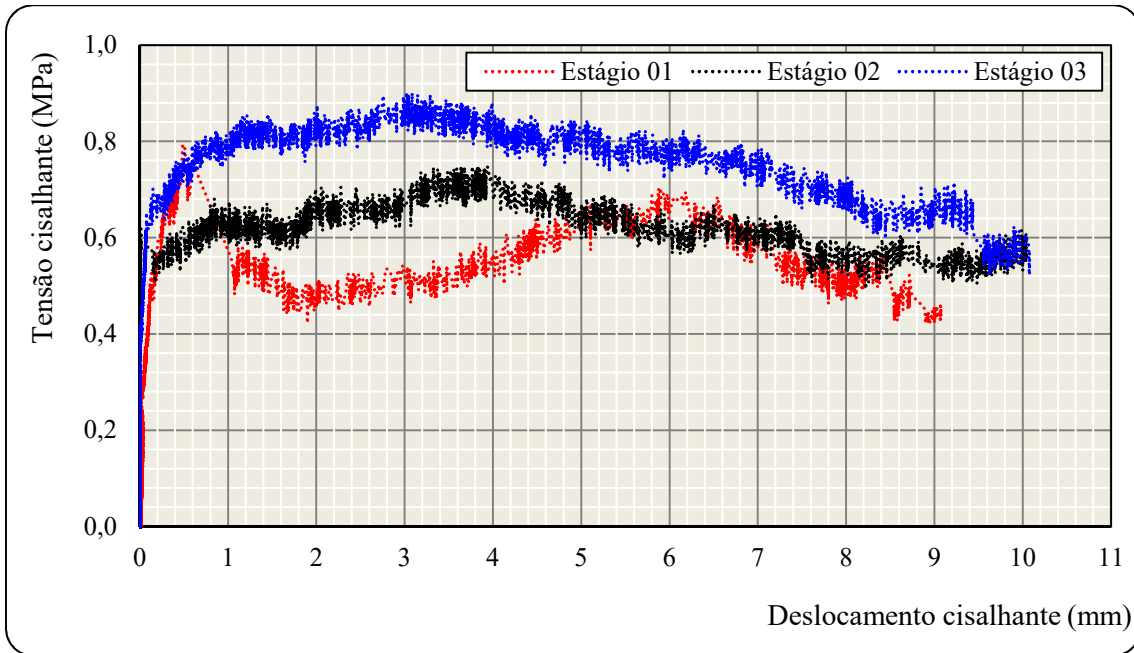


Figura 5.4 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 0h-2.

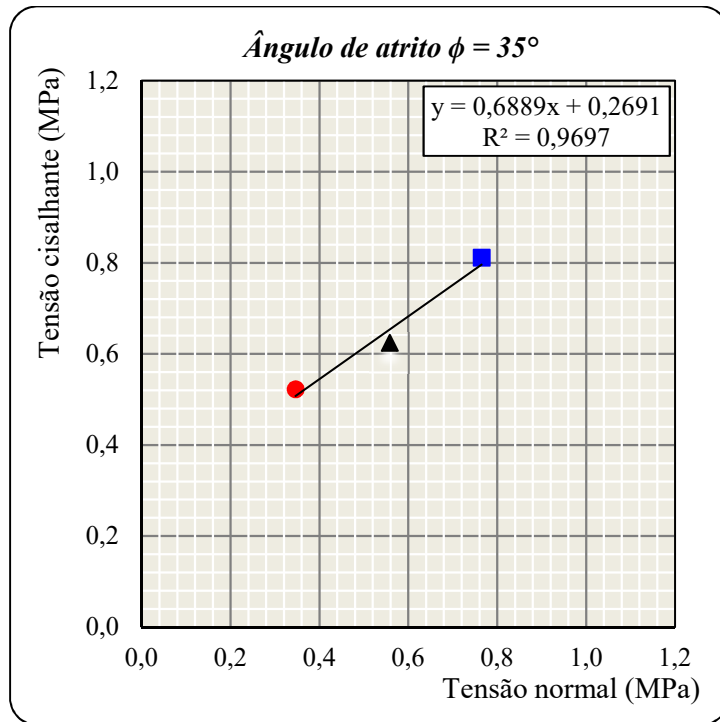


Figura 5.5 - Envoltória de resistência – Junta: 0h-2.

Para o segundo estágio de cisalhamento, sob tensão normal inicial de 0,59MPa, a tensão cisalhante crítica é de 0,55MPa. A tensão cisalhante mobilizada atinge valores máximos (0,70 a 0,77MPa) para deslocamentos horizontais de 3 a 4mm. Após 4mm ocorre redução gradual da resistência até 0,54MPa, correspondendo a 9mm de deslocamento horizontal.

No terceiro estágio a tensão cisalhante crítica é de 0,60MPa para tensão normal inicial de 0,89MPa. Entre 1 e 4mm de deslocamento horizontal os valores de tensão cisalhante máximos variam entre 0,80 e 0,92MPa. Após 4mm há o decréscimo de tensão de cisalhamento a 0,64MPa para 8,5mm. As tensões últimas de cisalhamento para cada estágio são: 0,50MPa, 0,55MPa, 0,55MPa. A velocidade média de ensaio foi de 0,2mm/min.

A interação entre áreas cisalhantes de juntas rugosas pode diferir abruptamente para pequenos incrementos de deslocamento horizontal, conforme verificado durante o cisalhamento da junta 600h-3 apresentada na Figura 5.6 com envoltória de resistência na Figura 5.7. A junta 600h-3 corresponde ao nível 1 de alteração acelerada em laboratório, com tempo total de percolação contínua de 600 horas.

No primeiro estágio de cisalhamento, sob tensão normal inicial de 0,33MPa e tensão cisalhante crítica de 0,25MPa, observa-se um aumento a 0,50MPa em apenas 1mm de deslocamento cisalhante. Após 1mm há o aumento gradual da resistência até a tensão de cisalhamento última de 0,60MPa.

Para o segundo estágio com 0,67MPa de tensão normal inicial, a tensão crítica é igual a 0,70MPa. A curva de tensão mobilizada por deslocamento horizontal no segundo estágio possui aspecto semelhante ao do primeiro estágio até 5,7mm. Entre 5,7 e 6,2mm de deslocamento há uma abrupta redução da resistência ao cisalhamento de 0,85 para 0,60MPa. Após 6,2mm a redução da resistência ao cisalhamento ocorre gradualmente até 10mm. A tensão última do estágio igual a 0,45MPa é inferior a resistência obtida ao fim do primeiro estágio.

No terceiro estágio com tensão normal inicial de 1,0MPa a tensão cisalhante máxima de 1,0MPa é atingida com aproximadamente 0,4mm de deslocamento horizontal. A partir disto, há uma redução da tensão de cisalhamento para 0,50MPa, a qual representa a tensão última. A tensão cisalhante crítica do terceiro estágio foi de 0,98MPa. A velocidade média de ensaio foi de 0,4mm/min. O deslocamento relativo entre as áreas de contato da amostra de fato corresponde ao deslocamento cisalhante medido no ensaio.

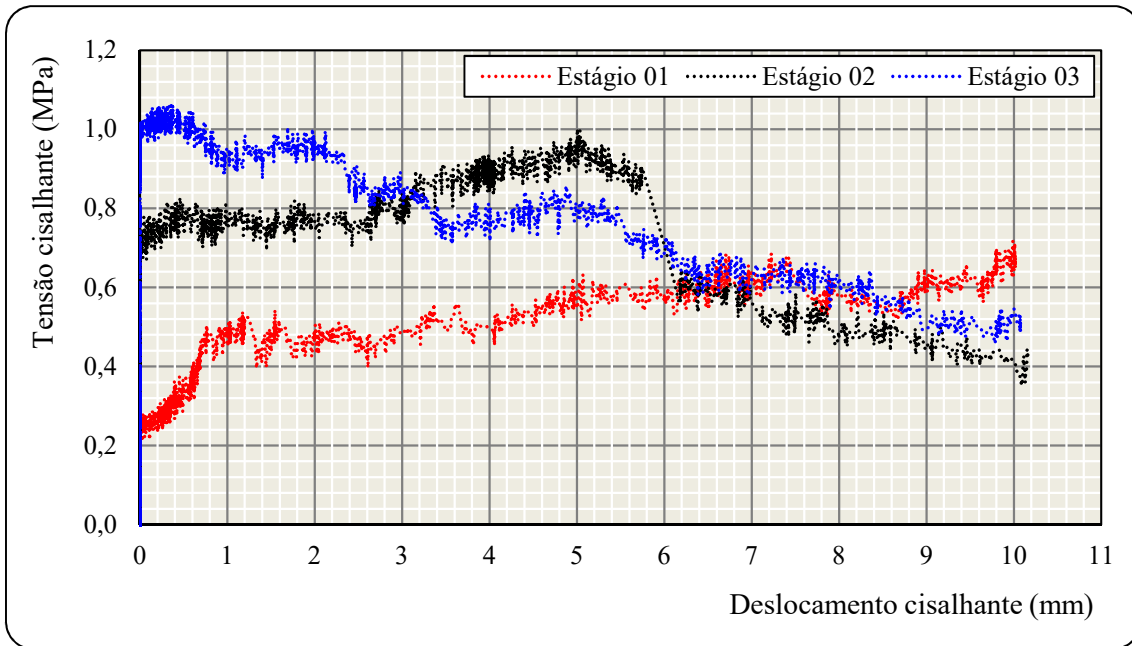


Figura 5.6 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 600h-3.

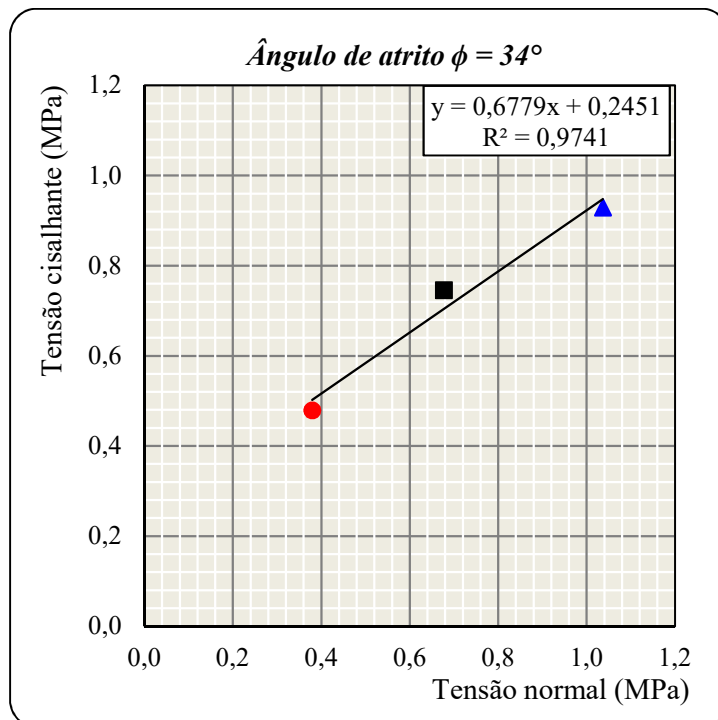


Figura 5.7 - Envoltória de resistência – Junta: 600h-3.

As Figura 5.8 e Figura 5.9 apresentam, respectivamente, os resultados do ensaio de cisalhamento direto e envoltória de resistência da junta 1200h-2, correspondente ao nível 2 de alteração acelerada da junta em laboratório com percolação de 1200 horas.

No primeiro estágio com tensão normal inicial de 0,32MPa, tensão cisalhamento crítica é de 0,40MPa, seguida por pequenas variações da tensão cisalhante mobilizada. O valor médio de tensão máxima atinge 0,58MPa e ocorre entre 4 e 7mm de deslocamento horizontal. Após 7mm observa-se a redução da tensão cisalhante.

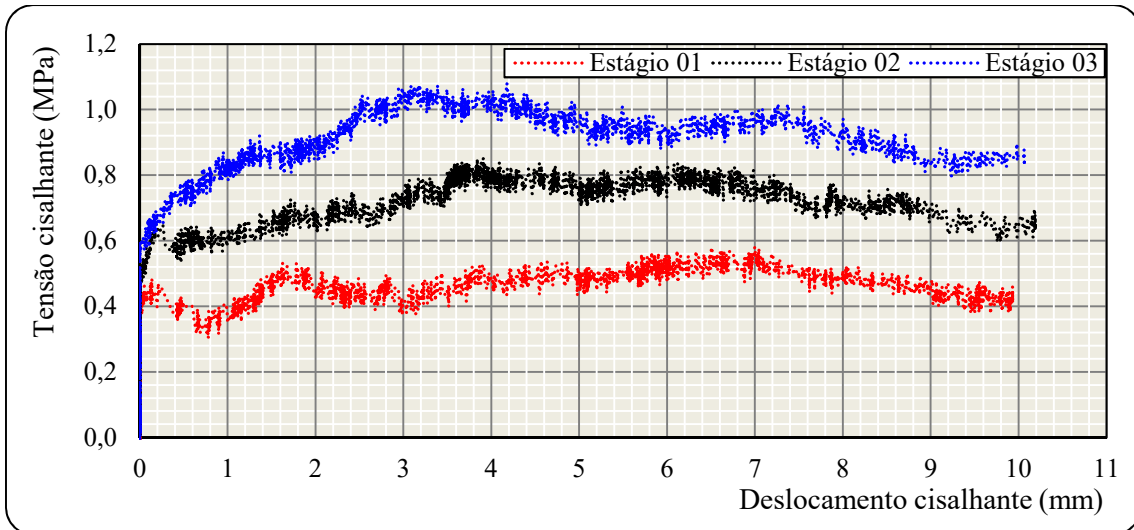


Figura 5.8 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 1200h-2.

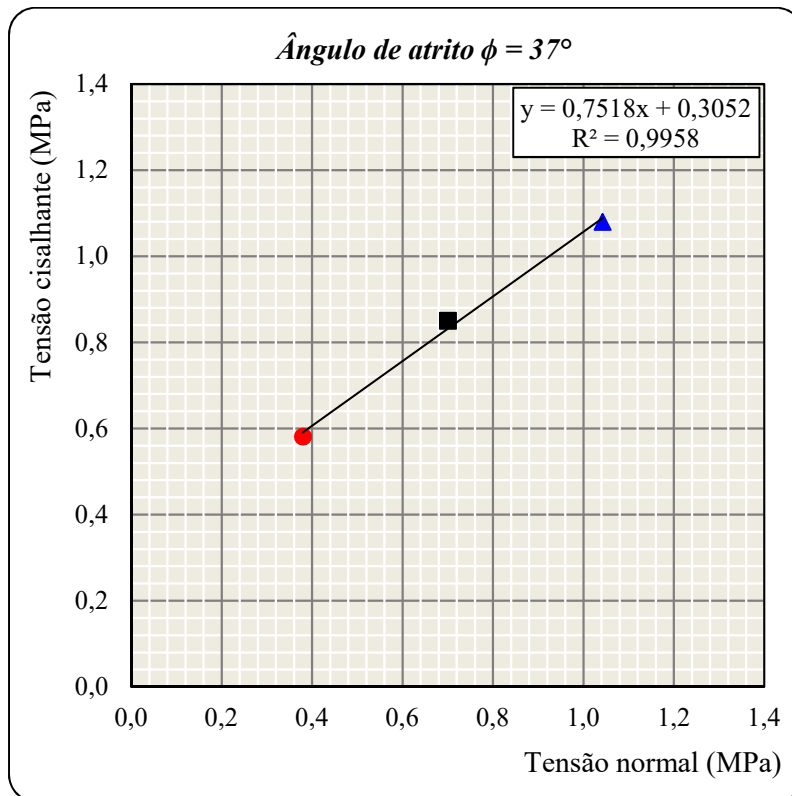


Figura 5.9 - Envoltória de resistência – Junta: 1200h-2.

No segundo estágio com tensão normal inicial de 0,64MPa, tensão cisalhante crítica é igual 0,47MPa e a tensão cisalhante média é 0,80MPa e ocorre entre 3,7 e 7,0mm de deslocamento horizontal. Após 7mm, há a redução da tensão de cisalhamento para o valor último de 0,64MPa.

No terceiro estágio de cisalhamento com tensão normal de 1,0MPa, a tensão cisalhante atinge o pico com cerca de 1,1MPa para 2,5 e 4,5mm de deslocamento horizontal. A partir de 4,5mm, tensão de cisalhamento mobilizada segue com variações até a redução ao valor último de 0,85MPa. A velocidade média de ensaio foi 0,3mm/min.

A junta 2400h-1, que corresponde ao nível 3 de alteração acelerada em laboratório com percolação contínua de 2400 horas, foi submetida a estágios de cisalhamento sob tensões normais iniciais iguais a 0,31MPa, 0,63MPa e 0,94MPa. A Figura 5.10 apresenta as curvas de tensão cisalhante por deslocamento horizontal e a Figura 5.11 apresenta a envoltória de resistência da junta 2400h-1. As tensões cisalhantes críticas correspondentes aos 3 estágios são iguais a 0,31MPa, 0,49MPa e 0,73MPa.

No início do primeiro e segundo estágio foi observado para 0,5mm de deslocamento horizontal o efeito de rotação da junta dentro do equipamento. Até 0,5mm de deslocamento horizontal não havia deslocamento relativo entre as partes superior e inferior da amostra. A partir de 0,5mm, no primeiro estágio com tensão normal inicial de 0,31MPa, tem-se um aumento seguido pela redução da tensão cisalhante com valor médio de 0,42MPa.

No segundo estágio, a tensão de cisalhamento média é de 0,70MPa, a partir de 0,5mm, diminuindo gradualmente até tensão última de 0,60MPa. O valor da tensão cisalhante mobilizada é mantido essencialmente constante no primeiro e segundo estágio durante o deslocamento relativo entre as superfícies da junta.

No terceiro estágio tem-se o valor máximo de resistência de aproximadamente 1,0MPa para 1,0mm de deslocamento, seguido de redução gradual até 0,65MPa. Não foi observado efeito de rotação no início do terceiro estágio. A velocidade média de ensaio foi 0,2mm/min.

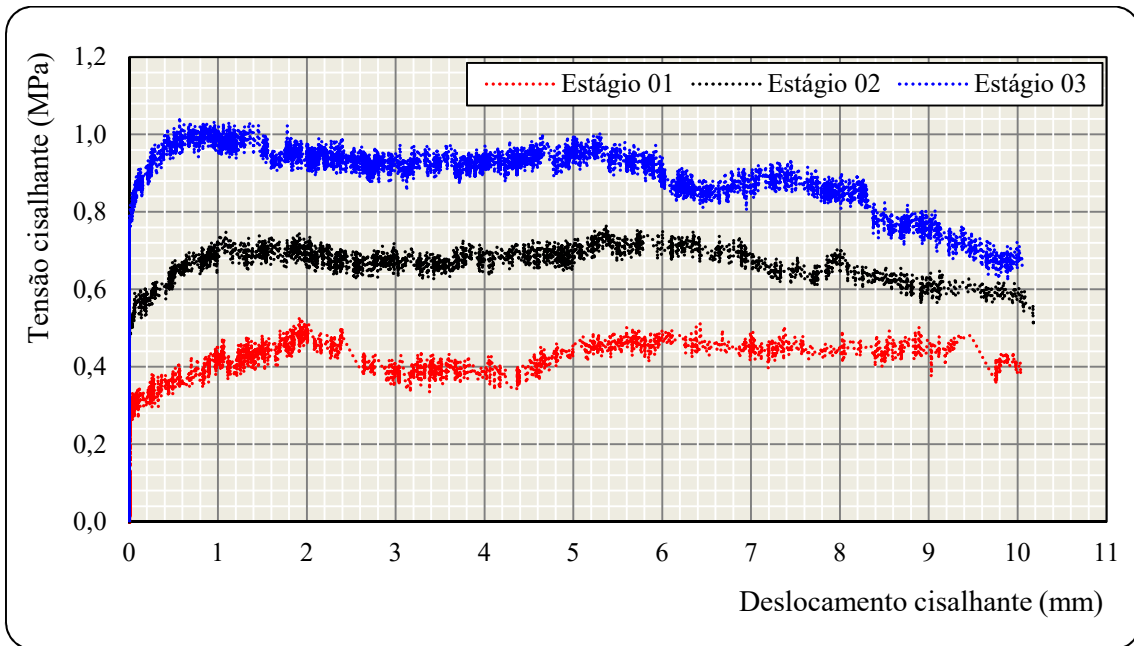


Figura 5.10 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 2400h-1.

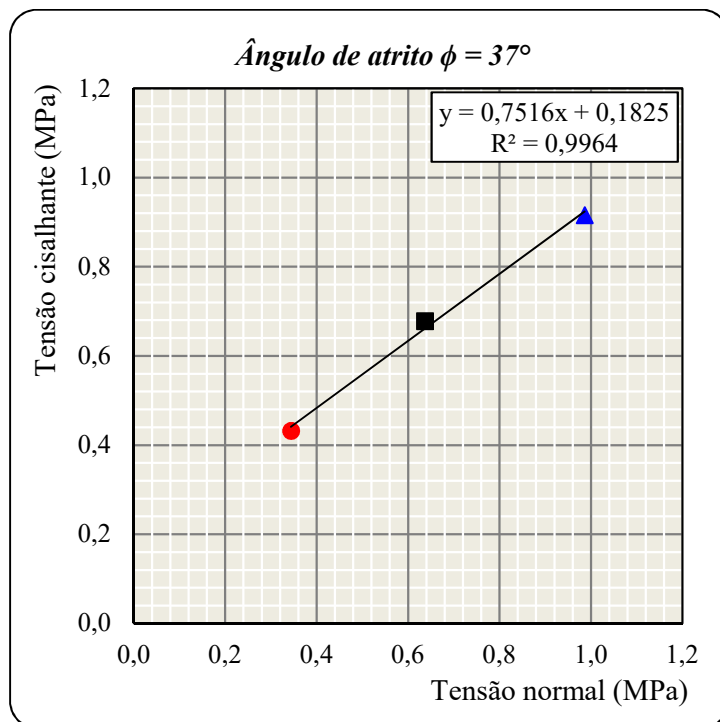


Figura 5.11 - Envoltória de resistência – Junta: 2400h-1.

A junta 4800h-1 corresponde à junta com nível 4 de alteração, submetida a 4800 horas contínuas de percolação acelerada. Os resultados do ensaio de cisalhamento direto são apresentados na Figura 5.12 com as curvas de tensão mobilizada *versus* deslocamento horizontal e na Figura 5.13 com a envoltória de resistência da junta.

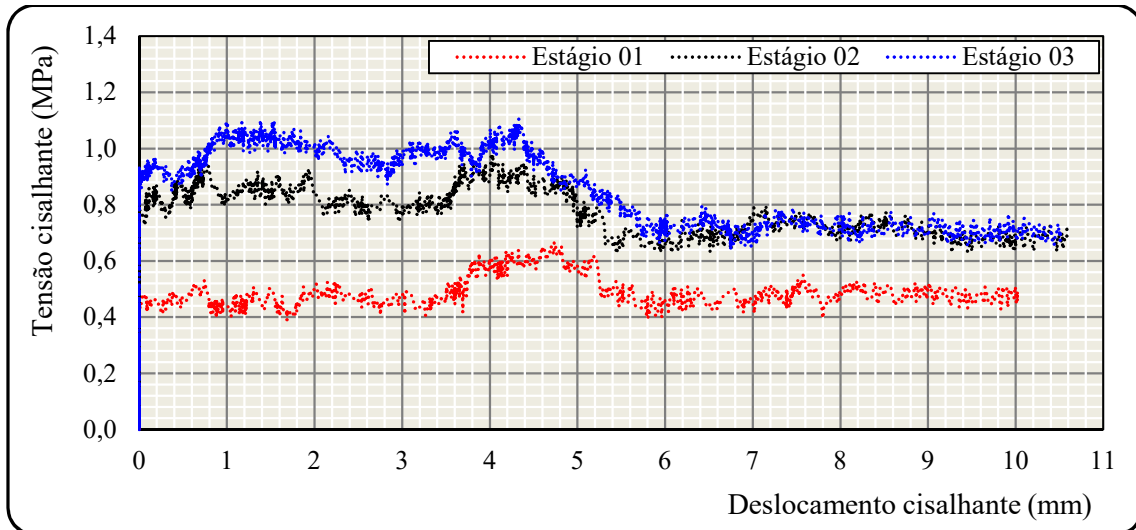


Figura 5.12 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 4800h-1.

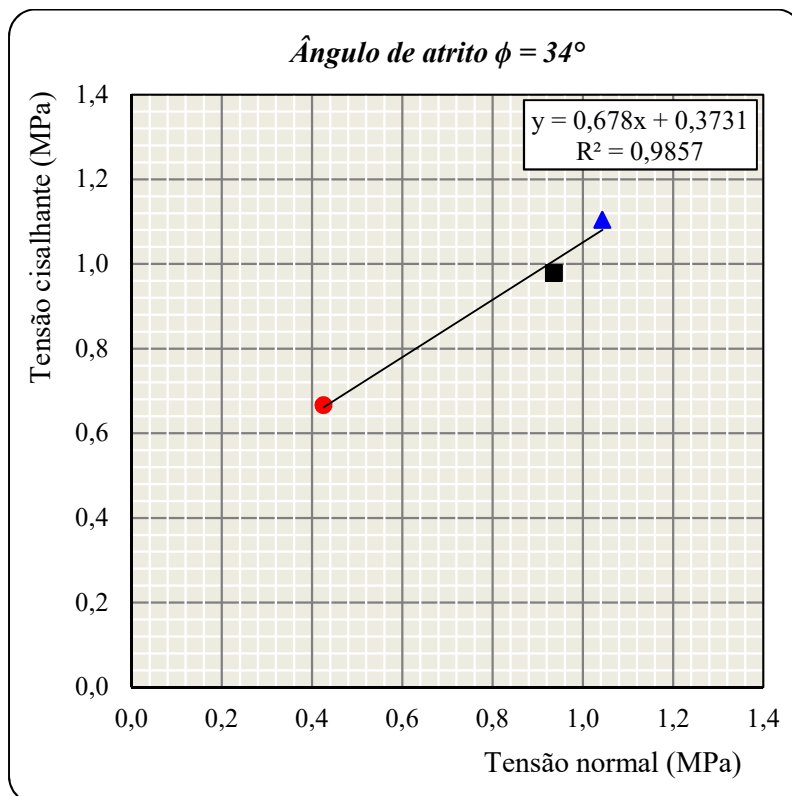


Figura 5.13 - Envoltória de resistência – Junta: 4800h-1.

No primeiro estágio com tensão normal inicial de 0,29MPa, a tensão cisalhante mobilizada varia entre os valores máximos de 0,60 e 0,67MPa. A tensão cisalhante crítica é de 0,44MPa.

No segundo estágio para tensão normal de 0,94MPa, a tensão cisalhante máxima é 0,98MPa para 4mm de deslocamento horizontal, seguida por redução gradual até 0,70MPa. A tensão crítica para tensão normal inicial de 0,58MPa é de 0,74MPa.

No terceiro estágio com tensão normal inicial de 0,87MPa, a tensão crítica é 0,85MPa. Para tensão normal de 1,0MPa a resistência máxima ao cisalhamento é 1,1MPa. A velocidade média de ensaio foi 0,5mm/min.

A junta 8300h-3 representa a amostra do grupo de juntas com nível 5 de alteração acelerada em laboratório com 8300 horas. Os resultados de ensaio de cisalhamento direto desta junta são apresentados na Figura 5.14, curvas de tensão mobilizada e deslocamento horizontal, e na Figura 5.15, envoltória de resistência da junta. A tensão normal inicial no primeiro, segundo e terceiro estágio são 0,29MPa, 0,58MPa, 0,88MPa, respectivamente, com tensões críticas iguais a 0,11MPa, 0,19MPa e 0,25MPa.

No primeiro estágio verifica-se a faixa de máximos valores de tensão cisalhante em média de 0,40MPa entre 1,7mm e 3,2mm. Não é observado um pico de resistência representativo ao comportamento cisalhante da junta no primeiro estágio. A partir de 3,7mm há um decréscimo gradual de resistência para a tensão cisalhante última de 0,30MPa.

No segundo estágio, com tensão crítica igual a 0,19MPa, observa-se um pico de tensão cisalhante de 0,63MPa em 1,8mm, seguido pela redução a 0,33MPa até 7,6mm e, a partir deste deslocamento ocorre um novo pico de aproximadamente 0,50MPa, reduzindo-se gradualmente ao valor da tensão de cisalhamento última igual a 0,30MPa.

No terceiro estágio a curva de tensão cisalhante por deslocamento horizontal apresenta pico de tensão igual a 0,82MPa em 2,8mm, seguida por abrupta redução da tensão cisalhante ao valor de 0,38MPa e aumento até o valor máximo de 0,62MPa em 4,9mm de deslocamento. Os valores de tensão cisalhante reduzem gradualmente até 7mm, ocorrendo nova redução abrupta até 0,29MPa. Entre 8,2 e 10mm de deslocamento, a tensão cisalhante se reduz gradualmente, atingindo o valor último de 0,35MPa. A velocidade média de ensaio foi 0,8mm/min.

O Apêndice I apresenta os resultados e análises de todos os ensaios de cisalhamento direto realizados nesta pesquisa.

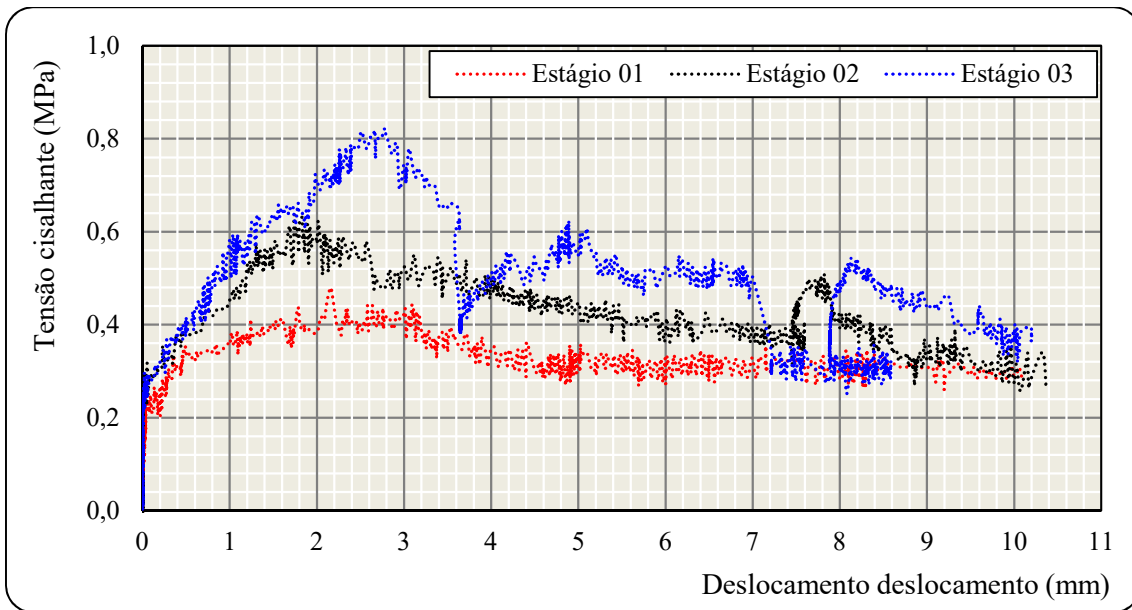


Figura 5.14 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 8300h-3.

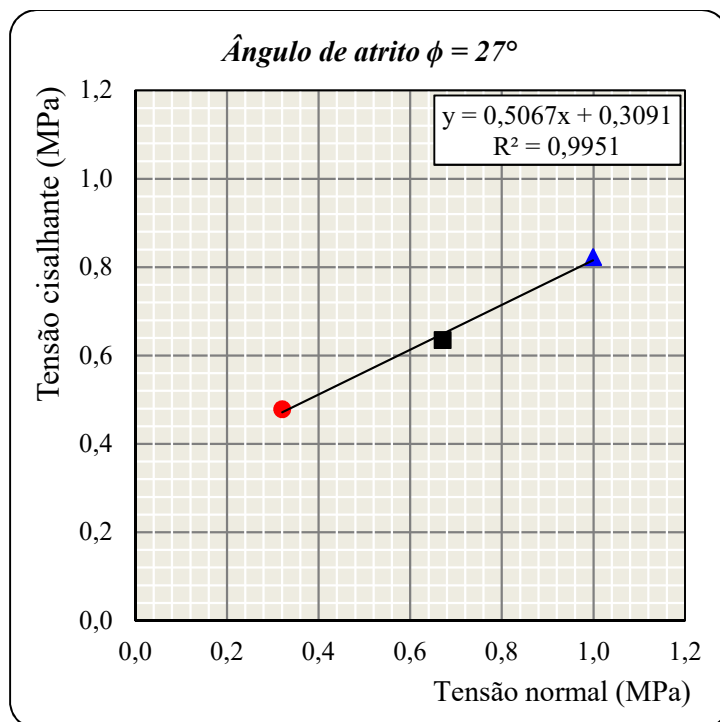


Figura 5.15 - Envoltória de resistência – Junta: 8300h-3.

Vale comentar que, em alguns ensaios de cisalhamento direto, foi observada a rotação das amostras de juntas encapsuladas no gesso. Nos ensaios com rotação da amostra não foi verificado deslocamento relativo entre as superfícies da junta.

Desta forma, as tensões medidas correspondem às tensões mobilizadas entre o molde de gesso e as caixas metálicas. A tendência de rotação das amostras é resultado do imbricamento entre irregularidades das áreas cisalhantes da junta, da geometria e minerais nas áreas cisalhantes, do ângulo de deslizamento crítico, do grau de intemperismo e o tipo de equipamento utilizado.

O Apêndice I apresenta os resultados das juntas que sofreram rotação durante o ensaio de cisalhamento direto, especificamente na Figura AI.1, Figura AI.2, Figura AI.7 e Figura AI.24.

Para os níveis mais elevados de intemperismo, representados por 4800h e 8300h, foi possível observar o maior desgaste das superfícies das juntas quando ensaiadas em cisalhamento.

A resistência ao cisalhamento máxima e correspondentes tensões normais para juntas intemperizadas por percolação acelerada estão apresentadas na Figura 5.16.

O limite superior de resistência ao cisalhamento das juntas estudadas pode ser expressa pela envoltória bilinear:

$$\tau = 2,08\sigma_n \quad \sigma_n < 0,30\text{MPa} \quad (5.1)$$

$$\tau = 0,76\sigma_n + 0,40 \quad 0,30\text{MPa} \leq \sigma_n < 1,60\text{MPa} \quad (5.2)$$

Para tensões normais superiores a 0,30MPa, a envoltória de resistência máxima apresenta intercepto de coesão de 0,40MPa. O limite inferior de resistência ao cisalhamento das juntas rugosas é dada pela Equação (5.3):

$$\tau = 0,76\sigma_n \quad (5.3)$$

Diferentemente do modelo bilinear proposto por PATTON (1966), a mudança de inclinação da envoltória de resistência superior (Figura 5.16) não representa a tensão normal de transição de comportamento cisalhante da junta, a partir da qual as rugosidades são cisalhadas. Para a faixa de tensão normal aplicada no primeiro estágio (0,27 a 0,33MPa) foi observada reduzida fragmentação das irregularidades em relação aos demais estágios de cisalhamento aplicados. Contudo, houve alteração mecânica da rugosidade para os baixos valores de tensão normal, ocasionando a variação da geometria e textura da área cisalhante da junta.

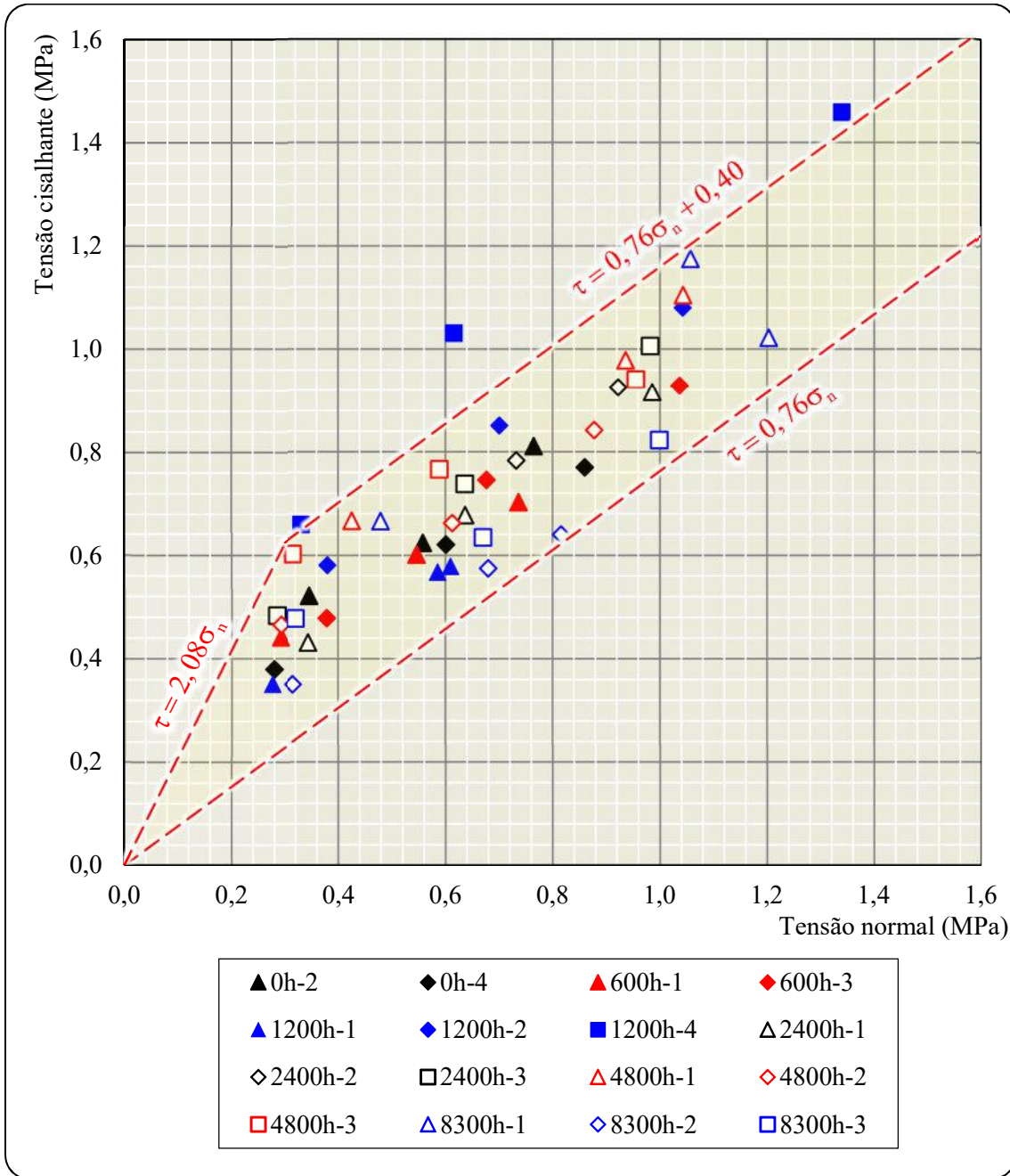


Figura 5.16 - Valores de pico de tensão cisalhante vs. tensão normal em função dos níveis de alteração das juntas.

