

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Ana Helena Back

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E GEOMECÂNICAS
DE AGREGADOS ORIUNDOS DE JAZIDAS DE ROCHAS DE
DIFERENTES LITOLOGIAS DO ESTADO DO RS.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Santa Maria, RS
2018

Ana Helena Back

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E GEOMECÂNICAS
DE AGREGADOS ORIUNDOS DE JAZIDAS DE ROCHAS DE
DIFERENTES LITOLOGIAS DO ESTADO DO RS.**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, do Centro de Tecnologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Rinaldo José Barbosa Pinheiro
Coorientadora: Profa. Dra. Andréa Valli Nummer

Santa Maria, RS
2018

Back, Ana Helena

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E GEOMECÂNICAS DE
AGREGADOS ORIUNDOS DE JAZIDAS DE ROCHAS DE DIFERENTES
LITOLOGIAS DO ESTADO DO RS. / Ana Helena Back.- 2018.
166 p.; 30 cm

Orientador: Rinaldo José Barbosa Pinheiro

Coorientadora: Andréa Valli Nummer

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2018

1. Materiais Rochosos 2. Agregados 3. Ensaios de
Caracterização 4. Controle Tecnológico 5. Correlações
Lineares I. Pinheiro, Rinaldo José Barbosa II. Nummer,
Andréa Valli III. Título.

Ana Helena Back

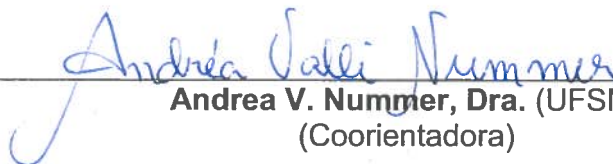
**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E GEOMECÂNICAS
DE AGREGADOS ORIUNDOS DE JAZIDAS DE ROCHAS DE
DIFERENTES LITOLOGIAS DO ESTADO DO RS.**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, do Centro de Tecnologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

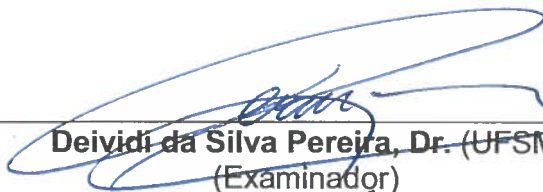
Aprovado em 13 de Março de 2018.



Rinaldo José Barbosa Pinheiro, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Andrea V. Nummer, Dra. (UFSM)
(Coorientadora)



Deividi da Silva Pereira, Dr. (UFSM)
(Examinador)



Clovis Gonzatti, Dr. (UFRGS)
(Examinador)

Santa Maria, RS
2018

***“Só saberá subir na vida quem tiver a humildade
de descer quantas vezes forem necessárias”***

- desconhecido

AGRADECIMENTOS

Expresso meus agradecimentos e gratidão aos seguintes:

Ao meu orientador Rinaldo Pinheiro e coorientadora Andréa Nummer pela confiança depositada em mim, pelos ensinamentos transmitidos, pelo tempo disponibilizado à pesquisa e principalmente pela viabilização das viagens destinadas às coletas de material e avaliação dos maciços rochosos.

Aos Professores Deividi Pereira e Clovis Gonzatti pela disponibilidade em fazer parte da banca examinadora, pelo tempo disponibilizado e pelos conhecimentos agregados à pesquisa;

Aos membros do grupo GEOMA: Jéssica Venturini, Elisa Porto, Juliana Scapin, Tiane Jaskulski, Ildomar Tavares, Letícia Soldera, Leila Fernandes, Danieli Klein.

Aos membros do grupo GEPPASV: Valdir, Évelyn, Marcos, Fernando, Gustavo, Eduardo, Chaveli, Cléber, Bethania, Jennifer, Karine, Ketrily, Rômulo, Luiz e Antônio Daniel.

Aos alunos do curso de geologia da UNIPAMPA campus Caçapava do Sul: Mariane Trombetta, Pablo Fernandes, Rael Wojahn, Athos Castro, Andreas Dalmas, Camila Alves e Haline Ceccato pelo auxílio nas etapas de campo e na fabricação e leitura das lâminas delgadas.

Empresas Mineração Mônego, SBS Engenharia, Concepa Triunfo e Pedreira Capilheira, pelo fornecimento de agregado britado e disponibilidade de visitaçãõ.

Ao LMCC, PPGEC e à UFSM pelo suporte e disponibilizaçãõ de equipamentos, em especial à Luciane, Marília e Rosa.

À CAPES pelo suporte financeiro através da bolsa no decorrer de todo o estudo.

Aos meus pais Maria Dolores Back e Mauro Back bem como minhas irmãs Marina Back e Daniela Back, cunhado Rafael Kich, afilhada Lara Kich e avó Lúcia Gassen por me oferecerem uma oportunidade de estudo e por seguirem meus passos, desviando e menosprezando quaisquer dificuldades que adentraram este período destinado a pós-graduaçãõ.

Aos amigos Tanise Schwantz, Paola Beber, Caroline Molin, Nathália Beckert, Tairine Rodrigues, Giovanna Klein pela amizade e pelos momentos de diversãõ e lazer.

Ao meu namorado Lucas Bueno que em muitos momentos tomou meus anseios para si e me guiou com sabedoria para as respostas.

RESUMO

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E GEOMECÂNICAS DE AGREGADOS ORIUNDOS DE JAZIDAS DE ROCHAS DE DIFERENTES LITOLOGIAS DO ESTADO DO RS.

AUTOR: ANA HELENA BACK

ORIENTADOR: Prof. Dr. RINALDO JOSÉ BARBOSA PINHEIRO

A avaliação das propriedades químicas e geomecânicas dos materiais rochosos impescinde ensaios de caracterização tecnológica de seus materiais granulares através de metodologias específicas, as quais permitirão qualificar e quantificar os parâmetros de interesse conforme a aplicação desejada, garantindo a segurança e a vida de projeto da estrutura rodoviária. A presente pesquisa visa contribuir para o banco de dados nacional através do estudo de diferentes materiais rochosos provenientes de diversas litologias encontradas no território Rio-grandense, associando suas origens geológicas às suas características físicas e geomecânicas, bem como do levantamento de parâmetros e correlações existentes entre os mesmos. A etapa inicial foi constituída por um levantamento detalhado de informações geológicas e geotécnicas acerca das características detectadas ao longo dos maciços rochosos, mediante investigações de campo seguidas de ensaios laboratoriais de caracterização química, física e mecânica, capazes de determinar as propriedades e características tecnológicas dos agregados. A caracterização foi realizada em laboratórios pertencentes a Universidade Federal de Santa Maria e no Laboratório de Geotecnia do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, englobando ensaios a fim de avaliar composição mineralógica e textural, resistência mecânica, grau de absorção, forma das partículas, alterabilidade sob emprego de agentes químicos, etc. De posse dos parâmetros obtidos laboratorialmente, buscou-se compará-los com informações obtidas acerca das características do maciço rochoso, como o grau de alteração e estruturas de descontinuidades, a fim de detectar um padrão de comportamento entre os diferentes materiais e a influência das características do maciço no desempenho final do agregado britado. A etapa de campo se mostrou fundamental para compreensão e conhecimento das características comportamentais das diferentes formações rochosas, se tornando imprescindíveis para compreensão da influência das propriedades do maciço rochoso no desempenho laboratorial do agregado. Além disso, constatou-se que os índices físicos das rochas são influenciados diretamente pela composição mineralógica e características estruturais. Com relação aos ensaios de degradação mecânica, todas as rochas exibiram ajustes lineares significativamente satisfatórios para ambas análises. Verificou-se que o desempenho mecânico das ígneas ácidas plutônicas é fortemente influenciado pelas características mineralógicas e texturais em comparação aos índices físicos, que em virtude da maior quantidade de planos de fraqueza, tende a sofrer maiores degradações mecânicas.

Palavras-chave: Materiais Rochosos; Agregados; Ensaios de Caracterização; Controle Tecnológico; Correlações Lineares.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE CHEMICAL AND GEOMECHANICAL PROPERTIES OF AGGREGATES FROM ROCK DEPOSITS OF DIFFERENT LITHOLOGIES OF THE STATE OF RS

AUTHOR: ANA HELENA BACK
ADVISOR: PROF. DR. RINALDO JOSÉ BARBOSA PINHEIRO

The evaluation of the chemical and geomechanical properties of rocky materials requires the testing of technological characterization of their granular materials through specific methodologies, which will allow qualifying and quantifying the parameters of interest according to the desired application, guaranteeing the safety and the life of the design of the road structure. The present research aims to contribute to the national database through the study of different rocky materials coming from different lithologies found in the territory of Rio Grande do Sul, associating their geological origins with their physical and geomechanical characteristics, as well as the survey of parameters and correlations between them. The initial stage consisted of a detailed survey of geological and geotechnical information about the characteristics detected along the rocky massifs, through field investigations followed by laboratory tests of chemical, physical and mechanical characterization, able to determine the properties and technological characteristics of the aggregates. The characterization was performed in laboratories belonging to the Universidade Federal de Santa Maria and in the Laboratory of Geotechnics of the Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, including tests to evaluate mineralogical and textural composition, mechanical resistance, degree of absorption, shape of particles, alterability under the use of chemical agents, etc. The laboratory parameters were obtained by comparing them with information obtained on the characteristics of the rock massif, such as the degree of alteration and discontinuity structures, in order to detect a pattern of behavior between the different materials and the influence of the characteristics of the massif in the final performance of the crushed aggregate. The field stage was fundamental for understanding and knowledge of the behavioral characteristics of the different rock formations, becoming essential for understanding the influence of rock massif properties on the laboratory performance of the aggregate. In addition, it was verified that the physical indexes of the rocks are influenced directly by the mineralogical composition and structural characteristics. Regarding the mechanical degradation tests, all the rocks exhibited linear adjustments significantly satisfactory for both analyzes. It was verified that the mechanical performance of the plutonic acidic igneous is strongly influenced by the mineralogical and textural characteristics in comparison to the physical indexes, which, due to the greater number of planes of weakness, tends to suffer greater mechanical degradations.

Keywords: Rocky Materials; Aggregates; Characterization Tests; Technological Control; Linear Correlations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.1 - Províncias Geomorfológicas do Rio Grande do Sul.	21
Figura 2.2.1 - (a) Granito: Rocha plutônica ácida, maciça, fanerítica equigranular fina; (b) Basalto: Rocha vulcânica básica, maciça, afanítica; (c) Granito: Rocha plutônica ácida, fanerítica inequigranular grossa; (d) Andesito: Rocha vulcânica, textura porfírica.....	25
Figura 2.2.2 - Relações entre índice de cor, teor de sílica, composição mineralógica e ambiente de cristalização das rochas ígneas (excluindo as alcalinas).....	26
Figura 2.2.3 - Granito (ígneia plutônica) quando metamorfozizada dá origem ao Gnaiss; (b) Arenito (sedimentar) quando metamorfozizada dá origem aos Quartzito.	28
Figura 2.3.1 - Coeficiente de Expansão Térmica de diferentes tipos de rochas.	34
Figura 2.3.2 - Desgaste abrasivo a dois e a três corpos.	38
Figura 2.3.3 - Componentes do agregado: Forma, Textura e Angularidade	40
Figura 2.3.4 - Avaliação visual dos graus de esfericidade e de arredondamento.	42
Figura 2.3.5 - Teor de sílica em diferentes agregados.	46
Figura 3.1.1 - Mapa da localização geográfica das jazidas estudadas.	54
Figura 3.1.2 - Pedreira HN sob vista frontal.	55
Figura 3.1.3 - Pedreira CM sob vista frontal.	55
Figura 3.1.4 - Pedreira SBS sob vista frontal.	56
Figura 3.1.5 - Pedreira SJ sob vista frontal.	56
Figura 3.1.6 - Pedreira CAP sob vista frontal.	56
Figura 3.1.7 - Pedreira CONC sob vista frontal.	57
Figura 3.2.1 - (a) Amostra de mão coletada para posterior redução; (b) Redução da amostra com o auxílio da serra diamantada; (c) Politriz utilizada para desgastar a lâmina delgada; (d) Microscópio petrográfico.....	58
Figura 3.2.2 - (a) Paquímetro Digital; (b) Placa de Lamelaridade; (c) Paquímetro Calíper; (d) Crivos Redutores.....	63
Figura 3.2.3 - Equipamento AIMS 2.	64
Figura 3.2.4 - (a) Cilindro de aço rígido utilizado no ensaio de Esmagamento; (b) Tambor giratório utilizado no ensaio de Abrasão LA; (c) Equipamento Treton utilizado no ensaio de perda ao choque; (d) Fragmento de rocha sendo ensaio no ensaio Carga Pontual.	66
Figura 3.2.5 - Ensaio de carga puntiforme em bloco irregular.....	68

Figura 4.1.1 - Parede rochosa da Pedreira HN, evidencia-se a presença de falhas e pares conjugados de fraturas.	72
Figura 4.1.2 - Detalhes da textura da rocha da HN – AMOSTRA 1 (a) Destaque para a presença de óxidos (aumento de 100 vezes em lupa digital); (b) Lâmina Petrográfica sob luz polarizada (aumento 2,5/0.08).....	73
Figura 4.1.3 - Detalhes da rocha da HN – AMOSTRA 2 (a) Presença de micro fraturas e clorita como mineral de alteração (aumento de 100 vezes em lupa digital); (b) Foto à luz polarizada (aumento 2,5/0.08), com destaque para a calcita apresentando características de clivagem.....	74
Figura 4.1.4 - Detalhes da rocha da HN – AMOSTRA 3 (a) Destaque para a fratura preenchida por calcita (aumento de 100 vezes em lupa digital); (b) Foto à luz polarizada com evidência predominante de feldspatos potássicos e quartzos (aumento 2,5/0.08).....	75
Figura 4.1.5 - Detalhes da rocha da HN – AMOSTRA 4 (a) Destaque para a presença de micro fraturas e calcitas (aumento de 100 vezes em lupa digital); (b) Foto à luz polarizada (aumento 2,5/0.08), destaque para os feldspatos potássicos bastante alterados por argilização.....	76
Figura 4.1.6 - (a) Bancada Superior (CMV) e Inferior (CMC) da Jazida; (b) Descontinuidades presentes na parede rochosa da bancada superior (CMV).	77
Figura 4.1.7 - Detalhes da rocha CM – AMOSTRA 1 (a) Destaque para os veios de calcita e microfraturas (aumento de 100 vezes em lupa digital); (b) Destaque para as fraturas preenchidas (luz polarizada - aumento 2,5/0.08).....	78
Figura 4.1.8 - Detalhes da textura da rocha da CM - AMOSTRA 2 (a) Destaque para as microfraturas e a presença de calcita (aumento de 100 vezes em lupa digital); (b) Lâmina Petrográfica sob luz polarizada (aumento 2,5/0.08).....	79
Figura 4.1.9 - Detalhes da textura da rocha CM - AMOSTRA 3 (a) Detalhe da foliação bem desenvolvida (aumento de 100 vezes em lupa digital); (b) Lâmina Petrográfica com presença de argilominerais.	80
Figura 4.1.10 - Parede rochosa da Pedreira SBS. a) Zona de Cataclase em evidência e fragmentação do material rochoso; (b) Família de fraturas verticais e oblíquas. ...	81
Figura 4.1.11 - Detalhes da textura da rocha SBS - AMOSTRA 1 (a) Amostra de mão; (b) Lâmina Petrográfica com destaque para as fraturas preenchidas por óxidos (aumento 2,5/0.08).	82

Figura 4.1.12 - Detalhes da textura da rocha SBS - AMOSTRA 2 (a) Amostra de mão; (b) Lâmina Petrográfica com destaque para plagioclásio alterado por argilização (aumento 2,5/0.08).....	83
Figura 4.1.13 - Detalhes da textura da rocha da Pedreira SBS - AMOSTRA 3.....	84
Figura 4.1.14 - Detalhes da textura da rocha SBS - AMOSTRA 4 (a) Amostra de mão; (b) Lâmina Petrográfica com destaque para a clorita como mineral de alteração (aumento 2,5/0.08).....	85
Figura 4.1.15 - Rocha SBS - AMOSTRA 5 (a) Amostra de mão; (b) Corte paralelo à foliação evidencia alteração dos plagioclásios; (c) Corte perpendicular à foliação evidencia recristalização dinâmica (cisalhamento).....	86
Figura 4.1.16 - Detalhes da textura da rocha da Pedreira SBS - AMOSTRA 6.....	87
Figura 4.1.17 - Parede rochosa da Pedreira SJ com Disjunções verticais e horizontais.	88
Figura 4.1.18 - Detalhes da rocha SJ - AMOSTRA 1 (a) Amostra de mão; (b) Vista em microscópio petrográfico com destaque para cristal de olivina (aumento 2,5/0.08). .	88
Figura 4.1.19 - Parede rochosa da Pedreira CAP com Disjunções verticais e horizontais.	89
Figura 4.1.20 - Detalhes da textura da rocha CAP - AMOSTRA 1 (a) Amostra de mão; (b) Lâmina Petrográfica vista em microscópio petrográfico com predominância de clinopiroxênios e plagioclásios (aumento 2,5/0.08).	90
Figura 4.1.21 - Parede rochosa da Pedreira CONC com disjunções colunares.....	91
Figura 4.1.22 - Detalhes da textura da rocha CONC - AMOSTRA 1 (a) Amostra de mão; (b) Lâmina Petrográfica vista em microscópio petrográfico (aumento 2,5/0.08).	92
Figura 4.2.1 - Curvas granulométricas dos agregados da Jazida HN.	95
Figura 4.2.2 - Curva granulométrica do agregado da Jazida CM (CMC).	95
Figura 4.2.3 - Curvas granulométricas dos agregados da Jazida CM (CMV).	95
Figura 4.2.4 - Curvas granulométricas dos agregados da Jazida SBS.	96
Figura 4.2.5 - Curvas granulométricas dos agregados da Jazida SJ.	96
Figura 4.2.6 - Curvas granulométricas dos agregados da Jazida CAP.	96
Figura 4.2.7 - Curvas granulométricas dos agregados da Jazida CONC.....	97
Figura 4.2.8 - Gráfico de colunas referente aos ensaios da Placa Calíper para britas 3/4"	102

Figura 4.2.9 - Gráfico de colunas referente aos ensaios da Placa Calíper para britas 3/8".	103
Figura 4.2.10 - Distribuição da angularidade da pedreira SBS para brita 3/4".	106
Figura 4.2.11 - Distribuição da angularidade da pedreira SBS para brita 3/8".	106
Figura 4.2.12 - Distribuição da angularidade da pedreira SBS para pó de pedra...	106
Figura 4.2.13 - Distribuição da textura da pedreira SBS para brita 3/4".	107
Figura 4.2.14 - Distribuição da textura da pedreira SBS para brita 3/8".	107
Figura 4.2.15 - Distribuição da textura da pedreira SBS para o pó de pedra.	107
Figura 4.2.16 - Relação de partículas planas e alongadas de SBS para a pilha 3/4", 3/8" e pó de pedra (continua).	108
Figura 4.2.17 - Relação de partículas planas e alongadas de CMV para a pilha 3/4", 3/8".	109
Figura 4.2.18 - Agregados após ensaio de adesividade.	116
Figura 4.3.1 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos correspondentes à brita 3/4".	119
Figura 4.3.2 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos correspondentes à brita 3/8".	120
Figura 4.3.3 - Correlação linear do Conjunto de Rochas identificado por autores.	121
Figura 4.3.4 - Correlações lineares correspondentes à brita 3/4" (continua).	122
Figura 4.3.5 - Correlações lineares correspondentes à brita 3/8".	124
Figura 4.3.6 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos.	125
Figura 4.3.7 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos.	127
Figura 4.3.8 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos.	128
Figura 4.3.9 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos.	129
Figura 4.3.10 - Correlação linear do Conjunto de Rochas identificado por autores.	130
Figura 4.3.11 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos (continua).	131
Figura 4.3.12 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos (continua).	133
Figura 4.3.13 - Correlações lineares correspondentes à brita 3/8".	135
Figura 4.3.14 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos.	136
Figura 4.3.15 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos.	137
Figura 4.4.1 - Correlações lineares das rochas Ígneas Ácidas e Básicas.	139
Figura 4.4.2 - Correlação entre variáveis esmagamento, treton e abrasão "LA" para diversas classificações rochosas.	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.2.1 - Composição mineral média das rochas ígneas.....	25
Tabela 2.2.2 - Resumo das propriedades de engenharia das rochas ígneas	27
Tabela 2.2.3 - Composição mineral média das rochas metamórficas.	28
Tabela 2.2.4 - Resumo das propriedades de engenharia das rochas metamórficas.	29
Tabela 2.3.1 - Características petrográficas que influenciam nos ensaios laboratoriais e seus respectivos índices físicos.	30
Tabela 2.3.2 - Classificação para rochas segundo sua dureza.	36
Tabela 2.4.1 - Diferentes formas de aplicação de agregados pétreos e suas respectivas qualidades e atribuições.....	49
Tabela 2.4.2 - Normas utilizadas para avaliação das propriedades tecnológicas de agregados segundo diferentes utilizações.	50
Tabela 2.4.3 - Ensaio recomendados com suas respectivas especificações.	51
Tabela 3.1.1 - Fluxograma da metodologia adotada.	52
Tabela 3.1.2 - Localização, código dos diferentes materiais estudados e respectivas coordenadas geográficas.	53
Tabela 3.2.1 - Ensaio laboratoriais realizados na pesquisa e suas respectivas normas.	57
Tabela 3.2.2 - Diferentes nomenclaturas utilizadas entre ABNT e DNER.....	60
Tabela 3.2.3 - Equações utilizadas para o cálculo do índice de forma.....	62
Tabela 3.2.4 - Fórmulas utilizadas para o cálculo dos parâmetros gerados pelo ensaio AIMS.	64
Tabela 3.2.5 - Quantidade mínima de partículas para ensaio no sistema AIMS 2. ...	65
Tabela 3.2.6 - Limites de Classificação de AI Rousan para o sistema AIMS	65
Tabela 3.2.7 - Equações utilizadas para obtenção dos parâmetros mecânicos.....	68
Tabela 4.1.1 - Análise petrográfica da AMOSTRA 1 da Pedreira HN.	73
Tabela 4.1.2 - Análise petrográfica da AMOSTRA 2 da Pedreira HN.	74
Tabela 4.1.3 - Análise petrográfica da AMOSTRA 3 da Pedreira HN.	75
Tabela 4.1.4 - Análise petrográfica da AMOSTRA 4 da Pedreira HN.	76
Tabela 4.1.5 - Análise petrográfica da AMOSTRA 1 da Pedreira CM.....	78
Tabela 4.1.6 - Análise petrográfica da AMOSTRA 2 da Pedreira CM.	79
Tabela 4.1.7 - Análise petrográfica da AMOSTRA 3 da Pedreira CM.	80
Tabela 4.1.8 - Análise petrográfica da AMOSTRA 1 da Pedreira SBS.	82

Tabela 4.1.9 - Análise petrográfica da AMOSTRA 2 da Pedreira SBS.....	83
Tabela 4.1.10 - Análise petrográfica da AMOSTRA 3 da Pedreira SBS.....	84
Tabela 4.1.11 - Análise petrográfica da AMOSTRA 4 da Pedreira SBS.....	85
Tabela 4.1.12 - Análise petrográfica da AMOSTRA 5 da Pedreira SBS.....	86
Tabela 4.1.13 - Análise petrográfica da AMOSTRA 6 da Pedreira SBS.....	87
Tabela 4.1.14 - Análise petrográfica da AMOSTRA 1 da Pedreira SJ.....	88
Tabela 4.1.15 - Análise petrográfica da AMOSTRA 1 da Pedreira CAP.....	90
Tabela 4.1.16 - Análise petrográfica da AMOSTRA 1 da Pedreira CONC.....	92
Tabela 4.1.17 - Resumo das características petrográficas obtidas através das diferentes lâminas delgadas.	93
Tabela 4.2.1 - Resultado dos índices físicos e massa unitária da brita 3/4" para todas as pedreiras estudadas.....	97
Tabela 4.2.2 - Resultado dos índices físicos e massa unitária da brita 3/8" para todas as pedreiras estudadas.....	98
Tabela 4.2.3 - Resultado da massa específica real e massa unitária do pó de pedra para todas as pedreiras estudadas.....	99
Tabela 4.2.4 - Valores correspondentes aos ensaios de forma e lamelaridade das britas 3/4" e 3/8".....	100
Tabela 4.2.5 - Valores limites de ensaios de forma e lamelaridade utilizado para agregados empregados na pavimentação.....	101
Tabela 4.2.6 - Resultados dos ensaios da Placa Calíper para britas 3/4".	102
Tabela 4.2.7 - Resultados dos ensaios da Placa Calíper para britas 3/8".	102
Tabela 4.2.8 - Tabela resumo das informações obtidas do software AIMS 2 para SBS.	104
Tabela 4.2.9 - Tabela resumo das informações obtidas do software AIMS 2 para CMV.	105
Tabela 4.2.10 - Classificação final baseando-se em dois métodos classificatórios.	110
Tabela 4.2.11 - Resultado dos ensaios de resistência mecânica das pedreiras estudadas.	111
Tabela 4.2.12 - Especificações vigentes para os ensaios de Abrasão LA, Perda Treton e Esmagamento para agregados empregados na pavimentação.....	112
Tabela 4.2.13 - Resultados do ensaio de carga pontual das amostras secas e saturadas.....	112
Tabela 4.2.14 - Classificação para Compressão Puntiforme para amostras secas.....	113

Tabela 4.2.15 - Resultados obtidos através do ensaio de equivalente de areia.	114
Tabela 4.2.16 - Resultados finais dos ensaios de durabilidade.	114
Tabela 4.2.17 - Informações referentes ao ensaio de adesividade ao ligante betuminoso.....	115
Tabela 4.3.1 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.....	118
Tabela 4.3.2 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.....	122
Tabela 4.3.3 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.....	125
Tabela 4.3.4 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.....	126
Tabela 4.3.5 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.....	128
Tabela 4.3.6 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.....	129
Tabela 4.3.7 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.....	131
Tabela 4.3.8 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.....	133
Tabela 4.3.9 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares entre o par de variáveis.	134
Tabela 4.3.10 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.....	136
Tabela 4.3.11 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.....	137
Tabela 4.4.1 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares entre o par de variáveis.	138

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO = American Association of State Highway and Transportation Officials.
ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas.
AFNOR = Association Française de Normalisation.
AIMS = Aggregate Image Measurement System.
ASTM = American Society of Testing and Materials.
BSI = British Standard Institution.
CCP = Concreto de Cimento Portland.
CTE = Coeficiente de Expansão Térmica.
COPPE = Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
DAER = Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem.
DNER = Departamento Nacional de Estradas Rodagem.
DNIT = Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.
DNPM = Departamento Nacional de Produção Mineral.
EM = Especificações de Material.
ES = Especificação de Serviço.
FHWA = Federal Highway Administration.
IE = Instruções de Ensaio.
IF = Índice de Forma.
ISRM = International Society Of Rock Mechanics.
LA = Los Angeles.
ME = Método de Ensaio.
NBR = Norma Brasileira.
PETROBRAS: Petróleo Brasileiro S.A.
PRO = Procedimentos.
RJ = Rio de Janeiro.
RS = Rio Grande do Sul.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1. OBJETIVO GERAL	20
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
2. REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1. PROVÍNCIAS GEOMORFOLÓGICAS DO RIO GRANDE DO SUL.....	21
2.1.1. Escudo Rio-Grandense	22
2.1.2. Planalto de Derrames	22
2.2. DIFERENTES TIPOS DE ROCHAS E SEUS MINERAIS CONSTITUINTES 23	
2.2.1. Rochas Ígneas ou Magmáticas	24
2.2.2. Rochas Metamórficas	27
2.3. INFLUENCIA DO TIPO LITOLÓGICO NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E GEOMECÂNICAS DOS AGREGADOS.....	29
2.3.1. Durabilidade e Sanidade	30
2.3.2. Dureza, Resistência Abrasiva e Tenacidade	36
2.3.3. Forma, Angularidade e Textura Superficial da Partícula	40
2.3.4. Porosidade e Absorção	44
2.3.5. Afinidade ao Ligante Asfáltico	45
2.4. AGREGADOS PARA USO EM OBRAS DE ENGENHARIA	47
3. MATERIAIS E MÉTODOS	52
3.1. PLANEJAMENTO DA PESQUISA	52
3.1.1. Definição e Localização das Pedreiras	53
3.1.2. Análise Macroscópica e Coleta dos Materiais	54
3.2. ENSAIOS TECNOLÓGICOS	57
3.2.1. Análise Petrográfica	58
3.2.2. Análise Granulométrica	59
3.2.3. Índices Físicos e Massa Unitária	59
3.2.4. Forma das Partículas	61
3.2.5. Equivalente de Areia	65
3.2.6. Resistência Mecânica	66
3.2.7. Durabilidade / Sanidade	69
3.2.8. Afinidade ao Ligante Asfáltico	69
3.3. ANÁLISE E CORRELAÇÕES DOS RESULTADOS	70
4. RESULTADOS E ANÁLISES	71
4.1. AVALIAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO E ANÁLISE PETROGRÁFICA	71
4.1.1. Pedreira Hulha Negra (HN)	71
4.1.2. Pedreira Calcário Mudador (CMC e CMV)	76

4.1.3.	Pedreira SBS Engenharia (SBS)	80
4.1.4.	Pedreira São Juvenal (SJ)	87
4.1.5.	Pedreira Capilheira (CAP)	89
4.1.6.	Pedreira Concepa (CONC)	90
4.2.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO 94	
4.2.1.	Análise Granulométrica	94
4.2.2.	Índices Físicos e Massa Unitária	97
4.2.3.	Índice de Forma	100
4.2.4.	Resistência Mecânica	110
4.2.5.	Equivalente de Areia	113
4.2.6.	Durabilidade / Sanidade	114
4.2.7.	Adesividade	115
4.3.	CORRELAÇÕES LINEARES ENTRE PARÂMETROS INVESTIGADOS APLICADAS AOS DIFERENTES TIPOS ROCHOSOS	117
4.3.1.	Índices Físicos	117
4.3.1.1.	<i>Absorção x M.E.A.</i>	117
4.3.1.2.	<i>M.E.R x M.E.A.</i>	121
4.3.1.3.	<i>Absorção (3/4") x Absorção (3/8")</i>	124
4.3.2.	Características Mecânicas	126
4.3.2.1.	<i>Abrasão "LA" x IS50SAT</i>	126
4.3.2.2.	<i>IS50SECO x IS50SAT</i>	127
4.3.3.	Índices Físicos e Características Mecânicas	128
4.3.3.1.	<i>Absorção x Abrasão "LA"</i>	128
4.3.3.2.	<i>Absorção x Esmagamento</i>	131
4.3.3.3.	<i>Absorção x Treton</i>	132
4.3.4.	Forma do Agregado	134
4.3.5.	Durabilidade	135
4.3.5.1.	<i>Abrasão "LA" x Sanidade Graúdo</i>	135
4.3.5.2.	<i>Absorção 3/4" x Sanidade Graúdo</i>	136
4.4.	CORRELAÇÕES LINEARES ENTRE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS ATRAVÉS DO EMPREGO DE VARIÁVEIS DEPENDENTES E INDEPENDENTES 138	
5.	CONCLUSÃO	141
5.1.	AVALIAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO E ÁREA DE LAVRA	141
5.2.	CARACTERIZAÇÃO LABORATORIAL	142
5.3.	COMPORTAMENTO DOS DIFERENTES TIPOS ROCHOSOS	144
6.	SUGESTÃO PARA FUTURAS PESQUISAS	146
	REFERÊNCIAS	147

ANEXO A	159
APÊNDICE A:	162

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional concomitantemente ao crescimento da quantidade de serviços e bens de consumo são processos que ocorrem simultaneamente à extração de minerais empregados na construção civil. Há uma interface estreita entre o consumo de minerais na sociedade e o padrão de vida desfrutado por ela.

O elevado consumo de agregados minerais assegura matéria prima para a infraestrutura urbana, industrial e malha viária nacional, visando atender à crescente demanda por espaços urbanizados com redes de transportes, informações, energia, etc.

A utilização de materiais rochosos na engenharia civil é ampla e possui diversas aplicações, seja como agregado britado para a construção civil ou como suporte para às diferentes estruturas civis, como por exemplo os enrocamentos e filtros de drenagem. Conforme sua aplicação, há certos níveis de rigores e propriedades necessárias que são estabelecidas em projeto, logo, são necessárias metodologias específicas capazes de caracterizar geológico-geotecnicamente o material rochoso, as quais permitirão qualificar e quantificar os parâmetros de interesse.

Conforme dados retirados do site da DNPM referentes à porcentagem de agregados utilizados no Brasil, os tipos rochosos mais empregados na produção de brita ao longo do território brasileiro é a seguinte: granito e gnaiss - 85%, calcário e dolomito - 10% e basalto e diabásio - 5%, sendo o Rio Grande do Sul responsável por 6% da produção nacional de agregado, tratando-se em sua grande maioria de basaltos e diabásios.

O mercado consumidor de brita indica que 40% da extração nacional de agregados britados são destinados à pavimentação e órgãos públicos, 17% para concreteiras, 16% para revendedores e varejo e 5% para usos em enrocamentos e lastros (RIBEIRO, 2006).

Uma das justificativas para o elevado consumo de agregados britados pela pavimentação urbana ocorre pelo excelente desempenho mecânico e resistência a diferentes tipos de danos que o esqueleto mineral promove às misturas asfálticas. Diversos estudos associam o desempenho dos agregados graúdos em rodovias (Arnold, 1993; Castelo Branco et al., 2006; Bessa, 2012; Alves, 2014; Boeira, 2014;

Pazos, 2015) e em demais aplicações (Fiorentini, 2002; Frascá, 2003; Ribeiro, 2006) com a forma dos grãos (como cubicidade, angularidade, textura, etc.).

Os materiais rochosos são geralmente selecionados de acordo com sua disponibilidade e distância de transporte entre a pedreira e o local da obra. Por isso, em inúmeros casos há necessidade de exploração de novas jazidas de rocha próximas ao empreendimento ou a utilização de material com propriedades não tão desejáveis, visto que o custo de obtenção do material rochoso mais adequado poderia inviabilizar o empreendimento.

Dentro desse contexto, a caracterização geológica geotécnica é o passo inicial na aquisição de informações servindo, após criteriosa análise, à setorização e classificação geomecânica dos maciços para obras de taludes, barragens e jazidas de extração de rocha. A caracterização consiste de levantamento detalhado de informações geológicas, geotécnicas e físico-mecânicas do maciço rochoso a partir de investigações de campo seguidas de ensaios laboratoriais.

As análises laboratoriais dos testemunhos e futuramente, o controle de qualidade dos materiais granulares terão o objetivo de prever o comportamento dos agregados durante a vida útil dos pavimentos ou demais empreendimentos, e assim, selecionar materiais adequados para diferentes finalidades.

O estado da arte da pesquisa em agregados nunca foi extremamente sofisticado e tecnológico, entretanto, existem debates sobre pontos específicos como, por exemplo, quais as propriedades a serem medidas e qual sua variabilidade ao longo do tempo. Um estudo voltado para a avaliação de características tecnológicas de agregados utilizados em diversas áreas da engenharia (em particular na área de pavimentação) pode parecer, a princípio, desnecessário e redundante. Contudo, há necessidade de se melhorar o conhecimento sobre como devem ser analisados os materiais, a fim de obter-se as melhores informações sobre suas propriedades e características tecnológicas avaliadas, bem como sua adequabilidade para uso.

A pesquisa está inserida no Projeto da Rede Temática de Asfalto desenvolvido pela Petrobras e implementado na Universidade Federal de Santa Maria e em demais centros de pesquisas. O objetivo principal do projeto consiste no desenvolvimento de um método de dimensionamento de pavimentos asfálticos baseando-se no emprego de materiais e condições ambientais nacionais.

Dessa forma, a presente pesquisa visa complementar o estudo desenvolvido por Paiva (2017), contribuindo para o banco de dados nacional através do estudo de

diferentes agregados rochosos provenientes de diversas litologias encontradas no território Rio-grandense, associando suas origens geológicas às suas características físicas e geomecânicas, bem como do levantamento de parâmetros e correlações existentes entre os mesmos.

1.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades químicas, físicas e mecânicas de agregados graúdos oriundos de distintas províncias geológicas e geomorfológicas do RS, por meio de ensaios laboratoriais e de campo.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como forma de atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

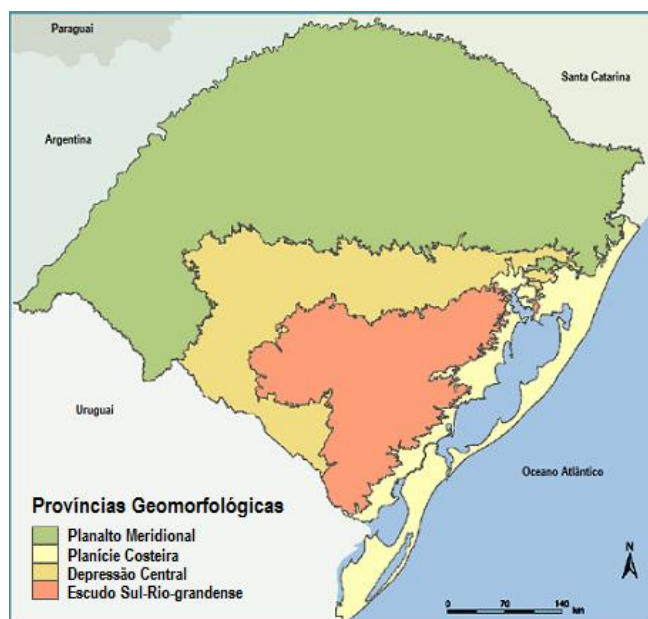
- a) Identificar as pedreiras a serem estudadas, tendo em vista a diversidade geológica e geomorfológica do Rio Grande do Sul;
- b) Determinar as propriedades tecnológicas dos diferentes agregados através dos ensaios laboratoriais de caracterização;
- c) Correlacionar as diferentes propriedades dos agregados e parâmetros obtidos através dos ensaios laboratoriais, verificando a existência de tendências lineares entre as mesmas para possível criação de um padrão de previsão do comportamento e desempenho de agregados, frente suas diferentes gêneses e estruturas;
- d) Comparar e utilizar os resultados laboratoriais encontrados na literatura, em especial, agregados minerais oriundos do RS;

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. PROVÍNCIAS GEOMORFOLÓGICAS DO RIO GRANDE DO SUL

No estado do Rio Grande do Sul, quatro grandes domínios morfoestruturais são conhecidos a partir das características geológicas e estruturais de suas rochas. Ao Norte do estado localiza-se o Planalto de Derrames, formado por derrames basálticos e caracterizado pelo relevo acidentado. Na costa Leste do estado situa-se a Planície Costeira, que é formada por terrenos arenosos e de baixa altitude. No entorno da fralda do platô localiza-se a Depressão Periférica que apresenta relevo e coxilhas suaves, planícies fluviais e possui como limite territorial o Escudo Sul-rio-grandense, que por sua vez, possui rochas do tipo ígneas, metamórficas e sedimentares (BECKER e NUNES, 2012) conforme é apresentado na Figura 2.1.1 que exhibe a localização dos quatro grandes domínios morfoestruturais do estado.

Figura 2.1.1 - Províncias Geomorfológicas do Rio Grande do Sul.



Fonte: Atlas Sócio-Econômico, (1998).

O Planalto Basáltico juntamente do Escudo Sul-rio-grandense representam as duas principais unidades litoestratigráfica com maior importância econômica para o estado, em virtude da mineração de ágatas e ametistas e pela extensa aplicação das rochas ígneas e metamórficas como material pétreo na construção civil. Dessa forma, apenas estas duas províncias citadas serão detalhadas a seguir.

2.1.1. Escudo Rio-Grandense

O Escudo Sul-rio-grandense é a área do estado do Rio Grande do Sul onde afloram materiais rochosos que, na sua maior parte, foram gerados durante o Pré-Cambriano. Constitui-se de rochas e/ou associações de rochas ígneas de composição granítica, as quais, são intrusivas em um conjunto de rochas metamórficas, representadas por extenso complexo de gnaisses, xistos e mármore recobertas por um pacote de espessura de rochas sedimentares intercaladas a rochas vulcânicas, cujas afinidades variam entre magma básicos a ácidos na forma de lavas e rochas piroclásticas (VIERO, 2010).

As idades, origens e evolução dessas associações litológicas são muito diversas, distribuídas em um complexo arranjo tectonoestratigráfico, controlado por lineamentos regionais que segmentam esse escudo em diversos compartimentos de afinidades geológicas distintas (VIERO, 2010).

Por serem muito antigas, essas rochas encontram-se em estado avançado de erosão, e as paisagens predominantes apresentam morros arredondados e dificilmente ultrapassam 300 metros (BECKER e NUNES, 2012). Em virtude de sua localização, são popularmente conhecidas no seu conjunto de serras do Sudeste, formado pelas serras de Caçapava, de Encruzilhada, dos Tapes e do Herval.

2.1.2. Planalto de Derrames

A província denominada Planalto de Derrames, é dominado por basaltos e basaltos andesíticos de afinidade toleítica distribuídos em uma pilha de derrames com até 2 km de espessura que perfaz mais do que 90% do vulcanismo. Este panorama magmático complexo é registrado em sua totalidade no território do Rio Grande do Sul, onde mais da metade da área do estado, na região setentrional, é recoberta por uma pilha vulcânica de derrames basálticos sobrepostos ou intercalados com unidade ácidas, que constituem a Formação Serra Geral da Bacia do Paraná (HOLZ e ROS, 2000).

O vulcanismo básico e intermediário da Bacia do Paraná no RS é constituído predominantemente por basaltos e andesi-basaltos. No conjunto, a espessura da pilha vulcânica básica cresce do oeste para leste, com valores máximos da ordem de 600 metros na escarpa da região Nordeste do estado, onde são identificados derrames

básicos, intercalados por até cinco unidades piroclásticas ácidas. Por sua vez, o pacote ácido da Bacia do Paraná é constituído por riolitos, riodacitos e quartzo-latitos que cobrem cerca de 50.000 km², onde a espessura máxima alcança 400 metros na porção central da escarpa meridional (HOLZ e ROS, 2000).

A elevação de maior destaque no Planalto Meridional é a Serra Geral, que no Rio Grande do Sul termina junto ao litoral, formando costas altas como as que aparecem nas praias da cidade de Torres, compreendendo rochas de caráter basáltico, cujo material se torna um excelente agregado para as obras de engenharia. É caracterizada por vales rasos coxilhas suaves que sem transição são substituídas pelos paredões verticais de rochas basálticas oriundas do vulcanismo fissural da Bacia do Paraná (GUSMÃO et al., 1990).

2.2. DIFERENTES TIPOS DE ROCHAS E SEUS MINERAIS CONSTITUINTES

A crosta terrestre é constituída essencialmente por rochas, cujos constituintes são, na maioria das vezes os minerais, podendo também constituir-se dos chamados mineralóides, como o vidro vulcânico, o carvão e demais compostos de origem orgânica. Para Leinz e Amaral (1975), minerais são todos e quaisquer compostos químicos resultantes de processos inorgânicos e composições químicas e usualmente são encontrados na crosta terrestre em forma sólida. Conforme os autores, as estruturas cristalinas que detém maior importância são os silicatos (SiO₄), representados pelas famílias dos feldspatos que perfazem 60% da totalidade dos minerais, seguidos pelos anfibólios e piroxênios com 17%. O quartzo detém 12% e as micas com 4%, os demais ocorrem em quantidades subordinadas.

Apresentam a tendência de se agregar às rochas obedecendo as leis físicas, químicas ou físico-químicas, dependendo das condições de formação do material rochoso, porém, esta agregação não se dá por acaso e tão pouco necessita da consolidação do maciço à qual será aderida (LEINZ e AMARAL, 1975). Como consequência da associação do mineral à rocha, cria-se unidades rochosas nitidamente individualizadas entre si, possuindo diferentes propriedades mecânicas, mineralógicas, físicas e químicas.

De posse de suas individualidades em adição à sua origem de constituição, distinguem-se em três grandes grupos: rochas magmáticas ou ígneas, rochas metamórficas e rochas sedimentares. Contudo, essa seção não irá englobar o estudo

de rochas sedimentar, visto que este material na maioria das vezes não apresenta propriedades satisfatórias para sua utilização como agregado.

2.2.1. Rochas Ígneas ou Magmáticas

As rochas ígneas ou magmáticas são originadas a partir do resfriamento e solidificação de material rochoso, parcialmente ou totalmente fundido, denominado magma, gerado no interior da crosta terrestre. A cristalização pode ocorrer tanto no interior da crosta terrestre quanto em sua superfície, gerando dois tipos distintos de rocha, as ígneas plutônicas ou intrusivas e ígneas vulcânicas ou extrusivas, respectivamente.

As rochas ígneas extrusivas são formadas na superfície terrestre, ou nas suas proximidades, pelo extravasamento explosivo ou não de lava, resultando em um material vítreo ou cristalino, de granulação fina a muito fina (textura afanítica), em virtude do rápido resfriamento da lava.

Quando o magma não é capaz de atingir a superfície terrestre, cristaliza-se em profundidades variáveis no interior de câmaras magmáticas, diques, sills, soleiras ou em fissuras geológicas originando rochas plutônicas (alta profundidade) ou hipoabissal (média profundidade). Em virtude da baixa velocidade de resfriamento do magma, os minerais presentes nestas rochas apresentam tamanho médio a muito grosso, atribuindo à rocha textura fanerítica (i.e., minerais constituintes podem ser individualizados a olho nú), como exemplificado na Figura 2.2.1 (NEVES et al., 2008).

As rochas com textura fanerítica podem ser ditas de granulação fina, média, grossa ou muito grossa conforme o tamanho dos grãos de seus minerais, fato diretamente relacionado ao ambiente de consolidação da rocha (tempo, profundidade, cristalização) e com a riqueza de fluídos presentes no magma. Quando todos os constituintes têm dimensões da mesma ordem de grandeza, têm-se textura equigranular, do contrário, textura inequigranular.

Figura 2.2.1 - (a) Granito: Rocha plutônica ácida, maciça, fanerítica equigranular fina; (b) Basalto: Rocha vulcânica básica, maciça, afanítica; (c) Granito: Rocha plutônica ácida, fanerítica inequigranular grossa; (d) Andesito: Rocha vulcânica, textura porfirítica.



Fonte: Autor.

Uma das classificações das rochas ígneas é através da composição química, baseando-se no teor de dióxido de silício (i.e., sílica), não somente sob a forma de quartzo, mas também combinado formando os silicatos. Assim, fala-se em rochas ácidas quando o teor de SiO_2 for superior a 65%; rochas neutras quando o ter de sílica variar entre 52% e 65% e rochas básicas na proporção de 45% a 52% (TEIXEIRA et al., 2009). A Tabela 2.2.1 engloba de maneira reduzida as diversas rochas e seus principais minerais constituintes.

Tabela 2.2.1 - Composição mineral média das rochas ígneas.

	Quartzo (d=7) (%)	Feldspato -Ortoclásio- (d=6) (%)	Feldspato -Plagioclásio- (d=6) (%)	Piroxênio -Augita- (d=5/6) (%)	Anfibólio -Hornblenda- (d=5/6) (%)	Biotita (d=2/3) (%)	Muscovita (d=2/3) (%)	Epídoto (d=6) (%)	Vidro (d=5/6) (%)
Granito	30	41	8	-	-	3	3	1	-
Diorito	8	7	30	3	27	4	0,1	5	-
Gabro	0,5	-	44	28	9	2	-	1	-
Diabásio	-	-	44	46	-	-	-	-	2
Riolito	32	45	3	-	0,7	3	2	2	0,4
Traquito	3	42	1	2	6	0,5	-	8	0
Andesito	0,6	-	48	14	3	-	-	3	13
Basalto	-	-	36	35	-	-	-	-	21

d= dureza do mineral

Fonte: Autor.

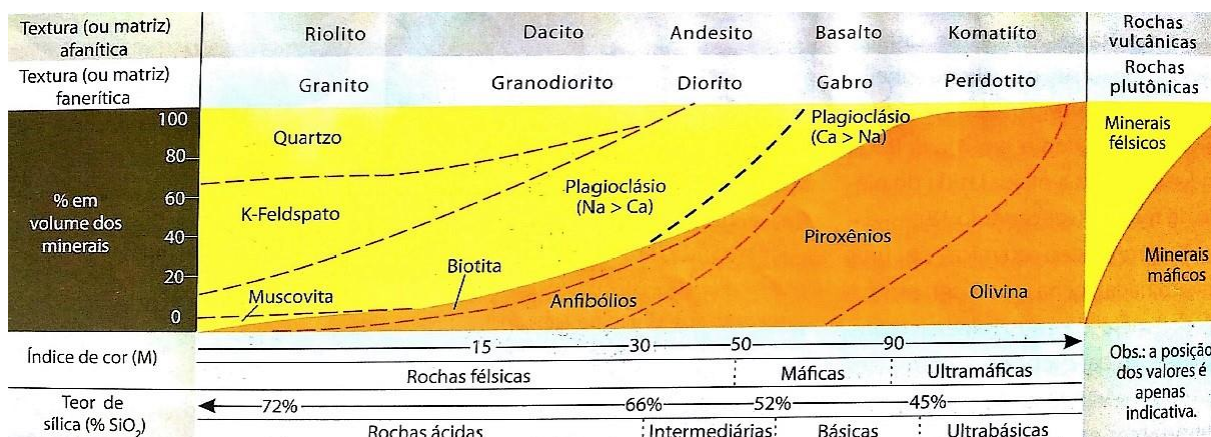
As rochas com cores mais escuras são mais ricas em minerais contendo magnésio e ferro (e.g., piroxênio, anfibólio) e são chamadas máficas, enquanto as mais claras são mais ricas em minerais com silício e alumínio e são denominadas félsicas. A maior ou menor alterabilidade das rochas depende da estabilidade química

dos minerais constituintes, rochas básicas e ultrabásicas tendem a se alterar quando expostas às condições atmosféricas pois seus minerais ricos em ferro e magnésio são mais suscetíveis à hidrólise (OLIVEIRA E BRITO, 1998).

Nesse sentido, ressalta-se o caso das rochas basálticas que, em geral, se alteram mais facilmente que os granitos, principalmente em condições úmidas. Esta maior alterabilidade dos basaltos ocorre porque os minerais essenciais (plagioclásios e piroxênios) são menos estáveis quimicamente que os do granito (quartzo, ortoclásio e mica biotita) para as mesmas condições físico-químicas ambientais (ARNOLD, 1993).

A Figura 2.2.2 demonstra a correlação entre o teor de sílica e o índice de cor das rochas ígneas. Nela também consta os principais minerais, sua porcentagem de volume, textura e forma de consolidação do magma.

Figura 2.2.2 - Relações entre índice de cor, teor de sílica, composição mineralógica e ambiente de cristalização das rochas ígneas (excluindo as alcalinas).



Fonte: TEIXEIRA et al., (2009).

De maneira geral, rochas plutônicas apresentam resistências elevadas em virtude da homogeneidade dos corpos rochosos, forte coesão de seus minerais e granulação mais grossa. Entretanto, para Oliveira e Brito (1998) rochas vulcânicas maciças tendem a apresentar melhores resistências mecânicas que as plutônicas, porém, a presença de amígdalas, vesículas e disjunções colunares tendem a diminuí-las. A Tabela 2.2.2 apresenta de forma resumida diversas rochas e seus respectivos comportamentos frente às propriedades de engenharia.

Tabela 2.2.2 - Resumo das propriedades de engenharia das rochas ígneas

	Resistência Mecânica	Durabilidade	Estabilidade Química	Característica Superficial	Presença de Impurezas
Granito, Sianito, Diorito	Boa	Boa	Boa	Boa	Possível
Basalto, Diabásio, Gabro	Boa	Boa	Boa	Boa	Raramente
Periodotito	Boa	Satisfatória	Questionável	Boa	Possível

Fonte: ROBERTS et al., (1996).

2.2.2. Rochas Metamórficas

As rochas metamórficas são resultantes da transformação, no estado sólido, de rochas preexistentes que, no decorrer dos processos geológicos, sofreram mudanças mineralógicas, químicas e estruturais, em resposta a alteração das condições de pressão, temperatura e fluidos mineralizantes impostas em profundidades.

Os agentes do metamorfismo provocam instabilidade nos minerais, que tendem a se transformar e rearranjar sob novas condições, podendo ocorrer desde a recristalização mineral, que compreende no aumento de tamanho e/ou modificação na forma externa, até as reações metamórficas mais intensas, que implicam no aparecimento de novos minerais (OLIVEIRA E BRITO, 1998). A rocha resultante de um processo metamórfico depende, essencialmente, da sua composição original, das condições de pressão e de temperatura envolvidos, ou seja, rochas de composição mineralógica diferentes (por exemplo, calcários, folhelhos, basaltos) irão apresentar mineralogia metamórfica diversa, mesmo quando submetidas a ações metamórficas semelhantes. A Tabela 2.2.3 exibe diversas rochas metamórficas juntamente de suas respectivas composições mineralógicas médias.

Os processos metamórficos desenvolvem diversas estruturas, podendo ser estrutura maciça, com lineações ou foliações. A foliação nas rochas proporciona graus variados de anisotropia mecânica (NEVES et al., 2008). Os principais tipos de foliação são: xistosidade, clivagens de fratura, ardosiana e de crenulação, bandamento.

Tabela 2.2.3 - Composição mineral média das rochas metamórficas.

	Quartzo (d=7) (%)	Feldspato -Ortoclásio- (d=6) (%)	Feldspato -Plagioclásio- (d=6) (%)	Piroxênio -Augita- (d=5/6) (%)	Anfibólio -Hornblenda- (d=5/6) (%)	Biotita (d=2/3) (%)	Muscovita (d=2/3) (%)	Epídoto (d=6) (%)
Quartzito	84	3	-	-	1	2	2	2
Feldspato-Quartzito	46	7	1	-	-	2	5	1
Hornblenda-Gnaiss	10	16	15	3	45	3	1	2
Granito-Gnaiss	37	32	3	-	-	7	11	2
Biotita-Xisto	34	13	3	-	1	38	3	2
Mica-Xisto	37	16	1	-	-	13	26	2
Ardósia	29	4	-	-	-	-	55	2
Mármore	3	0,2	0,2	-	-	-	Calcita: 96	-
Anfibolito	3	1	8	-	70	1	0,2	12

d= dureza do mineral

Fonte: Autor.

As rochas metamórficas são geralmente cristalinas, com os tamanhos dos grãos variando de fino a grosso, por exemplo gnaiss (granulação média a grossa), mármore (granulação fina a grossa) e ardósia (granulação muito fina), como exemplificado na Figura 2.2.3.

Figura 2.2.3 - Granito (ígneia plutônica) quando metamorfozizada dá origem ao Gnaiss; (b) Arenito (sedimentar) quando metamorfozizada dá origem aos Quartzito.



Fonte: Autor.

Dependendo do ambiente geológico e da extensão geográfica onde ocorrem as transformações, o metamorfismo pode ser classificado como: local (ou de contato), regional e dinâmico. O metamorfismo local (ou de contato) ocorre quase que exclusivamente pela ação do aquecimento das rochas ao redor de intrusões ígneas, gerando rochas maciças e não foliadas como tactitos e escarnitos. O metamorfismo regional, por sua vez, ocorre em extensas regiões, alcançando níveis profundos da crosta e frequentemente está associado a grandes volumes de rochas graníticas,

originando rochas como gnaisses e xistos. Por fim, o metamorfismo dinâmico predomina a deformação, em geral, acompanhada da redução na granulação e recristalização subsequente, gerando milonitos, por exemplo (OLIVEIRA E BRITO, 1998; NEVES et al., 2008).

As estruturas e texturas decorrentes das deformações, no metamorfismo dinâmico, reduzem de maneira sensível as qualidades físico-químicas das rochas, além de se configurarem propícias à alteração intempérica (OLIVEIRA E BRITO, 1998). A Tabela 2.2.4 apresenta um resumo de diversas rochas metamórficas e seus desempenhos frente as propriedades de engenharia.

Tabela 2.2.4 - Resumo das propriedades de engenharia das rochas metamórficas.

	Resistência Mecânica	Durabilidade	Estabilidade Química	Característica Superficial	Presença de Impurezas
Gnaisse, Xisto	Boa	Boa	Boa	Boa	Raramente
Quartzito	Boa	Boa	Boa	Boa	Raramente
Mármore	Satisfatória	Boa	Boa	Boa	Possível
Serpentinito	Satisfatória	Satisfatória	Boa	Satisfatória a Pobre	Possível
Anfibolito	Boa	Boa	Boa	Boa	Raramente
Ardósia	Boa	Boa	Boa	Pobre	Raramente

Fonte: ROBERTS et al., (1996).

2.3. INFLUENCIA DO TIPO LITOLÓGICO NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E GEOMECÂNICAS DOS AGREGADOS

O estudo da influência de diferentes propriedades petrográficas no comportamento ou desempenho da rocha frente à diversos ensaios laboratoriais é de fundamental importância para que as sobreposições nas propriedades medidas possam ser minimizadas e, dessa forma, criado um conjunto de ensaios laboratoriais capazes de englobar toda a gama de propriedades do material rochoso.

A Tabela 2.3.1 apresenta uma avaliação de diversas características petrográficas que concorrem na quantificação do comportamento e desempenho dos diferentes ensaios laboratoriais e, por conseguinte, na determinação dos parâmetros e índices físicos dos agregados que caracterizam suas diversas propriedades. Logo, o presente capítulo compreende o estudo das principais propriedades dos agregados minerais e a influência da litologia e estrutura do maciço rochoso frente suas características.

Tabela 2.3.1 - Características petrográficas que influenciam nos ensaios laboratoriais e seus respectivos índices físicos.

Ensaio Laboratorial	Feições Petrográficas												
	Densidade	Mineralogia	Compacidade	Porosidade	Dureza	Textura	Forma	Umidade	Anisotropia	Minerais Secundários	Microfraturas	Clivagem	Granulometria
Absorção de água		x	x	x						x	x		
Resistência à compressão			x		x	x		x	x	x	x	x	
Resistência à tração			x			x		x	x	x	x	x	
Dureza Shore		x	x	x	x			x			x		
Slake durability	x			x	x	x		x		x			
Degradação Washington	x	x	x	x			x		x				
Ciclagem água-estufa				x		x				x	x		
Gelividade			x	x		x		x			x		
Sanidade com sulfato			x	x			x		x	x	x		
Abrasão Los Angeles	x		x		x		x				x		x
Ensaio de Abrasão (aggregate abrasion value)			x		x	x	x				x		x
Índice de Forma (aggregate crushing value)	x	x		x	x	x				x	x	x	
Velocidade sônica			x	x				x			x		

x = Significativo para o resultado do ensaio

Fonte: Adaptado de FOOKES et al., (1988).

2.3.1. Durabilidade e Sanidade

O intemperismo constitui um conjunto de processos operantes na superfície terrestre que acarretam na decomposição e desagregação dos minerais, graças aos agentes atmosféricos e biológicos. Diversos fenômenos reagem em íntima correlação nos processos intempéricos, podendo ser físicos, químicos, biológicos ou físico-químicos, agindo separadamente ou conjuntamente, dependendo das condições climáticas locais e da rocha, entre outros.

