

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil

Hélvio Júnio Barcelos

**MATERIAIS PÉTREOS EM CONDIÇÕES DE ATENÇÃO E
EXCEPCIONALIDADE: SUGESTÕES DE APLICAÇÕES NAS EDIFICAÇÕES
UTILIZANDO A CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.**

Belo Horizonte

2022

Hélvio Júnio Barcelos

**MATERIAIS PÉTREOS EM CONDIÇÕES DE ATENÇÃO E
EXCEPCIONALIDADE: SUGESTÕES DE APLICAÇÕES NAS EDIFICAÇÕES
UTILIZANDO A CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Tecnologia na Construção Civil. Linha de pesquisa: Materiais de Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antônio

Melgaço Nunes Branco

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Neves

de Carvalho Júnior

Belo Horizonte

2022

B242m	<p>Barcelos, HÉlvio Júnio.</p> <p>Materiais pétreos em condições de atenção e excepcionalidade [recurso eletrônico] : sugestões de aplicações nas edificações utilizando a caracterização tecnológica / HÉlvio Júnio Barcelos. – 2022. 1 recurso online (114 f. : il., color.) : pdf.</p> <p>Orientador: Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco. Coorientador: Antônio Neves de Carvalho Júnio.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Apêndice: f. 103-114.</p> <p>Bibliografia: f. 99-102. Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.</p> <p>1. Construção civil - Teses. 2. Materiais de construção - Teses. 3. Rochas ornamentais - Teses. 4. Revestimentos - Teses. 5. Caracterização tecnológica - Teses. I. Branco, Luiz Antônio Melgaço Nunes. II. Carvalho Júnio, Antônio Neves de. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.</p>
	CDU: 691(043)

Hélvio Júnio Barcelos

**MATERIAIS PÉTREOS EM CONDIÇÕES DE ATENÇÃO E
EXCEPCIONALIDADE: SUGESTÕES DE APLICAÇÕES NAS EDIFICAÇÕES
UTILIZANDO A CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Construção Civil do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 14 de março de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Luiz Antonio Melgaco
Nunes Branco:48639435634

Assinado de forma digital por Luiz Antonio Melgaco Nunes
Branco:48639435634
Dados: 2022.03.21 11:17:55 -03'00'

Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco
Orientador – UFMG/DEMC

**Antonio Neves de
Carvalho Jr**

Assinado de forma digital por Antonio Neves de Carvalho Jr
Dados: 2022.03.21 14:38:26 -03'00'

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior
Coorientador – UFMG/DEMC

Prof. Dr. Antônio Gilberto Costa
UFMG/IGC

**Adriano de Paula e
Silva:36512460600**

Assinado de forma digital por Adriano de Paula e Silva:36512460600
Dados: 2022.03.21 12:26:49 -03'00'

Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva
UFMG/DEMC

**Evandro Carrusca
de Oliveira**

Assinado de forma digital por Evandro Carrusca de Oliveira
Dados: 2022.03.28 21:25:30 -03'00'

Prof. Dr. Evandro Carrusca de Oliveira
CEFET-MG

A Deus, por me conceder o dom da Vida;
A minha esposa e filho, pelo amor e carinho;
Aos meus pais, irmãs e avó, pela paciência e
compreensão nos momentos de ausência;
Aos demais familiares e amigos pelo
encorajamento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela sua providência em todas as áreas da minha vida e por me levar a experimentar o que São Paulo expressou na carta aos Filipenses 4, 13: “Tudo posso naquele que me fortalece”;

Ao professor Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco e ao professor Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior pelas orientações, ensinamentos, incentivos e por toda ajuda dispensada ao longo do percurso. Sobretudo, agradeço pela confiança depositada neste trabalho;

Ao professor Dr. Antônio Gilberto Costa grande incentivador deste projeto, tanto pessoalmente, me apoiando nesta empreitada, quanto profissionalmente, proporcionando a utilização de trabalhos realizados no LABTECROCHAS - IGC- UFMG;

Ao demais professores do DEMC nas quais tive contato durante a realização do curso de mestrado em construção civil que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste momento;

À minha esposa pela dedicação, paciência e carinho que me amparou nas horas mais difíceis nestes últimos tempos;

Ao Marcos Vinícius e aos que amo, pela compreensão em todos os momentos em que necessitei ausentar;

E por fim, aos colegas acadêmicos e amigos, pelo convívio, troca de experiências, e todo o aprendizado obtido nesse período;

Minha eterna gratidão.

RESUMO

A pedra natural é um dos mais antigos materiais de construção e tem sido utilizada ao longo da história em diferentes aplicações, incluindo ornamentação e revestimento. Seu emprego proporciona uma conotação de luxo às edificações, além do caráter de durabilidade. Diversos são os tipos de rochas existentes e grandes são as variações de tonalidade, resistência, textura e mineralogia. No entanto, as rochas para revestimento degradam-se ao longo do tempo e tendem a se alterar quando expostas às condições ambientais e de uso, podendo essas degradações ser aceleradas em condições climáticas mais agressivas, ambientes poluídos ou pela utilização de procedimentos construtivos ou de conservação e limpeza inadequados. Desta forma, o objetivo do trabalho é sugerir aplicações para materiais pétreos que possuem características de excepcionalidade e atenção por meio do conhecimento de suas propriedades tecnológicas e das solicitações a que podem ser submetidos nos diferentes tipos de uso. De fato, em geral, o desempenho aquém do esperado se restringe a algumas das propriedades de caracterização tecnológica, sendo possível adotar tais materiais em ambientes e tipos de usos específicos, nas quais não existe atuação significativa dos esforços associados aos parâmetros com desempenho comprometido. O trabalho foi desenvolvido utilizando os resultados de ensaios de caracterização tecnológica de rochas realizados no LABTECROCHAS - IGC - UFMG, de forma a se criar um banco de dados das propriedades intrínsecas dos materiais tais como: porosidade, densidade, absorção, resistência ao desgaste e dilatação térmica. A partir da análise do banco de dados foram identificadas as amostras nessa condição de excepcionalidade por meio dos parâmetros normativos e avaliações de desempenho sugeridas por trabalhos técnicos.

Palavras-chave: Rochas Ornamentais. Revestimento. Caracterização Tecnológica.

ABSTRACT

Natural stone is one of the oldest building materials and has been used throughout history in different applications, including ornamentation and cladding. Its use provides a connotation of luxury to buildings, in addition to the character of durability. There are several types of existing rocks and great variations in tone, strength, texture and mineralogy. However, cladding rocks degrade over time and tend to change when exposed to environmental and usage conditions, and these degradations can be accelerated in more aggressive climatic conditions, polluted environments or by the use of constructive or conservation procedures. and inadequate cleaning. In this way, the objective of the work is to suggest applications for stone materials that have characteristics of exceptionality and attention through the knowledge of their technological properties and the requests to which they can be submitted in different types of use. In fact, in general, the performance below expectations is restricted to some of the technological characterization properties, making it possible to adopt such materials in specific environments and types of uses, in which there is no significant action of the efforts associated with parameters with compromised performance. The work was developed using the results of technological rock characterization tests carried out at LABTECROCHAS - IGC - UFMG, in order to create a database of the intrinsic properties of materials such as: porosity, density, absorption, wear resistance and expansion. thermal. From the analysis of the database, samples in this exceptional condition were identified through normative parameters and performance evaluations suggested by technical works.

Keywords: Dimensional Stone. Coating. Technological Characterization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Microscópio utilizado para realização de análise petrográfica do LABTECROCHAS	36
Figura 2: Amostras imergidas em água para saturação	38
Figura 3: Amostras para pesagem após o período de saturação	38
Figura 4: Equipamento utilizado para o ensaio de dilatação térmica linear.....	39
Figura 5: Equipamento utilizado para o ensaio de impacto de corpo duro	41
Figura 6: Detalhe da ruptura do corpo de prova.....	41
Figura 7: Equipamento utilizado para o ensaio de desgaste Amsler.	42
Figura 8: Extensômetro	43
Figura 9: Contador de Voltas	43
Figura 10: Equipamento utilizado para o ensaio de compressão.....	44
Figura 11: Ruptura do corpo de prova.....	44
Figura 12: Prensa de flexão utilizada para o ensaio de Flexão 3 Pontos.....	46
Figura 13: Detalhe da ruptura do corpo de prova na prensa de Flexão 3 Pontos	46
Figura 14: Prensa de flexão utilizada para o ensaio de Flexão 4 Pontos.....	47
Figura 15: Detalhe da ruptura do corpo de prova na prensa de Flexão 4 Pontos	47
Figura 16: Solicitações conforme o ambiente	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização tecnológica de rochas utilizadas como revestimento na construção civil.....	20
Tabela 2: Estudos sobre parâmetros de desempenho de rochas	21
Tabela 3: Escala de dureza de Mohs	24
Tabela 4: Correlação de ensaios de caracterização tecnológica com normas técnicas	35
Tabela 5: Informações obtidas a partir da análise de cada propriedade de caracterização tecnológica.....	50
Tabela 6: Uso, ambientes de aplicação e parâmetros tecnológicos recomendados.....	51
Tabela 7: Resumo da análise petrográfica dos Granitos.....	58
Tabela 8: Resumo da análise petrográfica dos Quartzitos.....	67
Tabela 9: Resumo da análise petrográfica dos Gnaisses	77
Tabela 10: Análise dos parâmetros das amostras de granito segundo a NBR 15844.....	84
Tabela 11: Análise dos parâmetros das amostras de quartzito segundo a norma ASTM C 616	85
Tabela 12: Avaliação de desempenho segundo as propriedades intrínsecas das rochas	86
Tabela 13: Análise dos parâmetros das amostras de Gnaiss segundo (FILHO; CHIODI, 2019).	87
Tabela 14: Amostras em situação de excepcionalidade pela norma e trabalhos técnicos.....	88
Tabela 15: Recomendação de Uso para Amostras em Situação de Excepcionalidade e Atenção	96
Tabela 16: Resultados dos ensaios de caracterização tecnológica realizados no LABTECROCHAS	104
Tabela 17: Dados do Granito.....	108
Tabela 18: Dados do Quartzito.....	110
Tabela 19: Dados do Gnaiss	113