A Tabela 5.3 e Figura 5.17 apresentam os resultados de ensaios de cisalhamento direto em descontinuidades de diferentes tipos de rochas.

Observa-se na Figura 5.17 que os valores de tensão cisalhante obtidos da literatura para diferentes níveis de tensão normal apresentam uma ampla dispersão de resultados. Os resultados da resistência ao cisalhamento das juntas de Gnaisse Simplicio estão dispostos na faixa central dos resultados obtidos em literatura, delimitados pela envoltória bilinear.

Tabela 5.3 - Valores de ângulo de atrito obtidos da literatura de diferentes tipos de rochas (mod. ASADOLLAHI *et al.*, 2010).

Autor	Rocha	ϕ (°)	
Homand <i>et al.</i> (2001)	Réplicas de xisto	34 ¹	
Bandis <i>et al.</i> (1981)	<i>Tension fracture</i>	32 ¹	
Bandis <i>et al.</i> (1981)	Planos de acamamento de calcário	32 ¹	
Bandis <i>et al.</i> (1981)	Planos de acamamento de arenito	32 ¹	
Yoshinaka e Yamabe (1986)	<i>Diamond Sawed; Welded-tuff</i>	39 ¹	
Yoshinaka e Yamabe (1986)	<i>Sand Blasted; Welded-tuff</i>	33 ¹	
Bandis <i>et al.</i> (1981)	Siltito (<i>tension joints</i>)	32 ¹	
Bandis <i>et al.</i> (1981)	Planos de acamamento de calcário	32 ¹	
Bandis <i>et al.</i> (1981)	Planos de acamamento de arenito	32 ¹	
Asadollahi <i>et al.</i> (2010)	Calcário (brando), arenito, granito, calcário (duro)	35,7 ¹	31,4 ¹
		24,9 ¹	39,2 ¹
Bacha <i>et al.</i> (2014)	Juntas de calcário	31 ¹	
Ozvan <i>et al.</i> (2014)	Juntas de granito	26-36 ²	
		22-32 ³	
Sanei <i>et al.</i> (2015)	Calcário	5-45 ² (BP)	5-45 ³ (BP)
		5-50 ² (J)	10-45 ³ (J)
Steffens (2018)	Juntas de gnaisse	27-37 ² (JR)	24-38 ^(JP)

1 - básico; 2 - pico; 3 - residual; BP - planos de acamamento; J – juntas; R - rugosa; P – planar.

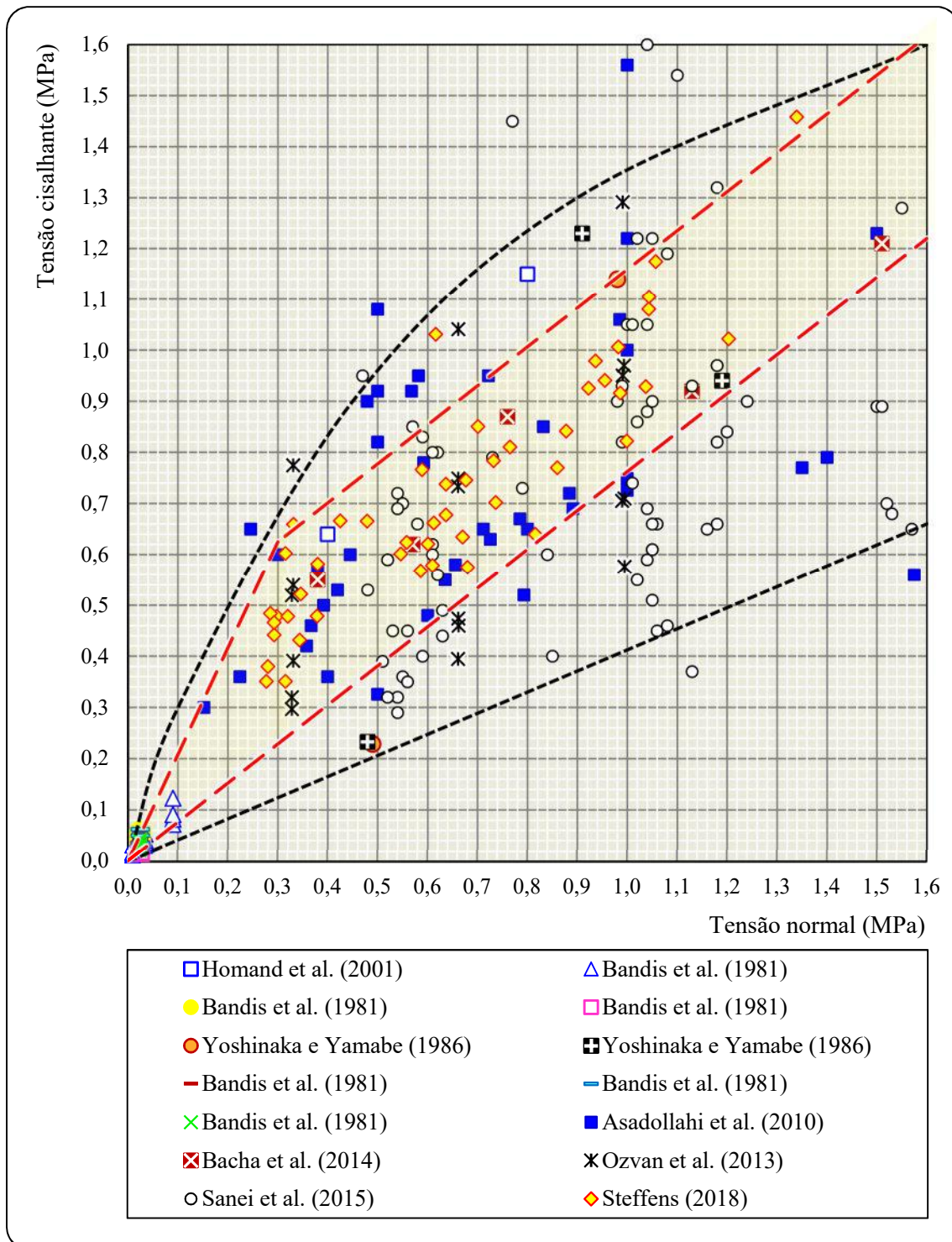


Figura 5.17 - Valores de tensão cisalhante em função da tensão normal – Juntas rugosas Gnaisses Simplices e dados de literatura.

A Figura 5.18 apresenta os valores de tensão cisalhante em função da tensão normal das juntas rugosas, indicando a linha de tendência dos grupos de alteração das juntas. Foi verificada a sobreposição das linhas de tendência das juntas do grupo intacto e 600h. As juntas com grau de alteração de 1200h apresentam maior dispersão de

resultados e, conseqüentemente, uma linha de tendência muito diferente das linhas dos demais grupos e pouco representativa do grau de alteração. A dispersão de resultados pode estar diretamente associada aos minerais na área cisalhante das juntas com grau de intemperismo de 1200h.

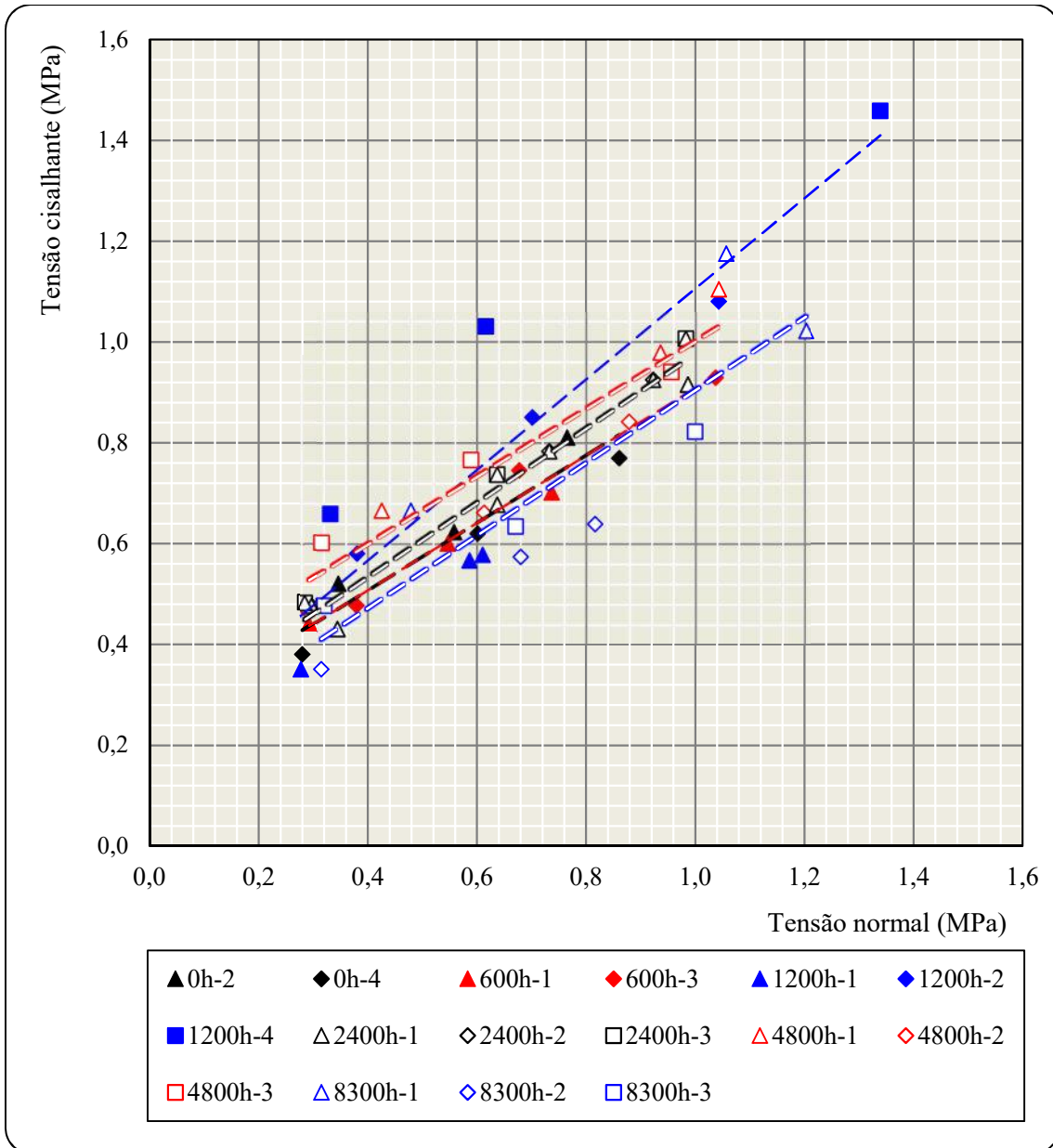


Figura 5.18 - Envoltórias de resistência dos níveis de alteração – Juntas rugosas.

A partir das envoltórias de resistência das juntas foram determinados os valores de ângulo de atrito em função dos diferentes níveis de alteração acelerada, os quais são apresentados na Figura 5.19 e Tabela 5.4.

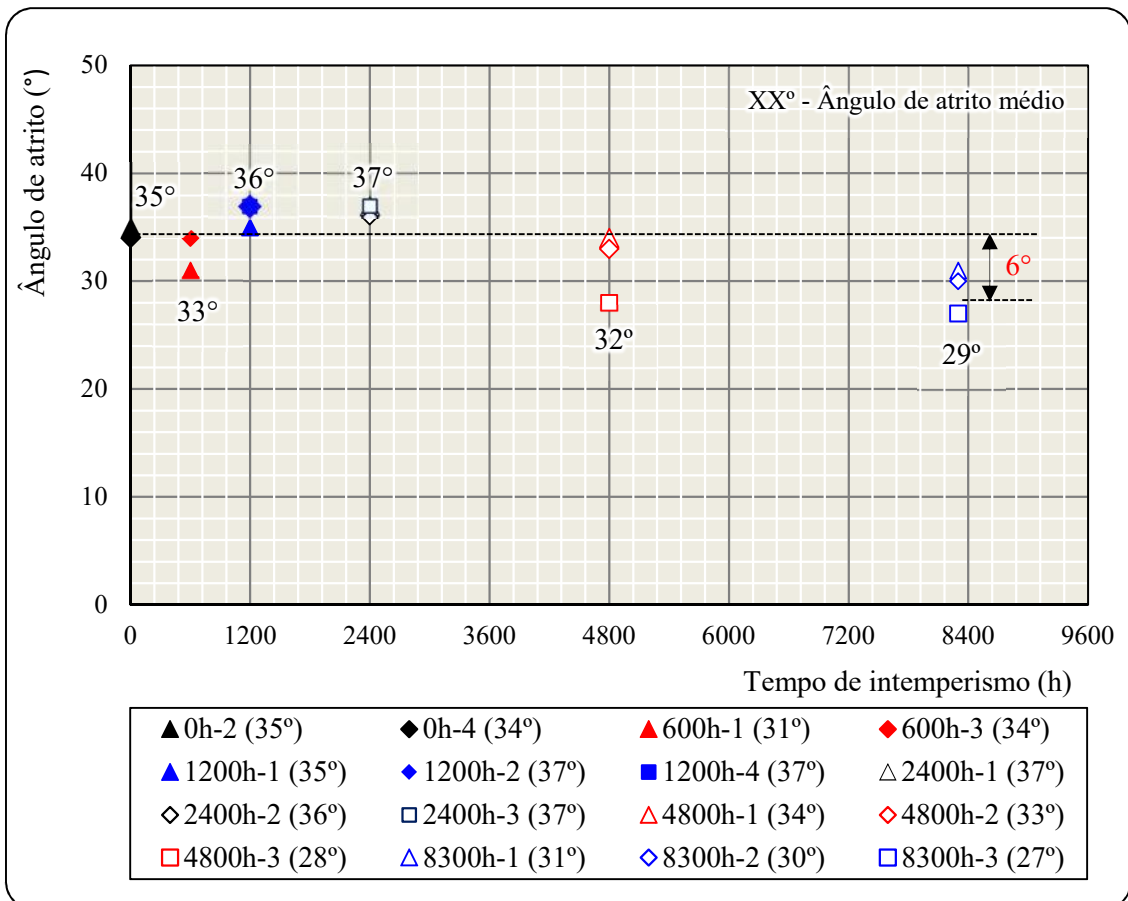


Figura 5.19 - Variação do ângulo de atrito vs. grau de intemperismo.

Tabela 5.4 - Ângulos de atrito das juntas em função grau de intemperismo.

Grau - tempo de alteração	Ângulo de atrito	Ângulo de atrito médio
I – 0 hora	35°	35°
	34°	
II – 600 horas	31°	33°
	34°	
III – 1200 horas	35°	36°
	37°	
	37°	
IV – 2400 horas	37°	37°
	36°	
	37°	
V – 4800 horas	34°	32°
	33°	
	28°	
VI – 8300 horas	31°	29°
	30°	
	27°	

Os resultados obtidos nesta pesquisa são consistentes com os valores de ângulo de atrito de juntas de diferentes tipos de rocha, reportados na literatura e apresentados nas Tabela 2.8 e Tabela 2.9 no Capítulo 2. O ângulo de atrito mínimo é igual a 27° e corresponde à junta (8300h-3) de grau de intemperismo mais elevado com 8300 horas de percolação contínua no permeâmetro. O ângulo de atrito máximo é igual a 37° e foi determinado para as juntas com graus de intemperismo inferiores ou iguais a 2400 horas de percolação.

É interessante notar que, apesar da dispersão de resultados dos ensaios de cisalhamento direto das juntas, verifica-se a tendência de redução dos valores de ângulo de atrito com o aumento do intemperismo das juntas e esta redução se situa em 6° .

Independentemente do nível de tensão normal aplicado durante o cisalhamento das juntas, foram verificadas rupturas frágeis sem amolecimento dos minerais. Aproximadamente 91% dos minerais constituintes das amostras de Gnaisse Simplício apresentam dureza elevada (média de 6 na escala de Mohs).

Conforme observado por Barton (1973), com aumento da tensão normal há o aumento do efeito *over-closure*. Tal efeito pode ser entendido como a força de adesão entre as superfícies das juntas (coesão aparente e resistência ao cisalhamento inerente). Logo, quanto maior a tensão normal aplicada maior a coesão aparente.

O equipamento de cisalhamento direto de juntas rochosas permite deslocamentos dos corpos de prova nos eixos horizontal, vertical e movimentação rotacional durante os ensaios. Como já mencionado em capítulos anteriores, os deslocamentos verticais da junta de topo foram medidos por potenciômetros.

Tais instrumentos não permitem a diferenciação entre medidas de deslocamentos verticais puros e deslocamentos verticais concomitantes a movimentos rotacionais dos corpos de prova. Desta forma, o efeito de dilatação das juntas rochosas durante o cisalhamento direto não pode ser avaliado.

O critério de Mohr-Coulomb é um modelo linear que permite determinar a combinação crítica de tensões médias cisalhante e normal em condição de ruptura. Alguns tipos de rocha apresentam envoltórias de resistência não linear, fato que não inviabiliza a aplicação do critério de Mohr-Coulomb, mas restringe o uso do critério a uma aproximação do comportamento real da junta.

5.3 ENSAIO DE MARTELO SCHMIDT

Inicialmente estabeleceu-se que seriam realizadas 12 medidas de rebote na parte central de cada amostra de junta. Contudo, algumas amostras não possuíam resistência compatível com a energia de impacto do martelo, ocorrendo a ruptura da amostra com poucos rebotes. As medidas de rebote das juntas foram tratadas adotando-se a média dos valores mais altos, sendo desprezados os valores mais reduzidos. Desta forma, para testemunhos com doze valores de rebote fez-se a média dos seis valores superiores de rebote, para testemunhos com seis valores de rebote fez-se a média dos três valores superiores de rebote.

5.3.1 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL POR MEIO DE CORRELAÇÕES

A estimativa da resistência à compressão uniaxial em função dos valores de rebotes do martelo nas juntas para cada grau de intemperismo foi realizada a partir das expressões apresentadas na Tabela 4.1. Os valores de rebote obtidos com o Martelo Schmidt tipo N foram diretamente aplicados na relação proposta por KAHRAMAN (1996).

As relações de DEERE e MILLER (1966), AUFMUTH (1973), DEARMAN e IRFAN (1978), BEVERLY *et al.* (1979) e AYDIN e BASU (2005) consideram o rebote do Martelo Schmidt tipo L. Desta forma, os valores de rebotes obtidos nos ensaios de juntas com o martelo tipo N foram corrigidos por meio da Equação (4.1), que correlaciona o rebote do martelo tipo N com o tipo L, considerando a densidade da rocha de $2,6\text{g/cm}^3$ para as amostras.

A Figura 5.20 apresenta os resultados de resistência à compressão uniaxial calculados com as correlações de rebote em função do nível de alteração intacto, ou seja, o nível de intemperismo natural da junta, sem alteração acelerada no laboratório.

Na Figura 5.20 observa-se que o limite superior de valores de resistência à compressão uniaxial é dado pela relação de AUFMUTH (1973). Para faixa de variação de rebote (R_L) entre 26 e 40 tem-se a resistência à compressão uniaxial entre 96 e 177MPa. O limite inferior de valores de resistência à compressão é dado pela correlação de AYDIN e BASU (2005), com valores de rebote (R_L) entre 26 e 40 e resistência à compressão

uniaxial estimada entre 9 e 25MPa. O critério de AUFMUTH (1973) é superestimado comparativamente aos demais critérios.

Contudo, dentre as correlações utilizadas, os valores obtidos com a relação de AUFMUTH (1973) são os mais próximos dos valores de resistência à compressão uniaxial de corpos de prova cilíndricos determinados por SALLES (2013), que variaram de 118MPa a 174MPa.

Para os valores inferiores de rebote (R_L entre 26 e 30), a resistência à compressão uniaxial obtida pelo critério de AYDIN e BASU (2005) e DEARMAN e IRFAN (1978) diferem em pouca magnitude. A diferença mínima entre os valores de resistência à compressão uniaxial determinados pelas correlações de AYDIN e BASU (2005) e AUFMUTH (1973) é 87MPa e a máxima 152MPa. A correlação de KAHRAMAN (1996), em função dos valores de rebote N e densidade da rocha, apresenta valores de resistência à compressão uniaxial entre 29MPa e 86MPa.

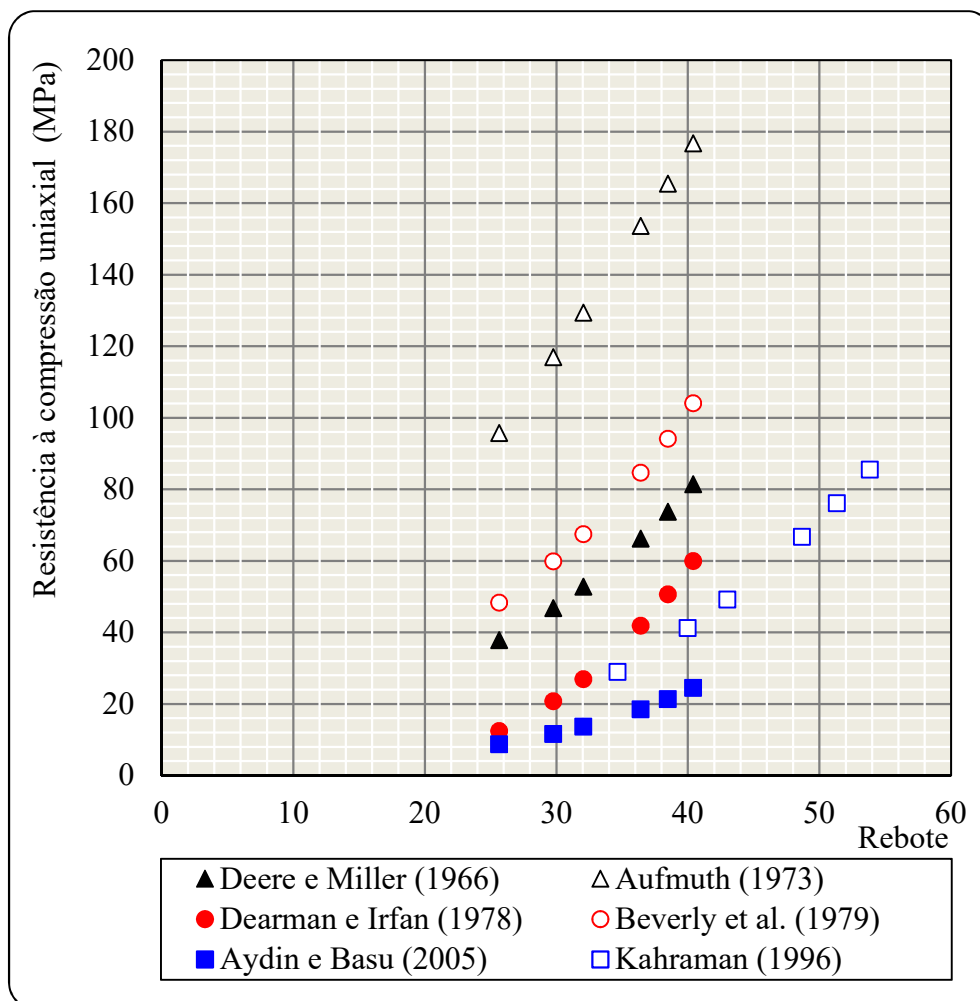


Figura 5.20 – Correlações entre rebote e resistência à compressão uniaxial – Grau de intemperismo natural (0 hora).

A Figura 5.21 apresenta as curvas das correlações entre rebote e resistência à compressão uniaxial com grau de intemperismo 4800h.

A resistência à compressão uniaxial determinada em laboratório está compreendida entre 117MPa e 171MPa. Os valores máximos de resistência à compressão uniaxial estimados pelas correlações são obtidos com AUFMUTH (1973), enquanto que os valores mínimos são calculados por DEARMAN e IRFAN (1978) e AYDIN e BASU (2005). Para o valor de rebote mínimo ($R_L = 15$), a resistência à compressão varia entre 2MPa e 46MPa. Para o valor de rebote máximo ($R_L = 32$), a resistência à compressão estimada por AYDIN e BASU (2005) é 14MPa, diferindo em 117MPa do valor máximo estimado pelo critério de AUFMUTH (1973) e igual a 131MPa (Figura 5.21).

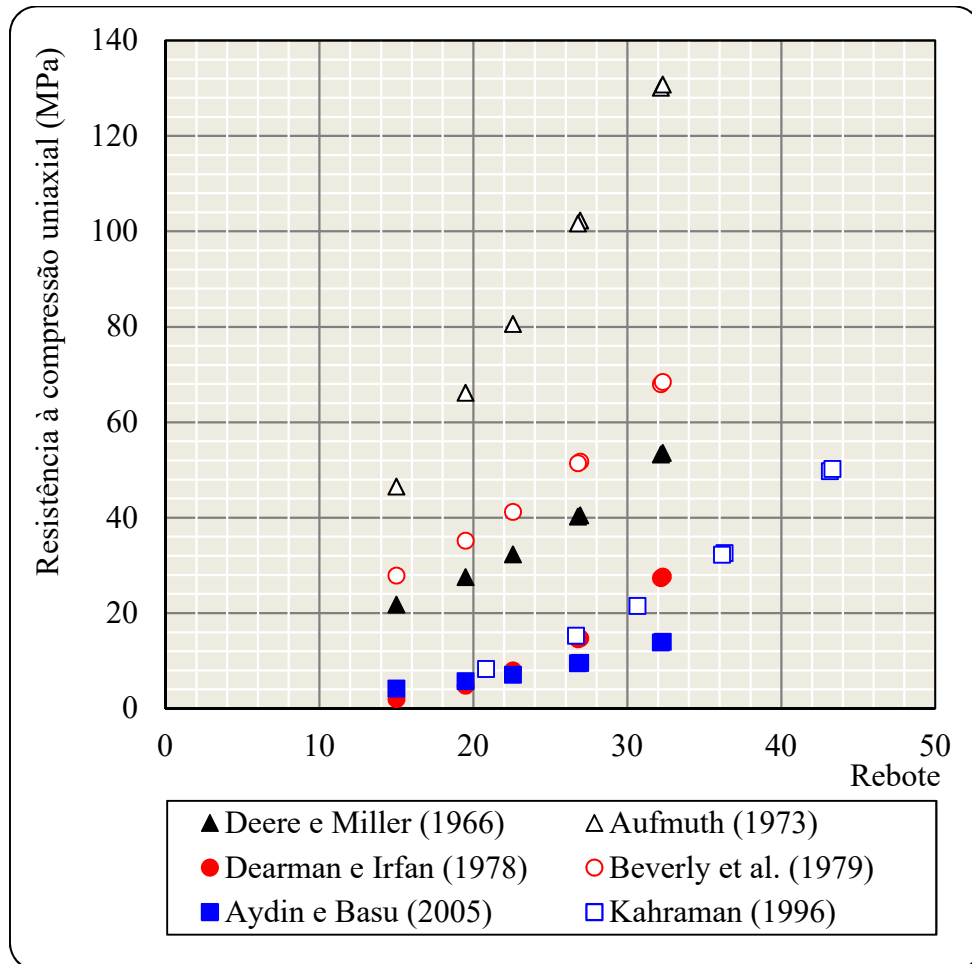


Figura 5.21 - Correlações entre rebote e resistência à compressão uniaxial – Grau de intemperismo 4800h.

Os valores de resistência à compressão uniaxial determinados em ensaios de compressão uniaxial em corpos de prova cilíndricos (σ_c - CP) são superiores aos

determinados por ensaios com Martelo Schmidt em juntas ($\sigma_c - J$), conforme mostrado na Figura 5.22.

No Apêndice II são apresentadas as curvas das correlações entre rebote e resistência à compressão uniaxial das amostras com grau de alteração de 600h, 1200h, 2400h e 8300h.

Vários fatores podem explicar a diferença encontrada. Destaca-se que o carregamento por compressão uniaxial em laboratório é distribuído progressivamente nos corpos de prova com dimensões padronizadas, na seção transversal de 1521mm^2 de área. Note-se que são corpos de prova com núcleo de rocha sã (não alterada) e com fina camada superficial efetivamente intemperizada.

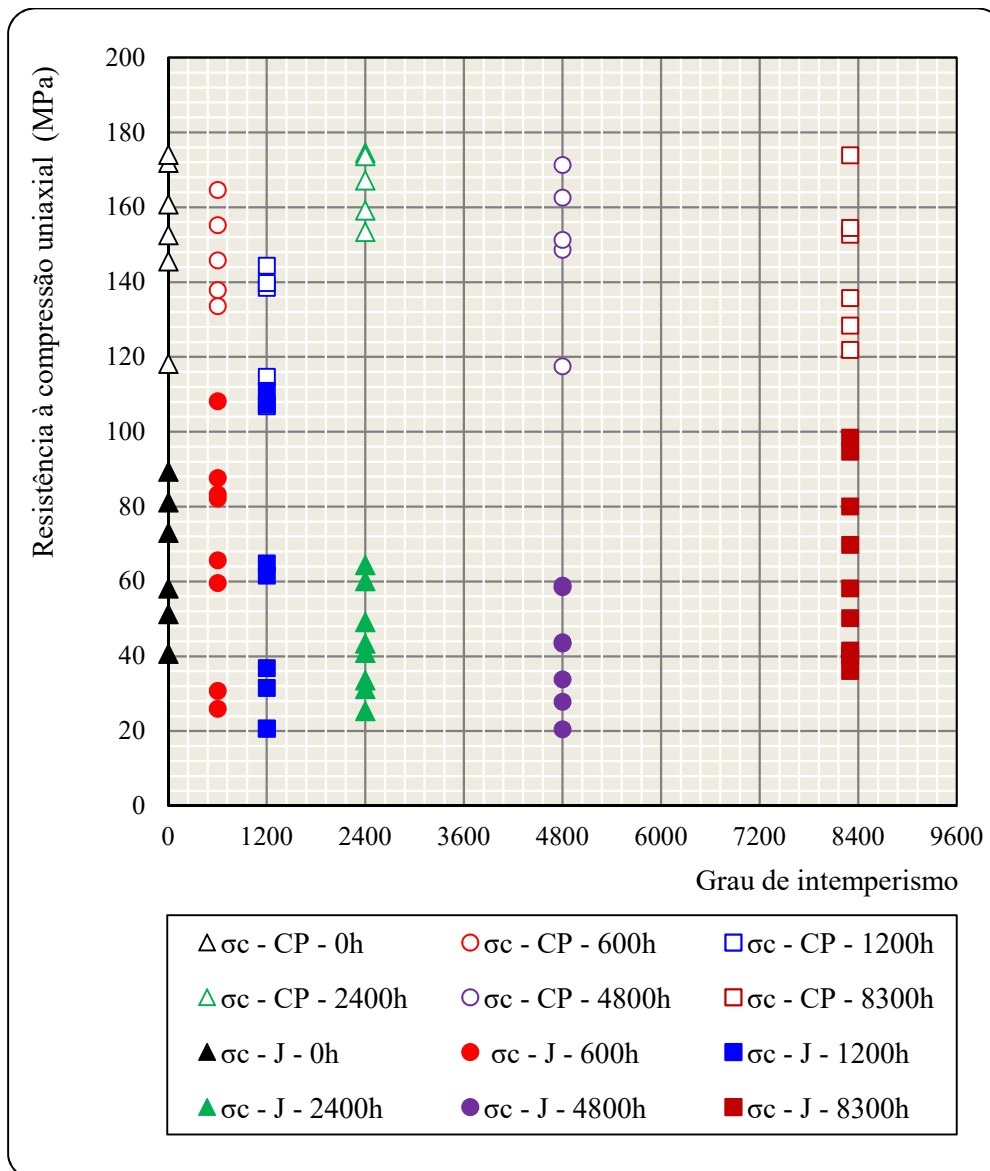


Figura 5.22 - Resistência à compressão uniaxial determinados em laboratório e por Martelo Schmidt.

A determinação da resistência à compressão uniaxial com Martelo Schmidt é realizada diretamente sobre a área das juntas com irregularidades, com alteração induzida pela percolação ao longo de toda a superfície. Ainda é importante notar que o golpe do martelo é feito em segundos sobre uma pequena área de rocha (igual à área do êmbolo do martelo).

Ainda, vale ressaltar que a resistência à compressão uniaxial determinada com o Martelo Schmidt neste estudo foi realizada com rebotes em juntas de testemunho. É esperado que os resultados sejam afetados pelo efeito de escala.

5.3.2 VALORES DE REBOTE EM JUNTAS NATURAIS E ALTERADAS

Os valores de rebote das juntas rugosas com diferentes graus de alteração estão apresentados na Figura 5.23. Observa-se a redução dos valores de rebote com aumento do grau de intemperismo das juntas. Entretanto, os valores de rebote das juntas com grau de intemperismo de 8300h de percolação em laboratório não apresentam redução dos valores de rebote, que variam de 29 a 55.

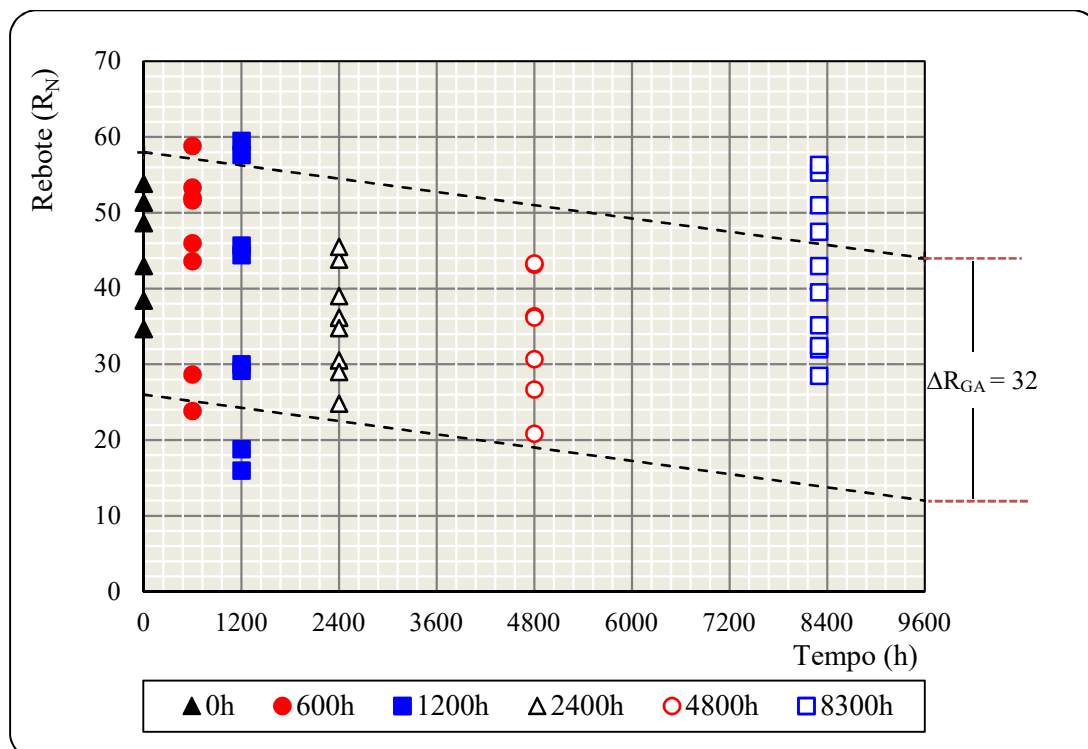


Figura 5.23 - Valores de rebote vs. grau de intemperismo das juntas.

Ainda na Figura 5.23 são traçados limites superior e inferior dos valores de rebote, os quais abrangem 92% dos resultados. Nesta condição o intervalo de valores de rebotes nas juntas com os seis níveis de alteração é $\Delta R_{GA} = 32$.

Por sua vez, a Figura 5.24 apresenta os valores de rebote determinados por OLIVEIRA (2017) em juntas rugosas naturais não alteradas em laboratório, provenientes dos testemunhos de sondagens na mesma área daqueles estudados nessa pesquisa.

Nota-se na figura que os limites superior e inferior indicam um intervalo de valores de rebote de $\Delta R_{Nat} = 20$ para as juntas naturais. Este valor é semelhante ao intervalo definido para as juntas não alteradas desta pesquisa e igual a $\Delta R_{Oh} = 16$ (Figura 5.23 e Figura 5.25).

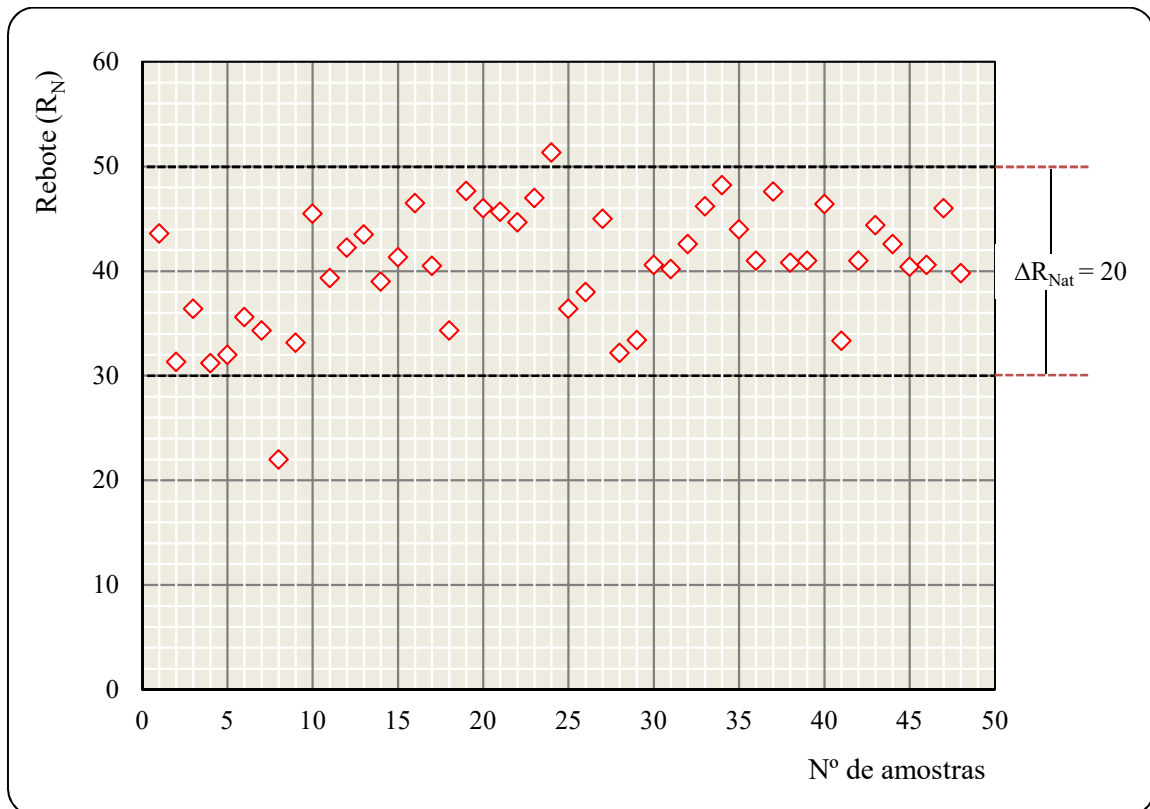


Figura 5.24 - Valores de rebote de juntas não alteradas naturais obtidos por OLIVEIRA (2017).