Uma das resultantes deste processo é a variação nas propriedades e conseqüentemente nos índices físicos do material rochoso. Lopes et al. (2007) constatou que o aumento da porosidade e do índice de vazios juntamente com redução do peso específico seco constituem importantes indicadores do processo de alteração sofrido pelas rochas. As mesmas constatações foram obtidas por Morticeli

et al. (2014), que ao correlacionar os índices físicos e a análise petrográfica na determinação do grau de alteração de um gnaiss, constatando que com o incremento da alteração, o número e a dimensão dos vazios tendem a aumentar. Desta forma, as propriedades mecânicas sofrem efeito desfavorável, traduzido pela queda das características de resistência com o avanço da intensidade da alteração

Além da variação no desempenho mecânico das rochas, o intemperismo também gera deterioração na superfície do material podendo ser em sua forma física e/ou química, ou da camada superficial onde materiais porosos são incluídos, resultando em numerosos efeitos visíveis e invisíveis como: descoloração, formação de crostas e manchas ferruginosas, escurecimento superficial, produção de cavidades, descamação superficial e fragmentação (NASCIMENTO, 1970; AIRES-BARROS, 1971; ROCHA, 1971; FARJALLAT, 1972; YOSHIDA, 1972).

Outro aspecto associado e que auxilia na alteração das rochas é a sua permeabilidade. Conforme Roisenberg (1974): “a alterabilidade apresenta relação direta com a permeabilidade da rocha. Rochas muito compactas, são pouco susceptíveis à alteração”. Ou seja, a nível microfissural, a presença de macro e microfissuras no derrame rochoso permitem a ocorrência de reações químicas entre a rocha e a água percolada, podendo modificar as características de porosidade e permeabilidade do material (FARJALLAT, 1972; FRAZÃO, 1993; MARRANO, 1997).

Desse modo, a água percolada pode atingir de forma acelerada os argilominerais expansivos presentes nos poros ou fissuras, acelerando ainda mais os processos de desagregação, devido às tensões de tração originadas pelo aumento de volume dos argilo-minerais com a absorção de água.

Back (2015) constatou que a presença de elevado fraturamento no maciço, gerado pela presença de disjunções em adição ao estado de alteração do material irá incorporar baixas resistências químicas, uma vez que a face exposta da parede sempre estará presente em uma ou duas faces do agregado britado, aumentando amplamente a superfície específica exposta à ação dos agentes intempéricos.

Características como espaçamento, natureza, persistência e abertura de descontinuidades, juntamente com as condições de tensão do maciço, são muito importantes para definir a influência do fraturamento na alterabilidade de material rochoso (PRICE, 1995). Em adição, Rodrigues (1977) constatou que observações de natureza petrográfica e petrológica sobre a alteração de minerais indicam que o

comportamento futuro desses materiais dependerá muito mais do estado atual de alteração dos minerais constituintes que propriamente da natureza desses minerais.

Frascá e Yamamoto (2014) buscaram simular e posteriormente quantificar a deterioração de forma acelerada de rochas graníticas em edificações, para tanto, realizaram ensaios experimentais com diversos tipos de agentes degradantes e concluíram que mesmo se tratando de um grupo de rochas com composição mineralógica e feições texturais e estruturais semelhantes, fatores como estado microfissural e minerais preexistentes tem importância fundamental na alterabilidade, e conseqüentemente na durabilidade, de rochas graníticas empregadas na construção civil. Demais autores complementam que o grau de alteração está diretamente associado à superfície específica exposta aos agentes degradantes (AMOROSO E FASSINA, 1983; MACIEL FILHO e NUMMER, 2014; BACK 2015).

Na área da geologia de engenharia, o termo alteração está fundamentalmente relacionado ao efeito do intemperismo. Entretanto, não se pode misturar as definições de “alteração intempérica” com “alterabilidade e durabilidade”, cuja primeira se caracteriza pela deterioração/modificação dos minerais e rochas causado pelas condições atmosféricas reinantes na superfície terrestre. No que diz respeito à alterabilidade, é a aptidão que um material possui em modificar suas propriedades em função do tempo, este que, considerado na alteração intempérica como geológico, na alterabilidade é considerado um tempo humano, ou seja, os fenômenos ocorrem concomitantemente ao uso, à escala do homem e das suas obras de engenharia (NASCIMENTO, 1970; ROCHA, 1971; AIRES-BARROS, 1991; FIORENTINI, 2002; FRASCÁ, 2003).

Logo, pesquisadores como Irfan e Dearman (1978); Cole e Sandy (1980) aconselham a utilização de índices petrográficos baseados na proporção de minerais são e alterados, além de aspectos texturais, para a quantificação da durabilidade de rochas. Sendo assim, Aires-Barros (1991) define a alterabilidade (M), como mostra a Equação 2.1:

$$M = f(i, e, t) \quad (\text{Eq. 2.1})$$

onde: i = fatores intrínsecos, dependentes do tipo litológico do material (e.g., granulometria, grau de fraturamento, porosidade, mineralogia); e = fatores extrínsecos, função do meio em que se processa a alteração (e.g., temperatura, pH, clima, frequência pluviométrica, forças bióticas) e t = tempo.

Os produtos das combinações desses fatores geram materiais rochosos com diversos graus de intemperização, e por consequência, as características tecnológicas das rochas irão refletir a essas variações. Nas suas duas condições extremas de atuação, o intemperismo pode ser classificado como químico e físico.

A despeito do intemperismo físico ser distinto do intemperismo químico, na maioria das vezes ocorrem simultaneamente ambos os processos. Este último é auxiliado pela quebra mecânica que leva ao rápido aumento das superfícies minerais, promovendo o pronto acesso de oxigênio e umidade e aceleração do processo, cuja taxa depende predominantemente do clima.

Como os mecanismos de intemperismo químico (e.g., hidratação, hidrólise, oxidação, etc.) estão associados à presença de água, esta deve entrar em contato com os minerais da rocha sendo sua ação tanto quanto maior a superfície de contato, provocando a alteração dos minerais primários e levando a formação de minerais secundários, dentre os quais se destacam os argilominerais e os óxidos ou hidróxidos de ferro.

De maneira geral, as principais consequências da alteração de origem intempérica são (PRICE, 1995; OLIVEIRA, 2012):

a) Intemperismo Químico:

- Minerais secundários transformados (modificação química nos minerais com preservação de sua estrutura);
- Minerais secundários neoformados (recristalização dos minerais);

b) Intemperismo Físico:

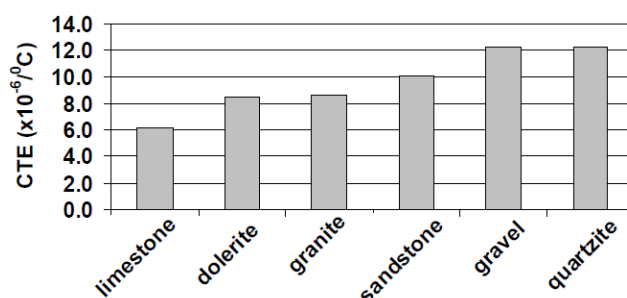
- Fragmentação da rocha pela variação de temperatura e umidade;
- Crescimento de cristais de sal no interior dos poros (poluição atmosférica);
- Hidrólise dos minerais ferrosos (físico-químico);

Dentro da escala de tempo de vida útil das obras de engenharia, o intemperismo físico exerce o papel predominante no processo de intemperização das rochas dado principalmente pelas mudanças de temperatura que possibilita variação no volume dos minerais constituintes, devido aos diferentes coeficientes de expansão térmica (CTE). Em um mesmo mineral também pode haver mudança deste coeficiente que pode variar conforme a direção considerada (i.e., paralelamente ou perpendicularmente ao eixo óptico) (LEINZ E AMARAL, 1975).

Tanesi e Meininger (2007) analisaram o desempenho de 1800 rodovias de Concreto de Cimento Portland (CCP) como parte do programa de desempenho de

pavimentos perpétuos e concluiu que valores de CTE podem variar significativamente para o mesmo tipo de agregado, inclusive àqueles coletados em um mesmo estado. Fato justificado pelas diferenças na mineralogia do agregado (LAMOND E PIERLERT, 2006), diferenças nas proporções da mistura e possível variabilidade do ensaio. A Figura 2.3.1 ilustra os coeficientes de expansão térmica de algumas rochas.

Figura 2.3.1 - Coeficiente de Expansão Térmica de diferentes tipos de rochas.



Fonte: Neville (1996)

O coeficiente de dilatação térmica pode ser definido como a variação do comprimento unitário por grau de variação de temperatura e é fortemente influenciado pelo tipo de agregado utilizado na mistura (AASHTO, 2004), visto que compreendem tipicamente 80% do volume de CCP. No entanto, o coeficiente é também função do volume de pasta de cimento, teor de umidade, porosidade e grau de hidratação. Neville (1996) propõe uma equação para mensurar o CTE de diferentes concretos, tendo em vista as proporções das misturas, bem como o coeficiente dos materiais utilizados, como exemplifica a Equação 2.2:

$$\alpha_{CCP} = \alpha_{AF} * V_{AF} + \alpha_{AG} * V_{AG} + \alpha_P * V_P \quad (\text{Eq. 2.2})$$

Onde:

α_{AF} = Coeficiente de expansão térmica do agregado fino;

V_{AF} = Volume relativo do agregado fino na mistura;

α_{AG} = Coeficiente de expansão térmica do agregado graúdo;

V_{AG} = Volume relativo do agregado graúdo na mistura;

α_P = Coeficiente de expansão térmica da pasta cimentícia;

V_P = Volume relativo da pasta na mistura;

A implementação de novas ferramentas de previsão do desempenho dos pavimentos baseando-se em princípios empírico-mecanicistas proporcionou a oportunidade de analisar as características de serviço dos projetos de pavimentos rígidos antes da fase de projeto final bem como para a reabilitação de rodovias. Um dos principais aspectos validados nos diversos guias de projetos desenvolvidos pela AASHTO em parceria com a FHWA (AASHTO, 2003) foi a devida mensuração do CTE utilizado como fator de entrada para a análise mecanicista do pavimento e futuramente previsão de seu dano.

McCarthy et al., (2015) quantificou o efeito deste coeficiente na vida útil prevista e na espessura otimizada do pavimento, concluindo que uma variação em um valor de CTE de $\pm 0,9 \mu\epsilon/^\circ\text{C}$ para uma dada mistura cimentícia pode acrescer na espessura de placa de 1,3 a 2,5 cm, ou aumentar a vida de serviço do pavimento entre nove até vinte e quatro anos, dependendo do projeto. Em adição, um erro na determinação do CTE de $+0,5 \mu\epsilon/^\circ\text{C}$ resultou na redução de aproximadamente três anos na vida de serviço, enquanto um erro na determinação do CTE de $-0,5 \mu\epsilon/^\circ\text{C}$ resultou em um aumento acerca de doze até vinte e um anos na vida útil do pavimento.

No entanto, o novo guia de projeto mecânico-empírico a ser implementado no Brasil não inclui em suas especificações de materiais ou na concepção de pavimentos de Concreto de Cimentos Portland este coeficiente de dilatação, apenas leva em consideração o efeito do CTE na abertura de juntas, deformações térmicas em lajes de pavimentos de concreto simples com juntas serradas e no espaçamento e na largura das fissuras dos pavimentos de concreto continuamente armado que, por sua vez, afeta a eficiência de transferência da carga e o número de punchouts que se desenvolvem (MALLELA et al., 2005; TANESI E MEININGER, 2007).

Como citado anteriormente, a pasta de cimento e os agregados constituintes detêm diferentes propriedades de expansão térmica, o que leva a diferentes alterações volumétricas do concreto sob acelerada variação de temperatura. O stress interno é assim gerado, causando rachaduras de concreto na escala micro ou macro (FU et al., 2004a; FU et al., 2004b). Desse modo, tensão interna do concreto causada pelas variações de temperatura pode ser reduzida baseando-se na correta utilização litológica do agregado mineral, cujos coeficientes de expansão térmica coincidem com o da pasta de cimento (ZHONG-HE et al., 2010).

2.3.2. Dureza, Resistência Abrasiva e Tenacidade

Uma das principais propriedades física dos minerais para Leinz e Amaral (1975) é a dureza, que se caracteriza pela resistência que um mineral oferece a uma ponta aguda que tende a riscá-lo. Os autores também citam que para a comparação da dureza dos diversos minerais usa-se uma escala relativa de dureza conhecida como Escala de Dureza de Mohs, na qual os intervalos não obedecem à proporcionalidade dos números. Assim, o mineral mais duro, que é o diamante (dureza 10), é cento e quarenta vezes mais duro que o corindon (dureza 9).

Em 1949, Bendel implementou sua classificação de rochas adequadas ao uso em pavimentação baseando-se na correlação entre a resistência à compressão simples das rochas e na frequência relativa de minerais duros, utilizando a escala de dureza Mohs de resistência ao risco, como é mostrado na Tabela 2.3.2.

Tabela 2.3.2 - Classificação para rochas segundo sua dureza.

Rc média (kg/cm ²)	Teor de Minerais mais duros que aço (%)			
	0 - 25	25 - 50	50 - 75	75 - 100
> 2200	meio dura	dura	dura	muito dura
1800 - 2200	meio dura	meio dura	dura	dura
1400 - 1800	meio dura	meio dura	meio dura	dura
1000 - 1400	mole	mole	meio dura	meio dura
600 - 1000	mole	mole	mole	meio dura
< 600	muito mole	mole	mole	mole

Fonte: MELLO, (2014)

Dessa forma, tomou-se como minerais duros aqueles com resistência ao risco acima de 5, uma vez que o aço apresenta dureza aproximada entre 5 e 5,5 e, portanto, os minerais ditos duros seriam aqueles não riscáveis pelo aço. A classificação para as rochas se dá pelo teor de minerais que possuem dureza maior ou menor que o aço, sendo nomeadas rochas duras os granitos, sienitos, dioritos, pórfiros, basaltos, quartzitos, eclogitos e de rochas moles os calcários, arenitos, dolomitos, xistos, tufos (FRASCÁ, 2003).

Algumas décadas mais tarde, West (1981, 1989) apontou em sua pesquisa que a determinação da abrasividade poderia ser dividida em dois métodos, sendo eles petrológicos e mecânicos. Para os métodos petrológicos, o autor citou a determinação

de dureza pela escala de Mohs e pelo conteúdo de quartzo e sílica presentes na rocha. Embora a utilização da escala de Mohs esteja ligada à medida de dureza, o autor a utiliza para a avaliação da abrasividade, descobrindo através de seus estudos um alto grau de correlação entre ambas.

O estado da arte apresenta demais parâmetros petrológicos existentes para classificar níveis de dureza como o método Shore (dureza ao choque ou ressalto), Rockwell e Vickers (dureza por penetração) porém, estas classificações e em especial o método Vickers são empregados nas especificações de ligas de ouro, materiais friáveis e estruturas dentárias (SOPRANO, 2007).

Ribeiro (2010) apresentou novas categoriais de diferentes métodos para estimar a abrasividade de rochas e minerais, podendo ser divididos em três categorias: Métodos indiretos que avaliam a abrasividade através da combinação de diversas propriedades fundamentais da rocha (e.g. resistência à compressão, dureza); Métodos diretos que mensuram a abrasividade através de testes padronizados em condições controladas, produzindo movimentos relativos da amostra em contato com a ferramenta de desgaste e abordagem holística que analisa a abrasividade através de propriedades fundamentais da rocha juntamente com parâmetros e condições ambientais.

Com relação aos métodos mecânicos, West (1981, 1989) apresentou os ensaios de arco de serra, de desgaste de ferramenta e de abrasão modificada de Taber como ensaios a serem empregados no estudo de rochas. Todavia, no momento presente, os ensaios laboratoriais empregados para a determinação das propriedades abrasivas, de dureza e tenacidade são mais abrangentes e possuem seus próprios parâmetros de análise, visto que promovem esforços diferenciados na amostra testada, como por exemplo: abrasão LA mede-se a resistência ao impacto e abrasão; perda ao choque no aparelho Treton mensura a tenacidade do material; resistência ao esmagamento determina a resistência à compressão do material confinado, etc.

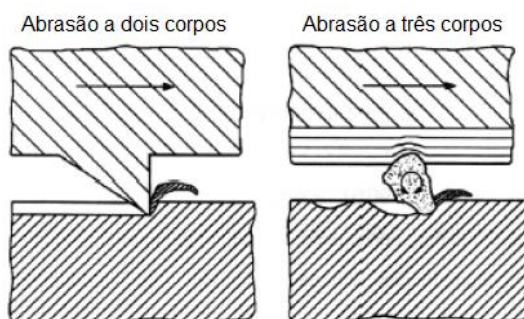
Levantamentos realizados nos Estados Unidos por Kandhal et al. (1997) e Wu et al. (1998) indicaram que 94% dos estados americanos utilizam o ensaio de abrasão Los Angeles ou alguma de suas variações como forma de definição das propriedades abrasivas de seus materiais. Entretanto, Roberts et al. (1996) evidencia que este ensaio não apresenta uma precisa correlação com o desempenho de campo, principalmente para escórias, cinzas vulcânicas ou agregados leves, uma vez que muitos destes agregados produzem excelente desempenho mesmo com valor de

abrasão LA alto. DNIT (1998) e Rogers (1998) complementam em seus estudos que este ensaio é muito severo quando aplicado para estudos rodoviários, em adição, Rogers conclui que abrasão LA quantifica mais a resistência do material em relação à quebra do que a abrasão propriamente dita, uma vez que o resultado do ensaio é relação entre a massa inicial e a massa perdida, desconsiderando a forma das partículas após a rotação do tambor.

Al-Harhi (2001) ao correlacionar o grau de relacionamento entre os ensaios laboratoriais de Compressão Puntiforme, Resistência ao Esmagamento, Impacto Treton e Abrasão LA verificou tendências mais consistentes quando os valores de índices de carga pontual foram plotados contra os valores de esmagamento e impacto do que quando comparados com os valores de abrasão do LA.

No processo do desgaste abrasivo ocorre o movimento relativo entre um corpo duro e uma superfície mais mole, neste processo, tanto o corpo duro pode ser fraturado como a superfície mais mole pode ser fraturada, resultando em mensurável perda de volume. Podendo ocorrer entre dois ou a três corpos, como apresenta a Figura 2.3.2.

Figura 2.3.2 - Desgaste abrasivo a dois e a três corpos.



Fonte: ZUM-GAHR, (1987).

O desempenho mecânico do material frente aos ensaios laboratoriais de desgaste provocado por cargas abrasivas, pelo atrito interno ou pela perda ao choque é dependente do tipo e quantidade dos vários constituintes minerais, especialmente do conteúdo de quartzo, da resistência das ligações existentes entre os grãos minerais e da compacidade das rochas (AKTINSON, 1993; FIORENTINI, 2002; BACK, 2015).

Kazi & Al-Mansour (1980) ao estudar a influência dos fatores geológicos nas características de abrasividade e dureza de agregados oriundos de rochas ígneas de origem vulcânica e plutônica com composições ácidas e básicas, concluíram que o

tamanho dos grãos e o volume dos poros foram os fatores geológicos mais significativos para se avaliar os parâmetros de abrasão e dureza. Ou seja, rochas de granulação fina, quando comparadas com rochas de granulação grossa dada uma mesma porosidade, mostraram-se mais sólidas e mais resistentes ao desgaste.

A variação do CTE dos diferentes minerais que compõem uma rocha também podem contribuir em uma pequena parcela no desempenho mecânico do material rochoso, em decorrência da fadiga originada pelo contínuo aquecimento e resfriamento podendo ocasionar inclusive desagregação mecânica (LEINZ E AMARAL, 1975)

Howarth & Rowlands (1987) a fim de estabelecer propriedades de resistência e perfurabilidade de rochas, elaboraram uma medida quantitativa envolvendo aspectos texturais (de arenitos, mármore e granitos) obtidos através de análises de lâminas petrográficas. Os autores determinaram que as feições texturais que afetam a resistência e perfurabilidade da rocha são: tamanho de grão, porosidade, forma e grau de interligação dos minerais, orientação dos grãos e a natureza dos contornos dos grãos.

Mesquita (2002) verificou que as correlações entre os parâmetros físicos, mecânicos e de alterabilidade revelam nitidamente que o comportamento dos granitos é controlado diretamente pela conjugação dos aspectos composicionais, texturais e estruturais das rochas. Verificou que a resistência mecânica é uma propriedade vetorial variável com a direção de aplicação dos esforços em função da disposição da anisotropia planar, definida principalmente pelos planos de extração dos blocos.

O estado de alteração intempérica também influi diretamente no comportamento mecânico. Maia et al. (2002) ao estudar enrocamentos de rochas basálticas, detectou que os processos de alteração causam uma redução na resistência superficial das partículas (perda de aderência das fissuras), apresentando influência direta na deformabilidade (aumenta o nível de fraturamento das partículas) e na resistência mecânica do enrocamento como meio granular.

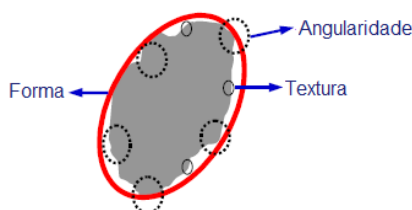
Alves et al. (2015a, 2015b) ao realizar sua pesquisa com foco na resistência mecânica em função das características geológicas, investigando diferentes tipos litológicos como o granito, o gnaisse granítico e o sienito/traquito concluiu os seguintes fatores:

- 1- Mesmo detendo maior heterogeneidade de materiais (apresentou três tipos diferentes de rocha) foi a pedreira que apresentou maiores desempenhos mecânicos, em virtude da granulação fina e afanítica de seus materiais;
- 2- A rocha com o pior desempenho mecânico apresentava coloração esverdeada causada pela cloritização de biotitas e feldspatos, alta quantidade de micro-fraturas em seus cristais, bem como elevada quantidade de muscovita oriunda de processos de alteração;
- 3- Quanto maior a granulação, maior a possibilidade de haver pontos de fraquezas nos minerais, aumentando a ocorrência de micro-fraturas nos minerais e consequentemente diminuindo a resistência mecânica.

2.3.3. Forma, Angularidade e Textura Superficial da Partícula

A forma da partícula do agregado, sua textura superficial e presença ou ausência de angularidade interferem na resistência ao cisalhamento de solos, dosagem de concreto, adesão entre pastas de cimento e agregado, propriedades resilientes de pavimentos, etc. As três características supracitadas englobam a correta caracterização física da forma do agregado britado, como apresenta a Figura 2.3.3 (MASAD et al., 2005; CASTELO BRANCO et al., 2006).

Figura 2.3.3 - Componentes do agregado: Forma, Textura e Angularidade



Fonte: MASAD, (2005).

A angularidade ou arredondamento das partículas é definida de acordo com o grau de amaciamento dos cantos ou arestas vivas. Está diretamente associada à estabilidade e trabalhabilidade das misturas asfálticas e concretos hidráulicos. Agregados angulares proporcionam maior intertravamento e atrito interno entre suas partículas, gerando pavimentos homogêneos e mais resistentes (GOUVEIA E FERNANDES JR, 2006; BERNUCCI, 2007). Entretanto, para Gouveia (2006), partículas com cantos arredondados possuem melhor trabalhabilidade requerendo

menor esforço de compactação para atingir a densidade necessária, porém, há grande probabilidade de incidência de deformações permanentes na rodovia, uma vez que a mistura pode vir a ser compactada com a ação do tráfego.

Souza (2009) salienta que um aumento na angularidade do agregado graúdo proporciona também um aumento na vida de fadiga do pavimento, Zeghal (2009) adiciona que a perda de angularidade gerou diminuição de quase 50% no módulo de resiliência de seu material, bem como um aumento de 113% para 291% (dependendo do estado de densidade e tensão considerada) nas deformações permanentes do pavimento.

Agregado redondos e lisos tendem a deslizar entre si quando submetidos a uma carga, sofrendo cisalhamento e futuramente a deformação permanente do pavimento. Comportamento este que os agregados ásperos não apresentam, uma vez que ocorre intertravamento entre suas partículas (PEREIRA, 2010).

No caso das propriedades do concreto hidráulicos fresco, a grande incidência de agregados com formatos inadequados também tende a diminuir a resistência da mistura, aumentando o índice de vazios e conseqüentemente a necessidade de utilização de mais cimento para uma mesma resistência desejada (RIBEIRO, 2006). No que diz respeito ao lastro ferroviário, o formato do agregado influencia diretamente no arranjo geométrico e na resistência a compressão exigida pela estrutura, onde agregados inequigranulares podem comprometer o arranjo para alcançar a geometria ideal, o que também pode ser um problema em casos de obras de contenção (ALVES, 2014).









Sob a incidência de impacto gerado por britadores em praças de britagens, rochas uniminerálicas produzem agregados com arestas vivas e superfícies lisas, com pouca ou nenhuma microtextura. Se estas rochas forem de origem metamórfica, o agregado produzido apresenta tendência de reter arestas bem definidas e superfícies de microtextura compatível com a divisão dos grãos. No caso das rochas pluriminerálicas, a tendência é de possuir arestas mal definidas e superfícies microtexturadas, inclusive, se estas rochas forem ígneas de granulação grossa a muito grossa, produzem agregados de textura bastante variada (FERNANDES e DOMINGUES, 1998).

Deve-se salientar que as características de esfericidade e de angularidade não podem ser confundidas, a esfericidade está relacionada com a forma da partícula e o arredondamento com a angularidade e textura superficial (vide Figura 2.3.4), de

maneira que independentemente de sua forma as partículas podem apresentar angularidade distintas, ou seja, ter arestas agudas ou arredondadas (GOUVEIA, 2006; GOUVEIA E FERNANDES JR, 2006)

Junqueira (1994), Oliveira (2003), Roseno et al. (2005) ao determinarem o índice de forma através de dois ensaios distintos utilizando rochas de natureza calcária concluíram uma tendência à forma alongada ou lamelar da rocha carbonática, inclusive quanto menor o diâmetro da fração ensaiada maior a predominância à lamelaridade. Mostrando que o aspecto lamelar e alongado é uma característica intrínseca deste tipo de formação rochosa, decorrente da disposição contínua e horizontalmente paralela dos planos de fraqueza na rocha calcária existentes nas rochas carbonáticas utilizadas no processo de britagem. Back (2015) obteve conclusões semelhantes ao trabalhar com rochas ígneas, sendo o alto índice de forma justificado pelo fluxo horizontal que a lava gera após o derrame vulcânico, bem como da presença de disjunções horizontais que influenciam diretamente no processo de britagem do agregado.

Figura 2.3.4 - Avaliação visual dos graus de esfericidade e de arredondamento.

Grau de esfericidade	Alto				
	Baixo				
		Angularo	Subangularo	Subarredondado	Arredondado
		Grau de arredondamento			

Fonte: NBR 7389/09

Guimarães et al. (2016) cita que a correta descrição da textura superficial das rochas está ligada ao grau de cristalização de seus minerais constituintes, ao tamanho absoluto dos grãos, à forma dos cristais e a relação mútua entre as características supracitadas. A grosso modo, o autor conclui que a textura superficial depende essencialmente do tamanho relativo dos grãos de seus minerais, assim, as rochas formadas por macrocristais de estrutura cristalina distinta, como os granitos, tendem

a desagregar mais facilmente sob a ação de esforços mecânicos do que os basaltos de textura afanítica.

A textura superficial atua diretamente no desempenho de misturas asfálticas e de cimento Portland, uma vez que está diretamente relacionada à propriedade de cisalhamento, trabalhabilidade, adesividade e de atrito, que por sua vez, estão correlacionadas com a resistência à derrapagem que o pavimento asfáltico irá fornecer ao usuário. Em adição, o uso de agregado com textura superficial rugosa gera misturas asfálticas mais estáveis e resistentes ao acúmulo de deformações permanentes, no entanto, há tendência de redução da trabalhabilidade da mistura e aumento do teor de projeto de ligante asfáltico (MATTOS, 2009; RODRIGUES, 2013).

No estudo de concreto hidráulico, a presença de rugosidade na textura do agregado aumenta a resistência mecânica da mistura, contudo, há gasto em demasia de cimento, dessa maneira, opta-se por agregados que apresentem textura intermediária que equilibre o ganho de resistência com a diminuição do volume de vazios. Para o uso em lastros ferroviários, a elevada necessidade de altas resistências abrasivas e de compressão exigem que o material apresente elevada rugosidade. Esse ganho de resistência mecânica devido à alta rugosidade é válido também para partículas aplicadas como estruturas de gravidade em contenções de encostas (ALVES, 2014).

O autor acrescenta que a textura equigranular e o maior tamanho dos minerais constituintes da rocha geram agregados finos mais angulosos e agregado grossos mais esféricos, do contrário, ao estudar rochas inequigranulares, a produção de finos angulosos foi um pouco inferior. Em adição, rochas metamórficas tendem a ser mais rugosas que as rochas ígneas, que se apresentarem granulação afanítica produzem agregados com superfícies lisas.

Os métodos de avaliação das três características que englobam a correta caracterização física da forma do agregado britado que estão sendo utilizados atualmente possuem diversas limitações, são trabalhosos, subjetivos e não englobam a correta separação das influências de angularidade e textura. A título de exemplo, Pereira (2010) mostra estudos em que agregados grossos que apresentam alta textura nem sempre possuem alta angularidade.

Como forma de otimizar e aprimorar a análise das características do agregado, técnicas de processamento de imagens digitais são realidade na indústria de pavimentação. Tem-se como exemplo desta metodologia o sistema "Aggregate

Imaging System 2” que permite a obtenção de resultados acurados e precisos. O AIMS 2 é um método direto para análise da forma dos diversos tipos de agregados, dentre suas vantagens pode-se citar: (i) sistema automatizado que realiza análises em 2D e 3D, (ii) é capaz de separar as características forma, angularidade e textura, (iii) análise baseada em métodos científicos (CASTELO BRANCO et al., 2006).

2.3.4. Porosidade e Absorção

Geralmente designados índices físicos, as propriedades de porosidade, absorção de água e densidade são consideradas pela literatura características variáveis com o nível de alteração do material e de seu estado fissural, dessa forma, são fatores determinantes para a resistência mecânica e durabilidade da rocha (GOMES, 2001). A compreensão destas propriedades é essencialmente importante para a correta utilização de materiais que garantam a devida estanqueidade de estruturas como barragens e túneis, por exemplo.

As diversas rochas, em seu estado natural, se comportam como um conjunto de minerais interligado que ocupam uma área preestabelecida, que por sua vez, é constituída pelos minerais, bem como, dos vazios presente entre eles. Os vazios são constituídos de poros e fissuras, sua elevada ocorrência acarreta em menor compacidade do material, que reflete na massa específica do agregado e consequentemente em sua porosidade.

Do ponto de vista mecânico, um pequeno aumento na fração de volume de vazios pode produzir efeitos mecânicos apreciáveis na rocha, tais como a redução da resistência e o aumento da deformabilidade (ISRM, 2007). Dessa forma, o tamanho e a distribuição dos poros no agregado pode ser considerado duas das principais propriedades e, ao mesmo tempo, as mais difíceis de serem determinadas (GOUVEIA et al., 2004).

As diferentes pressões de formações das rochas influenciam diretamente no comportamento poroso do material britado. Rochas metamórficas de composição original granítica, a isorientação mineral (e.g. lineações, xistosidade) constitui planos de descontinuidade que podem contribuir para o incremento da porosidade. (FRASCÁ, 2003). As rochas ígneas plutônicas, em geral, apresentam baixas porosidades em virtudes da elevada pressão e temperatura de formação, seus poros

são representados principalmente pelas microfissuras, alterações em minerais, contato entre grãos, etc.

Gouveia et al. (2004) ao analisar rochas de mesma composição química constatou que agregados de granulação grossa apresentam mais interstícios (i.e., poros) entre seus cristais, facilitando a penetração no interior das partículas do agregado. Guerra (2011) adiciona que valores de porosidade variam conforme as diferentes rochas, mesmo que pertençam ao mesmo grupo genético, dessa forma, a porosidade para um mesmo grupo de rocha não está diretamente relacionada com sua composição química, uma vez que pode variar segundo sua profundidade, sua idade geológica e seu grau de intemperismo, como constatado por Paiva (2017) em seu estudo sobre rochas ígneas vulcânicas ácidas e básicas da porção central do RS. Inclusive, Frascá (2003) evidencia a ocorrência de correlação negativa entre a densidade, porosidade e absorção, ou seja, quanto menor a densidade do material, maior sua absorção de água.

Pode-se determinar a porosidade dos agregados de forma direta ou indiretamente. ISRM (2007) compila diversos métodos e elucida que a aplicação de cada método depende das características da rocha e da geometria do corpo de prova. Dependendo do método utilizado, a porosidade pode ser definida como total ou aparente. A porosidade aparente não considera o volume dos poros interligados, já a porosidade total se define pela razão entre a densidade aparente e a real, ou seja, considera o volume de vazios acessível à passagem de fluídos e o volume dos poros fechados, sendo assim um indicador da capacidade de absorção máxima do agregado, o que na prática, pode nunca vir a acontecer (FRASCÁ, 2003).

2.3.5. Afinidade ao Ligante Asfáltico

O fenômeno da adesão ocorre pela afinidade desenvolvida entre dois ou mais materiais e dá-se no contato entre suas superfícies. Curtis (1990) cita que a perda de adesividade está associada principalmente às características do agregado, como por exemplo seu caráter químico e seu estado de alteração.

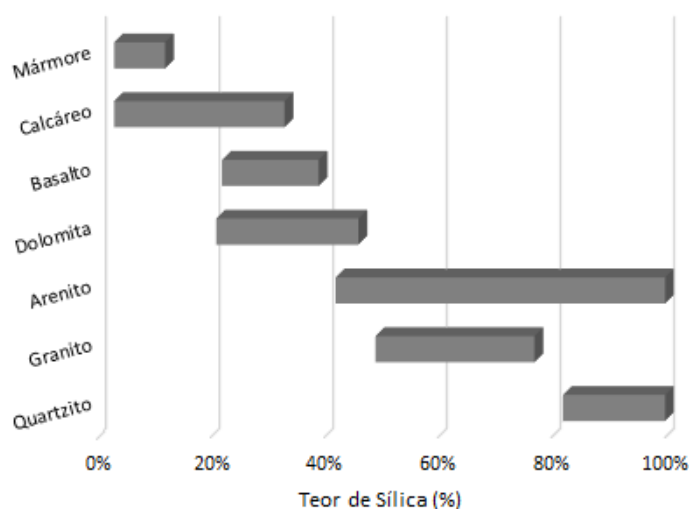
A susceptibilidade da aderência entre ligante asfáltico e agregados tem sido reportada como uma das causas principais de deterioração das misturas asfálticas quando a questão do desempenho dessas misturas está correlacionada com as características dos materiais. Moura et al. (2001) nomeia alguns fatores que

influenciam na propriedade de adesividade entre ligante asfáltico e agregado, sendo elas: (i) composição química do ligante asfáltico e do agregado; (ii) porosidade, textura e limpeza do agregado; (iii) composição química, geológica e mineralógica do agregado; (iv) graduação dos agregados.

Dentre os fatores acima, o grau de absorção de asfalto por parte do agregado é quesito de extrema relevância, visto que a porção de asfalto absorvida não contribuirá para o desempenho da mistura. A absorção do ligante possui forte correlação com a porosidade do material e da frequência de ocorrência dos tamanhos dos poros (LEE, 1969). Gouveia et al. (2004) comparou a diferença entre absorções de água e de asfalto utilizando agregado basáltico e de gabro. O primeiro material absorveu cinco vezes mais água que ligante asfáltico e o segundo apenas duas vezes mais, evidenciando que poros pequenos podem ser penetrados pela água, mas não pelo asfalto que detém maior viscosidade.

As Interações eletrostáticas garantem o fenômeno de adesão entre a superfície do agregado e do ligante asfáltico são diretamente influenciadas pela natureza química do par, isto é, a resistência do filme à ação removedora da água será maior quanto mais compatíveis forem os materiais (LIBERATORI E CONSTANTINO, 2006). Alto teor de sílica na composição mineralógica do agregado promove caráter ácido ao material, a grosso modo deve-se evitar a utilização de agregado de natureza ácida em virtude da fraca interação química com a grande maioria dos asfaltos, do contrário, recomenda-se a utilização de agentes melhoradores de adesividade. A Figura 2.3.4 apresenta o teor de sílica nos principais agregados utilizados na pavimentação.

Figura 2.3.5 - Teor de sílica em diferentes agregados.



Fonte: Adaptado de Liberatori e Constantino (2006).

2.4. AGREGADOS PARA USO EM OBRAS DE ENGENHARIA

Sendo os agregados pétreos os materiais de construção mais empregados na engenharia civil, necessitam de correta classificação e determinação de suas propriedades, bem como de especificações de aceitabilidade que garantam o necessário desempenho de uma obra. Entretanto, uma dada propriedade que seja relevante para a utilização do agregado como, por exemplo, componente do concreto de cimento Portland, pode não ser relevante quando aplicada em lastros ferroviários. Inclusive, Isaia (2010) cita ainda que uma mesma propriedade seja importante para duas aplicações distintas, é de se esperar que valores limites de aceitabilidade sejam diferentes para cada área de aplicação.

Contudo, nem sempre a resistência mecânica é imprescindível para a utilização de um dado material, características como a trabalhabilidade e estética podem preponderar sob o alto desempenho, como é o caso das grandes catedrais que foram construídas com calcário e arenitos, rochas conhecidas por apresentarem resistência média, sem oferecer problemas de colapso na estrutura (MACIEL FILHO E NUMMER, 2014).

Acrescenta-se que, em virtude das diferentes características geológicas do território brasileiro há grande diversidade de rochas utilizadas como agregado, do mesmo modo que há estados brasileiros que não dispõem de estruturas rochosas em seu território. Dessa forma, muitas vezes não existe opção de escolha dos materiais, tendo que utilizar aqueles disponíveis na região de implementação da obra. A seguir são apresentados alguns exemplos de diferentes regiões brasileiras e suas respectivas rochas:

- a) granito e gnaisse: são utilizadas na maioria dos estados brasileiros;
- b) basalto: regiões sul e sudeste (bacia do Paraná);
- c) calcários e dolomitos: Minas Gerais, Goiás, Bahia e norte fluminense;
- d) lateritas: Região Amazônica e Minas Gerais;
- e) areia/cascalho: maioria dos estados;

Os agregados devem atender alguns requisitos de qualidade para que possam apresentar desempenho desejado conforme suas diferentes aplicações nas obras de engenharia. Estes requisitos são citados na Tabela 2.4.1 apresentada a seguir,

abrangendo suas respectivas qualidades desejáveis, bem como de suas principais funções junto à estrutura.

Para a correta seleção de materiais rochosos, o agregado desse passar por uma prévia caracterização tecnológica, envolvendo ensaios e análises que permitam compreender suas propriedades físicas, químicas, mecânicas e petrográficas. Tendo uma natureza diversificada, as propriedades dos agregados britados também apresentam valores diversificados, justificando a necessidade de procedimentos padronizados e normatizados que garantam a homogeneidade nas diversas propriedades dos agregados.

Os procedimentos para execução dos ensaios e análises são, em geral, normalizados pela ABNT e DNIT, porém, na ausência de normas brasileiras utiliza-se vigências internacionais como as da ASTM, AASHTO, AFNOR, BSI, etc. A Tabela 2.4.2 cita as diferentes normas utilizadas conforme as diversas formas de aplicações dos agregados em função de suas propriedades. Vale ressaltar que em virtude da inexistência de normas específicas para os materiais utilizados como enrocamentos e filtros de barragens, eles não estarão citados na tabela.

As especificações são referências emitidas visando permitir a avaliação da qualidade dos materiais rochosos para atender às exigências de um projeto, dessa forma, ditam parâmetros qualitativos e/ou quantitativos para orientar a seleção dos melhores materiais à disposição para o uso na construção civil. A Tabela 2.4.3 apresenta parâmetros especificados para a seleção de materiais que serão usados como agregados nas mais diversas obras.

Tabela 2.4.1 - Diferentes formas de aplicação de agregados pétreos e suas respectivas qualidades e atribuições.

	Qualidades Desejáveis nos Agregados	Principais Funções dos Materiais Rochosos
Concreto Betuminoso	<p>Forma das partículas equidimensionais, que promovam o embricamento e garantam a resistência mecânica;</p> <p>Textura superficial de média a alta para garantir a correta adesividade;</p> <p>Alta tenacidade e resistência ao polimento para suportar as ações mecânicas oriunda dos veículos;</p> <p>Alta abrasividade e dureza para evitar as deformações permanentes;</p> <p>Ausência de minerais expansíveis e alteráveis capazes de resistir às alterações intempéricas;</p>	<p>Melhorar as condições de rolamento quanto à microtextura, promovendo a segurança do usuário;</p> <p>Resistir e distribuir para as fundações os esforços verticais provenientes do tráfego;</p> <p>Resistir aos esforços cisalhantes tornando mais duráveis a superfície do pavimento;</p>
Concreto Hidráulico	<p>Adequada distribuição granulométrica que garanta maior compacidade e menor índice de vazios, permitindo maior economia de cimento;</p> <p>Forma das partículas equidimensionais, aumentando compacidade e promovendo maior resistência mecânica;</p> <p>Textura superficial intermediária afim de permitir correta aderência da argamassa/agregado;</p> <p>Alta resistência mecânica que suportem as solicitações advindas dos esforços estruturais;</p> <p>Ausência de impurezas e minerais alteráveis mantendo a qualidade do concreto e evitando reações alcali agregado;</p>	<p>Contribuir na resistência do concreto aos esforços solicitantes, ao desgaste e à ação das intempéries;</p> <p>Diminuir os custos através da economia de cimento;</p>
Lastro Ferroviário	<p>Alta tenacidade para suportar o impacto dos instrumentos de compactação evitando comaltação;</p> <p>Alta resistência ao desgaste para resistir às ações de atrito e movimentações horizontais;</p> <p>Partículas equidimensionais que garantam correto embricamento, mantendo sua estabilidade geométrica;</p> <p>Ausência de minerais alteráveis capazes de resistir ao intemperismo;</p>	<p>Proporcionar base sólida aos dormentes, distribuindo as cargas de forma uniforme;</p> <p>Assegurar drenagem, evitando que os dormentes se desestabilizem;</p> <p>Preencher os vazios entre os dormentes; impedir o ascensão de lama na plataforma; dificultar crescimento de vegetação na via;</p> <p>Permitir elasticidade à via;</p>
Enrocamento e Filtros	<p>Baixa alterabilidade de seus minerais, capazes de suportar os ciclos de saturação e secagens evitando a desagregação;</p> <p>Correta distribuição granulométrica que garanta o embricamento e estabilidade estrutural ou a permeabilidade necessária à drenagem de águas pluviais;</p> <p>Minerais de difícil solubilização que garantam a durabilidade do material;</p>	<p>Compor o maciço da barragem de núcleo de terra; compor muros de arrumo na forma de blocos ou gabiões;</p> <p>Formar camadas de proteção de aterros viários, barragens de terra, pilares de pontes e erosão pelo impacto de ondas;</p> <p>Promover a drenagem da fundação; criação de um meio poroso que garanta a interceptação de fluxos preferenciais de água;</p>

Tabela 2.4.2 - Normas utilizadas para avaliação das propriedades tecnológicas de agregados segundo diferentes utilizações.

Propriedades:	Agregados para Concreto	Agregados para Pavimento	Agregados para Lastro Ferroviário
Amostragem	NBR NM 26/01 NBR NM 27/01	DNER-PRO 257/99	NBR 5564/11 (versão 2014)
Terminologia	NBR 9935/11 NBR NM 66/98	np	NBR 5564/11 (versão 2014)
Petrografia	NBR 7389-2/09	DNER-IE 06/94	nn
Granulometria	NBR NM 248/13	DNER-ME 83/98	nn
Materiais Pulverulentos	NBR NM 46/03	DNER-ME 266-97	NBR NM 46/03
Impurezas Orgânicas	NBR NM 49/01	DNER-ME 54/97	np
Argila em Torrões e Materiais Friáveis	NBR 7218/10	np	NBR 7218/10
Massas Específicas / Absorção	NBR 6458/16 (versão 2017) NBR NM 53/09	DNER-ME 81/98 DNER-ME 195/97	NBR 5564/11 (versão 2014)
Forma	NBR 7809/06 (versão 2008)	DNER-ME 86/94 DAER-EL108/01	NBR 6964/88
Massa Unitária	NBR NM 45/06	DNER-ME 152/95	NBR NM 45/06
Adesividade	np	DNER-ME 78/94 DNER-ME 79/94	np
Reatividade	NBR 15577-4/08 (versão 2009-2)	np	np
Alterabilidade	nn	DNER-ME 89/94 DNER-ME 400/99 DAER-EL 104/01	NBR 5564/11 (versão 2014)
Abrasão	NBR NM 51/01	DNER-ME 35/98	NBR NM 51/01
Impacto	nn	DNER-ME 399/99	nn
Esmagamento	NBR 9938/13	DNER-ME 197/97	nn
Compressão	nn	np	NBR 5564/11 (versão 2014)
Flexão	np	np	np

np: não pertinente

nn: não normalizada

Tabela 2.4.3 - Ensaio recomendados com suas respectivas especificações.

Ensaio:	Agregados para Concreto*	Agregados para Pavimento	Agregados para Lastro Ferroviário**
Abrasão LA	≤ 50%	Base estab. Gran. (DNIT ES 303): ≤ 55% Pav. Flexíveis (DNIT ES 31/06): ≤ 50% Pav. Flexíveis (DAER ES-P 16/91): ≤ 40% Trat. Sup. Duplo (DAER ES-P 15/91): ≤ 40% Pav. Rígido (DNIT EM 37/97): ≤ 50% Macad. Hid. (DNIT ES 152/10): ≤ 50%	≤ 30%
Massa Unitária	ne	ne	Estado solto: ≤ 1,25g/dm ³
Esmagamento	≤ 30%	Pav. Rígido (DNIT EM 37/97): Sujeito a desgaste superficial: ≤ 65% Demais concretos: ≤ 55%	≤ 30%
Impacto Treton	ne	ne	≤ 25%
Massa Específica	ne	ne	≥ 2500 kg/m ³
Absorção	ne	ne	≤ 0,8%
Porosidade	ne	ne	≤ 1,5%
Índice de Forma	≤ 3%	≥ 0,5% (DNIT ES 31/06)	cúbico
Partícula Lamelar	ne	≤ 50% (DAER ES-P 16/91) ≤ 40% (DAER ES-P 15/91)	≤ 15%
Material Pulverulento	≤ 1%	≤ 1% (DNIT EM 37/97)	≤ 1%
Equivalente de Areia	ne	≥ 50% (DAER ES-P 16/91) ≥ 55% (DNIT ES 31/06 e DNIT ES 152/10)	ne
Torrões de Argila	Conc. Apar.: ≤ 1% C/ desg.superf.: ≤ 2% Demais: ≤ 3%	Pav.Rígido (DNIT EM 37/97): Conc. Apar.: ≤ 1% C/ desgaste superf.: ≤ 2% Demais: ≤ 3%	≤ 0,5%
Fragmentos Macios e Friáveis	Conc. Apar.: ≤ 1% C/ desg. superf.: ≤ 2% Demais: ≤ 3%	Pav. Rígido (DNIT EM 37/97): Conc. Apar.: ≤ 1% C/ desgaste superf.: ≤ 2% Demais: ≤ 3%	≤ 5%
Granulometria	vide norma	vide norma	vide norma
Sanidade com Sulfato de Sódio e Magnésio	ne	≤ 12% (DNIT ES 31/06) ≤ 10% (DAER ES-P 15/91) Macad. Hidráulico (DNIT ES 152/10): sulfato de sódio: ≤ 20% sulfato de magnésio: ≤ 30%	≤ 10%
Compressão Uniaxial	ne	ne	≥ 100 MPa
Alteração	ne	ne	ne
Análise Petrográfica	ne	ne	ne

ne: não especificado

* = parâmetros especificados pela NBR 7211/09

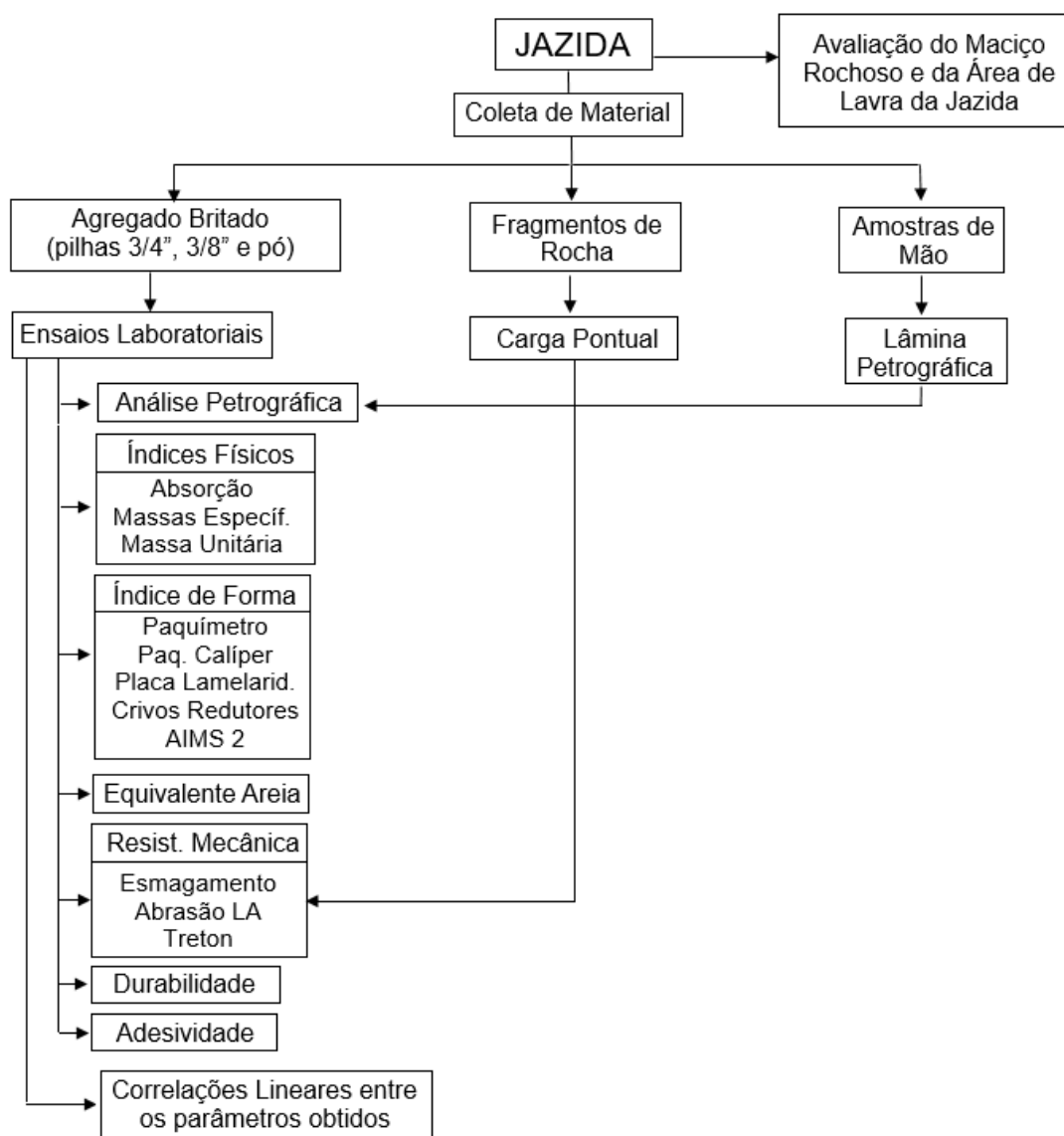
** = parâmetros especificados pela NBR 5564/11 (versão 2014)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. PLANEJAMENTO DA PESQUISA

Este capítulo define a localização das jazidas estudadas, o modo de coleta adotado para a correta amostragem do material estudado, as localizações das pedreiras além dos procedimentos laboratoriais e estatísticos empregados, de modo a alcançar os objetivos da pesquisa. A Tabela 3.1.1 ilustra de forma simplificada a sequência de procedimentos que foram realizados para o cumprimento da metodologia adotada.

Tabela 3.1.1 - Fluxograma da metodologia adotada.



3.1.1. Definição e Localização das Pedreiras

A fim de estudar o comportamento de diversos tipos de rochas com diferentes propriedades e características de formação, optou-se por analisar pedreiras localizadas em diferentes províncias geológicas e geomorfológicas distribuídas ao longo do estado, garantindo significativa amostragem e abrangência territorial. Além de analisar agregados do Planalto de Derrames e do Escudo Rio-grandense, selecionou-se jazidas localizadas nos quatro pontos cartesianos do estado, de forma a caracterizar e catalogar os agregados utilizados como matéria prima para regularização de sub-leitos, sub-base, base e revestimentos das principais rodovias federais e estaduais do RS, como apresentado na Tabela 3.1.2 e Figura 3.1.1.

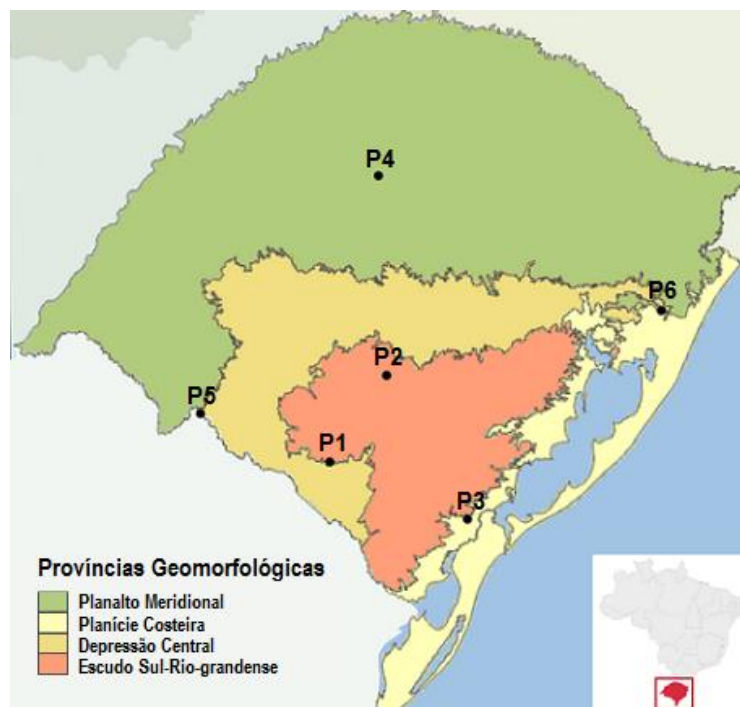
As jazidas de rochas localizadas na porção central do estado do RS foram caracterizadas e tiveram suas propriedades geomecânicas avaliadas na pesquisa de Paiva (2017), desta forma, a presente pesquisa visou estudar as demais regiões do estado. A Tabela 3.1.2 identifica as diversas pedreiras através da nomenclatura utilizada para identificação dos diferentes agregados, nome do empreendimento, município no qual se localiza cada jazida e suas respectivas coordenadas geográficas.

Tabela 3.1.2 - Localização, código dos diferentes materiais estudados e respectivas coordenadas geográficas.

Pedreira	Código	Nome Empreendimento	Município	Coordenadas Geográficas (UTM)
P1	HN	Hulha Negra	Bagé	21J 784879.15m W 6532113.75m S
P2	CMV - agregado vermelho CMC - agregado cinza	Calcário Mudador	Caçapava do Sul	22J 268563.92m W 6619408.38m S
P3	SBS	SBS Engenharia	Capão do Leão	22J 357488.45m W 6483361.81m S
P4	SJ	São Juvenal	Cruz Alta	22J 251945.40m W 6826112.10m S
P5	CAP	Capillheira	Santana do Livramento	21J 642986.38m W 6584712.50m S
P6	CONC	Concepa - Sto Antônio da Patrulha	Santo Antônio da Patrulha	22J 542576.32m W 6694173.16 m S

Nota-se que algumas áreas de exploração se encontram geograficamente nas províncias Depressão Central e Planície Costeira, no entanto, o material rochoso não representa estas regiões e sim morros testemunhos, diques ou sills referentes às rochas do Planalto de Derrames e do Escudo Sul-Riograndense.

Figura 3.1.1 - Mapa da localização geográfica das jazidas estudadas.



3.1.2. Análise Macroscópica e Coleta dos Materiais

Após a definição das jazidas, foram realizadas visitas às pedreiras onde foram descritos os maciços rochosos com acompanhamento de geólogos, conforme normatizado pela NBR 7389/92 e NBR NM 66/98, classificando as propriedades geológicas do maciço rochoso como: tipo de rocha, modo de ocorrência, grau de alteração do maciço, identificação do tipo litológico, etc.

A seleção das amostras de mão que foram coletadas para a fabricação das lâminas petrográficas, foi baseado em critérios visuais de representatividade do material em função das características do maciço rochoso, qualificando a amostra e a jazida como um corpo único. O material britado utilizado na pesquisa foi coletado das pilhas 3/4", 3/8" e pó localizadas nas praças de britagens das diferentes pedreiras.

No caso da Pedreira CM (Calcário Mudador) a coleta foi diferenciada. O empreendimento possuía dois tipos de materiais extraídos de uma única jazida, sendo a bancada superior uma rocha avermelhada (CMV) que é utilizada para produção de agregado para pavimentação, e a bancada inferior uma rocha acinzentada (CMC), com o objetivo de produzir material pulverulento para ser empregado como corretivo do solo para lavouras da região.

Sendo assim, do material acinzentado foram coletados fragmentos de rocha para ensaio de carga pontual e material britado de uma pilha intermediária ao processo de pulverização da rocha que não apresentava controle de britagem, dessa forma, esta pilha possuía em sua composição desde partículas retidas na peneira de 2" até partículas retidas na peneira 3/8".

Com relação à rocha avermelhada, foram coletados fragmentos de rocha e agregados das pilhas 3/4" e 3/8", entretanto, não havia produção do pó mineral, sempre que necessário a empresa trazia o agregado miúdo da Pedreira HN (Hulha Negra) localizada em Bagé, ambas pertencentes à mesma empresa.

As figuras apresentadas a seguir exibem uma visão geral de cada pedreira estudada, sendo, Figura 3.1.2 referente à Pedreira HN, Figura 3.1.3 referente à CM, Figura 3.1.4 referente à Pedreira SBS, Figura 3.1.5 referente à Pedreira SJ, Figura 3.1.6 referente à Pedreira CAP e Figura 3.1.7 referente à Pedreira CONC.

Figura 3.1.2 - Pedreira HN sob vista frontal.



Figura 3.1.3 - Pedreira CM sob vista frontal.



Figura 3.1.4 - Pedreira SBS sob vista frontal.



Figura 3.1.5 - Pedreira SJ sob vista frontal.



Figura 3.1.6 - Pedreira CAP sob vista frontal.



Figura 3.1.7 - Pedreira CONC sob vista frontal.



3.2. ENSAIOS TECNOLÓGICOS

A caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade das rochas envolvem variada gama de ensaios e testes que possuem o objetivo de obter parâmetros químicos, geomecânicos e petrográficos do material rochoso. Os procedimentos que foram realizados no decorrer da pesquisa e suas respectivas normas estão indicados na Tabela 3.2.1. A fim de sumarizar a apresentação e discussão dos ensaios laboratoriais, foi apresentado ao longo da metodologia breves definição dos objetivos, procedimentos, amostragem e parâmetros obtidos em cada procedimento laboratorial.