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Fórmula para cálculo da densidade aparente	37
Equação 2: Fórmula para cálculo da porosidade aparente	37
Equação 3: Fórmula para cálculo do % de absorção de água.....	37
Equação 4: Fórmula para cálculo do coeficiente de dilatação térmico linear	39
Equação 5: Fórmula para cálculo da energia de ruptura no ensaio de impacto de corpo duro	40
Equação 6: Fórmula matemática para cálculo da tensão de ruptura.....	44
Equação 7: Fórmula matemática para cálculo da tensão de ruptura na flexão 3 pontos	45
Equação 8: Fórmula matemática para cálculo da tensão de ruptura na flexão 4 pontos	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de magmas.....	29
Quadro 2: Tipos de rochas ígneas.....	29
Quadro 3: Classificação das rochas ígneas.....	30
Quadro 4: Principais rochas metamórficas e seus protólitos.....	31
Quadro 5: Rochas sedimentares e classes de sedimentos clásticos.....	33
Quadro 6: Rochas sedimentares e sedimentos químicos e bioquímicos	33
Quadro 7: Classificação mineralógica das rochas	34
Quadro 8: Correlação entre os tipos de usos/ aplicações e especificidades	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Perfil da produção brasileira por tipo de rocha	19
Gráfico 2 (a) e (b): Análise das amostras de granito quanto ao parâmetro Porosidade	60
Gráfico 3 (a) e (b): Análise das amostras de granito quanto ao parâmetro Absorção	61
Gráfico 4 (a) e (b): Análise das amostras de granito quanto ao parâmetro Densidade	61
Gráfico 5 (a) e (b): Análise das amostras de granito quanto ao parâmetro Compressão	62
Gráfico 6 (a) e (b): Análise das amostras de granito quanto ao parâmetro Flexão 3 Pontos ...	62
Gráfico 7 (a) e (b): Análise das amostras de granito quanto ao parâmetro Dilatação na fase de resfriamento	63
Gráfico 8 (a) e (b): Análise das amostras de granito quanto ao parâmetro Dilatação na fase de aquecimento	63
Gráfico 9 (a) e (b): Análise das amostras de granito quanto ao parâmetro Desgaste	64
Gráfico 10 (a) e (b): Análise das amostras de quartzito quanto ao parâmetro Porosidade	71
Gráfico 11 (a) e (b): Análise das amostras de quartzito quanto ao parâmetro Absorção	71
Gráfico 12 (a) e (b): Análise das amostras de quartzito quanto ao parâmetro Densidade	72
Gráfico 13 (a) e (b): Análise das amostras de quartzito quanto ao parâmetro Compressão	72
Gráfico 14 (a) e (b): Análise das amostras de quartzito quanto ao parâmetro Flexão 3 Pontos	73
Gráfico 15 (a) e (b): Análise das amostras de quartzito quanto ao parâmetro Dilatação na fase de Resfriamento	73
Gráfico 16 (a) e (b): Análise das amostras de quartzito quanto ao parâmetro Dilatação na fase de Aquecimento	74
Gráfico 17 (a) e (b): Análise das amostras de quartzito quanto ao parâmetro Desgaste	74
Gráfico 18 (a) e (b): Análise das amostras de gnaiss quanto ao parâmetro Porosidade	79
Gráfico 19 (a) e (b): Análise das amostras de gnaiss quanto ao parâmetro Absorção	80
Gráfico 20 (a) e (b): Análise das amostras de gnaiss quanto ao parâmetro Densidade	80
Gráfico 21 (a) e (b): Análise das amostras de gnaiss quanto ao parâmetro Compressão	81
Gráfico 22 (a) e (b): Análise das amostras de gnaiss quanto ao parâmetro Flexão 3 Pontos ..	81
Gráfico 23 (a) e (b): Análise das amostras de gnaiss quanto ao parâmetro Dilatação na fase de resfriamento	82
Gráfico 24 (a) e (b): Análise das amostras de gnaiss quanto ao parâmetro Dilatação na fase de aquecimento	82
Gráfico 25 (a) e (b): Análise das amostras de gnaiss quanto ao parâmetro Desgaste.	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM – American Society for Testing and Materials

CFEM – Compensação Financeira de Exploração Mineral

IGC – Instituto de Geociências

LABTECROCHAS – Laboratório de Caracterização Tecnológica de Rochas com Aplicação Ornamental ou de Revestimento

NBR – Norma Brasileira

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 OBJETIVO	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 Panorama do Setor	18
3.1.1 Pesquisas no setor das Rochas Aplicadas	19
3.2 Rochas, definições e elementos formadores	21
3.2.1 Elementos formadores de rochas e principais propriedades	22
Dureza.....	23
Clivagem	24
Fratura	25
Tenacidade	26
Densidade Relativa	26
Cor	27
3.3 Tipos de rochas e suas propriedades.....	28
3.3.1 Classificação das rochas segundo processos de formação.....	28
3.3.1.1 Rochas Ígneas.....	28
3.3.1.2 Rochas Metamórficas	30
3.3.1.3 Rochas Sedimentares.....	32
3.3.2 Classificação com base na composição mineralógica.....	34
3.4 Caracterização Tecnológica	34
3.4.1 Análise Petrográfica	36
3.4.2 Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água	36
3.4.3 Dilatação Térmica Linear	38
3.4.4 Impacto de Corpo Duro	40
3.4.5 Desgaste Abrasivo Amsler	41
3.4.6 Compressão uniaxial.....	43
3.4.7 Flexão 3 pontos (Módulo de Ruptura) e Flexão 4 pontos.....	45
3.5 Relações entre ambiente, tipo de uso/ aplicação e caracterização tecnológica.....	48

4 METODOLOGIA	52
5 RESULTADOS	55
5.1 Análise dos dados em relação ao aumento da porosidade.....	55
5.1.1 Amostras de Granitos	56
5.1.2 Amostras de Quartzitos	65
5.1.3 Amostras de Gnaisses	75
5.2 Análise dos Dados em Relação a Normas e Critérios de Desempenho.....	84
5.2.1 Granitos	84
5.2.2 Quartzitos	85
5.2.3 Gnaisses	85
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	88
6.1 Amostras de Granito	90
6.2 Amostras de Quartzito	91
6.3 Amostras de Gnaiss	94
6.4 Tabela de Recomendações de Uso das Amostras Identificadas em Situação de Excepcionalidade e Atenção	95
7 CONCLUSÕES.....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
APÊNDICE A – BANCO DE DADOS DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA REALIZADOS NO LABTECROCHAS.....	103
APÊNDICE B – RESULTADOS INDIVIDUALIZADOS DOS CORPOS DE PROVA DAS 27 AMOSTRAS ANALISADAS NESTE ESTUDO	107

1 INTRODUÇÃO

As rochas são utilizadas como materiais de construção civil há bastante tempo. Ao longo da sua história nesse setor já desempenhou papel estrutural, mas devido ao desenvolvimento de outros materiais e técnicas seu uso atualmente está principalmente associado a revestimentos de pisos e paredes, bem como a elementos funcionais, como, degraus, pias e bancadas.

Por se tratar de um produto natural, os materiais pétreos, apresentam propriedades que dependem do seu ambiente de formação, da maneira como os minerais se arranjam, o que em parte determina seu padrão cromático, aspectos texturais e de estrutura da rocha. Assim, diversas são as combinações que podem ocorrer desses fatores resultando numa grande variedade de tipos. Consequentemente, as rochas apresentam comportamentos diferentes frente as solicitações de uso a que são submetidas. Dessa forma, estudar e caracterizar esse material é de suma importância para a definição do seu melhor uso, de forma a diminuir o aparecimento de manifestações patológicas, bem como, aumentar sua vida útil nas edificações. Muitos estudos sobre manifestações patológicas em revestimentos têm sido desenvolvidos, no entanto, embora exista uma grande quantidade de estudos, a ausência de normatização que oriente a aplicação dos revestimentos pétreos dificulta o trabalho de projetistas e executores de obras, bem como de profissionais que atuam com manutenção. Assim, o presente trabalho, tem como objetivo definir o emprego mais adequado para materiais pétreos, em condição de excepcionalidade e atenção, utilizados como revestimentos através do conhecimento de suas características tecnológicas e das solicitações a que estão submetidos nos diferentes tipos de uso, de modo a reduzir a ocorrência das manifestações patológicas e aumentar a vida útil do revestimento. O trabalho será desenvolvido utilizando os dados de caracterização tecnológica de rochas obtidos através da realização de ensaios no Laboratório de Caracterização Tecnológica de Rochas com Aplicação Ornamental ou de Revestimento (LABTECROCHAS) do Instituto de Geociências (IGC) da UFMG. Os dados das propriedades intrínsecas dos materiais tais como porosidade, densidade, absorção, resistência ao desgaste, dilatação térmica serão computados e analisados de forma a identificar os materiais na condição supracitada e assim sugerir uma utilização mais adequada.

2 OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é sugerir aplicações para materiais pétreos que possuem características de excepcionalidade e atenção por meio do conhecimento de suas propriedades tecnológicas e das solicitações a que podem ser submetidos nos diferentes tipos de uso, como, por exemplo, em revestimentos internos ou externos nas edificações.

Para se alcançar esse objetivo foram definidas as seguintes etapas:

- Organização de um banco de dados de amostras já ensaiadas no LABTECROCHAS-IGC-UFMG, cujos todos os parâmetros que compõem os índices de qualidade de caracterização tecnológica sejam conhecidos;
- Levantamento de correlações entre propriedades petrográficas, físicas e mecânicas das amostras do banco de dados e variações nos valores de porosidade;
- Avaliação de valores obtidos para caracterização tecnológica a partir de normas e trabalhos técnicos considerados como referências nas especificações de materiais pétreos;
- Identificação de amostras que se enquadram em situação de excepcionalidade e atenção segundo as recomendações de utilização;
- Avaliação de possibilidades de uso das amostras selecionadas com base em suas propriedades intrínsecas de forma a atender às solicitações exigidas pelo tipo de aplicação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Panorama do Setor

A produção mundial de rochas ornamentais estimada em 2019 foi de 154,5 milhões de toneladas, sendo os granitos responsáveis por 38,5% desse total, os mármore 58,0% e outros materiais como a ardósia respondem por 3,5% (MONTANI, 2020).

Ao longo dos anos tem ocorrido um aumento na utilização de rochas silicáticas (granitos), em 1926 essa relação era de apenas 10% quando comparada com os 38,5% da atualidade. A maior parcela de utilização desses materiais se deve a evolução tecnológica promovida nesse setor para extração e beneficiamento de rochas com maior dureza (BEZERRA, 2018).