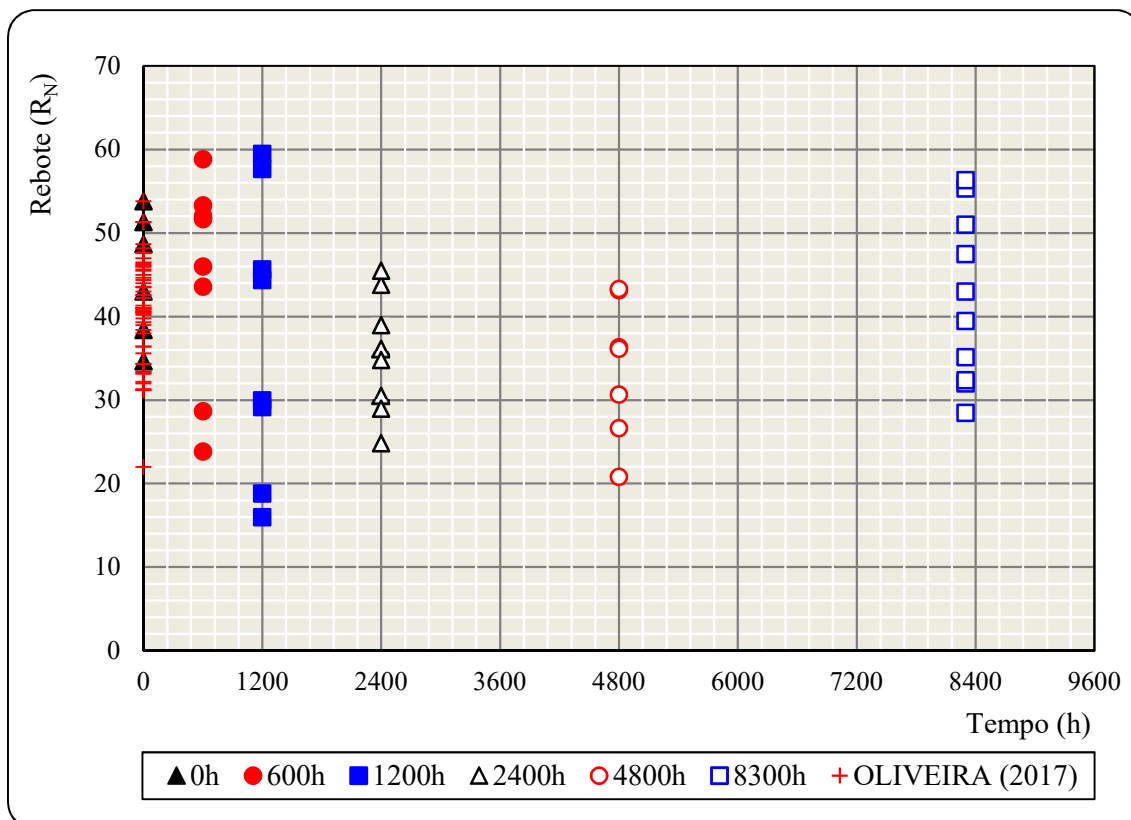


Figura 5.25 - Valores de rebote por grau de intemperismo e valores de rebote de juntas não alteradas naturais de OLIVEIRA (2017).

5.3.3 CLASSIFICAÇÃO QUALITATIVA E VALORES DE REBOTE DAS JUNTAS

A Tabela 5.5 apresenta valores de rebote com Martelo Schmidt de diferentes litologias com respectivos graus de intemperismo, reportados pela literatura e os determinados nesta pesquisa. Estes valores são comparados no histograma Figura 5.26

Tabela 5.5 - Valores de rebote e graus de intemperismo de rochas da literatura.

Autor	Classificação	Tipo de Rocha	Grau	R	Local
Saito (1981) ¹	Ígnea	Diorito	I	>60 ⁴	Barragem Mizunuma, Ibaragi Japão
			II	60-45	
			III	45-30	
			IV	30-0	
Saito (1981) ¹	Ígnea	Dacito/Andesito/Basalto	I	>55 ⁴	Pedreira Sakunami, Miyagi, Japão Mina Atagoyama, Miyagi, Japão Mina Hirasawayma, Fukushima, Japão
			II	55-40	
			III	40-25	
			IV	25-0	

Autor	Classificação	Tipo de Rocha	Grau	R	Local
Irfan e Powell (1985) ¹	Ígnea	Granodiorito	I	68-59	Hong-Kong
			II	68-45	
			III	50-25	
			IV	30-15	
			V	18-0	
Aydin e Basu (2005) ¹	Ígnea	Granito	I	77-70	Hong-Kong
			I-II	74-69	
			II	74-51	
			III	63-42	
			III-IV	70-41	
Steffens (2018) ¹	Metamórfica	Gnaisse	I	31-54	Rio de Janeiro, Brasil
			II	24-59	
			III	16-60	
			IV	NA	
Aydin e Basu (2005) ²	Ígnea	Granito	I	68-60	Hong-Kong
			I-II	65-60	
			II	67-41	
			III	56-33	
			III-IV	59-31	
Undul e Tugrul (2012) ²	Ígnea	Dunito	I	54-46	Bursa, Turquia
			II	52-43	
			III	48-41	
			IV	NP	
			V	NP	
Gokceoglu <i>et al.</i> (2009) ³	Ígnea	Granitóide	I	48-45	Dogankent, Turquia
			II	46-32	
			III	35-26	
			IV	25-13	
			V	NA	

1 - Martelo tipo N; 2 - Martelo tipo L; 3 - Tipo de martelo não informado; 4 - admitido valor máximo de rebote de 80; NP - não aplicado; NA - não avaliado.

Observa-se na Figura 5.26 que com aumento do grau de intemperismo há redução do valor médio de rebote de todos os tipos de litologias. Os valores de rebote medidos nas rochas em todos os graus de intemperismo apresentam grandes dispersões, inerente a este tipo de ensaio. As dispersões elevadas dificultam análises de valores médios que possam ser considerados para o desenvolvimento de relações empíricas.

Importante notar na Figura 5.26 que os valores de rebote medidos nas juntas dessa pesquisa apresentam valor de rebote mínimo inferior a todas os outros tipos rocha. Isto pode ser consequência das condições de medição de rebote em amostras de área e volume reduzidos com o Martelo Schmidt tipo N.

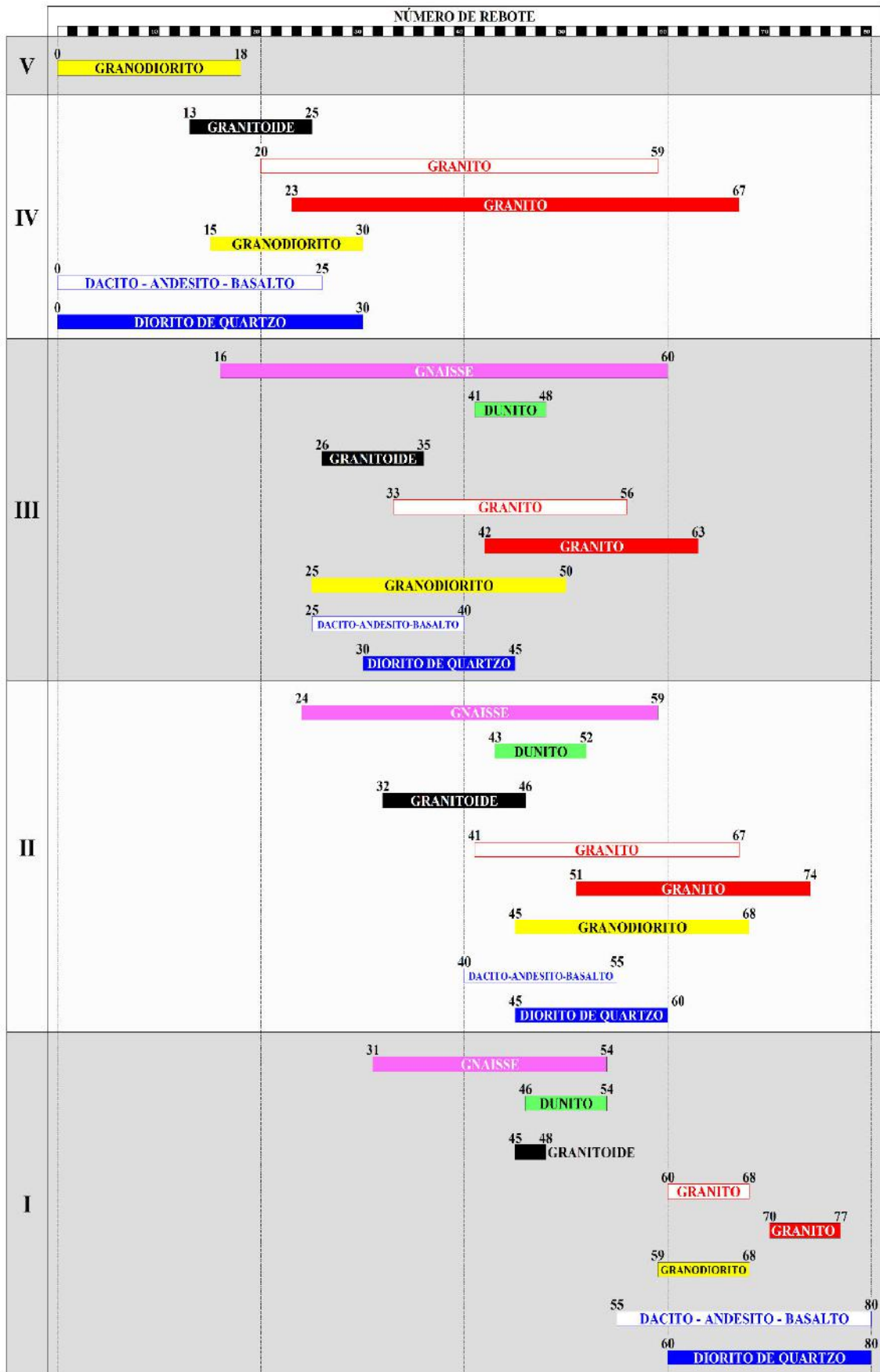


Figura 5.26 - Comparação entre as faixas de valores de rebote do Martelo Schmidt e graus de intemperismo em diferentes tipos de rocha.

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O desenvolvimento da presente pesquisa permite resumir as principais observações e conclusões dentre os diversos aspectos estudados.

As juntas submetidas à ação de percolação em equipamento do tipo permeâmetro em laboratório sofreram intemperização superficial variável em profundidade e dependente dos tipos e quantidade de minerais constituintes.

A resistência à compressão uniaxial e à tração dos corpos de prova de gnaiss, alterados artificialmente por percolação no permeâmetro, medidas por SALLES (2013) não apresentaram correlação direta com os graus de intemperismo. Isto se deve à presença dos núcleos de rocha sã das amostras, os quais não são alterados pela percolação contínua ao longo do tempo de ensaio. O efeito de intemperismo por percolação foi mais efetivo em faces de juntas naturais.

A utilização do JRC para a quantificação dos danos nas irregularidades das áreas cisalhantes das juntas não permite uma análise completa, tendo em vista que este coeficiente é analisado sobre um perfil bidimensional que eventualmente não é solicitado durante o cisalhamento ou é pouco representativo da morfologia da superfície.

A resistência ao cisalhamento de juntas sem material de preenchimento depende de: nível de tensão normal aplicado nos planos de cisalhamento; propriedades mineralógicas das superfícies das juntas; intertravamento das irregularidades da junta e mergulho em relação à direção de cisalhamento; velocidade de cisalhamento e grau de intemperismo.

Durante o cisalhamento direto de juntas foi observado a combinação de esforços: cisalhantes, tracionais, compressivos e rotacionais. Verificou-se a possibilidade da mudança da geometria da área cisalhante por meio de: (i) Cisalhamento de irregularidades em pequena escala; (ii) Esmagamento das irregularidades por compressão; (iii) Tração das irregularidades por sollicitação de compressão lateral produzindo flexão.

As rupturas nas superfícies das juntas durante o processo de cisalhamento são influenciadas pelo grau de intemperismo. As juntas com graus de intemperismo elevado apresentaram curvas de tensão cisalhante vs deslocamento horizontal com variações abruptas de redução e acréscimo de resistência, decorrentes da ruptura das irregularidades de maior amplitude.

Os valores do ângulo de atrito de pico medidos nas juntas rugosas de gnaiss de AHE Simplício variaram de 27° a 37°, sendo o valor mínimo correspondente à envoltória de resistência das juntas com 8300h de alteração artificial e o valor máximo correspondente às envoltórias de resistência de juntas alteradas artificialmente até 2400 horas. Para juntas rugosas com grau de intemperismo de 8300hs foi verificado uma redução média do ângulo de atrito de 6° (17%) em relação às juntas não alteradas em laboratório (0h).

Em relação ao ensaio de Martelo Schmidt observa-se a redução dos valores de rebote com o aumento do grau de intemperismo das juntas. Contudo os resultados apresentam dispersão elevada, dificultando o desenvolvimento de relações empíricas entre a resistência à compressão da junta com os valores de rebote em função do intemperismo. Os ensaios quando realizados em juntas podem ser destrutivos e são afetados pelo confinamento e volume da amostra.

O equipamento portátil de cisalhamento direto apresenta como vantagem de uso: a facilidade de montagem e desmontagem, manutenção e limpeza. Contudo, as desvantagens do equipamento são: processo trabalhoso de preparação e encapsulamento das amostras; possibilidade de rotação das juntas durante o cisalhamento dentro das caixas do equipamento; sem monitoramento da dilatação durante o ensaio. Portanto, é um equipamento cujo ensaio é de difícil controle e interpretação.

Esta pesquisa procurou contribuir para o entendimento da resistência de juntas com diferentes graus de intemperismo. O estudo despertou várias questões e indicou muitas análises a serem desenvolvidas, as quais são resumidas como temas para pesquisas futuras:

- i. Elaborar método de análise tridimensional da morfologia das áreas cisalhantes das juntas antes e após ensaio de cisalhamento direto;
- ii. Avaliar o fator de correlação entre parâmetros de resistência em juntas alteradas por percolação em laboratório e naturais de campo;
- iii. Determinar um critério de resistência ao cisalhamento de juntas de gnaiss AHE Simplício em função do grau de intemperismo;
- iv. Analisar os fatores de influência nos valores de rebote aplicados em juntas em laboratório comparativamente a taludes em campo;
- v. Reproduzir a pesquisa realizada para diferentes tipos de rochas.

REFERÊNCIAS

AREL, E., TUGRUL, A. (2001). Weathering and its relation to geomechanical properties of Cavusbasi granitic rocks in northwestern Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, v. 60(2), pp. 123-133.

ARIKAN, F., AYDIN, N. (2012). Influence of weathering on the engineering properties of Dacites in Northeastern. *ISRN Soil Science*, Article ID 218527, v. 2012, 15p.

ASADOLLAHI, P., INVERNIZZI, M.C.A., ADDOTTO, S., FULVIO TOMO (2010). Experimental Validation of Modified Barton's Model for Rock Fractures. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, v. 43(5), pp. 597–613.

ASTM D5873 – 14 (2014). Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method. ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM D5607 – 16 (2016). Standard Test Method For Performing Laboratory Direct Shear Strength Tests Of Rock Specimens Under Constant Normal Force. ASTM International, West Conshohocken, PA.

ATAPOUR, H., MOOSAVI, M. (2014). The Influence of Shearing Velocity on Shear Behavior of Artificial Joints. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, v. 47(5), pp. 1745–1761.

AUFMUTH, R.E. (1973). A systematic determination of Engineering criteria for rocks. *Bulletin of the Association of Engineering Geology*, v. 11, pp. 235– 245.

AYDAY, C., GÖKTAN, R. M. (1992). Correlations between L and N-type Schmidt hammer rebound values obtained during field testing. *Rock Characterization: ISRM Symposium, Eurock '92*, Chester, UK, pp. 14–17.

AYDIN, A., BASU, A. (2005). The Schmidt hammer in rock material characterization. *Engineering Geology*, v. 81(1), pp. 1–14.

BACHA, S., MOHAMMAD, N., TAHIR, M. (2014). Study of shear strength of rocks from Kohat Formation. *Journal of Himalayan Earth Sciences* v. 47(1), pp. 123-130.

BALLANTYNE, C. K., BLACK, N. M., FINLAY, D. P. (1990). Use of the Schmidt hammer to detect enhanced boulder weathering under late-lying snowpatches. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 15, pp. 471 – 474.

BANDIS, S.C., LUMSDEN, A.C., BARTON, N. (1981). Experimental studies of scale effects on the shear behaviour of rock joints. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, v. 18(1), pp. 1–21.

BANDIS, S. C., LUMSDEN, A.C., BARTON, N. R. (1983). Fundamentals of rock joint deformation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, v. 20(6), pp. 249–268.

BARTON, N. (1973). Review of a new shear strength criterion for rock joints. *Engineering Geology*, v. 7(4), pp. 287-332.

BARTON, N., LIEN, R., LUNDE, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, v. 6(4), pp. 183-236.

BARTON, N., CHOUBEY, V. (1977). The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, v. 10 (1), pp. 1-54.

BARTON, N., BANDIS, S. (1990). Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice. *Rock Joints: Proceedings of the international symposium on rock joints*. v. 182, pp. 603-610.

BEGONHA, A., SEQUEIRA BRAGA, M. A. (2002). Weathering of the Oporto granite: geotechnical and physical properties. *CATENA*. v. 49(1-2), pp. 57-76.

BEVERLY, B. E., SCHOENWOLF, D.A., BRIERLY, G.S. (1979). Correlations of rock index values with engineering properties and the classification of intact rock.

BRADY, B. H. G., BROWN, E. T. (2004). *Rock Mechanics for underground mining*. 3rd Edition.

BUOCZ, I., ROZGONYI-BOISSINOT, N., GÖRÖG, P., TÖRÖK, Á. (2010). Laboratory determination of direct shear strength of granitoid rocks; examples from host rock of the nuclear waste storage facility of Bábaapáti (Hungary). *Central European Geology*, v. 53(4), pp. 405-417.

CERYAN, S., TUDES, S., CERYAN, N. (2008). Influence of weathering on the engineering properties of Harsit granitic rocks (NE Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, v. 67(1), pp. 97–104, 2008.

CONTROL (2008). *Manual do Equipamento Caixa de Cisalhamento de Rochas Modelo 45–D0548/D*, Revisão 4, 16p.

COULSON, J. H. (1972). Shear strength of flat surfaces in rock. *Proc. 13th Symp. on Rock Mech. Urbana, Ill., 1971*. (E. J. Cording, Ed.), pp. 77–105.

DAY, M. J., GOUDIE, A.S. (1977). Field assessment of rock hardness using the Schmidt Test Hammer. *British Geomorphological Research Group Technical Bulletin*, v. 18, pp. 19-29.

DEARMAN, W.R., IRFAN, T. Y. (1978). Assessment of the degree of weathering in granite using petrographic and physical index tests. *Proc. Int. Symp. on Deterioration and Protection of Stone Monuments*. Unesco, Paris, pp. 1 – 35.

DEERE, D.U., MILLER, R.P. (1966). Engineering classification and index properties for intact rocks. *Tech Report*. Air Force Weapons Lab., New Mexico, No. AFNL-TR, pp. 65-116. Kirtland.

DEVELI, K., BABADAGLI, T., COMLEKCI, C. (2001). A new computer-controlled surface-scanning device for measurement of fracture surface roughness. *Computers e Geosciences*, v. 27(3), pp. 265 – 277.

FATHI, A., MORADIAN, Z., RIVARD, P., BALLIVY, G., BOYD, A. J. (2016). Geometric effect of asperities on shear mechanism of rock joints. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, v. 49(3), pp. 801–820.

FENER, M., KAHRAMAN, S., BILGIL, A., GUNAYDIN, O. (2005). A Comparative Evaluation of Indirect Methods to Estimate the Compressive Strength of Rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, v. 38(4), pp. 329-343.

GENTIER, S., RISS, J., ARCHAMBAULT, G., FLAMAND, R., HOPKINS, D. L. (2000). Influence of fracture geometry on shear behavior. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, v. 37, pp. 161–174.

GHAZVINIAN, A., AZINFAR, M. J., NOROZI, P. (2013). Mechanical response of discontinuities of different joint wall contact strengths. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 6(11), pp. 4419–4426.

GOKCEOGLU, C., ZORLU, K., CERYAN, S., NEFESLIOGLU, H. A. (2009). A comparative study on indirect determination of degree of weathering of granites from some physical and strength parameters by two soft computing techniques. *Materials Characterization*, v. 60(11), pp. 1317-1327.

GOODMAN, R. E. (1989). *Introduction to Rock Mechanics*. 2nd Edition.

GRASSELLI, G. (2001). Shear strength of rock joints based on quantified surface description. These PhD., Presentee Au Departement De Genie Civil, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Laurea in Ingegneria Civile, Univeristá di Parma, Italie de nationalité italienne, 126p.

GRASSELLI, G., EGGER, P. (2003). Constitutive law for the shear strength of rock joints based on three-dimensional surface parameters. *International Journal of Rock Mechanics e Mining Sciences*, v. 40(1), pp. 25–40.

GUIDICINI, G., NIEBLE, C. M. (1984). *Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação*. 2 ed. São Paulo, Edgard Blücher.

HEIDARI, M., MOMENI, A. A., NASERI, F. (2013). New weathering classifications for granitic rocks based on geomechanical parameters. *Engineering Geology*, v. 166, pp. 65–73.

HENCHER S. R., RICHARDS L. R. (1982). The basic frictional resistance of sheeting joints in Hong Kong granite. *Hong Kong Engineer*, v. 11(2), pp. 21–25.

HENCHER, S. R., RICHARDS, L. R. (2015). Assessing the Shear Strength of Rock Discontinuities at Laboratory and Field Scales. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, v. 48(3), pp. 883-905.

HOMAND, F., BELEM, T., SOULEY, M. (2001). Friction and degradation of rock joint surfaces under shear loads. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. v. 25(10), pp. 973–999.

IPT (1984). Estudos geológico-geotécnicos para caracterização e classificação de maciços rochosos para projetos de engenharia (túneis, lavra a céu aberto e barragens). São Paulo (IPT – Relatório, 19569).

IRFAN, T. Y., POWELL, G. E. (1985). Engineering geological investigations for pile foundations on a deeply weathered granitic rock in Hong Kong. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, v. 32(1), pp. 67-80.

ISRM (1974). Suggested Methods For Determining Shear Strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, v. 12(3), pp. 165-176.

ISRM (1978a). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, v. 15, pp. 319-368.

ISRM (1978b). Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, v. 15, pp. 89-98.

ISRM (1978c). Suggested methods for determining tensile strength of rock materials. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, v. 15, pp. 99–103.

ISRM (1979). Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, v. 16(2), pp. 135-140.

ISRM (1981). *Rock Characterization, Testing and Monitoring: International Society of Rock Mechanics Suggested Methods*. Pergamon Press, London, 211p.

ISRM (1985). Suggested method for determining point load strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, v. 22(2), pp. 51–60.

KAHRAMAN S., S. KORKMAZVE AND M. AKCAY (1996). The reliability of using Schmidt hammer and point load strength test in assessing uniaxial compressive strength, K.T.U. Department of Geological Engineering 30th year symposium book, Trabzon, pp. 362– 369.

KAHRAMAN, S. (2001). Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics e Mining Sciences*, v. 38(7), pp. 981–994.

KATZ, O., RECHES, Z., ROEGIERS, J. C. (2000). Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, v. 37(4), pp. 723-728.

KILIÇ, A., TEYMEN, A. (2008). Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, v. 67(2), pp. 237-244.

KULATILAKE, P. H. S. W., SHOU, G., HUANG, T.H., MORGAN, R.M. (1995). New peak shear strength criterion for anisotropic rock joints. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, v. 32(7), pp. 673–697.

LADANYI, B., ARCHAMBAULT, G. (1969). Simulation of shear behavior of a jointed rock mass. American Rock Mechanics Association. The 11th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS), 16-19 June, Berkeley, California.

LEE, Y.H., CARR, J. R., BARR, D. J., HAAS, C. J. (1990). The fractal dimension as a measure of the roughness of rock discontinuity profiles. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences e Geomechanics Abstracts*, v. 27(6), pp. 453-464.

LEE, Y. K., PARK, J. W., SONG, J. J. (2014). Model for the shear behavior of rock joints under CNL and CNS conditions. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, v. 70, pp. 252-263.

LI, Y., HUANG, R. (2015). Relationship between joint roughness coefficient and fractal dimension of rock fracture surfaces. *International Journal of Rock Mechanics e Mining Sciences*, v. 75, pp. 15–22.

LOPEZ, P., RISS J., ARCHAMBAULT, G. (2003). An experimental design linking morphology to the mechanical behavior of shear fracture surfaces. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, v. 40(6), pp. 947–954.

MAIA, P. C. A. (2001). Avaliação do comportamento geomecânico e de alterabilidade de enrocamentos. Tese de D.Sc., Departamento de Engenharia Civil, Pontífca Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

McCARROLL, D. (1991). The schmidt hammer, weathering and rock surface roughness. *Earth Surface Processes e Landforms*. Vol. 16(5), pp. 477-480.

MILLER, R. P. (1965). Engineering classification and index properties for intact rock. Ph.D. Thesis. Univ. Ill., 332p.

MISCEVIC, P., VLASTELICA, G. (2014). Impact of weathering on slope stability in soft rock mass. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, v. 6(3), pp. 240-250.

MISCEVIC, P., VLASTELICA, G. (2009). Shear strength of weathered soft rock - proposal of test method additions. In: Vrkljan I (ed) *Proceedings of Regional Symposium of ISRM-EUROCK, Rock Engineering in Difficult Conditions - Soft Rock and Karst*. CRC Press. pp. 303-308.

OLIVEIRA, J. R. (2017). *Classificação e resistência de juntas rochosas sãs e alteradas*. Dissertação de M.Sc., Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

OLIVEIRA, J. R., STEFFENS, A. H. D, NUNES, A. L. L.S. (2018). Resistência de juntas rochosas alteradas com Martelo Schmidt. Em F. Sousa (Presidência), 16º Congresso Nacional de Geotecnia, Laboratório Regional de Engenharia Civil (LREC) dos Açores & Sociedade Portuguesa de Geotecnia (SPG), Ponta Delgada, Açores, Portugal.

ÖZVAN, A., DINÇER, İ., ACAR, A., ÖZVAN, B. (2014). The effects of discontinuity surface roughness on the shear strength of weathered granite joints. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, v. 73(3), pp. 801–813.

PARK, J. W., LEE, Y. K., SONG, J. J., CHOI, B. H. (2013). A Constitutive Model for Shear Behavior of Rock Joints Based on Three-Dimensional Quantification of Joint Roughness. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, v. 46(6), pp. 1513-1537.

PATTON, F. D. (1966). Multiple modes of shear failure in rock. *International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering*. 1st ISRM Congress, 25 September-1 October, Lisbon, Portugal.

RE, F., SCAVIA, C. (1999). Determination of contact areas in rock joints by X-ray computer tomography. *International Journal of Rock Mechanics e Mining Sciences*, v. 36(7), pp. 883–890.

ROBINSON D. A., WILLIAMS R. B. G. (1994). *Rock Weathering and Landform Evolution*. John Wiley & Sons, Inc., New York.

ROWE, P.W., BARDEN, I., LEE, I.K. (1964). Energy components during the triaxial cell and direct shear tests. *Géotechnique*, v. 14(3), pp. 247-261.

SAITO, T. (1981). Variation of physical properties of igneous rocks in weathering. *Proceedings of the International Symposium on Weak Rock*, pp. 21-24. Tokyo.

SALLES, R. O. (2013). *Comportamento geomecânico e de alterabilidade da rocha gnáissica da obra do AHE Simplício*. Tese de D.Sc., Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 206p.

SANEL, M., FARAMARZI, L., FAHIMIFAR, A., GOLI, S., MEHINRAD, A., RAHMATI, A. (2015). Shear strength of discontinuities in sedimentary rock masses based on direct shear tests. *International Journal of Rock Mechanics e Mining Sciences*, v. 75, pp. 119–131.

SEIDEL, J. P., HABERFIELD, C.M. (2002). A theoretical model for rock joints subjected to constant normal stiffness direct shear. *International Journal of Rock Mechanics e Mining Sciences*, v. 39(5), pp. 539–553.

SRI-IN, T. (2007). *Effect of weathering on joint shear strength of some weak rocks*. M.Sc. Thesis. Suranaree University of Technology. Nakhon Ratchasima, Thailand. 137p.

SUMNER, P., NEL, W. (2002). The effect of rock moisture on Schmidt hammer rebound: tests on rock samples from Marion Island and South Africa. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 27(10), pp.1137–1142.

TANG, Z. C., WONG, L. N. Y. (2016). Influences of normal loading rate and shear velocity on the shear behavior of artificial rock joints. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, v. 49(6), pp. 2165–2172.

TORABI, S. R., ATAEI, M., JAVANSHIR, M. (2010). Application of Schmidt rebound number for estimating rock strength under specific geological conditions. *Journal of Mining & Environment*, v. 1(2), pp. 1-8.

TSE, R., CRUDEN, D. M. (1979). Estimating joint roughness coefficients. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, v. 16(5), pp. 303 – 307.

TUPINAMBÁ, M., DUARTE, B. P., EIRADO, L. G., NOGUEIRA, J. R., HEILBRON, M., ALMEIDA, C. G. (2003). Relatório de Geologia das folhas Leopoldina e Pirapetinga. Laboratório TEKTOS, Faculdade de Geologia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro.

ÜNDÜL, Ö., TUĞRUL, A. (2012). The Influence of Weathering on the Engineering Properties of Dunites. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, v. 45(2), pp 225–239.

VALLEJO, L. I. G., FERRER, M., ORTUÑO, L., OTEO, C. (2002). Ingeniería Geológica. Pearson Educación, Madrid, 744p.

WILLIAMS, R. B. G., ROBINSON, D. A. (1983). The effect of surface texture on the determination of the surface hardness of rock using the schmidt hammer. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 8(3), pp. 289-292.

WYLLIE, D. C., MAH, C. W. (2004). *Rock slope engineering: civil and mining*. 4th Edition, Taylor and Francis e-Library. 456p.

YANG, Z. Y., DI, C. C., YEN, K. C. (2001). The effect of asperity order on the roughness of rock joints. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, v. 38, pp. 745–752.

YANG, J., RONG, G., HOU, D., PENG, J., ZHOU, C. (2016). Experimental Study on Peak Shear Strength Criterion for Rock Joints. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, v. 49(3), pp. 821–835.

YAŞAR, E., ERDOĞAN, Y. (2004). Estimation of rock physicommechanical properties using hardness methods. *Engineering Geology*, v. 71(3–4), pp. 281-288.

YOSHINAKA, R., YAMABE, T. (1986). Joint stiffness and the deformation behaviour of discontinuous rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, v. 23(1), pp. 19–28.

ZHANG, G., KARAKUS, M., TANG, H., GE, Y., ZHANG, L. (2014). A new method estimating the 2D joint roughness coefficient for discontinuity surfaces in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics e Mining Sciences*, v. 72, pp. 191–198.

ZHAO, J. (1997). Joint surface matching and shear strength - part A: joint matching coefficient (JMC). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, v. 34(2), pp. 173-178.

ÂPENDICE I - COMPORTAMENTO TENSÃO - DESLOCAMENTO E ENVOLTÓRIA DE RESISTÊNCIA

a) Juntas rugosas

No primeiro estágio de cisalhamento da junta 0h-1 foi verificada a rotação da amostra dentro do equipamento de cisalhamento (tensão normal inicial de 0,30MPa) (Figura AI.1). Observou-se o deslocamento relativo entre a junta de topo e junta de base a partir de 5mm de deslocamento horizontal. Após 5mm é difícil individualizar a resistência ao cisalhamento decorrente ao atrito entre as áreas cisalhantes e a resistência oriunda do atrito entre os moldes de gesso e as caixas do equipamento. As superfícies cisalhantes da junta apresentavam geometria desfavorável ao cisalhamento devido ao intertravamento entre as irregularidades. O pico de resistência ao cisalhamento exposto na Figura AI.1 não é compatível a tensão normal inicial aplicada. A redução gradual da tensão cisalhante máxima com deslocamento horizontal decorre da quebra do molde de gesso da junta de base. A velocidade média de ensaio foi 0,5 mm/min.

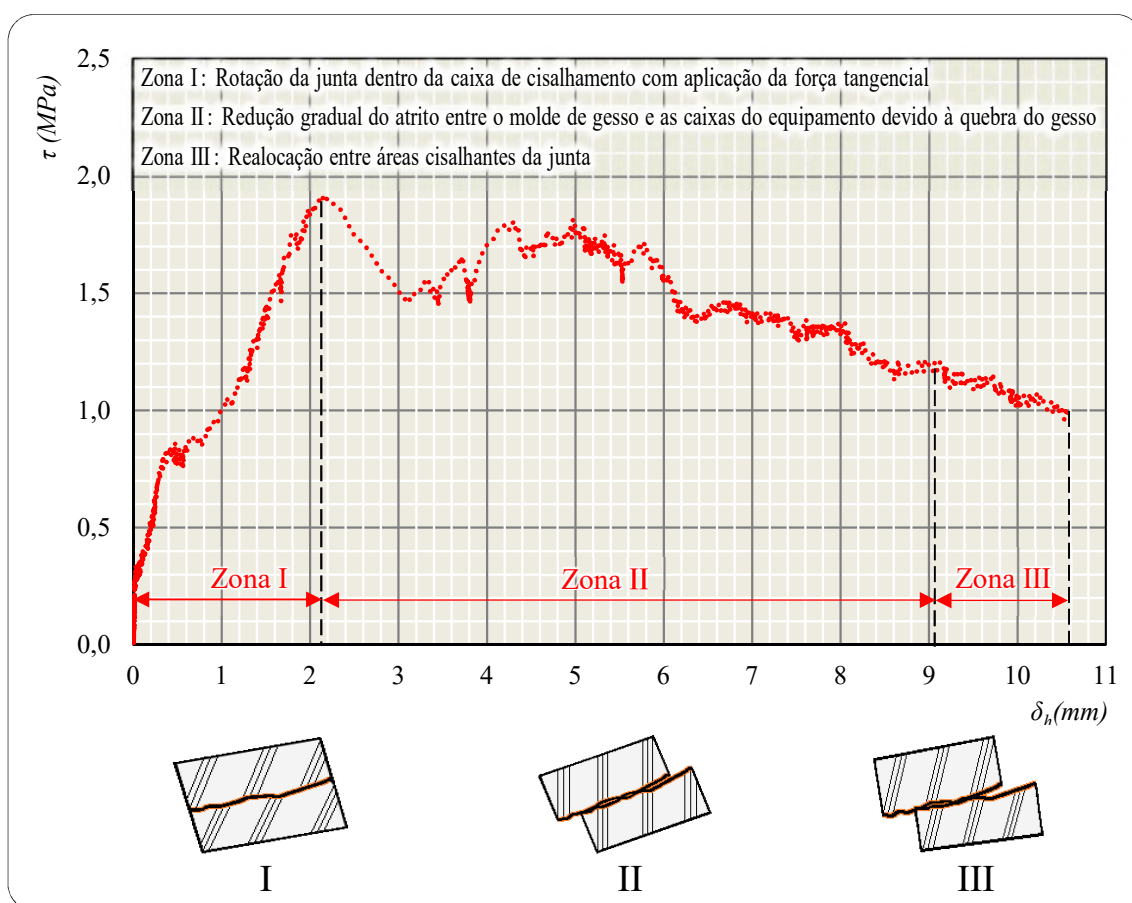


Figura AI.1 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 0h-1.

A Figura AI.2 apresenta as curvas de tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal para junta 0h-3.

No primeiro estágio, até aproximadamente 3mm de deslocamento horizontal, não ocorre deslocamento relativo entre as faces da junta (tensão normal inicial de 0,28MPa). Porém, foi observada a rotação da amostra dentro do equipamento.

No segundo estágio, sob tensão normal de 0,57MPa, foi observado durante o cisalhamento a perda de contato na parte posterior das áreas cisalhantes da junta, resultando no aumento do efeito rotação. O pico de resistência medido é oriundo do contato dos moldes de gesso com as caixas metálicas do equipamento. A velocidade média de ensaio foi 0,7 mm/min.

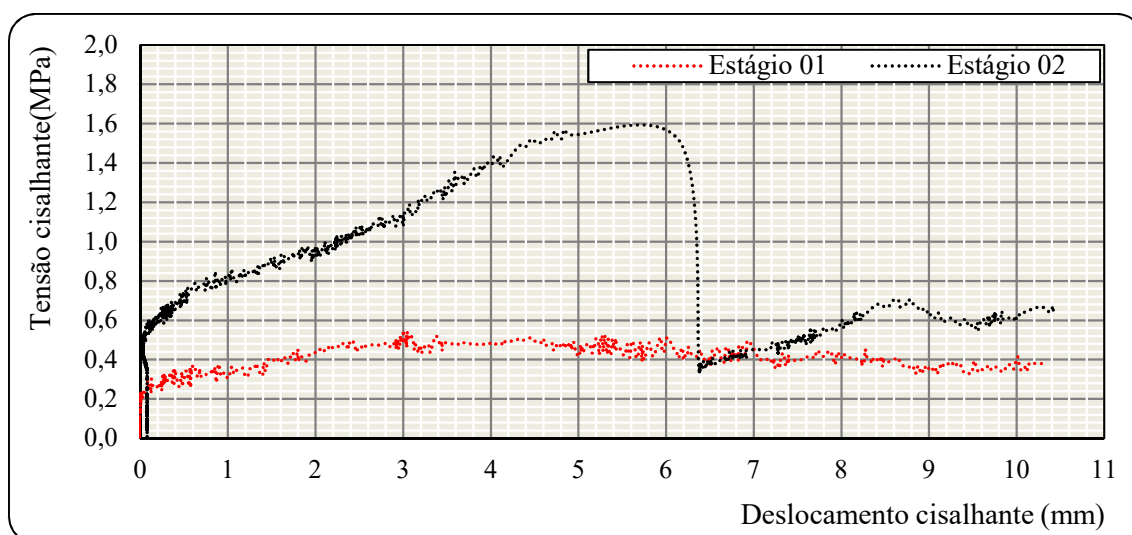


Figura AI.2 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 0h-3.