Tabela 3.2.1 - Ensaio laboratoriais realizados na pesquisa e suas respectivas normas.

Ensaio Laboratoriais	Normas
Análise Petrográfica - materiais rochosos usados em rodovias	DNER-IE 06/94
Agregado Graúdo - determinação da absorção e da massa específica	DNER-ME 195/98 NBR 5564/14
Agregado Miúdo - determinação da massa específica por meio do frasco Chapman	DNER-ME 194/98
Agregado em estado solto - determinação da massa unitária	DNER-ME 152/95
Agregado – determinação da abrasão Los Angeles	DNER-ME 35/98
Agregado Graúdo – determinação da resistência ao esmagamento	DNER-ME 197/97
Resistência à Carga Pontual	ISRM 1985
Agregados - determinação da perda ao choque no aparelho Treton	DNER-ME 399/99
Agregado - Análise Granulométrica	DNER-ME 83/98
Equivalente de Areia	DNER-ME 54/97
Agregado - avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de Sulfato de Sódio ou de Magnésio	DNER-ME 89/94
Agregado Graúdo – determinação do índice de forma pelo método do paquímetro	NBR 7809/08
Agregado Graúdo - determinação do índice de lamelaridade	DAER-EL 108/01
Partículas achatadas e alongadas no agregado graúdo (Paquímetro Calíper)	ASTM d 4791/15
Agregado – determinação do índice de forma (Crivos Redutores)	DNER-ME 86/94
Aggregate Image Measurement System (AIMS 2)	AASHTO TP 81-12 /17
Agregado Graúdo – Adesividade a ligante betuminoso	DNER-ME 78/94

3.2.1. Análise Petrográfica

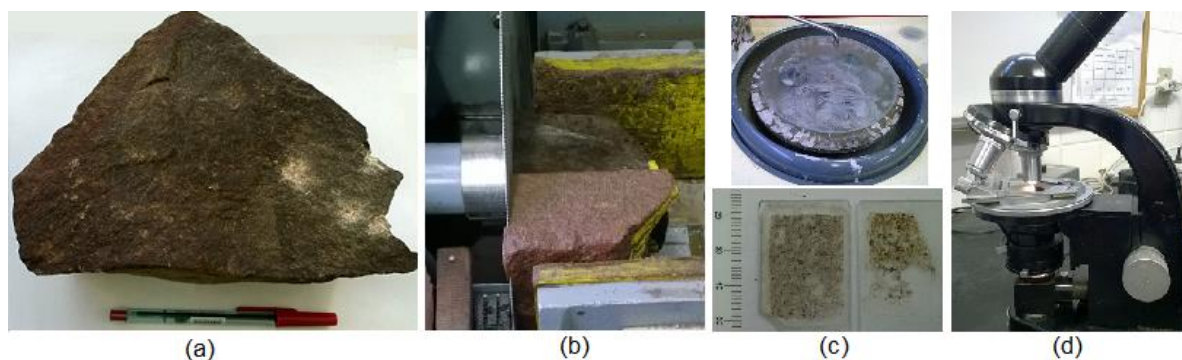
A fim de identificar e classificar, descrevendo os aspectos petrográficos e mineralógicos das rochas, foi realizado o ensaio laboratorial denominado Análise Petrográfica em parceria com o Laboratório de Laminação do Departamento de Geociências pertencente à Universidade Federal de Santa Maria.

Possui o objetivo de fornecer informações sobre mineralogia, aspectos texturais e estruturais, grau de alteração, microfraturamento, coesão, etc. que são fundamentais no estudo de propriedades físicomecânicas. A amostragem da rocha consiste em um fragmento de mão com dimensões não especificadas, porém, representativos à jazida, qualificando a amostra e a jazida como um corpo único.

A confecção da lâmina delgada foi realizada com o fragmento de rocha que foi cortado com o auxílio de uma serra diamantada e desgastado até uma determinada espessura. Na sequência, a amostra foi colocada em uma lâmina de vidro (5cm x 2,5cm x 0,1cm) e após seu endurecimento, desgastou-se o fragmento em esmeril até espessura de 3 micras. Todos os passos supracitados são mostrados na Figura 3.2.1.

A primeira etapa da análise petrográfica é a descrição macroscópica, esta, compreende a indicação de características gerais do fragmento de rocha tais como: cor, tamanho do grão, mineralogia, textura, estrutura, alteração, grau de coerência, etc. A descrição microscópica, segunda etapa da análise, foi realizada através da lâmina delgada e com o auxílio do microscópio petrográfico que indica características como granulação, textura e estrutura, composição mineralógica, alteração, presença de microfraturas, etc. a fim de se realizar a classificação petrográfica do material.

Figura 3.2.1 - (a) Amostra de mão coletada para posterior redução; (b) Redução da amostra com o auxílio da serra diamantada; (c) Politriz utilizada para desgastar a lâmina delgada; (d) Microscópio petrográfico.



3.2.2. Análise Granulométrica

As diversas análises granulométricas foram realizadas conforme DNER-ME 83/98 que possui como objetivo a determinação da composição de agregados graúdos e miúdos por peneiramento, para posterior utilização. A massa mínima da amostra deve ser determinada em função da dimensão máxima característica da partícula do agregado. Todos os ensaios foram executados por peneiramento manual, aplicando-se o material na peneira de maior abertura e em seguida agitando-se com movimentos laterais e circulares nos planos horizontal, vertical e inclinado.

A curva granulométrica é um dos parâmetros obtidos no ensaio, cuja determinação foi através da soma das massas retidas em cada peneira e a comparação desses somatórios com a massa inicial da amostra seca. Dessa forma, calculou-se a porcentagem acumulada de material seco em cada peneira, somando-se a porcentagem retida na peneira com as retidas nas peneiras de maiores aberturas. Também pode-se obter como parâmetro o diâmetro máximo característico do material e o módulo de finura.

3.2.3. Índices Físicos e Massa Unitária

A determinação da absorção e massas específicas dos agregados graúdos e miúdos foram baseadas nas normas DNER-ME 195/98, NBR 5564/14, DNER-ME 81/98 e DNER-ME 194/98 respectivamente. A quantidade em massa de agregado graúdo necessária para a realização do ensaio é conforme a granulometria e tamanho nominal da fração, sendo peneirado e selecionado o material retido na malha 4,75mm. De posse do material limpo, seco e peneirado, cada amostra deve ser colocada em uma bandeja e imersa em água por um período de 24 horas.

Como citado anteriormente, a Pedreira CMC apresentada grande variação granulométrica de partículas em sua composição, sendo desde partículas retidas na peneira de 2" até partículas retidas na peneira 3/8", sendo assim, o ensaio realizado para determinação da absorção e massas específicas foi baseando-se na norma de lastro ferroviário (NBR 5564/14) que apresenta os mesmos passos da norma do agregado graúdo, variando apenas no tempo de saturação e secagem de suas amostras para 48 horas.

Na sequência de ambos os ensaios, seca-se superficialmente o excesso de água sobre as superfícies dos fragmentos e pesa-se o material (B). Depois, as amostras são despejadas em um cesto conectado à balança e mergulhadas novamente em água e pesadas (C), por fim, as amostras são secas em estufa e seu peso é aferido (A). Os parâmetros obtidos nos ensaios são exibidos na Tabela 3.2.2, cuja nomenclatura varia conforme a norma utilizada.

É importante ressaltar as distinções entre massas específicas e pesos específicos. As relações entre quantidade de matéria (massa) e seu volume são determinados massas específicas, expressas em t/m³, kg/dm³ ou g/cm³ e as relações entre pesos e volumes são chamados pesos específicos e expressos em kN/m³. A correlação numericamente entre essas duas grandezas é constante, ou seja, se um agregado possui massa específica de 2,0 t/m³, seu peso específico será de aproximadamente 20 kN/m³. Também há incoerências ao correlacionar “Densidade” e “Densidade Relativa”, sendo a primeira referência à massa específica, enquanto a segunda é a relação entre a densidade do material e a densidade da água a 4°C.

Tabela 3.2.2 - Diferentes nomenclaturas utilizadas entre ABNT e DNER.

Agregado Graúdo (DNER-ME 195/98) (DNER-ME 81/98)		Agregado Graúdo (NBR NM 53:2009)		Lastro Ferroviário (NBR 5564/14)	
$\gamma_s = \frac{A}{A-C}$	Eq. 3.1	$d = \frac{A}{A-C}$	Eq. 3.5	$\rho_a = \frac{A}{B-C}$	Eq. 3.9
$\gamma_{sss} = \frac{B}{B-C}$	Eq. 3.2	$d_s = \frac{B}{B-C}$	Eq. 3.6	$\alpha_a = \frac{B-A}{A} * 100$	Eq. 3.10
$D_{ap} = \frac{A}{B-C}$	Eq. 3.3	$d_{a=} = \frac{A}{B-C}$	Eq. 3.7		
$a = \frac{B-A}{A} * 100$	Eq. 3.4	$a = \frac{B-A}{A} * 100$	Eq. 3.8		

$\gamma_s = d =$ Massa específica na condição seca, (g/cm³).

$\gamma_{sss} = d_s =$ Massa específica na condição sat. superf. seca, (g/cm³).

$d_a = \rho_a =$ Massa específica aparente, (g/cm³).

$D_{ap} =$ Densidade aparente do agregado na condição seca, (g/cm³).

$\alpha_a = a =$ Absorção, (%).

Para a determinação da massa específica do agregado miúdo utiliza-se o Frasco de Chapman e 1 kg de agregado miúdo seco passante na 4,75mm e retido em 0,075mm, sendo 500g para cada amostra ensaiada. O cálculo final consiste na

relação entre a massa inicial da amostra, dividido pela subtração do nível do frasco pelos 200cm³ de água inseridos no início do ensaio.

Com relação ao ensaio de massa unitária no estado solto, foi utilizado a norma DNER-ME 152/95 que cita como amostragem todo o material oriundo da pilha da pedreira, que deve conter desde agregados graúdos até agregados miúdos, cujo volume necessário seja o dobro de volume do recipiente utilizado. Para a realização do ensaio são tomadas três determinações com o mesmo material. Seguindo o procedimento padrão, deve-se encher o recipiente lançando o agregado com uma concha, evitando eventuais segregações, posteriormente deve-se rasar a superfície (miúdo) ou regula-se as saliências (graúdo), pesa-se o material e repete-se o ensaio. A Equação 3.9 determina a massa unitária do agregado após as três determinações.

$$\rho_{ap} = \frac{M_{ar} - M_r}{V} \quad (\text{Eq. 3.11})$$

Onde:

ρ_{ap} = Massa unitária do agregado, (kg/m³).

V = Volume do recipiente, (m³).

M_{ar} = Massa do recipiente com o agregado, (kg).

M_r = Massa do recipiente vazio, (kg).

3.2.4. Forma das Partículas

Para a determinação do índice de forma foram realizados cinco ensaios laboratoriais, sendo dois destes responsáveis pelo índice de forma (NBR 7809/08 – Método do Paquímetro Digital; DNER-ME 86/94 – Método dos Crivos Redutores); dois responsáveis pela determinação da lamelaridade (DAER-EL 108/01 – Índice de Lamelaridade; ASTM d 4791/15 – Paquímetro Calíper) e um responsável pelo processamento digital de imagem (AIMS 2).

O método do paquímetro digital considera duas dimensões da partícula do agregado, criando uma correlação entre a maior e a menor dimensão. Deve-se medir o comprimento (maior dimensão possível) e a espessura (tomada como a menor distância possível entre planos paralelos entre si) de 200 partículas de agregado, seu índice varia de 0 a 3, onde mais próximo de 1 indica ótima cubicidade. No que diz respeito ao método dos crivos redutores, se determina a variação dos eixos

multidirecionais das partículas que compõem o agregado através de crivos redutores circulares e retangulares.

De cada fração que é composta a amostra após seu peneiramento nos crivos circulares (cujo peso é determinado pela norma, baseando-se nas diferentes aberturas dos crivos circulares), passa-se as partículas retidas no crivo redutor retangular de abertura igual à metade do tamanho diretriz correspondente, anotando-se o seu peso (Crivo I). O material que passar no Crivo Retangular I deverá ser testado no Crivo Retangular II de abertura igual a 1/3 do tamanho diretriz de cada fração, anota-se o peso do material retido. O índice que varia de de 0 a 1, onde mais próximo de 1 indica elevada cubicidade e deve ser calculado conforme equação apresentada na Tabela 3.2.3.

Tabela 3.2.3 - Equações utilizadas para o cálculo do índice de forma.

Método do Paquímetro (NBR 7809/08)		Método dos Crivos Redutores (DNER-ME 86/94)	
$IF = \frac{(C/e)}{N_i}$	Eq. 3.12	$IF = \frac{P1 + 0,5P2}{100N}$	Eq. 3.13

IF= Índice de Forma.
Ni= número de grãos a serem medidos na fração i.
P1= soma percentagens retidas no Crivo I, de todas as frações.
P2= soma percentagens retidas no Crivo II, de todas as frações.
N= número de frações que compõem a graduação.

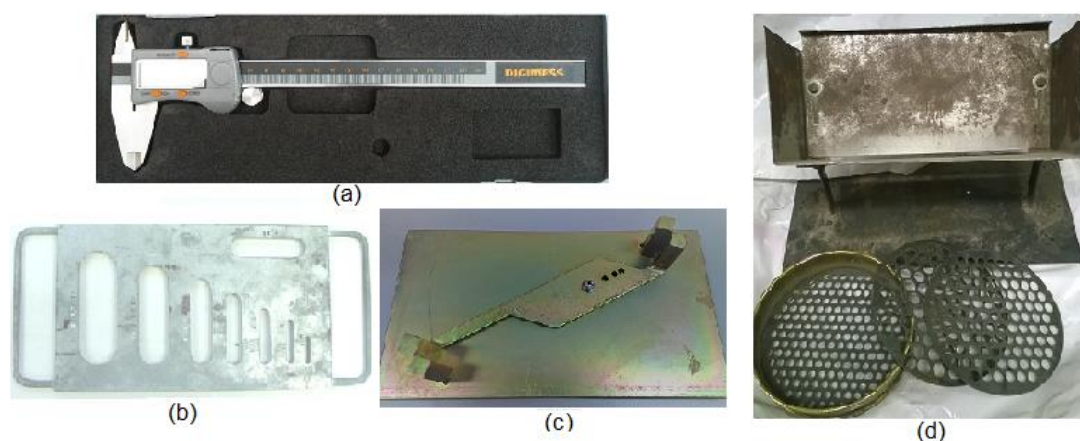
O ensaio responsável pela determinação do índice de lamelaridade (i.e., quando a espessura do agregado é menor que 0,6 da sua dimensão nominal) dos agregados é regido pela norma do DAER/RS e utiliza como amostragem as mesmas partículas utilizadas no ensaio do método do paquímetro digital. Ele compreende em passar as 200 partículas de cada fração na abertura correspondente da placa de lamelaridade, determinando-se os pesos das partículas passantes e calculando a relação entre a massa passante e a massa total da amostra. Por sua vez, o ensaio do Paquímetro Calíper, regido pela norma ASTM d4791/15, determina o percentual de partículas achatadas, alongadas e achatadas/alongadas.

No paquímetro, o parafuso pode ser ajustado para que partículas com relações entre a maior e menor dimensões de 2:1, 3:1, 4:1 ou 5:1 sejam identificadas. Na presente pesquisa foram ensaiados apenas as dimensões 3:1 e 5:1. Deve-se

posicionar a maior abertura igual à largura da partícula, caso a espessura puder ser colocada na abertura menor a partícula será considerada plana. Para o teste de partícula alongada, deve-se posicionar a abertura maior igual ao comprimento da partícula, se a largura puder ser colocada dentro da abertura menor considera-se partícula alongada. As partículas serão planas e alongadas se ao colocar na maior abertura o comprimento da partícula e na relação com a menor abertura passar sua espessura.

A porcentagem de partículas achatadas, alongadas ou achatadas/alongadas foi calculado por contagem e por relação de massas. A Figura 3.2.2 apresenta os quatro equipamentos utilizados nos ensaios supracitados.

Figura 3.2.2 - (a) Paquímetro Digital; (b) Placa de Lamelaridade; (c) Paquímetro Calíper; (d) Crivos Redutores.



O último ensaio relacionado à forma dos agregados é o sistema AIMS 2 (regido pela norma AASHTO 81-12/17), o referido ensaio realizado pela COPPE (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia) determina parâmetros de forma tridimensional, de angularidade, de rugosidade, de textura e de razões de lamelaridade para diferentes tamanhos de agregados, algumas destas características demais ensaios de forma não são capazes de mensurar.

O AIMS 2 fornece cinco diferentes propriedades, a saber: três apenas para agregado graúdo (esfericidade, lamelaridade e textura), uma para agregado graúdo e miúdo (a angularidade) e uma somente para agregado miúdo (forma 2D). O agregado graúdo ainda pode ser classificado com base na relação das dimensões de suas partículas em partículas achatadas, alongadas além de achatadas e alongadas (lamelares).

O ensaio consiste em colocar as partículas de agregados em uma bandeja da granulometria especificada, lado a lado sem se tocarem, conforme Figura 3.2.3. Em seguida mede-se a forma do agregado, a textura, a altura, profundidade, etc. Em seguida são geradas tabelas com todos os dados medidos e seus gráficos correspondentes, calculados pelo software através das fórmulas apresentadas na Tabela 3.2.4.

Figura 3.2.3 - Equipamento AIMS 2.



Fonte: Pazos (2015).

Tabela 3.2.4 - Fórmulas utilizadas para o cálculo dos parâmetros gerados pelo ensaio AIMS.

Ensaio Aggregate Image Measurement System (AASHTO TP 81-12/17)			
$Forma\ 2D = \sum_{\theta=0}^{\theta=360-\Delta\theta} \left[\frac{R_{\theta+\Delta\theta} - R_{\theta}}{R_{\theta}} \right]$	Eq. 3.14	$Esfericidade = \sqrt[3]{\frac{d_s \cdot d_i}{d_L^2}}$	Eq. 3.15
R_{θ} = raio da partícula no ângulo 0° . $\Delta\theta$ = diferença de incremento no ângulo.		d_s = menor dimensão do agregado. d_i = dimensão intermediária do agregado. d_L = maior dimensão do agregado.	
$Angul. = \frac{1}{\frac{n}{3} - 1} \sum_{i=1}^{n=3} \theta_i - \theta_{i+3} $	Eq. 3.16	$Text.\ Sup. = \frac{1}{3N} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^N (D_{i,j}(x,y))^2$	Eq. 3.17
θ = ângulo de orientação dos pontos de borda. n = número total de pontos. i = i-ésimo ponto de borda da partícula.		D = função de decomposição. n = nível de decomposição da imagem. N = número total de coeficientes em uma imagem i = direção da textura j = índice wavelet x,y = localização dos coeficientes no domínio	

Como pré-requisito para a apropriada coleta das amostras do material, quarteou-se as diversas pilhas de agregado, e selecionou-se todas as frações granulométricas representativas para cada curva granulométrica e posteriormente lavou-se o material diversas vezes, para garantir a correta leitura das texturas superficiais das diversas partículas. A quantidade mínima de partículas necessárias para a realização foi retirada de Pazos (2015) e é apresentada na Tabela 3.2.5.

Tabela 3.2.5 - Quantidade mínima de partículas para ensaio no sistema AIMS 2.

Tamanho da Peneira	Número de Partículas Sugerido
19,00 mm (3/4")	50
12,50 mm (1/2")	50
9,50 mm (3/8")	50
4,75 mm (#4)	50
2,36 mm (#8)	150
1,18 mm (#16)	150
0,60 mm (#30)	150
0,30 mm (#50)	150
0,15 mm (#100)	150
0,075 mm (#200)	150

Fonte: Pazos (2015).

Este ensaio de processamento digital de imagem ainda não conta com uma norma brasileira, no entanto, existem trabalhos na literatura que indicam boa representatividade das diferentes propriedades de agregados medidos pelo sistema. A fim de classificar os parâmetros obtidos pelo ensaio, Al Rousan (2004) testou diversos agregados de mineralogias diversas, e desenvolveu uma classificação (Tabela 3.2.6) de acordo com cada parâmetro dado pelo equipamento.

Tabela 3.2.6 - Limites de Classificação de Al Rousan para o sistema AIMS

Propriedades	Valores Limites / Classificação				
		< 6,5	6,5 - 8,0	8,0 - 10,5	> 10,5
Forma 2D	Circular	Semicircular	Semialongado	Alongado	-
Esfericidade	< 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	> 0,8	-
	Achatado / Alongado	Baixa esfericidade	Esfericidade moderada	Alta esfericidade	-
Angularidade	< 2100	2100 - 4000	4000 - 5400	> 5400	-
	Arredondado	Subarredondado	Subangular	Angular	-
Textura Superficial	<165	135 - 275	275 - 350	350 - 460	> 460
	Polido	Macio	Baixa rugosidade	Rugosidade moderada	Alta rugosidade

Fonte: Al Rousan (2004).

3.2.5. Equivalente de Areia

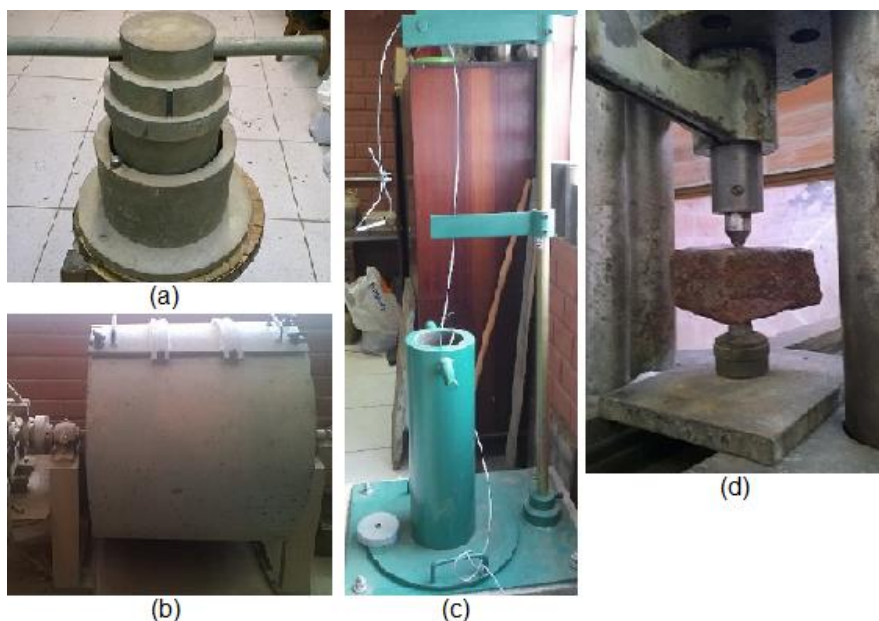
O presente ensaio regido pela norma DNER-ME 54/97 determina a proporção relativa de materiais deletérios tais como: vegetação, conchas e grumos de argila em amostras de agregados miúdos. O ensaio consiste em agitar a amostra de agregado

miúdo composta de 110g de material passante na peneira de 4,8mm em uma proveta padronizada que contenha solução floculante e, após o repouso de 20 minutos, deve-se determinar o quociente entre o volume de areia (material que sedimentou) e volume de areia mais o de finos que se separam da areia e floculam (material em suspensão) que será o equivalente de areia. Para a minimizar possíveis erros de leitura e de ensaio, realiza-se três determinações com o mesmo material, e sem seguida, calcula-se a média aritmética.

3.2.6. Resistência Mecânica

A fim de avaliar os parâmetros de resistência mecânica, foram realizados quatro ensaios laboratoriais que determinam diferentes parâmetros através de diferentes esforços mecânicos incidentes nas amostras selecionadas, como mostra a Figura 3.2.4. Os ensaios de resistência ao esmagamento foram realizados conforme DNER-ME 197/97 que objetiva avaliar o desgaste do material frente ao atrito interno gerado por esforços de compressão, simulando rolos compressores ou até mesmo a própria ação do tráfego.

Figura 3.2.4 - (a) Cilindro de aço rígido utilizado no ensaio de Esmagamento; (b) Tambor giratório utilizado no ensaio de Abrasão LA; (c) Equipamento Treton utilizado no ensaio de perda ao choque; (d) Fragmento de rocha sendo ensaio no ensaio Carga Pontual.



Sucintamente, o ensaio consiste em compactar o agregado passante na peneira de 12,5mm e retido na malha 9,5mm em um cilindro de aço rígido através de 25 golpes dados com uma haste de socamento e distribuído por três camadas de agregado. Na sequência deve-se aplicar uma carga centralizada de 400 kN uniformemente à razão de 40 ± 5 kN por minuto, seguindo de peneiramento do material e posterior pesagem. A resistência ao esmagamento é dada a partir da média de duas determinações, e sua equação é apresentada na Tabela 3.2.7.

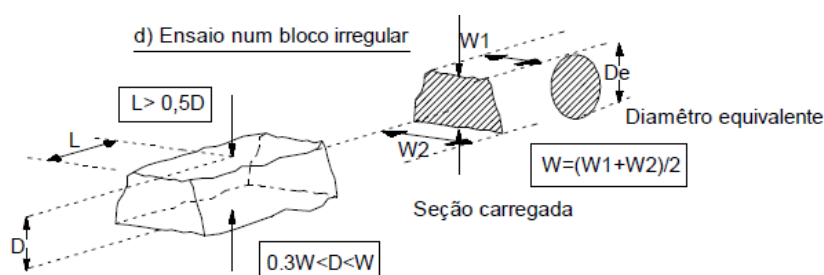
O segundo ensaio que avalia a resistência mecânica é o Abrasão Los Angeles (DNER-ME 35/98) que visa simular o desgaste por abrasão através do atrito entre os agregados, bem como, entre os agregados com as paredes do tambor, reproduzindo o impacto por meio da queda de esferas de aço sobre o material e da queda dos próprios agregados. A amostragem do material, a quantidade de esferas metálicas utilizadas e o número de rotações do tambor giratório empregados variam conforme a granulometria do agregado que deve ser previamente realizada. O procedimento do ensaio consiste em inserir o agregado gráudo seco e limpo e o correto número de esferas metálicas no tambor giratório que gira a velocidade de 30 a 33 rpm, até completar o número de revoluções especificadas. O material é retirado do tambor, peneirado, lavado, pesado e seu cálculo consiste na relação entre o peso inicial da amostra com o peso final, como mostra a Tabela 3.2.7.

O terceiro ensaio realizado é capaz de avaliar a resistência às solicitações de impacto no processo de soca (i.e., tenacidade do agregado), denomina-se “Perda ao choque no aparelho Treton” e é regido pela DNER-ME 399/99. Para a correta realização do ensaio, as partículas ensaiadas devem apresentar elevada cubicidade, angularidade e equidimensionalidade. Essas partículas são colocadas em um cilindro oco, em seguida, solta-se o martelo 10 vezes sobre as partículas. O material remanescente deve ser peneirado e pesado, e o ensaio deve ser repetido no mínimo com três amostras distintas, sendo que cada amostra deve possuir de 15 a 20 partículas de agregado.

O ensaio Treton aponta elevada praticidade em comparação aos demais ensaios de resistência mecânica, em virtude da pequena quantidade amostral necessária à realização do ensaio. Enquanto que nos demais ensaios necessita-se de no mínimo 5 kg de agregado, no ensaio Treton utiliza-se apenas gramas de agregado. A equação necessária para o cálculo da perda ao choque encontra-se na Tabela 3.2.7.

O último ensaio de resistência mecânica realizado denomina-se “Resistência a Carga Pontual” e é regido pela norma ISRM 1985. O presente ensaio é um parâmetro de entrada para diversas aplicações, tais como em classificações geomecânicas e na estimativa da resistência à compressão uniaxial. Devido a impossibilidade de obter corpos de prova regulares para realização de ensaios de compressão uniaxial, foi executado ensaios em corpos de prova irregulares na forma de fragmentos de rocha. O material ensaiado deve apresentar dimensões conforme verificação apresentada na Figura 3.2.5.

Figura 3.2.5 - Ensaio de carga puntiforme em bloco irregular.



Fonte: ISRM (1985).

O ensaio consiste em carregar pontualmente por meio de dois cones metálicos 20 fragmentos de rocha, sendo 10 destes secos e 10 saturados em água por 72 horas. A ruptura é provocada pelo desenvolvimento de fraturas paralelas ao eixo de carregamento, e os parâmetros obtidos foram calculados conforme Tabela 3.2.7.

Tabela 3.2.7 - Equações utilizadas para obtenção dos parâmetros mecânicos.

Resistência ao Esmagamento (DNER-ME 197/97)		Abrasão Los Angeles (DNER-ME 35/98)		Perda ao choque no Treton (DNER-ME 399/99)	
$ESM = \frac{M_I - M_F}{M_I} * 100$	Eq. 3.18	$ALA = \frac{M_I - M_F}{M_I} * 100$	Eq. 3.19	$T = \frac{M_I - M_F}{M_I} * 100$	Eq. 3.20
Resistência à Carga Pontual - Point Load Test (ISRM 1985)					
$(D_e)^2 = \frac{4WD}{\pi}$	Eq. 3.21	$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45}$	Eq. 3.22	$I_{s(50)} = \frac{FP}{(D_e)^2}$	Eq. 3.23
M_I = massa inicial, (g).		D_e = diâmetro equivalente, (mm ²).			
M_F = massa final, (g).		W = largura do corpo-de-prova; (mm).			
ESM= resist. ao esmagamento, (%)		D = altura do corpo-de-prova; (mm).			
ALA= resist. a abrasão LA, (%).		F = fator de correção de tamanho;			
T = perda ao choque Treton, (%).		$I_{s(50)}$ =índice de resistência corrigido, (Mpa);			
P = carga de ruptura, (N)					

3.2.7. Durabilidade / Sanidade

O ensaio que avalia a durabilidade do agregado graúdo e miúdo pelo emprego de soluções de Sulfato de Sódio ou Magnésio (DNER-ME 89/94) objetiva atacar o agregado com solução saturada, aumentando a desintegração da amostra ensaiada, simulando o efeito do tempo e das condições ambientais de uma forma acelerada. De forma sucinta, a amostragem do material é composta por fragmentos de diferentes frações granulométricas cuja determinação é baseada na granulometria do agregado que foi previamente realizada.

De posse da amostra limpa e seca, os agregados são submetidos a cinco ciclos de imersão em solução anidra, permanecendo submersos de 16 a 18 horas, seguidos pela secagem em estufa até a constância de peso. Terminado o quinto ciclo, cada fração ensaiada é lavada em água e colocada na estufa até atingir a constância de massa. Com o material limpo e seco, cada fração deve ser peneirada e pesada.

O resultado final é obtido através do cálculo da média ponderada em função da porcentagem de perda de cada fração e com base na granulometria da porção do material da qual a amostra é representativa. É importante ressaltar que o DAER-EL 104/01 não apenas calcula a perda média da amostra de agregado miúdo e graúdo, como também realiza o cálculo da perda média final, que pondera a perda média da amostra de agregado graúdo por 0,55 em adição à perda média da amostra de agregado miúdo por 0,45.

Este fato pode ser justificado pela maior utilização em gramas de agregados graúdos na fabricação de algumas misturas asfálticas. No entanto, para misturas de graduação densa as características da fração fina do agregado têm influência predominante na estabilidade. Vale ressaltar que quanto menor a partícula, maior será sua superfície específica e, por conseguinte, maior ataque sofrerá dos agentes degradantes presentes na solução anidra.

3.2.8. Afinidade ao Ligante Asfáltico

A fim de verificar a aderência entre o agregado graúdo e o ligante asfáltico, foi executado o ensaio de adesividade ao ligante betuminoso (DNER-ME 78/94) que consiste em ensaiar uma amostra de 500g de agregado graúdo previamente limpo e aquecido. Posteriormente, mistura-se o agregado ao ligante e após o resfriamento da

mistura, deve-se recobrir o recipiente com água destilada por 72 horas, a temperatura constante de 40°C.

O resultado do ensaio é dito satisfatório quando não houver deslocamento da película de betume no final das 72 horas, do contrário, toma-se como resultado insatisfatório. Em adição, a fim de minimizar as variáveis, foi utilizado o CAP 50/70 por ser o ligante asfáltico mais usual no RS.

3.3. ANÁLISE E CORRELAÇÕES DOS RESULTADOS

A fim de alcançar os objetivos propostos na pesquisa, foram realizadas análises estatísticas cujo objetivo principal consistiu-se em avaliar as relações lineares entre diversas propriedades dos agregados, bem como dos parâmetros obtidos através dos ensaios laboratoriais das seis pedreiras selecionadas.

Optou-se pela utilização do software STATISTICA (versão 10.0.228.8) para realização das análises de correlações entre os pares de propriedades, gerando matrizes bidimensionais cujas células apresentam o coeficiente de correlação linear. Cabe observar que, como o coeficiente é concebido a partir do ajuste linear, a fórmula não contém informações do ajuste, sendo composta apenas dos dados. Uma vez constatado que existe correlação linear entre duas variáveis, se tentará prever o comportamento de uma delas em função da variação da outra, aplicando regressões lineares para descrever o comportamento das variáveis.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

No presente capítulo serão apresentados e discutidos os resultados, parâmetros e propriedades dos diversos materiais rochosos obtidos através dos ensaios laboratoriais. Inicialmente apresenta-se de forma discriminada informações a respeito de cada jazida adquiridas na etapa de campo, seguidos de suas respectivas análises petrográficas. Na sequência apresenta-se os resultados de caracterização encontrados pelo autor em análise com as lâminas delgadas. Por fim, uma análise estatística com a utilização de dados e resultados do autor juntamente da literatura, para correlação das propriedades entre os diversos tipos rochosos.

4.1. AVALIAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO E ANÁLISE PETROGRÁFICA

Esta sessão apresenta informações obtidas através das visitas às diferentes jazidas bem como da fabricação de suas lâminas petrográficas correspondentes, visando não apenas a obtenção da composição mineralógica dos agregados, mas também para conhecimento das características e descontinuidades de cada maciço.

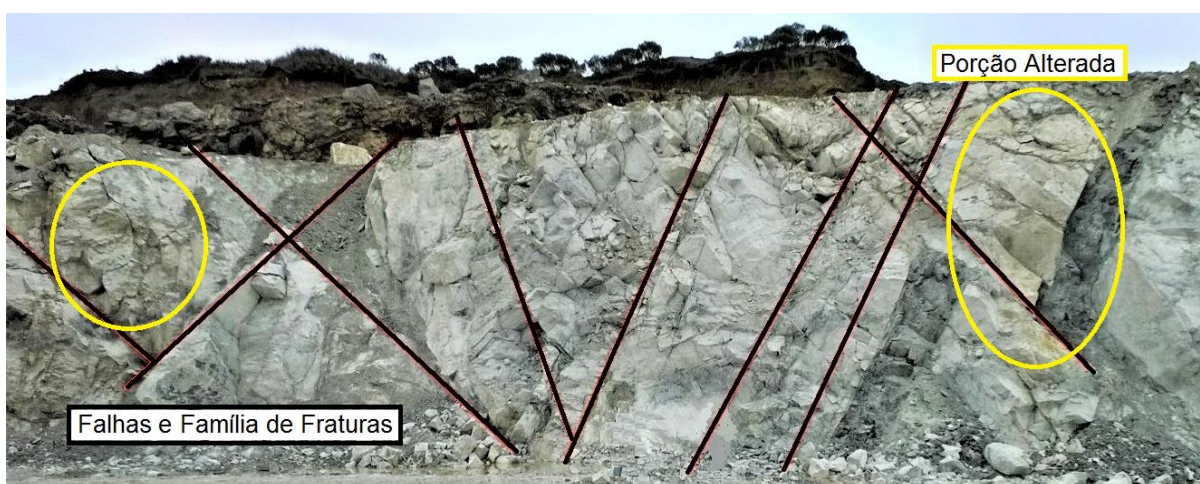
A composição mineralógica dos materiais foi avaliada macroscopicamente por meio da observação dos fragmentos de rochas coletados assim como da análise do afloramento rochoso e microscopicamente, através da fabricação de lâminas delgada analisadas através de microscópios petrográficos. Vale ressaltar que para o presente estudo, não houve a caracterização completa das descontinuidades ou um mapeamento estrutural de cada lavra, visou-se obter apenas informações básicas das características de cada maciço.

4.1.1. Pedreira Hulha Negra (HN)

Através da avaliação da área de lavra, conclui-se que a rocha utilizada para obtenção do agregado apresenta coloração predominante branca com frações acinzentadas. Entretanto, analisando o maciço rochoso integralmente observou-se que ocorre diferenciação na coloração e composição mineralógica da rocha em diferentes pontos de análise.

De uma forma geral, a Pedreira HN detém diversos tipos de descontinuidades e estruturas tectônicas no maciço. O afloramento apresenta múltiplas falhas e pares conjugados de fraturas ao longo da parede rochosa que facilitaram a percolação de água da chuva, ocasionando um estado de alteração relativamente elevado em alguns locais específicos na parede rochosa, caracterizado pela coloração amarelada, como é destacado na Figura 4.1.1.

Figura 4.1.1 - Parede rochosa da Pedreira HN, evidencia-se a presença de falhas e pares conjugados de fraturas.



Também são identificadas dobras acinzentadas de grande escala, que posteriormente à análise das lâminas delgadas, identificou-se que os veios acinzentados foram ocasionados pela percolação de magma vulcânico entre as fraturas, permitindo a formação de diques ao longo da parede rochosa.

Em virtude da distinção de materiais encontrados na jazida, optou-se por fabricar quatro lâminas delgadas identificadas como amostra 1, 2, 3 e 4, a fim de garantir a apropriada análise do maciço. Vale ressaltar que o agregado mineral coletado na praça de britagem e posteriormente utilizado para os ensaios laboratoriais possuía em sua composição aproximadamente 90% de partículas pertencentes às amostras 1 e 2. Os resultados das diferentes amostras e suas respectivas composições mineralógicas e características petrográficas encontra-se nas Tabelas 4.1.1 a 4.1.4 juntamente das Figuras 4.1.2 a 4.1.5 que detalham a textura das amostras ensaiadas.

Tabela 4.1.1 - Análise petrográfica da AMOSTRA 1 da Pedreira HN.

ANÁLISE PETROGRÁFICA	
Pedreira: HN - AMOSTRA 1	Class. Petrográfica: Rocha Metamórfica Calco-Silicatada Foliada.
Composição Mineralógica	
Minerais Essenciais: 50% Plagioclásio, 20% Feldspato, 20% Quartzo, 10% Óxidos	
Minerais Acessórios: Óxidos de ferro e Calcita	
Minerais Carbonáticos: Presentes	
Minerais Deletérios: Óxidos de Ferro e Feldspatos	
Características	
<u>Cor:</u> Cinza (estado seco) / Cinza Escuro - esverdeado (estado úmido).	
<u>Estrutura/Textura:</u> Estrutura Foliada. Textura Fanerítica Fina.	
<u>Estado de Alteração:</u> Rocha pouco alterada.	
<u>Propriedades Físico-mecânicas:</u> Rocha Coerente.	
<u>Potencial de Utilização:</u> Revestimentos e pedra britada.	
<u>Observações Adicionais:</u> Apresenta evidente foliação devido o estiramento de alguns minerais observados. Há evidência de micro fraturamentos e há alongamento dos minerais restrito basicamente em suas bordas.	
<u>Microscopia Ótica:</u> Através da microscopia óptica conseguiu-se observar a maior amplitude da alteração, marcada basicamente pela biotita, feldspatos e plagioclásios. A maior evidência é que a alteração seja resultado de uma fonte hidrotermal chegando até a uma fase onde ocorre epidotização de alguns minerais. Quanto a análise estrutural, é evidente estruturas remanescentes de movimento, onde resultaram micro fraturamentos e o estiramento dos grãos em uma direção preferencial. A foliação, estiramento dos grãos e microfraturamentos nos remetem a uma possível submissão de esforços resultando em movimento, condizente a uma possível zona de cisalhamento.	
Detalhes da Textura da Rocha	

Figura 4.1.2 - Detalhes da textura da rocha da HN – AMOSTRA 1 (a) Destaque para a presença de óxidos (aumento de 100 vezes em lupa digital); (b) Lâmina Petrográfica sob luz polarizada (aumento 2,5/0.08).

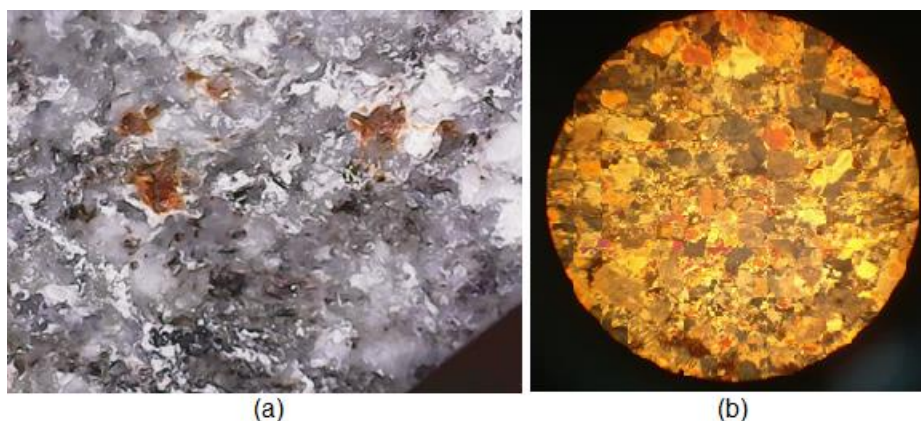


Tabela 4.1.2 - Análise petrográfica da AMOSTRA 2 da Pedreira HN.

ANÁLISE PETROGRÁFICA	
Pedreira: HN - AMOSTRA 2	Classif. Petrográfica: Rocha Metamórfica (Mármore Calcítico)
Composição Mineralógica	
Minerais Essenciais: 70% Calcita, 20% Dolomita, 10% Quartzo	
Minerais Acessórios: Epidoto e Dolomita	
Minerais Carbonáticos: Presentes	
Minerais Deletérios: Epidoto	
Características	
<u>Cor</u> : Branca (estado seco) / Branca (estado úmido).	
<u>Estrutura/Textura</u> : Estrutura Maciça. Textura Granoblástica	
Estado de Alteração: Rocha pouco alterada.	
<u>Propriedades Físico-mecânicas</u> : Rocha Coerente.	
<u>Potencial de Utilização</u> : Revestimentos estéticos (não aplicável ao revestimento de edificações). Pedra britada para concreto e pavimentação betuminosa (porém são pouco resistentes ao desgaste).	
<u>Observações Adicionais</u> : Os minerais de calcita apresentam-se em uma preferência cristalina (alongados em um plano).	
<u>Microscopia Ótica</u> : Malha de intercrescimento de calcita onde gera planos preferenciais de fraturamento (clivagens). Apresenta microfissuras em alguns minerais. Apresenta uma fase intermediária de epidotização nos remetendo a alteração da rocha, com ocorrência por grande parte da lâmina petrográfica (não localmente como observado na análise macroscópica).	
Detalhes da Textura da Rocha	

Figura 4.1.3 - Detalhes da rocha da HN – AMOSTRA 2 (a) Presença de micro fraturas e clorita como mineral de alteração (aumento de 100 vezes em lupa digital); (b) Foto à luz polarizada (aumento 2,5/0.08), com destaque para a calcita apresentando características de clivagem.

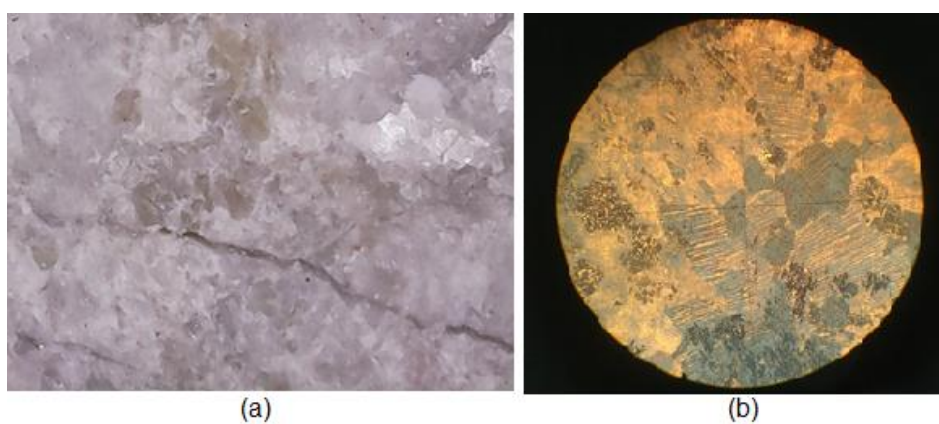


Tabela 4.1.3 - Análise petrográfica da AMOSTRA 3 da Pedreira HN.

ANÁLISE PETROGRÁFICA	
Pedreira: HN - AMOSTRA 3	Classif. Petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica Ácida – Monzoesieno Granito.
Composição Mineralógica	
Minerais Essenciais: 40% Feldspato alcalino, 30% Biotita, 20% Quartzo, 10% Plagioclásios	
Minerais Acessórios: Calcita em pequena quantidade, Minerais de Alteração (Clorita)	
Minerais Carbonáticos: Presentes	
Minerais Deletérios: Feldspato Potássico e Clorita	
Características	
<u>Cor:</u> Avermelhada (estado seco) / Amarronada (estado úmido).	
<u>Estrutura/Textura:</u> Maciça com algumas fraturas preenchidas por carbonatos (calcita). Textura Fanerítica fina.	
<u>Estado de Alteração:</u> Rocha pouco alterada. (Macroscopicamente não apresenta alteração, porém, a análise microscópica indica sinais de alteração.)	
<u>Propriedades Físico-mecânicas:</u> Rocha Coerente.	
<u>Potencial de Utilização:</u> Pode ser utilizado tanto para revestimentos quanto para obtenção de pedra britada.	
<u>Microscopia Ótica:</u> Os feldspatos potássicos se apresentam em maior quantidade nos essenciais, seguido de quartzo e biotita. As fraturas se encontram preenchidas por calcita (veios). Apesar de não apresentar evidente alteração nas análises macroscópicas, a análise das lâminas petrográficas apresentam alto grau de alteração nos feldspatos potássicos, que são os principais minerais essenciais constituintes compondo cerca de 50% da amostra (argilização do feldspato). Os feldspatos alterados possuem formas alongadas, euédricas e angulosas, enquanto o quartzo que se localiza entre os feldspatos, se apresenta anédrico e não anguloso.	
Detalhes da Textura da Rocha	

Figura 4.1.4 - Detalhes da rocha da HN – AMOSTRA 3 (a) Destaque para a fratura preenchida por calcita (aumento de 100 vezes em lupa digital); (b) Foto à luz polarizada com evidência predominante de feldspatos potássicos e quartzos (aumento 2,5/0.08).

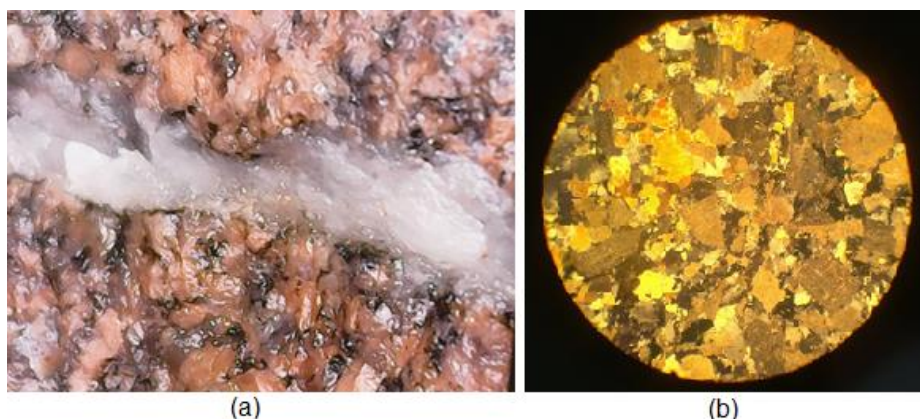
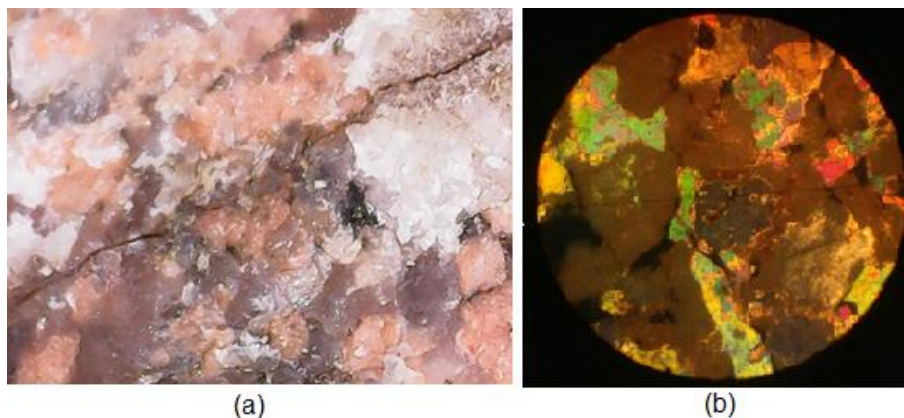


Tabela 4.1.4 - Análise petrográfica da AMOSTRA 4 da Pedreira HN.

ANÁLISE PETROGRÁFICA	
Pedreira: HN - AMOSTRA 4	Classif. Petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Sieno Granito.
Composição Mineralógica	
Minerais Essenciais: 50% Feldspato alcalino, 30% Quartzo, 15% Biotita, 5% Plagioclásios	
Minerais Acessórios: Piroxênio e Calcita	
Minerais Carbonáticos: Presentes	
Minerais Deletérios: Clorita	
Características	
<u>Cor:</u> Alaranjada (estado seco) / Salmão (estado úmido).	
<u>Estrutura/Textura:</u> Maciça / Textura Fanerítica Média.	
<u>Estado de Alteração:</u> Rocha pouco alterada. (Ocorre uma alteração devido a quantidade de carbonatos e a alteração fica evidente devido à perda de brilho dos minerais.)	
<u>Propriedades Físico-mecânicas:</u> Rocha Coerente.	
<u>Potencial de Utilização:</u> Pode ser utilizado tanto para revestimentos quanto para obtenção de pedra britada.	
<u>Microscopia Ótica:</u> Os grãos estão bem angulosos. São vistos grãos de clorita indicando alteração. A alteração fica mais visível na análise microscópica. A alteração ocorre principalmente nos minerais carbonáticos.	
Detalhes da Textura da Rocha	

Figura 4.1.5 - Detalhes da rocha da HN – AMOSTRA 4 (a) Destaque para a presença de micro fraturas e calcitas (aumento de 100 vezes em lupa digital); (b) Foto à luz polarizada (aumento 2,5/0.08), destaque para os feldspatos potássicos bastante alterados por argilização.



4.1.2. Pedreira Calcário Mudador (CMC e CMV)

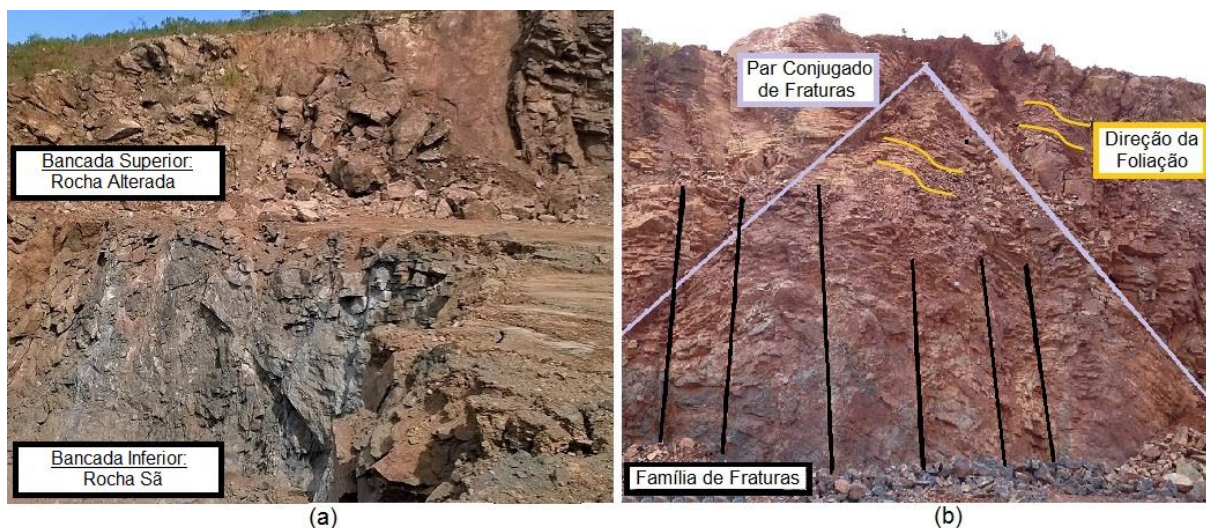
Através da avaliação do maciço rochoso, bem como da área de lavra, conclui-se que a rocha predominantemente apresenta coloração cinza-avermelhada. Porém, em diferentes níveis do maciço rochoso ocorre variação na coloração que se deve aos diferentes graus de alteração da rocha, sendo nítido a disparidade de coloração entre as duas bancadas de extração, como mostra a Figura 4.1.6(a).

A rocha sã possui coloração acinzentada (CMC) e encontra-se na bancada inferior. Após a extração, este material acinzentado é submetido ao processo de britagem até se obter material pulverulento para posteriormente ser empregado para corretivo de solo.

O agregado mineral produzido pela pedreira é oriundo da bancada superior, na qual apresenta resquícios de coloração acinzentada com predominância avermelhada (CMV), cor que caracteriza o processo de alteração da dolomita. Os processos de alteração na bancada superior foram ocasionados pela percolação de água da chuva que adentrou as diversas zonas de falhas ao longo da parede rochosa, provocando a mudança de coloração de cinza para vermelho.

De uma forma geral, a Jazida Calcário Mudador apresenta diversos tipos de descontinuidades no maciço que são exemplificadas na Figura 4.1.6(b). A rocha apresenta estrutura foliada e as dobras de grande escala são marcadas pela foliação, sem um padrão de orientação preferencial, também é possível identificar diversas falhas, fazendo com que a rocha se apresente muito alterada.

Figura 4.1.6 - (a) Bancada Superior (CMV) e Inferior (CMC) da Jazida; (b) Descontinuidades presentes na parede rochosa da bancada superior (CMV).



Das amostras coletadas para a confecção de lâminas petrográficas, apenas uma corresponde a bancada inferior da pedreira (amostra 1) caracterizado pela coloração acinzentada referentes à pedreira CMC. Da bancada superior foram fabricadas duas lâminas delgadas (amostras 2 e 3), entretanto, o agregado britado coletado na praça de britagem evidenciou grande porcentagem de partículas minerais

acinzentadas e avermelhadas, sendo correspondentes à pedreira CMV as amostras 1, 2 e 3.

As composições mineralógicas, características de cor, textura, estrutura, etc. das lâminas delgadas encontram-se descritas nas Tabelas 4.1.5 a 4.1.7 e Figuras 4.1.7 a 4.1.9.

Tabela 4.1.5 - Análise petrográfica da AMOSTRA 1 da Pedreira CM.

ANÁLISE PETROGRÁFICA	
Pedreira: CM - AMOSTRA 1	Class. Petrográfica: Rocha Metamórfica de Médio Grau - Mármore Dolomítico
Composição Mineralógica	
Minerais Essenciais: 60% Dolomita, 30% Calcita, 10% Óxidos	
Minerais Acessórios: Óxidos de ferro	
Minerais Carbonáticos: Presentes	
Minerais Deletérios: Óxidos de Ferro	
Características	
<u>Cor:</u> Cinza Claro (estado seco) / Cinza Escuro (estado úmido).	
<u>Estrutura/Textura:</u> Estrutura maciça com veios preenchidos por carbonatos (calcita). / Textura Muito Fina.	
Estado de Alteração: Rocha pouco alterada.	
<u>Propriedades Físico-mecânicas:</u> Rocha Coerente.	
<u>Potencial de Utilização:</u> Pode ser utilizados para revestimentos internos, pedra britada e uso de corretivo de acidez de solos.	
<u>Observações Adicionais:</u> A textura muito fina dificulta a determinação precisa do tipo de carbonato presente na amostra, porém a utilização de ácido clorídrico e as análises microscópicas evidenciaram a presença de dolomita em maiores quantidades. A amostra de mão apresenta bastante quantidade de fraturas preenchidas sem orientações preferenciais. Com o auxílio do microscópio identificamos diferentes tipos de preenchimentos das fraturas, sendo a calcita a mais abundante, seguida de quartzo, plagioclásio e óxidos.	
Detalhes da Textura da Rocha	

Figura 4.1.7 - Detalhes da rocha CM – AMOSTRA 1 (a) Destaque para os veios de calcita e microfaturas (aumento de 100 vezes em lupa digital); (b) Destaque para as fraturas preenchidas (luz polarizada - aumento 2,5/0.08).

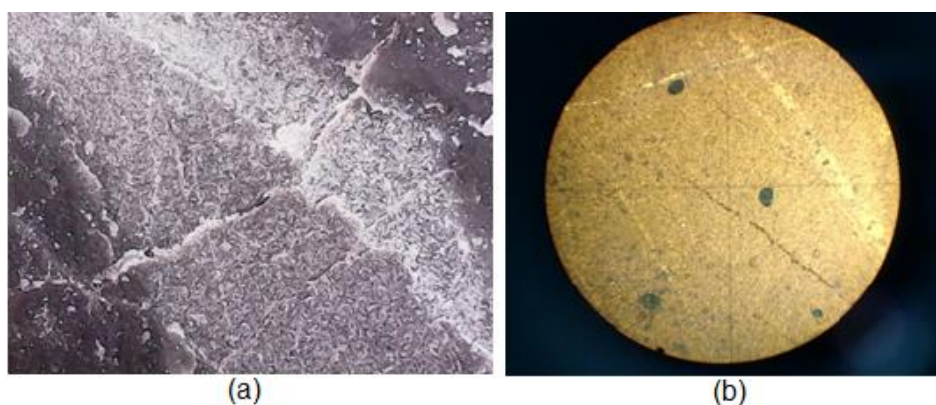


Tabela 4.1.6 - Análise petrográfica da AMOSTRA 2 da Pedreira CM.

ANÁLISE PETROGRÁFICA	
Pedreira: CM - AMOSTRA 2	Class. Petrográfica: Rocha Metamórfica de Médio Grau - Mármore Calcítico
Composição Mineralógica	
Minerais Essenciais: 70% Calcita, 15% Dolomita, 15% Óxidos	
Minerais Acessórios: Óxidos de ferro	
Minerais Carbonáticos: Presentes	
Minerais Deletérios: Óxidos de Ferro	
Características	
<u>Cor:</u> Vermelho/ Vermelho escuro (estado úmido).	
<u>Estrutura/Textura:</u> Estrutura maciça. Textura granoblástica muito fina.	
<u>Estado de Alteração:</u> Rocha pouco alterada.	
<u>Propriedades Físico-mecânicas:</u> Rocha Coerente.	
<u>Potencial de Utilização:</u> Revestimentos internos e pedra britada, não sendo aconselhável para concreto rígido pela sua alta reatividade.	
<u>Observações Adicionais:</u> As análises microscópicas mostram claramente as alterações de baixo grau nos cristais de calcita, o que fica evidente quando observamos os óxidos formados entre os minerais (Luz Natural). Apresenta poucas fraturas, onde algumas são preenchidas por carbonatos e outras por minerais silicáticos com evidências de recristalização. Os minerais constituintes não apresentam orientações preferenciais nem evidências de que a rocha tenha sido submetida à esforços (exceto as poucas fraturas).	
Detalhes da Textura da Rocha	

Figura 4.1.8 - Detalhes da textura da rocha da CM - AMOSTRA 2 (a) Destaque para as microfaturas e a presença de calcita (aumento de 100 vezes em lupa digital); (b) Lâmina Petrográfica sob luz polarizada (aumento 2,5/0.08).