Grande parte dessa produção é destinada a construção civil, que utiliza aproximadamente 75% do total da produção da indústria da pedra. Neste setor, os principais usos são pisos (30%) e revestimentos, sendo estes internos e externos (20%). Outros usos se relacionam ao setor de arte funerária, que utiliza cerca de 17,5 % do total de rochas produzidas (BEZERRA, 2018).

Os maiores produtores mundiais de rocha são a China, com quase um terço da produção global (32,4%), seguida da Índia com 17,2%, Turquia com 7,6%, Brasil com 5,3% e Itália com 3,8% (MONTANI, 2020). Já em consumo, a China é responsável por 29,5%, em segundo lugar a Índia com 8,4% e os EUA com 6,8%. O Brasil consumiu 3,3%, assumindo a posição de quinto mercado consumidor em 2017, sendo 54,2 milhões de m² equivalentes a chapas de 2 cm de espessura (BEZERRA, 2018).

No Brasil tem-se registro de 80 municípios com atividade de lavra de rochas ornamentais e de revestimento, embora pode-se observar o pagamento da compensação financeira de exploração mineral - CFEM em quase 370 municípios abrangendo praticamente todos os estados da federação (FILHO; CHIODI, 2009).

Existem cerca de 18 aglomerados produtivos de rocha ornamental e de revestimento no Brasil, sendo sua maioria localizado na região sudeste. A produção brasileira chegou a 9,2 milhões de toneladas em 2019 (ABIROCHAS, 2019) e abrange materiais como granitos e similares, mármore, travertinos, ardósias, quartzitos maciços e foliados, basaltos, gabros, serpentinitos, pedra-sabão e pedra talco, calcários, metaconglomerados polimíticos e oligomíticos, cherts, silixitos, arenitos, xistos, etc.

No Brasil há uma predominância de minas a céu aberto para exploração dos materiais pétreos, sendo 1500 frentes de lavra ativas responsáveis pela produção de aproximadamente 1000 variedades comerciais de rochas que atendem tanto o mercado interno quanto o externo (FILHO; CHIODI, 2009). Na produção nacional, quase 50% corresponde a granitos, sendo o Espírito Santo e Minas Gerais os principais polos de lavra no Brasil. O Gráfico 1 mostra o perfil da produção brasileira por tipo de rocha em 2019.

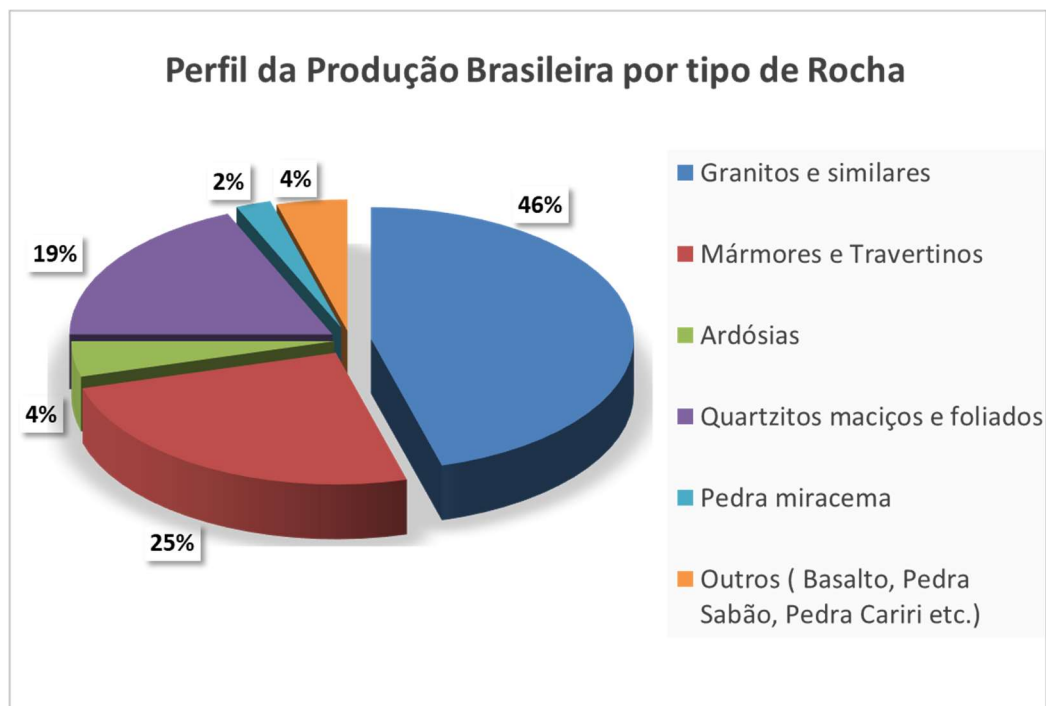


Gráfico 1: Perfil da produção brasileira por tipo de rocha

Fonte: (ABIROCHAS, 2019)

3.1.1 Pesquisas no setor das Rochas Aplicadas

A caracterização tecnológica de rochas como instrumento para escolha de materiais pétreos adotados como revestimento na construção civil foi abordada por diversos artigos, como mostrado na Tabela 1.

Alguns destes autores contribuíram, através dos dados obtidos em suas pesquisas, nas recomendações dos parâmetros da NBR 15844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a). A maioria dos trabalhos abordou a utilização de rochas graníticas, sendo a temática de caracterização tecnológica pouco discutida nos trabalhos atuais. De fato, atualmente, as pesquisas estão direcionadas ao estudo da alterabilidade dos materiais pétreos ao longo de sua utilização e das influências ambientais neste processo.

Essa tendência das pesquisas explica parcialmente o fato de que a única norma brasileira que apresenta recomendações de utilização com base nos parâmetros tecnológicos é exclusiva para o granito.

Tabela 1: Caracterização tecnológica de rochas utilizadas como revestimento na construção civil

Estudo	Autor
Definição de um índice de alterabilidade de rochas por aplicação de métodos de análise de imagem baseados na morfologia matemática binária	(AIRES-BARROS; MAURÍCIO; FIGUEIREDO, 1991)
Avaliação de rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas	(VIDAL; BESSA; LIMA, 1999)
Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento.	(FRAZÃO; FARJALLAT, 1995)
Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises das patologias associadas ao uso.	(FRASCÁ, 2002)
Correlação entre propriedades petrográfica e comportamento tecnológico e de alterabilidade das rochas ornamentais silicáticas Diamante Negro (BA), Ocre Itabira e Branco Galaxy (ES).	(PAZETO, 2011)
Geologia e potencialidade do granito Vermelho Capão Bonito (Sudoeste do Estado de São Paulo) como rocha ornamental	(BOLONINI, 2011)
Estudo das Aplicações das Variedades de um quartzo Sienito com Hiperstênio, como rochas ornamentais, com auxílio da caracterização tecnológica e das análises de cor e imagem.	(BOLONINI, 2015)
Avaliação dos “granitos” Giallo São Francisco Real, Branco Dallas e Branco Marfim, do município de Barra de São Francisco/ES para aplicação como rocha ornamental e de revestimento	(SAAR, 2013)
Considerações sobre os granitos Giallo São Francisco Real, Branco Dallas e Branco Marfim, no município de Barra de São Francisco – ES para aplicação como rocha ornamental e de revestimento	(SAAR; GODOY; BOLONINI, 2015)
Caracterização tecnológica de rocha pegmatítica visando sua utilização como rocha ornamental	(RODRIGUES <i>et al.</i> , 2018)
Applicability quality assessment of dimension stones for service in the buildings (A new approach using a mathematical model and fuzzy logic)	(HAZRATHOSSEINI; MAHDEVARI, 2018)
Characterization of physical and mechanical properties of natural stones affected by ground water under different ambient conditions	(SARIISIK; SARIISIK, 2010)
Durability Considerations in the Design of Stone Facades	(JIMENEZ, 2008)
La piedra como material de construcción: durabilidad, deterioro y conservación	(ESBERT, ROSA AND MONTOTO, MODESTO AND ORDAZ, 2012)
Stone in architecture: properties and durability	(SIEGSMUND; SNETHLAGE, 2000)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

No âmbito internacional a American Society for Testing and Materials (ASTM) é o organismo de normalização que abrange o maior número de recomendações por tipos rochosos tais como: Calcita Mármore, Dolomita Mármore, Calcário, Travertino, Arenito ($\geq 60\%$ de sílica livre), Arenito Quartzítico ($\geq 90\%$ sílica livre), Quartzito ($\geq 95\%$ sílica livre) e Granito.

Mesmo em normas internacionais, constata-se a ausência de valores referenciais numéricos para alguns parâmetros de caracterização tecnológica importantes para a

especificação dos materiais pétreos. Com o objetivo de suprir essa informação, foi realizado uma pesquisa em trabalhos técnicos, sendo encontrados dois estudos que apresentam critérios de classificação das rochas pautados numa escala que determina patamares de desempenho para as rochas. A Tabela 2 apresenta os estudos encontrados.

Tabela 2: Estudos sobre parâmetros de desempenho de rochas

Estudo	Autor
Manual de Controlo de Qualidade para Revestimentos de Fachadas em Pedra	(COSTA, 2011)
As Rochas Ornamentais e de Revestimentos	(FILHO; CHIODI, 2019)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Esses trabalhos usam dados coletados nos seus respectivos países como referência, o que permite observar algumas diferenças nos valores dos critérios de classificação. Esse fato corrobora com a premissa que preconiza a influência do local de formação das rochas tanto na composição quanto nas suas características, o que em parte, explica as diferenças encontradas em materiais que pertencem ao mesmo tipo geológico.

Logo, as rochas se tratam de materiais que apresentam considerável complexidade, vários são os fatores que influenciam nas suas características desde o local até as condições que permeiam a sua formação. Portanto, para uma melhor compreensão das características apresentadas nos parâmetros tecnológicos é necessário conhecer um pouco sobre a origem, composição e formação desses materiais. Essas informações serão apresentadas nos próximos tópicos com o propósito de auxiliar esse entendimento.

3.2 Rochas, definições e elementos formadores

Uma rocha pode ser definida como um corpo sólido natural formado por uma associação de minerais, resultante de um processo geológico determinado e que ocorre sob certas condições de temperatura e pressão (VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2013). Esses processos se desenvolvem desde profundos níveis da crosta ou do manto até a superfície da Terra e são principalmente identificados como magmatismo, sedimentação e metamorfismo (COSTA, 2017). Desses processos se originam os principais tipos de rochas existentes que são as rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. A força de ligação dos materiais que constituem as rochas está diretamente relacionada com o seu processo de formação, podendo resultar em rochas “duras” ou “brandas” (TEIXEIRA et al., 2009).