Na Figura AI.3 estão apresentadas as curvas de tensão cisalhante por deslocamento horizontal para junta 0h-4. Nos três estágios o deslocamento relativo entre as áreas cisalhantes da junta coincide com deslocamento horizontal medido. A velocidade média de ensaio foi 0,2mm/min. A envoltória de resistência da junta 0h-4 está apresentada na Figura AI.4.

No primeiro estágio de cisalhamento a tensão cisalhante crítica de deslocamento foi 0,35MPa para tensão normal inicial de 0,29MPa. Observa-se uma pequena faixa de máximos valores de resistência ao valor médio de 0,43MPa a aproximadamente 1mm de deslocamento horizontal. Pós faixa de máximos valores de tensão cisalhante há uma redução gradual a 0,35MPa.

No segundo estágio com tensão normal inicial de 0,58MPa, a tensão cisalhante mobilizada varia entre 0,60 e 0,73MPa. A tensão cisalhante crítica é de 0,54MPa.

No terceiro estágio a tensão cisalhante crítica é de 0,60MPa para tensão normal igual a 0,88MPa. A tensão cisalhante mobilizada atinge valores máximos (tensão média de 0,90MPa) para deslocamentos horizontais de 0,35 a 3mm. Após 3mm ocorre redução gradual da resistência a tensão última de 0,80MPa.

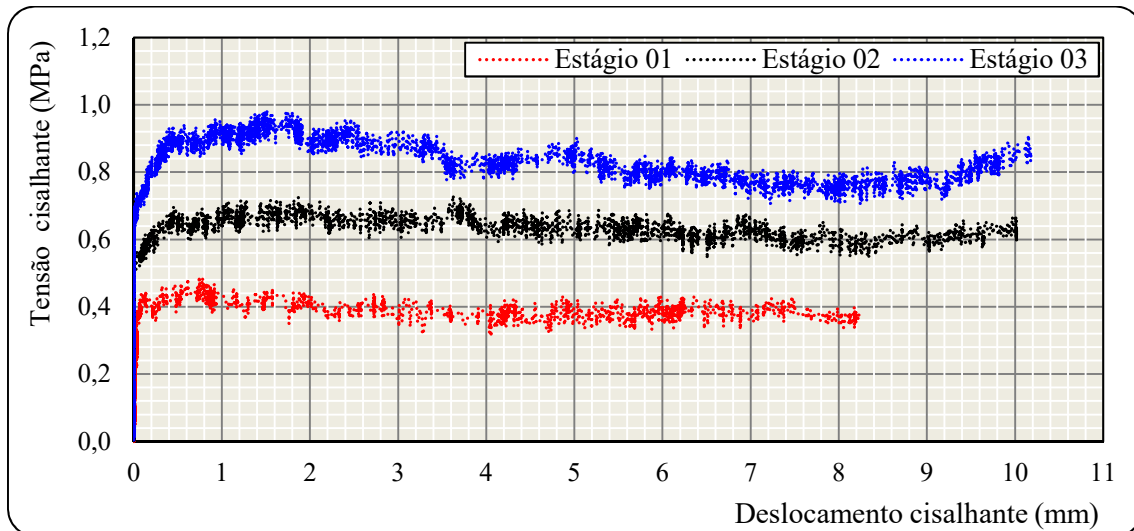


Figura AI.3 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 0h-4.

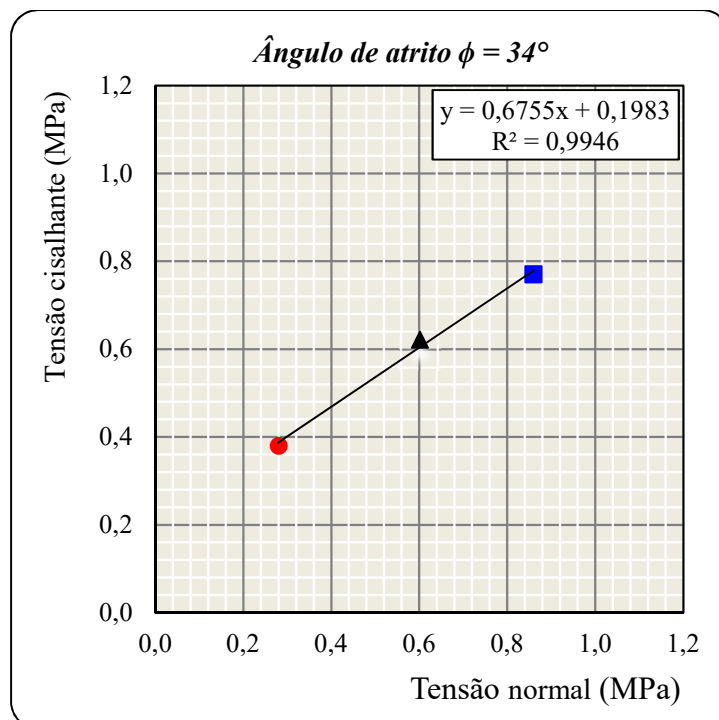


Figura AI.4 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 0h-4.

A Figura AI.5 e Figura AI.6 apresentam as curvas de tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal e envoltória de resistência, respectivamente, para junta 600h-1. A tensão normal aplicada no primeiro, segundo e terceiro estágio são: 0,28MPa, 0,57MPa, 0,85MPa. A tensão cisalhante crítica de deslocamento para o primeiro, segundo e terceiro estágio são: 0,24MPa, 0,35MPa e 0,59MPa. A velocidade média de ensaio foi de 0,4mm/min.

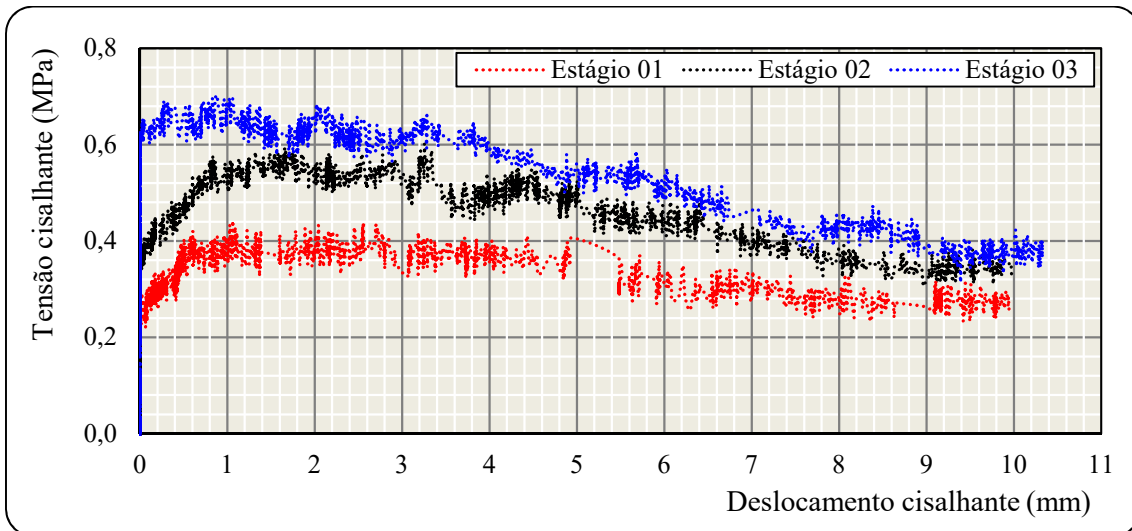


Figura AI.5 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 600h-1.

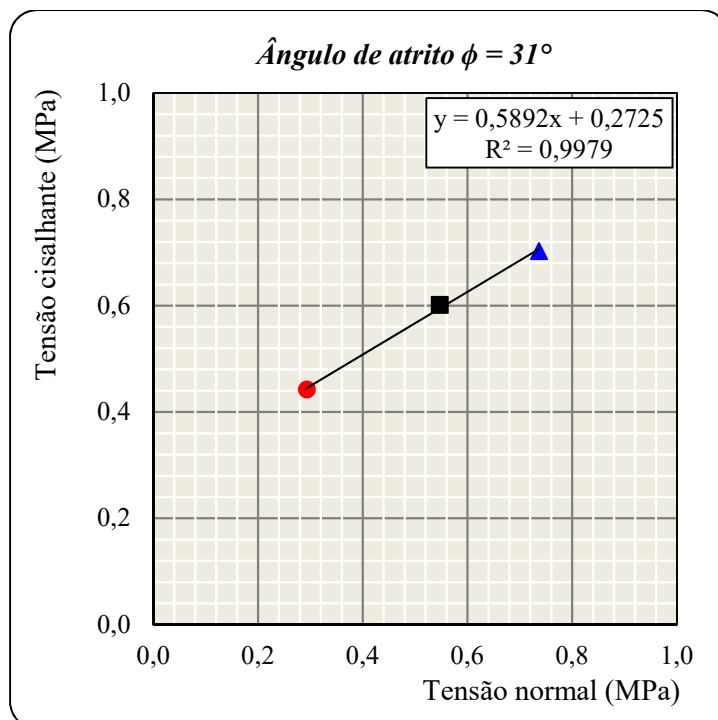


Figura AI.6 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 600h-1.

No primeiro estágio, a tensão cisalhante mobilizada atinge valores máximos (tensão média de 0,40MPa) para deslocamentos horizontais de 1 a 4mm. Há o decréscimo de resistência a partir de 4mm para tensão última de 0,30MPa.

Para o segundo estágio de cisalhamento, sob tensão normal inicial de 0,57MPa, entre 1,0 e 3,5mm de deslocamentos horizontais é verificado a tensão cisalhante máxima de 0,60MPa. A tensão cisalhante última é 0,30MPa.

No terceiro estágio a tensão cisalhante mobilizada atinge valores máximos de 0,70MPa até 2mm de deslocamento horizontal. A partir de 2mm, há o decréscimo de tensão a 0,35MPa.

Foi verificado a rotação da junta 600h-2 dentro das caixas de cisalhamento para os três níveis de tensão normal inicial aplicada: 0,29MPa, 0,58MPa e 0,88MPa. Observa-se na Figura AI.7 um comportamento semelhante para os três níveis de tensão normal. Sob tensão normal de 0,88MPa foi verificada a fissuração do gesso que encapsulava a junta de base. Foi realizado um quarto estágio de cisalhamento (tensão normal aplicada de 0,88MPa), com o novo encapsulamento da junta, no qual foi observado novamente a rotação da junta e fissuração do gesso. Com aumento da tensão normal aplicada há o aumento do efeito de rotação da junta. A velocidade média de ensaio foi 0,2 mm/min.

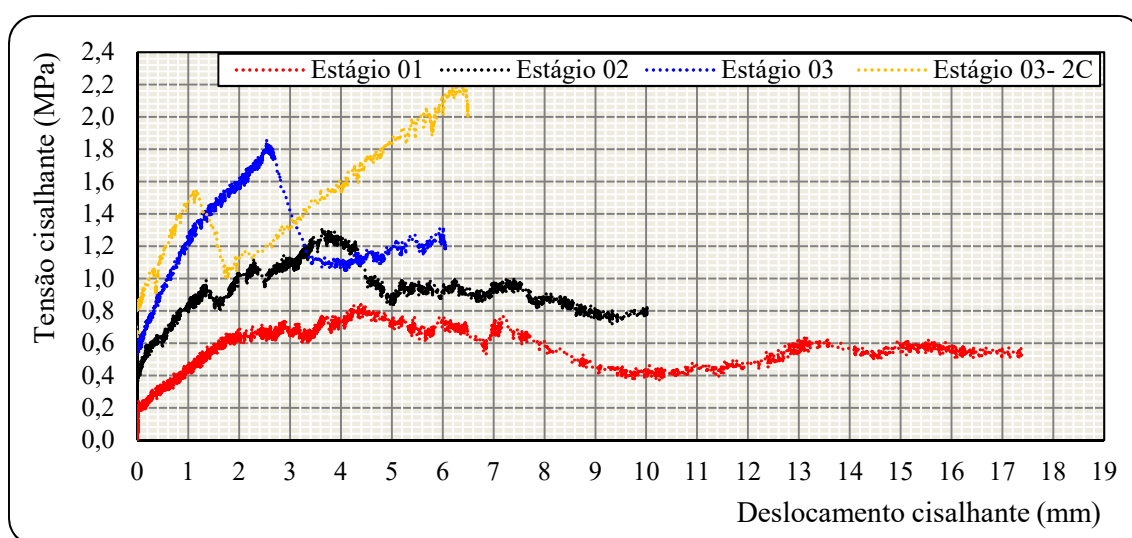


Figura AI.7 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 600h-2.

A Figura AI.8 e Figura AI.9 apresentam as curvas de tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal e envoltória de resistência, respectivamente, da junta 1200h-1. A tensão normal inicial aplicada no primeiro, segundo e terceiro estágio são: 0,27MPa,

0,54MPa, 0,82MPa. Correspondentemente, tem-se as tensões cisalhantes críticas de deslocamento de 0,33MPa, 0,49MPa e 0,48MPa.

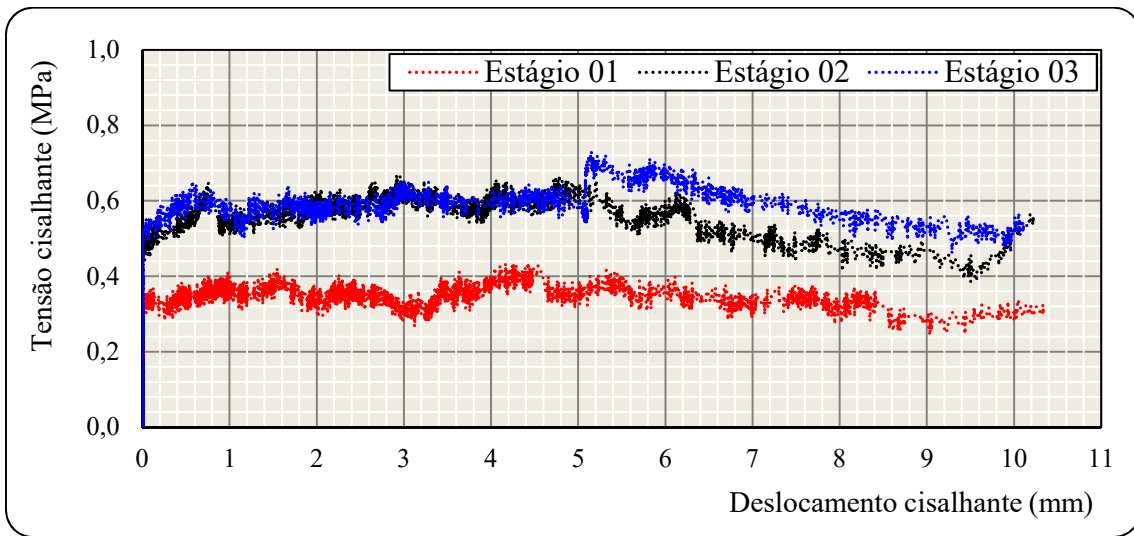


Figura AI.8 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 1200h-1.

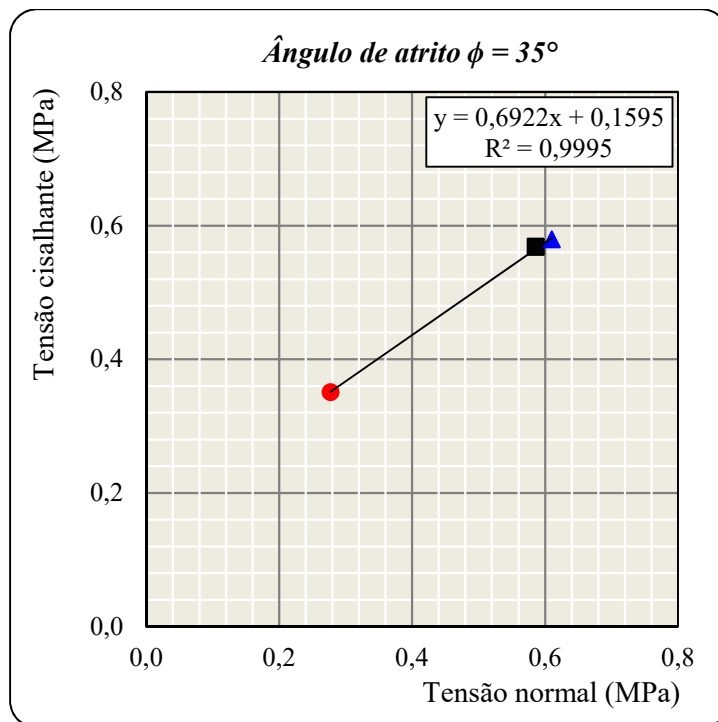


Figura AI.9 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 1200h-1.

Observa-se no primeiro estágio uma faixa de máximos valores de tensão cisalhante de aproximadamente 0,40MPa até 5,5mm de deslocamento horizontal. A partir de 5,5mm há o decréscimo de resistência a tensão última 0,35MPa.

No segundo estágio observa-se o comportamento cisalhante da junta semelhante ao verificado no primeiro. Tem-se uma faixa de máximos valores de tensão cisalhante de aproximadamente de 0,65MPa até 5,0mm de deslocamento cisalhante. A partir de 5,0mm verifica-se a redução gradual da resistência a tensão última de 0,45MPa.

No terceiro estágio de cisalhamento, sob tensão normal inicial de 0,82MPa, verifica-se uma faixa de tensão cisalhante de aproximadamente 0,60MPa até 5,0mm de deslocamento horizontal. Durante o cisalhamento foi verificado a redução da força normal aplicada a 0,55MPa, sem ação externa. Aos 5mm de deslocamento horizontal foi reaplicada a tensão normal de 0,82MPa (sem incrementos de deslocamento horizontal da junta). Com o aumento da tensão normal aplicada foi verificado o aumento da tensão cisalhante ao valor máximo de 0,70MPa. Contudo, ocorre novamente a dissipação da força normal e consequentemente a perda de resistência ao cisalhamento. A tensão última de cisalhamento foi de 0,50MPa. A velocidade média de ensaio foi de 0,2mm/min.

Os resultados de ensaio de cisalhamento direto da junta 1200h-4 são apresentados na Figura AI.10, curvas de tensão mobilizada e deslocamento horizontal e na Figura AI.11, envoltória de resistência da junta. A velocidade média de ensaio foi 0,5mm/min.

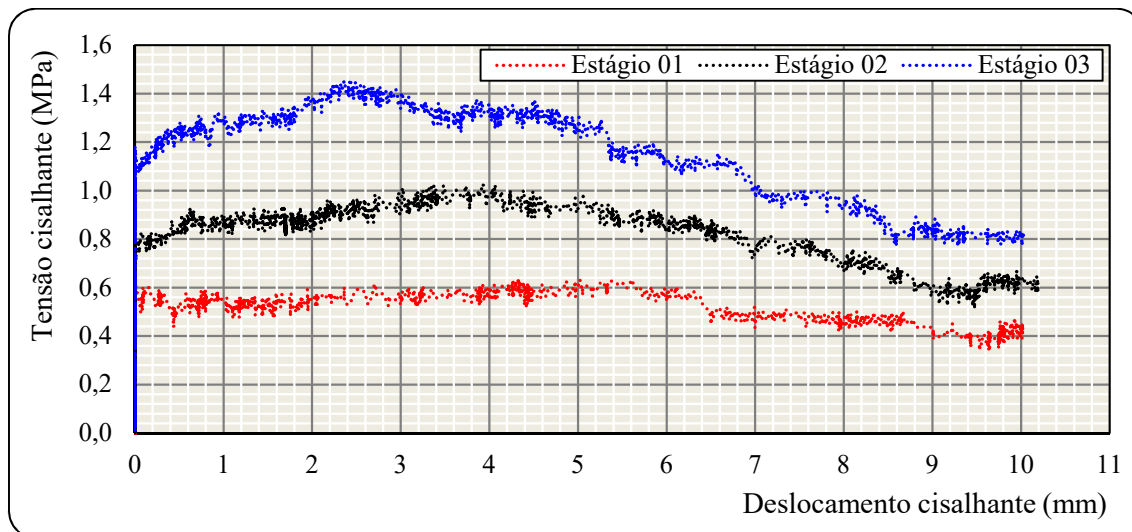


Figura AI.10 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 1200h-4.

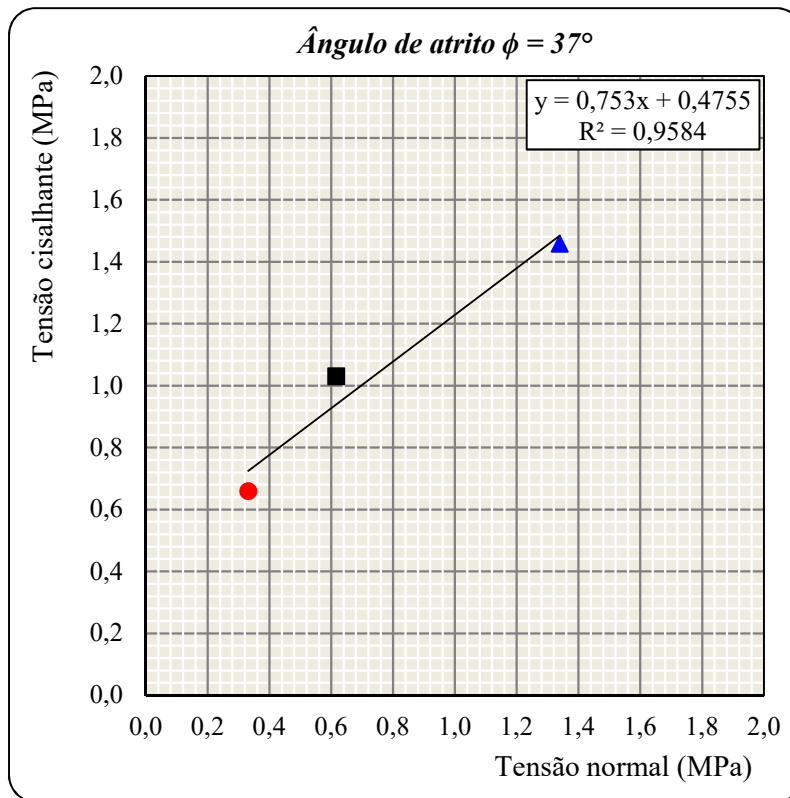


Figura AI.11 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 1200h-4.

No primeiro estágio, sob tensão normal de 0,32MPa, não há um aumento expressivo da resistência em relação a tensão crítica de deslocamento (0,60MPa). O decréscimo de resistência ocorre a partir de 6mm de deslocamento a tensão de cisalhamento última de 0,40MPa.

No segundo estágio, sob tensão normal de 0,64MPa, verifica-se a faixa de máximos valores de tensão cisalhante de 0,95MPa entre 3,0 e 4,0mm de deslocamento horizontal. A tensão crítica de deslocamento foi 0,74MPa. Após 4,0mm, há a redução da tensão de cisalhamento para o valor último de 0,60MPa.

Observa-se no terceiro estágio a resistência ao cisalhamento máxima de 1,4MPa, para 2,4mm de deslocamento horizontal, sob tensão normal de 0,95MPa. Após a máxima resistência há redução da resistência a tensão última de 0,80MPa. A tensão crítica de deslocamento foi 1,1MPa.

A Figura AI.12 e Figura AI.13 apresentam as curvas tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal e envoltória de resistência, respectivamente, para a junta 2400h-2. A velocidade média de ensaio foi 0,3mm/min.

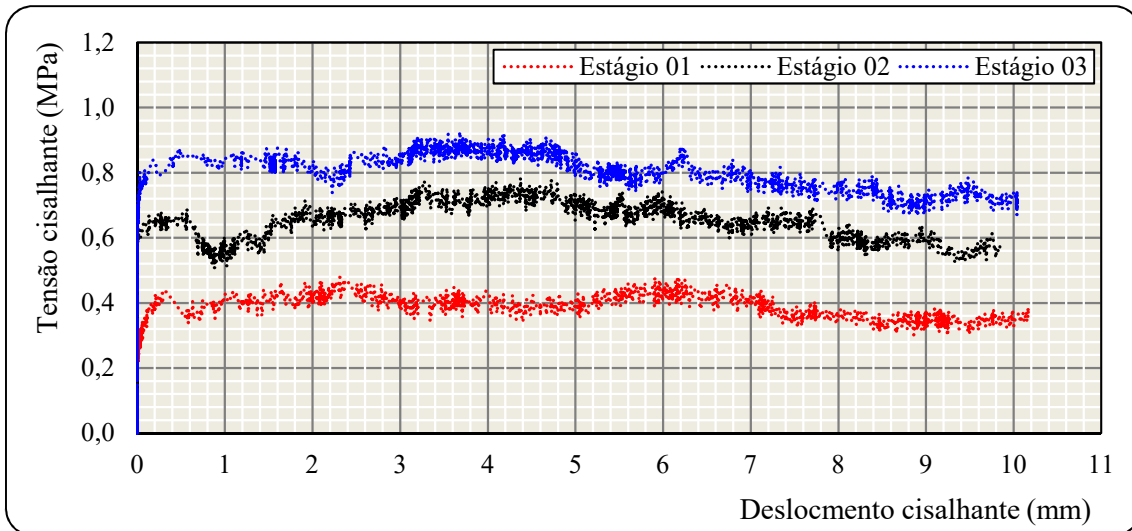


Figura AI.12 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 2400h-2.

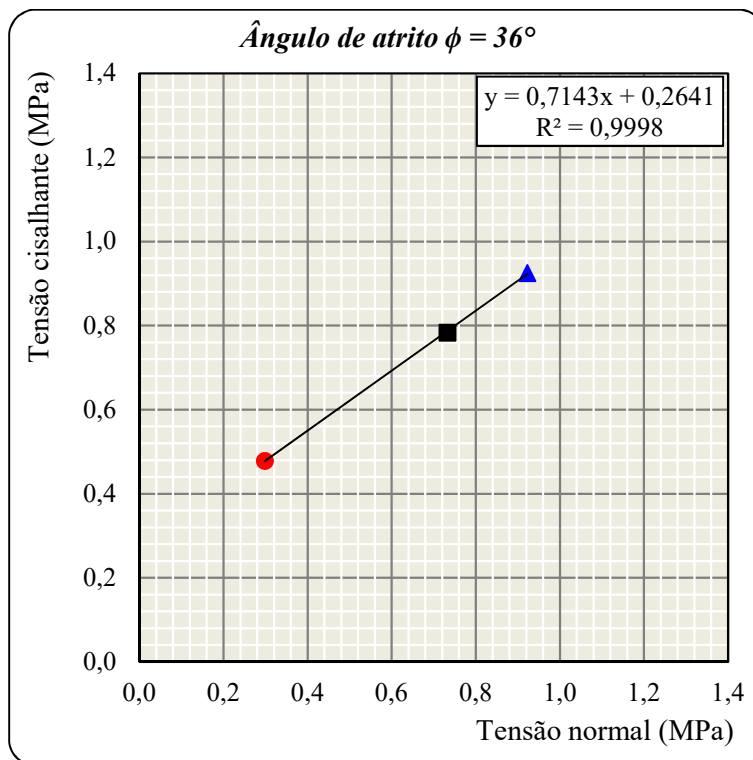


Figura AI.13 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 2400h-2.

A tensão cisalhante mobilizada, sob tensão normal de 0,29MPa, durante o primeiro estágio é praticamente constante (0,40MPa) até 7mm de deslocamento horizontal. Após 7mm observa-se uma pequena redução da resistência ao cisalhamento a tensão última de 0,35MPa. A tensão crítica de deslocamento é 0,22MPa.

Para tensão normal inicial de 0,58MPa, a resistência máxima de cisalhamento é de 0,75MPa para deslocamentos horizontais de 4 a 5mm de deslocamento horizontal. A

partir de 5mm observa-se a redução da resistência a tensão última de 0,60MPa. A tensão crítica de deslocamento é 0,60MPa.

No terceiro estágio de cisalhamento (tensão normal de 0,87MPa), verifica-se a partir da tensão crítica de deslocamento de 0,65MPa, máximos valores de tensão cisalhante de 0,90MPa para deslocamentos horizontais de 3 a 5,0mm. A partir de 5mm, a tensão de cisalhamento mobilizada diminui a tensão última de 0,70MPa.

Os resultados do ensaio de cisalhamento direto da junta 2400h-3 são apresentados na Figura AI.14, curvas de tensão mobilizada e deslocamento horizontal, e na Figura AI.15, envoltória de resistência da junta. A tensão normal aplicada no primeiro, segundo e terceiro estágio são: 0,29MPa, 0,58MPa, 0,87MPa. Correspondentemente, tem-se as tensões críticas de deslocamento de 0,38MPa, 0,60MPa e 0,79MPa. A velocidade média de ensaio foi 0,4mm/min.

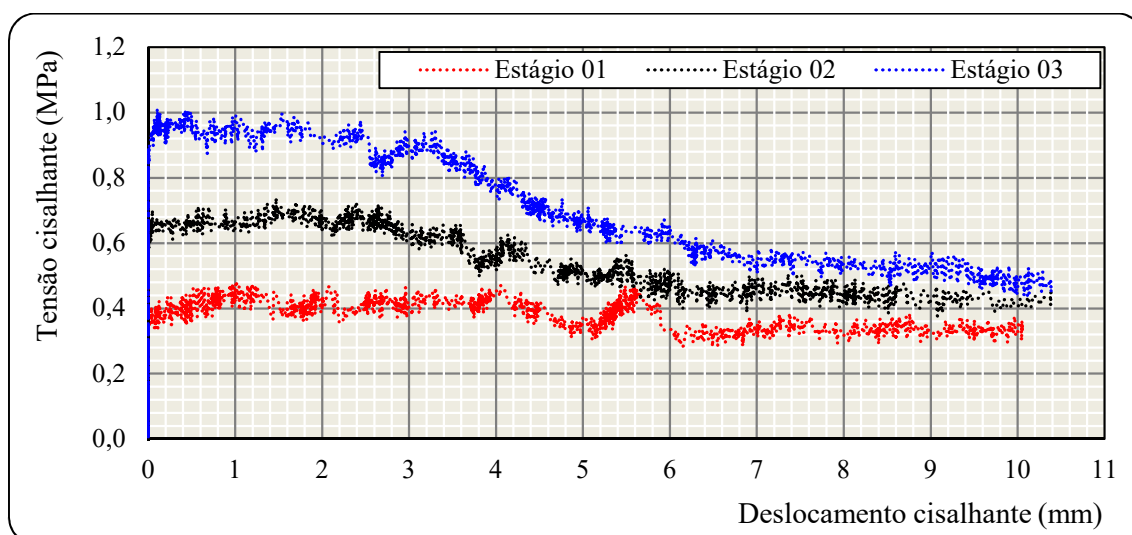


Figura AI.14 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 2400h-3.

No primeiro estágio há redução da resistência ao cisalhamento (0,40MPa), a partir de 6mm de deslocamento horizontal, para tensão última de cisalhamento de 0,30MPa.

No segundo estágio, observa-se a tensão máxima de cisalhamento de 0,70MPa para 1,5mm de deslocamento horizontal. A partir de 3mm, a tensão mobilizada é reduzida gradualmente a tensão última de 0,43MPa.

No terceiro estágio de cisalhamento o valor de tensão máxima cisalhante (0,95MPa) é reduzido gradualmente com o deslocamento horizontal até tensão última de 0,50MPa.

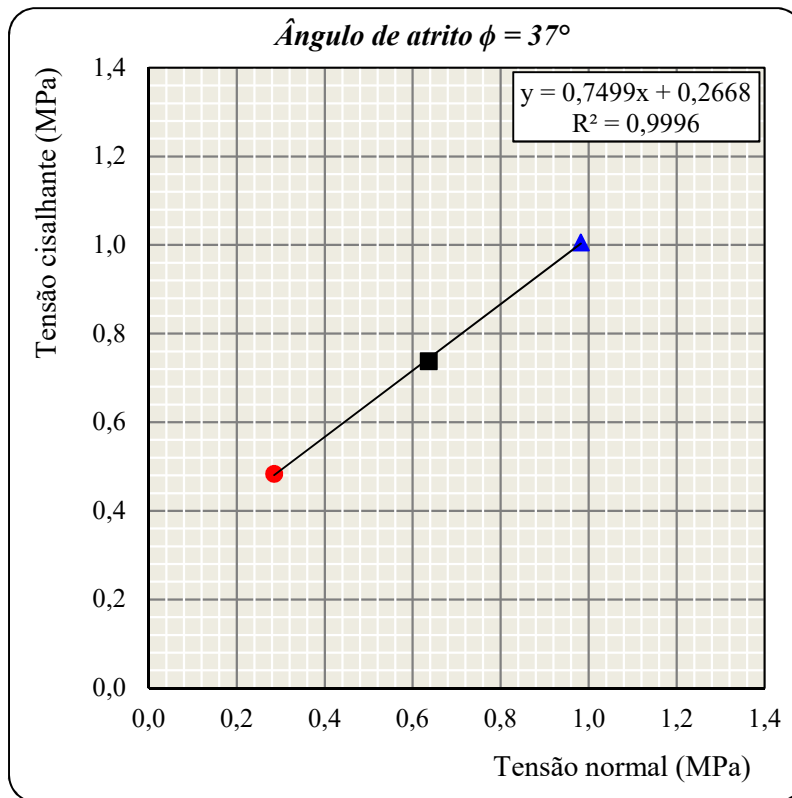


Figura AI.15 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 2400h-3.

A Figura AI.16 e Figura AI.17 apresentam as curvas de tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal e envoltória de resistência, respectivamente, da junta 4800h-2. As tensões cisalhantes críticas correspondentes aos 3 estágios são iguais a 0,30MPa, 0,35MPa e 0,40MPa. A velocidade média de ensaio foi 0,6mm/min

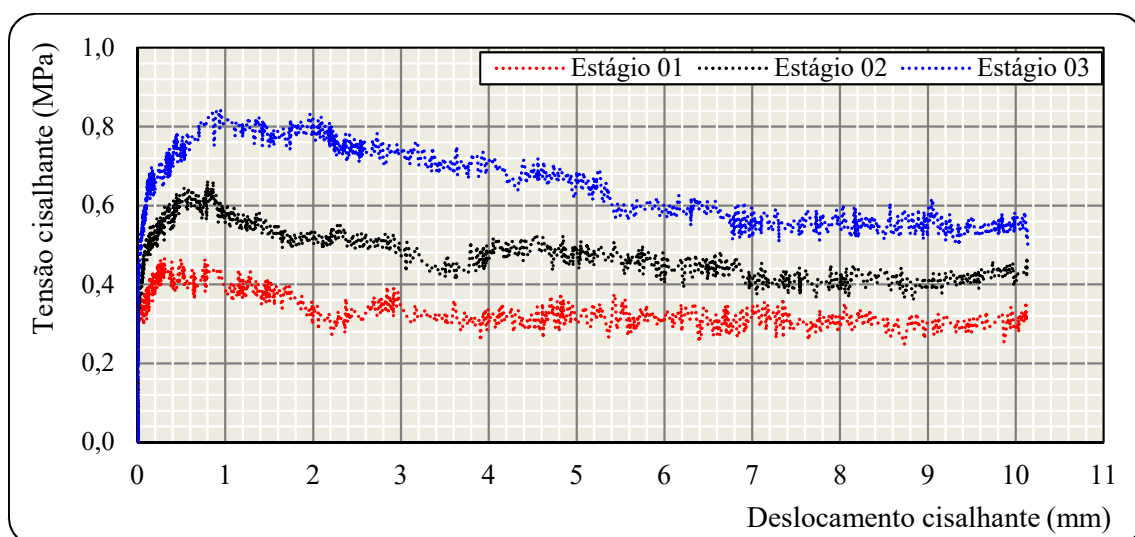


Figura AI.16 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 4800h-2.

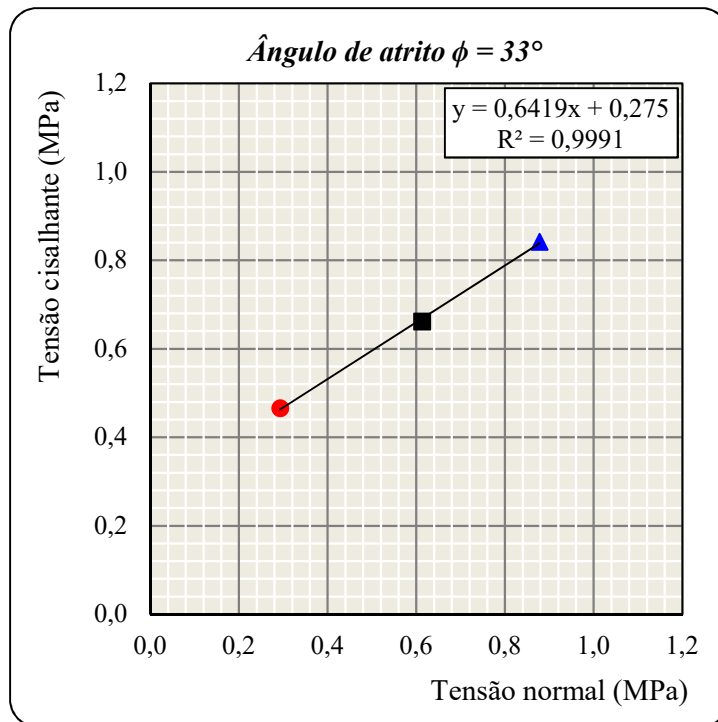


Figura AI.17 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 4800h-2.

No primeiro estágio, sob tensão normal inicial 0,29MPa, observa-se um aumento de 0,45MPa em apenas 0,3mm de deslocamento cisalhante. Após 0,3mm há redução gradual da resistência até tensão de cisalhamento última de 0,30MPa.

No segundo estágio com 0,58MPa de tensão normal inicial, a tensão cisalhante máxima (0,64MPa) é mobilizada para 0,9mm de deslocamento horizontal. A partir de 0,9mm a redução da resistência ao cisalhamento ocorre gradualmente até 10mm. A tensão última de cisalhamento é 0,40MPa.

A curva de tensão mobilizada por deslocamento horizontal no terceiro estágio possui aspecto semelhante ao do primeiro e segundo estágio. Para tensão normal aplicada de 0,87MPa, verifica-se a resistência máxima ao cisalhamento de 0,84MPa para 0,94mm de deslocamento horizontal. A resistência máxima ao cisalhamento é reduzida a tensão última de 0,53MPa.