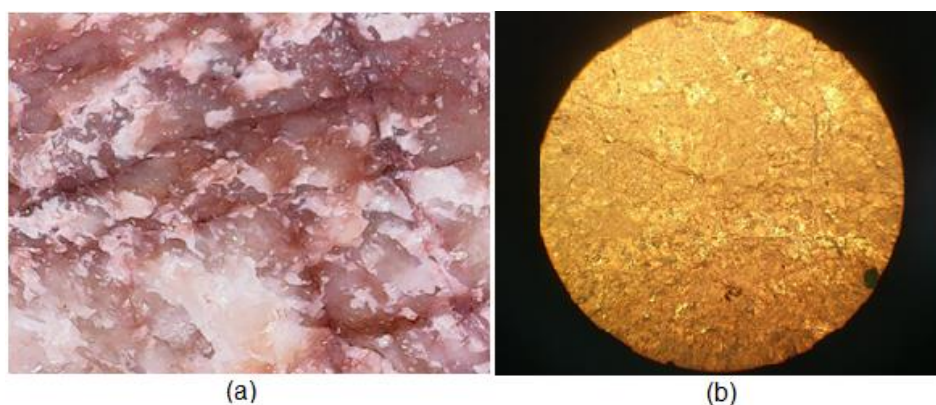
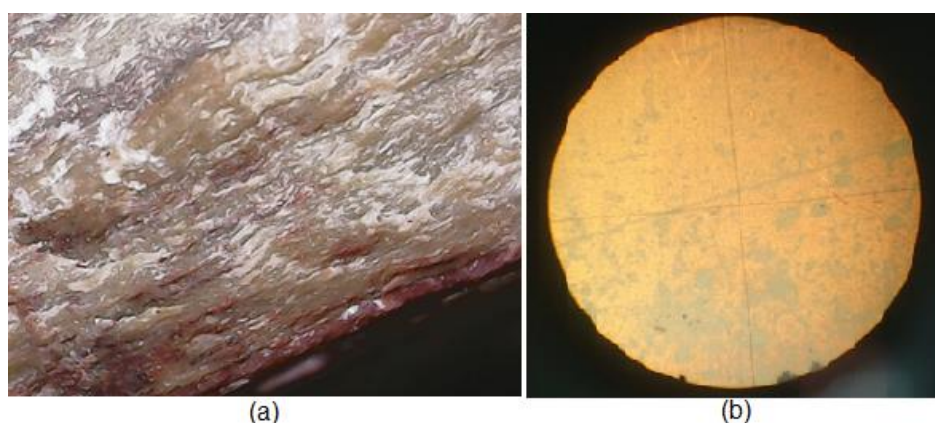


Tabela 4.1.7 - Análise petrográfica da AMOSTRA 3 da Pedreira CM.

ANÁLISE PETROGRÁFICA	
Pedreira: CM - AMOSTRA 3	Class. Petrográfica: Rocha Metamórfica de Baixo Grau - Ardósia
Composição Mineralógica	
Minerais Essenciais: 60% Argilominerais, 30% Quartzo, 10% Calcita	
Minerais Acessórios: Calcita e minerais de alteração (clorita)	
Minerais Carbonáticos: Presentes	
Minerais Deletérios: Argilominerais	
Características	
<u>Cor:</u> Verde/ Verde Escuro (estado úmido).	
<u>Estrutura/Textura:</u> Estrutura Foliada/Textura Muito Fina.	
<u>Estado de Alteração:</u> Rocha pouco alterada.	
<u>Propriedades Físico-mecânicas:</u> Rocha Coerente.	
<u>Potencial de Utilização:</u> Pedra de revestimento e pavimentações/calçamentos. Não se aplica à produção de pedra britada pelo fato de sua foliação gerar fragmentos angulosos e lamelares.	
<u>Observações Adicionais:</u> A estrutura foliada presente na amostra sugere que a mesma esteja inserida em uma zona de cisalhamento ou área tectonicamente ativa, responsáveis por gerar essas estruturas planares com orientações preferenciais. Apresenta grande quantidade de argilominerais e micas, que através das suas orientações e hábitos placóides, atribuem as características da clivagem da amostra (ardosiana).	
Detalhes da Textura da Rocha	

Figura 4.1.9 - Detalhes da textura da rocha CM - AMOSTRA 3 (a) Detalhe da foliação bem desenvolvida (aumento de 100 vezes em lupa digital); (b) Lâmina Petrográfica com presença de argilominerais.



4.1.3. Pedreira SBS Engenharia (SBS)

Por meio da análise ao maciço rochoso, foi possível observar que a Pedreira SBS constitui-se de uma rocha ígnea plutônica ácida. Na maior parte do afloramento granítico não houve constatação a olho nú de alteração intempérica elevada,

entretanto, nas zonas de falhas observou-se maior estado de alteração por parte da rocha, em virtude da percolação de água pelas fraturas.

Embora a predominância da lavra fosse granito rosa com elevada quantidade de feldspato potássico branco, verificou-se mudança composicional ao longo do afloramento através da presença de granitos mais escuros, cujos minerais máficos compostos de ferro e magnésio ostentam a capacidade de se alterarem mais facilmente que os minerais silicosos.

Conforme exibido na Figura 4.1.10, verificou-se a presença de uma grande zona de falha com elevado grau de fraturamento de seu material rochoso ocasionado por processos de cisalhamento entre os elementos. Parte do maciço exibiu famílias de fraturas verticais e oblíquas, atingindo angulação preferencial próximo a 45°.

Figura 4.1.10 - Parede rochosa da Pedreira SBS. a) Zona de Cataclase em evidência e fragmentação do material rochoso; (b) Família de fraturas verticais e oblíquas.



Sendo assim, ao validar todas as informações supracitadas, conclui-se que esta rocha pertence à borda do batólito de Pelotas e que as fraturas e falhas que ocorrem no afloramento deve ao fato desta região estar inserido na borda do granito.

No decorrer da visita foram coletadas seis amostras de mão (denominadas amostras 1, 2, 3, 4, 5 e 6) em pontos estratégicos do afloramento para a descrição

macroscópica e para a confecção de lâminas delgadas. O elevado número de amostras se deu pela mudança composicional da rocha, elevada oxidação em pontos específicos e presença de estruturas foliadas em determinadas bancadas. Foram realizadas as confecções das lâminas delgadas sempre que possível e suas respectivas descrições e imagens encontram-se na Tabela 4.1.8 a 4.1.13 e Figura 4.1.11 a 4.1.16.

É válido adicionar, que nas amostras de agregado britado utilizadas para a realização dos ensaios de caracterização, não foi possível identificar e distinguir a porcentagem presente de cada amostra na composição final do material, dessa forma, não se pode afirmar a correta porcentagem de monzo granito, sieno granito ou porções alteradas que compunham as diferentes amostras.

Tabela 4.1.8 - Análise petrográfica da AMOSTRA 1 da Pedreira SBS.

ANÁLISE PETROGRÁFICA	
Pedreira: SBS - AMOSTRA 1	Class. Petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Sieno Granito
Composição Mineralógica	
Minerais Essenciais: 45% Feldspato alcalino, 20% Quartzo, 20% Plagioclásio, 15% Máficos	
Minerais Acessórios: Óxidos	
Minerais Carbonáticos: Ausentes	
Minerais Deletérios: Óxidos	
Características	
<u>Cor:</u> Branca e Preta (estado seco) / Preta e Cinza Escura (estado úmido).	
<u>Estrutura/Textura:</u> Maciça / Textura Fanerítica Média Inequigranular.	
<u>Estado de Alteração:</u> Rocha pouco alterada.	
<u>Propriedades Físico-mecânicas:</u> Rocha muito coerente.	
<u>Potencial de Utilização:</u> Revestimento e pedra britada.	
<u>Microscopia Ótica:</u> Os plagioclásios são predominantes e apresentam bastante alterados por argilização. É visível, em alguns pontos, sinais de processos hidrotermais. Possui microfraturas, clorita e são preenchidos por óxidos.	
Detalhes da Textura da Rocha	

Figura 4.1.11 - Detalhes da textura da rocha SBS - AMOSTRA 1 (a) Amostra de mão; (b) Lâmina Petrográfica com destaque para as fraturas preenchidas por óxidos (aumento 2,5/0.08).

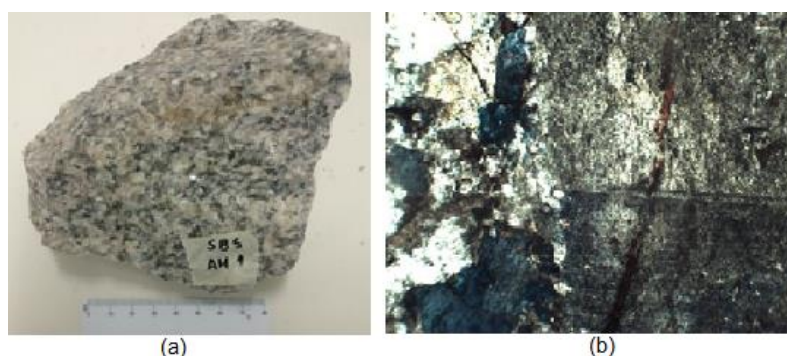


Tabela 4.1.9 - Análise petrográfica da AMOSTRA 2 da Pedreira SBS.

ANÁLISE PETROGRÁFICA	
Pedreira: SBS - AMOSTRA 2	Class. Petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Sieno Granito
Composição Mineralógica	
Minerais Essenciais: 45% Feldspato Alcalino, 20% Quartzo, 20% Biotita, 15% Plagioclásio	
Minerais Acessórios: Óxidos de Ferro	
Minerais Carbonáticos: Ausentes	
Minerais Deletérios: Óxidos de Ferro	
Características	
<u>Cor:</u> Vermelho Claro (estado seco) / Vermelho (estado úmido).	
<u>Estrutura/Textura:</u> Maciça / Fanerítica.	
<u>Estado de Alteração:</u> Rocha pouco alterada.	
<u>Propriedades Físico-mecânicas:</u> Rocha Coerente.	
<u>Potencial de Utilização:</u> Revestimento e pedra britada.	
<u>Microscopia Ótica:</u> Ocorre bastante alteração dos feldspatos alcalinos por processos de argilização, apresenta microfraturas e quartzo microcristalino.	
Detalhes da Textura da Rocha	

Figura 4.1.12 - Detalhes da textura da rocha SBS - AMOSTRA 2 (a) Amostra de mão; (b) Lâmina Petrográfica com destaque para plagioclásio alterado por argilização (aumento 2,5/0.08).

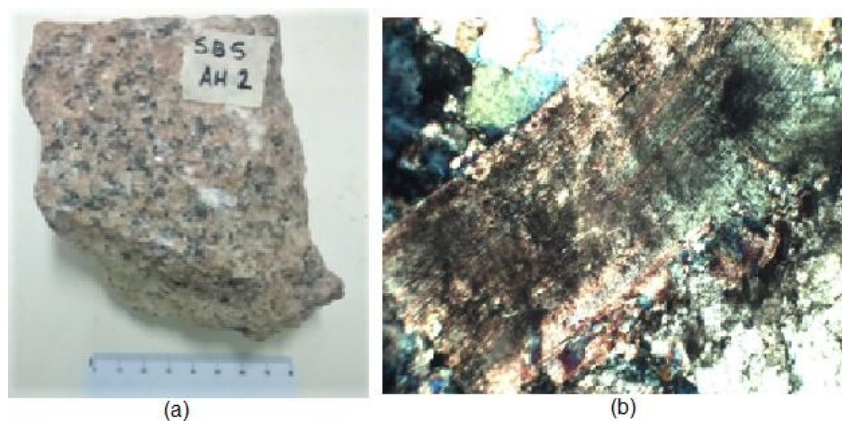


Tabela 4.1.10 - Análise petrográfica da AMOSTRA 3 da Pedreira SBS.

ANÁLISE PETROGRÁFICA	
Pedreira: SBS - AMOSTRA 3	Class. Petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Sieno Granito
Composição Mineralógica	
Minerais Essenciais: 30% Argilomineral, 25% K-Feldspato, 25% Quartzo, 10% Biotita, 10% Óxidos	
Minerais Acessórios: Biotita, Óxidos e Argilominerais	
Minerais Carbonáticos: Ausentes	
Minerais Deletérios: Óxidos e Argilominerais	
Características	
<u>Cor:</u> Rosa Claro (estado seco) / Rosa Fraco (estado úmido).	
<u>Estrutura/Textura:</u> Maciça / Textura Fanerítica Média Inequigranular.	
<u>Estado de Alteração:</u> Rocha Alterada.	
<u>Propriedades Físico-mecânicas:</u> Rocha Friável.	
<u>Potencial de Utilização:</u> Essa rocha não é utilizada para agregado.	
<u>Observações Adicionais:</u> O feldspato alcalino está muito alterado, e a presença de óxidos é grande ao longo de toda a amostra.	
Detalhes da Textura da Rocha	

Figura 4.1.13 - Detalhes da textura da rocha da Pedreira SBS - AMOSTRA 3.



Tabela 4.1.11 - Análise petrográfica da AMOSTRA 4 da Pedreira SBS.

ANÁLISE PETROGRÁFICA	
Pedreira: SBS - AMOSTRA 4	Classif. Petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Monzo Granito
Composição Mineralógica	
Minerais Essenciais: 40% Plagioclásio, 30% Biotita, 15% Quartzo, 10% K- Feldspato, 5% Óxidos	
Minerais Acessórios: Clorita e Óxidos de Ferro	
Minerais Carbonáticos: Ausentes	
Minerais Deletérios: Clorita e Óxidos de Ferro	
Características	
<u>Cor</u> : Cinza Claro (estado seco) / Cinza (estado úmido).	
<u>Estrutura/Textura</u> : Maciça / Fanerítica Média.	
<u>Estado de Alteração</u> : Rocha pouco alterada.	
<u>Propriedades Físico-mecânicas</u> : Rocha Coerente.	
<u>Microscopia Ótica</u> : Os plagioclásios estão presentes em maior quantidade e se apresentam bastante alterados. A grande quantidade de cloritas sugere alteração hidrotermal.	
Detalhes da Textura da Rocha	

Figura 4.1.14 - Detalhes da textura da rocha SBS - AMOSTRA 4 (a) Amostra de mão; (b) Lâmina Petrográfica com destaque para a clorita como mineral de alteração (aumento 2,5/0.08).

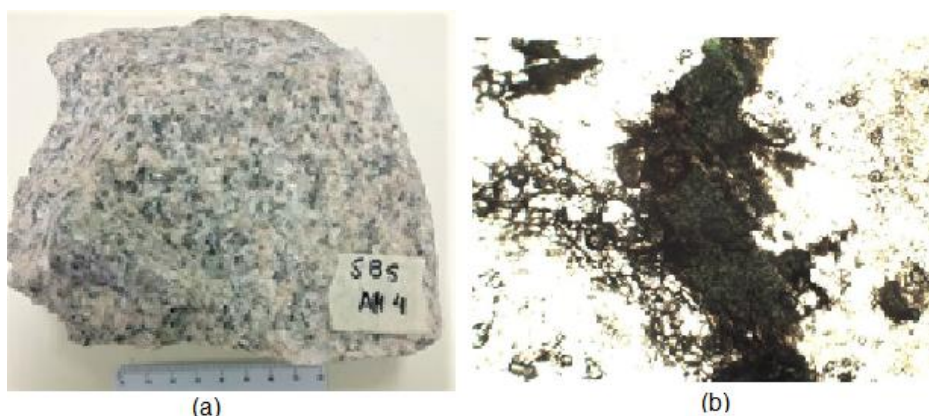


Tabela 4.1.12 - Análise petrográfica da AMOSTRA 5 da Pedreira SBS.

ANÁLISE PETROGRÁFICA	
Pedreira: SBS - AMOSTRA 5	Classif. Petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Sieno Granito.
Composição Mineralógica	
Minerais Essenciais: 45% K-Feldspato, 20% Quartzo, 20% Biotita, 15% Plagioclásio	
Minerais Acessórios: Máficos e Óxidos	
Minerais Carbonáticos: Ausentes	
Minerais Deletérios: Máficos e Óxidos	
Características	
<u>Cor</u> : Rosada, Branca e Preta (estado seco) / Preto, Rosa Escura e Cinza Escura (estado úmido).	
<u>Estrutura/Textura</u> : Foliada / Fanerítica Média Inequigranular.	
<u>Estado de Alteração</u> : Rocha pouco alterada	
<u>Propriedades Físico-mecânicas</u> : Rocha Coerente.	
<u>Potencial de Utilização</u> : Revestimento e pedra britada.	
<u>Informações Adicionais</u> : A foliação segue uma orientação preferencial. Grande parte dos cristais possuem tamanho parecido, porém ocorrem alguns porfiroclastos maiores.	
<u>Microscopia Ótica</u> : <u>Corte transversal</u> : ocorre predominância de plagioclásios, contém grande quantidade de quartzo microcristalino (recristalização dinâmica), os plagioclásios estão bastante alterados por processos de argilização, o quartzo microcristalino se encontra entre grandes cristais de plagioclásio, embora a rocha apresenta foliação ao ser analisada macroscopicamente, na análise microscópica não foram encontradas orientações ou estiramentos nos minerais.	
<u>Corte longitudinal</u> : Ocorre predominância de plagioclásios (bastante alterados), quartzo hipocristalino com microfraturas presentes, ocorre argilização dos plagioclásios, não apresenta orientação, como visto macroscopicamente.	
Detalhes da Textura da Rocha	

Figura 4.1.15 - Rocha SBS - AMOSTRA 5 (a) Amostra de mão; (b) Corte paralelo à foliação evidencia alteração dos plagioclásios; (c) Corte perpendicular à foliação evidencia recristalização dinâmica (cisalhamento).

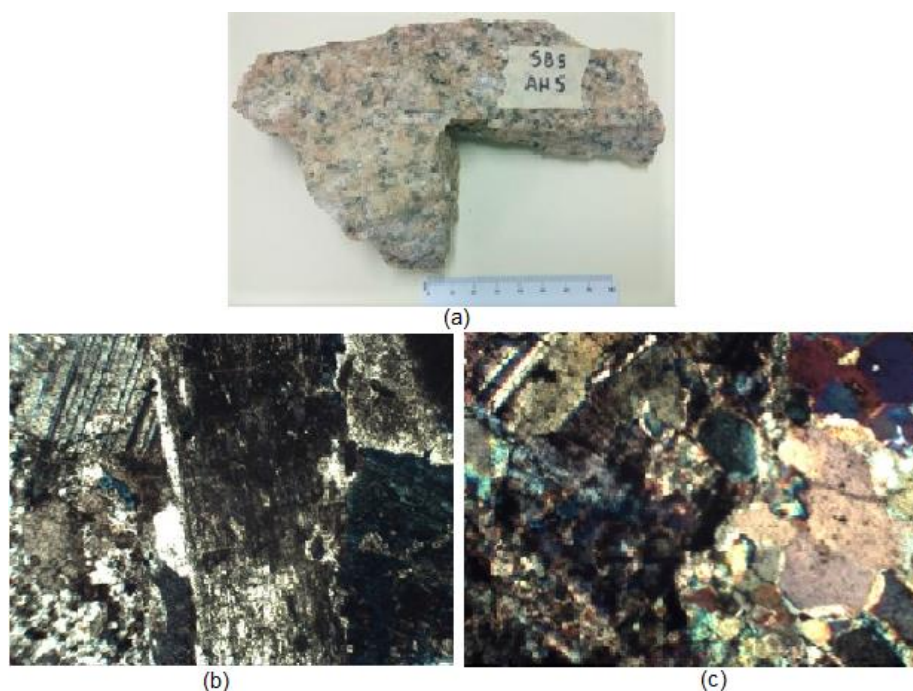
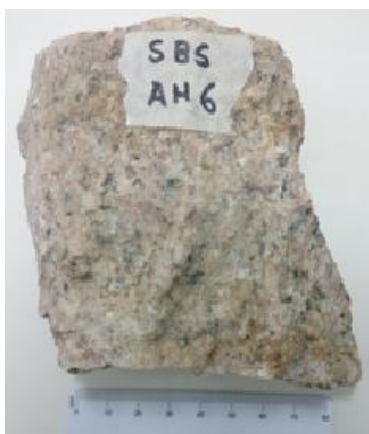


Tabela 4.1.13 - Análise petrográfica da AMOSTRA 6 da Pedreira SBS.

ANÁLISE PETROGRÁFICA	
Pedreira: SBS - AMOSTRA 6	Class. Petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Sieno Granito
Composição Mineralógica	
Minerais Essenciais: 30% Argilominerais, 25% K-Feldspato, 25% Quartzo, 10% Biotita, 10% Óxidos	
Minerais Acessórios: Biotita, Óxidos e Argilominerais	
Minerais Carbonáticos: Ausentes	
Minerais Deletérios: Óxidos e Argilominerais	
Características	
<u>Cor:</u> Rosada Clara (estado seco) / Rosada Escura (estado úmido).	
<u>Estrutura/Textura:</u> Foliada / Fanerítica Média Inequigranular.	
<u>Estado de Alteração:</u> Rocha Alterada.	
<u>Propriedades Físico-mecânicas:</u> Rocha Friável.	
<u>Potencial de Utilização:</u> Essa rocha não é utilizada para agregado (muito alterada).	
<u>Informações Adicionais:</u> Rocha bem alterada, principalmente nos feldspatos. O alto grau de alteração impossibilitou a confecção das lâminas petrográficas.	
Detalhes da Textura da Rocha	

Figura 4.1.16 - Detalhes da textura da rocha da Pedreira SBS - AMOSTRA 6.



4.1.4. Pedreira São Juvenal (SJ)

A Jazida SJ é composta de rocha ígnea extrusiva - Basalto e apresenta estrutura maciça e textura afanítica, sua coloração predominante é cinza escuro com algumas porções avermelhadas e esverdeadas. A parte superior do maciço rochoso apresenta maior grau de intemperização, dado a presença de material rochoso em fase de transformação para solo, entretanto, tudo em pequenas escalas.

A Figura 4.1.17 exhibe a presença de disjunções verticais e horizontais causadas pela ação do resfriamento rápido da lava, sendo este, um processo característico de rochas ígneas.

Figura 4.1.17 - Parede rochosa da Pedreira SJ com Disjunções verticais e horizontais.



A Tabela 4.1.14 e Figura 4.1.18 exibem os dados de caracterização encontrados através das análises macro e microscópicas da amostra referente a Pedreira SJ.

Tabela 4.1.14 - Análise petrográfica da AMOSTRA 1 da Pedreira SJ.

ANÁLISE PETROGRÁFICA	
Pedreira: SJ - AMOSTRA 1	Class. Petrográfica: Rocha Ígnea Extrusiva – Basalto.
Composição Mineralógica	
Minerais Essenciais: 40% Plagioclásio, 30% Clinopiroxênio, 20% Olivina, 10% Óxidos	
Minerais Acessórios: Biotita e Óxidos	
Minerais Carbonáticos: Ausentes	
Minerais Deletério: Óxidos	
Características	
<u>Cor:</u> Cinza Avermelhado (estado seco) / Cinza Escuro (estado úmido).	
<u>Estrutura/Textura:</u> Maciça / Afanítica.	
Estado de Alteração: Rocha pouco alterada.	
<u>Propriedades Físico-mecânicas:</u> Rocha Coerente.	
<u>Potencial de Utilização:</u> Agregado para pavimentação e obras civis.	
<u>Microscopia Ótica:</u> A análise microscópica mostrou que a rocha possui grande quantidade de plagioclásio e piroxênio como minerais principais e presença de uma quantidade razoável de olivina como mineral secundário. A amostra possui a superfície alterada por oxidação.	
Detalhes da Textura da Rocha	

Figura 4.1.18 - Detalhes da rocha SJ - AMOSTRA 1 (a) Amostra de mão; (b) Vista em microscópio petrográfico com destaque para cristal de olivina (aumento 2,5/0.08).



4.1.5. Pedreira Capilheira (CAP)

Por meio da avaliação do maciço rochoso e da área de lavra classificou-se a Jazida CAP como um sill de rocha ígnea hipoabissal - Diabásio. Este tipo de rocha normalmente ocorre em corpos rochosos consolidados ao longo do percurso do magma que, vindo de grandes profundidades, busca alcançar a superfície da Terra, percorrendo fraturas profundas, e alojando-se nas estruturas das rochas encaixantes, formando-se assim, os sills.

O material rochoso detém estrutura maciça e textura fanerítica fina, com coloração predominantemente cinza escuro podendo variar para amarelo e verde conforme o grau de intemperização do local. As partes superiores do maciço e de todas as bancadas ostentam grau elevado de intemperização, marcada pela coloração amarelada da rocha.

Essa intemperização é justificada pela percolação de água da chuva nas disjunções verticais e horizontais (vide Figura 4.1.19) facilitando o processo de alteração. Há também grandes zonas de falhas geológicas que atravessam as paredes rochosas, auxiliando na percolação de água e conseqüentemente no processo de alteração do material.

Figura 4.1.19 - Parede rochosa da Pedreira CAP com Disjunções verticais e horizontais.



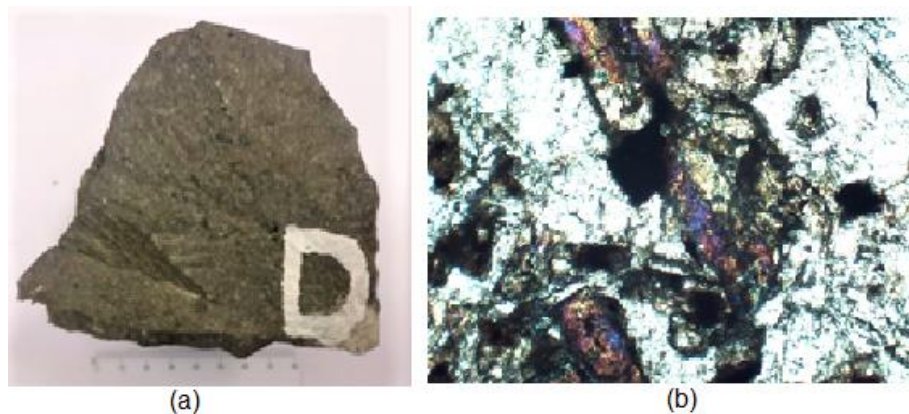
A Tabela 4.1.15 descreve a análise microscópica da amostra de mão coletada *in situ*, analisando componentes mineralógicos, estrutura e textura do material,

propriedades físico-mecânicas, etc. A Figura 4.1.20 detalha a textura da rocha analisada, bem como os minerais predominantes na amostra.

Tabela 4.1.15 - Análise petrográfica da AMOSTRA 1 da Pedreira CAP.

ANÁLISE PETROGRÁFICA	
Pedreira: CAP - AMOSTRA 1	Class. Petrográfica: Rocha Ígnea Hipoabissal - Diabásio.
Composição Mineralógica	
Minerais Essenciais: 50% Plagioclásio, 35% Clinopiroxênio, 15% Óxidos	
Minerais Acessórios: Biotita	
Minerais Carbonáticos: Ausentes	
Características	
<u>Cor</u> : Cinza Escuro (estado seco) / Cinza Escuro (estado úmido).	
<u>Estrutura/Textura</u> : Maciça / Fanerítica Fina.	
<u>Estado de Alteração</u> : Rocha pouco alterada.	
<u>Propriedades Físico-mecânicas</u> : Rocha coerente.	
<u>Potencial de Utilização</u> : Agregado para pavimentação e construção civil.	
<u>Microscopia Ótica</u> : A análise microscópica mostrou que a rocha possui grande quantidade de plagioclásio e clino piroxênio como minerais principais.	
Detalhes da Textura da Rocha	

Figura 4.1.20 - Detalhes da textura da rocha CAP - AMOSTRA 1 (a) Amostra de mão; (b) Lâmina Petrográfica vista em microscópio petrográfico com predominância de clinopiroxênios e plagioclásios (aumento 2,5/0.08).



4.1.6. Pedreira Concepa (CONC)

A Pedreira CONC é formada por uma intrusão vulcânica, e dessa forma, é classificada como rocha ígnea hipoabissal - Diabásio. Apresenta descontinuidades principais de fraturas as disjunções colunares (vide Figura 4.1.21), que são características primárias da rocha causadas pelo resfriamento da lava vulcânica.

Figura 4.1.21 - Parede rochosa da Pedreira CONC com disjunções colunares.



Em alguns locais do maciço rochoso ocorrem porções mais oxidadas podendo ser justificado pelo fato da pedreira se encontrar inativa desde 2015. A presença de partes alteradas ocorre devido a percolação da água pelas fraturas, que ataca principalmente os minerais ferro magnesianos, que são altamente suscetíveis ao intemperismo. Entretanto, ao se analisar o maciço rochoso como um todo, conclui-se que ele se encontra pouco alterado.

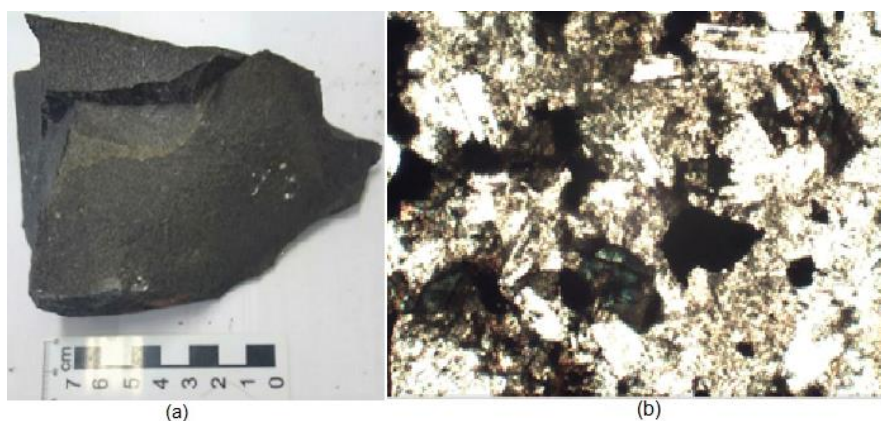
O material analisado provém de uma porção do meio do derrame com uma grande quantidade de disjunções verticais preferencialmente. Mesmo estando intensamente fragmentada, a rocha tem dureza elevada, textura afanítica com pequenos porfiroclastos (piroxênios e plagioclásios) e presença de vesículas em partes bem isoladas do maciço.

O resultado da análise petrográfica do material coletado em campo se encontra na Tabela 4.1.16 bem como imagens da amostra da lâmina delgada na Figura 4.1.22.

Tabela 4.1.16 - Análise petrográfica da AMOSTRA 1 da Pedreira CONC.

ANÁLISE PETROGRÁFICA	
Pedreira: CONC - AMOSTRA 1	Class. Petrográfica: Rocha Ígnea Hipoabissal - Diabásio
Composição Mineralógica	
Minerais Essenciais: 50% Plagioclásio, 25% Óxidos, 15% Biotita, 10% Piroxênio	
Minerais Acessórios: Óxidos de Ferro	
Minerais Carbonáticos: Ausente	
Minerais Deletérios: Óxidos de Ferro	
Características	
<u>Cor:</u> Cinza (seco) / Cinza Escuro (úmido).	
<u>Estrutura/Textura:</u> Maciça. Textura Afanítica com microcristais.	
<u>Estado de Alteração:</u> Rocha pouco alterada.	
<u>Potencial de Utilização:</u> pavimentação de rodovias, pedra britada e revestimento.	
<u>Microscopia Ótica:</u> na análise microscópica foram vistos plagioclásios, olivinas, clino piroxênios e micro fraturas.	
Detalhes da Textura da Rocha	

Figura 4.1.22 - Detalhes da textura da rocha CONC - AMOSTRA 1 (a) Amostra de mão; (b) Lâmina Petrográfica vista em microscópio petrográfico (aumento 2,5/0.08).



As principais características mineralógicas, texturais e estruturais, com a classificação petrográfica final de cada jazida são resumidas e exibidas na Tabela 4.1.17. Das seis pedreiras analisadas, é possível identificar quatro grupos distintos de rochas, cujas semelhanças baseiam-se nas características petrográficas, sendo a HN e CM (CMC e CMV) rochas metamórficas representadas por um mármore; SBS como rocha intrusiva classificada como sieno granito; SJ como rochas extrusivas básica representada pelo Basalto; CAP e CONC como rochas hipoabissais representadas por Diabásios.

Tabela 4.1.17 - Resumo das características petrográficas obtidas através das diferentes lâminas delgadas.

Pedreira	Amostra	Estrutura	Textura	Alteração	Características Mineralógicas														Classificação Parcial	Porcentagem de cada amostra na Composição Final do Agregado Britado	Classif. Final		
					Biotita	Quartzo	Plagioclásio	Feldspato	Óxidos de Ferro	Máficos	Calcita	Epidoto	Dolomita	Clorita	Olivina	Argilominerais	Piroxênios	Clinopiroxênio				Minerais Carbonáticos	Micro Fraturamento
HN	1	Foliada	Fanerítica Fina	Pouco	x	x	x	x		x							x	x	Metamórfica Calco-Silicatada	30%	Metamórfica Mármore Calcítico		
	2	Maciça	Granoblástica	Pouco		x					x	x	x				x	x	Metamórfica - Mármore Calcítico	60%			
	3	Maciça*	Fanerítica Fina	Pouco	x	x	x	x			x						x		Ígnea Intrusiva - Monzo-sieno Granito	5%			
	4	Maciça	Fanerítica Média	Pouco	x	x	x	x			x					x	x		Ígnea Intrusiva Sieno Granito	5%			
CM	CMC	1	Maciça*	Afanítica	Pouco		x**	x**		x		x		x			x	x	Metamórfica de Médio Grau - Mármore Dolomítico	100%	Metamórfica Mármore Dolomítico		
		1	Maciça*	Afanítica	Pouco		x**	x**		x		x					x	x	Metamórfica de Médio Grau - Mármore Dolomítico	40%	Metamórfica Mármore Calcítico		
	CMV	2	Maciça	Granoblástica Fina	Pouco					x		x					x		Metamórfica de Médio Grau - Mármore Calcítico	40%			
3	Foliada	Fanerítica Muito Fina	Pouco		x						x		x				x		Metamórfica de Baixo Grau - Ardósia	20%			
SBS	1	Maciça	Fanerítica Inequigranular	Pouco		x	x	x	x	x							x		Ígnea Intrusiva - Sieno Granito	-	Ígnea Intrusiva Ácida Sieno Granito		
	2	Maciça	Fanerítica	Pouco	x	x	x	x	x								x		Ígnea Intrusiva - Sieno Granito	-			
	3	Maciça	Fanerítica Inequigranular	Muito	x	x		x	x									x		Ígnea Intrusiva - Sieno Granito		-	
	4	Maciça	Fanerítica Média	Pouco	x	x	x	x	x										Ígnea Intrusiva - Monzo Granito	-			
	5	Foliada	Fanerítica Inequigranular	Pouco	x	x	x	x	x	x									Ígnea Intrusiva - Sieno Granito	-			
	6	Foliada	Fanerítica Inequigranular	Muito	x	x		x	x										x			Ígnea Intrusiva - Sieno Granito	-
SJ	1	Maciça	Afanítica	Pouco	x		x		x									x		Ígnea Extrusiva - Basalto	100%	Ígnea Extrusiva Basalto	
CAP	1	Maciça	Fanítica Fina	Pouco	x		x		x										x		Ígnea Hipoabissal - Diabásio	100%	Ígnea Hipoabissal Diabásio
CONC	1	Maciça	Afanítica com Microcristais	Pouco	x		x		x										x		Ígnea Hipoabissal - Diabásio	100%	Ígnea Hipoabissal Diabásio

* = Maciça com algumas fraturas preenchidas

x** = Minerais que compõem o material de preenchimento

4.2. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

O presente capítulo expõe de forma discriminada os parâmetros e propriedades obtidos através dos ensaios de caracterização. Para tornar mais acessível a compreensão de todos os resultados obtidos, encontra-se no APÊNDICE A uma tabela resumo de todos os resultados encontrados pelo autor.

É importante lembrar que o agregado CMC era produzido pela empresa para posteriormente venda como corretivo de potencial hidrogeniônico (pH) de solo, dessa forma, o objetivo da empresa era apenas transformar a rocha em material pulverulento e não a fabricação de pilhas graduadas de agregado mineral. Em virtude disso, se tornou inviável a realização de diversos ensaios de caracterização desta rocha, principalmente os ensaios ligados aos índices de forma das partículas, em virtude da não utilização do material como agregado de pavimentação.

Outro dado relevante já citado anteriormente, é que a Pedreira CM não produzia agregado miúdo em suas instalações, sendo este, transportado de uma segunda instalação localizada em Bagé e também estudada por esta pesquisa (Pedreira HN). Dessa forma, não serão apresentados ensaios de caracterização da fração miúda correspondente à Pedreira CM.

4.2.1. Análise Granulométrica

A granulometria dos agregados pode ser considerada uma de suas principais propriedades podendo interferir nas características intrínsecas de alterabilidade, durabilidade e intemperização da rocha; nas características das misturas asfálticas como rigidez, trabalhabilidade, estabilidade. Para os agregados empregados em enrocamentos e filtros, a correta distribuição granulométrica também visa garantir adequado imbricamento, estabilidade estrutural e permeabilidade necessária à drenagem de águas pluviais.

Das distribuições granulométricas de maior graduação, a Jazida CMC apresentou maior diâmetro nominal dentre todas as ensaiadas, seguida pela HN, CMV e CONC, SJ e por fim CAP. Com relação às “Pilhas 3/8”, não houve grandes diferenciações entre os diferentes locais, entretanto, fica evidente que SBS detém

distribuições granulométricas mais equilibrada para todas as pilhas ensaiadas. As curvas granulométricas estão apresentadas da Figura 4.2.1. a Figura 4.2.7.

Figura 4.2.1 - Curvas granulométricas dos agregados da Jazida HN.

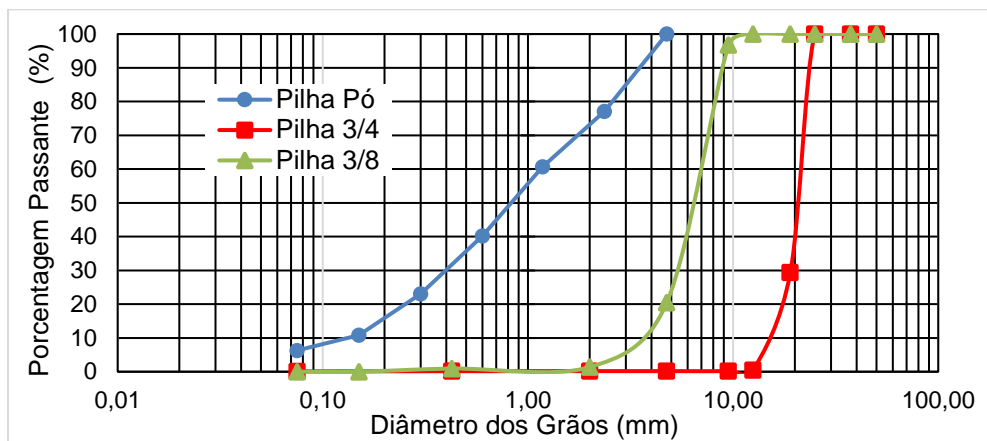


Figura 4.2.2 - Curva granulométrica do agregado da Jazida CM (CMC).

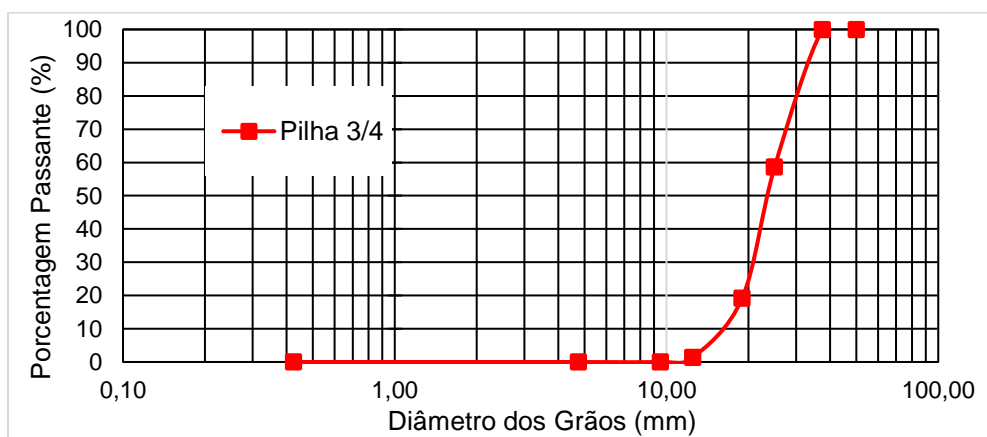


Figura 4.2.3 - Curvas granulométricas dos agregados da Jazida CM (CMV).

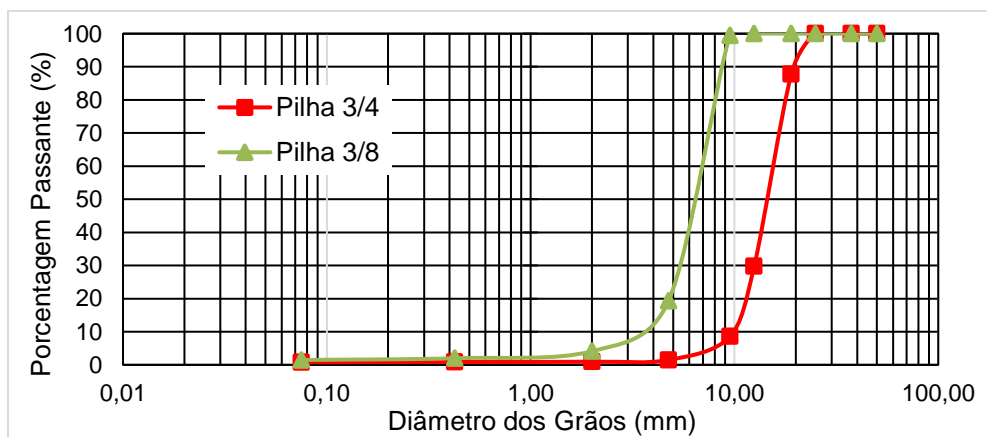


Figura 4.2.4 - Curvas granulométricas dos agregados da Jazida SBS.

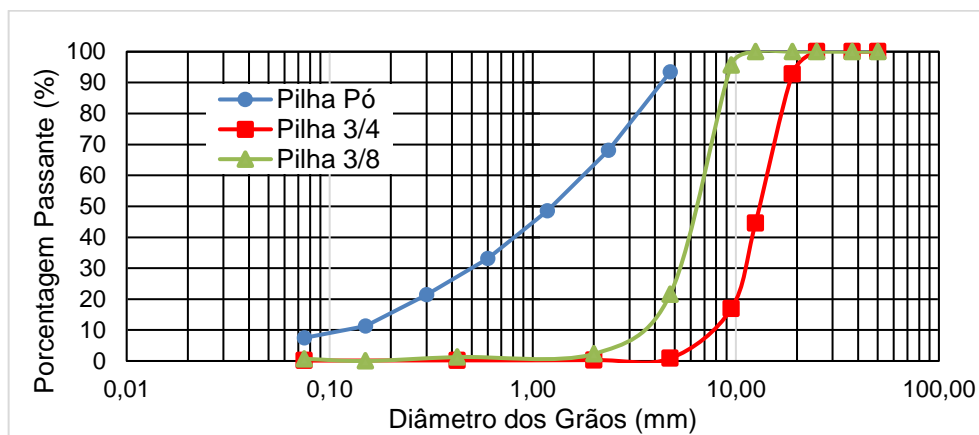


Figura 4.2.5 - Curvas granulométricas dos agregados da Jazida SJ.

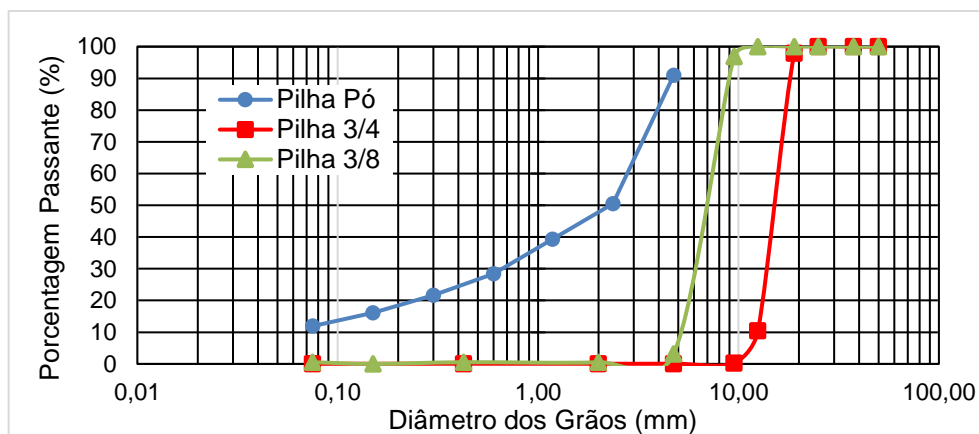


Figura 4.2.6 - Curvas granulométricas dos agregados da Jazida CAP.

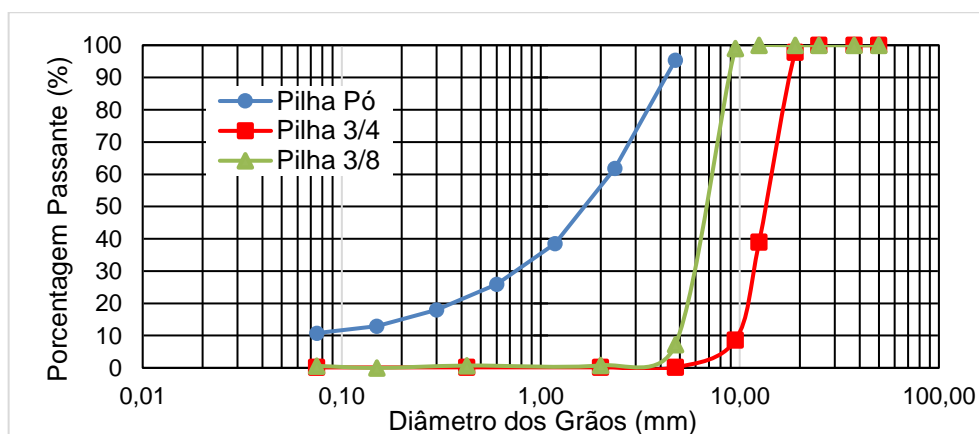
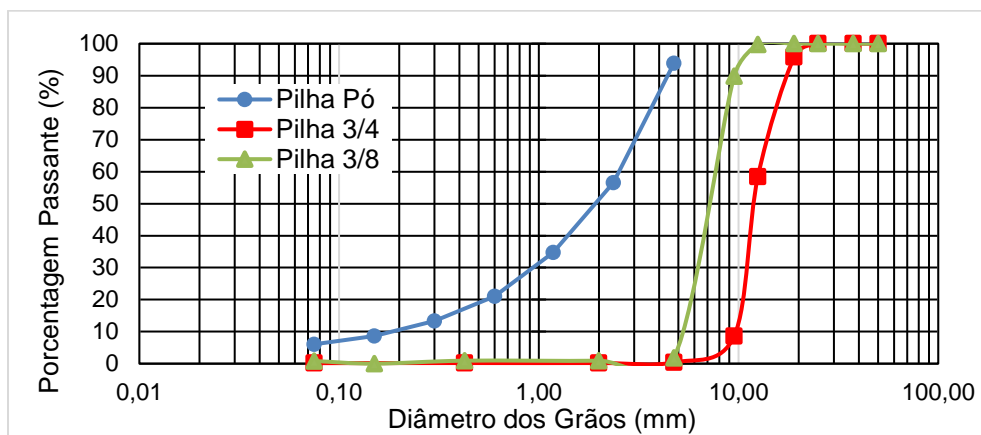


Figura 4.2.7 - Curvas granulométricas dos agregados da Jazida CONC.



4.2.2. Índices Físicos e Massa Unitária

Nas Tabelas 4.2.1 e 4.2.2 apresentadas a seguir, são exibidos os resultados dos ensaios de caracterização física e massa unitária no estado solto dos materiais estudados. A primeira tabela engloba os resultados dos agregados oriundos da Pilha 3/4", seguidos pelos agregados da Pilha 3/8", sendo perceptível a influência do diâmetro nominal de cada agregado na relação de seus índices físicos.

Tabela 4.2.1 - Resultado dos índices físicos e massa unitária da brita 3/4" para todas as pedreiras estudadas.

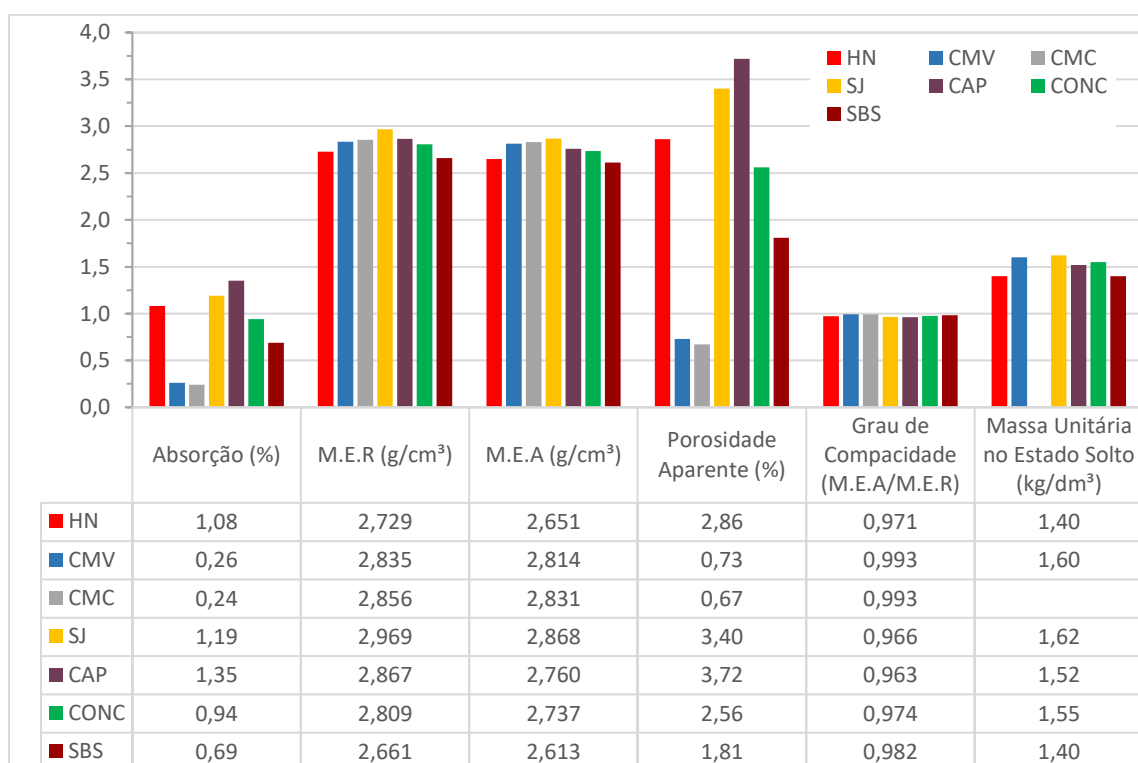
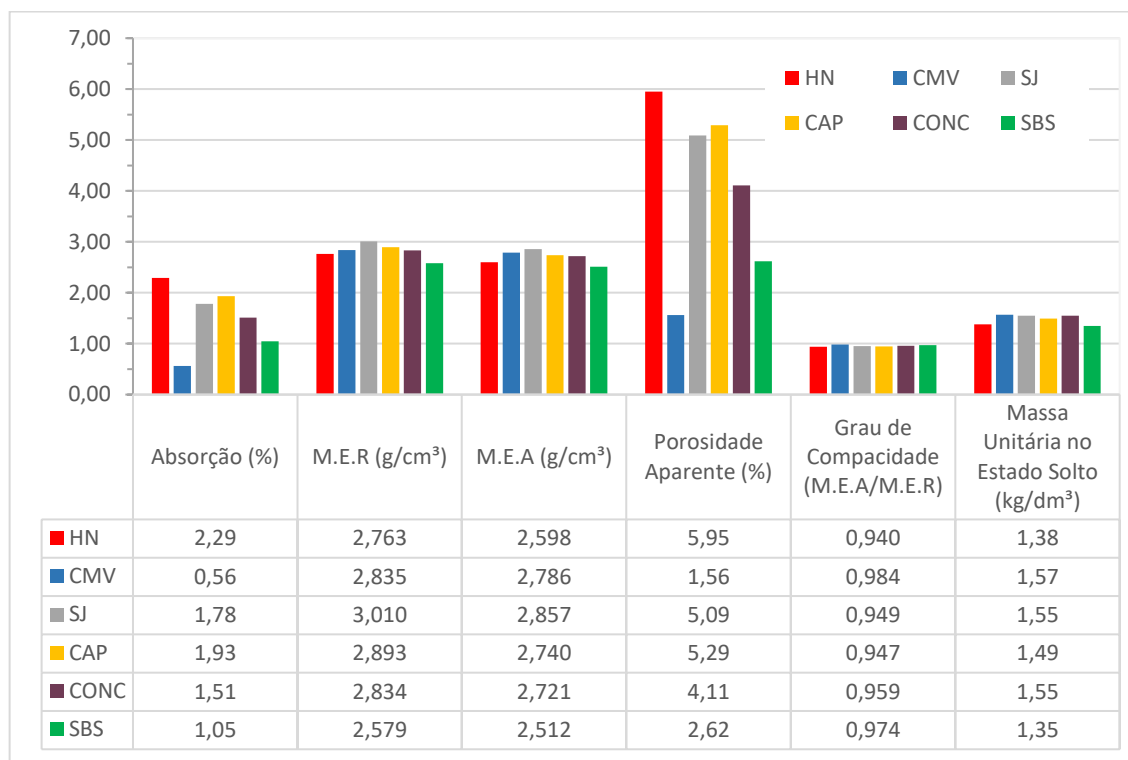


Tabela 4.2.2 - Resultado dos índices físicos e massa unitária da brita 3/8" para todas as pedreiras estudadas.



Os resultados do ensaio de M.E.R para ambas frações ensaiadas revelam como rocha mais densa o basalto SJ (2,969 g/cm³ e 3,01 g/cm³), seguida por CAP (2,867 g/cm³ e 2,89 g/cm³), CMC (2,856 g/cm³), CMV (2,835 g/cm³ e 2,835 g/cm³), CONC (2,809 g/cm³ e 2,834 g/cm³), HN (2,729 g/cm³ e 2,763 g/cm³) e com a menor densidade entre todos os materiais, o sienogranito SBS (2,661 g/cm³ e 2,579 g/cm³).

A baixa densidade do sienogranito se dá em virtude da composição mineralógica que indica minerais de menores densidades como quartzo, feldspato e plagioclásios. Com a diminuição das partículas de 3/4" para 3/8", também houve a diminuição das M.E.A, contudo, o mesmo não ocorreu para a M.E.R, que no momento da diminuição da fração, houve leve aumento da densidade por parte das pedreiras CONC, CAP, SJ, HN.

Os vazios são constituídos de poros e fissuras, e sua elevada ocorrência acarreta em menor compacidade do material, que reflete na massa específica do agregado e conseqüentemente em sua porosidade. De uma maneira geral, o grau de compacidade das rochas diminui com a diminuição da fração ensaiada, sendo o oposto para absorção, que aumenta conforme a redução nominal do agregado, em

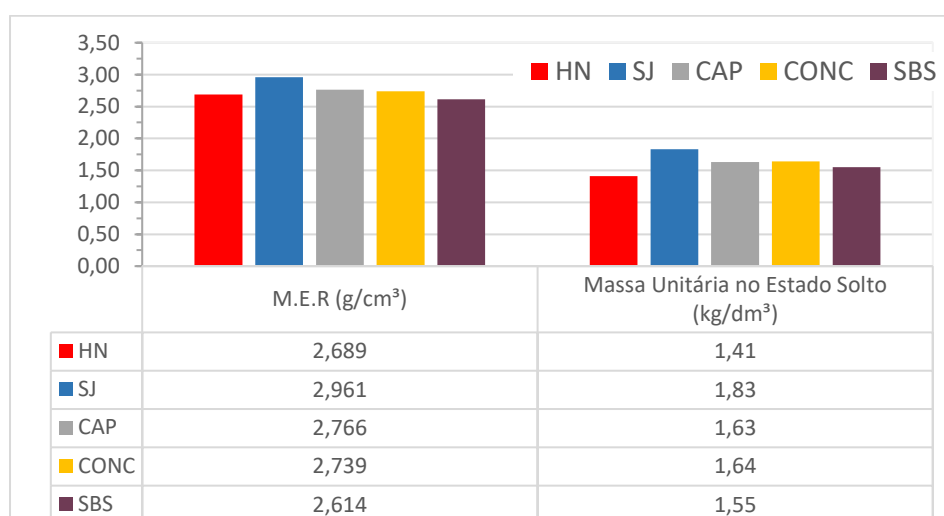
virtude do aumento da superfície específica da partícula e da diminuição do grau de compactidade.

Essa correlação pode ser verificada nos ensaios de absorção, cujos resultados alteraram conforme variação da brita ensaiada. Os resultados de absorção para SBS, CMV, CMC, HN, SJ, CAP, CONC foram respectivamente para brita ¾" e 3/8": 0,69% e 1,05%; 0,26% e 0,56%; 0,24%; 1,08% e 2,29%; 1,19% e 1,78%; 1,35% e 1,93%; 0,94% e 1,51%.

Para o emprego de agregados na pavimentação, não há valores normativos limites de absorção, contudo, recomenda-se utilizar materiais com absorção menor que 3%. Rochas basálticas de topo de derrames geralmente apresentam grande quantidade de vesículas e amígdalas que influenciam diretamente na percolação da água podendo apresentar valores de absorção superiores a 2%.

A Tabela 4.2.3 exibe os resultados de massa específica real e massa unitária do pó de pedra das diferentes jazidas.

Tabela 4.2.3 - Resultado da massa específica real e massa unitária do pó de pedra para todas as pedreiras estudadas.



As massas específicas reais dos agregados miúdos foram obtidas através do Frasco de Chapman e exibem diminuição de seus valores com relação às suas frações graúdas correspondentes, com exceção de SBS. Nota-se também a existência de correlações entre as densidades e a massas unitárias para o agregado miúdo, e correlações entre densidade, índice de forma e massa unitária para o agregado graúdo.

4.2.3. Índice de Forma

A forma dos fragmentos adquiridos através da britagem do agregado mineral depende em grande parte da presença de superfícies de fácil separação como: planos de fratura, xistosidades e disjunções horizontais e verticais. Dada a ausência desses elementos, as possibilidades de fratura serão as mesmas em todas as direções, ou seja, ocorrerá apenas produção de fragmentos equidimensionais.