No estudo das rochas é fundamental reconhecer determinadas características, pois elas têm influências tanto na determinação do tipo e nome da rocha, quanto em suas propriedades físicas, químicas, além de aspectos visuais:

- Estrutura – aspecto geral externo, que pode ser maciço, com cavidades, orientado ou não, etc. Podem ser divididas em rochas primárias e secundárias. A estrutura das primárias é desenvolvida com a formação da rocha sedimentar ou ígnea, como a estratificação e as marcas de onda e a das secundárias são decorrentes de deformação ou metamorfismo da rocha e podem ser dobras, fraturas, xistosidades, dentre outros (WINGE, 2020).

- Textura – termo que indica a maneira que os minerais se encontram organizados em uma rocha, levando-se em conta o tamanho, a forma, os contatos e a orientação dos seus cristais. No caso das rochas ígneas, o tamanho ou a granulação dos cristais (ou grãos) e seus contatos podem ser identificados ou não a olho nu. No primeiro caso as rochas são ditas faneríticas e no segundo afaníticas (COSTA, 2021).

- Minerais constituintes – na composição mineralógica de uma rocha, é possível reconhecer os minerais essenciais (que são os mais abundantes e que determinam o nome dado à rocha), e os minerais acessórios, que podem estar ou não presentes na rocha e por conta disso não interferem na denominação, mas podem ser qualificadores. Em alguns casos as rochas podem ser formadas por cristais de um só mineral, sendo assim chamadas de monominerálicas. Essas ocorrências podem ser exemplificadas pelas seguintes rochas em condição de pureza: calcários, mármore e quartzitos (TEIXEIRA et al., 2009). Em alguns casos as rochas podem ser formadas ou conter material amorfo como o vidro vulcânico ou materiais sólidos orgânicos, como o carvão. Quando uma rocha é formada por diferentes constituintes mineralógicos ela será chamada de pluriminerálica, como por exemplo, o gnaisse, gabbro e granito. Assim, a mineralogia é a proporção relativa dos minerais na rocha, sendo descrita basicamente como essencial e acessória, sendo parte fundamental da análise petrográfica, um dos ensaios que compõe a caracterização tecnológica das rochas utilizadas nas edificações.

3.2.1 Elementos formadores de rochas e principais propriedades

Os minerais são os elementos constituintes das rochas que podem ser definidos como substância natural, inorgânica e homogênea com composição química definida e estrutura

crystalina característica (PRESS et al., 2006). Embora exista um número elevado de minerais, apenas algumas dezenas deles são comumente encontrados na maioria das rochas e por isso são classificados como minerais essenciais e formadores de rochas. As principais classes desses minerais são representadas por: silicatos, carbonatos, óxidos, sulfetos e sulfatos. (PRESS et al., 2006). Dessas classes, os silicatos constituem o maior grupo e são representados por: quartzo, feldspatos, micas, piroxênios, granadas, olivinas e outros, sendo os responsáveis pela constituição de aproximadamente 97% em volume da crosta continental (TEIXEIRA et al., 2009). Devido ao tamanho deste grupo, também é usual classificar os minerais como silicáticos (silicatados) ou não silicáticos (não silicatados). A calcita (carbonato de cálcio), por exemplo, é um dos minerais não silicáticos com abundância na crosta terrestre, juntamente com a magnetita e dolomita, que são os principais formadores das rochas calcárias e mármore (IAMAGUTI, 2001).

As condições do ambiente de formação, tais como temperatura e pressão, exercem grande influência nos minerais, sendo capazes de promover transformações que conferem outras características aos mesmos, assim, os minerais originados no interior da Terra são geralmente diferentes daqueles formados na superfície (TEIXEIRA et al., 2009).

Logo, a compreensão das rochas em termos de formação, propriedades e características está diretamente relacionada com o conhecimento dos minerais que a compõe, sendo inclusive utilizado para explicar diferenças percebidas em rochas que até podem ser do mesmo tipo, mas que apresentam feições ou propriedades diferentes. Há vários métodos de estudo para identificar os minerais, sendo que os mais comuns se utilizam da observação de suas propriedades físicas e morfológicas, que são oriundas de sua composição química e estruturas cristalinas (TEIXEIRA et al., 2009).

Dentre as propriedades dos minerais pode-se destacar algumas, que influenciam determinadas características da rocha que são de extrema importância para a correta definição dos possíveis usos da rocha na construção civil, em específico a parte que abrange a área de revestimentos. Pertencem a esse rol as seguintes propriedades: dureza, clivagem, fratura, tenacidade, densidade relativa e cor.

Dureza

A dureza é uma das mais importantes propriedades para identificação de minerais e pode ser definida como a resistência que uma superfície lisa do mineral apresenta ao ser “arranhada” (sulcada) por outro material (outro mineral, a ponta de uma faca, etc.) (BROD; MOURA, 2003).

Em 1822, Friedrich Mohs, um mineralogista austríaco, construiu uma escala baseada na facilidade com que um mineral rascar o outro (Tabela 3). Assim num extremo da escala tem-se o mineral mais mole (talco), e no outro, o mais duro (diamante). Sendo até os dias atuais uma boa ferramenta para identificação de minerais de forma prática (PRESS et al., 2006).

Tabela 3: Escala de dureza de Mohs

Escala de dureza de Mohs	Mineral	Objeto de Comparação	Tipos de Minerais
1	Talco	-	Moles
2	Gipsita	Unha (2,5)	
3	Calcita	Alfinete (3,5)	
4	Fluorita	-	Semiduros
5	Apatita	Lâmina de aço (5 - 5,5)	
6	Ortoclásio	-	
7	Quartzo	Porcelana (7)	
8	Topázio	-	Duros
9	Coríndon	-	
10	Diamante	-	

Fonte: Adaptado (FRASCA, 2015).

Dessa forma, conhecendo-se a composição mineralógica e suas proporções numa determinada rocha, além de se levar em consideração as informações da escala de Mohs, é possível fazer uma melhor seleção dos materiais pétreos que podem ser utilizados para diversas finalidades como piso, por exemplo. Uma vez que, esse uso, pressupõe que esses materiais estão sujeitos ao desgaste abrasivo provocado principalmente pelo mineral quartzo, que pode estar presente no solado dos calçados dos usuários do piso, tendo em vista que esse mineral é bastante abundante na crosta terrestre. Assim, rochas como esteatitos (pedra sabão) e serpentinitos, são ricas em talco / serpentina, sendo mais suscetíveis a grandes desgastes quando utilizadas nessas condições. Por outro lado, rochas com uma composição mineralógica com uma maior quantidade de quartzo, como granitos e gnaisses apresentam maior resistência para essa situação. Sendo portanto, mais indicadas para esse uso (IAMAGUTI, 2001).

Clivagem

Clivagem é uma característica do mineral em se romper produzindo superfícies planas

definidas e paralelas entre si. Essas superfícies planas são denominadas planos de clivagem ou superfície de clivagem (NARDY, 2010). Os minerais podem apresentar uma ou mais superfícies de clivagem, nomeadas segundo sua orientação com referência a faces de sólidos geométricos (clivagem cúbica, clivagem romboédrica, etc.) (TEIXEIRA et al., 2009). Assim, pode-se considerar que a clivagem confere ao mineral potenciais pontos de fraqueza, pois são pontos que apresentam maiores possibilidades de rompimento.

As micas, como por exemplo a moscovita, que é mineral silicático com estruturas em folhas, quebra-se ao longo de superfícies planares, paralelas e lustrosas. Esse fato, permite a moscovita ter sua espessura reduzida a folhas de menos de 1 mm, sendo separada pelos seus planos de clivagem. A excelente clivagem das micas é resultante da fraqueza das ligações entre as camadas de cátions alternadas com folhas de tetraedros de sílica, formando “sanduíches” (PRESS et al., 2006).

Um outro mineral também do grupo das micas, a biotita, presente em alguns tipos de granito, apresenta planos de clivagem bem desenvolvidos. Assim, quando este material é submetido ao atrito, quando assentado no formato de piso, as biotitas tendem a se desgastar com maior velocidade que os outros minerais que compõem o granito (quartzo, feldspato, etc.) e podem levar a irregularidades na superfície das placas desse material, pelo seu desgaste prematuro.

Além disso, minerais que apresentam grandes coeficientes de dilatação e clivagens bem desenvolvidas, podem representar pontos de maior incidência de infiltração, principalmente quando submetidas a grandes variações térmicas, uma vez que as sucessivas dilatações e contrações destes minerais enfraquecem progressivamente a trama da rocha, ocasionando um aumento considerável na possibilidade de manchamentos, uma vez que a perda dessa trama facilita a fixação de sujeiras na subsuperfície da rocha (IAMAGUTI, 2001).

Assim, a clivagem nos minerais pode ser extremamente danosa para a integridade física da rocha restringindo o uso e aplicação dos materiais que a possuem. A maioria dos minerais não possui clivagem, porém quando presente ela serve como critério para diagnóstico para possíveis manifestações patológicas (NARDY, 2010).

Fratura

Fratura pode ser denominada como a superfície irregular e curva resultante da quebra de um mineral não relacionada com os planos de clivagem (PRESS et al., 2006). Assim como na clivagem, minerais fraturados podem comprometer a trama da rocha, sendo possível o seu

arrancamento por atrito e também um canal para infiltração na rocha. Um exemplo de mineral que pode apresentar fraturas é a granada, de aspecto avermelhado, pode ser encontrado em algumas variedades de granitos, gnaisses e migmatitos. Portanto, as restrições de uso neste caso, abrangem áreas de intenso tráfego ou sujeitos a impactos (IAMAGUTI, 2001).

Tenacidade

Tenacidade pode ser definida como a resistência que um mineral oferece ao ser rompido, esmagado, curvado ou rasgado, etc. A tenacidade apresenta diversos tipos como: quebradiço, maleável, séctil, dúctil, flexível, elástico, tenaz, frágil e friável. Para o estudo específico dos materiais pétreos usados como revestimentos, alguns desses tipos despertam maior interesse, devido aos minerais formadores de rochas apresentarem essas características. A calcita é um exemplo de mineral quebradiço, que se pulveriza ou se rompe facilmente. Já a clorita e o talco são minerais flexíveis ou plásticos, que podem ser curvados, mas não retornam a sua forma anterior. No entanto, se retorna a forma anterior é dito mineral elástico, como por exemplo a muscovita. Enquanto um mineral tenaz apresenta grande resistência para ser fragmentado como o quartzo (NAVARRO et al., 2021).