Os resultados do ensaio de cisalhamento direto da junta 4800h-3 são apresentados na Figura AI.18, curvas de tensão mobilizada e deslocamento horizontal e na Figura AI.19, envoltória de resistência da junta. A velocidade média de ensaio foi 0,6mm/min.

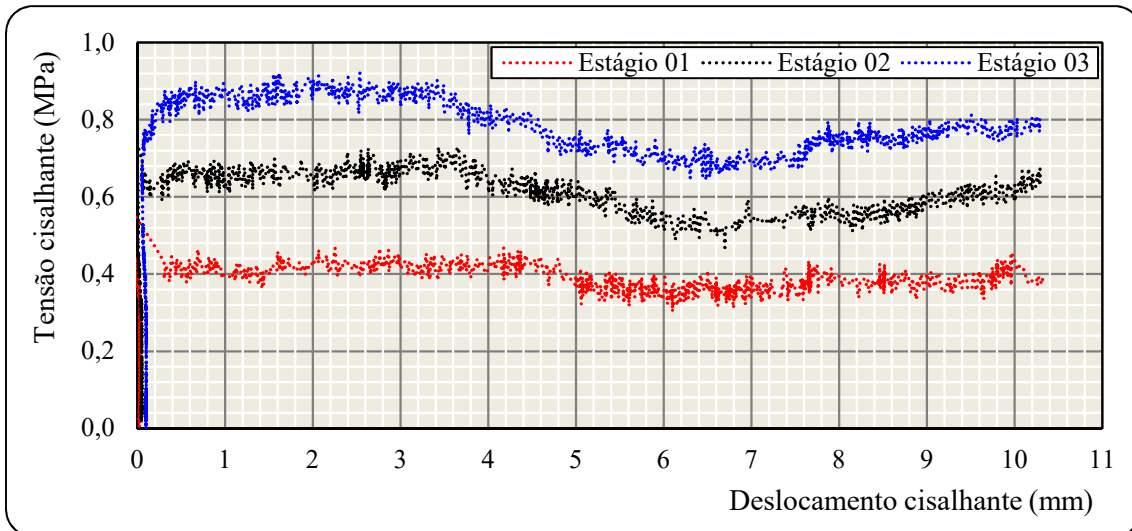


Figura AI.18. Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 4800h-3.

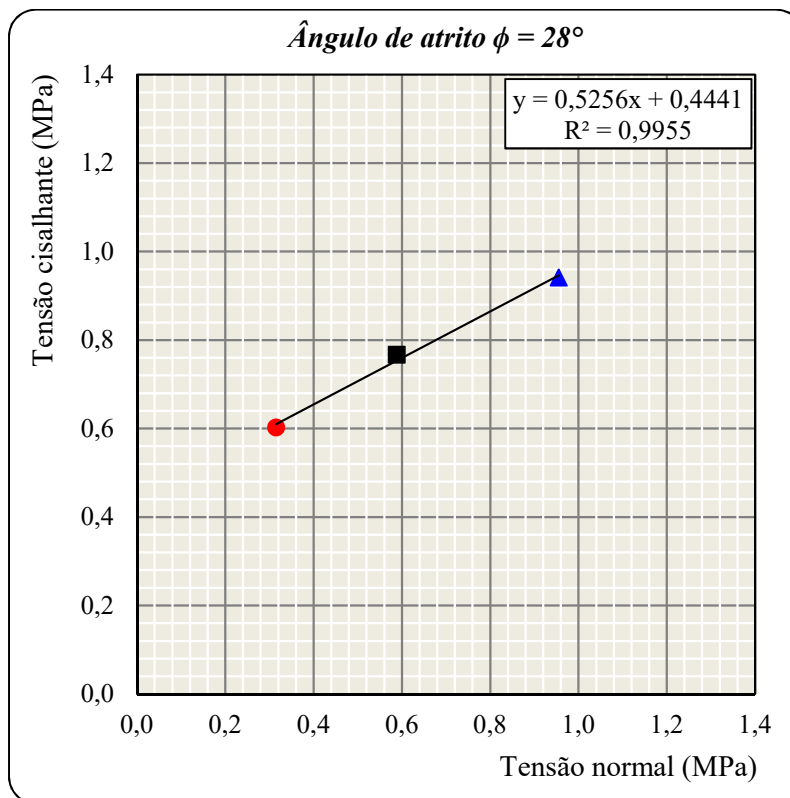


Figura AI.19. Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 4800h-3.

As curvas de tensão mobilizada por deslocamento horizontal nos três estágios de cisalhamento possuem aspectos semelhantes.

No primeiro estágio, sob tensão normal de 0,30MPa, a tensão crítica de deslocamento é 0,55 MPa. Entre 0,4 e 7,0mm de deslocamento horizontal ocorre a redução de resistência a 0,35MPa. A tensão última de cisalhamento do primeiro estágio é 0,37MPa.

No segundo estágio com tensão normal aplicada de 0,59MPa a tensão crítica é igual a 0,70MPa. Observa-se a redução da resistência ao cisalhamento a tensão de 0,50MPa para 6,6mm de deslocamento horizontal. A partir de 6,6mm ocorre o aumento da resistência a tensão última de 0,60MPa.

No terceiro estágio com tensão normal aplicada de 0,89MPa, a tensão crítica é igual a 0,75MPa. Ocorre a redução da tensão cisalhante máxima (0,94MPa) a tensão de 0,65MPa para 6,3mm de deslocamento horizontal. A partir de 6,3mm ocorre o aumento da resistência a tensão última de 0,75MPa.

Os resultados do ensaio de cisalhamento direto da junta 8300h-1 são apresentados na Figura AI.20, curvas de tensão mobilizada e deslocamento horizontal, e na Figura AI.21, envoltória de resistência da junta. A tensão normal aplicada no primeiro, segundo e terceiro estágio são: 0,31MPa, 0,62MPa, 0,92MPa, respectivamente, com tensões críticas iguais 0,63MPa, 0,68MPa e 0,85MPa. A velocidade média de ensaio foi 0,5mm/min.

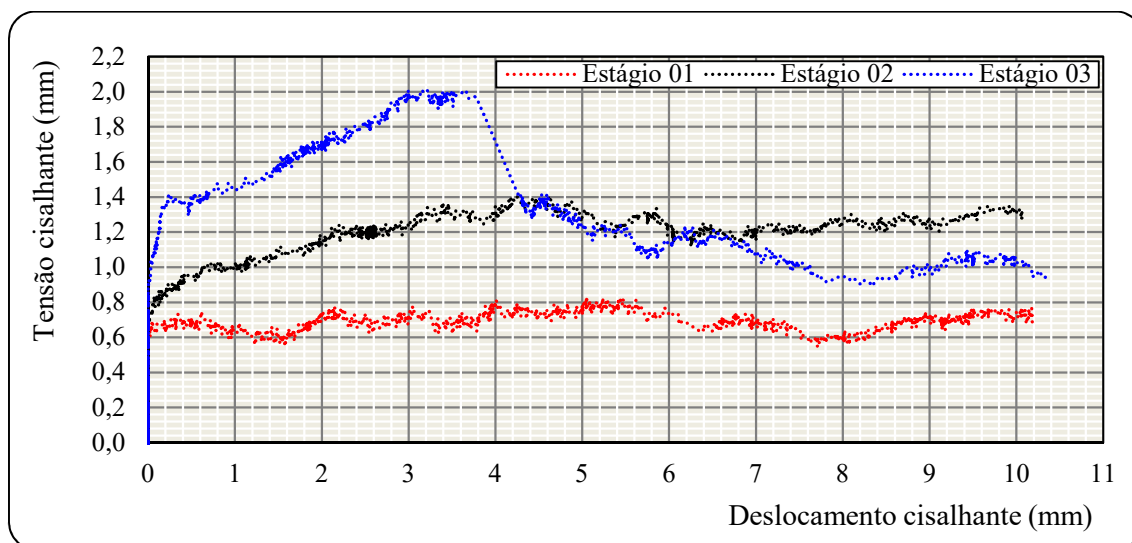


Figura AI.20 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 8300h-1.

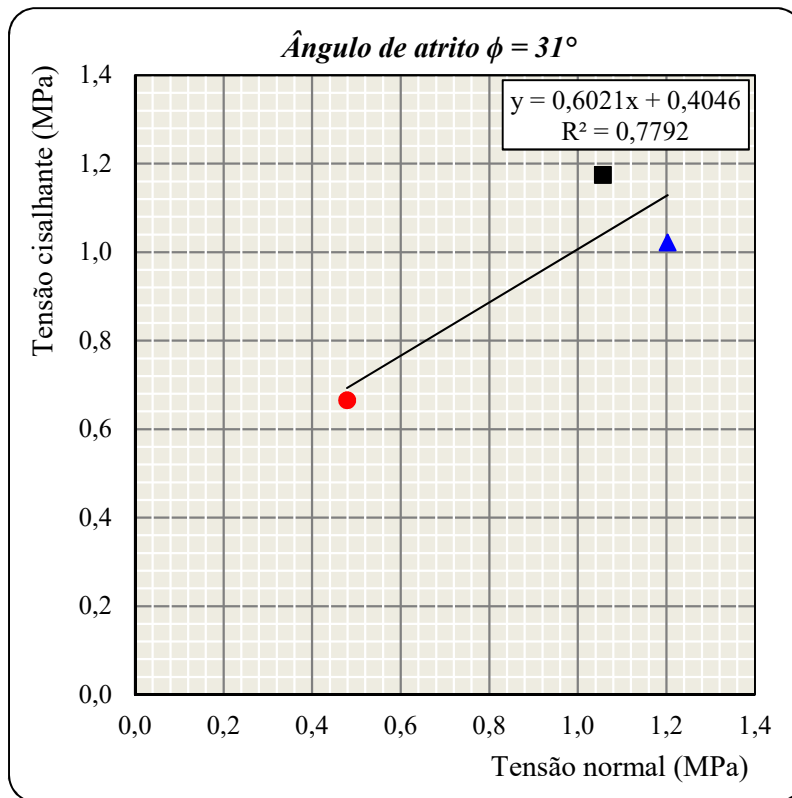


Figura AI.21 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 8300h-1.

A tensão crítica no primeiro estágio é de 0,63MPa. A tensão cisalhante mobilizada atinge valores máximos (0,75 a 0,80 MPa) para deslocamentos horizontais de 4 a 6mm. Após 6mm ocorre a redução gradual da resistência a tensão última de 0,65MPa.

No segundo estágio de cisalhamento, observa-se o aumento da resistência a partir da tensão crítica (0,65MPa) ao valor máximo (1,40MPa) para 4,5mm de deslocamento horizontal. Entre 4,5 e 10mm ocorre a redução da resistência a tensão última de cisalhamento de 1,2MPa.

No terceiro estágio, verifica-se o aumento da tensão cisalhante crítica de 0,95MPa ao valor máximo de 2,0MPa em 3,7mm de deslocamento horizontal. Entre 3,7 e 4,4mm ocorre a abrupta redução de resistência de 2,0MPa para 1,25MPa. A partir de 4,4mm verifica-se a perda de resistência gradual a tensão última de cisalhamento de 1,0MPa. A resistência ao cisalhamento ao fim do terceiro estágio é inferior a resistência última do segundo estágio.

A Figura AI.22 e Figura AI.23 apresentam as curvas tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal e envoltória de resistência, respectivamente, para a junta 8300h-2. A velocidade média de ensaio foi 0,7mm/min.

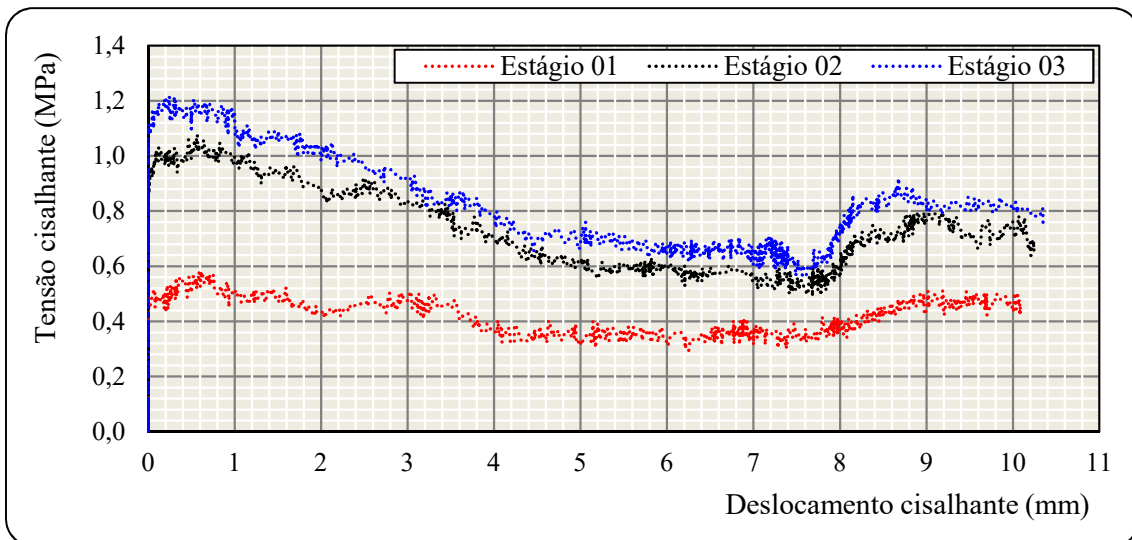


Figura AI.22 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 8300h-2.

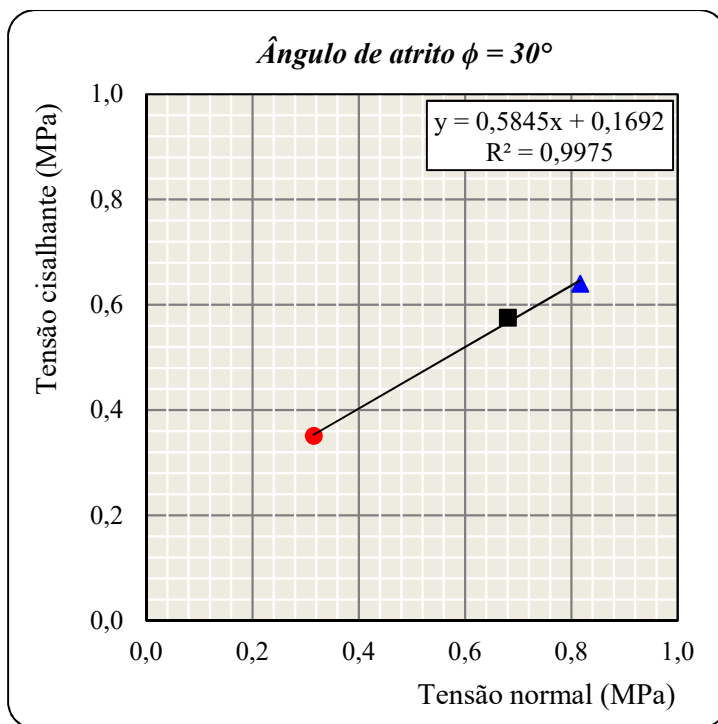


Figura AI.23 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 8300h-2.

No primeiro estágio, sob tensão normal inicial de 0,30MPa, a tensão cisalhante crítica é de 0,45MPa. Verifica-se a redução da resistência ao cisalhamento a tensão cisalhante 0,35MPa para o deslocamento horizontal de 8,0mm. Entre 8 e 10mm ocorre o aumento da resistência a tensão última de cisalhamento de 0,45MPa.

No segundo estágio a tensão cisalhante crítica é de 0,91MPa para tensão normal igual 0,59MPa. A tensão cisalhante máxima mobilizada (1,1MPa) é observada para 0,57mm de deslocamento horizontal. A partir de 0,57mm ocorre a redução da resistência

a 0,50MPa até 7,8mm. Entre 7,8 e 9,0mm de deslocamento horizontal há o aumento da tensão cisalhante de 0,50MPa para 0,80MPa. Após 9,0mm verifica-se a redução da resistência a tensão última de 0,70MPa.

No terceiro estágio a tensão cisalhante crítica é de 1,1MPa para tensão normal igual a 0,89MPa. A tensão cisalhante máxima mobilizada (1,2MPa) é verificada para um deslocamento horizontal de 0,25mm. Observa-se a redução da resistência ao cisalhamento a 0,60MPa para 7,7mm de deslocamento horizontal. Após 7,7mm a tensão mobilizada segue com aumento de resistência a 0,85MPa, e posterior redução a tensão última de 0,80MPa.

Na Figura AI.24 são apresentadas as curvas de tensão cisalhante mobilizada por deslocamento horizontal para junta 8300h-4. A tensão normal aplicada no primeiro e segundo estágio são: 0,30MPa e 0,60MPa, respectivamente, com tensões críticas iguais 0,43MPa e 1,3MPa.

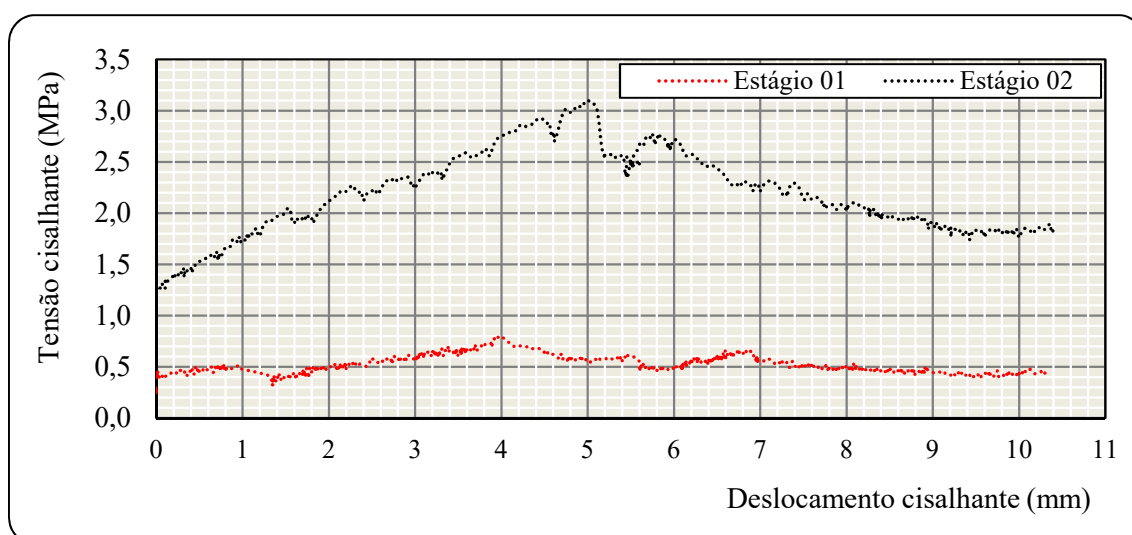


Figura AI.24 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 8300h-4.

No primeiro estágio não foi verificado a rotação da junta dentro das caixas do equipamento. Para tensão normal de 0,30MPa a tensão de cisalhamento mobilizada foi praticamente constante em torno de 0,50MPa.

No segundo estágio foi observado o deslocamento relativo entre as áreas cisalhantes da junta a partir de 6mm de deslocamento horizontal, evidenciando a rotação da junta dentro das caixas cisalhantes. Foi verificado a quebra do gesso que encapsula a junta de base. A resistência máxima de cisalhamento de 3,1MPa não é compatível à tensão normal de 0,60MPa aplicada. A velocidade média de ensaio foi 1,0mm/min.

b) Juntas planares

Foi observado dois tipos básicos de comportamento cisalhante durante o ensaio de juntas planares, a partir do valor da tensão crítica de deslocamento: tensão cisalhante praticamente constante durante todo deslocamento horizontal e/ou o aumento da tensão cisalhante. Tal comportamento decorre da não horizontalização das superfícies das juntas ensaiadas, da resistência à compressão uniaxial, da resistência à compressão diametral e do tipo de equipamento utilizado para o ensaio. Devido à posição não horizontalizada das superfícies cisalhantes verifica-se o aumento de resistência semelhante ao observado em juntas com superfícies escalonadas. Em alguns ensaios ocorreram reduções abruptas de resistência ao cisalhamento devido a quebras nas áreas de contato. As rupturas/quebras ocorreram nas zonas perimetrais das amostras (Figura AI.25). As envoltórias de Mohr-Coulomb foram determinadas para a tensão crítica de deslocamento, tendo em vista a mudança de comportamento cisalhante das juntas a partir de tal tensão.

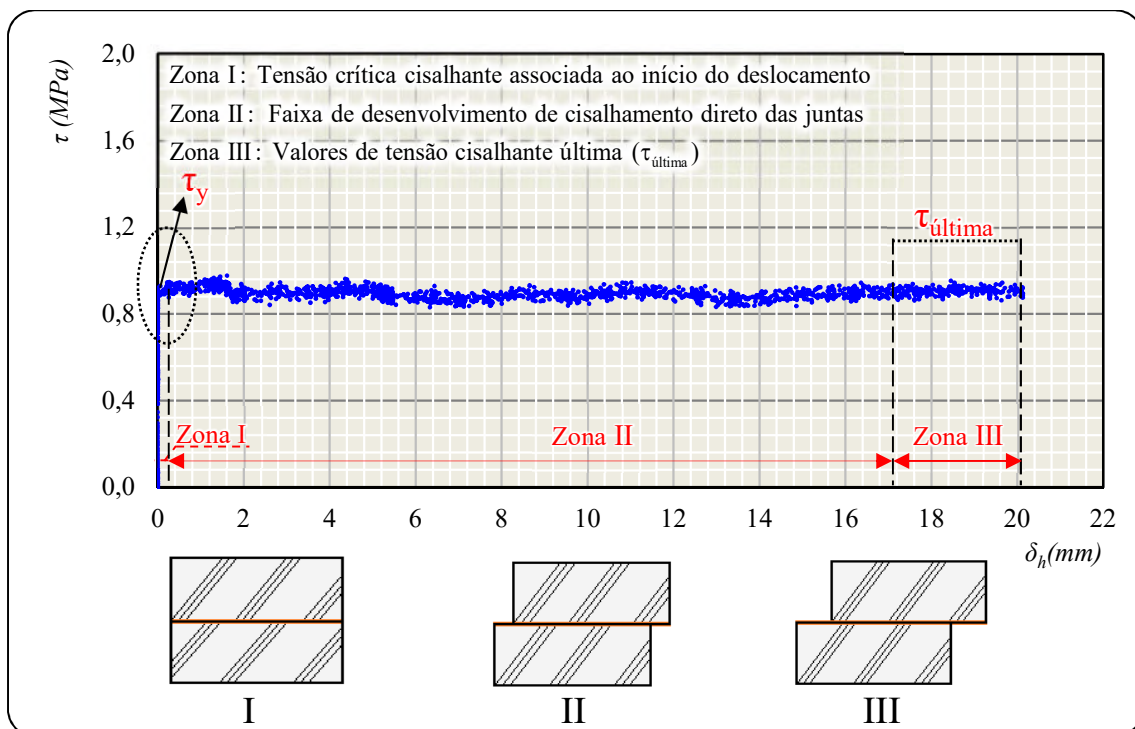


Figura AI.25 - Curva tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal juntas planares.

Para o primeiro estágio de cisalhamento foi aplicado tensão normal inicial de 0,33MPa (1º estágio 0,5kN/A), no segundo estágio de 0,66MPa (2º estágio 1,0kN/A) e no terceiro estágio de 0,99MPa (3º estágio 1,5kN/A).

Na Figura AI.26 estão apresentadas as curvas de tensão cisalhante mobilizada por deslocamento horizontal para amostra 0h-P1. Observa-se um comportamento semelhante para os três níveis de tensão normal aplicada (0,33MPa, 0,66MPa, 0,99MPa). A tensão cisalhante crítica de deslocamento para cada estágio é: 0,33 MPa, 0,48 MPa, 0,72 MPa. As tensões últimas correspondentes são: 0,61 MPa, 0,83MPa, 1,13MPa. A taxa de aumento da resistência ao cisalhamento é praticamente constante durante todo o deslocamento horizontal. A velocidade média de ensaio foi 0,8mm/min. A envoltória de resistência da junta 0h-P1 está apresentada na Figura AI.27.

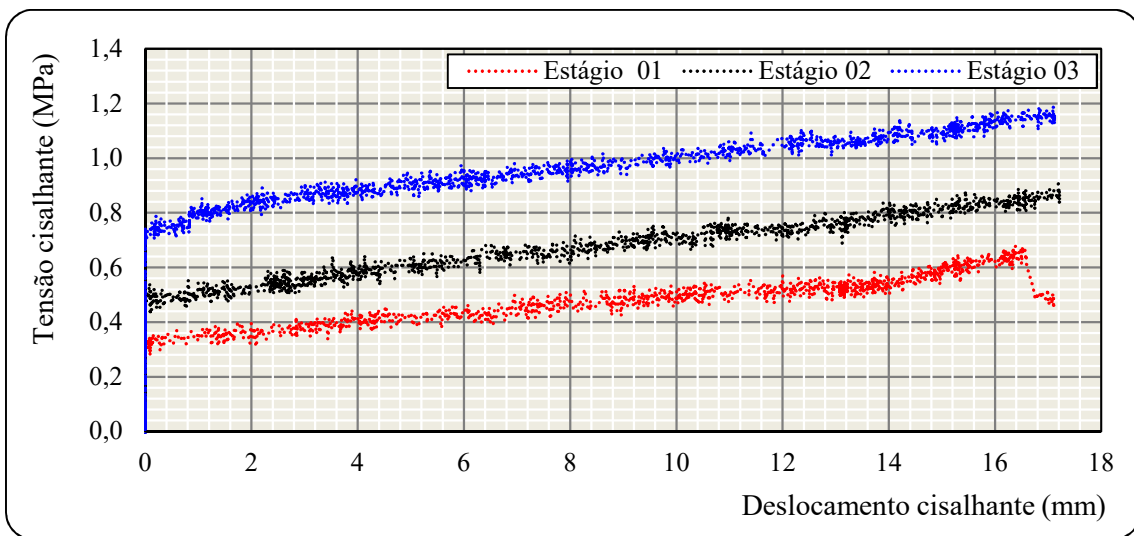


Figura AI.26 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 0h-P1.

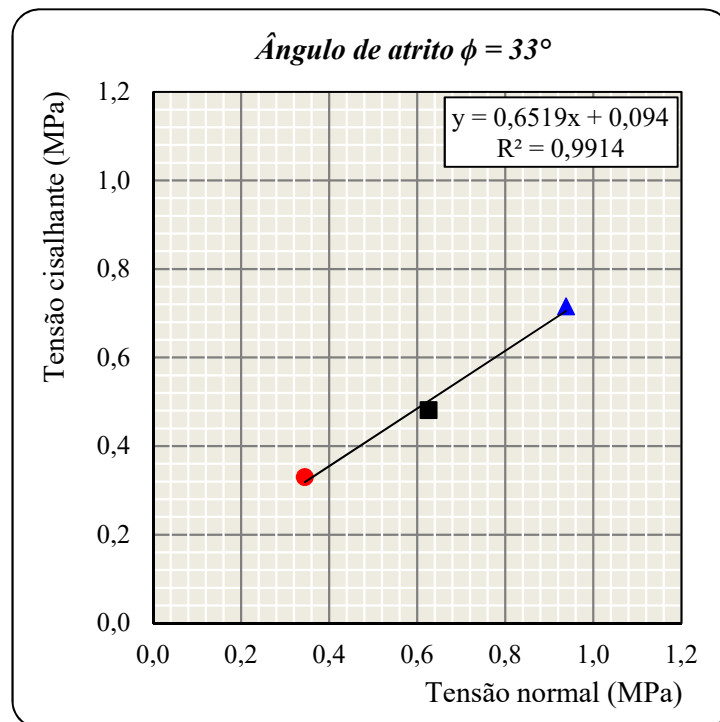


Figura AI.27 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 0h-P1.

A amostra 0h-P2 apresenta uma taxa de aumento de resistência maior após deslocamento horizontal de 14mm nos três estágios do ensaio de cisalhamento direto, conforme apresentado na Figura AI.28. A mudança de comportamento é associada a mudança da morfologia das áreas cisalhantes. A tensão cisalhante crítica de deslocamento para o primeiro, segundo e terceiro estágio são: 0,28 MPa, 0,63MPa, 0,66MPa. Aos níveis de tensão normal do segundo e terceiro estágio (0,66MPa, 0,99MPa) observa-se um comportamento praticamente sobreposto. A tensão última de cisalhamento para cada estágio são: 1,01MPa, 1,24MPa, 1,38 MPa. A velocidade média de ensaio foi 0,5mm/min. A envoltória de resistência da junta 0h-P2 está apresentada na Figura AI.29.

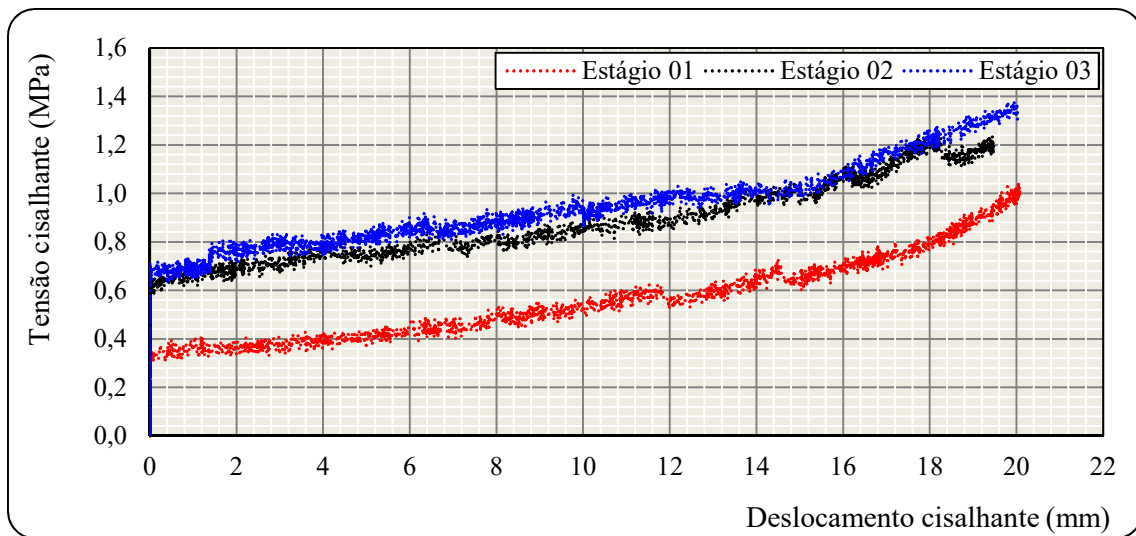


Figura AI.28 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 0h-P2.

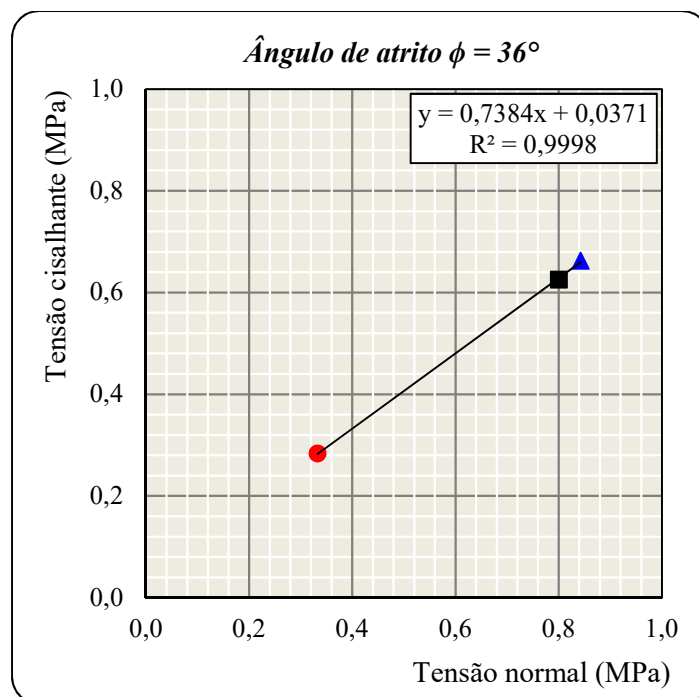


Figura AI.29 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 0h-P2.

Durante o cisalhamento de juntas rochosas é possível que haja mudança da taxa de tensão cisalhante mobilizada a qualquer incremento de deslocamento horizontal, devido a mudança da morfologia da superfície ou ruptura da amostra. Na Figura AI.30 está apresentado o resultado do ensaio da junta planar 600h-P1. A envoltória de resistência da junta 600h-P1 está apresentada na Figura AI.31.

No primeiro estágio, a partir 5,7mm de deslocamento cisalhante tem-se o aumento de resistência ao cisalhamento com o incremento de deslocamento. O mesmo é verificado no segundo e terceiro estágio, contudo a partir de deslocamentos de 9,4 e 10,0mm, respectivamente. A mudança de comportamento cisalhante decorre da realocação das áreas cisalhantes da junta. Foi aplicado no primeiro estágio 0,33MPa de tensão normal, no segundo estágio 0,66MPa e para o terceiro 0,99MPa. A tensão cisalhante crítica de deslocamento para o primeiro, segundo e terceiro estágio são: 0,33 MPa, 0,53 MPa, 0,59 MPa. A tensão última de cisalhamento para cada estágio são: 0,59 MPa, 0,88 MPa, 1,07 MPa. A velocidade média de ensaio foi 0,4mm/min.

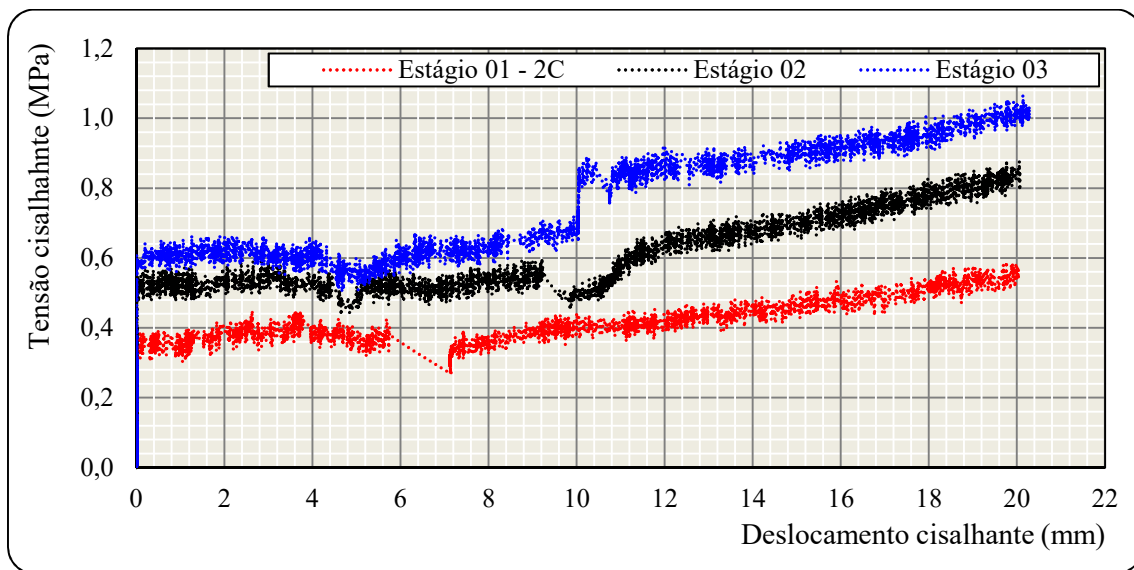


Figura AI.30 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 600h-P1.

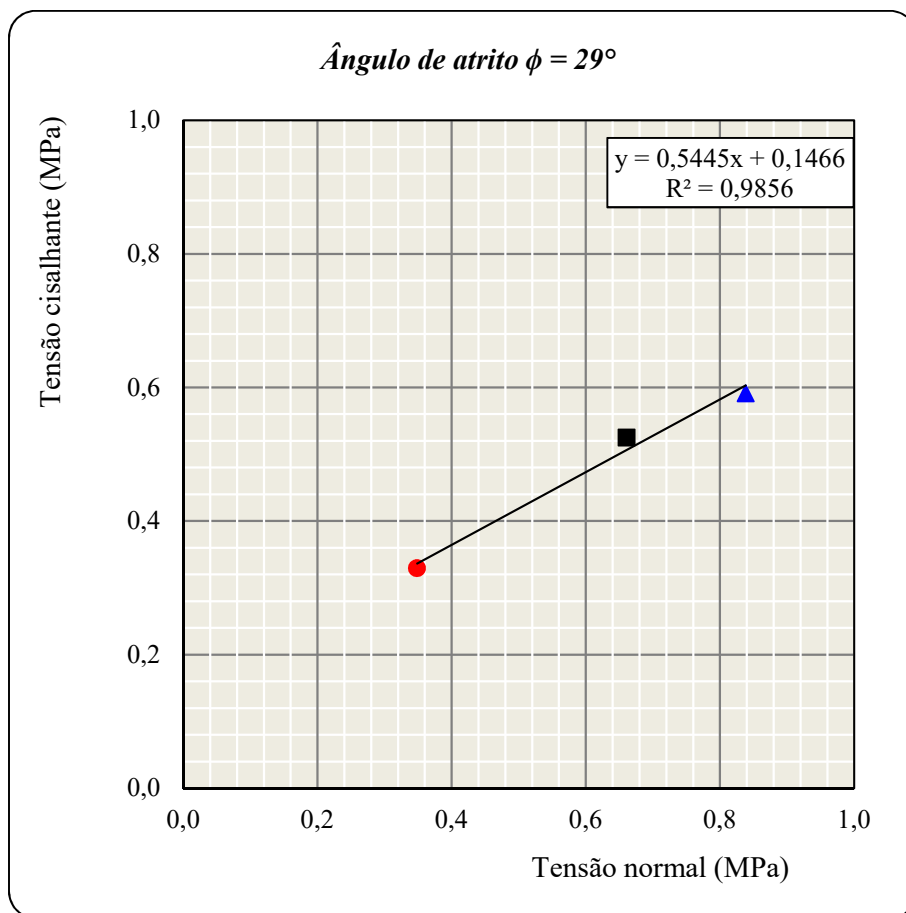


Figura AI.31 - Envoltória de resistência Mohr–Coulomb – Junta: 600h-P1.