Os ensaios destinados ao índice de forma dos agregados são os denominados “Paquímetro Digital” e “Crivos Redutores”. O método do paquímetro determina individualmente a forma das partículas retidas nas peneiras requeridas, enquanto o segundo método mensura o índice de forma da pilha, incorporando as diversas frações granulométricas ali presentes, sendo dessa forma, muito mais completo e preciso.

Os ensaios responsáveis pelo índice de lamelaridade (relação entre comprimento e espessura da partícula) são aqueles nomeados “Placa DAER/RS” e “Placa Calíper” adotado e posteriormente adaptado pela Metodologia SUPERPAVE. Enquanto o ensaio do DAER/RS mensura apenas a lamelaridade dos agregados, o Calíper é capaz de determinar a planificação (relação largura e espessura), o alongamento (relação largura e comprimento) e lamelaridade (relação comprimento e espessura).

A Tabela 4.2.4 exhibe os resultados de ambos os ensaios de forma e o ensaio de lamelaridade da Placa DAER/RS. De forma a complementar as informações, a Tabela 4.2.5 ostenta os valores limites de ensaios de forma e lamelaridade utilizado para agregados empregados na pavimentação.

Tabela 4.2.4 - Valores correspondentes aos ensaios de forma e lamelaridade das britas 3/4" e 3/8".

Jazida	Brita	Índice de Forma - Paquímetro Digital	Índice de Forma - Crivos Redutores	Índice de Lamelaridade - Placa DAER/RS (%)
HN	3/4	1,96	0,81	12,24
	3/8	2,75	0,62	38,90
CMV	3/4	1,82	0,84	14,62
	3/8	2,24	0,67	33,95
SBS	3/4	1,99	0,77	24,96
	3/8	2,61	0,51	37,75
SJ	3/4	1,87	0,88	20,24
	3/8	2,69	0,59	65,71
CAP	3/4	2,04	0,87	23,05
	3/8	2,42	0,57	44,97
CONC	3/4	2,15	0,84	40,10
	3/8	2,09	0,83	26,02

Tabela 4.2.5 - Valores limites de ensaios de forma e lamelaridade utilizado para agregados empregados na pavimentação.

Especificações para Agregados de Pavimentação:		
Índice de Forma - Paquímetro Digital	Índice de Forma - Crivos Redutores	Índice de Lamelaridade - Placa DAER/RS
≤ 3% (NBR 7211/09)	≥ 0,5% (DNIT ES 31/06)	≤ 50% (DAER ES-P 16/91) ≤ 40% (DAER ES-P 15/91)

O resultado do ensaio do paquímetro digital se próximo de 1, indica elevada cubicidade por parte do agregado, do contrário, apresentarão valores mais elevados indicando grãos alongados com formatos não-cúbico, sendo considerado aceitável o limite de 3. Para o ensaio dos crivos redutores, quanto mais próximo de 1, maior a cubicidade da partícula e quanto mais próximo de 0, maior seu alongamento.

Através da análise de dados, conclui-se que todos os materiais permanecem dentro dos limites vigentes para ambos os ensaios. É notório a coerência entre os resultados de forma de ambos os ensaios, que mesmo possuindo métodos de ensaios e amostragens distintas, exibem resultados semelhantes.

Como previsto, as britas 3/4" ostentam melhor cubicidade que as 3/8", visto que partículas com menores dimensões tendem a se fraturar de forma alongada e lamelar. Fato também comprovado pelo ensaio de lamelaridade, cujas frações 3/8" apresentaram aumento na porcentagem de agregados lamelares para todas as jazidas, com exceção de CONC.

As disjunções e diáclases existentes nos maciços rochosos influenciam diretamente no produto final da britagem, produzindo agregados com forma alongadas e lamelares típicas de rochas vulcânicas em virtude do fluxo horizontal que a lava gera após o derrame vulcânico.

CONC e SBS exibiram resultados não usuais para seus tipos rochosos. A baixa lamelaridade e elevada cubicidade da brita 3/8" de CONC indica possível rebitagem do material ou adequação nas malhas das peneiras na praça de britagem, fato este que não pôde ser verificado pela inativação da pedreira desde 2015. A elevada lamelaridade da brita 3/8" de SBS é justificada pela presença de foliação em partes do maciço rochoso, incorporando comportamento não característico para o sienogranito SBS.

O segundo ensaio destinado à análise de lamelaridade do agregado graúdo (Placa Calíper – ASTM D4791) foi adotado e adaptado para emprego na metodologia SUPERPAVE. A adaptação consistiu apenas na determinação das partículas

lamelares com razão dimensional de 5:1, estabelecendo limite máximo de 10% dessas partículas na produção de misturas asfálticas.

Entretanto, para a presente pesquisa, foi adotado avaliações mais rigorosas de lamelaridade, utilizando-se proporções 3:1 e 5:1 e determinações não apenas da lamelaridade do agregado, mas também de sua planicidade e alongamento. A Tabela 4.2.6 e Figura 4.2.8 ostentam os resultados para as britas 3/4" e Tabela 4.2.7 e Figura 4.2.9 os resultados para as britas 3/8".

Tabela 4.2.6 - Resultados dos ensaios da Placa Calíper para britas 3/4".

Brita 3/4		HN	CMV	SBS	SJ	CAP	CONC
Relação 1/3	Plana (%)	1,0	0,0	1,2	1,2	2,6	1,6
	Alongada (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Plana / Alongada (Lamelares) (%)	7,4	5,6	6,5	7,9	10,0	14,6
Relação 1/5	Plana (%)	0,4	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0
	Alongada (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Plana / Alongada (Lamelares) (%)	0,4	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0

Figura 4.2.8 - Gráfico de colunas referente aos ensaios da Placa Calíper para britas 3/4".

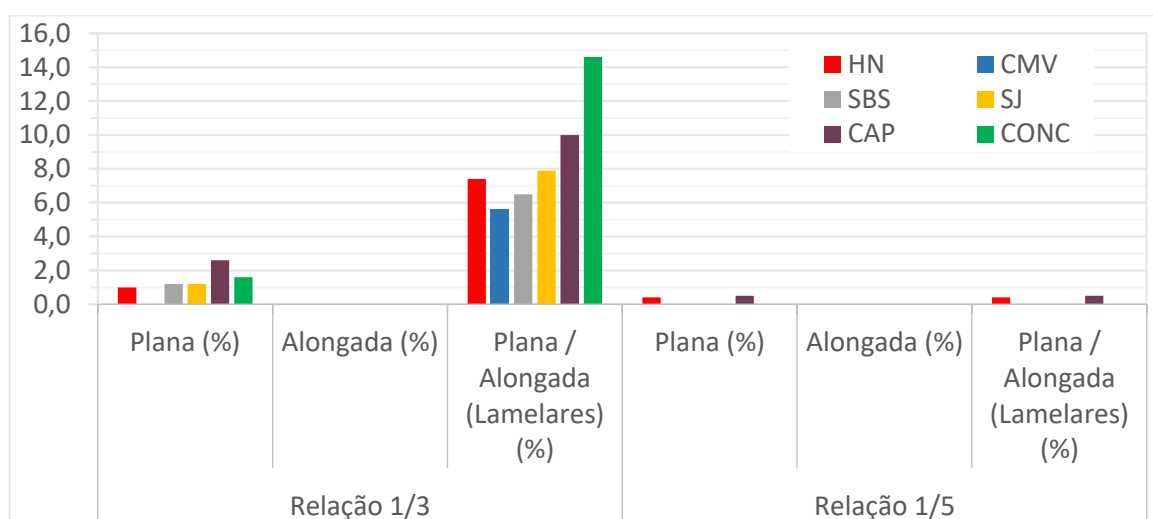
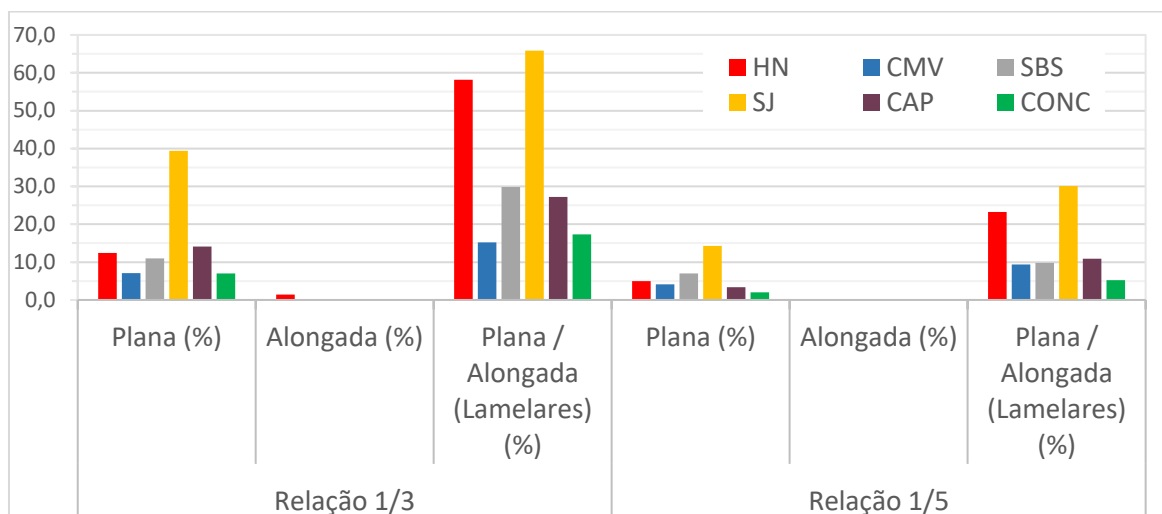


Tabela 4.2.7 - Resultados dos ensaios da Placa Calíper para britas 3/8".

Brita 3/8		HN	CMV	SBS	SJ	CAP	CONC
Relação 1/3	Plana (%)	12,4	7,1	11,0	39,4	14,1	7,0
	Alongada (%)	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Plana / Alongada (Lamelares) (%)	58,2	15,2	29,8	65,9	27,2	17,3
Relação 1/5	Plana (%)	5,0	4,1	7,0	14,3	3,4	2,0
	Alongada (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Plana / Alongada (Lamelares) (%)	23,2	9,4	9,8	30,1	10,9	5,2

Figura 4.2.9 - Gráfico de colunas referente aos ensaios da Placa Calíper para britas 3/8".



Novamente constata-se o aumento da planicidade, alongamento e lamelaridade dos ensaios das partículas 3/8" em comparação às partículas 3/4" para todas as pedreiras e relações ensaiadas. Em concordância ao ensaio da placa DAER/RS, CONC se destacou como detentora da maior lamelaridade na Relação 3:1 da brita 3/4" e SJ na Relação 3:1 da brita 3/8". A respeito da Relação 5:1, por ser uma relação mais restrita, não é de fácil percepção as pequenas distinções entre as características de lamelaridade e forma dos agregados.

Com relação aos limites vigentes, o autor apenas encontrou normativas internacionais correspondentes aos valores para lamelaridade empregado pela metodologia SUPERPAVE, sendo eles:

- Relação 5:1, estabelecendo limite máximo de 10% das partículas na produção de misturas asfálticas (GOUVEIA e FERNANDES JR, 2007);
- COMINSKY et al., (1994) sugeriu adição da Relação 3:1 na metodologia;
- PROWELL et al., (2005) sugere como limite máximo de 5% para Relação 5:1 e de 20% para Relação 3:1.

O último ensaio atrelado à forma dos agregados é oriundo do processamento digital de imagem denominado AIMS 2. O software responsável pelo ensaio determina os parâmetros através da compilação da média da distribuição de valores para cada granulometria desejada. O referido ensaio analisa tanto agregados graúdos quanto miúdos, sendo capaz de determinar angularidade, textura e esfericidade para frações graúdas e angularidade e forma 2D para frações miúdas.

Por ser uma nova metodologia de classificação dos parâmetros de forma e pela necessidade de alto investimento inicial para aquisição dos equipamentos e softwares, o ensaio ainda é pouco difundido no Brasil. Dessa forma, todas as amostras foram enviadas à COPPE e até o momento da defesa apenas duas das seis pedreiras analisadas haviam sido ensaiadas. Os relatórios de ensaios foram adquiridos de Faccin (2016) e algumas das informações serão exibidas nesta pesquisa.

As Tabelas 4.2.8 e 4.2.9 exibem de forma resumidas as informações adquiridas dos laudos de ensaio, para as pilhas 3/4", 3/8" e pó de pedra. Para a determinação dos parâmetros finais, optou-se pela soma das médias de esfericidade, angularidade, textura e forma 2D de todas as pilhas.

Tabela 4.2.8 - Tabela resumo das informações obtidas do software AIMS 2 para SBS.

PEDREIRA: SBS							
Peneira	Parâmetro	Brita 3/4"	Brita 3/8"	Pó de Pedra	Média	Desvio Padrão	COV (%)
12,5 mm (1/2")	Esfericidade	0,71	-	-	0,71	0,09	12,7
	Angularidade	2740,9	-	-	2740,90	665,3	24,3
	Textura	230,5	-	-	230,50	57,0	24,7
9,5 mm (3/8")	Esfericidade	0,67	0,67	-	0,67	0,09	13,4
	Angularidade	2989,7	3151,7	-	3070,70	668,6	21,8
	Textura	238,2	256,6	-	247,40	79,2	32,0
4,75 mm (#4)	Esfericidade	0,62	0,64	0,66	0,64	0,10	15,1
	Angularidade	3407,3	3292,8	3418,2	3372,77	820,4	24,3
	Textura	175,4	193,6	168,5	179,17	90,6	50,5
2,36 mm (#8)	Angularidade	-	3692,7	3749,6	3721,15	863,0	23,2
	Forma 2D	-	9,2	8,8	9,00	2,4	26,1
1,18 mm (#16)	Angularidade	-	3676,5	3838,3	3757,40	935,2	24,9
	Forma 2D	-	8,7	8,8	8,75	2,3	26,3
0,60 mm (#30)	Angularidade	-	-	3500,9	3500,90	898,4	25,7
	Forma 2D	-	-	8,9	8,90	2,8	31,5
0,30 mm (#50)	Angularidade	-	-	4029,3	4029,30	1004,0	24,9
	Forma 2D	-	-	9,1	9,10	2,5	27,5
0,15 mm (#100)	Angularidade	-	-	2905,6	2905,60	1240,0	42,7
	Forma 2D	-	-	8	8,00	2,7	33,8
0,075 mm (#200)	Angularidade	-	-	2054,9	2054,90	1065,2	51,8
	Forma 2D	-	-	8,4	8,40	2,3	27,4
Esfericidade	Média	0,667	0,655	0,660	0,661		
	Desv. Padrão	0,10	0,09	0,10	0,09		
	COV (%)	14,5	13,0	15,2	14,2		
Angularidade	Média	3045,97	3453,43	3356,69	3285,36		
	Desv. Padrão	713,4	806,4	985,9	835,2		
	COV (%)	23,4	23,4	29,4	25,4		
Textura	Média	214,7	225,1	168,5	202,8		
	Desv. Padrão	75,4	93,2	74,4	81,0		
	COV (%)	35,1	41,4	44,2	40,2		
Forma 2D	Média	-	9,0	8,7	8,8		
	Desv. Padrão	-	2,3	2,5	2,4		
	COV (%)	-	25,7	28,8	27,3		

Através de uma análise visual simples, se pode constatar que os parâmetros da jazida SBS se mantém constantes para as diferentes pilhas, havendo apenas uma leve redução da angularidade da pilha 3/4" e textura do pó de pedra. A mesma constância nos ensaios é aplicada para análise dos ensaios da jazida CMV, que de forma contrária à SBS exibe aumento angularidade da pilha 3/4" e um leve aumento na textura da pilha 3/8".

O ensaio também agrega às informações planilhadas, distribuições em porcentagem de partículas retidas e passantes na forma de gráficos para melhor compreensão das porcentagens referentes à classificação. Optou-se por analisar nas Figuras 4.2.10 a 4.2.15 as distribuições de angularidade e textura para as diferentes pilhas da jazida SBS.

Tabela 4.2.9 - Tabela resumo das informações obtidas do software AIMS 2 para CMV.

PEDREIRA: CMV						
Peneira	Parâmetro	Brita 3/4"	Brita 3/8"	Média	Desvio Padrão	COV (%)
12,5 mm (1/2")	Esfericidade	0,63	-	0,63	0,11	17,5
	Angularidade	3315,8	-	3315,80	768,6	23,2
	Textura	445,9	-	445,90	115,5	25,9
9,5 mm (3/8")	Esfericidade	0,63	0,75	0,69	0,10	14,5
	Angularidade	3200,4	2624,3	2912,35	592,6	20,3
	Textura	503,9	501,4	502,65	101,7	20,2
4,75 mm (#4)	Esfericidade	-	0,65	0,65	0,10	15,4
	Angularidade	-	2964	2964,00	634,1	21,4
	Textura	-	485,2	485,20	148,9	30,7
2,36 mm (#8)	Angularidade	-	3278,3	3278,30	721,8	22,0
	Forma 2D	-	9,2	9,20	2,8	30,4
1,18 mm (#16)	Angularidade	-	-			
	Forma 2D	-	-			
0,60 mm (#30)	Angularidade	-	-			
	Forma 2D	-	-			
0,30 mm (#50)	Angularidade	-	-			
	Forma 2D	-	-			
0,15 mm (#100)	Angularidade	-	-			
	Forma 2D	-	-			
0,075 mm (#200)	Angularidade	-	-			
	Forma 2D	-	-			
Esfericidade	Média	0,63	0,7	0,665		
	Desv. Padrão	0,11	0,10	0,10		
	COV (%)	17,5	13,6	15,5		
Angularidade	Média	3258,10	2955,533	3106,82		
	Desv. Padrão	693,6	640,8	667,2		
	COV (%)	21,3	21,7	21,5		
Textura	Média	474,9	493,3	484,1		
	Desv. Padrão	112,1	121,8	117,0		
	COV (%)	23,6	24,7	24,1		
Forma 2D	Média	-	9,2	9,2		
	Desv. Padrão	-	2,8	2,8		
	COV (%)	-	30,4	30,4		

Figura 4.2.10 - Distribuição da angularidade da pedra SBS para brita 3/4".

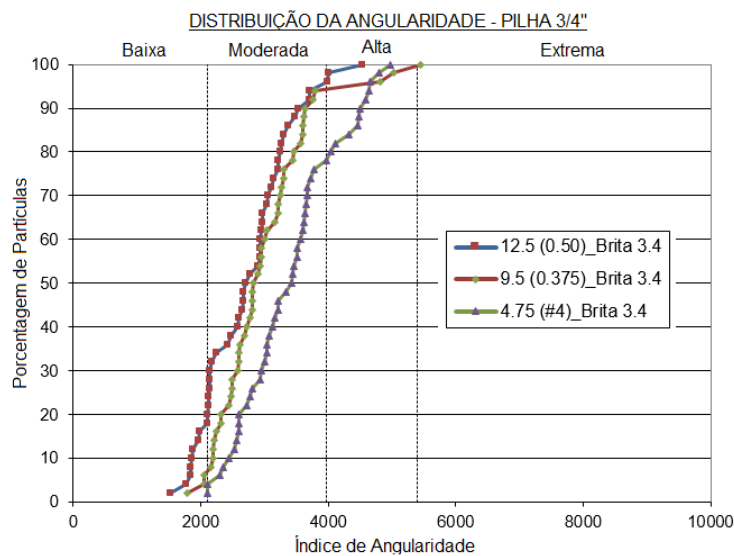


Figura 4.2.11 - Distribuição da angularidade da pedra SBS para brita 3/8".

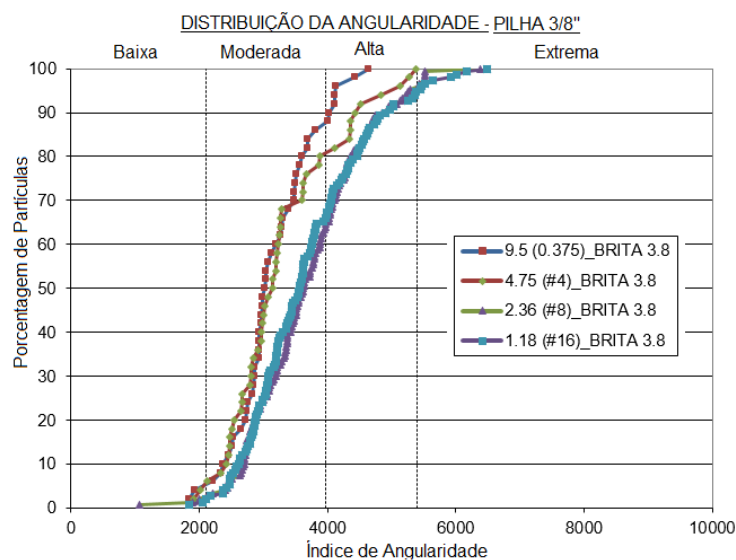


Figura 4.2.12 - Distribuição da angularidade da pedra SBS para pó de pedra.

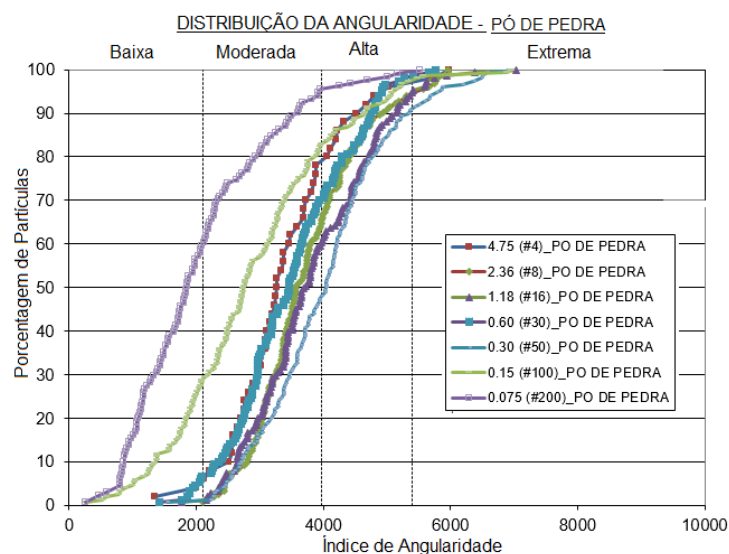


Figura 4.2.13 - Distribuição da textura da pedra SBS para brita 3/4".

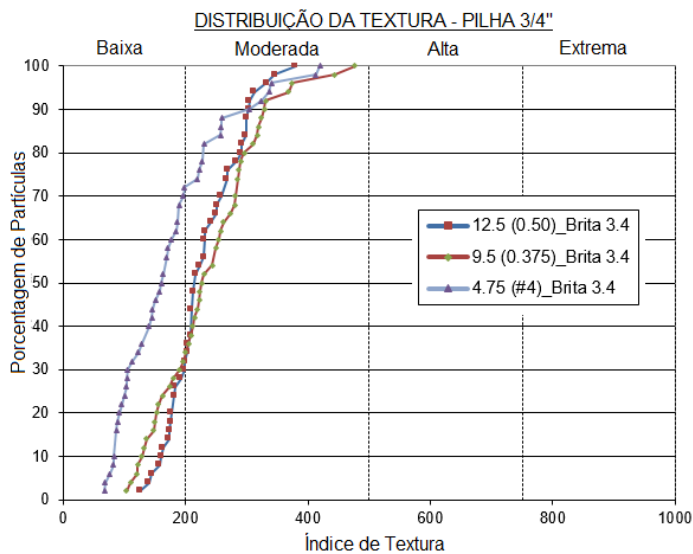


Figura 4.2.14 - Distribuição da textura da pedra SBS para brita 3/8\".

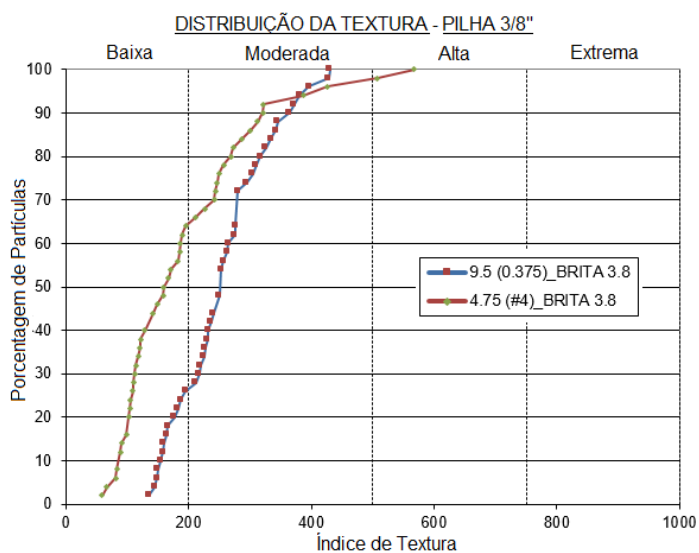
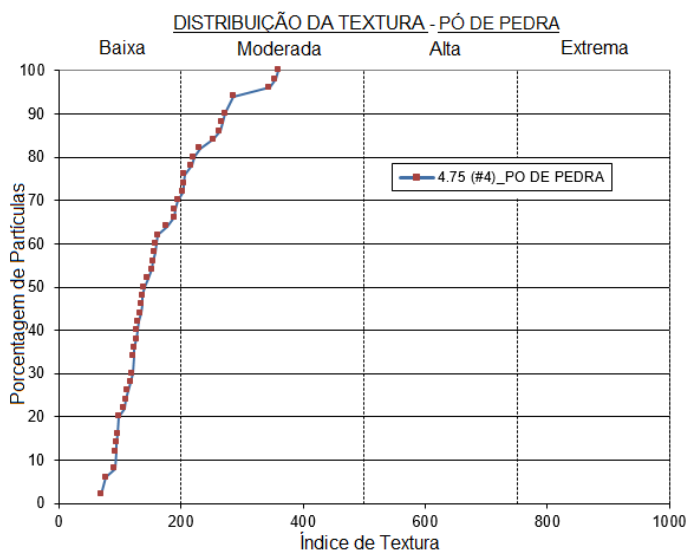


Figura 4.2.15 - Distribuição da textura da pedra SBS para o pó de pedra.



Outro dado oferecido pelo software é a porcentagem de partículas planas, alongadas e planas/alongadas para relações 5:1, 4:1, 3:1 e 2:1, como mostra as Figuras 4.2.16 referente a pedra SBS e 4.2.17 para CMV. O parâmetro de planicidade, alongamento e lamelaridade também foi analisado baseando-se nas relações 5:1 e 3:1 pelo ensaio da placa de lamelaridade Calíper, sendo ambos úteis para análises de comparações e eficiências de ensaio.

Figura 4.2.16 - Relação de partículas planas e alongadas de SBS para a pilha 3/4", 3/8" e pó de pedra (continua).

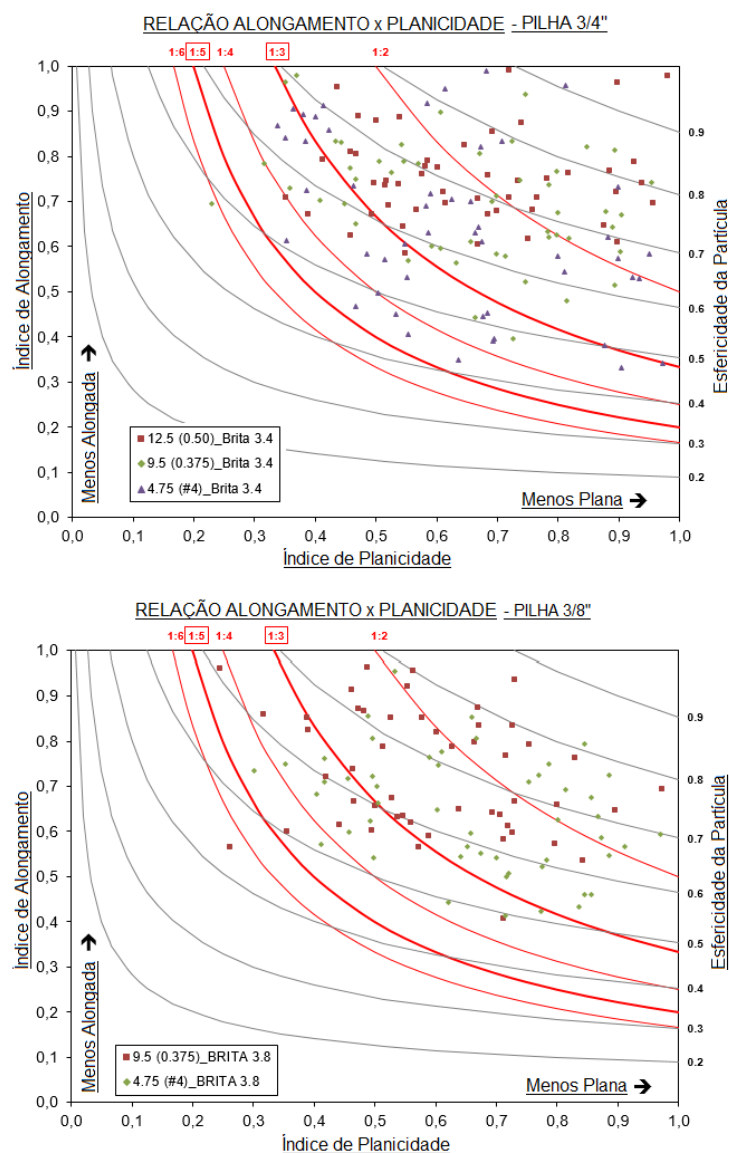


Figura 4.2.16 - Relação de partículas planas e alongadas de SBS para a pilha 3/4", 3/8" e pó de pedra (continuação).

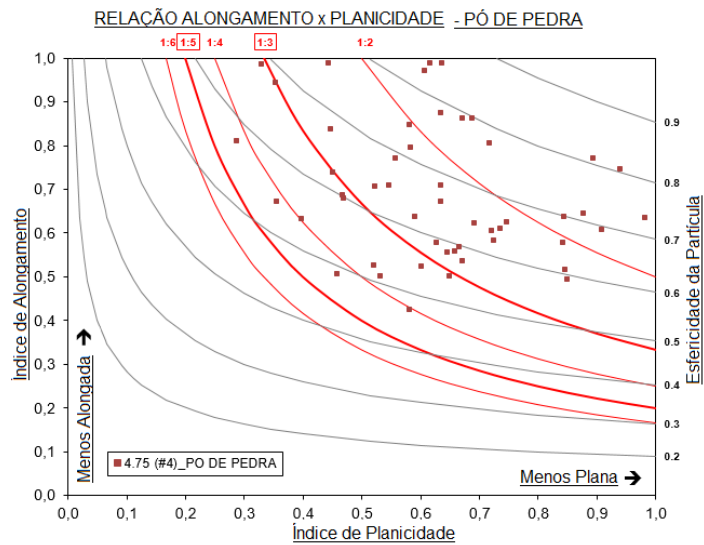
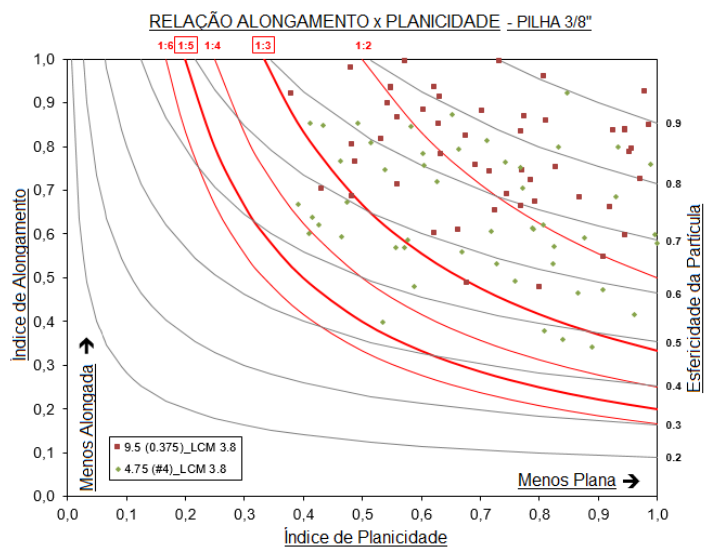
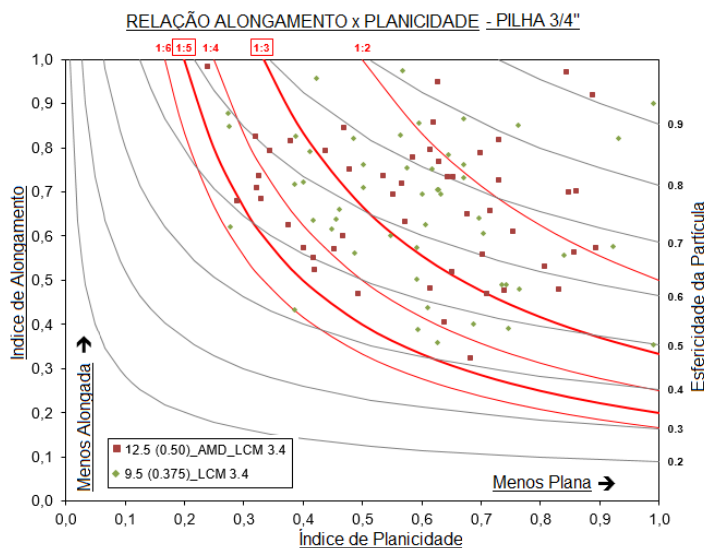


Figura 4.2.17 - Relação de partículas planas e alongadas de CMV para a pilha 3/4", 3/8".



Percebe-se que os materiais das mesmas pedreiras apresentam comportamento de planicidade e achatamento muito similares, somente o material da pilha 3/8" da CMV exibiu valores com maiores esfericidades. Através da análise da pilha 3/4" da Figura 4.2.16, nota-se que menores partículas (#4) exibem maiores índices de lamelaridade e conseqüentemente são mais presentes na porcentagem passante da relação 4:1 e 5:1.

Comparando-se os resultados de lamelaridade obtidos pelo software AIMS e pelo método do Calíper conclui-se que de posse do processamento digital de imagem se consegue obter maiores volumes de dados, estes, que se mostraram muito similares aos resultados encontrados pelo segundo método.

Analisando a jazida SBS, 6,5% do peso das 100 partículas retidas na peneira 3/4" ensaiadas no método calíper passaram pela relação 3:1, enquanto que na relação 5:1 foi 0%, dados similares aos encontrados na Figura 4.2.16. Dos dados apresentados para CMV, há grande disparidade entre os resultados de ambos os métodos, principalmente àqueles referentes à relação 5:1, onde Calíper exibiu maiores porcentagens de existência de partículas lamelares para ambas as relações.

Com o objetivo de resumir os parâmetros obtidos do ensaio AIMS 2 e classificar os diferentes tipos de agregados, é apresentado na Tabela 4.2.10 a classificação final de ambos os materiais dos diferentes parâmetros através da classificação adotada por AL ROUSAN (2004) e a sugerida pelo software AIMS.

Tabela 4.2.10 - Classificação final baseando-se em dois métodos classificatórios.

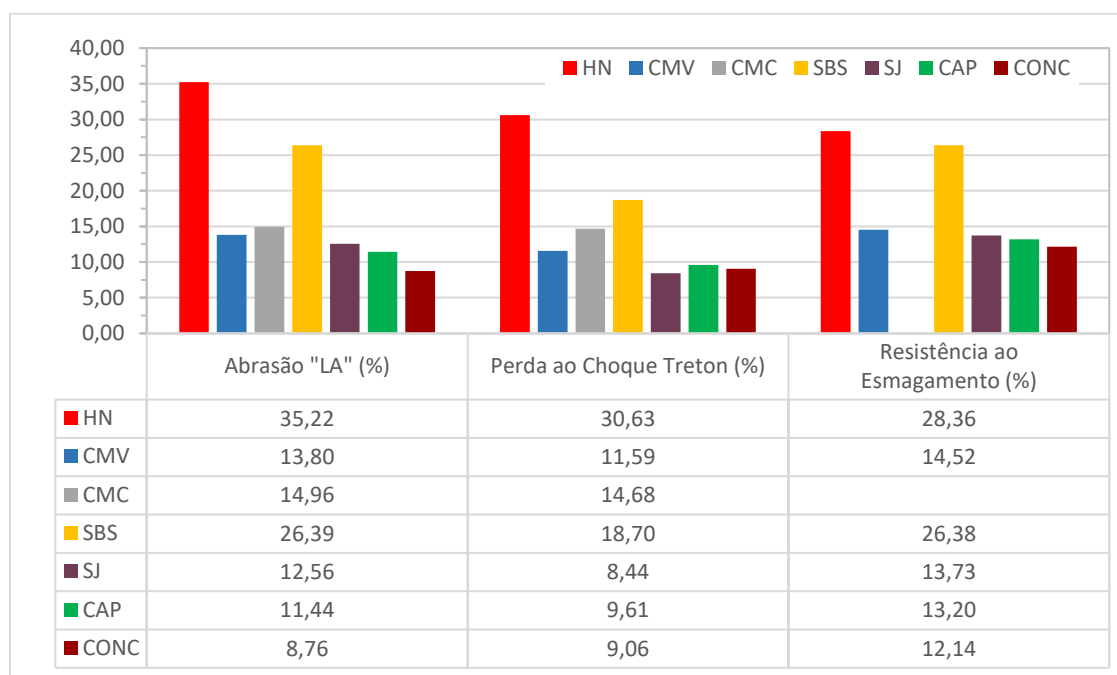
JAZIDA	Classificação	Esfericidade	Angularidade	Textura Superficial	Forma 2D
SBS	Al Rousan (2004)	Baixa (0,6 - 0,7)	Subarredondado (2100 - 4000)	Macio (135 - 275)	Semialongado (8 - 10,5)
	AIMS	Alta (0,6 - 0,8)	Moderada (2100 - 3975)	Moderada (200 - 500)	Alta (8 - 10,75)
		0,661	3285,4	202,8	8,8
CMV	Al Rousan (2004)	Baixa (0,6 - 0,7)	Subarredondado (2100 - 4000)	Alta Rugosidade (> 460)	Semialongado (8 - 10,5)
	AIMS	Alta (0,6 - 0,8)	Moderada (2100 - 3975)	Moderada (200 - 500)	Alta (8 - 10,75)
		0,665	3106,8	484,1	9,2

4.2.4. Resistência Mecânica

Os ensaios de caracterização mecânica obtiveram elevadas correlações lineares dentre os diversos materiais. Com relação aos ensaios de Abrasão "LA" e Resistência ao Esmagamento, todos os materiais que apresentaram maiores degradações em um ensaio também obtiveram elevadas degradações no segundo

ensaio, sendo a sequência dos materiais mais danificados: HN (35,22% - abrasão e 28,36% - esmagamento), SBS (26,39% - abrasão e 26,38% - esmagamento), CMC (14,96% - abrasão), CMV (13,80% - abrasão e 14,52% - esmagamento), SJ (12,56% - abrasão e 13,73% - esmagamento), CAP (11,44% - abrasão e 13,20% - esmagamento) e CONC (8,76% - abrasão e 12,14% - esmagamento), como exemplificado na Tabela 4.2.11.

Tabela 4.2.11 - Resultado dos ensaios de resistência mecânica das pedreiras estudadas.



Com relação aos ensaios de Perda ao Choque Treton, a sequência dos materiais se manteve praticamente a mesma, sendo modificada apenas pelo basalto SJ que embora tenha apresentado maiores degradações mecânicas nos ensaios supracitados, exibiu menores degradações no ensaio de choque treton.

Os elevados valores de HN condizem com o fato de mármores ostentarem resistência mecânica moderada à intermediária. Os altos valores de SBS provavelmente se devem às foliações encontradas na rocha, que atuam como planos de fraqueza resultando na alta desagregação do sienogranito e possivelmente aumentando a alteração do material.

A presença de grandes porcentagens de feldspato alcalino corrobora com a alta perda abrasiva do material, mesmo detendo elevadas durezas (feldspato: 6 e quartzo: 7) esses minerais em conjunto da rocha apresentam baixa tenacidade em

virtude da granulação. Ou seja, quanto maior a granulação (textura fanerítica), maior a probabilidade de haver pontos de fraqueza, aumento a ocorrência de microfaturas nos minerais e conseqüentemente diminuindo a resistência mecânica.

Este fato justifica o excelente desempenho mecânico da rocha basáltica e dos diabásios que possuem textura afanítica e/ou granulometria fina, apresentando melhores distribuições dos esforços mecânicos.

Com relação às especificações vigentes para os ensaios mecânicos, é apresentado na Tabela 4.2.12 um resumo dos principais limites estabelecidos pelos órgãos viários conforme os diferentes tipos de aplicações dos agregados. Todas as jazidas encontram-se dentro das especificações tanto para os ensaios de abrasão, quanto para os ensaios de esmagamento, usualmente realizado para controle tecnológico de pavimentos rígidos.

Tabela 4.2.12 - Especificações vigentes para os ensaios de Abrasão LA, Perda Treton e Esmagamento para agregados empregados na pavimentação.

Especificações para Agregados de Pavimentação:		
Abrasão "LA"	Perda ao Choque Treton	Resistência ao Esmagamento
≤ 55% (DNIT ES 303) ≤ 50% (DNIT ES 31/06) ≤ 50% (DNIT EM 37/97) ≤ 50% (DNIT ES 152/10) ≤ 40% (DAER ES-P 16/91) ≤ 40% (DAER ES-P 15/91)	-	≤ 65% (DNIT EM 37/97) - Sujeito a desgaste superf. ≤ 55% (DNIT EM 37/97) - Demais concretos

O último ensaio destinado ao desempenho mecânico das rochas denomina-se Índice de Compressão Puntiforme. Os valores correspondentes das amostras secas e saturadas são exibidos na Tabela 4.2.13.

Tabela 4.2.13 - Resultados do ensaio de carga pontual das amostras secas e saturadas.

	Índice de Compressão Puntiforme (MPa)		
	$I_{S(50)-SECO}$	$I_{S(50)-SATURADO}$	$I_{S(50) SAT} / I_{S(50) SECO}$
HN	4,45	4,04	0,908
CMV	6,97	5,05	0,725
CMC	6,75	7,09	1,050
SBS	8,52	9,96	1,169
SJ	6,64	7,06	1,063
CAP	8,16	6,80	0,833
CONC	8,14	8,38	1,029

ARNOLD (1993) em seus estudos com rochas alteradas, determinou o valor limite de 0,7 para a razão entre as resistências saturadas e secas, indicando que a rocha detém esqueleto mineral suficientemente resistente às forças internas

provocados pela expansão de seus argilominerais. O autor acrescenta que para validação do ensaio em rochas basálticas, é limitado o índice de resistência na condição saturado como a mínima resistência da rocha de 3,5 Mpa.

Como pode ser analisado nas jazidas CMC, SBS, SJ e CONC, os fragmentos de rochas saturados obtiveram maiores resistências mecânicas superiores que os fragmentos secos. A discrepância dos resultados pode ser justificada pela não saturação apropriada das fragmentos irregulares, dada pela baixa absorção da rocha (CMC, SBS); pela aplicação da carga perpendicular às direções de fluxo, falhas e fraturas, aumentando desempenho mecânico (CMV e SBS); pela ausência de alteração na composição mineralógica da rocha e conseqüentemente na porcentagem de argilominerais, principalmente no basalto e diabásio.

A fim de classificar a resistência à compressão puntiforme dos diferentes materiais, a Tabela 4.2.14 mensura as forças de resistência baseando-se em pesquisas que utilizaram apenas amostras secas ao ar. Orientando-se pela classificação de Bieniawski (1984) CONC, CAP e SBS possuem resistência extremamente alta; CMV, CMC, SJ e HN ostentam resistência alta.

Tabela 4.2.14 - Classificação para Compressão Puntiforme para amostras secas.

Classificação:	Bieniawski (1984)	Deere (1966)
Extremamente Alto	$I_S > 8 \text{ MPa}$	$I_S > 10 \text{ MPa}$
Alto	$I_S = 4 - 8 \text{ MPa}$	$I_S = 5 - 10 \text{ MPa}$
Médio	$I_S = 2 - 4 \text{ MPa}$	$I_S = 2,5 - 5 \text{ MPa}$
Baixo	$I_S = 1 - 2 \text{ MPa}$	$I_S = 1,25 - 2,5 \text{ MPa}$
Extremamente Baixo	$I_S < 1 \text{ MPa}$	$I_S < 1,25 \text{ MPa}$

Fonte: PALMSTRÖM (1995).

4.2.5. Equivalente de Areia

O ensaio de Equivalente de Areia visa avaliar a qualidade do agregado miúdo produzido na praça de britagem através da proporção relativa de materiais deletérios tais como: vegetação, conchas e grumos de argila em amostras de pó de pedra. A Tabela 4.2.15 exhibe os resultados finais obtidos através da determinação de três amostras.

Dentre os materiais, HN foi a única jazida que não atingiu os valores especificados pelo DAER e DNIT. Vale ressaltar que este ensaio foi realizado

novamente, totalizando uma soma de 6 amostras, a fim de comprovar a invalidação do material.

Tabela 4.2.15 - Resultados obtidos através do ensaio de equivalente de areia.

Jazida	Equivalente de Areia (%)	Especificações:
HN	48	≥ 50% (DAER ES-P 16/91) ≥ 55% (DNIT ES 31/06) ≥ 55% (DNIT ES 152/10)
SBS	71	
SJ	74	
CAP	55	
CONC	82	

4.2.6. Durabilidade / Sanidade

O ensaio de durabilidade consiste em avaliar a resistência dos agregados graúdos e miúdos à desintegração física através da utilização de solução de sulfato de sódio. Características rochosas como microfraturamento, grau de compacidade, porosidade e índice de forma influenciam diretamente no desempenho do material. Quanto menor a partícula do grão, maior ataque sofrerá por parte dos agentes degradantes.

O resultado final é obtido através da média ponderada em função da perda das frações com base na granulometria da porção ensaiada. O resultado final pode ser determinado de duas formas distintas: DNER 89/94 normatiza o resultado como a soma das frações graúdas e miúdas, e DAER-EL 104/01 pondera a perda média da amostra de agregado graúdo por 0,55 em adição à perda média da amostra de agregado miúdo por 0,45.

Ambas as fórmulas foram adotadas para presente pesquisa e os resultados finais, bem como os limites máximos das especificações vigentes encontram-se detalhados na Tabela 4.2.16. É importante ressaltar que as frações ensaiadas e conseqüentemente os cálculos de ponderação foram baseados na granulometria original dos diferentes tipos de agregados, portanto, não foi adotado uma granulometria fixa para os diferentes materiais ensaiados.

Tabela 4.2.16 - Resultados finais dos ensaios de durabilidade.

	Fração Graúda (%)	Fração Miúda (%)	Sanidade Total DNER 89/94 (%)	Sanidade Total DAER 104/01 (%)	Especificações para Agregados de Pavimentação:
HN	15,49	15,53	31,02	15,51	≤ 12% (DNIT ES 31/06) ≤ 10% (DAER ES-P 15/91) ≤ 10% (DAER ES-P 08/91) ≤ 10% (DAER ES-P 16/91) ≤ 20% (DNIT ES 152/10 - Na) ≤ 30% (DNIT ES 152/10 - Mg)
CMV	1,01	-	-	-	
CMC	1,46	-	-	-	
SBS	1,72	8,98	10,7	4,98	
SJ	5,62	5,7	11,32	5,66	
CAP	3,53	7,63	11,16	5,38	
CONC	1,11	4,26	5,37	2,53	

Em virtude das menores superfícies específicas, todas as frações graúdas ensaiadas obtiveram menores níveis de intemperização. De todas as jazidas, SBS obteve maiores perdas na fração miúda em relação à graúda, justificado pela fácil desintegração dos k-feldspatos argilizados.

O basalto SJ e diabásios CONC e CAP além de apresentarem elevados índices de absorção oriundos do microfraturamento e do grau de compacidade da rocha, detêm composições ferro-magnesianas e caráter básico, sendo assim mais suscetíveis a intemperização. HN também apresentou elevado índice de absorção e consequentemente, elevada sanidade.

4.2.7. Adesividade

Ao contrário dos ensaios de caracterização apresentados acima, a adesividade ao ligante asfáltico é tido como um ensaio qualitativo. O resultado do ensaio de adesividade para rochas com elevada acidez costumam ser insatisfatório enquanto rochas básicas costumam demonstrar melhor adesividade, fato justificado pela afinidade composicional com o ligante asfáltico que repele materiais quartzosos e silicosos.

Demais fatores que influenciam na propriedade de adesividade é o estado de alteração do material rochoso, grau de absorção e frequência de ocorrência dos poros. A Tabela 4.2.17 engloba informações a respeito da acidez das rochas e o resultado final dos ensaios de adesividade.

Tabela 4.2.17 - Informações referentes ao ensaio de adesividade ao ligante betuminoso.

Jazida	Classificação Rochosa	Acidez da Rocha	Adesividade
HN	Mármore Calcítico	Intermediária	Não Satisfatória
CMV	Mármore Calcítico	Intermediária	Não Satisfatória
SBS	Sieno Granito	Ácida	Não Satisfatória
SJ	Basalto	Básica	Satisfatória
CAP	Diabásio	Básica	Satisfatória
CONC	Diabásio	Básica	Não Satisfatória

As rochas que exibiram adesividade satisfatória (SJ e CAP) possuem de fato caráter básico, no entanto, a baixa acidez de CONC não foi suficiente para garantir a aderência do conjunto. Conforme fotos exibidas na Figura 4.2.18, o agregado SBS

obteve pior desempenho qualitativo dentre as rochas por se tratar de um Sienogranito cuja composição é rica em quartzo e feldspatóides (composição ácida).

Mesmo que usualmente os Mármoreos apresentem baixos teores de sílica em suas composições, HN e CMV são formados por um conjunto de rochas. Para HN houve contribuição dos demais tipos rochosos no resultado final do ensaio, cujo caráter ácido do monzo-sieno granito e ígnea calco-silicatada influenciaram no aumento de acidez.

Figura 4.2.18 - Agregados após ensaio de adesividade.



4.3. CORRELAÇÕES LINEARES ENTRE PARÂMETROS INVESTIGADOS APLICADAS AOS DIFERENTES TIPOS ROCHOSOS

A fim de estabelecer um padrão de previsão do comportamento e desempenho linear de agregados frente suas diferentes gênese e estruturas, optou-se inicialmente pelo estudo dos coeficientes lineares das diversas propriedades dos agregados, bem como de seus parâmetros obtidos através dos ensaios laboratoriais.

Foi realizado inicialmente uma análise estatística através da determinação dos coeficientes de correlação, mensurando o grau de relacionamento linear entre duas variáveis. Para garantir heterogeneidade dos materiais rochosos e elevado número amostral de jazidas e parâmetros laboratoriais, optou-se por adicionar aos resultados do autor e à análise estatística resultados laboratoriais obtidos de Paiva (2017) que realizou um estudo utilizando rochas ígneas vulcânicas ácidas e básicas do RS, Ribeiro (2006) que estudou rochas ígneas plutônicas e metamórficas do estado do RJ, e Fiorentini (2002) que pesquisou rochas ígneas vulcânicas ácidas e básicas da formação Serra Geral. Todos os dados utilizados para a análise encontram-se identificados no ANEXO A.

De posse dos parâmetros obtidos através dos ensaios de caracterização da presente pesquisa em adição aos autores supracitados, foram elaboradas cinco matrizes de correlações para diferentes tipos rochosos, sendo elas classificadas como: Rochas Ígneas Ácidas; Rochas Ígneas Básicas; Rochas Ígneas Ácidas e Básicas, Rochas Metamórficas e Conjunto de Todas Rochas. Todas as matrizes e seus respectivos coeficientes de correlação encontram-se no APÊNDICE A.

Uma vez constatada existência de elevada correlação linear entre as propriedades em alguma das classificações rochosas adotadas, optou-se pelas análises de relação entre os ensaios e posterior determinação de seus coeficientes de determinação. Entretanto, na grande maioria das correlações analisadas, o coeficiente de correlação (R) não se mantém constante entre as diversas classificações de rochas, sendo notório a divergência do comportamento das rochas ácidas e metamórficas em relação ao conjunto analisado.

4.3.1. Índices Físicos

4.3.1.1. Absorção x M.E.A.

Os coeficientes de correlação (R) exibidos na Tabela 4.3.1 evidenciam correlações lineares negativas para todas as classificações correspondentes às britas 3/4" e 3/8". As classificações rochosas que detêm melhores ajustes na correlação entre os parâmetros de absorção e M.E.A são "Ígneas Ácidas" e "Rochas Metamórficas" e seus respectivos coeficientes de determinação corroboram com a análise, estes, adquiridos através de regressões lineares evidenciam a qualidade dos ajustes obtidos principalmente para a porção ácida.

Tabela 4.3.1 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.

Absorção x M.E.A - Brita 3/4		
	R	R ²
Ígneas Ácidas	-0,9332	0,8709
Ígneas Básicas	-0,3966	0,1572
Ígneas Ácidas e Básicas	-0,3367	0,1133
Metamórficas	-0,7340	0,5381
Conjunto das Rochas	-0,4017	0,1614
Absorção x M.E.A - Brita 3/8		
	R	R ²
Ígneas Ácidas	-0,8696	0,7561
Ígneas Básicas	-0,5172	0,2675
Ígneas Ácidas e Básicas	-0,2634	0,0694
Metamórficas	-0,6220	0,3866
Conjunto das Rochas	-0,3112	0,0969

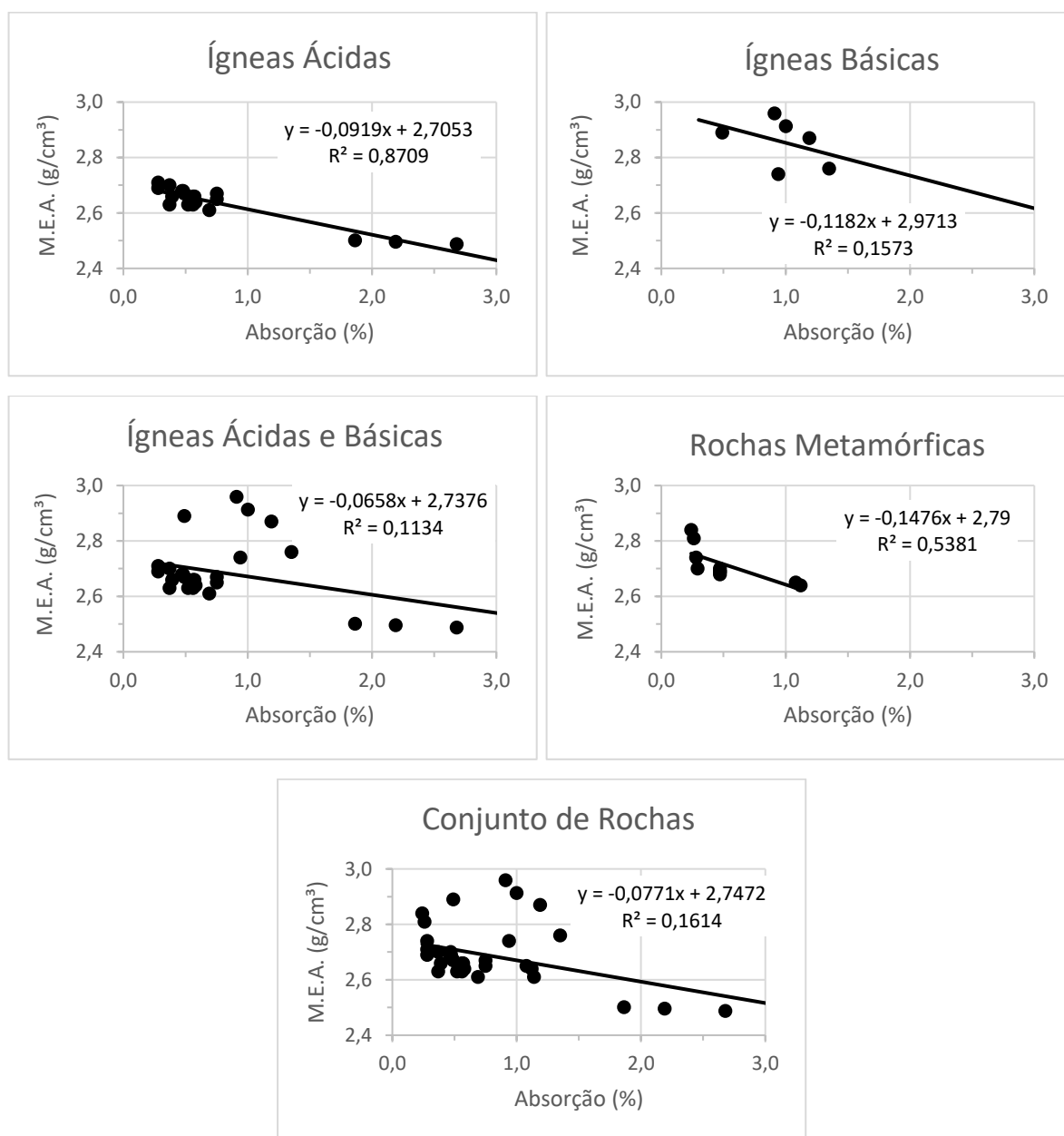
A Figura 4.3.1 exibe as regressões lineares aplicadas às cinco classificações rochosas distintas referentes à brita 3/4".

Analisando a classificação detentora do melhor ajuste "Ígneas Ácidas", nota-se certa distinção de valores, principalmente de absorção. O grupo de dados localizado a esquerda do gráfico contém dados do próprio autor (SBS) e de Ribeiro (2006), e os localizados a direita são pedreiras do Rio Grande do Sul do estudo de Paiva (2017). Para o mesmo grupo de rochas ígneas ácidas, é possível evidenciar distinção no comportamento entre rochas plutônicas (Ribeiro e SBS) e vulcânicas (Paiva).

"Ígneas Ácidas e Básicas" também ilustra este comportamento, onde rochas vulcânicas básicas de Paiva e da presente pesquisa (ambas do RS) tendem a exibir elevadas M.E.A dada uma absorção intermediária ($\approx 1\%$), sendo seguidas pelas plutônicas ácidas de Ribeiro (2006) que ostentam M.E.A intermediária ($\approx 2,6 \text{ g/cm}^3$) para pequena absorção e finalizando com as vulcânicas ácidas de Paiva (2017) com as maiores absorções e menores M.E.A.

Os dados que compõem a classificação “Rochas Metamórficas” são oriundos de Ribeiro (2006) e do próprio autor, entretanto, não há evidência de diferentes tendências comportamentais por parte dos agregados com relação aos diferentes estados.