Densidade Relativa

Densidade Relativa é um número adimensional que expressa a relação entre o peso de um mineral e o peso do mesmo volume de água a 4°C. Essa propriedade é característica para cada mineral e depende principalmente dos átomos que o constituem (composição química) e da maneira pela qual estes elementos estão arranjados na estrutura cristalina do mineral (SANTOS, 2015). Esses dois fatores podem ser verificados ao se comparar minerais com estrutura cristalina semelhante, mas composição química distinta e vice-versa. Como por exemplo, na classe dos carbonatos os minerais aragonita (CaCO_3) e cerussita (PbCO_3) é possível verificar um aumento da densidade relativa de 2,95 para 6,55, respectivamente. Neste caso, a densidade relativa aumenta devido ao aumento do peso atômico do cátion. Em minerais com mesma composição química como a grafita e o diamante, também se verifica um aumento da densidade relativa de 2,2 para 3,5, sendo o diamante mais denso devido ao tipo de arranjo cristalino. Embora os minerais apresentam uma gama de valores de densidade bastante ampla, é possível perceber diferenças entre os seus grupos, o que pode facilitar a identificação em alguns casos. Assim, os minerais metálicos apresentam maiores densidades que os não

metálicos, sendo a densidade média dos minerais não metálicos situada entre 2,65 e 2,75. A densidade do quartzo ($d= 2,65$), dos feldspatos ($d = 2,60 - 2,75$) e da calcita ($d=2,71$) se encontram nesta faixa , pois estes são os minerais não metálicos mais abundantes. Em relação aos minerais metálicos a média da densidade é 5,0, pois a pirita é o representante mais abundante desse grupo (BROD; MOURA, 2003).

Cor

A cor dos minerais é uma propriedade complexa e ainda não totalmente compreendida (PRESS et al., 2006). No entanto, algumas premissas são conhecidas, como a de que a cor de um mineral resulta da absorção seletiva da luz. Os principais fatores que colaboram para essa seleção são a presença de elementos químicos de transição (ferro, cobre, níquel, cromo, vanádio, etc.) na composição química do mineral, os defeitos na sua estrutura atômica, e a presença de diminutas inclusões de minerais dispersas através dos cristais. Devido a esses e outros fatores é possível identificar apenas alguns minerais pela cor, pois a cor é fixa e pouco variável, como por exemplo o enxofre (amarelo), malaquita (verde), azurita (azul). Assim, eles recebem a classificação de idiocromáticos, já outros tem uma ampla variação de cor e são chamados alocromáticos, como por exemplo a fluorita, calcita, turmalina e quartzo que ocorrem em muitas cores (TEIXEIRA et al., 2009).

Cabe salientar que a maioria dos minerais metálicos apresenta coloração constante, contudo devem ser observadas em superfícies frescas, pois as alterações superficiais podem mudar a cor do mineral, mesmo naqueles em que a cor é constante. Assim, a bornita que em superfície fresca exibe coloração bronze parda, pode apresentar variações para azul e lilás, e o cinza chumbo da galena pode escurecer e perder o brilho em superfícies alteradas. Ao contrário dos minerais metálicos, a maioria dos minerais não metálicos apresenta variações em suas colorações. Predominam variações restritas relacionadas com variações composicionais como, por exemplo, os plagioclásios (branco nos sódicos a cinza escuro nos cálcicos) as granadas (vermelho a marrom), os piroxênios (branco ou bege nos magnesianos a verde ou marrom escuro nos ferrosos), os anfibólios (branco ou verde claro nos magnesianos a verde escuro a preto nos ferrosos). A substituição progressiva do zinco pelo ferro na esfalerita provoca variações em sua coloração, do branco, passando pelo amarelo e castanho até preto (SANTOS, 2015).

3.3 Tipos de rochas e suas propriedades

As rochas podem ser individualizadas pelos processos genéticos e classificadas do ponto de vista químico e mineralógico. Essa diferenciação auxilia na identificação de materiais pétreos que apresentam características semelhantes permitindo a formação de grupos ou classes de rochas.

3.3.1 Classificação das rochas segundo processos de formação

Em linhas gerais há três grandes grupos de rochas que são classificados segundo critérios de formação: rochas ígneas, metamórficas e sedimentares.

3.3.1.1 Rochas Ígneas

As rochas ígneas são formadas a partir da solidificação de um complexo líquido pastoso composto de uma mistura de elementos tais como: oxigênio, silício, ferro, cálcio, sódio, potássio e magnésio, sendo normalmente encontrados na forma de óxidos. Esse precursor de rocha é denominado magma, e pode se originar tanto no interior da crosta terrestre quanto no próprio manto (GONÇALVES; CARNEIRO, 2007).

Há três principais tipos de magma que são classificados com base no teor de sílica presentes em sua constituição, conforme mostrado no Quadro 1.

Um mesmo tipo de magma pode originar diferentes tipos de rochas por meio de processos de diferenciação magmática. Outros fatores também ocasionam alterações nas rochas, um deles é a velocidade de solidificação. Assim, um maior tempo de resfriamento/solidificação proporciona um tempo adequado para o crescimento de cristais, o que confere a rocha uma maior granulação. Dessa maneira, rochas de menor granulação indicam uma solidificação mais rápida, que não permite o desenvolvimento pleno dos cristais (PRESS et al., 2006).

Essas observações permitiram a classificação das rochas ígneas em dois grupos, as intrusivas que se resfriam mais lentamente e em maiores profundidades e as extrusivas que apresentam granulometria menor, por se resfriarem em menores profundidades e mais rapidamente.

Tipo de Magma	Basáltico	Andesítico	Riolítico
Características	Contém cerca de 50% de SiO ₂ e uma pequena quantidade de gases dissolvidos	Contém cerca de 60% de SiO ₂ e bastante gases dissolvidos	Contém cerca de 70% de SiO ₂ e grande quantidade de gases dissolvidos
Composição Química	<p> ■ Al₂O₃ ■ MgO + CaO ■ FeO + Fe₂O₃ ■ Na₂O + K₂O ■ Outros </p>		
Rochas resultantes da sua consolidação	Gabro	Diorito	Granito
	Basalto	Andesito	Riolito

Quadro 1: Tipos de magmas

Fonte: Adaptado (TEIXEIRA et al., 2009)

O Quadro 2 mostra alguns exemplos de rochas de mesma composição química e granulometria diferentes.

Rochas Intrusivas	Rochas Extrusivas
Granito	Riolito
Granodiorito	Dacito
Sienito	Traquito
Diorito	Andesito
Gabro	Diabásio, Basalto
Peridotito	Komalito

Quadro 2: Tipos de rochas ígneas

Fonte: Adaptado de (IAMAGUTI, 2001)

As rochas ígneas também podem ser classificadas com base em sua composição química e no teor de alguns minerais, algumas delas são destacadas no Quadro 3. As rochas ígneas são as rochas de maior abundância no planeta. Logo, compreender sua composição química e mineralógica são fatores que fornecem subsídios para entender a história evolutiva das rochas e as suas principais características.

Classificação das Rochas Ígneas					
Teor de Sílica		Teor de Minerais Máficos e Félsicos		Teor de Feldspato	
Nomenclatura	Percentual de SiO ₂	Nomenclatura	Proporção de Máficos	Nomenclatura	Feldspato potássico / Plagioclásio
Ácida	>65	Félsica	< 15%	Potássica	≥ 2/3
Intermediária	52 a 65	Intermediária	15 a 35%	Cálcio- Potássica	~1
Básica	42 a 52	Máfica	35 a 90%	Sódico-cálcica (Plg An <50)	≤ 1/3
Ultrabásica	< 45	Ultramáfica	>90%	Cálcio-sódica (Plg An >50)	≤ 1/3

Quadro 3: Classificação das rochas ígneas

Fonte: Adaptado (NAVARRO et al., 2021)

3.3.1.2 Rochas Metamórficas

As rochas metamórficas, são rochas formadas a partir de outras rochas pré-existentes que passam por processos de metamorfismo, provocados principalmente por aumentos de pressão e temperatura que podem alterar tanto as propriedades físicas, químicas e mineralógicas da rocha. Essas alterações tem a possibilidade de promover a recristalização de minerais preexistentes, a mudança na textura (tamanho e arranjo dos grãos) da rocha e cristalização de novos minerais por recombinação de elementos químicos. De maneira geral, isso ocorre como resultado de soterramento profundo, que coloca a rocha em condição adversa aquela onde foi originalmente formada, sendo bastante comuns em regiões de colisão continental e subducção de placas tectônicas, que envolvem formação de cadeias de montanhas (orogênese).


As rochas anteriores ao processo de metamorfismo são denominadas protólitos, e podem ser de natureza magmática, metamórfica ou sedimentar. Algumas estruturas da rocha metamórfica podem ser desenvolvidas em decorrência do metamorfismo, sendo chamadas de estruturas secundárias, outras são anteriores a esse processo, ou seja, já eram presentes no protólito e são chamadas estruturas primárias (PRESS et al., 2006). Assim, quanto maior o

grau do metamorfismo maior será a presença de estruturas secundárias, uma vez que rochas de menor grau metamórfico tendem a preservar estruturas similares da rocha original.

A estrutura secundária pode ser classificada como foliada (rocha orientada) e não foliada (rocha maciça). A foliação resulta da orientação preferencial dos minerais devido à recristalização de minerais na presença de tensão diferencial (pressão dirigida). Os principais tipos de foliação desenvolvidos pela orientação preferencial dos minerais são:

- Clivagem (de rocha): separação da rocha de granulação muito fina segundo planos paralelos.
- Xistosidade: definida pela reorientação de minerais pré-existentes e/ou cristalização orientada de novos minerais, especialmente os micáceos, segundo uma determinada direção. Caracteriza-se por uma intensa anisotropia planar e é aplicada para rochas de granulação maior.
- Estrutura ou bandamento gnáissico: estrutura planar caracterizada por cristalização orientada e segregação de minerais metamórficos individualizados a olho nu, em bandas definidas (SALAMUNI, 2007).

Os principais tipos de rocha metamórfica e seus protólitos são apresentados no Quadro 4.