A resistência ao cisalhamento da junta 1200h-P1 (Figura AI.32) aumenta com deslocamento horizontal. A taxa de aumento da resistência cisalhante é praticamente constante no o primeiro e segundo estágio. No terceiro estágio há mudança na taxa de tensão mobilizada a partir de 12mm de deslocamento horizontal. A tensão cisalhante crítica para o primeiro, segundo e terceiro estágio são: 0,30 MPa, 0,41 MPa, 0,54 MPa. A tensão última de cisalhamento para cada estágio são: 0,68MPa, 0,80MPa, 1,17MPa. A velocidade média de ensaio foi 0,6mm/min. A envoltória de resistência da junta 1200h-P1 está apresentada na Figura AI.33.

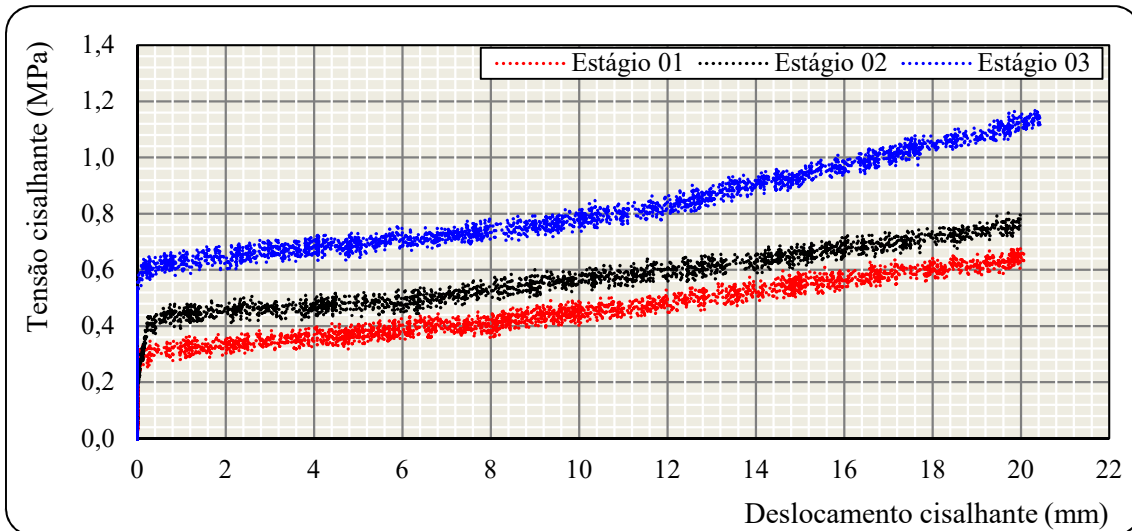


Figura AI.32 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 1200h-P1.

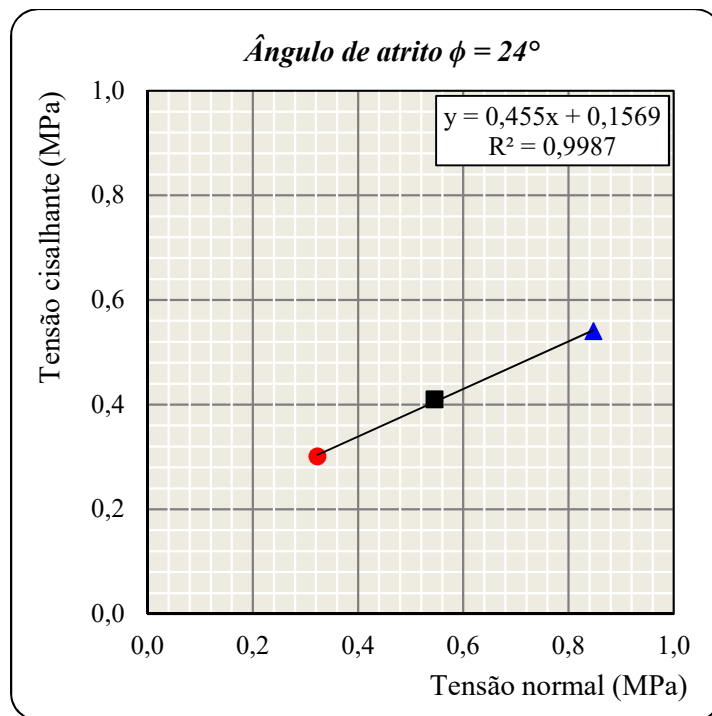


Figura AI.33 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 1200h-P1.

A resistência ao cisalhamento da junta 1200h-P2 (Figura AI.34) aumenta com o deslocamento horizontal. As curvas de tensão cisalhante para o primeiro e terceiro estágio apresentam praticamente a mesma taxa de aumento até 14mm de deslocamento horizontal. A partir de 14mm a taxa de aumento tornar-se maior. No segundo estágio a taxa de aumento é praticamente a mesma durante o ensaio. A tensão cisalhante crítica de deslocamento para o primeiro, segundo e terceiro estágio são: 0,32MPa, 0,47MPa, 0,68MPa. A tensão última de cisalhamento para cada estágio são: 0,83 MPa, 0,99MPa,

1,21 MPa. A velocidade média de ensaio foi 0,3mm/min. A envoltória de resistência da junta 1200h-P2 está apresentada na Figura AI.35.

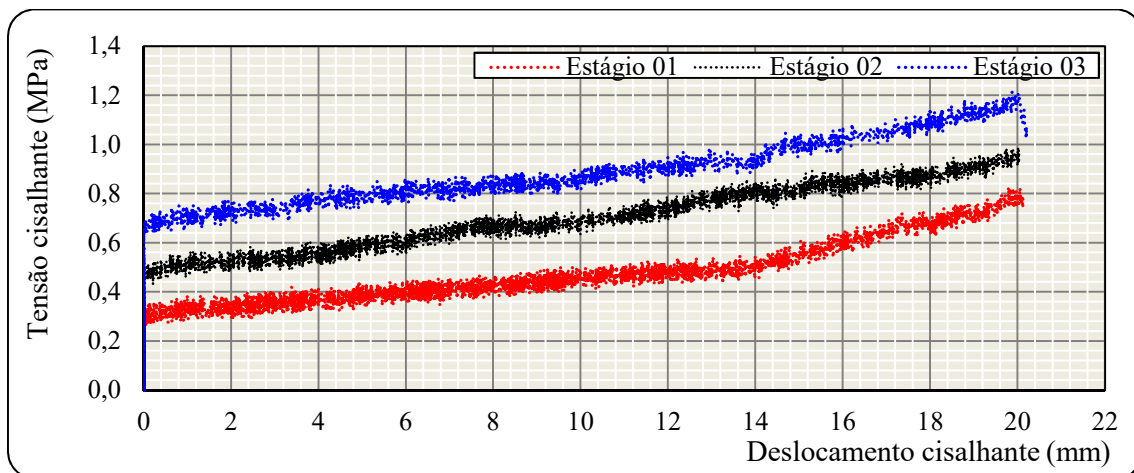


Figura AI.34 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 1200h-P2.

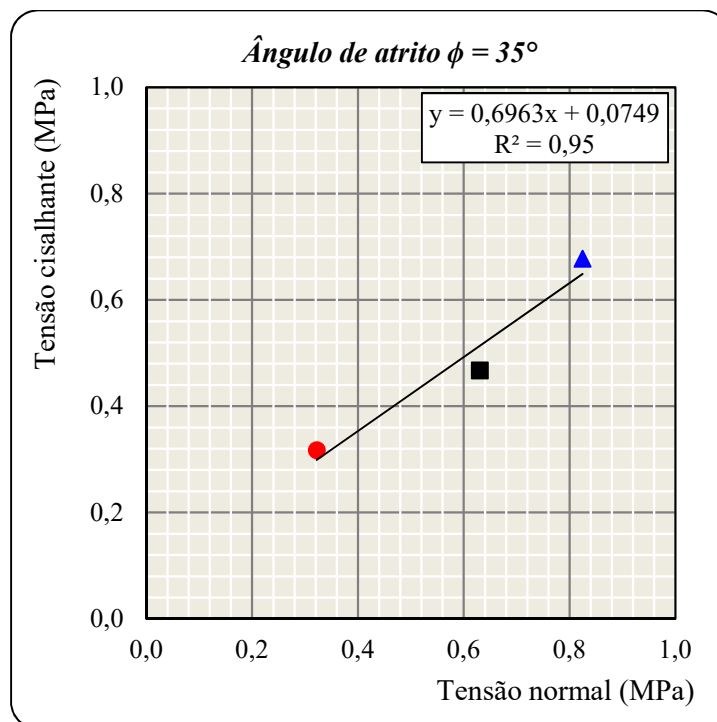


Figura AI.35 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 1200h-P2.

Semelhante as demais juntas analisadas anteriormente, o comportamento da amostra 2400h-P1 é bilinear (Figura AI.36). A partir de 12mm de deslocamento horizontal há o aumento da taxa de tensão cisalhante mobilizada. Para os três níveis de tensão normal aplicada (0,33MPa, 0,66 MPa, 0,99MPa) as curvas para os três estágios assemelham-se. A tensão cisalhante crítica de deslocamento para o primeiro, segundo e terceiro estágio são: 0,33MPa, 0,58MPa, 0,77MPa. A tensão última de cisalhamento para

cada estágio são: 1,66MPa, 1,33MPa, 1,80MPa. A velocidade média de ensaio foi 0,4mm/min. A envoltória de resistência da junta 2400h-P1 está apresentada na Figura AI.37.

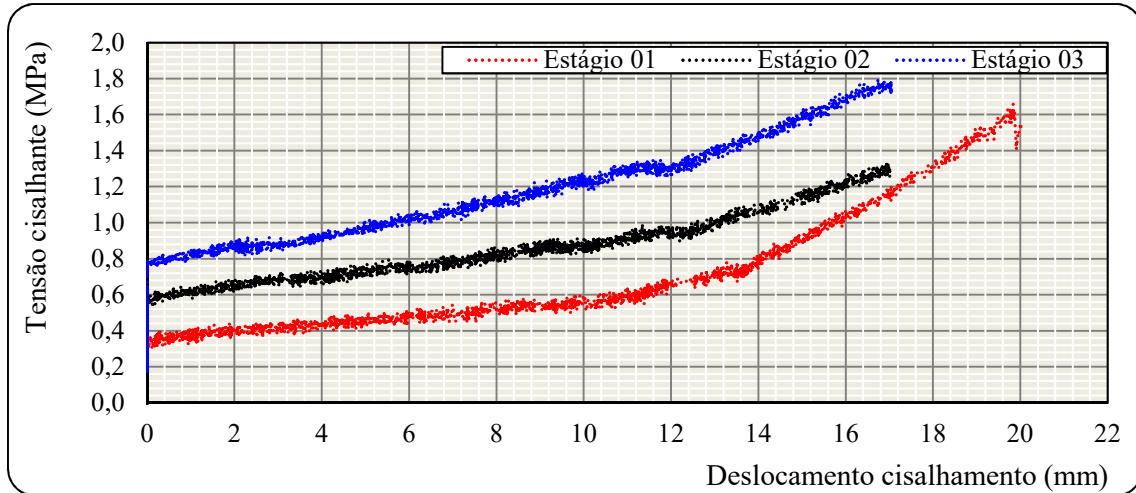


Figura AI.36 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 2400h-P1.

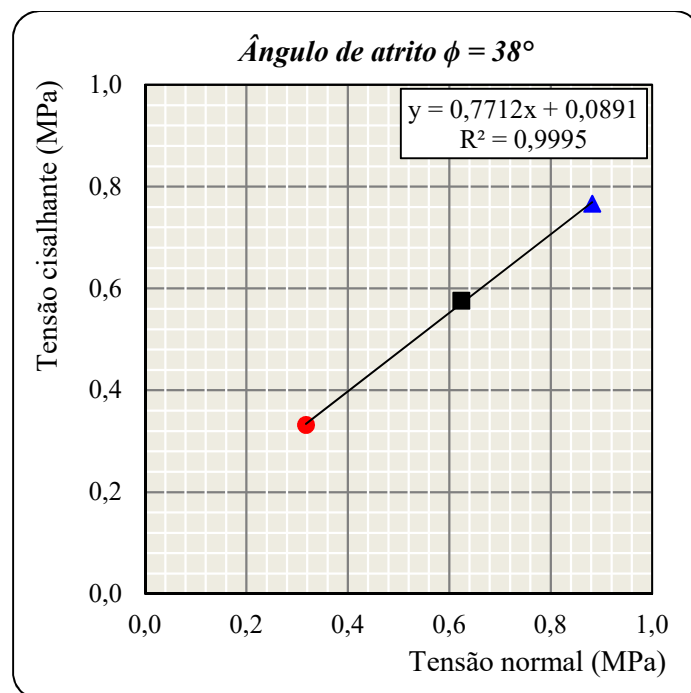


Figura AI.37 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 2400h-P1.

Durante os três ensaios de cisalhamento direto da junta 2400h-P2 foi verificada rupturas da junta (Figura AI.38). As curvas de tensão cisalhante mobilizada por deslocamento horizontal do primeiro e terceiro estágio são semelhantes. A tensão cisalhante crítica de deslocamento para o primeiro, segundo e terceiro estágio são: 0,30 MPa, 0,48 MPa, 0,67MPa. A tensão última de cisalhamento para cada estágio são: 0,73

MPa, 1,14MPa, 1,30MPa. A velocidade média de ensaio foi 0,3mm/min. A envoltória de resistência da junta 2400h-P2 está apresentada na Figura AI.39.

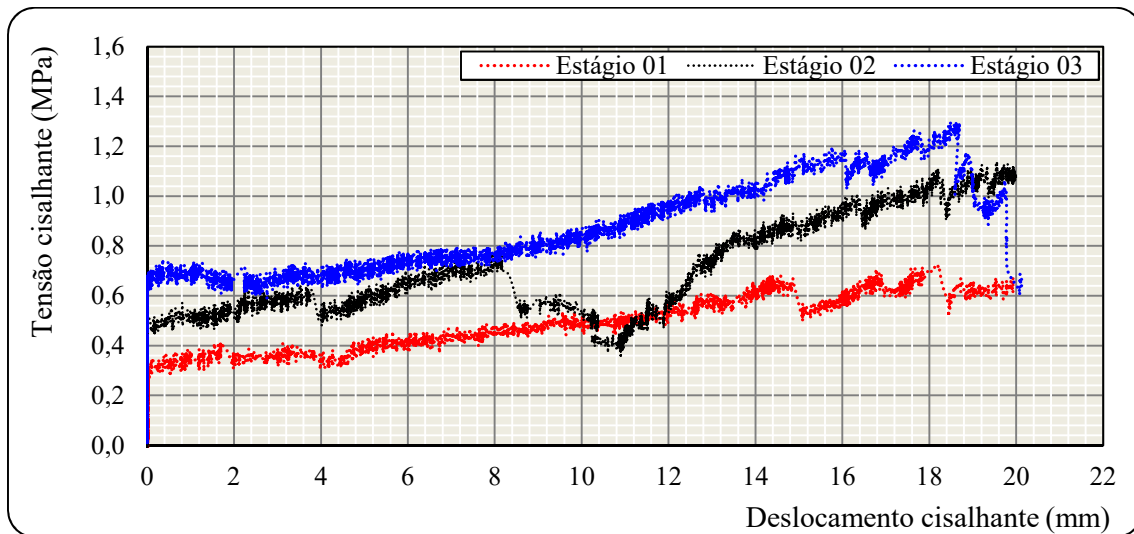


Figura AI.38 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 2400h-P2.

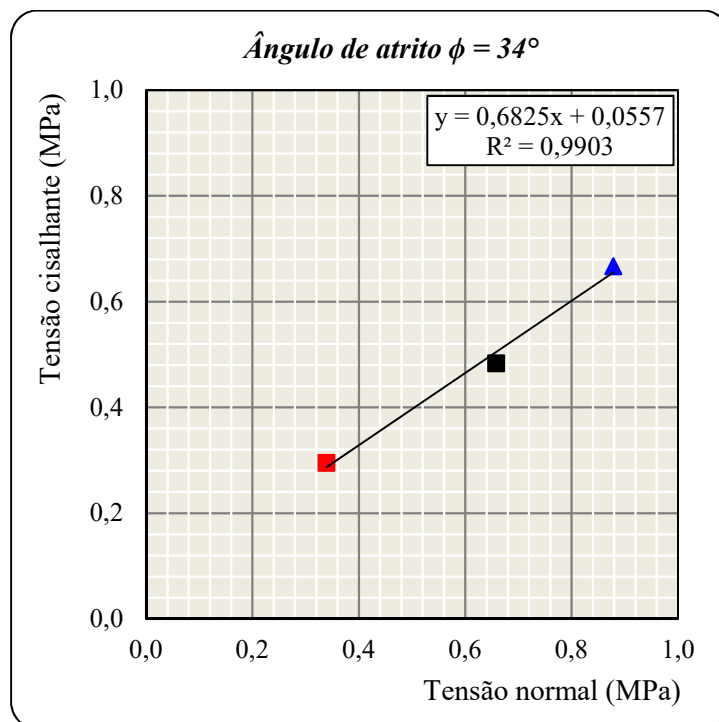


Figura AI.39 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 2400h-P2.

Diferentemente das amostras anteriormente analisadas, com comportamentos cisalhantes correlacionado entre os estágios, a junta 4800h-P1 apresenta o terceiro estágio desassociado ao comportamento global da junta durante o cisalhamento (Figura AI.40).

No primeiro e segundo estágio é averiguado uma taxa de aumento de tensão cisalhante praticamente constante durante todo o ensaio. A tensão cisalhante crítica de deslocamento para o primeiro, segundo e terceiro estágio são: 0,28 MPa, 0,47MPa, 0,87 MPa. A tensão última de cisalhamento para cada estágio são: 0,61 MPa, 0,78MPa, 0,98MPa. A velocidade média de ensaio foi 0,5mm/min. A envoltória de resistência da junta 4800h-P1 está apresentada na Figura AI.41.

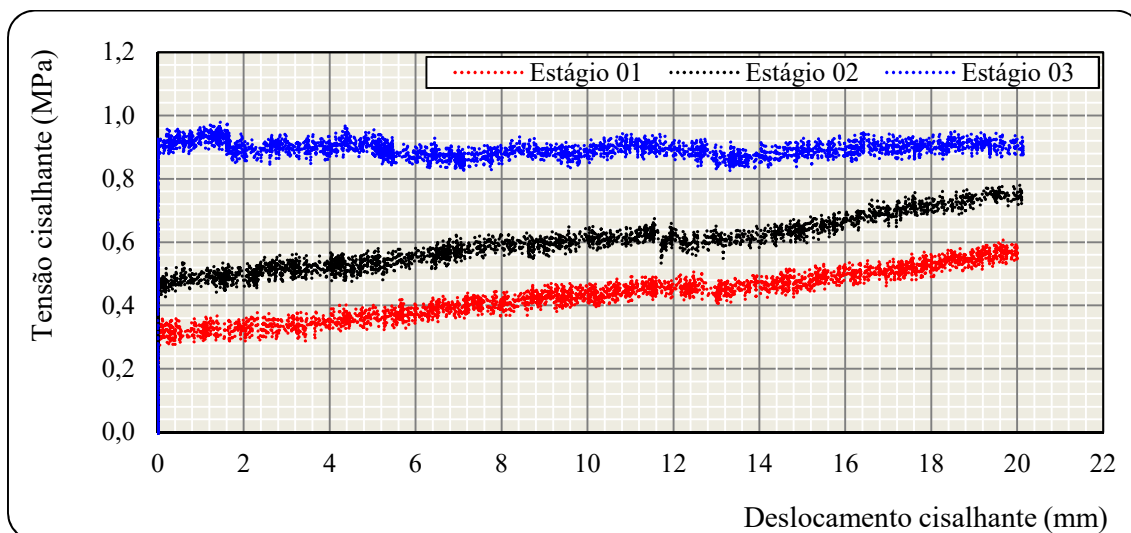


Figura AI.40 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 4800h-P1.

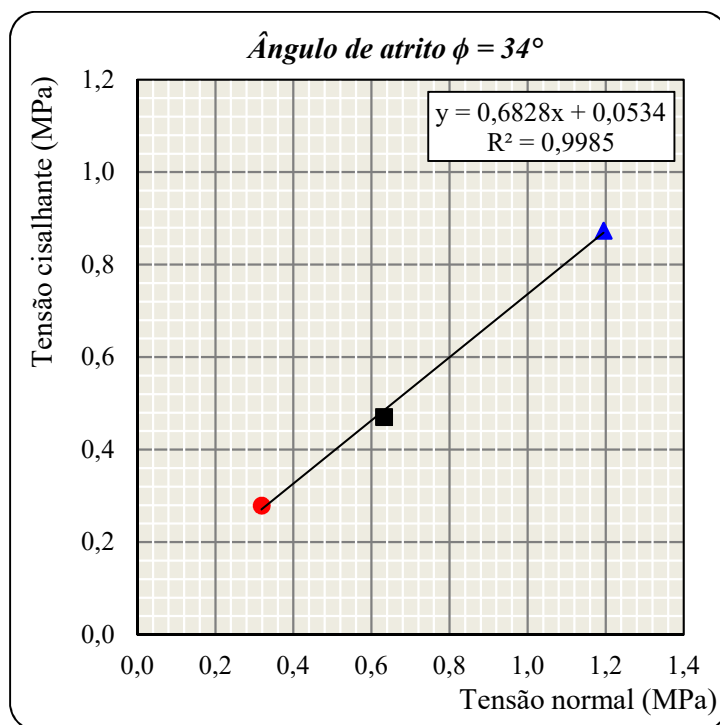


Figura AI.41 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 4800h-P1.

Na Figura AI.42 estão apresentadas as curvas de tensão cisalhante mobilizada por deslocamento horizontal para amostra 4800h-P2.

No primeiro estágio a taxa de aumento da resistência ao cisalhamento mantém-se praticamente constante durante todo estágio.

No segundo estágio observa-se uma abrupta redução da resistência ao cisalhamento após 6mm de deslocamento. Assim como verificado nos demais ensaios tal comportamento decorrente da ruptura da amostra. Após a fase de realocação entre as áreas cisalhantes, a resistência ao cisalhamento aumenta com deslocamento horizontal.

No terceiro estágio a curva de tensão cisalhamento por deslocamento horizontal é segmentada em trechos com diferentes taxas de aumento de resistência. A tensão cisalhante crítica de deslocamento para o primeiro, segundo e terceiro estágio são: 0,32MPa, 0,53MPa, 0,75MPa. A tensão última de cisalhamento para cada estágio são: 0,80 MPa, 1,38MPa, 1,62MPa. A velocidade média de ensaio foi 0,5mm/min. A envoltória de resistência da junta 4800h-P2 está apresentada na Figura AI.43.

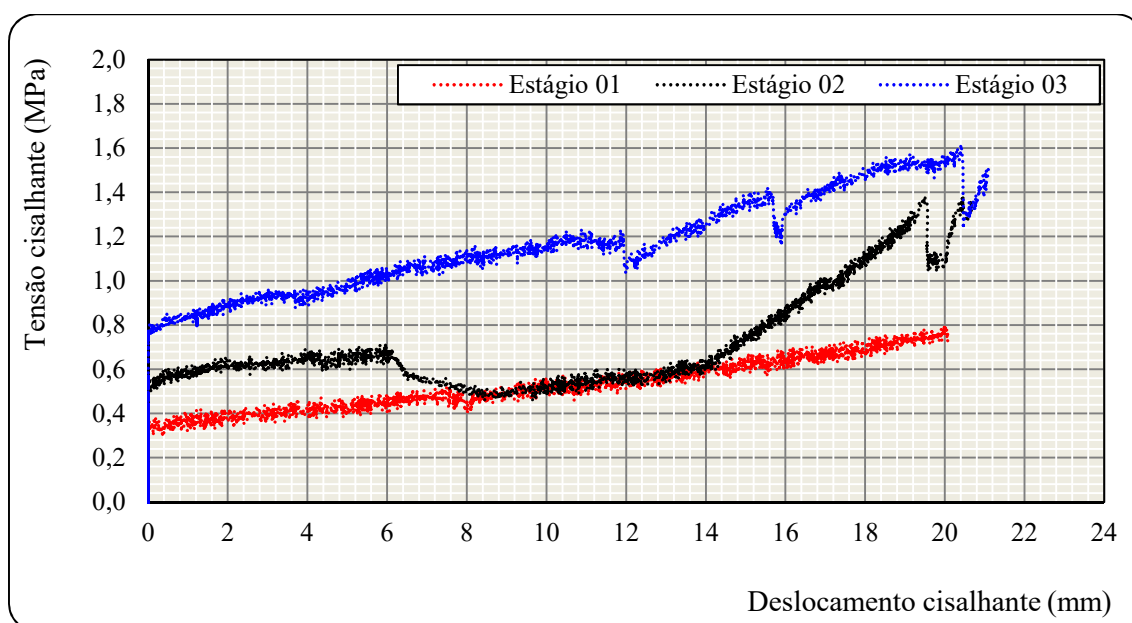


Figura AI.42 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 4800h-P2.

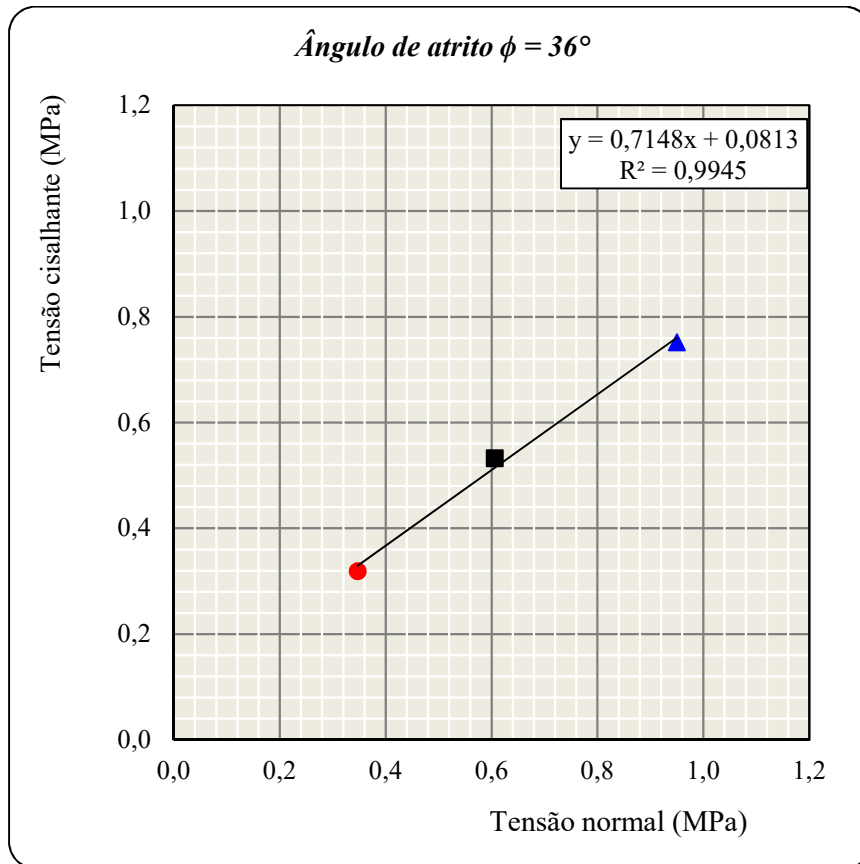


Figura AI.43 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb. N – Junta: 4800h-P2.

Na Figura AI.44 estão apresentadas as curvas de tensão cisalhante mobilizada por deslocamento horizontal para amostra 8300h-P1. No primeiro estágio a mudança da taxa de incremento de resistência ocorreu para 13,5mm de deslocamento horizontal. No segundo estágio a mudança da taxa é mais acentuada aos 12mm, enquanto para o terceiro estágio de cisalhamento verifica-se aos 8mm. A tensão cisalhante crítica de deslocamento para o primeiro, segundo e terceiro estágio são: 0,29MPa, 0,49MPa, 0,64MPa. A tensão última de cisalhamento para cada estágio são: 0,73MPa, 0,72MPa, 0,90MPa. A velocidade média de ensaio foi 0,6mm/min. A envoltória de resistência da junta 8300h-P1 está apresentada na Figura AI.45.

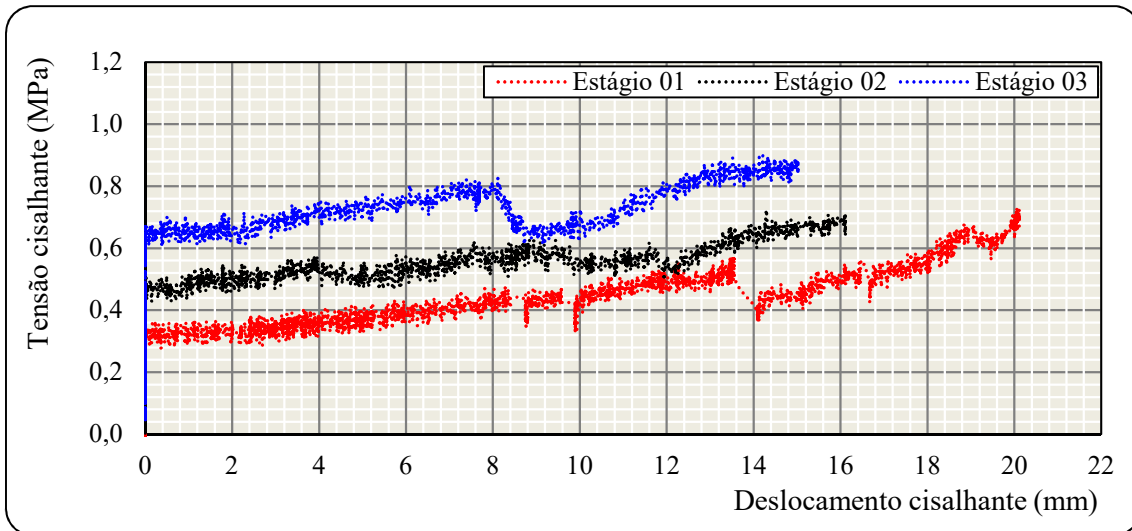


Figura AI.44 - Curvas tensão cisalhante vs. deslocamento horizontal – Junta: 8300h-P1.

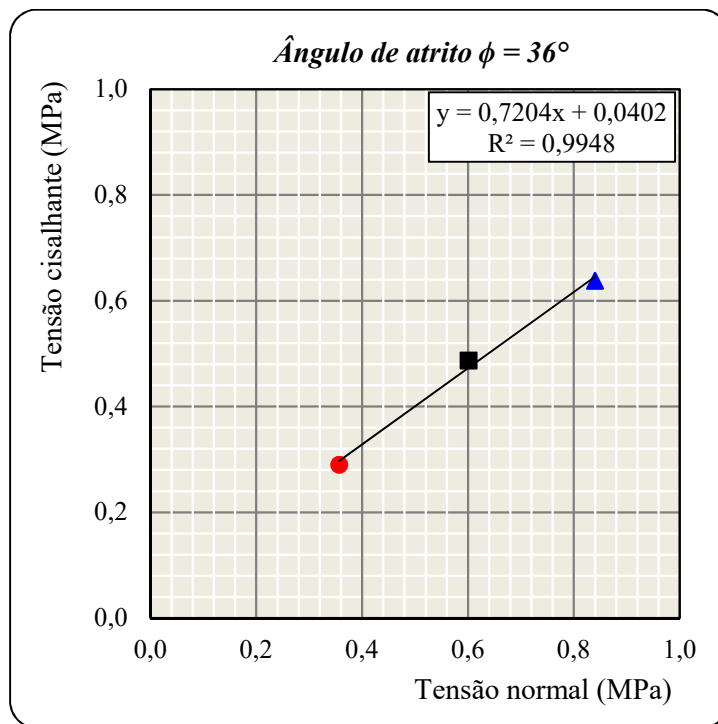


Figura AI.45 - Envoltória de resistência Mohr-Coulomb – Junta: 8300h-P1.

Na Figura AI.46 apresenta-se os valores de tensão cisalhante vs. tensão normal para juntas planares ensaiadas.

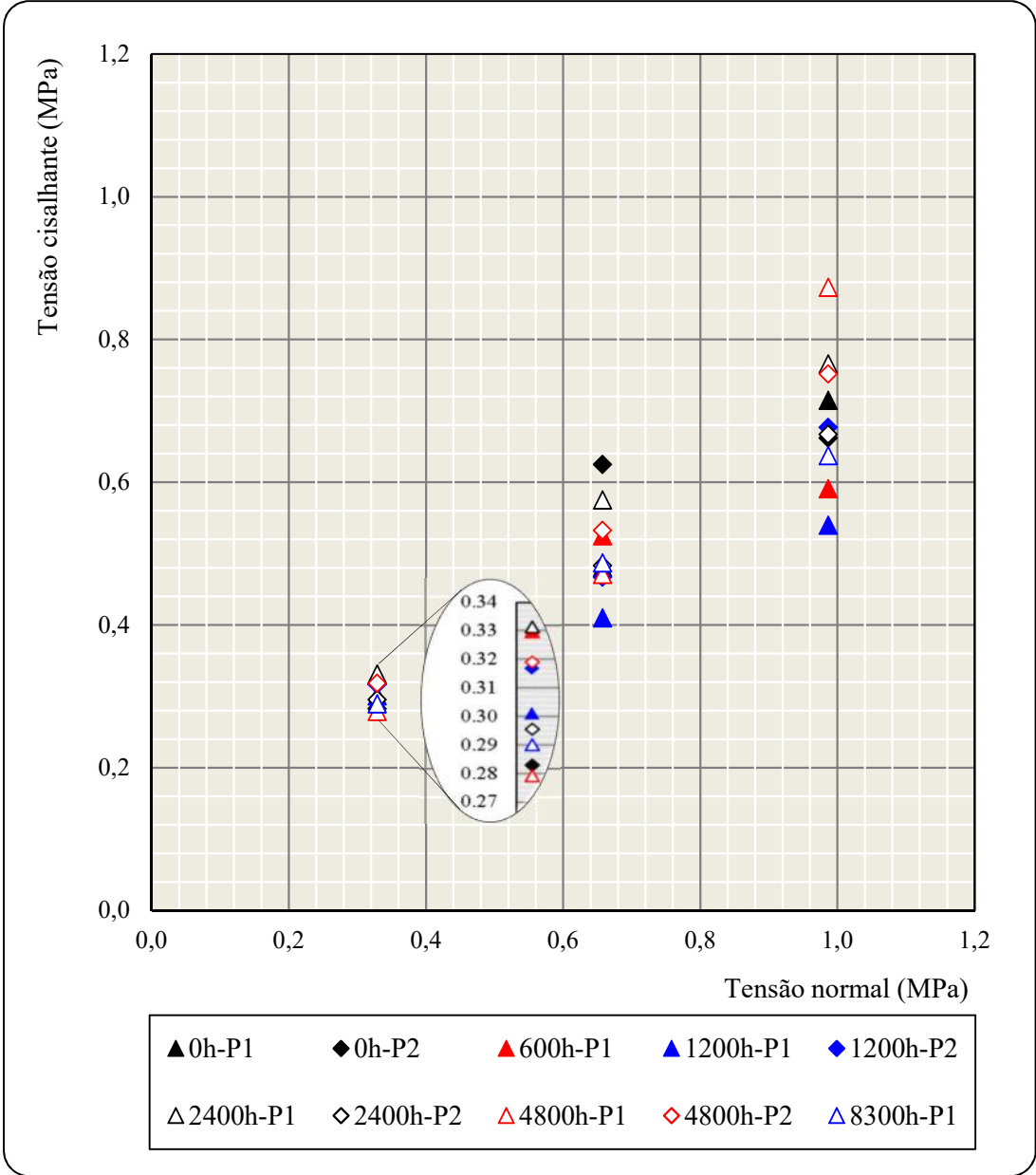


Figura AI.46 - Tensão cisalhante vs. tensão normal.

Na Figura AI.47, observa-se que os valores de ângulo de atrito das juntas planares não estão relacionados ao grau de intemperismo devido a não horizontalização das superfícies da junta.

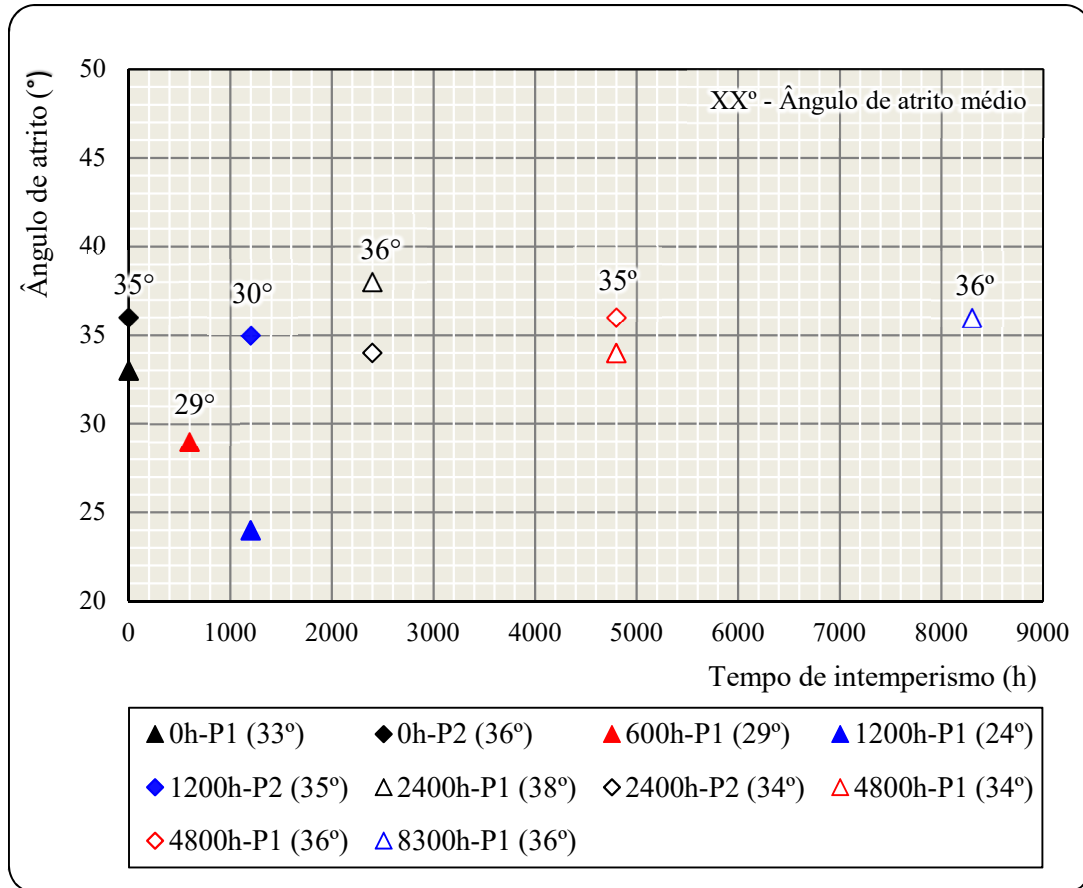


Figura AI.47 - Variação do ângulo de atrito vs. grau de intemperismo.