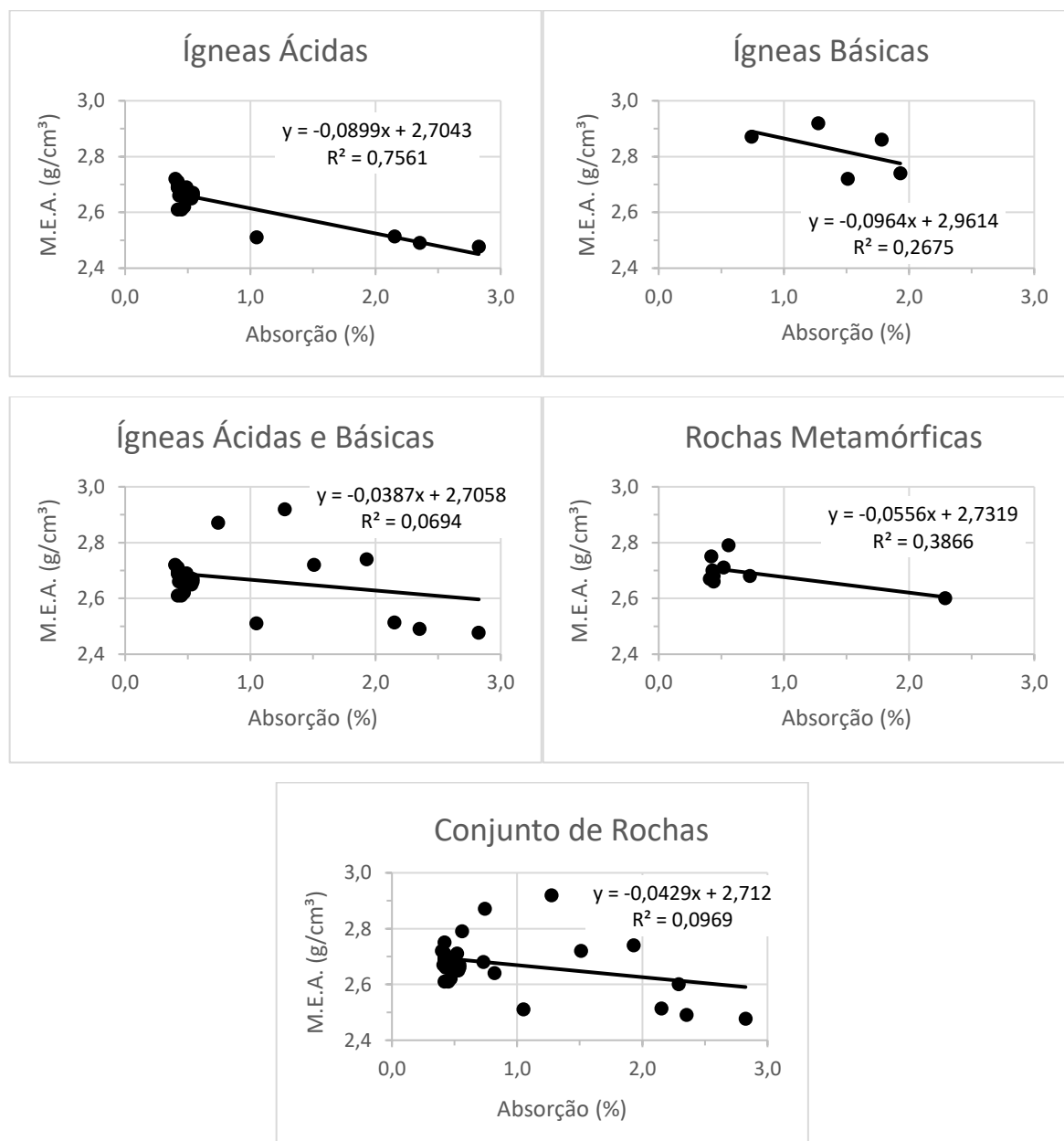
Figura 4.3.1 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos correspondentes à brita 3/4”.



Os gráficos referentes às britas 3/8” são apresentados na Figura 4.3.2 e novamente exibem correlações negativas entre os pares de variáveis analisadas e qualidade de ajustamento linear inferior comparado às britas 3/4”.

As mesmas observações com relação às rochas ácidas plutônicas e vulcânicas relatadas nas britas 3/4" ocorrem para as britas 3/8" em "Ígneas Ácidas", "Ígneas Ácidas e Básicas" e "Rochas Metamórficas".

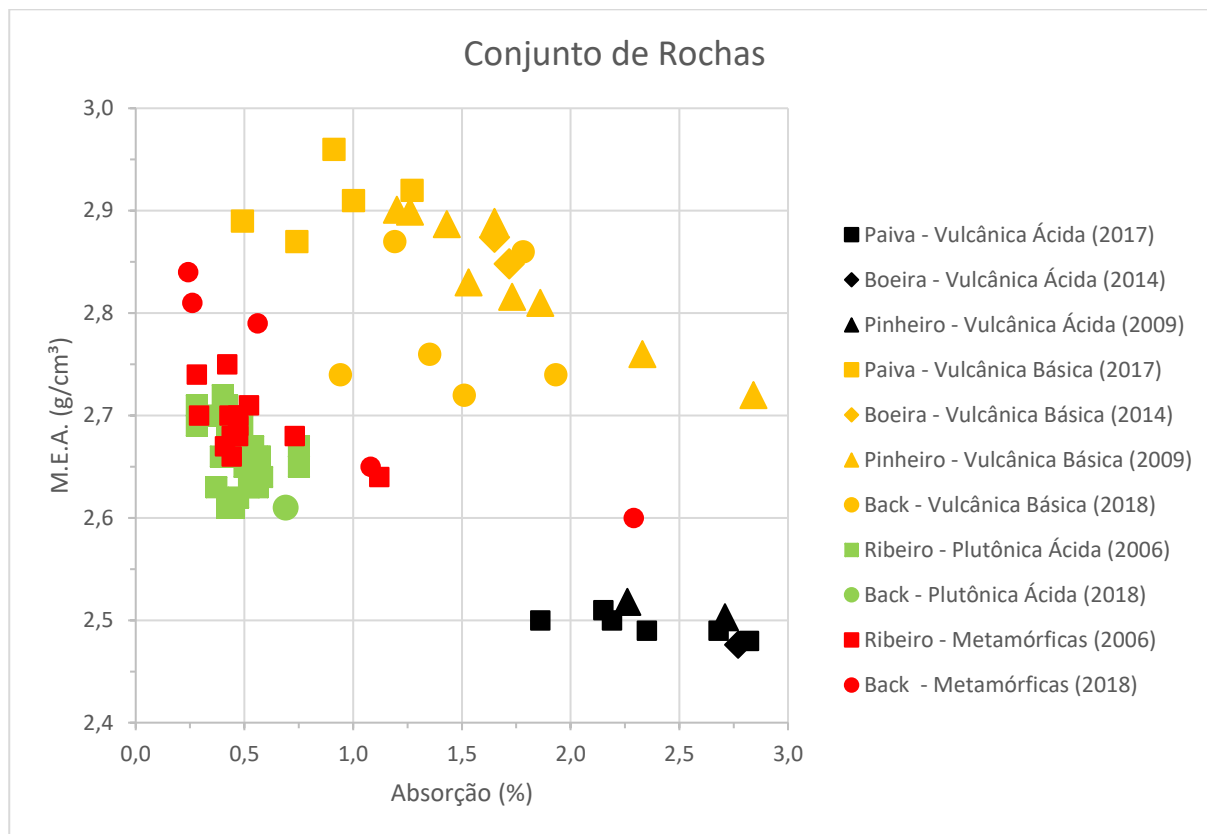
Figura 4.3.2 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos correspondentes à brita 3/8.



A título de tornar visualmente perceptível as diferenças comportamentais entre os diversos autores e rochas plutônicas e vulcânicas, optou-se por exibir na Figura 4.3.3 um gráfico compilando todos os materiais e frações ensaiadas. Em virtude da presente pesquisa não trabalhar com ígneas vulcânicas ácidas, optou-se por adicionar

ao gráfico abaixo, dados de rochas vulcânicas oriundos de Pinheiro (2009) e Boeira (2014) para título de complementação.

Figura 4.3.3 - Correlação linear do Conjunto de Rochas identificado por autores.



As rochas ácidas de fato exibem comportamentos distintos em função de seus processos de formação, onde as vulcânicas ostentam maiores absorção para menores densidades. Outro fato detectado no gráfico é que as rochas metamórficas tendem a exibir comportamentos de absorção e densidade semelhantes às rochas plutônicas, entretanto, apresentam certa variabilidade nos dados de absorção.

4.3.1.2. M.E.R x M.E.A.

Os resultados das correlações entre os parâmetros de M.E.R. e M.E.A são exibidos de forma resumida na Tabela 4.3.2. De forma contrária às correlações exibidas anteriormente, o par de propriedades além de exibir apenas correlações lineares positivas, também ostenta maiores graus de confiabilidade amostral em

adição a menores variações dos coeficientes de determinação entre as diversas classificações.

Tabela 4.3.2 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.

M.E.R. x M.E.A. - Brita 3/4		
	R	R ²
Ígneas Ácidas	0,8432	0,711
Ígneas Básicas	0,9616	0,9248
Ígneas Ácidas e Básicas	0,9390	0,8826
Metamórficas	0,9007	0,8113
Conjunto das Rochas	0,9339	0,8723
M.E.R. x M.E.A. - Brita 3/8		
	R	R ²
Ígneas Ácidas	0,8212	0,6744
Ígneas Básicas	0,9112	0,8304
Ígneas Ácidas e Básicas	0,8910	0,7934
Metamórficas	0,6479	0,4197
Conjunto das Rochas	0,8725	0,7613

Ao se analisar “Rochas Ácidas” na Figura 4.3.4, verifica-se o mesmo comportamento distinto entre os agregados ácidos plutônicos de Ribeiro (2006) (M.E.A > 2,6 g/cm³) e vulcânicos de Paiva (2017) (M.E.A ≈ 2,5 g/cm³), inclusive, a única ígnea ácida estudada pelo autor e de origem plutônica (sienogranito da SBS), encontra-se localizada no grupo de dados de Ribeiro (2006), indicando elevada semelhança comportamental dos agregados oriundos dos mesmos tipos de formações rochosas, independente do estado.

Tanto “Ígneas Básicas” quanto “Rochas Metamórficas” não apresentam significativas distinções comportamentais entre os diferentes autores. Essas, compostas pelas rochas vulcânicas de Paiva (2017) e do próprio autor, e rochas metamórficas de Ribeiro (2006) e do próprio autor.

Figura 4.3.4 - Correlações lineares correspondentes à brita 3/4” (continua).

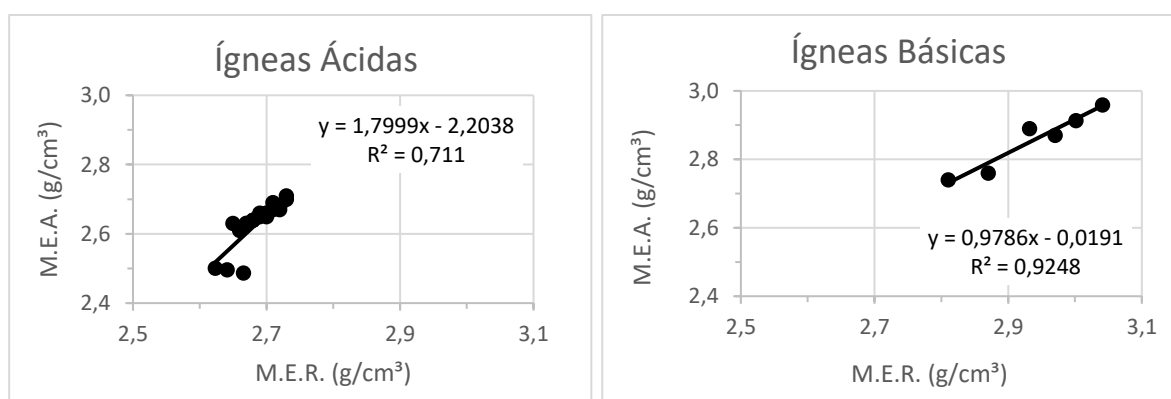
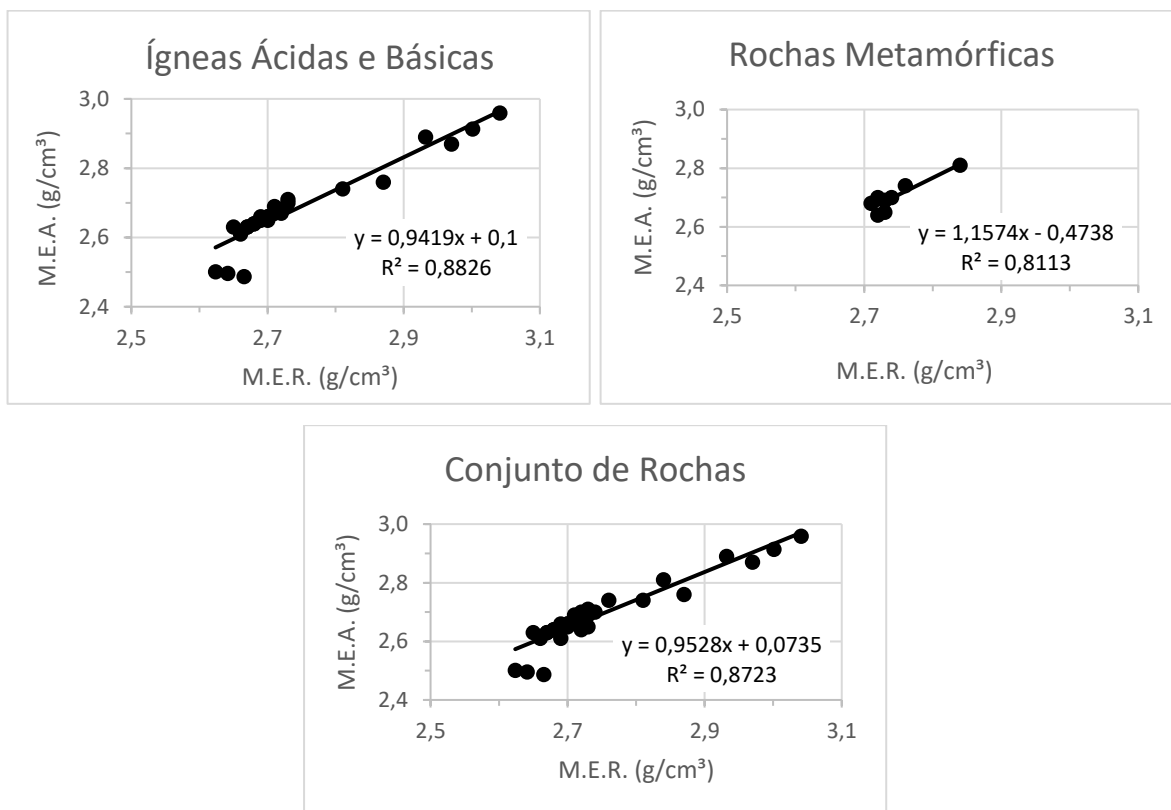


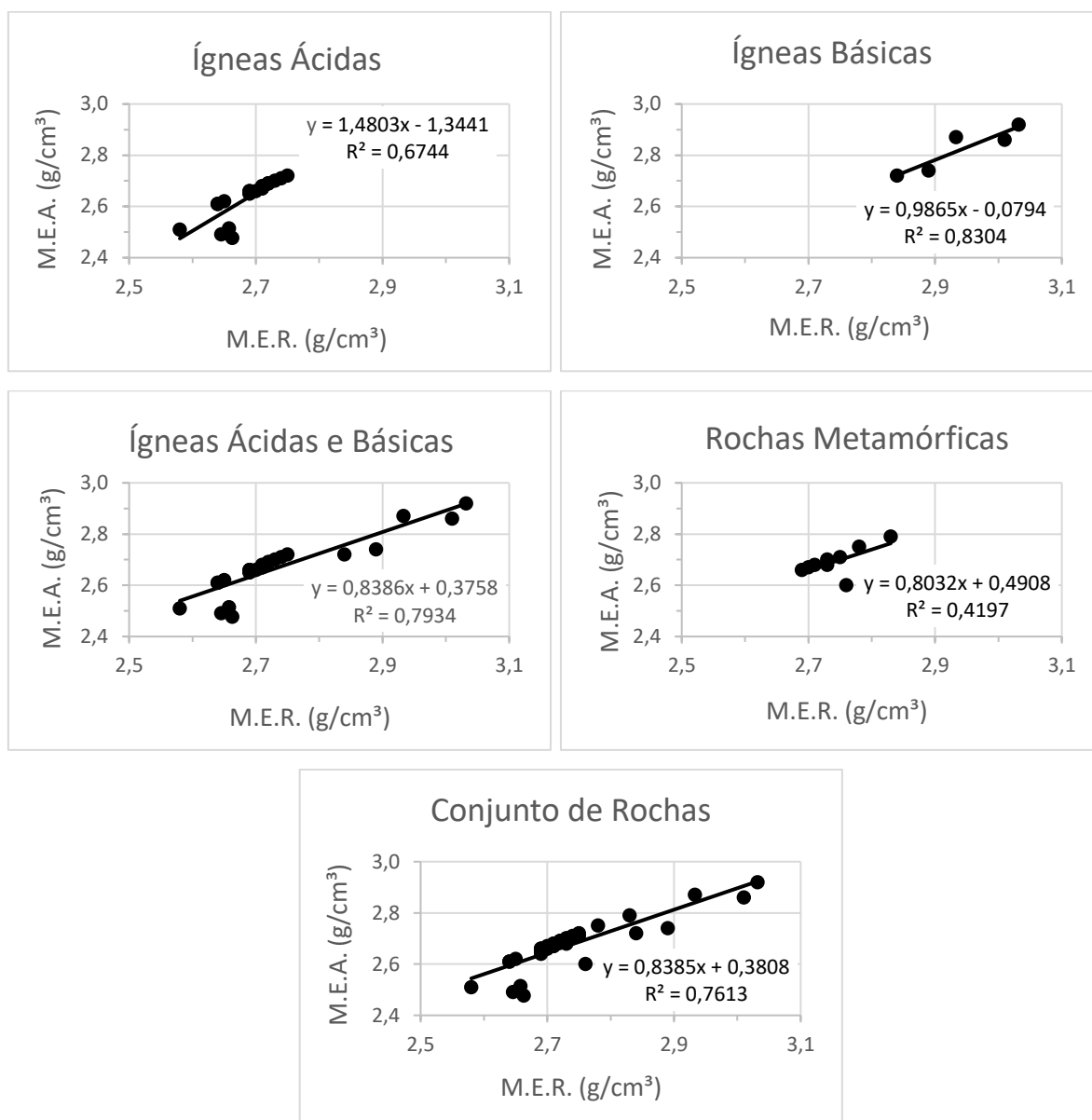
Figura 4.3.4 - Correlações lineares correspondentes à brita 3/4" (continuação).



A Figura 4.3.5 exibe as correlações lineares com a utilização das britas 3/8". As observações realizadas para as britas 3/4" também se aplicam para as britas 3/8", com um adendo em relação ao comportamento do agregado plutônico ácido SBS, que exibiu uma queda na M.E.A e passou a apresentar comportamento não tão similar às demais rochas ácidas de Ribeiro (2006).

De maneira geral, a classificação "Conjunto de Rochas" ostenta bons coeficientes estatísticos, evidenciando um padrão de previsão comportamental para o conjunto de rochas, tanto para as britas 3/4" quanto para as 3/8".

Figura 4.3.5 - Correlações lineares correspondentes à brita 3/8”.



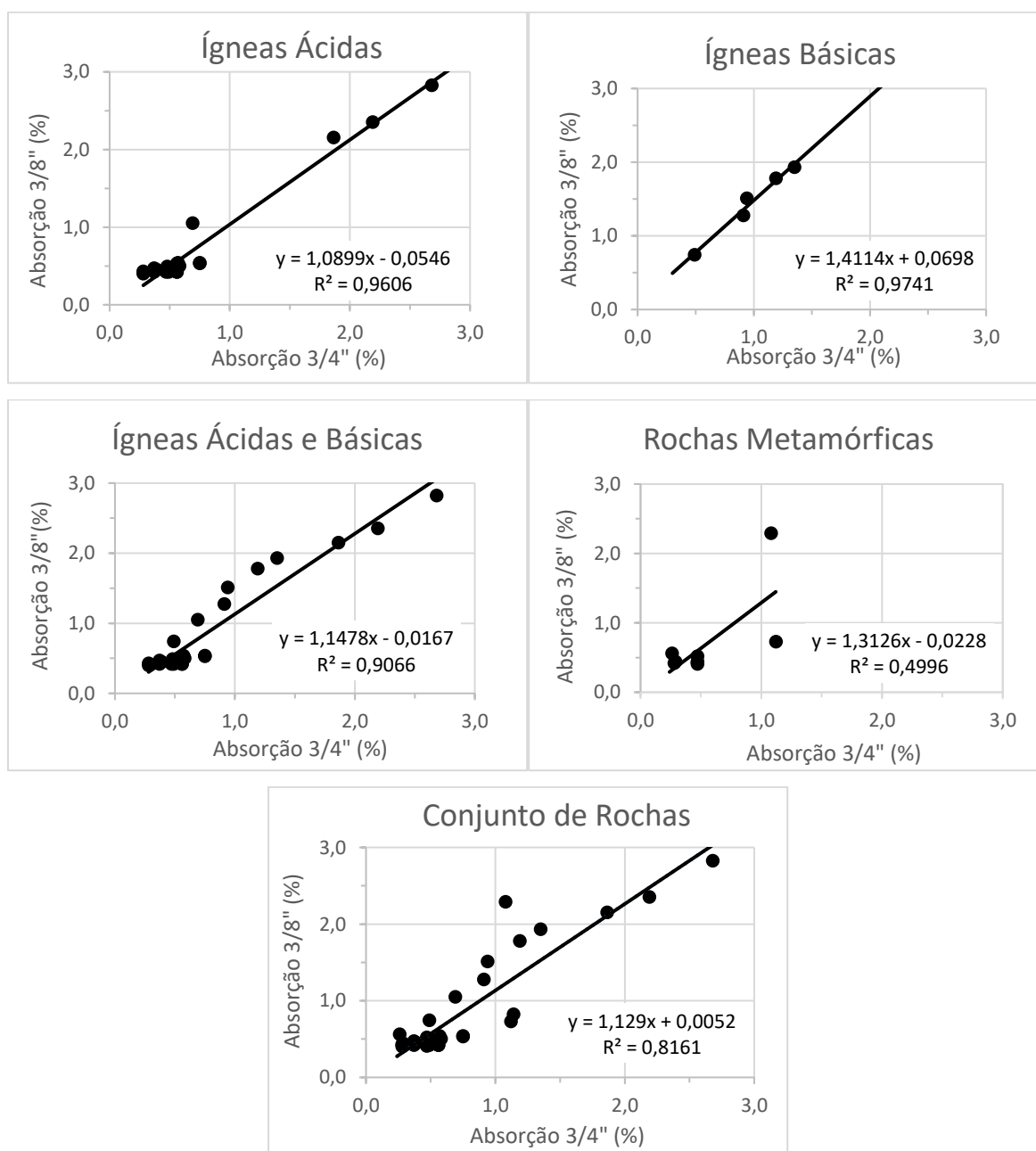
4.3.1.3. Absorção (3/4”) x Absorção (3/8”)

Os resultados das análises de correlação entre as absorções dos agregados são exibidos na Tabela 4.3.3 seguidos de seus gráficos alocados na Figura 4.3.6. Novamente os resultados exibem elevado grau de confiança, com exceção das “Rochas Metamórficas” que ostenta grau moderado.

Tabela 4.3.3 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.

Absorção (Brita 3/4) x Absorção (Brita 3/8)		
	R	R ²
Ígneas Ácidas	0,9801	0,9606
Ígneas Básicas	0,9870	0,9741
Ígneas Ácidas e Básicas	0,9522	0,9066
Metamórficas	0,7068	0,4996
Conjunto das Rochas	0,9034	0,8161

Figura 4.3.6 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos.



“Ígneas Ácidas” novamente ostenta dois grupos de resultados, sendo os de menores absorções referentes a Ribeiro (2006) e do próprio autor (SBS) e os de elevadas absorções oriundos dos agregados ácidos vulcânicos de Paiva (2017). As rochas que compõem a classificação “Ígneas Básicas” são provenientes de Paiva (2017) e do próprio autor, suas distintas absorções são provenientes das diferentes composições mineralógicas, do grau de alteração e da presença ou ausência de vesículas ou amígdalas.

Através da análise presente nos diferentes gráficos, é possível notar que a brita 3/8” tende a absorver maiores quantidades de água em comparação a fração graúda, exibindo proporcionalidade entre os mesmos. No entanto, não é possível detectar esta proporcionalidade nas “Rochas Metamórficas”, cujos níveis de absorção variam conforme a pedra.

4.3.2. Características Mecânicas

4.3.2.1. Abrasão “LA” x $I_{S(50)SAT}$

A primeira correlação mecânica exibida na Tabela 4.3.4 e Figura 4.3.7 envolve os ensaios de Abrasão *Los Angeles* e Compressão Puntiforme. Em razão dos baixos índices de absorção por parte das rochas ácidas e da baixa representatividade amostral (3 vulcânicas de Paiva (2017) e 1 plutônica (SBS)), “Ígneas Ácidas” ostentou elevada correlação positiva, indicando que a resistência dos fragmentos saturados tende a aumentar conforme o aumento da degradação abrasiva do material.

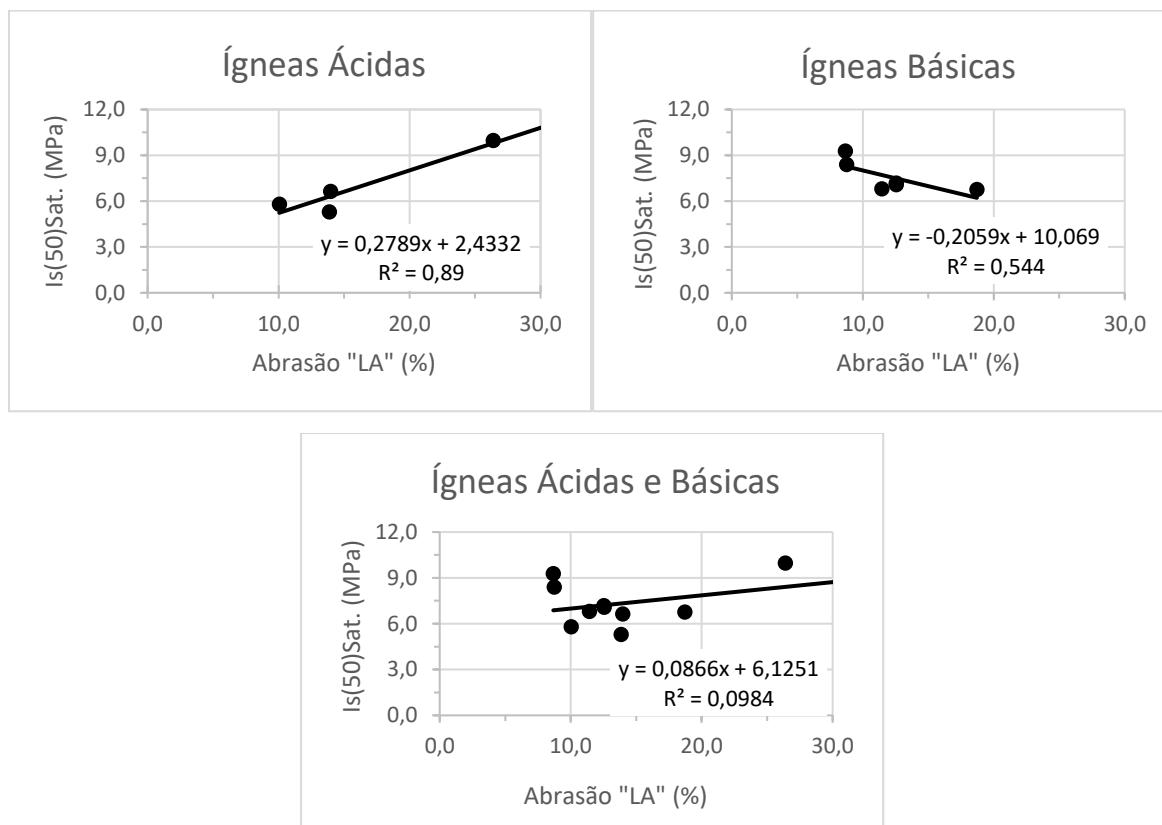
Tabela 4.3.4 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.

Abrasão "LA" x $I_{S(50)SATURADO}$		
	R	R ²
Ígneas Ácidas	0,9434	0,8900
Ígneas Básicas	-0,7375	0,5440
Ígneas Ácidas e Básicas	0,3136	0,0984

Em contradição às “Ígneas Básicas” (vulcânicas básicas de Paiva (2017) e do autor) que exibiram correlação negativa de alta a moderada, evidenciando que a medida que a perda por abrasão por parte do agregado se torna elevada, o desempenho mecânico puntiforme da amostra saturada tende a se tornar menor, diminuindo a resistência mecânica do material.

“Ígneas Ácidas e Básicas” ficou responsável pelo pior desempenho dentre os três materiais, mesmo possuindo baixo coeficiente de correlação linear, exibiu baixíssimo ajustamento de seu modelo estatístico.

Figura 4.3.7 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos.



4.3.2.2. $I_{S(50)SECO} \times I_{S(50)SAT}$

Os resultados das correlações realizados com os mesmos materiais do item 4.3.2.1 estão representados na Tabela 4.3.5 e Figura 4.3.8 e revelam que as rochas ígneas tanto ácidas quanto básicas que detenham baixo grau de alteração e fraturamento na matriz rochosa, certamente apresentarão dispersão nos resultados de suas amostras saturadas.

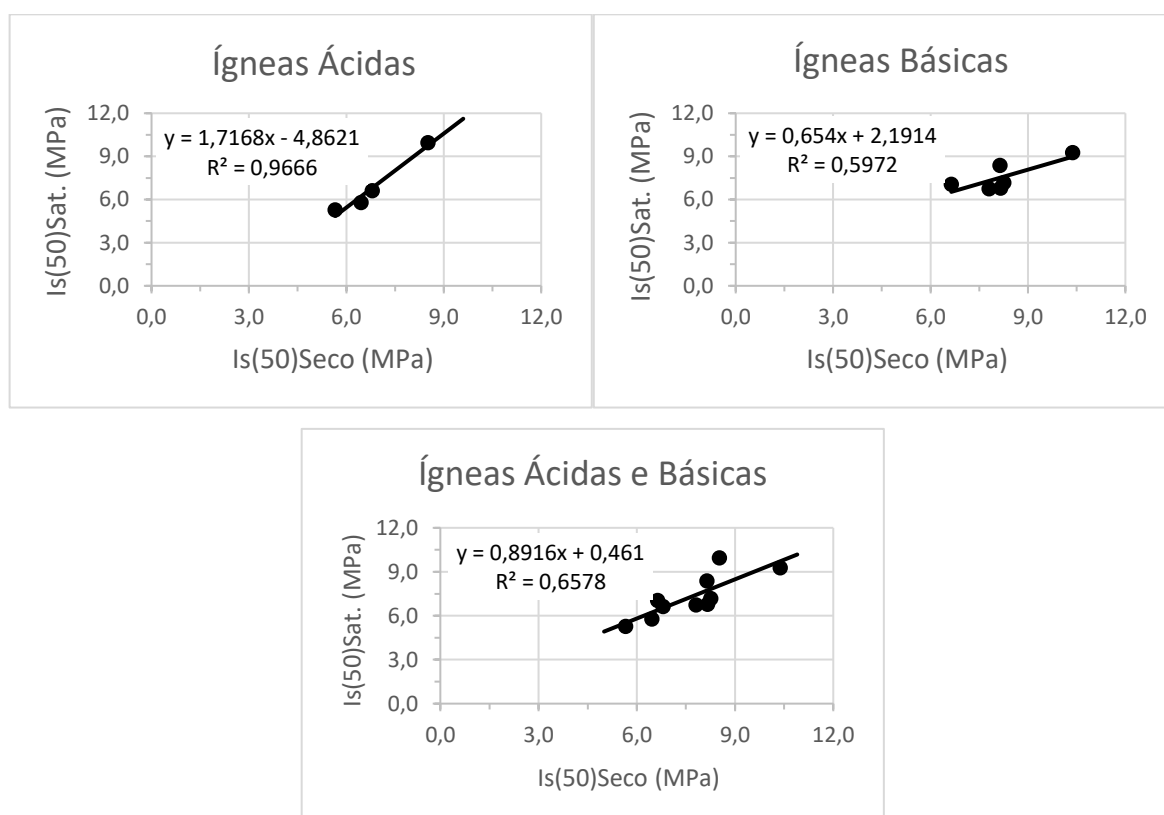
As altas correlações positivas indicam que os fragmentos rochosos possuem tendência de apresentarem os mesmos níveis de resistências mecânicas tanto para as amostras secas quanto saturadas. Como relatado na correlação do item 4.3.2.1, as “Ígneas Ácidas” evidenciam de forma acentuada este comportamento,

principalmente as ácidas plutônicas, em virtude das forças de compressão no processo de formação de seus maciços rochosos.

Tabela 4.3.5 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.

$I_{S(50)SECO} \times I_{S(50)SATURADO}$		
	R	R ²
Ígneas Ácidas	0,9832	0,9666
Ígneas Básicas	0,7792	0,5972
Ígneas Ácidas e Básicas	0,8110	0,6578

Figura 4.3.8 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos.



4.3.3. Índices Físicos e Características Mecânicas

4.3.3.1. Absorção x Abrasão "LA"

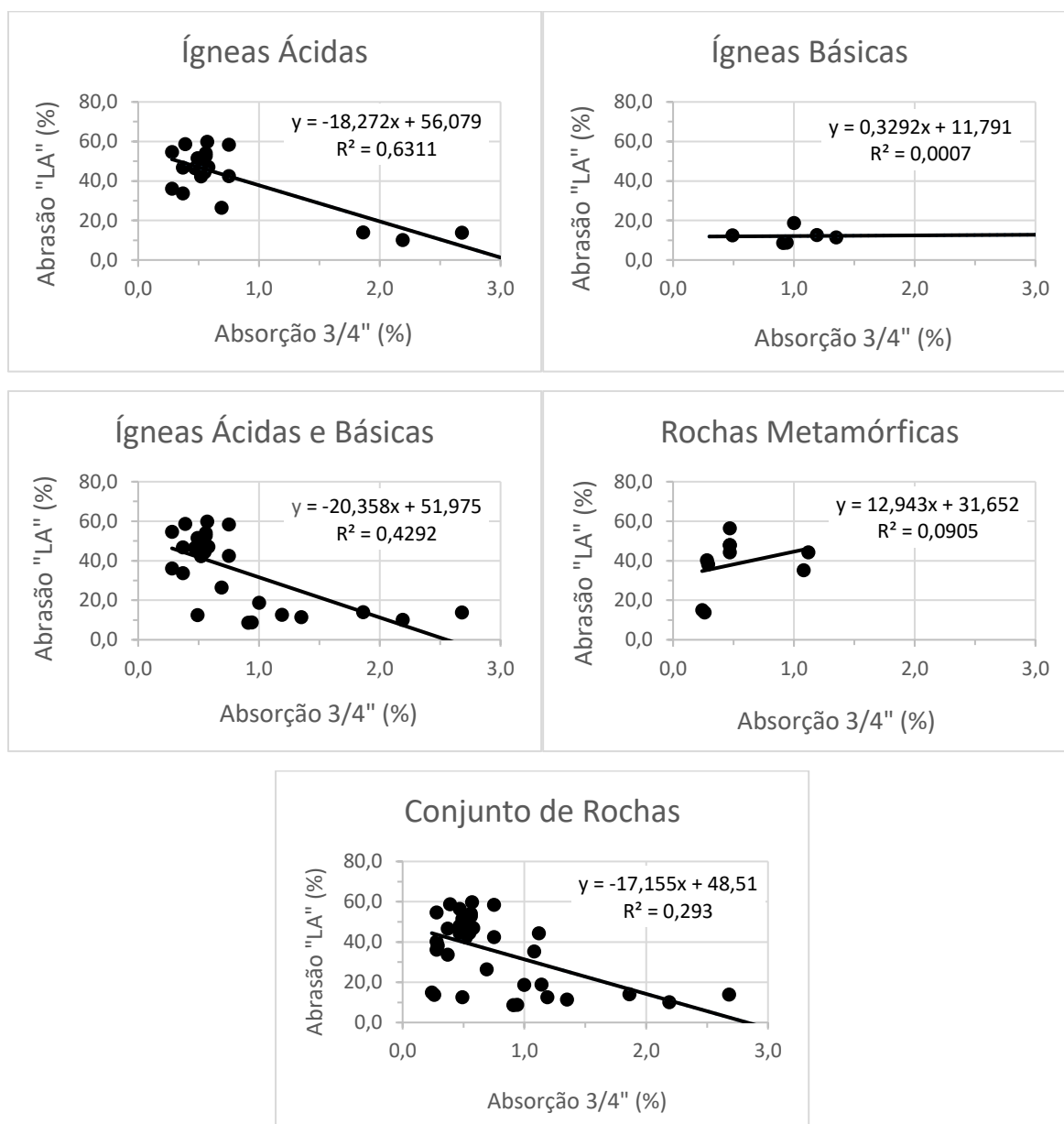
Os resultados exibidos na Tabela 4.3.6 e Figura 4.3.9 referentes às correlações lineares entre os parâmetros de absorção e abrasão *Los Angeles* são discrepantes. O coeficiente de determinação de "Ígneas Básicas", "Rochas Metamórficas" e "Conjunto de Rochas" pouco se ajusta às amostras, e dessa forma, não serão abordados.

As demais rochas exibem de maneira inesperada coeficientes de correlação negativos, estes, fortemente influenciados pelo elevado número amostral de rochas ácidas plutônicas de Ribeiro (2006).

Tabela 4.3.6 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.

Absorção (Brita 3/4) x Abrasão "LA"		
	R	R ²
Ígneas Ácidas	-0,7944	0,6311
Ígneas Básicas	0,0262	0,0007
Ígneas Ácidas e Básicas	-0,6550	0,4292
Metamórficas	0,3008	0,0905
Conjunto das Rochas	-0,5413	0,2930

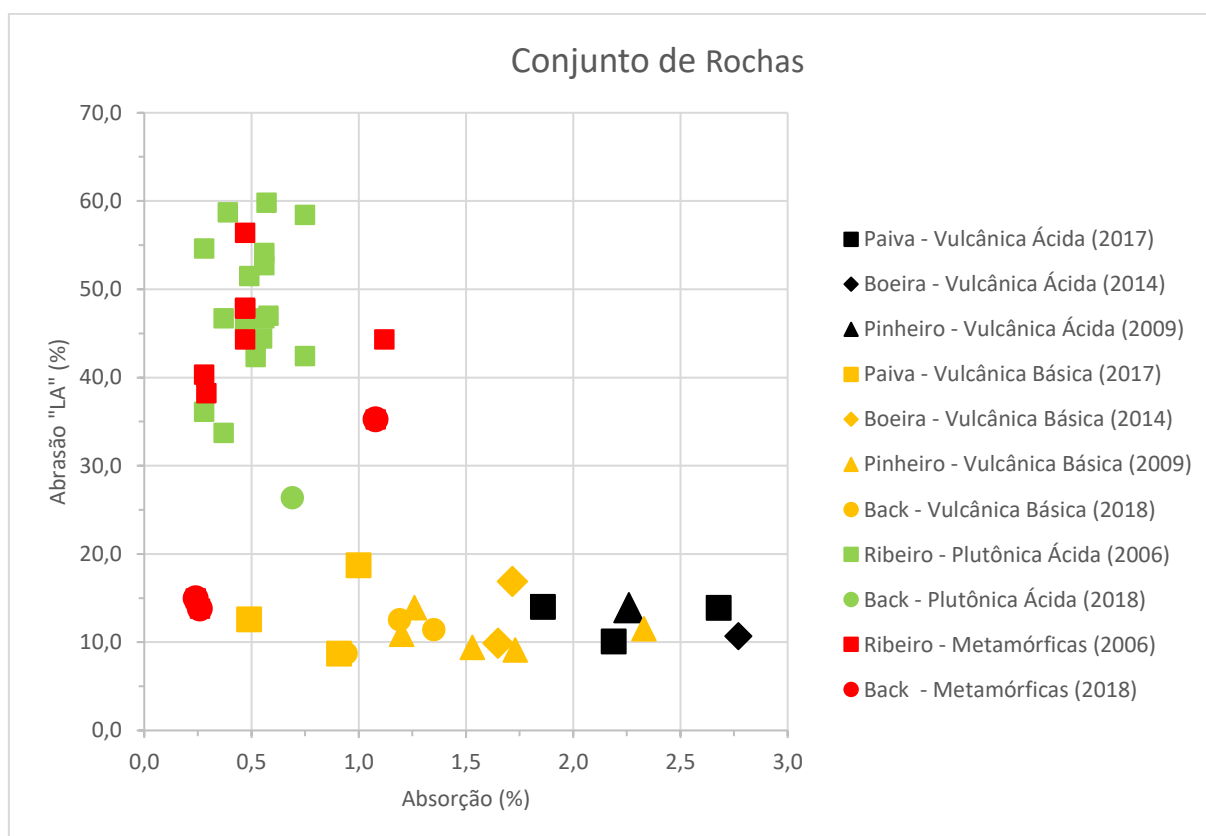
Figura 4.3.9 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos.



“Ígneas Ácidas” novamente exhibe distinção entre as diferentes rochas ácidas vulcânicas e plutônicas. As rochas ácidas plutônicas de Ribeiro (2006) e do próprio autor (SBS) exibem elevadas degradações abrasivas em relação às pequenas absorções, fato também identificado na Figura 4.3.10 que exhibe um gráfico compilando todos os materiais e frações ensaiadas a fim de identificar as diferenças comportamentais entre os diversos autores e rochas.

Em virtude da presente pesquisa não trabalhar com ígneas vulcânicas ácidas, optou-se por adicionar ao gráfico abaixo, dados de rochas vulcânicas oriundos de Pinheiro (2009) e Boeira (2014) para título de complementação.

Figura 4.3.10 - Correlação linear do Conjunto de Rochas identificado por autores.



A distinção entre os valores das rochas ácidas vulcânicas e plutônicas é justificada pela condição textural das rochas plutônicas, cuja textura fanerítica permite maior incidência de planos de fraqueza na rocha em função da maior resolução dos minerais constituintes, que tendem a sofrer maiores degradações mecânicas.

As rochas vulcânicas básicas e ácidas tendem a exhibir comportamentos similares no quesito degradação mecânica, fato também detectado na análise entre

as rochas metamórficas que exibem comportamento de absorção e degradação mecânica semelhantes às rochas plutônicas, entretanto, apresentam maior variabilidade nos dados.

4.3.3.2. Absorção x Esmagamento

Os resultados dos coeficientes (Tabela 4.3.7) relativos ao ensaio de esmagamento e absorção do agregado graúdo ostentam as mesmas tendências negativas e positivas exibidas para o ensaio de Abrasão *Los Angeles*. Contudo, “Ígneas Básicas” compostas pelas vulcânicas de Paiva (2017) e do próprio autor, apresentou elevada correlação positiva, indicando que quanto maior a absorção do agregado maior será seu desgaste mecânico.

Tabela 4.3.7 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.

Absorção (Brita 3/4) x Esmagamento		
	R	R ²
Ígneas Ácidas	-0,773	0,5975
Ígneas Básicas	0,8327	0,6934
Ígneas Ácidas e Básicas	-0,5989	0,3587
Metamórficas	0,3937	0,1550
Conjunto das Rochas	-0,5295	0,2804

As correlações de “Ígneas Ácidas e Básicas” e “Conjunto de Rochas” novamente foram influenciadas pela elevada quantidade amostral de rochas ácidas, que por sua vez, exibiu correlação negativa entre as propriedades. Os gráficos das regressões lineares são exibidos na Figura 4.3.11.

Figura 4.3.11 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos (continua).

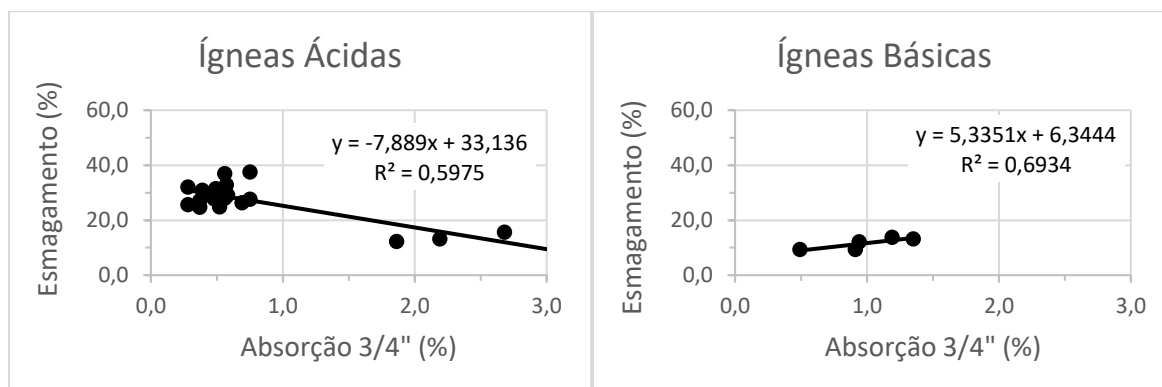
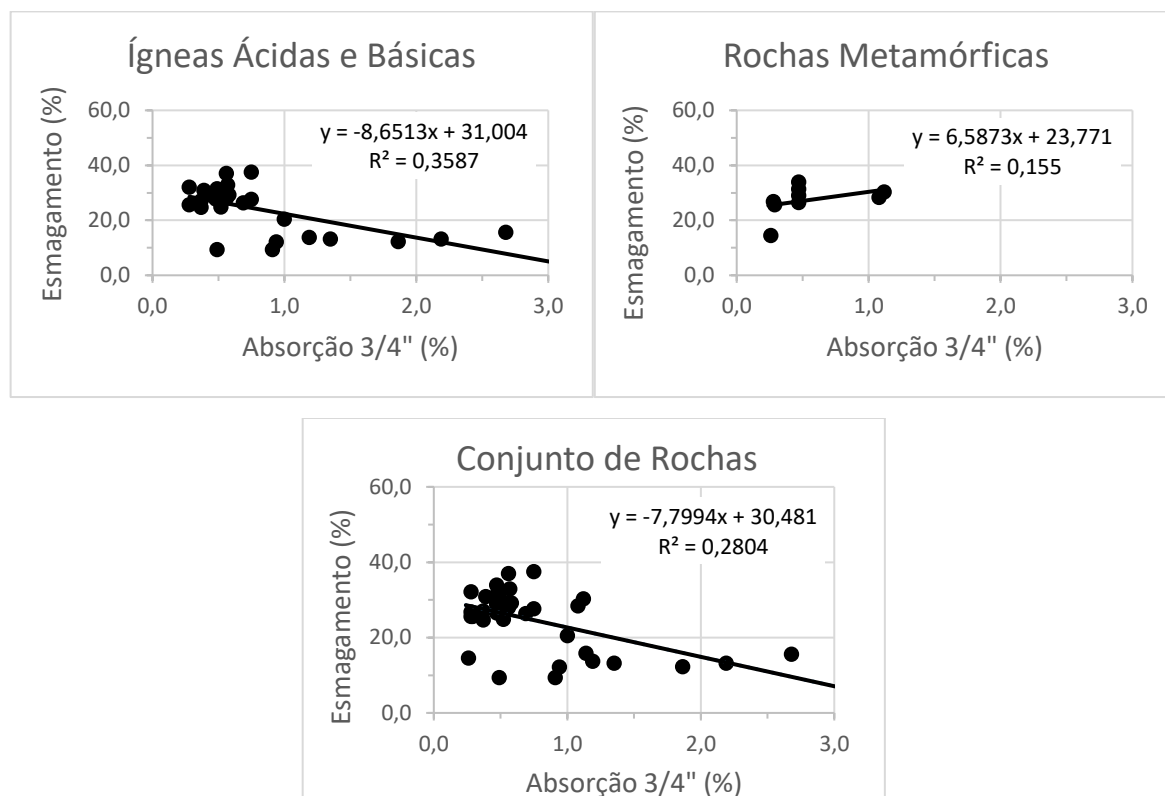


Figura 4.3.11 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos (continuação).



A análise acerca das “Ígneas Ácidas” realizadas no item 4.3.3.1 são novamente aplicadas para esta seção. Quando analisadas conjuntamente, as ácidas plutônicas e vulcânicas ostentam coeficiente de correlação negativos, indicando menores perdas mecânicas conforme o aumento da absorção.

Entretanto, se analisadas separadamente possivelmente exibiriam comportamentos positivos, indicando aumento do desgaste mecânico juntamente do aumento da absorção do agregado. Este fato comprova que os agregados tendem a apresentar padrões comportamentais mecânicos baseados nos diferentes tipos de formações (i.e. plutônicas e vulcânicas), independente de sua acidez.

4.3.3.3. Absorção x Treton

A relação de correlação linear entre os parâmetros de absorção e resistência treton se mantém constante com as analisadas nos itens 4.3.3.1 e 4.3.3.2. Através da Tabela 4.3.8 e Figura 4.3.12 conclui-se que “Rochas Metamórficas” ostenta o coeficiente que melhor se ajusta à amostra de todos apresentados no item 4.3.3.

Tabela 4.3.8 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.

Absorção (Brita 3/4) x Treton		
	R	R ²
Ígneas Ácidas	-0,5759	0,3317
Ígneas Básicas	0,3442	0,1185
Ígneas Ácidas e Básicas	-0,5279	0,2787
Metamórficas	0,5188	0,2692
Conjunto das Rochas	-0,4397	0,1933

Novamente “Ígneas Ácidas”, “Ígneas Ácidas e Básicas” e “Conjunto de Rochas” apresentam coeficientes de correlação negativos em virtude da interseção dos resultados de ígneas vulcânicas e plutônicas. Vale novamente ressaltar, que mesmo possuindo os menores índices de absorção do conjunto de rochas ígneas, as rochas ácidas plutônicas ostentam elevadas degradações mecânicas, possivelmente indicando que suas propriedades texturais fanerítica e mineralógicas influenciam diretamente nas suas características e desempenhos mecânicos.

Figura 4.3.12 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos (continua).

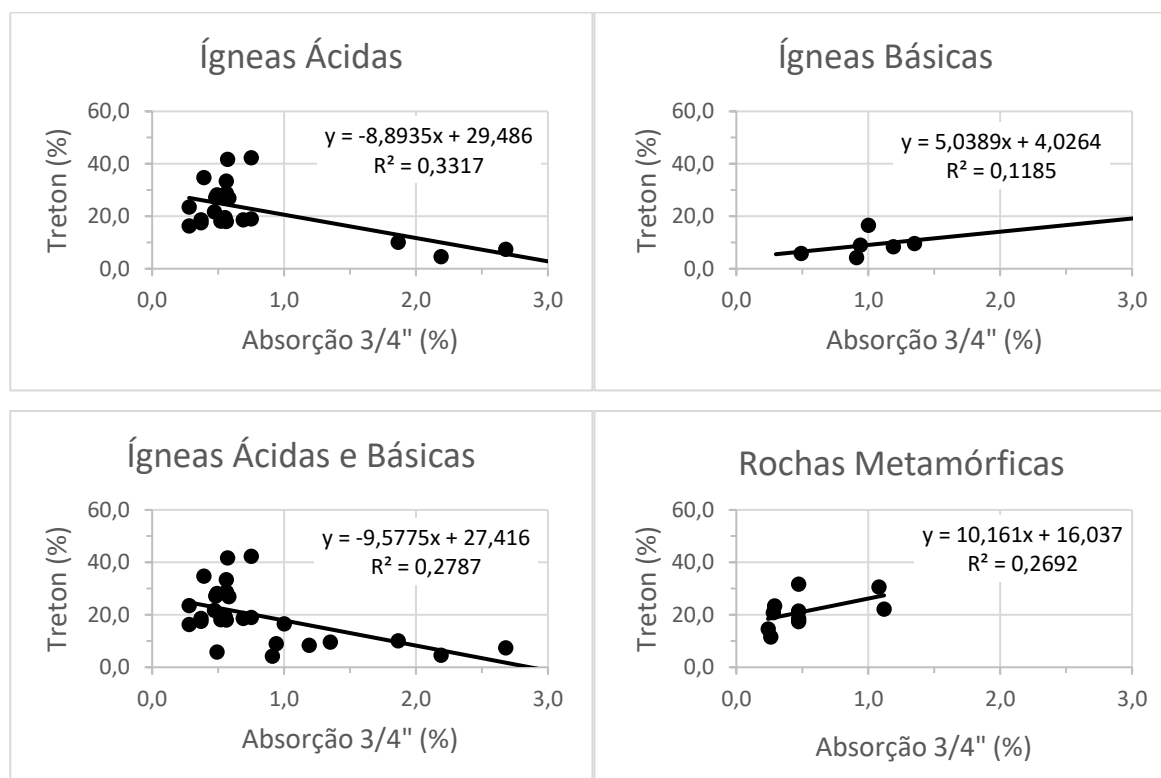
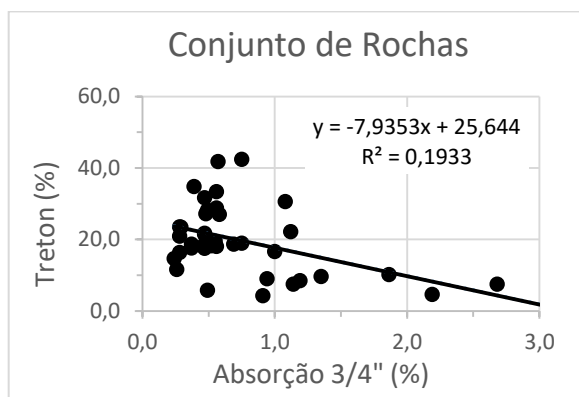


Figura 4.3.10 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos (continuação).



4.3.4. Forma do Agregado

A Tabela 4.3.9 ostenta de forma simplificada os coeficientes de correlação adquiridos através das matrizes correlações e os coeficientes de determinação das classificações ígneas para ambas graduações de brita dos três pares de variáveis adotados para análise.

Tabela 4.3.9 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares entre o par de variáveis.

Brita 3/4"		Ígneas Ácidas	Ígneas Básicas	Ígneas Ácidas e Básicas
IF Paquímetro x IF Crivo	R	-0,3837	-0,9149	-0,6849
	R ²	0,1472	0,8371	0,4691
IF Paquímetro x Lamelaridade	R	0,3293	0,1771	0,1984
	R ²	0,1084	0,0314	0,0394
Lamelaridade DAER/RS x IF Crivo	R	-0,9504	-0,4928	-0,6216
	R ²	0,9033	0,2429	0,3864
Brita 3/8"		Ígneas Ácidas	Ígneas Básicas	Ígneas Ácidas e Básicas
IF Paquímetro x IF Crivo	R	-0,8206	-0,8865	-0,7953
	R ²	0,6735	0,7858	0,6325
IF Paquímetro x Lamelaridade	R	-0,6813	0,8831	0,3740
	R ²	0,4641	0,7798	0,1399
Lamelaridade DAER/RS x IF Crivo	R	0,6552	-0,6920	-0,5214
	R ²	0,4294	0,4789	0,2719

Tanto a brita 3/4" quanto 3/8" apresentam correlações negativas para os ensaios de IF Paquímetro e IF Crivo, indicando similaridade nos resultados de índice de forma através da utilização de metodologias distintas. Uma vez que quanto maior IF Crivo (≈ 1) e menor IF Paquímetro (≈ 0), maior o grau de cubicidade do agregado.

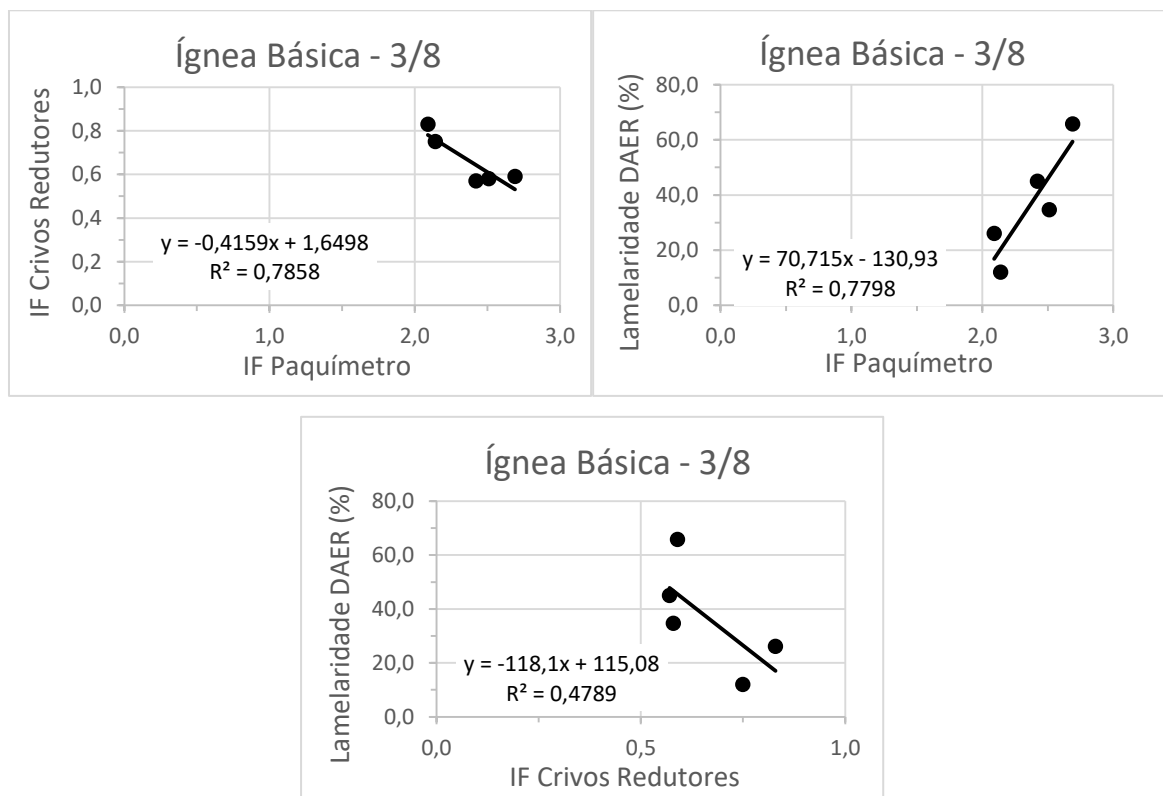
A mesma relação se faz necessária para correlação linear entre Lamelaridade DAER/RS e IF Crivos e os mesmos coeficientes de correlação negativos são

esperados, apenas a “Ígneas Ácidas 3/8” não se mostrou condizente com a relação. Este agregado também exibiu correlação distinta dos demais para análise entre IF Paquímetro e Lamelaridade DAER.

Vale ressaltar que os dados utilizados para as correlações são provenientes de Paiva (2017) e do próprio autor, ou seja, para as correlações de “Ígneas Ácidas” foram utilizadas três pedreiras vulcânicas e uma plutônica e para “Ígneas Básicas” utilizou-se seis pedreiras vulcânicas, sendo três de Paiva (2017) e três do próprio autor.

De uma maneira geral, “Ígneas Básicas” exibiu excelentes correlações entre os diversos parâmetros, sendo ainda mais notório quanto aplicado às britas 3/8. Por exibir melhores coeficientes de ajuste estatístico, optou-se por exibir na Figura 4.3.13 as regressões lineares das “Ígneas Básicas 3/8”.

Figura 4.3.13 - Correlações lineares correspondentes à brita 3/8”.