Protólito	<div style="text-align: center;"> 200°C Aumenta o grau do metamorfismo 800°C  </div>				
	Conglomerado	Metaconglomerado		-	-
Arenito	Quartzito de baixo grau		Quartzito de alto grau		-
Lamito (folhelho)	Ardósia	Filito	Xisto (micaxisto)	Gnaiss (paragneiss)	Migmatito
Calcário	Calcário Metamórfico		Mármore		-
Carvão	Antracito		Grafite	-	-
Granito	-	-	-	Gnaiss	-
				(Ortogneiss)	Migmatito
Basalto	-	Xisto Verde	Xisto Azul	Eclogito	-
Basalto rico em olivinas	-	Serpentinó	Esteatito (pedra sabão)	Anfibolito	-

Quadro 4: Principais rochas metamórficas e seus protólitos

Fonte: Adaptado (FLORIANO, 2021)

3.3.1.3 Rochas Sedimentares

Rochas sedimentares são formadas pela deposição e compactação de diversos tipos de sedimentos ao longo de milhões de anos. Esses sedimentos, podem ser minerais isolados provenientes de rochas intemperadas, fragmentos de rochas com um ou mais minerais constituintes, minerais gerados a partir de processos pedogenéticos, restos de animais e plantas e outros (NAVARRO et al., 2021).

O principal agente formador de sedimentos é o intemperismo, sendo esse um conjunto de modificações de ordem física (desagregação) e química (alteração ou dissolução de minerais) que as rochas sofrem ao aflorarem na superfície da Terra.

Os sedimentos podem ser formados em diversas condições e ambientes e por isso são classificados em relação a sua origem:

- Sedimentos detríticos ou clásticos: são fragmentos de dimensões variadas que vão desde matacão e seixo até areia, silte e argila. Como a maior parte desses sedimentos provém de rochas silicáticas, também são chamados de siliciclásticos.
- Sedimentos químicos: são formados pela precipitação de produtos previamente dissolvidos pela ação do intemperismo e representados por íons ou moléculas em solução nas águas dos solos, rios, lagos e oceanos.
- Sedimentos bioquímicos: constituem-se de restos não dissolvidos de organismos, como conchas, assim como de minerais precipitados por processos biológicos (PRESS et al., 2006).

A partir da classificação dos sedimentos se torna possível classificar as rochas sedimentares, que são divididas em rochas clásticas e não clásticas (químicas e bioquímicas).

As rochas sedimentares clásticas correspondem a 75% de todas as rochas sedimentares do planeta (PRESS et al., 2006). Assim como os sedimentos, elas podem ser classificadas pelo tamanho de suas partículas de acordo com Quadro 5.

Dentro do grupo das rochas clásticas existem outros tipos de classificações que são baseadas por exemplo na composição mineralógica, levando a outras subdivisões. Assim, há arenitos que são constituídos basicamente de grãos de quartzo e são denominados quartzarenitos ou arenitos puros, enquanto outros podem conter conteúdos altos em feldspatos, como as grauvacas e os arcósios, que também podem ser identificados como arenitos feldspáticos.

Tamanho da partícula	Sedimento	Rocha
Grosso	Cascalho	Conglomerado Brechas
> 256 mm	Matacão	
256 – 64 mm	Calhau	
64 - 2 mm	Seixo	Arenito
Médio	-	
2 - 0,062 mm	Areia	Silito Lamito Folhelho Argilito
Fino	Lama	
0,062 – 0,0039 mm	Silte	
< 0,0039 mm	Argila	

Quadro 5: Rochas sedimentares e classes de sedimentos clásticos

Fonte: Adaptado de (PRESS et al., 2006)

No caso dos arcósios esse conteúdo pode significar 25% da sua composição. Já as rochas não clásticas têm origem química, quando se formam por precipitação de substâncias dissolvidas na água com presença de microrganismos e nesses casos podem resultar na formação de calcários e chert. Se houver evaporação pode resultar na formação de sal-gema e gesso. Mas existe também a possibilidade de uma origem biológica por acúmulo de materiais orgânicos provenientes de seres vivos e assim se formam os calcários coralinos e os coníferos, assim como o carvão. Assim como as rochas clásticas, as não clásticas também têm sua classificação associada ao tipo de sedimentos, conforme mostrado no Quadro 6.

A rocha de maior abundância entre as não clásticas é formada pela precipitação do carbonato de cálcio na forma de bicarbonato e é identificada como um calcário. Essas rochas podem ser constituídas predominantemente por calcita (carbonato de cálcio) e/ou dolomita (carbonato de cálcio e magnésio), mas podem também conter impurezas tais como matéria, orgânica, silicatos, fosfatos e sulfatos dentre outros (CAMPELLO, 2017).

Tipo Sedimento	Composição Química	Rocha
Bioquímico	Areia e lama (originalmente bioclásticos) – carbonato de cálcio	Calcário
Bioquímico	Sedimentos Silicosos - sílica	Sílex
Bioquímico	Matéria Orgânica ,Turfa – compostos de carbono	Carvão Mineral
Químico	Originalmente não sedimentar (formado por diagênese) - carbonato de magnésio e cálcio	Dolomito
Químico	Sedimento de óxido de ferro – silicato de ferro	Formação Ferrífera
Químico	Sedimento evaporítico – cloreto de sódio; sulfato de cálcio	Evaporito
Químico	Originalmente não sedimentar (formado por diagênese) - fosfato de cálcio	Fosforito

Quadro 6: Rochas sedimentares e sedimentos químicos e bioquímicos

Fonte: Adaptado de (PRESS et al., 2006)

3.3.2 Classificação com base na composição mineralógica

Os materiais pétreos já identificados segundo sua gênese também podem ser agrupados segundo sua composição mineralógica, sendo utilizada a predominância quantitativa de uma determinada classe mineral como critério nesta classificação (VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2013), conforme mostrado no Quadro 7.

Classificação da Rocha	Descrição	Exemplo
Silicáticas	Formadas basicamente de quartzo, feldspato, micas e anfibólios	Granito, Xisto, Pegmatito
Silicosas	Predominante formadas por sílica. São rochas que possuem alta resistência mecânica e maior durabilidade.	Quartzito, Metaconglomerado
Carbonáticas	Rochas que têm o carbonato de cálcio como principal componente. Possuem boa resistência, mas a durabilidade é média em relação às silicosas.	Mármore, Travertino, Calcário
Sílico-Argilosas	Constituídas essencialmente por minerais filossilicatos (sericita), apresentam granulação muito fina, além de clivagem ardosiânica.	Ardósia
Ultramáficas	São rochas ígneas com um teor de sílica muito baixo, geralmente com teor alto de FeO e baixo em K e Na, além de apresentarem mais de 90% de minerais máficos.	Serpentinito, Esteatito (pedra sabão)

Quadro 7: Classificação mineralógica das rochas

Fonte: Adaptado (FILHO; RODRIGUES, 2020)

3.4 Caracterização Tecnológica

A caracterização tecnológica é realizada através dos ensaios de análise petrográfica, índices físicos (que compreendem os parâmetros de massa específica aparente, absorção d'água e porosidade aparente), desgaste amsler (atrído), dilatação térmica linear, resistência ao impacto, compressão uniaxial, módulo de resistência à flexão, ensaios de alterabilidade ou de resistência ao ataque químico. A caracterização tecnológica objetiva obter os parâmetros físicos, mecânicos e petrográficos dos materiais *in natura*, que permitirão qualificar a rocha para uso no revestimento de edificações.

A maior parte desses ensaios procura representar as diversas solicitações às quais a rocha estará submetida desde sua extração até seu uso final, compreendendo os processos de beneficiamento tais como esquadrejamento e serragem dos blocos em chapas, polimento, lustro e recorte em ladrilhos, etc.

No Brasil existe um conjunto de normas técnicas que regulamentam o processo de caracterização tecnológica das rochas adotadas como revestimentos e especifica suas propriedades físicas e mecânicas. Parte dessa padronização tem correlação com várias normas internacionais, como apresentado na Tabela 4.

Essa universalização de procedimentos é de suma importância, pois confere um conjunto de informações comuns a toda cadeia de produção e consumo, garantindo um melhor aproveitamento das peculiaridades que os produtos naturais oferecem. No entanto, a especificação de uma escala de valores, máximos e mínimos para propriedades específicas nos diferentes materiais rochosos tem sido um desafio no Brasil, que possui apenas a NBR 15844 como guia para os profissionais que utilizam esses materiais. Dessa forma, frequentemente é necessário, recorrer a normas internacionais como a ASTM C503 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2015a), a ASTM C568 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2003), e outras, para suprir as necessidades de informação para utilização de outros tipos de rocha.

Tabela 4: Correlação de ensaios de caracterização tecnológica com normas técnicas

Ensaio Laboratorial		Normas dos Ensaio	
		Brasileiras	Internacionais
Propriedades Físicas	Análise petrográfica	NBR 15845-1	EN 12407
			ASTM C1721
	Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água	NBR 15845-2	ASTM C97
			EN 1936
			EN13755
	Dilatação térmica linear	NBR 15845-3	EN 14581
	Impacto de corpo duro	NBR 15845-8	EN 14158
Desgaste abrasivo	NBR 12042	EN 14157	
Propriedades Mecânicas	Compressão uniaxial	NBR 15845-5	ASTM C170
			EN 1926
	Módulo de ruptura Flexão 3 pontos	NBR 15845-6	ASTM C99
			EN 12372
	Flexão 4 Pontos	NBR 15845-7	ASTM C880
ASTM C120			
			EN 13161

Fonte: (FRASCÁ; RODRIGUES, 2019)

3.4.1 Análise Petrográfica

A análise petrográfica consiste na observação de seções delgadas da rocha (com espessura de 30 μm) com a utilização de um microscópio petrográfico. Por meio dessa análise é possível determinar quais e os conteúdos dos minerais presentes, divididos entre essenciais, e acessórios, no caso das ígneas, e entre primários e secundários (COSTA, 2021).

Um dos objetivos da análise petrográfica é a classificação da rocha, sendo necessário a descrição macroscópica (estruturação, cor, estado geral de sanidade) e microscópica (mineralogia, textura, granulação) de forma a observar características como alterações, deformações, padrões de microfissuramento e outros (IAMAGUTI, 2001).

A identificação desses atributos são importantes, uma vez que permitem esclarecer as diferenças de propriedades entre rochas semelhantes, diagnosticar e caracterizar deteriorações, estimar a durabilidade do material e prever seu comportamento mecânico (VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2013). A Figura 1 ilustra o microscópio do LABTECROCHAS utilizado para a realização da análise petrográfica.