APÊNDICE II - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL POR MEIO DE CORRELAÇÕES

A estimativa da resistência à compressão uniaxial em função dos valores de rebotes do martelo nas juntas para cada grau de intemperismo foi realizada a partir das expressões apresentadas na Tabela 4.1.

A Figura AII.1 apresenta as curvas das correlações entre rebote e resistência à compressão uniaxial de amostras com grau de intemperismo 600h.

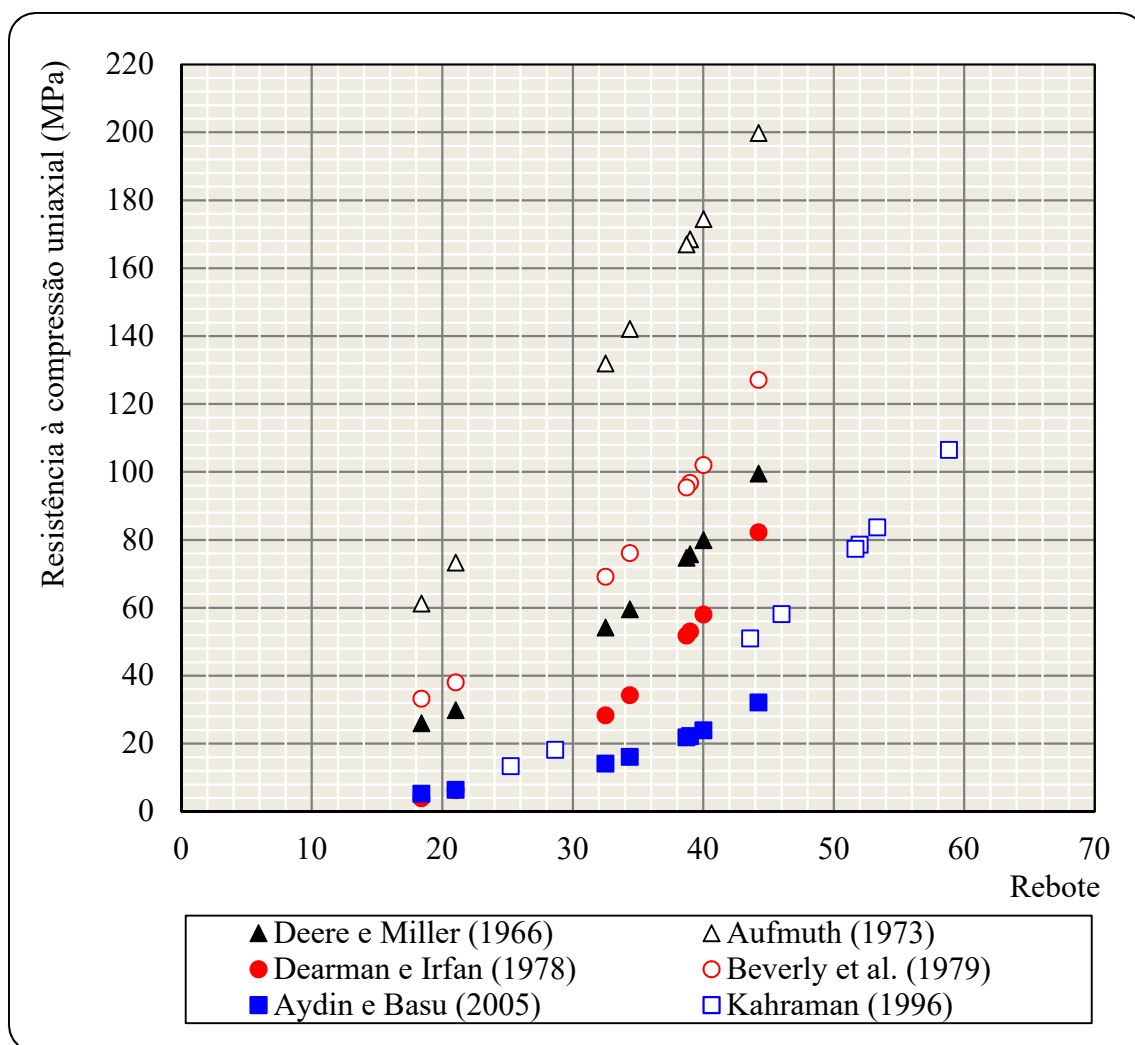


Figura AII.1 - Correlações entre rebote e resistência à compressão uniaxial – Grau de intemperismo natural (600 horas).

Na Figura AII.1, para faixa de variação de rebote (R_L) entre 18 e 44, observa-se que o limite superior de resistência à compressão uniaxial é dado pela relação de AUFMUTH (1973) (61MPa - 200MPa). O limite inferior de resistência à compressão

(5MPa - 32MPa) é dado pela correlação de AYDIN e BASU (2005). A resistência à compressão uniaxial determinada em laboratório está compreendida entre 134 e 165MPa. Para o valor de rebote mínimo ($R_L=18$), a resistência à compressão uniaxial determinada pelo critério DEARMAN e IRFAN (1978) difere 1MPa do limite inferior admitido.

A Figura AII.2 apresenta as curvas das correlações entre rebote e resistência à compressão uniaxial de amostras com grau de intemperismo 1200h.

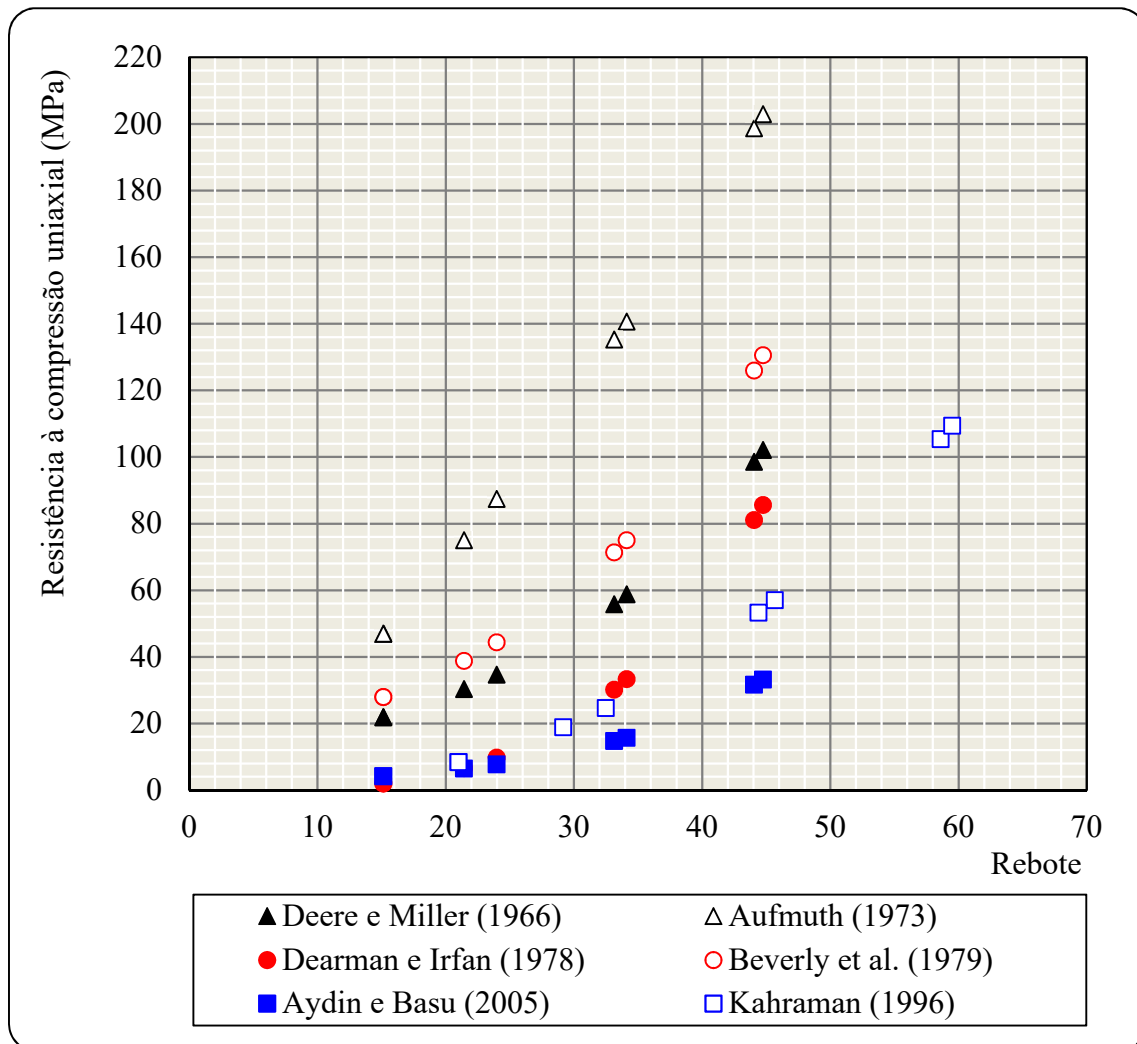


Figura AII.2 - Correlações entre rebote e resistência à compressão uniaxial – Grau de intemperismo natural (1200 horas).

A resistência à compressão uniaxial das amostras com grau de intemperismo 1200h, determinada por SALLES (2013), está compreendida entre 107 e 144MPa. Para o número de rebote mínimo ($R_L=15$), a resistência à compressão varia entre 4 e 47MPa. Para o número de rebote máximo ($R_L=45$), a resistência à compressão varia entre 33 e 203MPa. Para faixa de valores de rebote entre 15 e 45, a diferença mínima e máxima da resistência à compressão uniaxial estimada pelas correlações de AUFMUTH (1973)

(limite superior) e AYDIN e BASU (2005) (limite inferior) são 43MPa e 170MPa, respectivamente. Para o valor de rebote mínimo ($R_L=15$), a resistência à compressão uniaxial determinada pelo critério DEARMAN e IRFAN (1978) difere 2MPa do limite inferior admitido.

A Figura AII.3 apresenta as curvas das correlações entre rebote e resistência à compressão uniaxial de amostras com grau de intemperismo 2400h.

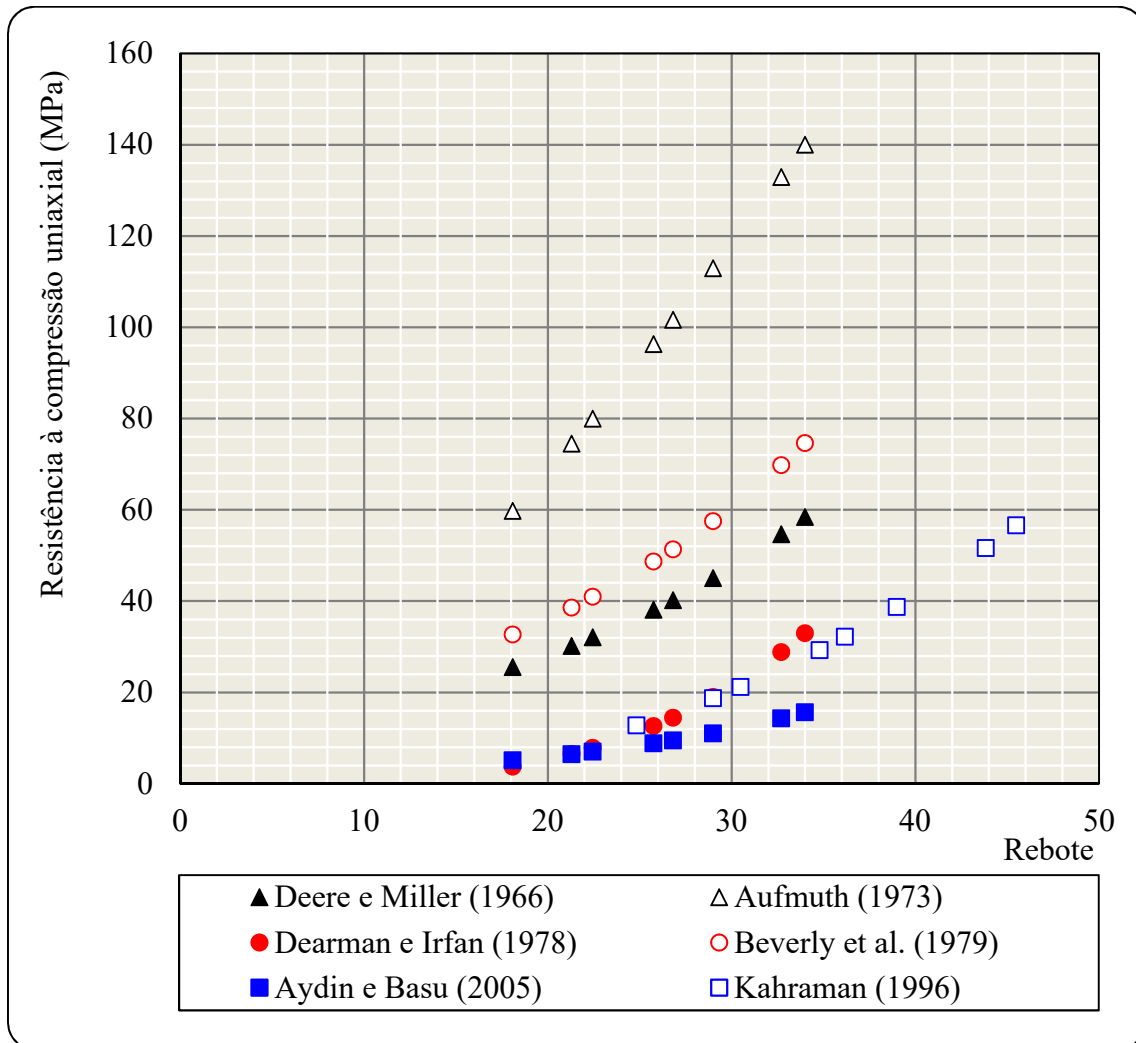


Figura AII.3 - Correlações entre rebote e resistência à compressão uniaxial – Grau de intemperismo natural (2400 horas).

Os valores máximos de resistência à compressão uniaxial são estimados pela correlação de AUFMUTH (1973), enquanto os valores mínimos são calculados por AYDIN e BASU (2005). Para o valor de rebote mínimo ($R_L=18$) tem-se a variação da resistência à compressão entre 5 e 60MPa. Para o valor de rebote máximo ($R_L=34$) verifica-se a faixa de variação entre 16MPa e 140MPa. A resistência à compressão determinada em laboratório está compreendida entre 153MPa e 174MPa. Para o valor de

rebote mínimo ($R_L=18$), a resistência à compressão uniaxial determinada pelo critério DEARMAN e IRFAN (1978) difere 1MPa do limite inferior admitido.

A Figura AII.4 apresenta as curvas das correlações entre rebote e resistência à compressão uniaxial de amostras com grau de intemperismo 8300h.

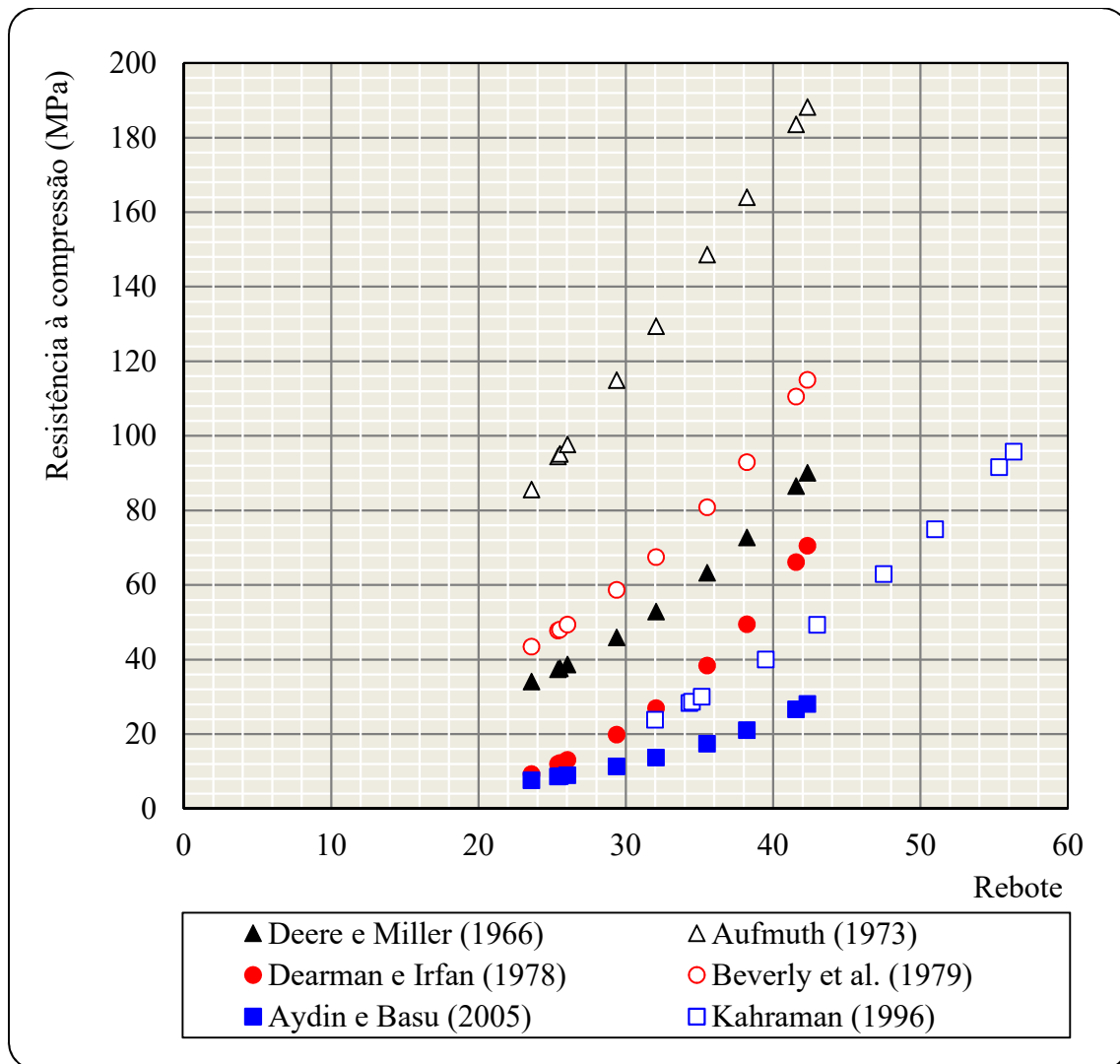






Figura AII.4 - Correlações entre rebote e resistência à compressão uniaxial – Grau de intemperismo natural (8300 horas).



Na Figura AII.4, para faixa de valores de rebote R_L entre 24 e 42, observa-se que o limite superior de valores de resistência à compressão uniaxial (86MPa - 188MPa) é dado pela relação de AUFMUTH (1973), enquanto o limite inferior (8MPa - 28MPa) é dada por AYDIN e BASU (2005). Os valores obtidos pela correlação de AUFMUTH (1973) são os mais próximos da resistência à compressão uniaxial (122 a 174MPa) determinada por SALLES (2013).



APÊNDICE III – FICHAS TÉCNICAS



Quadro AIII.1. Ficha técnica - Amostra: 0h-1B.



 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 0h-1B			Laboratorista:			
Local: AHE Simplício			Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1659					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	48	44				
Peso (g)	233,4					
Altura max - min (mm)	67	46				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois – 0,5kN/A		
Descrição básica: 1 - Gnaisse. 2 - Coloração da área cisalhante com 2/3 preta e 1/3 de cor amarela intercalado com preto da biotita. 3 – Zona perimetral intacta. 4 - Estratigrafia bem definida. 5 - Pequenas lâminas de rocha com mesma orientação de mergulho da junta. 6 - Não há fissuras na área lateral.						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea – X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A1 IPT (1984) - A1 W1 RS OLIVEIRA (2017) - B
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		




		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS				
		FICHA TÉCNICA				
Amostra: 0h-1T Local: AHE Simplício		Laboratorista: Responsável:				
Informações básicas		Plano de cisalhamento				
Área de contato (mm ²)	1659					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	48	44				
Peso (g)	226					
Altura max - min (mm)	65	44				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois - 0,5kN/A		
Descrição básica: 1 - Gnaisse. 2 - Coloração da área cisalhante com 2/3 preta e 1/3 de cor amarela intercalado com preto da biotita. 3 – Zona perimetral intacta. 4 - Estratigrafia bem definida. 5 - Pequenas lâminas de rocha com mesma orientação de mergulho da junta. 6 - Não há fissuras na área lateral.						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea – X		Grau de alteração GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A1 IPT (1984) - A1 W1 RS OLIVEIRA (2017) - B
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



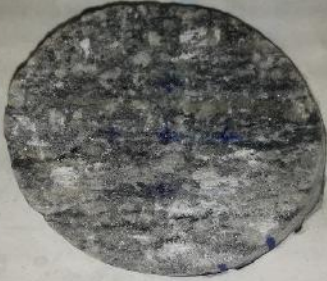
		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS					
		FICHA TÉCNICA					
Amostra: 0h-2B			Laboratorista:				
Local: AHE Simplicio			Responsável:				
Informações básicas			Plano de cisalhamento				
Área de contato (mm ²)	1693						
Diâmetro (mm)	44						
dmax – dmin (mm)	49	44					
Peso (g)	196,9						
Altura max - min (mm)	60	40					
Grau de Saturação	0						
Teor de umidade (%)	0						
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois			
<p>Descrição básica: 1 – Gnaiss. 2 - Área lateral sem fissuras visíveis. 3 - Zona perimetral intacta, sem minerais soltos. 4 - Área cisalhante com estratificação bem definida. 4 - Presença de manchas amareladas na área lateral. 5 - Na área cisalhada próximo à borda há presença de material fino amarelado. 6 - Área cisalhante possui coloração cinza claro e escuro, na parte central há um veio de coloração rosa.</p>							
Classificação Qualitativa							
Cor	Homogênea			Heterogênea – X		Grau de alteração	
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A1 IPT (1984) - A1 W1 RS OLIVEIRA (2017) - A	
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica			
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete		Riscam o vidro - X		
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça			



		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS					
		FICHA TÉCNICA					
Amostra: 0h-2T			Laboratorista:				
Local: AHE Simplício			Responsável:				
Informações básicas			Plano de cisalhamento				
Área de contato (mm ²)	1693						
Diâmetro (mm)	44						
dmax – dmin (mm)	49	44					
Peso (g)	158,6						
Altura max - min (mm)	48	26					
Grau de Saturação	0						
Teor de umidade (%)	0						
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois			
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Presença de poucas e pequenas microfissuras na área lateral com algumas manchas amarelas e coloração rosa. 3 - Zona perimetral intacta, sem minerais soltos. 4 - Área cisalhante com quatro faixas de colorações: cinza claro, rosa ao meio, cinza escuro, cinza claro.							
Classificação Qualitativa							
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A1 IPT (1984) - A1 W1 RS OLIVEIRA (2017) - A	
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa		
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica			
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete		Riscam o vidro - X		
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça			




 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 0h-3B Local: AHE Simplício			Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1762					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	51	44				
Peso (g)	222,4					
Altura max - min (mm)	66	39				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois – 1,0kN/A		
<p>Descrição básica: 1 - Gnaisse. 2 - Estratigrafia bem definida em finas faixas de coloração branco e preto. 3 - Zona perimetral intacta. 4 - Pequenas lâminas de rocha com mesma orientação de mergulho da junta. 5 - Apenas com toque das mãos na superfície de cisalhamento desprende-se pequenos fragmentos da superfície em formato laminar. 6 - Uma pequena parte da área de cisalhamento possui aspecto amarelado.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A3 IPT (1984) - A1 W1 RS OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 0h-3T Local: AHE Simplício			Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1762					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	51	44				
Peso (g)	226,1					
Altura max - min (mm)	65	42				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual					Antes
<p>Descrição básica: 1 - Gnaisse. 2 - Estratigrafia bem definida em finas faixas de coloração branco e preto. 3 - Zona perimetral intacta. 4 - Pequenas lâminas de rocha com mesma orientação de mergulho da junta. 5 - Apenas com toque das mãos na superfície de cisalhamento desprende-se pequenos fragmentos da superfície em formato laminar. 6 - Uma pequena parte da área de cisalhamento possui aspecto amarelado.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A2 IPT (1984) - A1 W1 RS OLIVEIRA (2017) - B
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		




		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS					
		FICHA TÉCNICA					
Amostra: 0h-4B			Laboratorista:				
Local: AHE Simplício			Responsável:				
Informações básicas			Plano de cisalhamento				
Área de contato (mm ²)	1693						
Diâmetro (mm)	44						
dmax – dmin (mm)	49	44					
Peso (g)	224,6						
Altura max - min (mm)	66	43					
Grau de Saturação	0						
Teor de umidade (%)	0						
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois			
<p>Descrição básica: 1 – Gnaiss. 2 - Estratigrafia bem definida. 3 - Coloração da superfície cisalhante: faixas preto e branco. 4 – Zona perimetral praticamente intacta, pequena quebra. 5 - Mineral individualizado próximo à borda de 3mm x 4mm. 6 - Sem fissuras na área lateral. 7 - Área lateral com leve amarelamento. 8 - Parte da área cisalhante com alguns minerais esbranquiçado.</p>							
Classificação Qualitativa							
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração	
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A2 IPT (1984) - A1 W1 RS OLIVEIRA (2017) - B	
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica			
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro		
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça			



		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS					
		FICHA TÉCNICA					
Amostra: 0h-4T			Laboratorista:				
Local: AHE Simplício			Responsável:				
Informações básicas			Plano de cisalhamento				
Área de contato (mm ²)	1728						
Diâmetro (mm)	44						
dmax – dmin (mm)	50	44					
Peso (g)	226,1						
Altura max - min (mm)	65	42					
Grau de Saturação	0						
Teor de umidade (%)	0						
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois			
<p>Descrição básica: 1- Gnaisse. 2 - Estratigrafia bem definida. 3 - Coloração da superfície cisalhante: faixas preto e branco. 4 – Zona perimetral praticamente intacta, pequena quebra. 5 - Mineral individualizado próximo à borda de 3mm x 4mm. 6 - Sem fissuras na área lateral. 7 - Área lateral com leve amarelamento. 8 - Parte da área cisalhante com alguns minerais esbranquiçado.</p>							
Classificação Qualitativa							
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração	
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) - A2 IPT (1984) - A1 W1 RS OLIVEIRA (2017) - B	
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica			
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro		
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça			




 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 600h-1B Local: AHE Símplicio				Laboratorista: Responsável:		
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1762					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	51	44				
Peso (g)	209,6					
Altura max - min (mm)	62	33				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes		Depois	
<p>Descrição básica: 1- Gnaisse. 2 - A área de cisalhamento está dividida em três faixas de coloração: preto, branco e rosa. A área de coloração preta está um pouco esbranquiçada e possui depósito de material fino de cor marrom. Os minerais nessa área da superfície possuem brilho. 3 - Na parte central da superfície há presença de quartzo de 5mm x 25mm com mesma orientação do mergulho da junta. O mineral está "encrustado" na matriz rochosa. Não é possível assegurar a espessura do mineral adentrando na matriz rocha. 4 - A terceira parte da face superficial da junta possui cor rosa e está coberta por uma fina camada de biotita decomposta. 5 - Estratigrafia bem definida. 7 – Zona perimetral com pequenas quebras. 8 - Área lateral sem fissuras. 9 - A área de quartzo possui geometria bem irregular. 10 - Próxima aos minerais de quartzo na área cisalhante há uma abrupta mudança de geometria da superfície.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A2 IPT (1984) - A1 W1 RS OLIVEIRA (2017) - B
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS				
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 600h-1T Local: AHE Simplício			Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1762					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	51	44				
Peso (g)	216,7					
Altura max - min (mm)	66	34				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois		
<p>Descrição básica: 1- Gnaisse. 2 - A área de cisalhamento está dividida em três faixas de coloração: preto, branco e rosa. A área de coloração preta está um pouco esbranquiçada e possui depósito de material fino de cor marrom. Os minerais nessa área da superfície possuem brilho. 3 - Na parte central da superfície há presença de quartzo de 5mm x 31mm com mesma orientação de mergulho da junta. O mineral está "encrustado" na matriz rochosa. Não é possível assegurar a espessura do mineral adentrando na matriz rocha. 4 - A terceira parte da face superficial da junta possui cor rosa e está coberta por uma fina camada de biotita decomposta. 5 - Estratigrafia bem definida. 7 – Zona perimetral com pequenas quebras. 8 - Área lateral sem fissuras. 9 - A área de quartzo possui geometria irregular. 10 - Próxima aos minerais de quartzo na área cisalhante há uma abrupta mudança de geometria da superfície.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A2 IPT (1984) - A1 W1 RS OLIVEIRA (2017) - B
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 600h-2B Local: AHE Simplício			Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1728					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	50	44				
Peso (g)	203,1					
Altura max - min (mm)	60	37				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois – 2C de 1,5 kN/A		
<p>Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Aproximadamente metade da superfície cisalhante é em tons marrons e a outra metade é tons rosa. Em ambas as zonas há faixas de biotita com material/mineral marrom. 3 - Parte da zona perimetral com pequenas quebras. 4 - Pequenas lâminas de rocha com mesma orientação de mergulho da junta criando um aspecto escalonado na superfície e uma abrupta alteração da geometria da superfície. 5 - Estratigrafia bem definida. 6 – Na área lateral há zonas de intemperismo de biotita. 7 - Na área cisalhante há uma mancha esbranquiçada sobre a parte escura.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A2 IPT (1984) - A1 W1 RS OLIVEIRA (2017) - B
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS					
		FICHA TÉCNICA					
Amostra: 600h-2T Local: AHE Simplício				Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento				
Área de contato (mm ²)	1693						
Diâmetro (mm)	44						
dmax – dmin (mm)	49	44					
Peso (g)	204						
Altura max - min (mm)	59	38					
Grau de Saturação	0						
Teor de umidade (%)	0						
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois - 2C de 1,5 kN/A			
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Aproximadamente metade da superfície cisalhante é em tons marrons e a outra metade é tons rosa. Em ambas as zonas há faixas de biotita com material/mineral marrom. 3 - Parte da zona perimetral com pequenas quebras. 4 - Pequenas lâminas de rocha com mesma orientação de mergulho da junta criando um aspecto escalonado na superfície e uma abrupta alteração da geometria da superfície. 5 - Estratigrafia bem definida. 6 – Na área lateral há zonas de intemperismo de biotita. 7 - Na área cisalhante há uma mancha esbranquiçada sobre a parte escura. 8 - Há presença de uma fissura horizontal na área cisalhante que praticamente individualiza uma grande irregularidade da superfície.							
Classificação Qualitativa							
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração	
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A2 IPT (1984) - A1 W1 RS OLIVEIRA (2017) - B	
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica			
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro		
Estrutura	Estratificada -X		Foliada	Maciça			



 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 600h-3B Local: AHE Simplício			Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1403					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	47	38				
Peso (g)	217,5					
Altura max - min (mm)	64	43				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois		
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Na zona perimetral há uma grande quebra, reduzindo a possível área de contato a 3/4 da área efetiva. 3 - Pequenas lâminas de rocha com mesma orientação de mergulho da junta, estratigrafia bem definida em coloração rosa, marrom, preto. 4 - Na área cisalhante há o desprendimento de pequenas partículas. 5 - Na área lateral há uma fissura que circunda toda a amostra com mesma orientação de mergulho da junta.						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) - A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA, (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 600h-3T Local: AHE Símplicio			Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1590					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	46	44				
Peso (g)	231,5					
Altura max - min (mm)	65	43				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois		
<p>Descrição básica: 1 – Gnaiss. 2 - Aproximadamente metade da superfície cisalhante são em tons marrons e a outra metade cor rosa. Em ambas as zonas há faixas de biotita. 3 - Zona perimetral praticamente intacta. 4 - Há uma abrupta alteração da geometria da superfície devido a quebras. 5 - Pequenas lâminas de rocha com mesma orientação de mergulho da junta. 6 - Estratigrafia bem definida. 7 - Há zonas na amostra em que é perceptível o intemperismo da biotita. 8 - Não há presença de microfissuras na área lateral.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) - A3 IP (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 1200h-1B Local: AHE Simplício			Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1915					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	53	46				
Peso (g)	205,7					
Altura max - min (mm)	65	36				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois		
<p>Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Área cisalhante com finas lâminas de material rochoso na superfície. 3 - É facilmente removível da superfície minerais de 4mm x 3mm de quartzo. 4 – Zona perimetral intacta e amarelada. 5 - A área cisalhante tem coloração rosa, marrom e preta. 6 - Com toque das mãos na área cisalhante há liberação de partículas finas. 7 - Estratificação bem definida na área cisalhante. 8 - Há na área lateral uma mancha amarelada.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) - A3 IPT (1984) - A1 W1 RS OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete		Riscam o vidro - X	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS				
		FICHA TÉCNICA				
Amostra: 1200h-1T Local: AHE Simplício		Laboratorista: Responsável:				
Informações básicas		Plano de cisalhamento				
Área de contato (mm ²)	1762					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	51	44				
Peso (g)	232,5					
Altura max - min (mm)	66	41				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois		
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Área cisalhante com finas lâminas de material rochoso na superfície. 3 - Metade da borda está completamente quebrada e metade está intacta. 4 - Estratificação bem definida. 5 - Na superfície da junta há faixas nas cores rosa, marrom escuro, marrom claro e preto. 6 - Há uma fissura que contorna praticamente toda a amostra na mesma orientação da superfície da junta a uma distância de aproximadamente 19mm. 7 - Há pequenas fissuras ao longo da área lateral da amostra localizadas próxima à borda quebrada.						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) - A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 1200h-2B Local: AHE Símplicio			Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1521					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	44	44				
Peso (g)	195					
Altura max - min (mm)	51	44				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois		
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Poucas e pequenas microfissuras alinhadas com a estratificação dos minerais próximas à zona perimetral. 3 - Há dois polos de cores: preto intercalado com faixas cor amarelo claro, coloração rosa intercalada com faixas cor amarelo claro. 4 - Presença de feldspato de 10mm x 10mm de cor marrom. 5 – Zona perimetral com pequenas quebras, sem mineral solto. 6 - Verificação de lâminas finas de rocha na área cisalhante. 7 - Área cisalhante com estratificação bem definida. 8 – Área lateral sem fissuras visíveis.						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) - A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete		Riscam o vidro - X	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		




 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 1200h-2T Local: AHE Símplicio			Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1590					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	46	44				
Peso (g)	232					
Altura max - min (mm)	60	51				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois		
<p>Descrição básica: 1 – Gnaise. 2 - Presença de microfissuras ao longo da área lateral. 3 - Próximo à zona perimetral há fissuras horizontal. 4 – Zona perimetral intacta. 5 - Na área cisalhante há finas lâminas de rocha. 6 - Presença de lâmina de feldspato 7mm x 7mm. 7 - Área cisalhante com estratificação bem definida. 8 - Na área cisalhante há faixas de cor preta intercaladas com faixas amarelas, faixas cor de rosa claro e escuro intercaladas com faixas amarelas.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) - A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete		Riscam o vidro - X	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		




		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS				
		FICHA TÉCNICA				
Amostra: 1200h-4B Local: AHE Simplício		Laboratorista: Responsável:				
Informações básicas		Plano de cisalhamento				
Área de contato (mm ²)	1624					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	47	44				
Peso (g)	178,4					
Altura max - min (mm)	52	36				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois		
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Estratigrafia bem definida. 3 - Coloração em faixas: preto, marrom, amarelo. 4 – Zona perimetral praticamente intacta com pequena quebra. 5 - Fissura de 28mm de comprimento, com o mesmo mergulho da junta, abaixo da borda 8mm. 6 - Amostra com leve amarelamento. 7 – Na amostra há uma faixa central de coloração marrom-rosa. 8 - Na área lateral há manchas marrons concentradas.						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração GUIDICINI; NIEBLE, (1984) - A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 1200h-4T Local: AHE Simplício				Laboratorista: Responsável:		
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1521					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	44	44				
Peso (g)	233,2					
Altura max - min (mm)	62	47				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes		Depois	
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Estratigrafia bem definida. 3 - Coloração em faixas: preto, marrom, amarelo. 4 – Zona perimetral com parte praticamente intacta e com grande quebra. 5 - Amostra com leve amarelamento. 6 - Na amostra há uma faixa central na amostra de coloração marrom-rosa. 7 - A coloração da amostra foi fortemente alterada.						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) - A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 2400h-1B Local: AHE Simplício			Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1590					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	46	44				
Peso (g)	179,2					
Altura max - min (mm)	50	36				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois		
<p>Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Em toda área cisalhante há biotita, poucas áreas com cor amarela. 3 - Pequenas lâminas de rocha com mesma orientação de mergulho da junta. 4 - A estratificação não está bem definida, mas percebe-se estratificação em algumas zonas da área cisalhamento. 5 - A maior parte da borda está danificada e apresenta cor amarela e preto. 6 - A área cisalhante possui uma área esbranquiçada. 7 – Na área lateral há pouquíssimas fissuras com mesma orientação que a estratificação da área lateral. Presença de biotita. 8 – Na área lateral há uma grande mancha amarela que parece ser oriunda da oxidação de material marrom presente na área lateral.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea – X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada			



 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 2400h-1T Local: AHE Simplício			Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1590					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	46	44				
Peso (g)	213,2					
Altura max - min (mm)	59	45				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois		
<p>Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Em toda área cisalhante há biotita, poucas áreas com cor amarela. 3 - Pequenas lâminas de rocha com mesma orientação de mergulho da junta. 4 - A estratificação não está bem definida, mas percebe-se estratificação em algumas zonas da área cisalhamento. 5 - A maior parte da borda está danificada e apresenta cor amarela e preto. 6 - A área cisalhante possui uma área esbranquiçada. 7 – Na área lateral há pouquíssimas fissuras com mesma orientação que a estratificação da área lateral. Presença de biotita. 8 – Na área lateral há uma grande mancha amarela que parece ser oriunda da oxidação de material marrom presente na área lateral.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete		Riscam o vidro - X	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 2400h-2B Local: AHE Símplicio				Laboratorista: Responsável:		
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1728					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	50	44				
Peso (g)	221,7					
Altura max - min (mm)	64	41				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes		Depois	
<p>Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - A área cisalhante apresenta estratigrafia bem definida, na área central há uma camada de material de coloração marrom escuro. 3 – Zona perimetral com pequenas quebras. 4 – Área lateral sem fissuras. 5 - Há manchas amareladas na área lateral da amostra. Nas demais áreas há um amarelado leve. 6 - Na área cisalhante nas poucas zonas sem cobertura do material de cor marrom há biotita com presença de mineral amarelado.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A2 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - B
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		