4.3.5. Durabilidade

4.3.5.1. Abrasão “LA” x Sanidade Graúdo

A análise da correlação entre as propriedades de alterabilidade e resistência abrasiva é apresentada na Tabela 4.3.10 e Figura 4.3.14. A rocha “Ígneas Básicas”

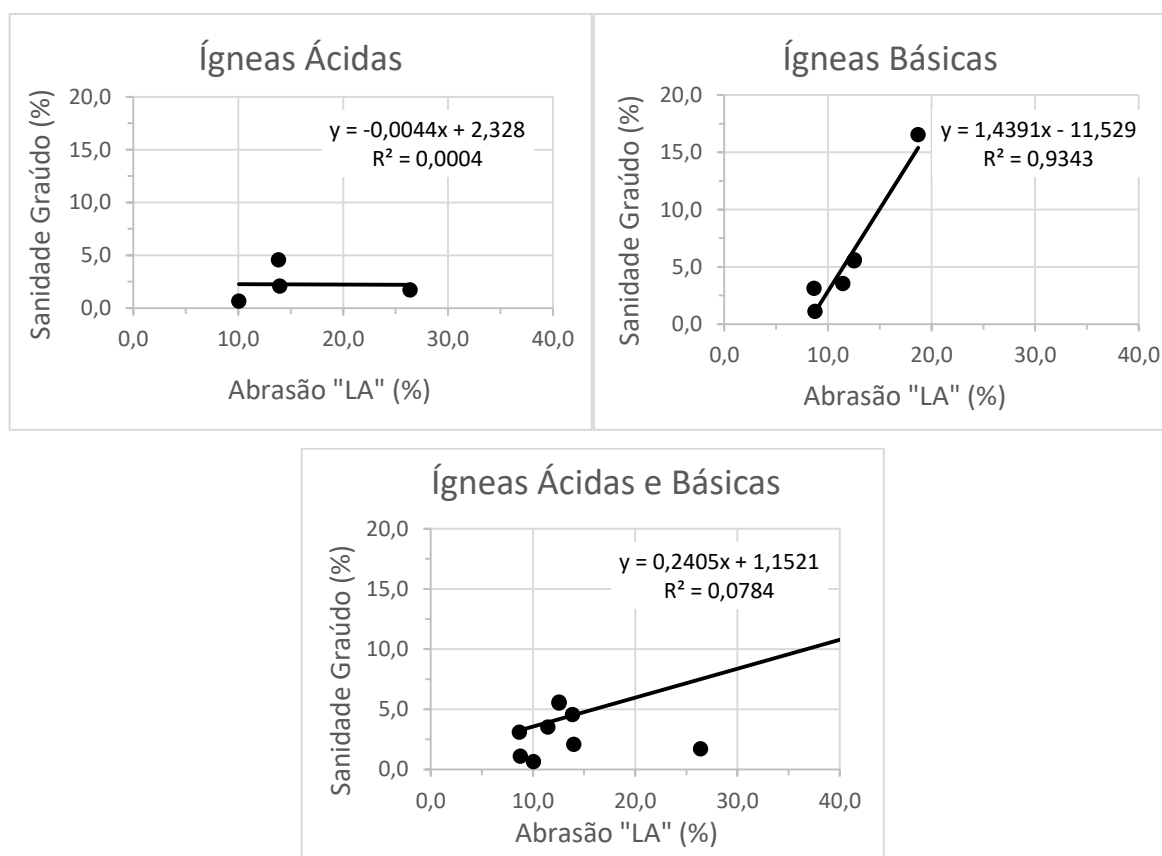
exibiu excelentes correlações no par de variáveis analisadas, enquanto os demais apresentam baixo grau no ajuste estatístico linear.

Os dados utilizados para as correlações são provenientes de Paiva (2017) e do próprio autor, sendo empregado três materiais vulcânicos e um plutônico para a classificação “Ígneas Ácidas” e seis vulcânicos para a classificação “Ígneas Básicas”.

Tabela 4.3.10 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.

Abrasão "LA" x Sanidade Graúdo		
	R	R ²
Ígneas Ácidas	-0,0189	0,0004
Ígneas Básicas	0,9666	0,9343
Ígneas Ácidas e Básicas	0,2799	0,0784

Figura 4.3.14 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos.



4.3.5.2. Absorção 3/4" x Sanidade Graúdo

A análise de correlação linear entre os parâmetros de absorção da brita 3/4" e sanidade graúdo é exibido pela Tabela 4.3.11 e Figura 4.3.15. Os dados que

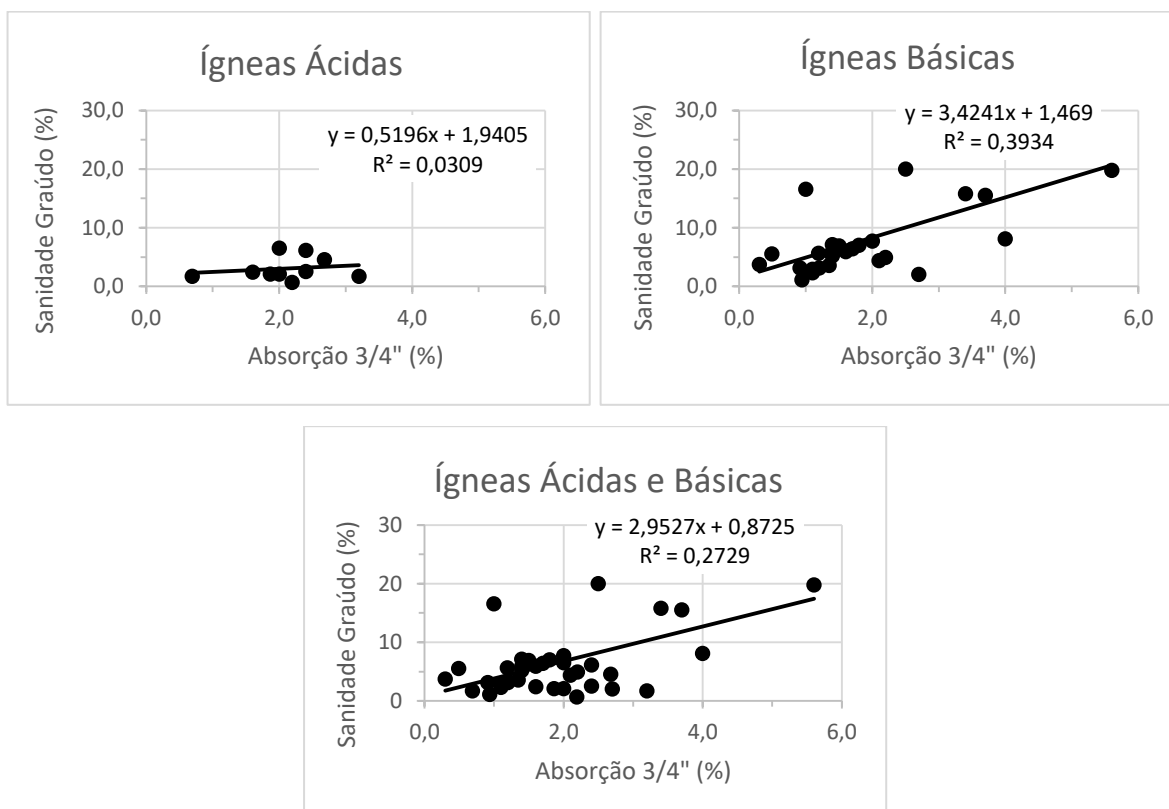
compõem a análise das “Ígneas Ácidas” são oriundos de Fiorentini (2002) e Paiva (2017) com ígneas vulcânicas e do próprio autor com ígneas plutônicas, para as “Ígneas Básicas” foram utilizados os dados dos mesmos autores supracitados.

Podemos verificar baixas correlações lineares para as “Rochas Ácidas” e moderadas correlações para as “Rochas Básicas”. Estes coeficientes podem indicar que a suscetibilidade das “Ígneas Ácidas” em serem alteradas está diretamente relacionado à sua composição mineralógica e menos relacionado à sua capacidade de absorção.

Tabela 4.3.11 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares.

Absorção 3/4" x Sanidade Graúdo		
	R	R ²
Ígneas Ácidas	0,1759	0,0309
Ígneas Básicas	0,6272	0,3934
Ígneas Ácidas e Básicas	0,5224	0,2729

Figura 4.3.15 - Correlações lineares dos diferentes tipos rochosos.



4.4. CORRELAÇÕES LINEARES ENTRE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS ATRAVÉS DO EMPREGO DE VARIÁVEIS DEPENDENTES E INDEPENDENTES

Optou-se pela análise individual das características mecânicas em virtude dos elevados índices de correlações e confiabilidade estatística dos pares de variáveis obtidos através das matrizes correlações e regressões lineares dos pares de correlações, estes, exibidos na Tabela 4.4.1. Em adição aos dados do autor, foram adicionados às análises das diferentes classificações os resultados das ígneas vulcânicas ácidas e básicas de Paiva (2017) e as rochas metamórficas de Ribeiro (2006).

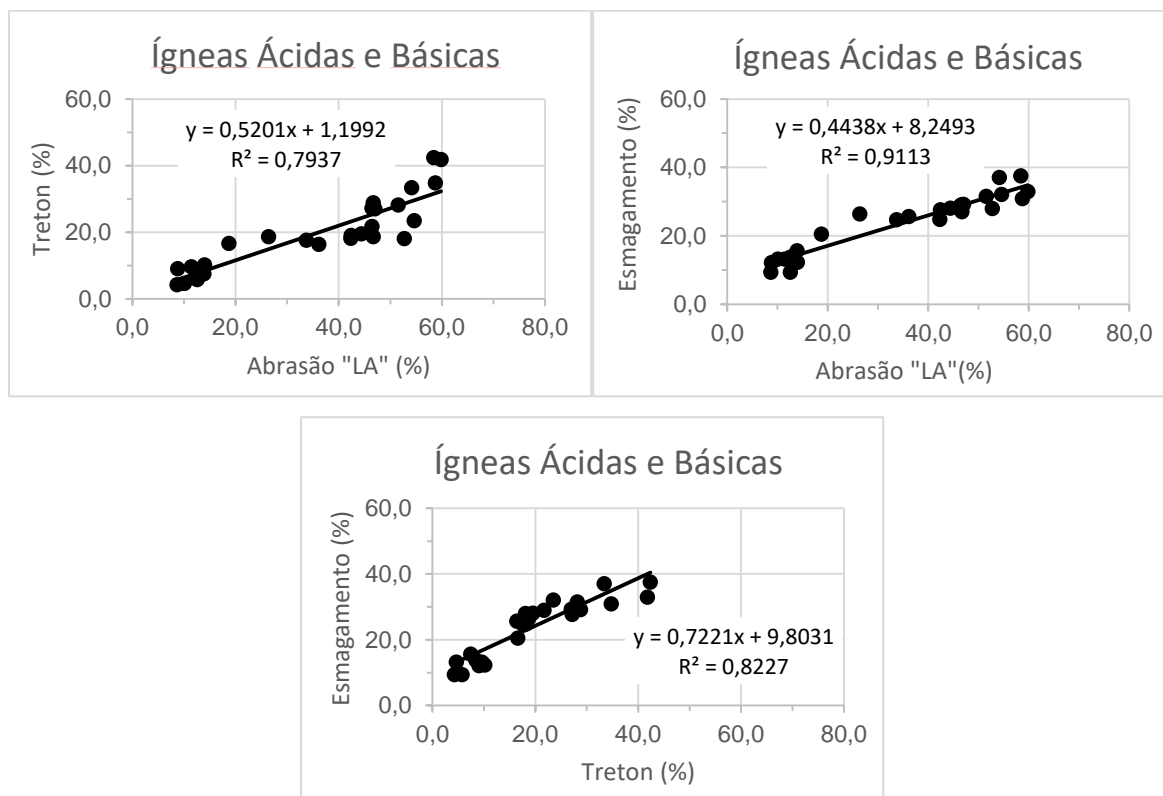
Tabela 4.4.1 - Resultado dos coeficientes de correlação e determinação encontrados através de correlações lineares entre o par de variáveis.

		Ígneas Ácidas	Ígneas Básicas	Ígneas Ácidas e Básicas	Metamórficas	Conjunto das Rochas
Abrasão "LA" x Treton	R	0,8537	0,8196	0,8908	0,6387	0,8587
	R ²	0,7289	0,6718	0,7937	0,4080	0,7375
Abrasão "LA" x Esmagamento	R	0,9291	0,2770	0,9546	0,9321	0,9537
	R ²	0,8632	0,0768	0,9113	0,8688	0,9096
Esmagamento x Treton	R	0,8752	0,9000	0,9070	0,7341	0,8919
	R ²	0,7660	0,8101	0,8227	0,5389	0,7958

Todas as correlações lineares ostentaram coeficientes de determinação satisfatórios, entretanto, a classificação "Ígneas Ácidas e Básicas" se destacou, evidenciando elevada similaridade nos resultados de degradação mecânica através da utilização de metodologias distintas. Desta forma optou-se por exibir de forma discriminada na Figura 4.4.1 as correlações lineares desta classificação

Novamente há formação de dois grupos de valores nos três gráficos abaixo, os dados localizados à esquerda (detentores de baixas degradações) são as rochas vulcânicas básicas (Paiva, SJ, CONC, CAP) e ácidas (Paiva), enquanto o grupo de dados localizados à direita dos gráficos (detentores das maiores degradações) são as plutônicas ácidas (Ribeiro, SBS). Dessa forma, pode-se verificar que as rochas ígneas tendem a apresentar comportamentos mecânicos baseados nos seus diferentes processos de formação.

Figura 4.4.1 - Correlações lineares das rochas Ígneas Ácidas e Básicas.

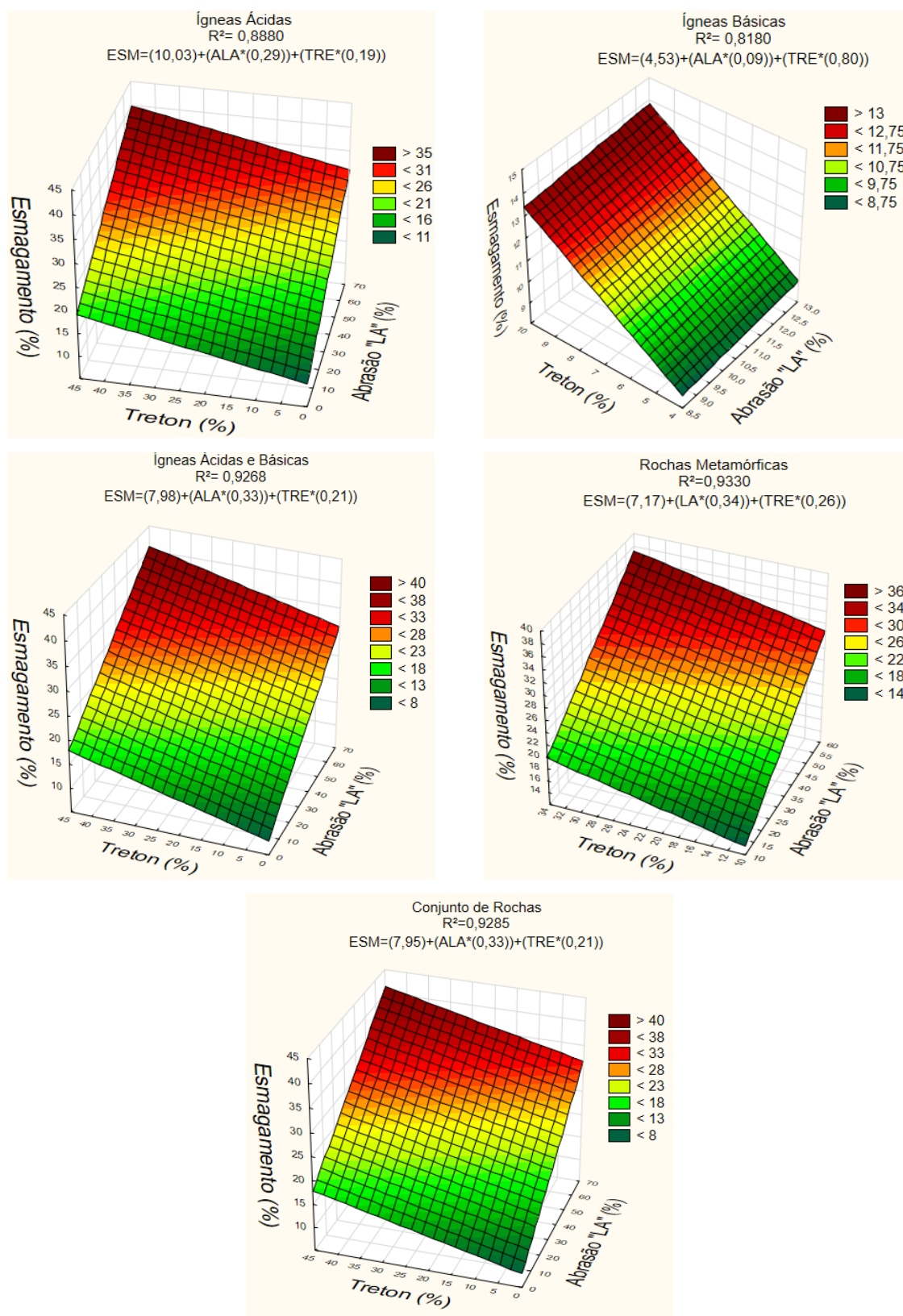


Em razão da importância da caracterização do desempenho mecânico dos agregados, dos diversos métodos utilizados para a determinação dos mesmos e das excelentes correlações lineares entre os ensaios, optou-se pela realização de uma análise entre as variáveis oriundas dos ensaios de esmagamento, treton e abrasão "Los Angeles".

Para todas as correlações exibidas na Figura 4.4.2, tomou-se como variável dependente o ensaio de esmagamento e independentes os ensaios de abrasão e treton. Todas as rochas apresentaram excelentes correlações e ajustes estatísticos, evidenciando excelente padrão de previsão do comportamento linear mecânico das diferentes classificações rochas.

Dentre todas as classificações, "Conjunto de Rochas" e "Rochas Metamórficas" apresentaram os melhores coeficientes de determinação, mostrando que mesmo que rochas ígneas tendem a apresentar comportamentos mecânicos baseados em seus diferentes processos de formação (plutônico e vulcânico), ainda assim exibem mesma tendência de degradação aplicada aos diferentes ensaios, dado o seu tipo de formação.

Figura 4.4.2 - Correlação entre variáveis esmagamento, treton e abrasão "LA" para diversas classificações rochosas.



5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos em acordo com o linear metodológico deste trabalho, optou-se por fracionar as conclusões em três itens, conforme segue.

5.1. AVALIAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO E ÁREA DE LAVRA

A etapa de campo se mostrou fundamental para compreensão e conhecimento das características comportamentais das diferentes formações rochosas analisadas. Informações adquiridas acerca do maciço rochoso como o grau de alterabilidade, estruturas de descontinuidades, presença de dobras e veios preenchidos por um segundo derrame, zonas de falhas, etc. se tornaram imprescindíveis para compreensão da influência das propriedades rochosas no desempenho do agregado nos ensaios de caracterização laboratorial.

Toma-se como exemplo a Jazida SBS, composta por uma rocha plutônica, cujo agregado britado a priori indicava um maciço extremamente homogêneo. No entanto, ao longo da visitação ao local, foram descobertas mudanças composicionais de mineralogia, alterabilidade e comportamento estrutural, indicando necessidade de análise de seis amostras para fabricação de lâminas delgadas.

Outra informação que pode ser adquirida é a existência ou não de um segundo material em menores proporções, podendo ser em forma de veios ou diques, que venha a influenciar nas propriedades e características comportamentais do material de origem. Este caso ocorreu na Jazida HN, a qual teve seu agregado oriundo do mármore calcítico levemente contaminado com pequenos fragmentos de sienogranito, elevando a acidez do conjunto e reprovando-o no ensaio de adesividade.

A análise petrográfica se mostrou uma ferramenta importante às etapas iniciais de conhecimento e classificação dos materiais. No entanto, limita-se apenas à descrição dos elementos texturais, mineralógicos e de alterabilidade, como caráter complementar à avaliação em laboratório, indicando por vezes a presença de comportamentos microscópios que de fato não ocorrem laboratorialmente no conjunto macroscópico.

5.2. CARACTERIZAÇÃO LABORATORIAL

Mediante interpretação dos resultados obtidos durante a análise dos ensaios laboratoriais, foi possível concluir que:

- a) Os índices físicos determinados através dos ensaios de absorção, M.E.R., M.E.A., grau de compactação e porosidade aparente são influenciados diretamente pela composição mineralógica e características estruturais do maciço, através da presença de vesículas, disjunções colunares, etc. A baixa densidade do sienogranito SBS, por exemplo, se deu pela presença de quartzo, feldspato e plagioclásios, cuja densidade é pequena;
- b) Com relação aos índices de absorção das frações 3/4" e 3/8", todos os agregados se mantiveram dentro do limite de 3% usualmente empregado para materiais rochosos utilizados na pavimentação. A absorção dos agregados aumentou com a redução de suas partículas, fato explicado através do aumento da superfície específica do agregado;
- c) Os ensaios atrelados ao índice de forma dos agregados graúdos, mesmo possuindo métodos de execução e amostragens distintas, exibiram coerência de resultados. Todos os coeficientes de forma obtidos pelo Método do Paquímetro e Crivos Redutores permaneceram dentro dos limites exigidos de ≤ 3 e $\geq 0,5$, respectivamente, tanto para britas 3/4" quanto para 3/8";
- d) Notou-se grande influência das características estruturais dos maciços nos comportamentos da forma dos agregados. As disjunções colunares influenciam diretamente no produto final da britagem, produzindo materiais com formas alongadas e lamelares típicas de rochas vulcânicas em virtude do fluxo horizontal que a lava gera. A elevada lamelaridade da brita 3/8" de SBS, por exemplo, é justificada pela presença de foliação em partes do maciço rochoso, incorporando tendência à lamelaridade não característica dos granitos;
- e) Dos ensaios referentes à lamelaridade dos agregados, o Método do Calíper se apresentou mais completo do que a Placa de Lamelaridade DAER/RS, pela capacidade de determinação das relações de planificação (largura e espessura), alongamento (largura e comprimento) e lamelaridade (comprimento e espessura), todavia, não detém vigências limitantes;
- f) Constatou-se também o aumento da planicidade, alongamento e lamelaridade dos ensaios das partículas 3/8" em comparação às partículas 3/4", para todas

as pedreiras e relações ensaiadas. Com relação aos resultados da Placa de Lamelaridade DAER/RS, todos os resultados passaram no limite de $\leq 40\%$ imposto por DAER/RS 15/91, com exceção da brita 3/4" de CONC e da brita 3/8" de SJ e CAP. Para DAER/RS 16/91, cujo limite é $\leq 50\%$, apenas a brita 3/8" de SJ excedeu o valor máximo fornecido pelo referido documento;

- g) Dentre todos os ensaios de forma e lamelaridade realizados, o ensaio AIMS 2, obtido pelo processamento digital de imagem se mostrou o mais completo, sendo capaz de determinar parâmetros de angularidade, esfericidade, textura e forma 2D, reduzindo significativamente o erro humano atrelado ao ensaio através da utilização do software;
- h) Comparando-se os resultados de lamelaridade obtidos pelo software AIMS e pelo método do Calíper, conclui-se que, de posse do processamento digital de imagem, conseguiu-se obter maiores volumes de dados. Estes, se mostraram muito similares aos resultados encontrados pelo segundo método.
- i) Para o ensaio de equivalente de areia, apenas HN não atingiu os valores limites especificados por DAER ($\geq 50\%$) e DNIT ($\geq 55\%$).
- j) Todas as jazidas se encontraram dentro das especificações tanto para os ensaios de abrasão *Los Angeles* quanto para os limites de Resistência ao Esmagamento, usualmente realizado para controle tecnológico de pavimentos rígidos. No caso do ensaio *treton*, não há limites vigentes aplicados para emprego do procedimento nos agregados para pavimentação, sendo vastamente empregado para lastros ferroviários.
- k) Em relação aos resultados de Resistência a Compressão Puntiforme, conforme classificação do ARNOLD (1993), todos as jazidas exibiram correlações acima de 0,7, indicando presença de adequado esqueleto mineral, capaz de suportar as forças de expansão de seus argilosminerais.
- l) Os resultados calculados para o ensaio de alterabilidade pelo método DNER exibem aproximadamente o dobro da degradação calculada pelo método DAER, para o conjunto de frações graúdas e miúdas, das quais 4 jazidas (HN, SBS, SJ, CAP) exibiram índices de sanidades maiores que 10% se comparado com apenas 1 jazida (HN), caso calculado pelo método DAER.

5.3. COMPORTAMENTO DOS DIFERENTES TIPOS ROCHOSOS

Baseado no procedimento de análise estatística efetuado, visando determinar um padrão de previsão de comportamento para diferentes rochas, foi possível concluir que:

- a) A Matriz Correlação proveniente de agregados de uma mesma origem mineralógica exhibe coeficientes de correlação próximos aos limites, indicando melhores graus de correlação entre os pares de variáveis analisados;
- b) Os resultados laboratoriais de Ribeiro (2006) evidenciam elevados índices de degradações mecânicas e baixos índices de absorção por parte das rochas graníticas e gnáissicas do RJ, comportamento este, não usual aos agregados de mesma origem encontrados no RS;
- c) Tratando-se do conjunto total de valores classificados como “Conjunto de Rochas”, foi possível identificar correlações positivas e significativas na relação dos índices físicos de “M.E.R. x M.E.A” e “absorção x absorção”, tanto nas pilhas 3/4” quanto 3/8”. Destacam-se também a ocorrência de correlações negativas significativamente baixas para as relações “absorção x M.E.A”, “absorção x abrasão LA”, “absorção x esmagamento” e “absorção x treton”;
- d) Vale ressaltar que o “Conjunto de Rochas” obteve ajustes estatísticos significativamente satisfatórios na correlação entre os fatores determinados por meio de ensaios mecânicos. De forma geral, abrasão *Los Angeles*, treton e esmagamento (índices que medem a degradação do material) resultaram em correlações lineares positivas, tanto nos pares de correlações quanto nas variáveis dependentes e independentes. Estes resultados indicam que, nestas três metodologias de ensaios, todos os materiais tendem a ter o mesmo nível de degradação, sob influências de métodos de aplicação de carregamento diferentes;
- e) Em relação às “Rochas Metamórficas”, verificou-se correlações positivas e moderadas nas relações “M.E.R x M.E.A”, “absorção x absorção” e significativas correlações positivas entre os ensaios mecânicos.

- f) As “Rochas Metamórficas” exibiram comportamentos de absorção, densidade e degradação mecânica semelhantes às rochas ígneas plutônicas, entretanto, apresentam variabilidade entre as diferentes jazidas.
- g) Observados os valores referentes às “Ígneas Ácidas e Básicas”, destaca-se a alta correlação negativa obtida na relação “IF Paquímetro x IF Crivos Redutores”, tanto para os agregados das pilhas 3/4” quanto 3/8”. Mantem-se assim, uma relação de coerência entre os ensaios, onde quanto maior o IF Crivos Redutores, menor o IF Paquímetro e, conseqüentemente, maior o grau de cubicidade do agregado. Salienta-se aqui a influência das amostras relativas às “Ígneas Ácidas” no resultado final da classificação “Ígneas Ácidas e Básicas”;
- h) Os resultados das correlações que avaliam as características físicas e mecânicas das “Ígneas Básicas”, como: “absorção x esmagamento”, “abrasão LA x sanidade” e “ abrasão LA x $I_{s(50)SAT}$ ”, indicam que o desempenho mecânicos destes materiais é diretamente influenciado pelos índices físicos e características da rocha matriz;
- i) Os agregados tendem a apresentar padrões comportamentais mecânicos baseados nos diferentes tipos de formações (i.e. plutônicas e vulcânicas), entretanto, a mesma relação não se aplica para os índices físicos, onde as vulcânicas ácidas exibem maiores absorções e menores densidades comparando-se às absorções intermediárias e elevadas densidades das ígneas vulcânicas básicas;
- j) Com relação a classificação “Rochas Ácidas” pôde-se detectar distinção no comportamento das rochas plutônicas e vulcânicas em virtude de seus processos de formação distintos, onde as vulcânicas ostentaram maiores absorção para menores degradação mecânica;
- k) Os resultados do processo estatístico das rochas plutônicas permitiram interpretar que suas propriedades texturais e mineralógicas influenciam mais assiduamente em suas características e desempenhos mecânicos, cuja textura fanerítica permite maior incidência de planos de fraqueza em função da maior resolução dos minerais constituintes, dessa forma, tendem a sofrer maiores degradações mecânicas;

6. SUGESTÃO PARA FUTURAS PESQUISAS

Visando-se a complementação e continuidade da pesquisa, sugerem-se as seguintes atividades:

- a) Expandir o banco de dados gerado neste estudo, aumentando o número de amostras submetidas as avaliações de campo e laboratório, confirmando a existência das correlações obtidas, principalmente para rochas metamórficas, que tendem a apresentar comportamento singulares;
- b) Estudar a esfericidade da fração miúda dos agregados, buscando correlacionar as suas propriedades e origem mineralógica, comparando com os resultados obtidos no processamento digital de imagem AIMS 2;
- c) Analisar as modificações dos índices de forma dos agregados graúdos antes e depois das solicitações mecânicas impostas por diferentes formas de aplicação de carregamento. Destaca-se aqui a possibilidade de interpretação destes resultados com o processamento digital de imagem AIMS 2, que permite interpretar a textura superficial e fragmentação do material;
- d) Verificar a existência de correlações não lineares entre os parâmetros estudados nesta pesquisa, na qual foram abordados apenas relações lineares entre as variáveis que representam o comportamento dos materiais;

REFERÊNCIAS

- ____.ABNT. Agregado Graúdo – Ensaio de Abrasão “Los Angeles” – NBR NM 51/01. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001.
- ____.ABNT. Agregados – Amostragem - NBR NM 26/01. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001.
- ____.ABNT. Agregados - Análise Petrográfica de Agregado para Concreto Parte- 2: Agregado Graúdo - NBR 7389-2. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009.
- ____.ABNT. Agregados - Determinação da Composição Granulométrica – NBR NM 248/13. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.
- ____.ABNT. Agregados - Determinação da Massa Unitária e Volume de Vazios – Método C - NBR NM 45/06. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006.
- ____.ABNT. Agregados – Determinação da Massa Unitária e Volume de Vazios – NBR NM 45/06. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006.
- ____.ABNT. Agregados – Determinação do Material Fino que Passa Através da peneira 75 microns, por lavagem – NBR NM 46/03. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.
- ____.ABNT. Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis - NBR 7218/10. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010.
- ____.ABNT. Agregados – Determinação do Teor de Argila em Torrões e Materiais Friáveis – NBR 7218/10. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010.
- ____.ABNT. Agregados – Reatividade álcali-agregado – NBR 15577-4/09. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009.
- ____.ABNT. Agregados - Redução da Amostra de Campo para Ensaio de Laboratório - NBR NM 27/01. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001.
- ____.ABNT. Agregados - Terminologia – NBR 9935/11. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001.
- ____.ABNT. Agregados Graúdo - Determinação Da Resistência Ao Esmagamento De Agregados Graúdos - NBR-ME 9938/13. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.
- ____.ABNT. Agregados Graúdos - Determinação De Massa Específica, Massa Específica aparente E Absorção - NBR NM 53/09. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009.
- ____.ABNT. Agregados Graúdos - Determinação do Índice de Forma pelo Método do Paquímetro - NBR NM 7809/08. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.
- ____.ABNT. Agregados Graúdos - Ensaio de abrasão "Los Angeles"- NBR NM 51/01. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001.

____.ABNT. Agregados Miúdos – Determinação de impurezas orgânicas - NBR NM 49/01. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001.

____.ABNT. Agregados para Concreto - Especificação - NBR 7211/09. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009.

____.ABNT. Constituintes Mineralógicos dos Agregados Naturais – Terminologia – NBR NM 66/98. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998.

____.ABNT. Garfo para lastro de via férrea, forma e dimensões – NBR 6964/88. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1988.

____.ABNT. Grãos de pedregulhos retidos na peneira de abertura 4,8mm – Determinação da massa específica, massa específica aparente e da absorção de água - NBR 6458/17. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017.

____.ABNT. Via Férrea – Lastro Ferroviário – Requisitos e Métodos de Ensaio - NBR 5564/14. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.

____.ASTM - Partículas achatadas e alongadas no agregado graúdo (Paquímetro Calíper). American Society of Testing and Materials, d4791, 2015.

____.DAER – Base Granular (DAER ES-P 08/91). Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

____.DAER – Concreto Asfáltico. DAER-ES-P 16/91. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

____.DAER – Determinação da Sanidade de Agregados pelo uso de Sulfato de Sódio. DAER-EL 104/01. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

____.DAER – Determinação do índice de lamelaridade. DAER-EL 108/01. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

____.DAER – Dispositivos de Drenagem Pluvial Urbana (DAER ES-P 16/91). Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

____.DAER – Tratamento Superficial Duplo. DAER-ES-P 15/91. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

____.DNER – Agregado graúdo para concreto de cimento. DNER-EM 37/97. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1997.

____.DNER – Agregados – Adesividade a ligante betuminoso. DNER-ME 79/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1994.

____.DNER – Agregados – Desgaste após fervura de agregado pétreo natural. DNER-ME 400/99. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1999.

____.DNER – Agregados – Determinação da absorção e da densidade de agregados graúdos. DNER-ME 81/98. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1998.

____.DNER – Agregados - Determinação da perda ao choque no aparelho Treton. DNER-ME 399/99. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1999.

____.DNER – Agregados – Determinação do teor de materiais pulverulentos. DNER-ME 266/97. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1997.

____.DNER – Estudos e amostragem de rochas em pedreiras para fins rodoviários. DNER-PRO 257/99. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1999.

____.DNER – Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente. DNER-ES 303/97. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1997.

____.DNER. – Materiais Rochosos Usados em Rodovias – Análise Petrográfica – DNER-IE 006/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1994.

____.DNER. Agregado – Análise Granulométrica - DNER-ME 83/98. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1998.

____.DNER. Agregado – Avaliação Da Durabilidade Pelo Emprego De Soluções De Sulfato De Sódio Ou De Magnésio – DNER-ME 89/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1994.

____.DNER. Agregado – Determinação da Absorção e da Densidade do Agregado Graúdo – DNER-ME 195/98. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1998.

____.DNER. Agregado – Determinação da Massa Unitária do Agregado em Estado Solto – DNER-ME 152/95. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1995.

____.DNER. Agregado – Determinação do Índice de Forma – DNER-ME 86/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1994.

____.DNER. Agregado Graúdo – Adesividade a ligante betuminoso - DNER-ME 78/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1994.

____.DNER. Agregado Graúdo – Determinação da Resistência do Esmagamento – DNER-ME 197/97. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1997.

____.DNER. Agregado Graúdo – Ensaio de abrasão "Los Angeles" – DNER-ME 35/98. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1998.

____.DNER. Equivalente de Areia - DNER-ME 54/97. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1997.

____.DNIT – Pavimentação – Macadame Hidráulico – Especificação de Serviço. DNIT-ES 152/10. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. Rio de Janeiro: 2010.

____.DNIT – Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de Serviço. DNIT-ES 31/06. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. Rio de Janeiro: 2006.

____.ISRM - **Suggested method for determining point load strength.** *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* - International Society of Rock Mechanics Oxford, v.22, n.2, p.51-60, 1985.

AASHTO - **Guide For Mechanistic-Empirical Design of new and rehabilitated pavement structures - final document – Part 2: Design Inputs - Chapter 2: Material Characterization** - National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board National Research Council, Submitted by ARA, Inc., ERES Division, 2004.

AASHTO - **Guide For Mechanistic-Empirical Design of new and rehabilitated pavement structures - final document - appendix NN: calibration of rehabilitation of existing pavements with pcc** - National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board National Research Council, Submitted by ARA, Inc., ERES Division, 2003.

AIRES-BARROS, L. - **Alteração e Alterabilidade de rocha ígneas.** Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 57 p., 1971.

AIRES-BARROS, L. - **Alteração e alterabilidade de rochas.** Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Nacional de Investigação Científica. 384p, 1991.

AKTINSON, R.H. - **Hardness test for rock characterization.** In: HUDSON, J.A. (Ed) *Comprehensive rock engineering: principles, practice and projects.* Oxford, Pergamon, 5v., il. v3: Rock testing and site characterization. cap.5. p.105-117, 1993.

AL- HARTHI, A., A. - **A field index to determine the strenght characteristics of crushed aggregate.** *Bull Eng Geol Enc Vol 60*, pág 193 a 200, 2001.

AL ROUSAN, T. M. - **Characterization of aggregate shape properties using a computer automated system.** Dissertation. Texas A&M University, 2004.

ALVES, V.A.; BARROSO, E.V.; MOTTA, L.M.G – **Avaliação de Agregados da Região Metropolitana do Rio de Janeiro por Técnicas Digitais de Imagens.** *Asfalto em revista*, 2015b.

ALVES, V.A.; BARROSO, E.V.; MOTTA, L.M.G. – **Avaliação da Resistência Mecânica de Agregados da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.** In:15º Congresso de Geologia de Engenharia e Ambiental, Bento Gonçalves. Anais do 15º Congresso de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2015a.

ALVES, V.A.H.S. - **Avaliação da resistência a degradação mecânica de agregados da região metropolitana do Rio de Janeiro por técnicas digitais de imagens.**

Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, 2014.

AMOROSO, G.G.; FASSINA, V.- **Stone decay and conservation**. Amsterdam: Elsevier. 453p. Materials science monograph; v.11, 1983, acessado em 26/05/2017, 14:29 hrs <
<http://www.bcin.ca/Interface/openbcin.cgi?submit=submit&Chinkey=1326>>

ARNOLD, G.P - **Estudo do comportamento mecânico de basaltos alterados do rio grande do sul para emprego em pavimentos rodoviários**. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

Atlas Sócio Econômico do Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria da Coordenação e Planejamento/DEPLAN – 1998.

BACK, A. H. - **Macroanálise de uma Jazida de rocha em Santa Maria/RS e caracterização de seu material granular**. Rio Grande do Sul, Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

BECKER, E.L.S.; NUNES, M. P. - **Relevo do Rio Grande do Sul, Brasil e sua apresentação em maquete**. Revista Percurso - NEMO, Maringá, v. 4, n. 2, p. 113-132, Maringá, 2012.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J.A. P.; SOARES, J. B. - **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. Petrobras; Associação Brasileira das Empresas Distribuidora de Asfalto, Rio de Janeiro, 2007.

BESSA, I.S. - **Avaliação do processamento digital de imagens como ferramenta para caracterização de agregados e misturas asfálticas**. Universidade Federal do Ceará. Dissertação de Mestrado, 2012.

BOEIRA, F.D. – **Estudo do comportamento de concretos asfálticos com diferentes tipos de agregados e cales**. Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado, 2014.

CASTELO BRANCO, V.T.F.; MASAD, E.; LITTLE, D.N.; SOARES, J.B.; MOTTA, L.M.G. - **Caracterização de forma, angularidade e textura de agregado de brita granítica e escórias de aciaria usando o Aggregate Imaging Measurement System (AIMS)**. In: XX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Brasília, DF, 2006.

COLE, W.F.; SANDY, M.J. - **A proposed secondary mineral rating for basalt road aggregate durability**. Australian Road Research. v.10, n.3, sept. 1980.

COMINSKY, R. R.; LEAHY, R. B.; HARRIGAN, E. G. **Level one mix design: Materials selection compaction, and conditioning**. Relatório Técnico SHRP-A-408, Strategic Highway Research Program (SHRP), 1994.

CURTIS, C. W. - **A literature Review of liquid antistripping and test for measuring stripping**- Relatório Técnico UIR–90–016, Strategic Highway Research Program (SHRP), 1990.

DNIT/IPR - **Estudos e pesquisas de rochas de pedreiras para estabelecimento de critérios de qualidade frente às normas e procedimentos existentes e sua aceitação.** Relatório final. ECL - Instituto De Pesquisas Rodoviárias – Engenharia, Consultoria e Economia S.A. Rio de Janeiro, 1998.

FACCIN, C. - **Estudo do Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas a Quente Utilizadas no Rio Grande do Sul.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Projeto de Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria / RS, 2016.

FARJALLAT, J. E. S. - **Desagregabilidade de rochas e problemas relativos à sua aplicabilidade:** Sessão 1 - Relato sobre o tema. In: SEMANA PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA, 4., 1972, São Paulo. Anais. São Paulo: APGA, p. 19-54, 1972.

FERNANDES, E. S.; DOMINGUES, F. A. A. - **O comportamento dos agregados rochosos nas relações de aderência pneu/pavimento, no estado de São Paulo.** 31a Reunião Anual de Pavimentação, São Paulo - SP, pp 132-153, vol. 1, 1998.

FIORENTINI, J.A. - **Avaliação da Durabilidade, Abrasividade e Dureza das Rochas Vulcânicas da Formação Serra Geral.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

FOOKES, P. G.; GOURLEY, C. S.; OHIKERE, C. - **Rock weathering in Engineering time.** Quarterly Journal of Engineering Geology. London, v.21, p.33-57, 1988.

FRASCÁ, M.H.B.O - **Estudo experimental de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento.** São Paulo, Tese de doutoramento – Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hifrogeologia, 2003.

FRASCÁ, M.H.B.O.; YAMAMOTO, J.K. - **Deteriorização de Rochas Graníticas em Edificações e Monumentos** – Investigação por ensaios de alteração acelerada. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA). Volume 4, nº1, 2014.

FRAZÃO, E. B. - **Metodologia para Avaliação da Alterabilidade de Rochas a Partir de Estudo Experimental em Amostras de Basalto da UHE de Três Irmãos** - Estado de São Paulo. Tese (doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

FU, Y.F.; WONG, Y.L.; TANG, C.A.; POON, C.S - **Thermal induced stress and associated cracking in cement-based composite at elevated temperatures** – part I: thermal cracking around single inclusion. Cem Concr Compos; 26(2):99–111, 2004a.

FU, Y.F.; WONG, Y.L.; TANG, C.A.; POON, C.S. - **Thermal induced stress and associated cracking in cement-based composite at elevated temperatures** – part II: thermal cracking around multiple inclusions. Cem Concr Compos, 26(2):113–26, 2004b.

GOMES, R.L. – **Características Tecnológicas e Alterabilidade dos Compartimentos Entablamento e Colunata de Derrames Basálticos da Porção Setentrional da Bacia do Paraná.** Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. Tese de Doutorado. São Carlos, 2001.

GOUVEIA, L. T., FERNANDES JR, J. L. **Considerações a respeito das propriedades de consenso do Superpave para agregados em misturas asfálticas.** XX ANPET, 2007.

GOUVEIA, L.T. - **Contribuições ao Estudo da Influência de Propriedades de Agregados no Comportamento de Misturas Asfálticas Densas.** Tese de Doutorado, EESC/USP, São Carlos, SP, 2006.

GOUVEIA, L.T.; FERNANDES JÚNIOR, J.L. - **Considerações a Respeito das Propriedades de Consenso do Superpave para Agregados de Misturas Asfálticas.** In: XX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Brasília, DF, 2006.

GOUVEIA, L.T.; FURLAN, A.P.; PARREIRA, A.B.; FERNANDES JÚNIOR, J.L.; FABBRI, G.T.P. - **Considerações Acerca da Absorção de Asfalto Pelos Agregados e sua Influência na Suscetibilidade à Umidade.** In: XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, 2004.

GUERRA, G.J.Z. - **Caracterização Geomecânica de Maciços Rochosos Intemperizados.** Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-191/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 186 p, 2011.

GUIMARÃES, A.C.R.; MOTTA, L.M.G.; ARÊDES, M.L.A. - **Mechanical Behavior of Basaltic Rocks from Serra Geral Formation Used as Road Material in Santa Catarina State, Brazil.** In: Soils and Rocks, São Paulo, 39(2): 203-210, May-August, 2016.

GUSMÃO, R.P.; MAIO, S.R.; CARREIRA, M.E.S.; ESTEVES, M.G.; AMÊNDOLA P. L. - **Diagnóstico Brasil: A ocupação do território e o meio ambiente.** IBGE. Rio de Janeiro, 1990.

HOLZ, M.; ROS, L.F. - **Geologia do Rio Grande do Sul –** Porto Alegre: Centro de Investigação do Gondwana /UFRGS. Porto Alegre, 444p., 2000.

HOWARTH, D.F.; ROWLANDS, J.C. - **Quantitative assessment of rock texture and correlation with drillability and strength properties.** Rock Mechanics and Rock Engineering. Wien, v.20, n.1, p.57-85, Jan./Mar, 1987.

IRFAN, T.Y.; DEARMAN, W.R. - **The engineering petrography of a weathered granite in Cornwall, England.** Quarterly Journal of Engineering Geology. London, n.11, p.233-244, 1978.

ISAIA, G.C. – **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** ED. G.C.Isaia. 2ª Ed. São Paulo. Ibracon. 2v. 1712p, 2010.

ISRM - **The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring:** 1974-2006. R. Ulusay & J.A. Hudson (Eds).628 p., 2007.

JUNQUEIRA, F.F. - **Caracterização de Calcários do Distrito Federal e Avaliação do seu Potencial para Uso na Pavimentação**. Dissertação de Mestrado, Publicação G.D.G – 0134/94 Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 104 p, 1994.

KANDHAL, P. S.; PARKER JR, F.; MALLICK, R. B. - **Aggregate Tests for Hot Mix Asphalt: State of the Practice**. NCAT Report nº 97-6. 1997.

KAZI, A.; AI-MANSOUR, Z.R.- **Influence of geological factors on abrasion and soundness characteristics of aggregates**. Engineering Geology vol 15, pag. 195 a 203, 1980.

LAMOND, J. and PIERLERT, J. - **Significance of Tests and Properties of Concrete & Concrete-Making Materials**, STP169D. ASTM Chapter 22: thermal properties, Stephen Tatro. International, Bridgeport, NJ, 2006.

LEE, D. Y. - **The relationship between physical and chemical properties of aggregates and their asphalt absorption**. Association of Asphalt Paving Technologists, v.38, p.242 – 275, 1969.

LEINZ, V. & AMARAL, S. E. **Geologia geral**. São Paulo: Editora Nacional, 5ª edição, 1975.

LIBERATORI, L. A.; CONSTANTINO, R.S. - **Melhoradores de Adesividade para Misturas Asfálticas – Estado da Arte**. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP. 18º Encontro de Asfalto, Rio de Janeiro, 2006.

LOPES, M.C; LANA, M.S.; RIBEIRO, L.F.M.; SILVA, C.H.C. - **Comportamento geotécnico de rochas brandas na mina**. Córrego do Sítio, Santa Bárbara (MG) – Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 60(3): 471-476, jul. set, 2007.

MACIEL FILHO, C. L.; NUMMER A. V. - **Introdução à Geologia de Engenharia** – Santa Maria: Editoraufsm, 2014.

MAIA, P.C.A; SAYÃO, A.S.F.J.; NUNES, A.L.L.S.; ANTUNES, F.A. - **Alterabilidade de Rochas Basálticas** – Caracterização Petrográfica e Física. Revista Solos e Rochas, São Paulo, 25, (3): 207-220, Set-Dez, 2002.

MALLELA, J.; ABBAS, A.; HARMAN, T.; RAO C.; LIU, R.; DARTER, M. - **Measurement and significance of the coefficient of thermal expansion of concrete in rigid pavement design**. In transportation research record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1919. Washington, D.C.: Transportation Research Board of the National Academies, National Research Council; p. 38–46, 2005.

MARRANO, A. - **Caracterização tecnológica das rochas basálticas da Usina Hidroelétrica Canoas I, Rio Paranapanema, SP/PR**. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Departamento de Geotecnia, 1997.

MASAD, E.; SAADEH, S.; AL-ROUSAN, T.; GARBOCZI, E.; LITTLE, D. - **Computations of Particle Surface Characteristics Using Optical and X-Ray CT Images**. Computational Materials Science 34. p. 406-424, 2005.

MASAD, E.A.; - **Aggregate Imaging System (AIMS): Basics And Applications**. Pilot Implementation of the Aggregate Imaging System (AIMS). Report 5-1707-01-1. Federal Highway Administration, 2005.

MATTOS, J.R.G. - **Avaliação da aderência pneu-pavimento e tendências de desempenho para a rodovia BR-290/RS**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Agosto, 2009.

MCCARTHY, L.M.; GUDIMETTLA, J.M.; CRAWFORD G.L.; GUERCIO, M.C.; ALLEN D. - **Impacts of variability in coefficient of thermal expansion on predicted concrete pavement performance**. Construction and Building Materials 93 711–719, Elsevier Ltd, 2015.

MELLO, V. F. B. - **Geotecnia do subsolo e de materiais terrosos-pedregosos constituído: primórdios, questionamentos, atualizações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

MESQUITA, M.P.S. - **Composição, estruturas, propriedades tecnológicas e alterabilidade dos granitos ornamentais do Stock Morrinho, Santa Quitéria (CE)**. 169p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro, Rio Claro, 2002.

MORTICELI, J.P.; CACCIARI, P.P; SUZUKI, S. - **Correlação entre índices físicos e análises petrográficas na determinação do grau de alteração de um gnaisse**. Mecânica das Rochas para Recursos Naturais e Infraestrutura, SBMR 2014 – Conferência Especializada ISRM 09-13 Setembro 2014.

MOURA. E. - **Effect o Lime and Chemical Additives on the Antistripping Characteristics of Asphalt Mixes**. 2nd International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control, July 29 – August 1, 2001, Auburn, Alabama, USA, Paper 01-027, 2001.

NASCIMENTO, Ú. **Problema da alterabilidade das rochas em engenharia civil**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Ministério das Obras Públicas, Memória n. 363, 1970.

NEVES, P.C.P.; SCHENATO, F. BACHI, F.A. - **Introdução a mineralogia prática**. 2ª edição. Editora Ulbra, 2008.

NEVILLE, A.M. - **Properties of Concrete**. 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1996.

OLIVEIRA, A. M.; BRITO, S. N. - **Geologia de Engenharia** - São Paulo: ABGE, 586 p., 1998.

OLIVEIRA, C.G.M. - **Estudo de Propriedades Mecânicas e Hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante**. Dissertação de Mestrado, Publicação G.D.M –

111A/03, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 87 p., 2003.

OLIVEIRA, P.C. - **Caracterização geológico geotécnica de diferentes litotipos basálticos: basalto denso, basalto vesículo-amigdaloidal e brecha basáltica.** Dissertação de Mestrado em Ciências - Curso de Pós-graduação em Geotecnia. Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2012.

PAIVA, P. S. **Caracterização e Avaliação das Propriedades Geomecânicas Para uso em Pavimentação de Agregados de Rochas Vulcânicas da Porção Central do Rio Grande do Sul.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Santa Maria/RS, 164p, 2017.

PALMSTRÖM, A. **a rock mass characterization system for rock engineering purposes – appendix 3.** PhD thesis, Oslo University, Norway, 400 p., 1995.

PAZOS, A.G. - **Efeitos de propriedades morfológicas de agregados no comportamento mecânico de misturas asfálticas.** Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. Dissertação de Mestrado, 2015.

PEREIRA, C.A. - **Análise da Aderência Pneu-Pavimento em Rodovias do Estado de Pernambuco e da Paraíba com Elevado Índice de Acidentes.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2010.

PINHEIRO, R.J.B. - Relatórios de dosagens de concreto asfáltico realizados no LMCC. Certificados Número: 44144, 45126, 2009.

PRICE, D. G. - **Weathering and weathering processes.** Quarterly Journal of Engineering Geology, n. 28, p. 243-252, 1995.

PROWELL, B. D.; ZHANG, J.; BROWN, E. R. **Aggregate properties and performance of Superpave-designed hot mix asphalt.** National Cooperative Highway Research Program, n.539, 2005.

RIBEIRO, E. M. - **Caracterização de Agregados Graúdos do Rio de Janeiro para Concreto Estrutural.** Tese de doutoramento. Universidade Federal do Rio de Janeiro/COOPE, Rio de Janeiro, 2006.

RIBEIRO, V. - **Abrasividade pendular e a resistência mecânica das rochas.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Área de Concentração: Engenharia Mineral. São Paulo, 2010.

ROBERTS, F. L.; KANDHAL, P. S.; BROWN, E. R.; LEE, D. Y.; KENNEDY T. W. - **Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction.** NAPA Research and Education Foundation, Lanham, Maryland, 2ª edição. NCAT, 1996.

ROCHA, M. **Mecânica das Rochas.** Lisboa: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal, 1971.

RODRIGUES, A.C. - **Avaliação da influência da granulometria de misturas asfálticas na aderência pneu-pavimento**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Ceará. Novembro, 2013.

RODRIGUES, J.D. - **Previsão de Alterabilidade de materiais rochosos naturais**. Geotecnia, Lisboa, nº 20, p.53-68, 1977.

ROGERS, C. - **Canadian Experience with the Micro-Deval Test for Aggregates**. Advances in Aggregates and Armourstone Evaluation 13, 139-147, 1998.

ROISENBERG, A. - **Argilo-minerais em rochas basálticas frescas: mineralogia dos estádios primários de intemperismo de rochas basálticas**. Porto Alegre, Dissertação de Mestrado em Geociências- Curso de Pós-graduação em Geociências. Instituto de Geociências da UFRGS, 275p. 1974.

ROSENO, J.L.; FARIAS, M.M.; Souza, N.M. - **Avaliação de Agregados Calcários da Região do Distrito Federal Visando a Formulação de uma Mistura Asfáltica Porosa Confeccionada com Asfalto-Borracha**. 36ª Reunião Anual De Pavimentação. Curitiba/PR – Brasil, 2005.

SOPRANO, V. - **Estudo de parâmetros para ensaios de microdureza em amálgama de prata, resina composta, dentina e esmalte bovinos**. São Paulo, Dissertação de mestrado - Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Odontologia, 2007.

SOUZA, L. T - **Investigation of Aggregate Angularity Effects on Asphalt Concrete Mixture Performance Using Experimental and Virtual Asphalt Samples**. Thesis of Master Science. Nebraska, USA, 2009.

TANESI, J., MEININGER, R. - **Coefficient of Thermal Expansion – Its role in concrete pavement performance**. International Workshop on Best Practices for Concrete Pavements - IBRACON, Recife, October 2007.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.M.; TAIOLI, F. – **Decifrando a Terra**. 2ª edição. Editora: Companhia Editora Nacional, 2009.

VIERO, A. C. - **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. Organização Ana Cláudia Viero e Diogo Rodrigues Andrade da Silva. – Porto Alegre: CPRM, 2010.

WEST, G. A. - **Rock abrasiveness testing for tunnelling**. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. Oxford, v.26, n.2, p.151-160, 1989.

WEST, G. A. - **Review of rock abrasiveness testing for tunnelling**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WEAK ROCK, 1981, Tokyo. Proceedings... Rotterdam, Balkema, 1981. p.585-594.

WU, Y.; PARKER, F.; KANDHAL, K. - **Aggregate Toughness/Abrasion resistance and durability/soundness tests related to Asphalt concrete performance in pavements**. NCAT Report.nº 98-4, 1998.

YOSHIDA, R. - **Contribuição ao Conhecimento das Características Tecnológicas dos Materiais Rochosos**. São Paulo. Tese de Doutorado - Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo, 1972.

ZEGHAL, M. - **The Impact of grain crushing on road performance**. NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC. Geotechnical and Geological Engineering Journal, 27, (4), pp. 549–558, 2009.

ZHONG-HE, S.; ZHANG, R.; CHEN, W.; XUAN, D. - **Effects of mineral admixtures on the thermal expansion properties of hardened cement paste**. Construction and Building Materials 24 p.1761–1767, Elsevier Ltd, 2010.

ZUM-GAHR, K.H. - **Microstructure and wear of materials**. Siegen: Institute of Materials Technology, University of Siegen, Federal Republic of Germany, 1987.

ANEXO A

ANEXO A₁ – Resultado geral dos ensaios de caracterização de Paiva (2017).

ENSAIOS:	PEDREIRAS:					
	PIN	DPA	COM	COT	SUL	PAI
Classificação Rocha	Riodacito	Riodacito	Riodacito	Diabásio	Basalto	Andesi-basalto
Acidez da Rocha	Ácida	Ácida	Ácida	Básica	Básica	Básica
Índice de Forma - Paquímetro 3/4	3,09	2,09	2,46	3,18	2,00	2,49
Índice de Forma - Paquímetro 3/8	3,43	2,24	2,47	-	2,14	2,51
Índice de Forma - Crivos 3/4	0,76	0,91	0,89	0,73	0,91	0,86
Índice de Forma - Crivos 3/8	0,49	0,67	0,62	-	0,75	0,58
Lamellaridade - DAER/RS 3/4 (%)	27,48	11,88	6,83	26,25	5,56	14,5
Lamellaridade - DAER/RS 3/8 (%)	36,57	39,94	36,75	-	11,96	34,64
Absorção 3/4 (%)	2,68	2,19	1,86	1,00	0,49	0,91
Absorção 3/8 (%)	2,82	2,35	2,15	-	0,74	1,27
M.E.R. 3/4 (g/cm ³)	2,67	2,64	2,62	3,00	2,93	3,04
M.E.R. 3/8 (g/cm ³)	2,66	2,65	2,66	-	2,93	3,03
M.E.A. 3/4 (g/cm ³)	2,49	2,50	2,50	2,91	2,89	2,96
M.E.A. 3/8 (g/cm ³)	2,48	2,49	2,51	-	2,87	2,92
Porosidade Aparente 3/4 (%)	6,6750	5,4904	4,6601	2,9133	1,4353	2,6944
Porosidade Aparente 3/8 (%)	6,9952	5,8606	5,4107	-	2,1313	3,7215
Grau de Compacidade 3/4	0,9333	0,9451	0,9534	0,9709	0,9856	0,9731
Grau de Compacidade 3/8	0,9300	0,9414	0,9459	-	0,9787	0,9628
Massa Específica Chapman (g/cm ³)	2,628	2,647	2,626	-	2,928	3,02
Abrasão "LA" (%)	13,86	10,05	13,97	18,71	12,54	8,67
Perda ao Choque Treton (%)	7,48	4,66	10,19	16,63	5,8	4,25
Equivalente de Areia (%)	74,7	67,65	71,31	-	66,67	83,4
Massa Unitária 3/4	1,33	1,40	1,43	1,57	1,69	1,43
Massa Unitária 3/8	1,20	1,45	1,33	-	1,61	1,51
Massa Unitária Pó	-	-	-	-	-	-
Sanidade Graúdo (%)	4,56	0,66	2,09	16,53	5,514	3,118
Sanidade Miúdo (%)	8,39	5,61	3,70	-	4,56	5,30
Sanidade DNER (%)	12,95	6,27	5,79	-	10,07	8,42
Sanidade DAER (%)	6,28	2,89	2,81	-	5,08	4,10
Comp. Puntiforme - Is(50)Seco (MPa)	5,66	6,46	6,80	7,81	8,26	10,38
Comp. Puntiforme - Is(50)Sat. (MPa)	5,28	5,79	6,63	6,75	7,18	9,28
Comp. Punt. - Is(50)Sat/Seco (MPa)	0,933	0,896	0,975	0,864	0,869	0,894
Esmagamento (%)	15,6	13,17	12,26	20,46	9,34	9,35
Adesividade	Não Sat.	Não Sat.	Não Sat.	Sat.	Sat.	Sat.

ANEXO A2 – Resultado geral dos ensaios de caracterização de Ribeiro (2006).