Figura 1: Microscópio utilizado para realização de análise petrográfica do LABTECROCHAS

Fonte: (LABTEC ROCHAS, 2012)

3.4.2 Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água

A densidade aparente é uma relação entre a massa da rocha e seu volume aparente, esse parâmetro é um indicativo da sanidade do material, tendo em vista que rochas alteradas possuem densidade menor que aquelas em condições normais (rocha sã). Por outro lado, rochas com densidade superiores indicam maior resistência, mas podem representar um acréscimo de peso para determinados tipos de utilização e impactos nos custos das estruturas de ancoragem.

Porosidade aparente é o volume de espaços vazios (poros) de uma rocha, sendo determinada pela razão entre a massa seca e massa saturada em água, em porcentagem. Esta propriedade não permite determinar, de maneira isolada, se a rocha apresenta baixa absorção ou se ela é impermeável, pois estes parâmetros se relacionam com a permeabilidade, que é a intensidade do fluxo de fluido através da rocha, que depende de uma maior ou menor conexão entre os espaços vazios. Esta conexão pode ser direta, onde os poros se interconectam diretamente, e indireta, onde o contato entre os poros é feito através de microfraturas. Logo, o grau de fraturamento e a disposição espacial (orientada ou não) das fraturas, características determinadas pela análise petrográfica, são fatores fundamentais para a porosidade, além da granulação, textura e sanidade da rocha (IAMAGUTI, 2001).

A absorção de água é a relação entre a massa seca e o volume de água absorvido pela rocha, este parâmetro também se relaciona com o sistema poroso do material, que é responsável por sua permeabilidade. O procedimento deste ensaio é descrito pela NBR 15845-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b) e requer 10 corpos de prova em formato cúbico de aresta de aproximadamente 7,0 cm. Inicialmente as amostras são secas em estufa por 24 horas a 70°C, posteriormente são pesadas e o peso anotado é denominado massa seca. Em outro estágio, esse conjunto é colocado em imersão em água de forma escalonada, respeitando intervalos de 4 horas entre as adições de água até sua total submersão. Após respeitado o tempo de imersão de 48 horas o conjunto é pesado, onde se obtém a massa saturada e depois pesado em balança com dispositivo de pesagem hidrostática, para obtenção do peso submerso. Através dos parâmetros de massa seca, massa submersa e peso submerso são calculados os parâmetros de densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água. As Equações 1, 2 e 3 apresentam as fórmulas matemáticas utilizadas para cálculo da densidade e porosidade aparente e da absorção de água e as Figuras 2 e 3 apresentam, respectivamente, amostras imergidas em água para saturação e pesagem após o período de saturação.

$$\rho_a = \frac{M_{sec}}{M_{sat} - M_{sub}} \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

Equação 1: Fórmula para cálculo da densidade aparente

$$\eta_a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 100 (\%)$$

Equação 2: Fórmula para cálculo da porosidade aparente

$$a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} \times 100 (\%)$$

Equação 3: Fórmula para cálculo do % de absorção de água

Onde:

ρ_a = Densidade aparente (kg/m^3)

η_a = Porosidade aparente

a = Absorção de água

M_{sec} = Massa seca (g).

M_{sat} = Massa saturada (g).

M_{sub} = Massa submersa (g).



Figura 2: Amostras imergidas em água para saturação

Fonte: Autor.



Figura 3: Amostras para pesagem após o período de saturação

Fonte: (LABTECROCHAS, 2012)

3.4.3 Dilatação Térmica Linear

A maioria dos materiais apresentam variações nas dimensões dos corpos quando submetidos a variações de temperatura, visto que ao serem aquecidos se expandem e quando resfriados tendem a se contrair. O coeficiente de dilatação térmica linear é a constante de proporcionalidade para a variação de comprimento, sendo de fundamental importância o seu conhecimento para definir a espessura das juntas que serão utilizadas no processo de assentamento de materiais pétreos.

Quanto maior o coeficiente de dilatação térmica linear maiores são as variações em seu comprimento, o que pode refletir, no caso das rochas, em uma fadiga e posterior enfraquecimento da trama do material rochoso, ocasionando uma perda de resistência e aumento de infiltrações. No caso de rochas que apresentam estrutura planar, o processo de repetidas expansões e contrações pode levar ao destacamento de leitos rochosos com espessura

milimétricas, paralelas a essas estruturas (esfoliação, destacamento, escamamento) (IAMAGUTI, 2001).

A determinação do coeficiente de dilatação térmico linear pode ser realizada seguindo os parâmetros da NBR 15845-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015c) que especifica o uso de um dilatômetro e 2 corpos de prova com 9,0 cm de comprimento e 3,0 cm de diâmetro. Com os dados obtidos no ensaio e a fórmula apresentada na Equação 4 é possível calcular o coeficiente de dilatação térmico linear.

$$a = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T}$$

Equação 4: Fórmula para cálculo do coeficiente de dilatação térmico linear

Onde:

a = Coeficiente de dilatação térmica linear

ΔL = Variação do comprimento (m)

ΔT = Variação da temperatura (°C)

L_0 = Comprimento inicial (m)

No equipamento é possível aquecer e resfriar a água de forma escalonada de forma a evitar variações bruscas de temperatura o que pode provocar a histerese do material, uma vez que a composição das rochas inclui minerais que apresentam dilatações diferenciadas, o que pode levar ao aparecimento de microfaturamentos (IAMAGUTI, 2001). A Figura 4 ilustra o equipamento utilizado para o ensaio de dilatação térmica linear disponível no LABTECROCHAS.



Figura 4: Equipamento utilizado para o ensaio de dilatação térmica linear.

Fonte: Autor.

3.4.4 Impacto de Corpo Duro

A tenacidade de uma rocha pode ser definida como a maior ou menor capacidade de suportar uma ação mecânica instantânea seja um golpe ou impacto, e está relacionada com a estrutura e textura da rocha e do arranjo interno dos minerais (SOUZA RODRIGUES, 2017).

Dessa forma, o ensaio de impacto de corpo duro permite avaliar a tenacidade do material pétreo através da queda de uma esfera de aço de 1 kg em alturas com intervalos progressivos de 5 cm, a partir da altura mínima de 20 cm, até ocorrer a ruptura ou fissuração do corpo de prova analisado e com posterior anotação da altura em que ocorreu esse evento, conforme orienta a NBR 15845-8 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015d). A Equação 5 apresenta a fórmula matemática apresentada na NBR 15845-8 para cálculo da energia de ruptura no ensaio de impacto de corpo duro.

$$w = m \times g \times h$$

Equação 5: Fórmula para cálculo da energia de ruptura no ensaio de impacto de corpo duro

Onde:

w = Energia de ruptura (J)

m = Massa da esfera (kg)

g = Aceleração da gravidade (m/s^2)

h = Altura de ruptura (m)

Logo, quanto menor o valor da energia de ruptura menor será a resistência ao impacto do material. Assim, cuidados em relação ao transporte, estocagem e instalação para evitar danos as placas de rochas feitas a partir de materiais com perfis menos resistentes se tornam indispensáveis. A Figura 5 ilustra o equipamento utilizado para a realização do ensaio de impacto de corpo duro e a Figura 6 detalha a ruptura do corpo de prova após realização do ensaio.



Figura 5: Equipamento utilizado para o ensaio de impacto de corpo duro

Fonte: (CASTILHO, 2018)



Figura 6: Detalhe da ruptura do corpo de prova

Fonte: (CASTILHO, 2018)

3.4.5 Desgaste Abrasivo Amsler

A determinação de desgaste abrasivo Amsler consiste na medição da redução de espessura (mm) que placas de rocha apresentam após um percurso de 1.000m, com uso de areia essencialmente quartzosa como abrasivo. O equipamento utilizado é denominado Máquina Amsler, que é composto por um disco de ferro fundido circular que serve como percurso para os corpos de prova (2 placas de 7,0 cm x 7,0cm x 5,0 cm), bem como dois silos de armazenamento do material abrasivo (areia quartzosa padronizada com granulometria de 0,3mm). Há dois porta amostras que acomodam os corpos de prova com uma leve pressão, para manter os mesmos aderidos ao disco de ferro fundido. A aferição do percurso é feita por um contador de voltas, no qual é possível estabelecer a distância percorrida ao longo desse processo. A medição da espessura das placas é feita através de um extensômetro que tem a precisão de mm. As placas tem suas medidas aferidas antes do processo, no meio do percurso (500m) e no final ao completar os 1000m do trajeto. Os resultados relativos a 500m e 1000m de percurso são obtidos respectivamente pela diferença entre a leitura final e a leitura intermediária, e pela diferença entre a leitura final e a leitura inicial. Assim, através de médias aritméticas são determinados os desgastes obtidos no meio e ao final das distâncias percorridas

pelos corpos de prova. No Brasil a NBR 12042 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012) regulamenta os procedimentos para este ensaio.

Esse parâmetro se destina a materiais que serão utilizados como pisos. Assim, o ensaio em laboratório tem como princípio a simulação de esforços abrasivos exercido pelo tráfego de pessoas e veículos. É também um parâmetro de dureza do material, uma vez que o agente abrasivo tem dureza próximo de 7 (Escala de Dureza Mohs), possibilitando estabelecer conclusões sobre a constituição mineralógica.

Logo, rochas ricas em quartzo como os granitos apresentam menor desgaste abrasivo devido à dureza do material, enquanto rochas como mármore, apresentam menor resistência por serem constituídas de minerais com baixa dureza.

Quando esses parâmetros não são observados nos processos de especificação dos materiais ocorre a perda de brilho das placas, bem como a escoriação da superfície. Nos casos de desgastes excessivos percebe-se diminuição da espessura da placa formando desníveis nas áreas de tráfego preferenciais do pavimento. A Figura 7 ilustra o equipamento utilizado para o ensaio do desgaste abrasivo Amsler, a Figura 8 apresenta o extensômetro – ferramenta utilizada para medir a variação da espessura do corpo de prova no processo abrasivo e a Figura 9 mostra o dispositivo utilizado para a determinação do percurso (em metros) através da contagem do número de voltas. A realização do ensaio demanda todos estes instrumentos.



Figura 7: Equipamento utilizado para o ensaio de desgaste Amsler.

Fonte: Autor.



Figura 8: Extensômetro

Fonte: Autor.



Figura 9: Contador de Voltas

Fonte: Autor.