 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 2400h-2T Local: AHE Simplício				Laboratorista: Responsável:		
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1728					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	50	44				
Peso (g)	230,9					
Altura max - min (mm)	68	45				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes		Depois	
<p>Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - A área cisalhante apresenta estratigrafia bem definida, na área central há uma camada de material de coloração marrom claro e escuro. 3 – Zona perimetral com pequenas quebras. 4 – Área lateral sem fissuras. 5 - Há manchas amareladas na área lateral da amostra. 6 - Na área cisalhante nas poucas zonas sem cobertura do material de cor marrom há biotita com presença de mineral amarelado. Pequenas lâminas de rocha com mesma orientação de mergulho da junta. 7 - A amostra 2400h-2T está com superfície mais descolorida que a amostra 2400h-2B.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea – X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE 81984) – A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 2400h-3B			Laboratorista:			
Local: AHE Símplicio			Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1728					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	50	44				
Peso (g)	227,6					
Altura max - min (mm)	65	41				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois		
<p>Descrição básica: 1 – Gnaiss. 2 - Área cisalhante com presença de biotita-anfibólio e estratificação bem definida. 3 - Zona perimetral com pequenas quebras. 4 – Em aproximadamente metade da superfície cisalhante há uma camada de material fino de coloração marrom. 5 – Área lateral intacta com pequena fissura próximo à borda e com a mesma orientação de mergulho da junta. 6 - Coloração da superfície: preto e marrom. 8 - Há mineral de feldspato-quartzo de 2mm x 3mm individualizado na superfície cisalhante. 7 - Amostra possui um leve amarelado.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea - X			Heterogênea		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A2 IPT (1984) - A1 W1 RS OLIVEIRA (2017) - A
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 2400h-3T Local: AHE Simplício			Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1728					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	50	44				
Peso (g)	231,2					
Altura max - min (mm)	64	40				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois		
<p>Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Área cisalhante com presença de biotita-anfibólio e estratificação bem definida. 3 - Zona perimetral com pequenas quebras. 4 – Em aproximadamente metade da superfície cisalhante há uma camada de material fino de coloração marrom. 5 – Área lateral intacta com pequena fissura próximo à borda e com a mesma orientação de mergulho da junta. 6 - Coloração da superfície: preto e marrom. 8 - Há um mineral de feldspato-quartzo de 2mm x 3mm individualizado na superfície cisalhante. 7 - Amostra possui um leve amarelado.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea - X			Heterogênea		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) - A2 IPT (1984) - A1 W1 RS OLIVEIRA, (2017) - A
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada – X		Foliada	Maciça		


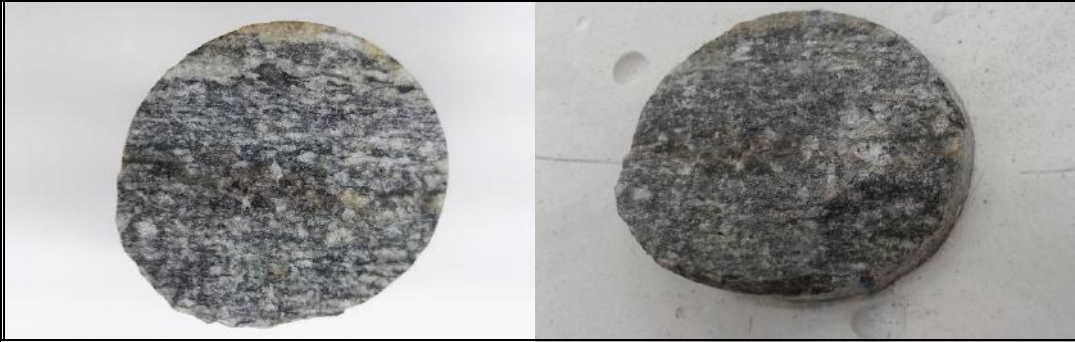
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 4800h-1B			Laboratorista:			
Local: AHE Simplício			Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1624					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	47	44				
Peso (g)	204,9					
Altura max - min (mm)	58	41				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois		
<p>Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Aproximadamente 2/3 da área cisalhante está coberta por quartzo e outros minerais. Sobre os minerais há uma camada de biotita decomposta. 3 - A área da superfície que não possui depósito de minerais tem faixas de biotita e material amarelado. 4 - Parte da borda está quebrada e parte está intacta. 5 – Área lateral está amarelada e sem microfissuras. 7 - Ao toque da mão na área cisalhante sem minerais há remoção de partículas finas. 8 – Tem-se um depósito de quartzo de 10mm x 10mm na parte central da área de cisalhamento e um outro de 11mm x 7mm próximo à borda.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada – X		Foliada	Maciça		



 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 4800h-1T Local: AHE Simplício			Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1809					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	49	47				
Peso (g)	223,9					
Altura max - min (mm)	61	47				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual					Antes
<p>Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Aproximadamente 2/3 da área cisalhante está coberta por quartzo e outros minerais. Sobre os minerais há uma camada de biotita decomposta. 3 - A área da superfície que não possui depósito de minerais tem faixas de biotita e material amarelado. 4 - Parte da borda está quebrada e parte está intacta. 5 – Área lateral amarelada. 6 - Há apenas uma pequena fissura na área lateral orientada no mergulho da junta. 7 - Ao toque da mão na área cisalhante sem minerais há remoção de partículas finas. 8 - Na parte central da área de cisalhamento há uma faixa de quartzo de aproximadamente 12mm x 46mm. Ao fim da faixa de minerais há uma pequena fissura na lateral da amostra.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) - A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	OLIVEIRA (2017) - C
Estrutura	Estratificada – X		Foliada	Maciça		




 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 4800h-2B Local: AHE Simplício				Laboratorista: Responsável:		
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1728					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	50	44				
Peso (g)	279,3					
Altura max - min (mm)	80	57				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois		
<p>Descrição básica: 1 - Gnaisse. 2 - Área cisalhante com 4 faixas com coloração: preto intercalado com branco, amarelo claro, marrom escuro e marrom claro. 3 - Superfície amarelada em toda região, mas em graus diferenciados em virtude do material de origem. 4 - Há presença de minerais individualizados. 5 - Há depósito 3mm x 8mm de minerais de quartzo e feldspato na área cisalhante. 6 - Zona perimetral intacta. 7 – Área lateral amarelada. 8 - Pequena fissura (14mm) a 21mm da borda. Fissura na base da amostra com mesma orientação da superfície cisalhante contornando toda amostra. 9 - Zona de coloração preta (biotita-anfíbólio) esbranquiçada.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 4800h-2T Local: AHE Simplício				Laboratorista: Responsável:		
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1728					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	50	44				
Peso (g)	193,8					
Altura max - min (mm)	58	34				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual					
<p>Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - A superfície cisalhante é dividida em duas faixas: preto e branco em finas faixas e marrom escuro. 3 – Há um depósito de quartzo e feldspato de 9mm x 14mm na área de cisalhamento 4 - Zona perimetral está praticamente intacta, com pequena quebra. 5 – Área lateral amarelada e sem fissuras. 6 - Há presença de minerais individualizados. 8 - Estratigrafia bem definida na zona com biotita e material branco.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE, 1984) – A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 4800h-3B Local: AHE Símplicio				Laboratorista: Responsável:		
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1693					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	49	44				
Peso (g)	203,3					
Altura max - min (mm)	60	37				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes		Depois	
Descrição básica: 1 – Gnaisse - 2 - Estratigrafia bem definida. 3 - Coloração em faixas: branco e preto. 4 - Leve amarelamento na amostra. 5 – Zona perimetral intacta. 6 – Área lateral sem fissuras. 7 - Na área central da superfície cisalhante há uma leve mancha marrom com biotita decomposta.						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) - A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 4800h-3T Local: AHE Símplicio				Laboratorista: Responsável:		
Informações básicas				Plano de cisalhamento		
Área de contato (mm ²)	1693					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	49	44				
Peso (g)	215,1					
Altura max - min (mm)	63	40				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual			Antes	Depois	
<p>Descrição básica: 1 – Gnaíse. 2 - Estratigrafia bem definida. 3 - Coloração em faixas: branco e preto. 4 - Leve amarelamento na amostra. 5 – Zona perimetral praticamente intacta, pequena quebra. 6 – Área lateral sem fissura. 7 - Na área central da superfície cisalhante há uma leve mancha marrom com biotita decomposta.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 8300h-1B Local: AHE Símplicio			Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1624					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	47	44				
Peso (g)	296,7					
Altura max - min (mm)	81	63				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois		
<p>Descrição básica: 1- Gnaisse. 2 - Estratificação bem definida. 3 - Coloração da superfície em faixas bem definidas: preto, rosa, marrom e amarelo. 4 - Pequenas lâminas de rocha com mesma orientação de mergulho da junta. 5 – Zona perimetral intacta. 6 - Sem fissuras na área lateral. 7 - Depósito de biotita decomposta sobre a superfície. 8 – Área lateral amarelada.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 8300h-1T Local: AHE Símplicio				Laboratorista: Responsável:		
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1624					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	47	44				
Peso (g)	204,5					
Altura max - min (mm)	58	40				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual					
Descrição básica: 1- Gnaisse. 2 - Estratificação bem definida. 3 - Coloração da superfície em faixas bem definidas: preto, rosa, marrom e amarelo. 4 - Pequenas lâminas de rocha com mesma orientação de mergulho da junta. 5 – Zona perimetral intacta. 6 - Sem fissuras na área lateral. 7 - Depósito de biotita decomposta sobre a superfície. 8 – Área lateral amarelada.						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		
GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C						



 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 8300h-2B Local: AHE Símplicio				Laboratorista: Responsável:		
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1693					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	49	44				
Peso (g)	203,8					
Altura max - min (mm)	60	38				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual					
<p>Descrição básica: 1 – Gnaiss. 2 - Estratigrafia bem definida. 3 - Coloração em faixas: amarelo muito claro, rosa e preto. 4 – Área lateral sem fissuras. 5 – Zona perimetral com grande quebra. 6 - Pequenas lâminas de rocha com mesma orientação de mergulho da junta. 7 - Área lateral amarelada de forma mais intensa.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) - A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 8300h-2T Local: AHE Símplicio			Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1693					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	49	44				
Peso (g)	201,9					
Altura max - min (mm)	59	38				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois		
<p>Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Estratigrafia bem definida. 3 - Coloração em faixas: amarelo muito claro, rosa e preto. 4 – Área lateral sem fissuras. 5 – Zona perimetral com grande quebra. 6 - Pequenas lâminas de rocha com mesma orientação de mergulho da junta. 7 - Área lateral amarelada de forma mais intensa.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		
						GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C

		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS					
		FICHA TÉCNICA					
Amostra: 8300h-3B Local: AHE Símplicio				Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento				
Área de contato (mm ²)	1693						
Diâmetro (mm)	44						
dmax – dmin (mm)	49	44					
Peso (g)	203,9						
Altura max - min (mm)	59	38					
Grau de Saturação	0						
Teor de umidade (%)	0						
Análise fissuras	análise qual. Visual						Antes
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Área cisalhante completamente amarelada. A geometria da superfície muda abruptamente próximo à borda, criando uma irregularidade de grande escala semelhante ao sistema de encaixe macho-fêmea. 3 - Na superfície há depósito de biotita decomposta. 4 – Área lateral amarelada e com fissura com mesma orientação de mergulho da junta.							
Classificação Qualitativa							
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração	
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa		
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica			
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro		
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça			
GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A3 IPT (1984) - A2 W2 RAD OLIVEIRA (2017) - C							

 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 8300h-3T Local: AHE Simplício			Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1728					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	50	44				
Peso (g)	280,3					
Altura max - min (mm)	62	64				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual					Antes
<p>Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Estratigrafia bem definida. 3 - Pequenas lâminas de rocha com mesma orientação de mergulho da junta. Algumas lâminas possuem espessura de alguns milímetros possibilitando um maior intertravamento. 4 – A amostra apresenta amarelamento desuniforme em toda área superficial e lateral. 5 – Zona perimetral intacta. 6 - Pequena quantidade de biotita decomposta na área cisalhante. 7 - A coloração é um pouco difícil de definir devido ao amarelamento. 8 - Sem fissuras na área lateral.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS				
		FICHA TÉCNICA				
Amostra: 8300h-4B Local: AHE Símplicio		Laboratorista: Responsável:				
Informações básicas		Plano de cisalhamento				
Área de contato (mm ²)	1659					
Diâmetro (mm)	44					
dmax - dmin (mm)	48	44				
Peso (g)	231,3					
Altura max - min (mm)	65	44				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual		Antes	Depois - 1,0kN/A		
Descrição básica: 1 - Gnaisse. 2 - Superfície com estratigrafia bem definida. 2 - Estratigrafia definida por finas faixas de materiais de coloração preta (biotita) e branca. 3 - Na área lateral há manchas amareladas distribuídas de forma não uniforme. Na superfície cisalhante o amarelamento é menos intenso. 4 - Sem presença de microfissuras na área lateral. 5 - Na área lateral há o intemperismo da biotita. 6 - Zona perimetral praticamente intacta, apenas uma pequena quebra.						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) - A4 IPT (1984) - A3 W3 RAM OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>						
FICHA TÉCNICA						
Amostra: 8300h-4T Local: AHE Simplício			Laboratorista: Responsável:			
Informações básicas			Plano de cisalhamento			
Área de contato (mm ²)	1659					
Diâmetro (mm)	44					
dmax – dmin (mm)	48	44				
Peso (g)	200,6					
Altura max - min (mm)	59	38				
Grau de Saturação	0					
Teor de umidade (%)	0					
Análise fissuras	análise qual. Visual					Antes
<p>Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Superfície com estratigrafia bem definida. 2 - Estratigrafia definida por finas faixas de materiais de coloração preta (biotita) e branca. 3 - Na área lateral há manchas amareladas distribuídas de forma não uniforme. Na superfície cisalhante o amarelamento é menos intenso. 4 - Sem presença de microfissuras na área lateral. 5 - Intemperismo da biotita na área lateral. 6 – Zona perimetral praticamente intacta, apenas uma pequena quebra. O amarelamento da área cisalhante da amostra é menos intenso do que a verificada na R28A.</p>						
Classificação Qualitativa						
Cor	Homogênea			Heterogênea - X		Grau de alteração
Granulação	Finíssima - X	Fina	Média	Grossa	M. Grossa	GUIDICINI; NIEBLE (1984) – A3 IPT (1984) - A3 W3 RAM OLIVEIRA (2017) - C
Textura	Cristalina - X	Clástica	Fanerítica	Afanítica		
Dureza	Riscado pela unha		Riscados por canivete - X		Riscam o vidro	
Estrutura	Estratificada - X		Foliada	Maciça		



Quadro AIII.41. Ficha técnica - Amostra: 0h-P1B.

		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS	
FICHA TÉCNICA			
Amostra: 0h-P1B		Laboratorista:	
Local: AHE Simplicio		Responsável:	
Informações básicas		Plano de cisalhamento	
Área de contato (mm ²)	1521		
Diâmetro (mm)	44		
Peso (g)	112,9		
Altura média (mm)	28		
Grau de Saturação	0		
Teor de umidade (%)	0		
Análise fissuras	análise qual. Visual		
		Antes	Depois
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Superfície sem brilho, zona perimetral com pequena quebra. Cor: homogênea, bandas branca e preto.			

Quadro AIII.42. Ficha técnica - Amostra: 0h-P1T.

 <p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>			
FICHA TÉCNICA			
Amostra: 0h-P1T Local: AHE Simplício	Laboratorista: Responsável:		
Informações básicas	Plano de cisalhamento		
Área de contato (mm ²)	1521		
Diâmetro (mm)	44		
Peso (g)	118,7		
Altura média (mm)	29		
Grau de Saturação	0		
Teor de umidade (%)	0		
Análise fissuras	análise qual. Visual		
			
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">Antes</td> <td style="text-align: center;">Depois</td> </tr> </table>	Antes	Depois
Antes	Depois		
<p>Descrição básica: 1 – Gnaise. 2 - Superfície sem brilho e com pequena fissura, zona perimetral com pequena quebra. Cor heterogênea, bandas branca, preto e rosa.</p>			

Quadro AIII.43. Ficha técnica - Amostra: 0h-P2B.

		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS	
		FICHA TÉCNICA	
Amostra: 0h-P2B Local: AHE Simplicio		Laboratorista: Responsável:	
Informações básicas		Plano de cisalhamento	
Área de contato (mm ²)	1521		
Diâmetro (mm)	44		
Peso (g)	143,4		
Altura média (mm)	35		
Grau de Saturação	0		
Teor de umidade (%)	0		
Análise fissuras	análise qual. Visual		
		Antes	Depois
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Superfície sem brilho, zona perimetral com pequena quebra e minerais com brilho. Cor: homogênea, bandas branca, preto e rosa.			



Quadro AIII.44. Ficha técnica - Amostra: 0h-P2T.



 <p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>			
FICHA TÉCNICA			
Amostra: 0h-P2T Local: AHE Simplício	Laboratorista: Responsável:		
Informações básicas	Plano de cisalhamento		
Área de contato (mm ²)	1521		
Diâmetro (mm)	44		
Peso (g)	139		
Altura média (mm)	34		
Grau de Saturação	0		
Teor de umidade (%)	0		
Análise fissuras	análise qual. Visual		
			
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">Antes</td> <td style="text-align: center;">Depois</td> </tr> </table>	Antes	Depois
Antes	Depois		
<p>Descrição básica: 1- Gnaisse. 2 - Superfície sem brilho, com pequena quebra e minerais como quartzo expostos. 3 -Zona perimetral com pequena quebra. Cor homogênea, bandas branca, preto e rosa.</p>			

Quadro AIII.45. Ficha técnica - Amostra: 600h-P1B.


		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS	
		FICHA TÉCNICA	
Amostra: 600h-P1B Local: AHE Simplicio		Laboratorista: Responsável:	
Informações básicas		Plano de cisalhamento	
Área de contato (mm ²)	1521		
Diâmetro (mm)	44		
Peso (g)	190,3		
Altura média (mm)	45		
Grau de Saturação	0		
Teor de umidade (%)	0		
Análise fissuras	análise qual. Visual		
		Antes	Depois
Descrição básica: 1 - Gnaiss. 2 - Superfície sem brilho, zona perimetral com pequena quebra. Cor: heterogênea, bandas branca e preto.			

Quadro AIII.46. Ficha técnica - Amostra: 600h-P1T.



 <p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>	
FICHA TÉCNICA	
Amostra: 600h-P1T Local: AHE Simplicio	
Laboratorista: Responsável:	
Informações básicas	Plano de cisalhamento
Área de contato (mm ²)	1521
Diâmetro (mm)	44
Peso (g)	145,7
Altura média (mm)	34
Grau de Saturação	0
Teor de umidade (%)	0
Análise fissuras	análise qual. Visual
	
	Antes
	Depois
Descrição básica: 1 - Gnaise. 2 - Superfície sem brilho, com machas amareladas, borda intacta. Grandes faixas cor preto, branco e faixa com bandas finas cor preto e branco.	

		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS	
FICHA TÉCNICA			
Amostra: 1200h-P1B		Laboratorista:	
Local: AHE Simplício		Responsável:	
Informações básicas		Plano de cisalhamento	
Área de contato (mm ²)	1521		
Diâmetro (mm)	44		
Peso (g)	130,3		
Altura média (mm)	32		
Grau de Saturação	0		
Teor de umidade (%)	0		
Análise fissuras	análise qual. Visual		
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Superfície sem brilho e fissura paralela à foliação. Zona perimetral com quebra. Cor: heterogênea, bandas branca, preto e rosa.			

Quadro AIII.48. Ficha técnica - Amostra: 1200h-P1T.

		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS	
FICHA TÉCNICA			
Amostra: 1200h-P1T		Laboratorista:	
Local: AHE Simplicio		Responsável:	
Informações básicas		Plano de cisalhamento	
Área de contato (mm ²)	1521		
Diâmetro (mm)	44		
Peso (g)	133,2		
Altura média (mm)	33		
Grau de Saturação	0		
Teor de umidade (%)	0		
Análise fissuras	análise qual. Visual		
		Antes	Depois
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Superfície sem brilho com manchas amareladas e borda com pequena quebra.			

Quadro AIII.49. Ficha técnica - Amostra: 1200h-P2B.

 <p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>	
FICHA TÉCNICA	
Amostra: 1200h-P2B Local: AHE Simplício	
Laboratorista: Responsável:	
Informações básicas	Plano de cisalhamento
Área de contato (mm ²)	1521
Diâmetro (mm)	44
Peso (g)	164,7
Altura média (mm)	40
Grau de Saturação	0
Teor de umidade (%)	0
Análise fissuras	análise qual. Visual
	
	Antes
	Depois
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Superfície sem brilho com zona perimetral quebrada. Há um veio de mica visível na superfície. Cor: heterogênea, bandas amarela e preto.	

Quadro AIII.50. Ficha técnica - Amostra: 1200h-P2T.

		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS	
		FICHA TÉCNICA	
Amostra: 1200h-P2T Local: AHE Simplicio		Laboratorista: Responsável:	
Informações básicas		Plano de cisalhamento	
Área de contato (mm ²)	1521		
Diâmetro (mm)	44		
Peso (g)	231,9		
Altura média (mm)	56		
Grau de Saturação	0		
Teor de umidade (%)	0		
Análise fissuras	análise qual. Visual		
		Antes	Depois
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Superfície sem brilho e leve amarelado. Cor: heterogênea, bandas branco e preto			

		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS	
		FICHA TÉCNICA	
Amostra: 2400h-P1B Local: AHE Simplicio		Laboratorista: Responsável:	
Informações básicas		Plano de cisalhamento	
Área de contato (mm ²)	1521		
Diâmetro (mm)	44		
Peso (g)	141,2		
Altura média (mm)	35		
Grau de Saturação	0		
Teor de umidade (%)	0		
Análise fissuras	análise qual. Visual		
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Superfície amarelada e sem brilho. Cor: heterogênea, branco, preto e amarelo.			


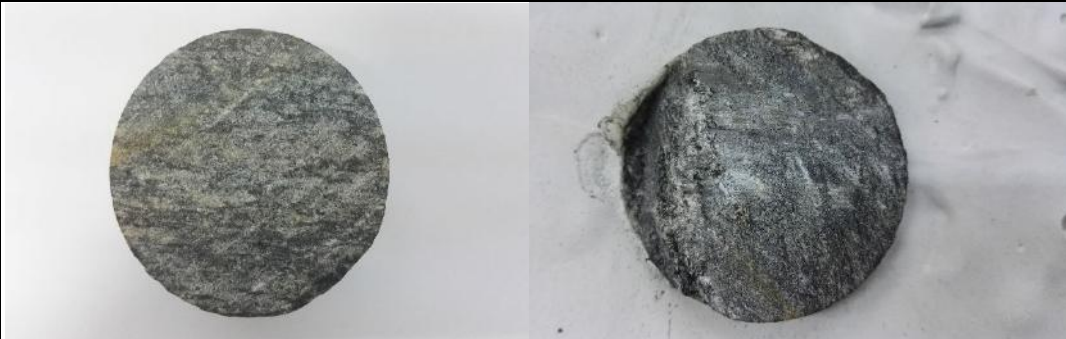
Quadro AIII.52. Ficha técnica - Amostra: 2400h-P1T.

 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS	
FICHA TÉCNICA	
Amostra: 2400h-P1T Local: AHE Simplicio	Laboratorista: Responsável:
Informações básicas	Plano de cisalhamento
Área de contato (mm ²)	1521
Diâmetro (mm)	44
Peso (g)	171,5
Altura média (mm)	42
Grau de Saturação	0
Teor de umidade (%)	0
Análise fissuras	análise qual. Visual
	
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> Antes Depois </div>
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Superfície sem brilho e com forte amarelado. Cor: heterogênea, bandas branco e preto.	


Quadro AIII.53. Ficha técnica - Amostra: 2400h-P2B.

		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS	
		FICHA TÉCNICA	
Amostra: 2400h-P2B Local: AHE Simplício		Laboratorista: Responsável:	
Informações básicas		Plano de cisalhamento	
Área de contato (mm ²)	1521		
Diâmetro (mm)	44		
Peso (g)	168,8		
Altura média (mm)	39		
Grau de Saturação	0		
Teor de umidade (%)	0		
Análise fissuras	análise qual. Visual		
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Superfície amarelada e sem brilho. Cor: heterogênea, bandas branco e preto.			




Quadro AIII.54. Ficha técnica - Amostra: 2400h-P2T.




		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS	
		FICHA TÉCNICA	
Amostra: 2400h-P2T Local: AHE Símplicio		Laboratorista: Responsável:	
Informações básicas		Plano de cisalhamento	
Área de contato (mm ²)	1521		
Diâmetro (mm)	44		
Peso (g)	176,7		
Altura média (mm)	41		
Grau de Saturação	0		
Teor de umidade (%)	0		
Análise fissuras	análise qual. Visual		
		Antes	Depois
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Superfície sem brilho e leve amarelado com pequena quebra na zona perimetral. Cor: heterogênea, bandas branco e preto.			

Quadro AIII.55. Ficha técnica - Amostra: 4800h-P1B.



 <p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS</p>	
FICHA TÉCNICA	
Amostra: 4800h-P1B Local: AHE Simplicio	
Laboratorista: Responsável:	
Informações básicas	Plano de cisalhamento
Área de contato (mm ²)	1521
Diâmetro (mm)	44
Peso (g)	105
Altura média (mm)	20
Grau de Saturação	0
Teor de umidade (%)	0
Análise fissuras	análise qual. Visual
	
	Antes Depois
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Superfície sem brilho e leve amarelado. Cor: heterogênea, branco e preto.	


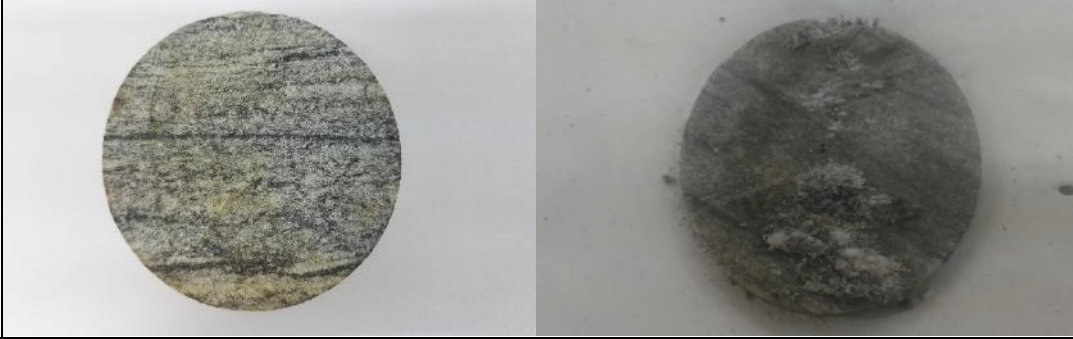
Quadro AIII.56. Ficha técnica - Amostra: 4800h-P1T.

		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS	
		FICHA TÉCNICA	
Amostra: 4800h-P1T Local: AHE Simplicio		Laboratorista: Responsável:	
Informações básicas		Plano de cisalhamento	
Área de contato (mm ²)	1521		
Diâmetro (mm)	44		
Peso (g)	80		
Altura média (mm)	26		
Grau de Saturação	0		
Teor de umidade (%)	0		
Análise fissuras	análise qual. Visual		
		Antes	Depois
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Superfície sem brilho e amarelada. Zona perimetral com pequena quebra. Cor: heterogênea, bandas branco e preto.			

		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS	
		FICHA TÉCNICA	
Amostra: 4800h-P2B Local: AHE Simplicio		Laboratorista: Responsável:	
Informações básicas		Plano de cisalhamento	
Área de contato (mm ²)	1521		
Diâmetro (mm)	44		
Peso (g)	149,5		
Altura média (mm)	36		
Grau de Saturação	0		
Teor de umidade (%)	0		
Análise fissuras	análise qual. Visual		
		Antes	Depois
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Superfície sem brilho e leve amarelado. Zona perimetral com pequena quebra. Cor: heterogênea, bandas branco e preto.			

Quadro AIII.58. Ficha técnica - Amostra: 4800h-P2T.

		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS	
		FICHA TÉCNICA	
Amostra: 4800h-P2T Local: AHE Simplicio		Laboratorista: Responsável:	
Informações básicas		Plano de cisalhamento	
Área de contato (mm ²)	1521		
Diâmetro (mm)	44		
Peso (g)	202,5		
Altura média (mm)	49		
Grau de Saturação	0		
Teor de umidade (%)	0		
Análise fissuras	análise qual. Visual		
		Antes	Depois
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Superfície sem brilho e amarelada. Zona perimetral com quebra. Cor: heterogênea, bandas branco e preto.			

		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS	
		FICHA TÉCNICA	
Amostra: 8300h-P1B Local: AHE Simplicio		Laboratorista: Responsável:	
Informações básicas		Plano de cisalhamento	
Área de contato (mm ²)	1521		
Diâmetro (mm)	44		
Peso (g)	219,3		
Altura média (mm)	--		
Grau de Saturação	0		
Teor de umidade (%)	0		
Análise fissuras	análise qual. Visual		
		Antes	Depois
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Superfície sem brilho e leve amarelado. Borda intacta. Cor: heterogênea, bandas branco e preto. Veios escuros mais destacados em toda sessão transversal da amostra.			

		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia Programa de Engenharia Civil LABORATÓRIO DE MECÂNICA DAS ROCHAS	
		FICHA TÉCNICA	
Amostra: 8300h-P1T Local: AHE Simplicio		Laboratorista: Responsável:	
Informações básicas		Plano de cisalhamento	
Área de contato (mm ²)	1521		
Diâmetro (mm)	44		
Peso (g)	154,7		
Altura média (mm)	---		
Grau de Saturação	0		
Teor de umidade (%)	0		
Análise fissuras	análise qual. Visual		
		Antes	Depois
Descrição básica: 1 – Gnaisse. 2 - Superfície sem brilho e leve amarelado. Borda intacta. Cor: heterogênea, bandas branco e preto. Veios escuros mais destacados em toda sessão transversal da amostra.			

APÊNDICE IV - DISTÂNCIA ENTRE ÁREA CISALHANTE E MOLDE DE GESSO

Tabela AIV.1. Distância entre área cisalhante da amostra e molde de gesso.

Juntas naturais (medidas em mm)									
0h					600h				
0h - 1B	B ₁ = 12	B ₂ = 8	E ₁ = 12	E ₂ = 8	600h - 1B	B ₁ = 14	B ₂ = 7	E ₁ = 10	E ₂ = 12
0h - 1T	B ₁ = 5	B ₂ = 9	E ₁ = 10	E ₂ = 12	600h - 1T	B ₁ = 9	B ₂ = 13	E ₁ = 11	E ₂ = 10
0h - 2B	B ₁ = 15	B ₂ = 9	E ₁ = 7	E ₂ = 12	600h - 2B	B ₁ = 13	B ₂ = 3	E ₁ = 9	E ₂ = 9
0h - 2T	B ₁ = 5	B ₂ = 7	E ₁ = 12	E ₂ = 7	600h - 2T	B ₁ = 3	B ₂ = 9	E ₁ = 7	E ₂ = 6
0h - 3B	B ₁ = 14	B ₂ = 8	E ₁ = 8	E ₂ = 12	600h - 3B	B ₁ = 15	B ₂ = 9	E ₁ = 13	E ₂ = 9
0h - 3T	B ₁ = 11	B ₂ = 18	E ₁ = 16	E ₂ = 12	600h - 3T	B ₁ = 7	B ₂ = 9	E ₁ = 6	E ₂ = 11
0h - 4B	B ₁ = 14	B ₂ = 8	E ₁ = 11	E ₂ = 10					
0h - 4T	B ₁ = 4	B ₂ = 8	E ₁ = 6	E ₂ = 5					
1200h					2400h				
1200h - 1B	B ₁ = 12	B ₂ = 7	E ₁ = 7	E ₂ = 9	2400h - 1B	B ₁ = 12	B ₂ = 8	E ₁ = 11	E ₂ = 7
1200h - 1T	B ₁ = 3	B ₂ = 5	E ₁ = 9	E ₂ = 4	2400h - 1T	B ₁ = 9	B ₂ = 8	E ₁ = 7	E ₂ = 9
1200h - 2B	B ₁ = 8	B ₂ = 11	E ₁ = 11	E ₂ = 5	2400h - 2B	B ₁ = 12	B ₂ = 7	E ₁ = 10	E ₂ = 9
1200h - 2T	B ₁ = 9	B ₂ = 9	E ₁ = 4	E ₂ = 11	2400h - 2T	B ₁ = 4	B ₂ = 8	E ₁ = 4	E ₂ = 5
1200h - 4B	B ₁ = 12	B ₂ = 8	E ₁ = 8	E ₂ = 9	2400h - 3B	B ₁ = 14	B ₂ = 8	E ₁ = 8	E ₂ = 8
1200h - 4T	B ₁ = 6	B ₂ = 9	E ₁ = 9	E ₂ = 8	2400h - 3T	B ₁ = 6	B ₂ = 12	E ₁ = 11	E ₂ = 11
4800h					8300h				
4800h - 1B	B ₁ = 12	B ₂ = 8	E ₁ = 10	E ₂ = 9	8300h - 1B	B ₁ = 9	B ₂ = 7	E ₁ = 9	E ₂ = 8
4800h - 1T	B ₁ = 6	B ₂ = 10	E ₁ = 9	E ₂ = 9	8300h - 1T	B ₁ = 7	B ₂ = 10	E ₁ = 10	E ₂ = 11
4800h - 2B	B ₁ = 12	B ₂ = 6	E ₁ = 10	E ₂ = 7	8300h - 2B	B ₁ = 15	B ₂ = 8	E ₁ = 10	E ₂ = 11
4800h - 2T	B ₁ = 6	B ₂ = 12	E ₁ = 8	E ₂ = 10	8300h - 2T	B ₁ = 6	B ₂ = 12	E ₁ = 11	E ₂ = 11
4800h - 3B	B ₁ = 14	B ₂ = 10	E ₁ = 12	E ₂ = 10	8300h - 3B	B ₁ = 15	B ₂ = 5	E ₁ = 11	E ₂ = 10
4800h - 3T	B ₁ = 7	B ₂ = 9	E ₁ = 10	E ₂ = 8	8300h - 3T	B ₁ = 3	B ₂ = 16	E ₁ = 8	E ₂ = 10
					8300h - 4B	B ₁ = 11	B ₂ = 6	E ₁ = 11	E ₂ = 10
					8300h - 4T	B ₁ = 9	B ₂ = 7	E ₁ = 6	E ₂ = 5

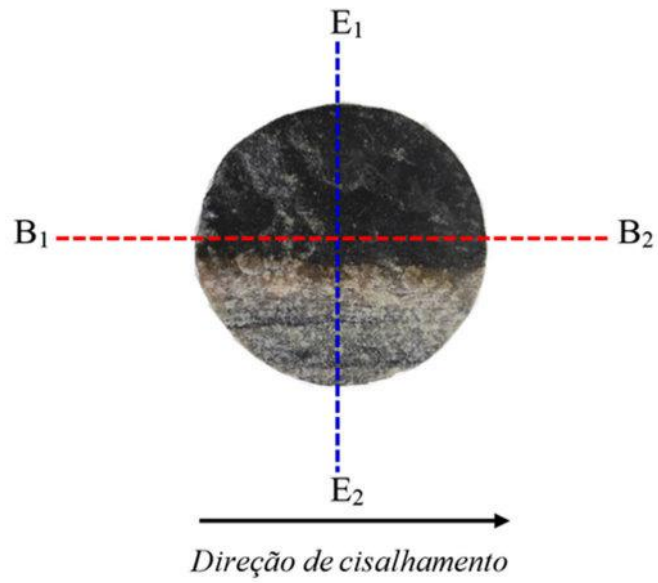


Figura AIV.1 - Posições para medição da distância entre área cisalhante da amostra e molde de gesso

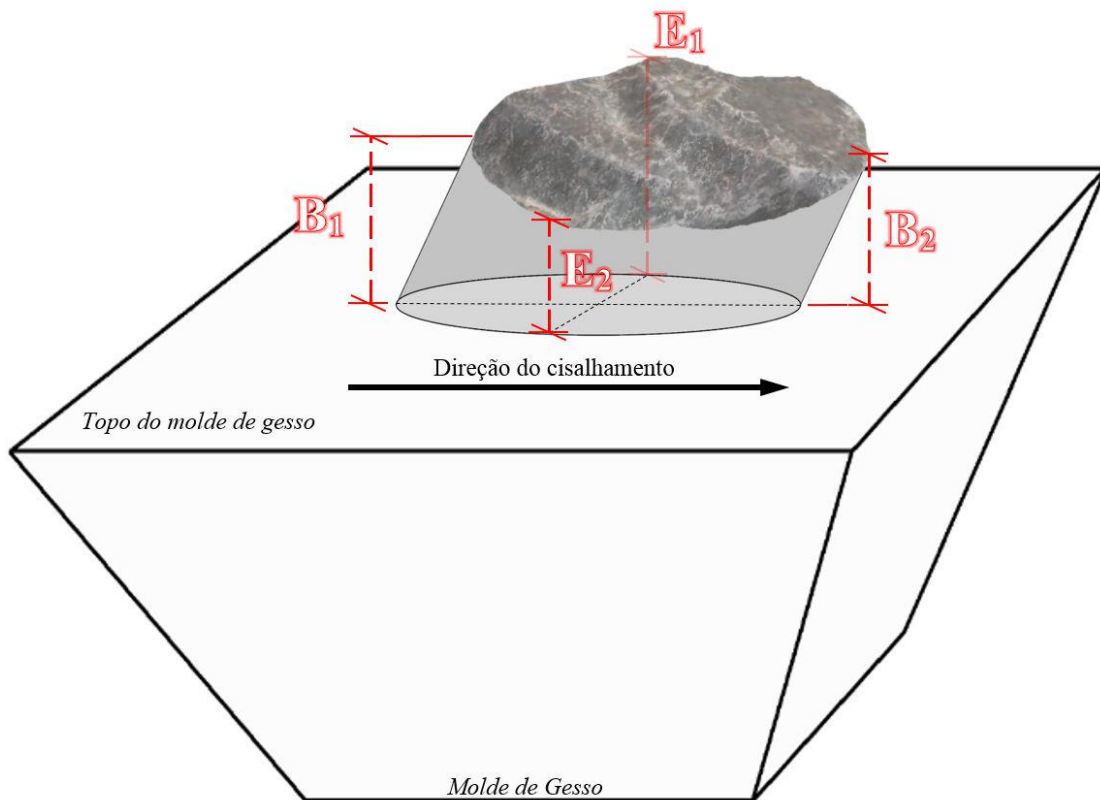


Figura AIV.2 - Posições para medição da distância entre área cisalhante da amostra e molde de gesso