	Classif. Rocha	Acidez da Rocha	M.E.A. 3/4 (g/cm ³)	M.E.A. 3/8 (g/cm ³)	M.E.R. 3/4 (g/cm ³)	M.E.R. 3/8 (g/cm ³)	Absorção 3/4 (%)	Absorção 3/8 (%)	Porosidad e Aparente 3/4 (%)	Porosidad e Aparente 3/8 (%)	Índice de Forma - Paquímetro 3/4	Abrasão "LA" (%)	Perda ao Choque Treton (%)	Esmag. (%)	
PEDREIRAS:	Anhanguera (RJ)	Gnaisse	-	2,7	2,71	2,74	2,75	0,47	0,52	1,30	1,40	2,2	44,3	18,6	29,00
	Anhanguera (SG)	Granito	Ácida	2,68	2,69	2,72	2,72	0,48	0,49	1,30	1,30	2,5	46,4	27,2	27,70
	Bangu	Gnaisse	-	2,64	2,68	2,72	2,73	1,12	0,73	3,00	2,00	1,9	44,3	22,2	30,30
	Carioca	Granito	Ácida	2,66	2,66	2,69	2,69	0,39	0,45	1,00	1,20	2,2	58,7	34,8	30,90
	Cispel	Granito	Ácida	2,7	2,71	2,73	2,74	0,37	0,42	1,00	1,10	1,8	33,7	17,6	24,70
	Convém	Granito	Ácida	2,63	2,62	2,65	2,65	0,37	0,47	1,00	1,20	2,3	46,7	18,7	27,00
	Emasa	Granito	Ácida	2,66	2,67	2,7	2,71	0,57	0,54	1,50	1,40	1,8	59,8	41,8	32,90
	EMFOL	Granito	Ácida	2,65	2,65	2,69	2,69	0,56	0,53	1,50	1,40	1,7	54,1	33,4	37,00
	Estrela	Gnaisse	-	2,69	2,66	2,73	2,69	0,47	0,44	1,30	1,20	2,1	47,8	17,5	26,50
	Holcim	Granito	Ácida	2,67	2,66	2,72	2,7	0,75	0,54	2,00	1,40	1,9	42,4	19	27,60
	IBRATA (RJ)	Granito	Ácida	2,63	2,61	2,67	2,64	0,56	0,42	1,50	1,10	2,2	52,7	18,1	28,00
	IBRATA (I)	Granito	Ácida	2,69	2,68	2,71	2,71	0,28	0,43	0,70	1,10	1,6	36,1	16,4	25,60
	J. Serrão	Gnaisse	-	2,69	2,67	2,73	2,7	0,47	0,41	1,30	1,10	1,9	56,4	31,7	33,90
	Lafarge	Granito	Ácida	2,66	2,69	2,7	2,72	0,56	0,42	1,50	1,10	2,1	46,7	28,8	29,10
	Macasa	Gnaisse	-	2,7	2,68	2,72	2,71	0,29	0,44	0,80	1,20	2,1	38,2	23,4	25,60
	Ouro Branco	Granito	Ácida	2,67	2,7	2,71	2,73	0,49	0,42	1,30	1,10	2,3	51,5	28,2	31,50
	Raiz da Serra	Granito	Ácida	2,65	2,67	2,7	2,71	0,75	0,53	2,00	1,40	1,8	58,4	42,4	37,50
	Santa Luzia	Granito	Ácida	2,71	2,72	2,73	2,75	0,28	0,4	0,80	1,10	2,3	54,6	23,5	32,10
	São Pedro	Granito	Ácida	2,64	2,66	2,68	2,69	0,55	0,43	1,50	1,10	2,2	44,4	19,5	28,10
	Sepetiba	Gnaisse	-	2,74	2,75	2,76	2,78	0,28	0,42	0,80	1,20	2,1	40,3	20,9	26,80
SIMGRA	Granito	Ácida	2,64	2,65	2,68	2,69	0,58	0,5	1,50	1,30	1,9	47	27	29,20	
SNEC	Granito	Ácida	2,63	2,61	2,67	2,64	0,52	0,45	1,40	1,20	2,1	42,3	18,2	24,80	
SPAR	Granito	Ácida	2,68	2,69	2,72	2,72	0,47	0,42	1,30	1,10	1,9	46,4	21,7	28,90	
Tamoio	Gnaisse	-	2,68	2,7	2,71	2,73	0,47	0,43	1,30	1,20	1,9	47,9	21,5	31,30	

ANEXO A₃– Resultado geral dos ensaios de caracterização de Fiorentini (2002).

	Classif. Rocha	Acidez Rocha	Sanidade Graúdo (%)	Absorção 3/4 (%)	Comp. Puntiforme - Is(50)Seco (MPa)	
PEDREIRAS:	136	Dacito	Ácida	1,70	3,20	-
	654	Andesito Basált.	Básica	2,00	2,70	7,70
	51	Dacito	Ácida	2,10	2,00	8,90
	651	Basalto	Básica	2,30	1,10	10,90
	378	Dacito	Ácida	2,40	1,60	-
	300	Dacito	Ácida	2,50	2,40	8,80
	104	Andesito Basált.	Básica	2,90	1,10	8,20
	684	Andesito Basált.	Básica	3,10	1,20	8,70
	20	Diabásio	Básica	3,70	0,30	7,60
	653	Basalto	Básica	4,40	2,10	10,30
	485	Basalto	Básica	4,90	2,20	-
	515	Basalto	Básica	5,20	1,40	8,10
	266	Andesito	Básica	5,90	1,60	9,20
	376	Basalto	Básica	5,90	1,40	-
	251	Dacito	Ácida	6,10	2,40	9,60
	11	Basalto	Básica	6,40	1,70	-
	12	Dacito	Ácida	6,50	2,00	7,90
	545	Basalto	Básica	6,90	1,50	7,80
	652	Basalto	Básica	7,00	1,80	8,00
	10	Basalto	Básica	7,10	1,40	7,20
	8	Basalto	Básica	7,70	2,00	8,20
	634	Basalto	Básica	8,10	4,00	5,30
	504	Basalto	Básica	15,50	3,70	5,00
	483	Basalto	Básica	15,80	3,40	5,30
	252	Andesito Basált.	Básica	19,80	5,60	-
	9	Basalto	Básica	20,00	2,50	6,90
390	Basalto	Básica	26,60	3,10	5,70	

ANEXO A₄– Resultado geral dos ensaios de caracterização de Boeira (2014).

	Classif. Rocha	M.E.R. (g/cm ³)	M.E.A. (g/cm ³)	Absorção (%)	Abrasão "LA" (%)	
PEDREIRAS:	P1	Basalto	3,01	2,87	1,65	9,86
	P2	Riodacito	2,65	2,47	2,77	14,79
	P6	Dacito	2,82	2,70	1,55	9,88
	P7	Diabásio	2,99	2,84	1,71	16,87

ANEXO A₅– Resultado geral dos ensaios de caracterização de Pinheiro (2009).

	Classif. Rocha	M.E.A. 3/4 (g/cm ³)	M.E.A. 3/8 (g/cm ³)	M.E.R. 3/4 (g/cm ³)	M.E.R. 3/8 (g/cm ³)	Absorção 3/4 (%)	Absorção 3/8 (%)	Abrasão "LA" (%)	
PEDREIRAS:	P1	V. ácida	2,51	2,5	2,66	2,68	2,26	2,71	13,9
	P2	Basalto	2,9	2,88	3,01	3,00	1,2	1,43	10,9
	P3	Basalto	2,89	2,88	2,98	2,98	1,26	1,65	13,9
	P4	Basalto	2,81	2,81	2,96	2,96	1,73	1,86	9,1
	P5	Basalto	2,76	2,72	2,95	2,95	2,33	2,84	11,5
	P6	Basalto	2,83	-	2,96	-	1,53	-	9,4

APÊNDICE A:

APÊNDICE A₁ – Resultado geral dos ensaios de caracterização das diferentes jazidas.

ENSAIOS:	PEDREIRAS:						
	CONC	SBS	CAP	SJ	CMV	CMC	HN
Classificação Rocha	Basalto	Sieno Granito	Basalto	Basalto	Mármore Calcítico	Mármore Dolomítico	Mármore Calcítico
Acidez da Rocha	Básica	Ácida	Básica	Básica	Intermediária	-	Intermediária
Índice de Forma - Paquímetro 3/4	2,15	1,99	2,04	1,87	1,82	-	1,96
Índice de Forma - Paquímetro 3/8	2,09	2,61	2,42	2,69	2,24	-	2,75
Índice de Forma - Crivos 3/4	0,84	0,77	0,87	0,88	0,84	-	0,81
Índice de Forma - Crivos 3/8	0,83	0,51	0,57	0,59	0,67	-	0,62
Lamelaridade - DAER/RS 3/4 (%)	40,10	24,96	23,05	20,24	14,62	-	12,24
Lamelaridade - DAER/RS 3/8 (%)	26,02	37,75	44,97	65,71	33,95	-	38,90
Placa Calíper (plana) - 3/4 1:3 (%)	1,6	1,2	2,6	1,2	0	-	0,99
Placa Calíper (alongada) - 3/4 1:3 (%)	0	0	0	0	0	-	0
Placa Calíper (lamelar) - 3/4 1:3 (%)	14,6	6,5	10	7,9	5,6	-	7,4
Placa Calíper (plana) - 3/4 1:5 (%)	0	0	0,5	0	0	-	0,4
Placa Calíper (alongada) - 3/4 1:5 (%)	0	0	0	0	0	-	0
Placa Calíper (lamelar) - 3/4 1:5 (%)	0	0	0,5	0	0	-	0,4
Placa Calíper (plana) - 3/8 1:3 (%)	7,0	11,0	14,1	39,4	7,1	-	12,4
Placa Calíper (alongada) - 3/8 1:3 (%)	0	0	0	0	0	-	1,4
Placa Calíper (lamelar) - 3/8 1:3 (%)	17,3	29,8	27,2	65,9	15,2	-	58,2
Placa Calíper (plana) - 3/8 1:5 (%)	2,0	7,0	3,4	14,3	4,1	-	5,0
Placa Calíper (alongada) - 3/8 1:5 (%)	0	0	0	0	0	-	0
Placa Calíper (lamelar) - 3/8 1:5 (%)	5,2	9,8	10,9	30,1	9,4	-	23,2
Absorção 3/4 (%)	0,94	0,69	1,35	1,19	0,26	0,24	1,08
Absorção 3/8 (%)	1,51	1,05	1,93	1,78	0,56	-	2,29
M.E.R. 3/4 (g/cm ³)	2,81	2,66	2,87	2,97	2,84	2,85	2,73
M.E.R. 3/8 (g/cm ³)	2,83	2,58	2,89	3,01	2,83	-	2,76
Porosidade Aparente 3/4 (%)	2,56	1,81	3,72	3,40	0,73	0,67	2,86
Porosidade Aparente 3/8 (%)	4,11	2,62	5,29	5,09	1,56	-	5,95
Grau de Compacidade 3/4	0,9744	0,9819	0,9628	0,9660	0,9927	0,9930	0,9714
Grau de Compacidade 3/8	0,9589	0,9738	0,9471	0,9491	0,9844	-	0,9405
M.E.A. 3/4 (g/cm ³)	2,74	2,61	2,76	2,87	2,81	2,84	2,65
M.E.A. 3/8 (g/cm ³)	2,72	2,51	2,74	2,86	2,79	-	2,60
Massa Específica Chapman (g/cm ³)	2,739	2,614	2,766	2,961	-	-	2,689
Abrasão "LA" (%)	8,76	26,39	11,44	12,56	13,8	14,96	35,22
Perda ao Choque Treton (%)	9,06	18,7	9,61	8,44	11,59	14,68	30,63
Equivalente de Areia (%)	82	71	55	74	-	-	48
Massa Unitária 3/4	1,55	1,40	1,52	1,62	1,60	-	1,40
Massa Unitária 3/8	1,55	1,35	1,49	1,55	1,57	-	1,38
Massa Unitária Pó	1,64	1,55	1,63	1,83	-	-	1,41
Sanidade Graúdo (%)	1,11	1,72	3,53	5,62	1,01	1,46	15,49
Sanidade Miúdo (%)	4,26	8,98	7,63	5,7	-	-	15,53
Sanidade DNER (%)	5,37	10,7	11,16	11,32	-	-	31,02
Sanidade DAER (%)	2,5275	4,987	5,375	5,656	-	-	15,508
Comp. Puntiforme - Is(50)Seco (MPa)	8,14	8,52	8,16	6,64	6,97	6,75	4,45
Comp. Puntiforme - Is(50)Sat. (MPa)	8,38	9,96	6,80	7,06	5,05	7,09	4,04
Comp. Punt. - Is(50)Sat/Seco (MPa)	1,029	1,169	0,833	1,063	0,725	1,050	0,908
Esmagamento (%)	12,14	26,38	13,2	13,73	14,52	-	28,36
Adesividade	Não Sat.	Não Sat.	Sat.	Sat.	Não Sat.	-	Não Sat.

APÊNDICE A₂ – Matriz de correlação linear das Rochas Ígneas Ácidas.

	IF - Paq.3/4	IF - Paq.3/8	IF - Criv. 3/4	IF - Criv. 3/8	Lam. DAER 3/4 (%)	Lam. DAER 3/8 (%)	Abs. 3/4 (%)	Abs. 3/8 (%)	M.E.R. 3/4 (g/cm ³)	M.E.R. 3/8 (g/cm ³)	Por. Ap. 3/4 (%)	Por. Ap. 3/8 (%)	GC 3/4	GC 3/8	M.E.A 3/4 (g/cm ³)	M.E.A 3/8 (g/cm ³)	ME Chapman (g/cm ³)	"LA" (%)	Treton (%)	Equiv. Areia (%)	MUS 3/4	MUS 3/8	San. Graúdo (%)	San. Múdo (%)	San. DNER (%)	San. DAER (%)	Is(50)Seco (MPa)	Is(50)Sat (MPa)	Is(50)Sat/Seco (MPa)	Esmag. (%)
IF - Paq.3/4	1,0000	0,8657	-0,3837	-0,4538	0,3293	-0,6718	0,7461	0,7619	0,2733	0,6946	0,7438	0,7580	-0,7438	-0,7580	-0,6162	-0,6313	-0,0143	-0,3777	-0,4026	0,8378	-0,7321	-0,8806	0,9307	0,1059	0,9055	0,5685	-0,7710	-0,6504	-0,4672	-0,4018
IF - Paq.3/8	0,8657	1,0000	-0,7887	-0,8206	0,7504	-0,6813	0,4190	0,4236	0,6879	0,2565	0,4178	0,4127	-0,4178	-0,4127	-0,1825	-0,6259	-0,3293	0,0642	-0,0209	0,9335	-0,8827	-0,9514	0,9759	0,5790	0,6787	0,9029	-0,4418	-0,2704	-0,0588	0,0968
IF - Criv. 3/4	-0,3837	-0,7887	1,0000	0,9901	-0,9504	0,5427	0,1978	0,2019	-0,8787	0,3918	0,1979	0,2157	-0,1979	-0,2157	-0,4549	0,2769	0,6948	-0,6397	-0,5351	-0,7520	0,6670	0,7239	-0,6866	-0,8992	-0,1024	-0,9577	-0,1804	-0,3538	-0,5305	-0,6882
IF - Criv. 3/8	-0,4538	-0,8206	0,9901	1,0000	-0,9023	0,6552	0,1719	0,1692	-0,8099	0,3257	0,1729	0,1814	-0,1729	-0,1814	-0,4101	0,2303	0,7429	-0,6218	-0,5382	-0,8250	0,6396	0,7947	-0,7469	-0,8289	-0,1383	-0,9439	-0,1489	-0,3269	-0,5175	-0,6329
Lam. DAER 3/4 (%)	0,3293	0,7504	-0,9504	-0,9023	1,0000	-0,2888	-0,0955	-0,1143	0,9835	-0,3777	-0,0938	-0,1310	0,0938	0,1310	0,3898	-0,4804	-0,4656	0,5202	0,3705	0,6043	-0,7801	-0,5940	0,6002	0,9734	0,1636	0,9599	0,0911	0,2495	0,3971	0,6568
Lam. DAER 3/8 (%)	-0,6718	-0,6813	0,5427	0,6552	-0,2888	1,0000	-0,0631	-0,1011	-0,1241	-0,1817	-0,0581	-0,1023	0,0581	0,1023	0,0182	-0,0860	0,6880	-0,2564	-0,3165	-0,8980	0,2587	0,8709	-0,7892	-0,1206	-0,3034	-0,5022	0,1072	-0,0255	-0,2178	-0,0660
Abs. 3/4 (%)	0,7461	0,4190	0,1978	0,1719	-0,0955	-0,0631	1,0000	0,9801	-0,0414	0,9316	1,0000	0,9980	-1,0000	-0,9980	-0,9332	-0,7693	0,6537	-0,7944	-0,5759	0,2641	-0,5478	-0,3462	0,1759	-0,2637	0,9506	0,0817	-0,9990	-0,9868	-0,9309	-0,773
Abs. 3/8 (%)	0,7619	0,4236	0,2019	0,1692	-0,1143	-0,1011	0,9801	1,0000	-0,0680	0,9460	0,9985	0,9998	-0,9985	-0,9998	-0,9594	-0,8696	0,6312	-0,8768	-0,8995	0,2852	-0,5301	-0,3658	0,4890	-0,2884	0,9527	0,0732	-0,9997	-0,9865	-0,9267	-0,8238
M.E.R. 3/4 (g/cm ³)	0,2733	0,6879	-0,8787	-0,8099	0,9835	-0,1241	-0,0414	-0,0680	1,0000	-0,3619	-0,0388	-0,0858	0,0388	0,0858	0,8432	-0,5699	-0,3152	0,4348	0,2656	0,4855	-0,8045	-0,4854	0,5156	0,9746	0,1816	0,9154	0,0449	0,1868	0,3098	0,6164
M.E.R. 3/8 (g/cm ³)	0,6946	0,2565	0,3918	0,3257	-0,3777	-0,1817	0,9316	0,9460	-0,3619	1,0000	0,9298	0,9516	-0,9298	-0,9516	-0,9853	0,8212	0,5863	-0,9035	-0,8630	0,2222	-0,2624	-0,2922	0,3845	-0,5552	0,8501	-0,1578	-0,9392	-0,9550	-0,9145	-0,9371
Por. Ap. 3/4 (%)	0,7438	0,4178	0,1979	0,1729	-0,0938	-0,0581	1,0000	0,9985	-0,0388	0,9298	1,0000	0,9976	-1,0000	-0,9976	-0,9518	-0,7720	0,6566	-0,8786	-0,9104	0,2610	-0,5493	-0,3433	0,4723	-0,2612	0,9500	0,0820	-0,9987	-0,9868	-0,9315	-0,8098
Por. Ap. 3/8 (%)	0,7580	0,4127	0,2157	0,1814	-0,1310	-0,1023	0,9980	0,9998	-0,0858	0,9516	0,9976	1,0000	-0,9976	-1,0000	-0,9641	-0,7313	0,6333	-0,8822	-0,9016	0,2791	-0,5154	-0,3594	0,4816	-0,3053	0,9488	0,0581	-0,9992	-0,9881	-0,9299	-0,8334
GC 3/4	-0,7438	-0,4178	-0,1979	-0,1729	0,0938	0,0581	-1,0000	-0,9985	0,0388	-0,9298	-1,0000	-0,9976	1,0000	0,9976	0,9518	0,7720	-0,6566	0,8786	0,9104	-0,2610	0,5493	0,3433	-0,4723	0,2612	-0,9500	-0,0820	0,9987	0,9868	0,9315	0,8098
GC 3/8	-0,7580	-0,4127	-0,2157	-0,1814	0,1310	0,1023	-0,9980	-0,9998	0,0858	-0,9516	-0,9976	-1,0000	0,9976	1,0000	0,9641	0,7313	-0,6333	0,8822	0,9016	-0,2791	0,5154	0,3594	-0,4816	0,3053	-0,9488	-0,0581	0,9992	0,9881	0,9299	0,8334
M.E.A 3/4 (g/cm ³)	-0,6162	-0,1825	-0,4549	-0,4101	0,3898	0,0182	-0,9332	-0,9594	0,8432	-0,9853	-0,9518	-0,9641	0,9518	0,9641	1,0000	0,5503	-0,7127	0,9588	0,9366	-0,0977	0,2696	0,1750	-0,2868	0,5446	-0,8376	0,2032	0,9526	0,9847	0,9701	0,9502
M.E.A 3/8 (g/cm ³)	-0,6313	-0,6259	0,2769	0,2303	-0,4804	-0,0860	-0,7693	-0,8696	-0,5699	0,8212	-0,7720	-0,7313	0,7720	0,7313	0,5503	1,0000	-0,4782	0,4917	0,6362	-0,3263	0,8945	0,3986	-0,5391	-0,3749	-0,8182	-0,5348	0,7568	0,6861	0,6047	0,2820
ME Chapman (g/cm ³)	-0,0143	-0,3293	0,6948	0,7429	-0,4656	0,6880	0,6537	0,6312	-0,3152	0,5863	0,6566	0,6333	-0,6566	-0,6333	-0,7127	-0,4782	1,0000	-0,8737	-0,9039	-0,5491	-0,0351	0,4732	-0,3329	-0,4610	0,4054	-0,4807	-0,6225	-0,7361	-0,8578	-0,7289
"LA" (%)	-0,3777	0,0642	-0,6397	-0,6218	0,5202	-0,2564	-0,7944	-0,8768	0,4348	-0,9035	-0,8786	-0,8822	0,8786	0,8822	0,9588	0,4917	-0,8737	1,0000	0,8537	0,1843	0,1192	-0,1048	-0,0189	0,6201	-0,6893	0,3964	0,8669	0,9434	0,9903	0,9291
Treton (%)	-0,4026	-0,0209	-0,5351	-0,5382	0,3705	-0,3165	-0,5759	-0,8995	0,2656	-0,8630	-0,9104	-0,9016	0,9104	0,9016	0,9366	0,6362	-0,9039	0,8537	1,0000	0,1613	0,2672	-0,0759	-0,0659	0,4650	-0,7380	0,2695	0,8933	0,9548	0,9934	0,8752
Equiv. Areia (%)	0,8378	0,9335	-0,7520	-0,8250	0,6043	-0,8980	0,2641	0,2852	0,4855	0,2222	0,2610	0,2791	-0,2610	-0,2791	-0,0977	-0,3263	-0,5491	0,1843	0,1613	1,0000	-0,6555	-0,9961	0,9688	0,4221	0,5408	0,7962	-0,2993	-0,1302	0,0912	0,1117
MUS 3/4	-0,7321	-0,8827	0,6670	0,6396	-0,7801	0,2587	-0,5478	-0,5301	-0,8045	-0,2624	-0,5493	-0,5154	0,5493	0,5154	0,2696	0,8945	-0,0351	0,1192	0,2672	-0,6555	1,0000	0,6994	-0,7876	-0,6559	-0,7301	-0,8523	0,5498	0,4113	0,2558	-0,0438
MUS 3/8	-0,8806	-0,9514	0,7239	0,7947	-0,5940	0,8709	-0,3462	-0,3658	-0,4854	-0,2922	-0,3433	-0,3594	0,3433	0,3594	0,1750	0,3986	0,4732	-0,1048	-0,0759	-0,9961	0,6994	1,0000	-0,9866	-0,4032	-0,6125	-0,7933	0,3799	0,2131	-0,0075	-0,0455
San. Graúdo (%)	0,9307	0,9759	-0,6866	-0,7469	0,6002	-0,7892	0,1759	0,4890	0,5156	0,3845	0,4723	0,4816	-0,4723	-0,4816	-0,2868	-0,5391	-0,3329	-0,0189	-0,0659	0,9688	-0,7876	-0,9866	1,0000	0,4022	0,7216	0,7999	-0,5037	-0,3413	-0,1256	-0,0420
San. Múdo (%)	0,1059	0,5790	-0,8992	-0,8289	0,9734	-0,1206	-0,2637	-0,2884	0,9746	-0,5552	-0,2612	-0,3053	0,2612	0,3053	0,5446	-0,3749	-0,4610	0,6201	0,4650	0,4221	-0,6559	-0,4032	0,4022	1,0000	-0,0340	0,8712	0,2661	0,4021	0,5109	0,7771
San. DNER (%)	0,9055	0,6787	-0,1024	-0,1383	0,1636	-0,3034	0,9506	0,9527	0,1816	0,8501	0,9500	0,9488	-0,9500	-0,9488	-0,8376	-0,8182	0,4054	-0,6893	-0,7380	0,5408	-0,7301	-0,6125	0,7216	-0,0340	1,0000	0,3647	-0,9587	-0,8906	-0,7717	-0,6326
San. DAER (%)	0,5685	0,9029	-0,9577	-0,9439	0,9599	-0,5022	0,0817	0,0732	0,9154	-0,1578	0,0820	0,0581	-0,0820	-0,0581	0,2032	-0,5348	-0,4807	0,3964	0,2695	0,7962	-0,8523	-0,7933	0,7999	0,8712	0,3647	1,0000	-0,0957	0,0806	0,2676	0,4869
Is(50)Seco (MPa)	-0,7710	-0,4418	-0,1804	-0,1489	0,0911	0,1072	-0,9990	-0,9997	0,0449	-0,9392	-0,9987	-0,9992	0,9987	0,9992	0,9526	0,7568	-0,6225	0,8669	0,8933	-0,2993	0,5498	0,3799	-0,5037	0,2661	-0,9587	-0,0957	1,0000	0,9832	0,9199	0,8104
Is(50)Sat (MPa)	-0,6504	-0,2704	-0,3538	-0,3269	0,2495	-0,0255	-0,9868	-0,9865	0,1868	-0,9550	-0,9868	-0,9881	0,9868	0,9881	0,9847	0,6861	-0,7361	0,9434	0,9548	-0,1302	0,4113	0,2131	-0,3413	0,4021	-0,8906	0,0806	0,9832	1,0000	0,9753	0,8887
Is(50)Sat/Seco (MPa)	-0,4672	-0,0588	-0,5305	-0,5175	0,3971	-0,2178	-0,9309	-0,9267	0,3098	-0,9145	-0,9315	-0,9299	0,9315	0,9299	0,9701	0,6047	-0,8578	0,9903	0,9934	0,0912	0,2558	-0,0075	-0,1256	0,5109	-0,7717	0,2676	0,9199	0,9753	1,0000	0,9240
Esmag. (%)	-0,4018	0,0968	-0,6882	-0,6329	0,6568	-0,0660	-0,773	-0,8238	0,6164	-0,9371	-0,8098	-0,8334	0,8098	0,8334	0,9502	0,2820	-0,7289	0,9291	0,8752	0,1117	-0,0438	-0,0455	-0,0420	0,7771	-0,6326	0,4869	0,8104	0,8887	0,9240	1,0000

APÊNDICE A3 – Matriz de correlação linear das Rochas Ígneas Básicas.

	IF - Paq.3/4	IF - Paq.3/8	IF - Criv. 3/4	IF - Criv. 3/8	Lam. DAER 3/4 (%)	Lam. DAER 3/8 (%)	Abs. 3/4 (%)	Abs. 3/8 (%)	M.E.R. 3/4 (g/cm³)	M.E.R. 3/8 (g/cm³)	Por. Ap. 3/4 (%)	Por. Ap. 3/8 (%)	GC 3/4	GC 3/8	M.E.A. 3/4 (g/cm³)	M.E.A. 3/8 (g/cm³)	ME Chapman (g/cm³)	"LA" (%)	Treton (%)	Equiv. Areia (%)	MUS 3/4	MUS 3/8	San. Graúdo (%)	San. Miúdo (%)	San. DNER (%)	San. DAER (%)	Is(50)Seco (MPa)	Is(50)Sat. (MPa)	Is(50)Sat/Seco (MPa)	Esmag. (%)
IF - Paq.3/4	1,0000	-0,0547	-0,9149	-0,0933	0,1771	-0,3170	-0,1641	-0,2257	0,3798	0,2434	-0,1300	-0,2091	0,1300	0,2091	0,3954	0,2945	0,2650	-0,8453	-0,6284	0,5467	-0,8163	-0,4265	-0,5533	-0,1756	-0,5143	-0,5300	0,9543	0,9107	-0,2943	-0,6140
IF - Paq.3/8	-0,0547	1,0000	0,0382	-0,8865	-0,2209	0,8831	0,6045	0,5308	0,6486	0,7665	0,6741	0,6044	-0,6741	-0,6044	0,4166	0,4434	0,5451	0,2371	-0,0406	-0,0158	-0,2851	-0,4864	0,4395	0,5265	0,6167	0,6026	-0,1429	-0,0933	0,1829	0,3848
IF - Criv. 3/4	-0,9149	0,0382	1,0000	-0,1172	-0,4928	-0,1708	-0,4599	-0,5170	0,3273	0,2990	-0,4378	-0,4951	0,4378	0,4951	0,4264	0,4889	0,4316	0,8402	-0,3030	-0,5014	0,7200	0,6107	0,9001	0,0258	0,6970	0,7403	-0,2486	-0,5848	-0,3597	-0,2874
IF - Criv. 3/8	-0,0933	-0,8865	-0,1172	1,0000	0,3723	-0,6920	-0,6011	-0,4765	-0,6238	-0,6653	-0,6633	-0,5349	0,6633	0,5349	-0,3894	-0,3876	-0,4479	-0,2164	0,1079	0,3041	0,4232	0,6493	-0,3951	-0,7703	-0,7142	-0,6811	-0,1085	0,1348	0,2794	-0,2251
Lam. DAER 3/4 (%)	0,1771	-0,2209	-0,4928	0,3723	1,0000	0,1804	0,4708	0,5848	-0,7053	-0,6225	0,4133	0,5364	-0,4133	-0,5364	-0,7745	-0,7938	-0,7344	-0,5229	0,6874	0,2726	-0,2907	-0,3372	-0,7897	-0,0534	-0,6280	-0,6639	-0,2198	0,1759	0,5352	0,5752
Lam. DAER 3/8 (%)	-0,3170	0,8831	-0,1708	-0,6920	0,1804	1,0000	0,8249	0,8125	0,2308	0,4097	0,8585	0,8578	-0,8585	-0,8578	-0,0271	0,0162	0,1434	0,2497	0,4118	-0,0851	-0,1812	-0,5069	0,2525	0,5621	0,4939	0,4680	-0,4707	-0,2771	0,4333	0,7650
Abs. 3/4 (%)	-0,1641	0,6045	-0,4599	-0,6011	0,4708	0,8249	1,0000	0,9870	-0,1526	-0,0259	0,9954	0,9897	-0,9954	-0,9897	-0,3966	-0,4283	-0,3257	0,0262	0,3442	-0,2897	-0,4353	-0,8041	0,6272	0,7814	0,2954	0,2334	-0,2971	-0,2532	0,1548	0,8327
Abs. 3/8 (%)	-0,2257	0,5308	-0,5170	-0,4765	0,5848	0,8125	0,9870	1,0000	-0,2622	-0,1197	0,9730	0,9958	-0,9730	-0,9958	-0,5263	-0,5172	-0,4099	-0,0254	0,7405	-0,2334	-0,3729	-0,7373	-0,2239	0,6918	0,2022	0,1434	-0,3847	-0,2592	0,2773	0,8926
M.E.R. 3/4 (g/cm³)	0,3798	0,6486	0,3273	-0,6238	-0,7053	0,2308	-0,1526	-0,2622	1,0000	0,9766	-0,0584	-0,1763	0,0584	0,1763	0,9616	0,9515	0,9676	0,0623	-0,7825	0,2775	-0,2363	-0,0756	0,5073	0,0098	0,3902	0,4150	0,4047	0,3258	-0,1295	-0,4436
M.E.R. 3/8 (g/cm³)	0,2434	0,7665	0,2990	-0,6653	-0,6225	0,4097	-0,0259	-0,1197	0,9766	1,0000	0,0688	-0,0291	-0,0688	0,0291	0,9004	0,9112	0,9535	0,1389	-0,6508	0,2843	-0,1843	-0,0885	0,5565	0,0464	0,4472	0,4719	0,2285	0,2385	0,0394	-0,2605
Por. Ap. 3/4 (%)	-0,1300	0,6741	-0,4378	-0,6633	0,4133	0,8585	0,9954	0,9730	-0,0584	0,0688	1,0000	0,9843	-1,0000	-0,9843	-0,3440	-0,3410	-0,2349	-0,0036	0,5881	-0,2574	-0,4618	-0,8171	-0,1198	0,7837	0,3306	0,2707	-0,2647	-0,2207	0,1545	0,8012
Por. Ap. 3/8 (%)	-0,2091	0,6044	-0,4951	-0,5349	0,5364	0,8578	0,9897	0,9958	-0,1763	-0,0291	0,9843	1,0000	-0,9843	-1,0000	-0,4484	-0,4376	-0,3250	-0,0126	0,6883	-0,2020	-0,3876	-0,7447	-0,1745	0,6932	0,2404	0,1840	-0,3729	-0,2383	0,2940	0,8781
GC 3/4	0,1300	-0,6741	0,4378	0,6633	-0,4133	-0,8585	-0,9954	-0,9730	0,0584	-0,0688	-1,0000	-0,9843	1,0000	0,9843	0,3440	0,3410	0,2349	0,0036	-0,5881	0,2574	0,4618	0,8171	0,1198	-0,7837	-0,3306	-0,2707	0,2647	0,2207	-0,1545	-0,8012
GC 3/8	0,2091	-0,6044	0,4951	0,5349	-0,5364	-0,8578	-0,9897	-0,9958	0,1763	0,0291	-0,9843	-1,0000	0,9843	1,0000	0,4484	0,4376	0,3250	0,0126	-0,6883	0,2020	0,3876	0,7447	0,1745	-0,6932	-0,2404	-0,1840	0,3729	0,2383	-0,2940	-0,8781
M.E.A. 3/4 (g/cm³)	0,3954	0,4166	0,4264	-0,3894	-0,7745	-0,0271	-0,3966	-0,5263	0,9616	0,9004	-0,3440	-0,4484	0,3440	0,4484	1,0000	0,9940	0,9797	0,0538	-0,9050	0,3489	-0,0892	0,1678	0,5073	-0,2273	0,2627	0,3037	0,4535	0,3772	-0,1512	-0,6456
M.E.A. 3/8 (g/cm³)	0,2945	0,4434	0,4889	-0,3876	-0,7938	0,0162	-0,4283	-0,5172	0,9515	0,9112	-0,3410	-0,4376	0,3410	0,4376	0,9940	1,0000	0,9906	0,1472	-0,8657	0,3175	0,0019	0,2273	0,5865	-0,2287	0,3220	0,3671	0,3542	0,2951	-0,1010	-0,5938
ME Chapman (g/cm³)	0,2650	0,5451	0,4316	-0,4479	-0,7344	0,1434	-0,3257	-0,4099	0,9676	0,9535	-0,2349	-0,3250	0,2349	0,3250	0,9797	0,9906	1,0000	0,1476	-0,8070	0,3488	-0,0297	0,1669	0,5874	-0,1901	0,3435	0,3860	0,2922	0,2886	-0,0055	-0,4906
"LA" (%)	-0,8453	0,2371	0,8402	-0,2164	-0,5229	0,2497	0,0262	-0,0254	0,0623	0,1389	-0,0036	-0,0126	0,0036	0,0126	0,0538	0,1472	0,1476	1,0000	0,8196	-0,6691	0,7820	0,4354	0,9666	0,2923	0,8297	0,8541	-0,6895	-0,7375	-0,0742	0,2771
Treton (%)	-0,6284	-0,0406	-0,3030	0,1079	0,6874	0,4118	0,3442	0,7405	-0,7825	-0,6508	0,5881	0,6883	-0,5881	-0,6883	-0,9050	-0,8657	-0,8070	0,8196	1,0000	-0,4284	0,1782	-0,2181	-0,2181	0,4091	0,0545	0,0155	-0,7153	-0,5851	0,3185	0,9000
Equiv. Areia (%)	0,5467	-0,0158	-0,5014	0,3041	0,2726	-0,0851	-0,2897	-0,2334	0,2775	0,2843	-0,2574	-0,2020	0,2574	0,2020	0,3489	0,3175	0,3488	-0,6691	-0,4284	1,0000	-0,3225	0,0937	-0,4045	-0,7293	-0,6992	-0,6694	0,3409	0,8401	0,5863	-0,3162
MUS 3/4	-0,8163	-0,2851	0,7200	0,4232	-0,2907	-0,1812	-0,4353	-0,3729	-0,2363	-0,1843	-0,4618	-0,3876	0,4618	0,3876	-0,0892	0,0019	-0,0297	0,7820	0,1782	-0,3225	1,0000	0,8610	0,6166	-0,2975	0,3079	0,3592	-0,6979	-0,6808	0,1843	0,0710
MUS 3/8	-0,4265	-0,4864	0,6107	0,6493	-0,3372	-0,5069	-0,8041	-0,7373	-0,0756	-0,0885	-0,8171	-0,7447	0,8171	0,7447	0,1678	0,2273	0,1669	0,4354	-0,2181	0,0937	0,8610	1,0000	0,4258	-0,7093	-0,0584	0,0117	-0,3280	-0,2233	0,2020	-0,3565
San. Graúdo (%)	-0,5533	0,4395	0,9001	-0,3951	-0,7897	0,2525	0,6272	-0,2239	0,5073	0,5565	-0,1198	-0,1745	0,1198	0,1745	0,5073	0,5865	0,5874	0,9666	-0,2181	-0,4045	0,8166	0,4258	1,0000	0,1652	0,8477	0,8865	-0,4040	-0,5976	-0,1017	-0,0225
San. Miúdo (%)	-0,1756	0,5265	0,0258	-0,7703	-0,0534	0,5621	0,7814	0,6918	0,0098	0,0464	0,7837	0,6932	-0,7837	-0,6932	-0,2273	-0,2287	-0,1901	0,2923	0,4091	-0,7293	-0,2975	-0,7093	0,1652	1,0000	0,6632	0,6028	-0,1142	-0,4847	-0,4386	0,5167
San. DNER (%)	-0,5143	0,6167	0,6970	-0,7142	-0,6280	0,4939	0,2954	0,2022	0,3902	0,4472	0,3306	0,2404	-0,3306	-0,2404	0,2627	0,3220	0,3435	0,8297	0,0545	-0,6992	0,3079	-0,0584	0,8477	0,6632	1,0000	0,9970	-0,3680	-0,7142	-0,3131	0,2609
San. DAER (%)	-0,5300	0,6026	0,7403	-0,6811	-0,6639	0,4680	0,2334	0,1434	0,4150	0,4719	0,2707	0,1840	-0,2707	-0,1840	0,3037	0,3671	0,3860	0,8541	0,0155	-0,6694	0,3592	0,0117	0,8865	0,6028	0,9970	1,0000	-0,3804	-0,7109	-0,2880	0,2243
Is(50)Seco (MPa)	0,9543	-0,1429	-0,2486	-0,1085	-0,2198	-0,4707	-0,2971	-0,3847	0,4047	0,2285	-0,2647	-0,3729	0,2647	0,3729	0,4535	0,3542	0,2922	-0,6895	-0,7153	0,3409	-0,6979	-0,3280	-0,4040	-0,1142	-0,3680	-0,3804	1,0000	0,7792	-0,5442	-0,7540
Is(50)Sat. (MPa)	0,9107	-0,0933	-0,5848	0,1348	0,1759	-0,2771	-0,2532	-0,2592	0,3258	0,2385	-0,2207	-0,2383	0,2207	0,2383	0,3772	0,2951	0,2886	-0,7375	-0,5851	0,8401	-0,6808	-0,2233	-0,5976	-0,4847	-0,7142	-0,7109	0,7792	1,0000	0,0989	-0,5445
Is(50)Sat/Seco (MPa)	-0,2943	0,1829	-0,3597	0,2794	0,5352	0,4333	0,1548	0,2773	-0,1295	0,0394	0,1545	0,2940	-0,1545	-0,2940	-0,1512	-0,1010	-0,0055	-0,0742	0,3185	0,5863	0,1843	0,2020	-0,1017	-0,4386	-0,3131	-0,2880	-0,5442	0,0989	1,0000	0,4713
Esmag. (%)	-0,6140	0,3848	-0,2874	-0,2251	0,5752	0,7650	0,8327	0,8926	-0,4436	-0,2605	0,8012	0,8781	-0,8012	-0,8781	-0,6456	-0,5938	-0,4906	0,2771	0,9000	-0,3162	0,0710	-0,3565	-0,0225	0,5167	0,2609	0,2243	-0,7540	-0,5445	0,4713	1,0000

APÊNDICE A3 – Matriz de correlação linear das Rochas Ígneas Ácidas e Básicas.

	IF - Paq.3/4	IF - Paq.3/8	IF - Criv. 3/4	IF - Criv. 3/8	Lam. DAER 3/4 (%)	Lam. DAER 3/8 (%)	Abs. 3/4 (%)	Abs. 3/8 (%)	M.E.R. 3/4 (g/cm³)	M.E.R. 3/8 (g/cm³)	Por. Ap. 3/4 (%)	Por. Ap. 3/8 (%)	GC 3/4	GC 3/8	M.E.A 3/4 (g/cm³)	M.E.A 3/8 (g/cm³)	ME Chapman (g/cm³)	"LA" (%)	Treton (%)	Equiv. Areia (%)	MUS 3/4	MUS 3/8	San. Graúdo (%)	San. Miúdo (%)	San. DNER (%)	San. DAER (%)	Is(50)Seco (MPa)	Is(50)Sat. (MPa)	Is(50)Sat./Seco (MPa)	Esmag. (%)
IF - Paq.3/4	1,0000	0,7097	-0,6849	-0,3853	0,1984	-0,1567	0,6602	0,5875	-0,2954	-0,2731	0,6531	0,5465	-0,6531	-0,5465	-0,4106	-0,3727	-0,2815	-0,1275	-0,2384	0,3450	-0,6625	-0,7277	0,0560	0,1658	0,3244	0,1429	-0,2662	-0,3573	-0,2326	-0,1038
IF - Paq.3/8	0,7097	1,0000	-0,6918	-0,7953	0,1920	0,3740	0,5838	0,5671	-0,2281	-0,2489	0,5918	0,5520	-0,5918	-0,5520	-0,3443	-0,3542	-0,2297	0,2856	0,1229	0,1192	-0,5560	-0,7636	0,3817	0,6224	0,3893	0,6624	-0,4489	-0,3149	0,1358	0,3393
IF - Criv. 3/4	-0,685	-0,6918	1,0000	0,5466	-0,622	-0,0402	-0,1640	-0,1572	0,3306	0,4294	-0,1429	-0,1030	0,1429	0,1030	0,3176	0,4211	0,4229	-0,5748	-0,5655	-0,2722	0,5619	0,6643	0,0502	-0,7442	0,1773	-0,4194	0,0669	-0,2422	-0,4987	-0,7007
IF - Criv. 3/8	-0,3853	-0,7953	0,5466	1,0000	0,0513	-0,5214	-0,3622	-0,3500	0,1841	0,2620	-0,3733	-0,3381	0,3733	0,3381	0,2577	0,3172	0,1978	-0,5128	-0,3420	0,1719	0,5982	0,6755	-0,2218	-0,7554	-0,1187	-0,6264	0,1439	0,0413	-0,1479	-0,5280
Lam. DAER 3/4 (%)	0,1984	0,1920	-0,6216	0,0513	1,0000	0,1311	-0,0039	0,1234	-0,0611	-0,0677	0,0038	0,1442	-0,0038	-0,1442	-0,0553	-0,1052	-0,2260	0,0534	0,3416	0,2968	-0,1344	-0,1099	-0,2202	0,3668	-0,0967	0,0629	-0,0181	0,2236	0,4088	0,3473
Lam. DAER 3/8 (%)	-0,1567	0,3740	-0,0402	-0,5214	0,1311	1,0000	0,2818	0,4209	0,0537	0,0961	0,3295	0,4988	-0,3295	-0,4988	-0,0460	-0,0325	0,0470	0,0712	0,1506	-0,0978	-0,1349	-0,1362	0,1344	0,2861	0,1836	0,2743	-0,3293	-0,1454	0,2905	0,2407
Abs. 3/4 (%)	0,6602	0,5838	-0,1640	-0,3622	-0,0039	0,2818	1,0000	0,9522	-0,6004	-0,5032	0,9965	0,9341	-0,9965	-0,9341	-0,3367	-0,6717	-0,5608	-0,6550	-0,528	-0,0915	-0,6565	-0,7141	0,5224	0,1823	0,3338	0,0177	-0,7699	-0,7958	-0,2506	-0,5989
Abs. 3/8 (%)	0,5875	0,5671	-0,1572	-0,3500	0,1234	0,4209	0,9522	1,0000	-0,5277	-0,4115	0,9822	0,9958	-0,9822	-0,9874	-0,6935	-0,2634	-0,5203	-0,2322	-0,2207	-0,1062	-0,5919	-0,6498	-0,1179	0,1819	0,3756	0,0248	-0,7666	-0,7773	-0,2126	-0,0357
M.E.R. 3/4 (g/cm³)	-0,2954	-0,2281	0,3306	0,1841	-0,0611	0,0537	-0,6004	-0,5277	1,0000	0,9791	-0,5384	-0,3983	0,5384	0,3983	0,939	0,9848	0,9732	-0,4433	-0,4155	0,1740	0,6344	0,7476	0,5614	-0,2434	0,4402	0,2636	0,6016	0,3299	-0,2670	-0,5186
M.E.R. 3/8 (g/cm³)	-0,2731	-0,2489	0,4294	0,2620	-0,0677	0,0961	-0,5032	-0,4115	0,9791	1,0000	-0,4370	-0,2722	0,4370	0,2722	0,9343	0,8910	0,9571	-0,5737	-0,5045	0,1589	0,6729	0,7609	0,5656	-0,3617	0,5277	0,1942	0,4871	0,1911	-0,3309	-0,6383
Por. Ap. 3/4 (%)	0,6531	0,5918	-0,1429	-0,3733	0,0038	0,3295	0,9965	0,9822	-0,5384	-0,4370	1,0000	0,9554	-1,0000	-0,9554	-0,7057	-0,6164	-0,5032	-0,2254	-0,2948	-0,0886	-0,6345	-0,6808	-0,0918	0,1781	0,3866	0,0417	-0,7541	-0,8009	-0,2778	-0,0639
Por. Ap. 3/8 (%)	0,5465	0,5520	-0,1030	-0,3381	0,1442	0,4988	0,9341	0,9958	-0,3983	-0,2722	0,9554	1,0000	-0,9554	-1,0000	-0,5785	-0,4787	-0,4006	-0,3217	-0,2801	-0,0958	-0,5144	-0,5580	-0,0483	0,1476	0,4623	0,0550	-0,7251	-0,7686	-0,2480	-0,1146
GC 3/4	-0,6531	-0,5918	0,1429	0,3733	-0,0038	-0,3295	-0,9965	-0,9822	0,5384	0,4370	-1,0000	-0,9554	1,0000	0,9554	0,7057	0,6164	0,5032	0,2254	0,2948	0,0886	0,6345	0,6808	0,0918	-0,1781	-0,3866	-0,0417	0,7541	0,8009	0,2778	0,0639
GC 3/8	-0,5465	-0,5520	0,1030	0,3381	-0,1442	-0,4988	-0,9341	-0,9874	0,3983	0,2722	-0,9554	-1,0000	0,9554	1,0000	0,5785	0,4787	0,4006	0,3217	0,2801	0,0958	0,5144	0,5580	0,0483	-0,1476	-0,4623	-0,0550	0,7251	0,7686	0,2480	0,1146
M.E.A 3/4 (g/cm³)	-0,4106	-0,3443	0,3176	0,2577	-0,0553	-0,0460	-0,3367	-0,6935	0,939	0,9343	-0,7057	-0,5785	0,7057	0,5785	1,0000	0,9849	0,9474	-0,3207	-0,2816	0,1760	0,6966	0,8031	0,4954	-0,2587	0,2727	0,2057	0,6950	0,4778	-0,1555	-0,4264
M.E.A 3/8 (g/cm³)	-0,3727	-0,3542	0,4211	0,3172	-0,1052	-0,0325	-0,6717	-0,2634	0,9848	0,8910	-0,6164	-0,4787	0,6164	0,4787	0,9849	1,0000	0,9668	-0,4515	-0,4022	0,1620	0,7341	0,8227	0,5322	-0,3665	0,3802	0,1667	0,6090	0,3447	-0,2532	-0,5614
ME Chapman (g/cm³)	-0,2815	-0,2297	0,4229	0,1978	-0,2260	0,0470	-0,5608	-0,5203	0,9732	0,9571	-0,5032	-0,4006	0,5032	0,4006	0,9474	0,9668	1,0000	-0,4505	-0,4949	0,2344	0,6323	0,7399	0,5829	-0,3472	0,4296	0,2158	0,5398	0,2782	-0,2596	-0,5669
"LA" (%)	-0,1275	0,2856	-0,5748	-0,5128	0,0534	0,0712	-0,6550	-0,2322	-0,4433	-0,5737	-0,2254	-0,3217	0,2254	0,3217	-0,3207	-0,4515	-0,4505	1,0000	0,8908	-0,1710	-0,2565	-0,4495	0,2799	0,6142	-0,5651	0,3252	-0,0317	0,3136	0,6854	0,9546
Treton (%)	-0,2384	0,1229	-0,5655	-0,3420	0,3416	0,1506	-0,5279	-0,2207	-0,4155	-0,5045	-0,2948	-0,2801	0,2948	0,2801	-0,2816	-0,4022	-0,4949	0,8908	1,0000	-0,1512	-0,1725	-0,3426	-0,2394	0,5112	-0,6396	0,1374	0,0337	0,4796	0,7640	0,9070
Equiv. Areia (%)	0,3450	0,1192	-0,2722	0,1719	0,2968	-0,0978	-0,0915	-0,1062	0,1740	0,1589	-0,0886	-0,0958	0,0886	0,0958	0,1760	0,1620	0,2344	-0,1710	-0,1512	1,0000	-0,1692	-0,0194	-0,1447	-0,3060	-0,1825	-0,2940	0,2236	0,3897	0,3790	-0,1074
MUS 3/4	-0,6625	-0,5560	0,5619	0,5982	-0,1344	-0,1349	-0,6565	-0,5919	0,6344	0,6729	-0,6345	-0,5144	0,6345	0,5144	0,6966	0,7341	0,6323	-0,2565	-0,1725	-0,1692	1,0000	0,8552	0,4994	-0,4622	0,2502	0,0838	0,2026	0,0977	-0,0944	-0,4176
MUS 3/8	-0,7277	-0,7636	0,6643	0,6755	-0,1099	-0,1362	-0,7141	-0,6498	0,7476	0,7609	-0,6808	-0,5580	0,6808	0,5580	0,8031	0,8227	0,7399	-0,4495	-0,3426	-0,0194	0,8552	1,0000	0,1890	-0,5219	0,0930	-0,1810	0,4921	0,2926	-0,1965	-0,5066
San. Graúdo (%)	0,0560	0,3817	0,0502	-0,2218	-0,2202	0,1344	0,5224	-0,1179	0,5614	0,5656	-0,0918	-0,0483	0,0918	0,0483	0,4954	0,5322	0,5829	0,2799	-0,2394	-0,1447	0,4994	0,1890	1,0000	0,0919	0,7558	0,7919	-0,1009	-0,2391	-0,2139	-0,2609
San. Miúdo (%)	0,1658	0,6224	-0,7442	-0,7554	0,3668	0,2861	0,1823	0,1819	-0,2434	-0,3617	0,1781	0,1476	-0,1781	-0,1476	-0,2587	-0,3665	-0,3472	0,6142	0,5112	-0,3060	-0,4622	-0,5219	0,0919	1,0000	-0,0079	0,6809	-0,1053	0,0592	0,2261	0,7444
San. DNER (%)	0,3244	0,3893	0,1773	-0,1187	-0,0967	0,1836	0,3338	0,3756	0,4402	0,5277	0,3866	0,4623	-0,3866	-0,4623	0,2727	0,3802	0,4296	-0,5651	-0,6396	-0,1825	0,2502	0,0930	0,7558	-0,0079	1,0000	0,5511	-0,2953	-0,6371	-0,6296	-0,5840
San. DAER (%)	0,1429	0,6624	-0,4194	-0,6264	0,0629	0,2743	0,0177	0,0248	0,2636	0,1942	0,0417	0,0550	-0,0417	-0,0550	0,2057	0,1667	0,2158	0,3252	0,1374	-0,2940	0,0838	-0,1810	0,7919	0,6809	0,5511	1,0000	-0,1388	-0,1395	-0,0187	0,2646
Is(50)Seco (MPa)	-0,2662	-0,4489	0,0669	0,1439	-0,0181	-0,3293	-0,7699	-0,7666	0,6016	0,4871	-0,7541	-0,7251	0,7541	0,7251	0,6950	0,6090	0,5398	-0,0317	0,0337	0,2236	0,2026	0,4921	-0,1009	-0,1053	-0,2953	-0,1388	1,0000	0,8110	-0,0586	-0,1125
Is(50)Sat. (MPa)	-0,3573	-0,3149	-0,2422	0,0413	0,2236	-0,1454	-0,7958	-0,7773	0,3299	0,1911	-0,8009	-0,7686	0,8009	0,7686	0,4778	0,3447	0,2782	0,3136	0,4796	0,3897	0,0977	0,2926	-0,2391	0,0592	-0,6371	-0,1395	0,8110	1,0000	0,5158	0,3484
Is(50)Sat/Seco (MPa)	-0,2326	0,1358	-0,4987	-0,1479	0,4088	0,2905	-0,2506	-0,2126	-0,2670	-0,3309	-0,2778	-0,2480	0,2778	0,2480	-0,1555	-0,2532	-0,2596	0,6854	0,7640	0,3790	-0,0944	-0,1965	-0,2139	0,2261	-0,6296	-0,0187	-0,0586	0,5158	1,0000	0,7410
Esmag. (%)	-0,1038	0,3393	-0,7007	-0,5280	0,3473	0,2407	-0,5989	-0,0357	-0,5186	-0,6383	-0,0639	-0,1146	0,0639	0,1146	-0,4264	-0,5614	-0,5669	0,9546	0,9070	-0,1074	-0,4176	-0,5066	-0,2609	0,7444	-0,5840	0,2646	-0,1125	0,3484	0,7410	1,0000

APÊNDICE A4 – Matriz de correlação linear das Rochas Metamórficas.

	IF - Paq.3/4	Abs. 3/4 (%)	Abs. 3/8 (%)	M.E.R. 3/4 (g/cm ³)	M.E.R. 3/8 (g/cm ³)	Por. Ap. 3/4 (%)	Por. Ap. 3/8 (%)	M.E.A. 3/4 (g/cm ³)	M.E.A. 3/8 (g/cm ³)	"LA" (%)	Treton (%)	Esmag. (%)
IF - Paq.3/4	1,0000	-0,2572	-0,1615	-0,2448	-0,3421	-0,2562	-0,1689	-0,0956	0,0034	0,2884	-0,0791	0,1658
Abs. 3/4 (%)	-0,2572	1,0000	0,7068	-0,4517	-0,1401	0,9999	0,7090	-0,7340	-0,6172	0,3008	0,5188	0,3937
Abs. 3/8 (%)	-0,1615	0,7068	1,0000	0,0985	0,3218	0,6981	0,9998	-0,6835	-0,6220	-0,2256	0,4689	0,0398
M.E.R. 3/4 (g/cm ³)	-0,2448	-0,4517	0,0985	1,0000	0,9025	-0,4595	0,1049	0,9007	0,3297	-0,8567	-0,4646	-0,8597
M.E.R. 3/8 (g/cm ³)	-0,3421	-0,1401	0,3218	0,9025	1,0000	-0,1474	0,3325	0,4069	0,6479	-0,8808	-0,3883	-0,7499
Por. Ap. 3/4 (%)	-0,2562	0,9999	0,6981	-0,4595	-0,1474	1,0000	0,7002	-0,6812	-0,6112	0,1711	0,4589	0,4013
Por. Ap. 3/8 (%)	-0,1689	0,7090	0,9998	0,1049	0,3325	0,7002	1,0000	-0,6759	-0,7536	-0,2366	0,4592	0,0305
M.E.A. 3/4 (g/cm ³)	-0,0956	-0,7340	-0,6835	0,9007	0,4069	-0,6812	-0,6759	1,0000	0,8941	-0,4564	-0,7528	-0,6450
M.E.A. 3/8 (g/cm ³)	0,0034	-0,6172	-0,6220	0,3297	0,6479	-0,6112	-0,7536	0,8941	1,0000	-0,2860	-0,7132	-0,4142
"LA" (%)	0,2884	0,3008	-0,2256	-0,8567	-0,8808	0,1711	-0,2366	-0,4564	-0,2860	1,0000	0,6387	0,9321
Treton (%)	-0,0791	0,5188	0,4689	-0,4646	-0,3883	0,4589	0,4592	-0,7528	-0,7132	0,6387	1,0000	0,7341
Esmag. (%)	0,1658	0,3937	0,0398	-0,8597	-0,7499	0,4013	0,0305	-0,6450	-0,4142	0,9321	0,7341	1,0000

APÊNDICE A5 – Matriz de correlação linear do Conjunto de Rochas.

	IF - Paq.3/4	Abs. 3/4 (%)	Abs. 3/8 (%)	M.E.R. 3/4 (g/cm ³)	M.E.R. 3/8 (g/cm ³)	Por. Ap. 3/4 (%)	Por. Ap. 3/8 (%)	M.E.A. 3/4 (g/cm ³)	M.E.A. 3/8 (g/cm ³)	"LA" (%)	Treton (%)	Esmag. (%)
IF - Paq.3/4	1,0000	0,4613	0,4096	0,0176	0,0142	0,4516	0,3904	-0,2952	-0,2897	-0,2199	-0,2989	-0,2988
Abs. 3/4 (%)	0,4613	1,0000	0,9034	0,0079	0,0623	0,9973	0,8836	-0,4017	-0,5434	-0,5413	-0,4397	-0,5295
Abs. 3/8 (%)	0,4096	0,9034	1,0000	0,2557	0,2928	0,9122	0,9965	-0,3773	-0,3112	-0,7102	-0,4920	-0,6248
M.E.R. 3/4 (g/cm ³)	0,0176	0,0079	0,2557	1,0000	0,9750	0,0655	0,3246	0,9339	0,6833	-0,5856	-0,4662	-0,6103
M.E.R. 3/8 (g/cm ³)	0,0142	0,0623	0,2928	0,9750	1,0000	0,1212	0,3633	0,7501	0,8725	-0,5787	-0,4395	-0,6040
Por. Ap. 3/4 (%)	0,4516	0,9973	0,9122	0,0655	0,1212	1,0000	0,8981	-0,4757	-0,4936	-0,6142	-0,4791	-0,5519
Por. Ap. 3/8 (%)	0,3904	0,8836	0,9965	0,3246	0,3633	0,8981	1,0000	-0,3045	-0,3711	-0,7338	-0,5112	-0,6521
M.E.A. 3/4 (g/cm ³)	-0,2952	-0,4017	-0,3773	0,9339	0,7501	-0,4757	-0,3045	1,0000	0,9653	-0,0772	-0,0892	-0,1457
M.E.A. 3/8 (g/cm ³)	-0,2897	-0,5434	-0,3112	0,6833	0,8725	-0,4936	-0,3711	0,9653	1,0000	0,0083	-0,0233	-0,0754
"LA" (%)	-0,2199	-0,5413	-0,7102	-0,5856	-0,5787	-0,6142	-0,7338	-0,0772	0,0083	1,0000	0,8587	0,9537
Treton (%)	-0,2989	-0,4397	-0,4920	-0,4662	-0,4395	-0,4791	-0,5112	-0,0892	-0,0233	0,8587	1,0000	0,8920
Esmag. (%)	-0,2988	-0,5295	-0,6248	-0,6103	-0,6040	-0,5519	-0,6521	-0,1457	-0,0754	0,9537	0,8920	1,0000