3.4.6 Compressão uniaxial

A resistência à compressão uniaxial tem como propósito determinar a tensão de ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos. Dessa forma, é possível avaliar a integridade física da rocha para utilização como revestimentos e também sua capacidade de resistência quando utilizada para função estrutural nas edificações, sendo que a utilização estrutural tem sido cada vez menos adotada, devido ao surgimento de materiais como o concreto armado.

Algumas características das rochas influenciam diretamente sua resistência mecânica e permitem antecipar o seu comportamento diante de diversas solicitações de carga ou esforços. Dentre essas características pode-se destacar:

- Estrutura: a orientação mineral decorrente das deformações tectônicas de parte das rochas metamórficas e a estratificação presente em algumas rochas sedimentares configuram anisotropia a esses materiais. Logo, há uma variação espacial das propriedades mecânicas conforme o plano de aplicação dos esforços, seja ele perpendicular ou paralelo, em relação a direção dessas estruturas de forma que se obtém maiores ou menores valores de resistência segundo esses planos. Tal relevância orientou a ASTM a sugerir a adoção dos menores valores na elaboração de projetos de revestimentos visando uma maior segurança da obra.

- Granulação: rochas com granulação mais fina são relativamente mais resistentes que aquelas com granulação mais grossa. A heterogeneidade granulométrica, como nas rochas porfíricas (ígneas) ou porfiroblásticas (metamórficas), também afeta a resistência mecânica,

pois cristais com grandes dimensões tornam-se pontos de fraqueza (sujeitos à ruptura com menores cargas) (VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2013).

A execução do ensaio de compressão está regulamentada pela NBR 15845-5 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015e) que preconiza a adoção de 6 corpos de prova em formato cúbico com 7,0 cm de aresta em uma prensa hidráulica com capacidade de 1000kN. A tensão de ruptura pode ser calculada conforme mostrado na Equação 6:

$$\sigma_r = \frac{P}{A}$$

Equação 6: Fórmula matemática para cálculo da tensão de ruptura

Onde:

P = força de ruptura aplicada pela prensa (kN)

A = área do corpo de prova (m²)

σ_r = tensão de ruptura (MPa)

Ao final do processo pode ser determinado a tensão de ruptura do material através da média aritmética dos valores apurados pelos corpos de prova. Quando os materiais apresentam anisotropia o sentido de aplicação da força em relação a estrutura deverá ser indicado. A Figura 10 ilustra o equipamento utilizado para a realização do ensaio de compressão uniaxial e a Figura 11 detalha a ruptura do corpo de prova após realização do ensaio.



Figura 10: Equipamento utilizado para o ensaio de compressão

Fonte: Autor.



Figura 11: Ruptura do corpo de prova

Fonte: Autor.

3.4.7 Flexão 3 pontos (Módulo de Ruptura) e Flexão 4 pontos

O ensaio de flexão 3 pontos determina a resistência a esforços fletores em placas de rochas e consiste na aplicação de uma carga crescente através de um cutelo que se posiciona em um ponto da placa equidistante a posição de dois outros cutelos de apoio. A NBR 15845-6 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015f) orienta a utilização de seis corpos de prova com medidas de 20,0 cm x 10,0 cm x 5,0 cm para realização deste ensaio.

Dessa forma, a capacidade de envergadura pode ser avaliada já que o corpo de prova é submetido simultaneamente a compressão e a tração resultantes da aplicação da carga em sua superfície.

A solicitação de esforços fletores em placas podem ocorrer durante o polimento, visto que a cabeça dos equipamentos de polimento – denominados politrizes – exercem cargas sobre as placas da rocha, nas situações de transporte e em algumas formas de utilizações, tais como: telhas (principalmente ardósias em regiões da Europa), pisos elevados, degraus de escada, tampos de pias e balcões.

As características da rocha exercem influência direta na resistência a flexão, assim as estruturas planares como foliação, xistosidade, acamamento, dentre outras deverão ser observadas de maneira análoga ao ensaio de compressão.

A tensão de ruptura da rocha é calculada após a realização do ensaio na prensa hidráulica de flexão através da fórmula matemática apresentada na Equação 7.

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Equação 7: Fórmula matemática para cálculo da tensão de ruptura na flexão 3 pontos

Onde:

σ_f = tensão de ruptura na flexão (MPa)

P = força de ruptura (kN)

L = distância entre os cutelos inferiores (m)

b = largura do corpo de prova (m)

d = espessura do corpo de prova

Ao final do processo pode ser determinado a tensão de ruptura do material através da média aritmética dos valores apurados pelos corpos de prova. Quando os materiais apresentam

anisotropia o sentido de aplicação da força em relação a estrutura deverá ser indicado. A Figura 12 apresenta a prensa de flexão disponível no LABTECROCHAS utilizada para o ensaio de Flexão 3 Pontos e a Figura 13 detalha a ruptura do corpo de prova.

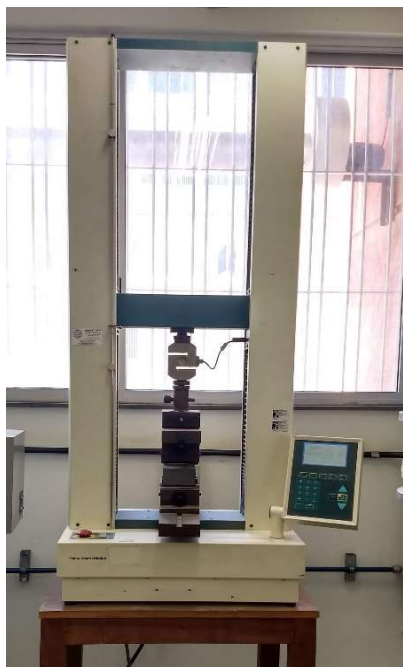


Figura 12: Prensa de flexão utilizada para o ensaio de Flexão 3 Pontos

Fonte: Autor.



Figura 13: Detalhe da ruptura do corpo de prova na prensa de Flexão 3 Pontos

Fonte: Autor.

Quando utilizados como revestimento vertical em edificações, placas de materiais pétreos podem ser fixadas por ancoragem metálica (fachadas aeradas) ficando submetidas a ação do vento que promove forças fletoras nessas estruturas. Nestas condições, o revestimento terá que ser relativamente flexível para absorver tanto acomodações de suporte quanto as forças oriundas do vento.

Por isso o ensaio de flexão 4 pontos é obrigatório em rochas destinadas a essa finalidade, sendo preferencialmente utilizadas amostras com as mesmas características (tamanho, espessura e acabamento) daquelas que serão empregadas na obra (FRASCÁ; RODRIGUES, 2019). A espessura do corpo de prova poderá diferir da medida sugerida, a norma NBR 15845-7 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015g) orienta que para atender a espessura de uso da placa, a largura do corpo de prova será no mínimo 1,5 vezes a espessura e o vão (distância entre os cutelos inferiores) de 10 vezes a espessura, sendo que o comprimento do corpo de prova deverá ser maior que o vão no mínimo 3,0 cm e no máximo 5,0 cm.

A tensão de ruptura da rocha é calculada após a realização do ensaio na prensa hidráulica de flexão através da fórmula matemática apresentada na Equação 8.

$$\sigma_f = \frac{3PL}{4bd^2}$$

Equação 8: Fórmula matemática para cálculo da tensão de ruptura na flexão 4 pontos

Onde:

σ_f = tensão de ruptura na flexão (MPa)

P = força de ruptura (kN)

L = distância entre os cutelos inferiores (m)

b = largura do corpo de prova (m)

d = espessura do corpo de prova

Ao final do processo pode ser determinado a tensão de ruptura do material através da média aritmética dos valores apurados pelos corpos de prova. Quando os materiais apresentam anisotropia o sentido de aplicação da força em relação a estrutura deverá ser indicado. A Figura 14 apresenta a prensa de flexão disponível no LABTECROCHAS utilizada para o ensaio de Flexão 4 Pontos e a Figura 15 detalha a ruptura do corpo de prova.



Figura 14: Prensa de flexão utilizada para o ensaio de Flexão 4 Pontos

Fonte: Autor.



Figura 15: Detalhe da ruptura do corpo de prova na prensa de Flexão 4 Pontos

Fonte: Autor.

3.5 Relações entre ambiente, tipo de uso/ aplicação e caracterização tecnológica

Ao longo do tempo a utilização da rocha passou por diversas transformações, desde ferramentas, em um período compreendido como Idade da Pedra, há construções rústicas, baseadas no encaixe de pedras que dispensavam o uso de argamassa.

Com o avanço dos processos construtivos e o desenvolvimento de métodos de extração e beneficiamento dos materiais pétreos foi possível erguer estruturas como as pirâmides do Egito, feitas com grandes blocos de rocha calcária. Na Grécia antiga, ocorreu a construção de templos que tinham como pilares colunas de mármore e outros materiais.

Atualmente, a rocha tem assumido um papel de maior relevância na área de revestimentos, tendo seu legado estrutural substituído principalmente por materiais cimentícios como o concreto. Dessa forma a indústria da pedra tem seus esforços orientados para a produção de chapas ou placas de rochas, sendo o produto final empregado como pisos, fachadas, bancadas, tampos, pias etc.

Considerando que cada tipo de utilização requer níveis de desempenho que variam conforme a finalidade do uso e o ambiente de instalação é importante conhecer as propriedades intrínsecas das rochas e o seu comportamento quando submetidas aos esforços oriundos do ambiente, a fim de que todos os sistemas construtivos exerçam seus papéis de forma satisfatória, garantindo a segurança e a durabilidade de toda a edificação.

Nesse sentido, o ambiente contribui de maneira significativa, já que a maioria das solicitações impostas aos revestimentos são provenientes dos locais de instalação. A Figura 16 correlaciona os agentes agressivos aos ambientes de instalação. Nela é possível perceber que os ambientes externos apresentam maior número de solicitações quando comparados aos ambientes internos.

Assim, os ambientes externos demandam critérios de seleção mais rígidos. No entanto, além do ambiente, cabe observar que há peculiaridades relacionadas ao tipo de utilização. As solicitações impostas a revestimentos verticais diferem das solicitações dos revestimentos horizontais, bem como são distintas as solicitações observadas em bancadas e pias. O Quadro 8, apresenta algumas especificidades relacionados com o tipo de uso desses materiais. Para orientar a escolha dos materiais conforme o tipo de uso e o ambiente de aplicação é necessário conhecer as qualidades intrínsecas (características tecnológicas) das rochas.

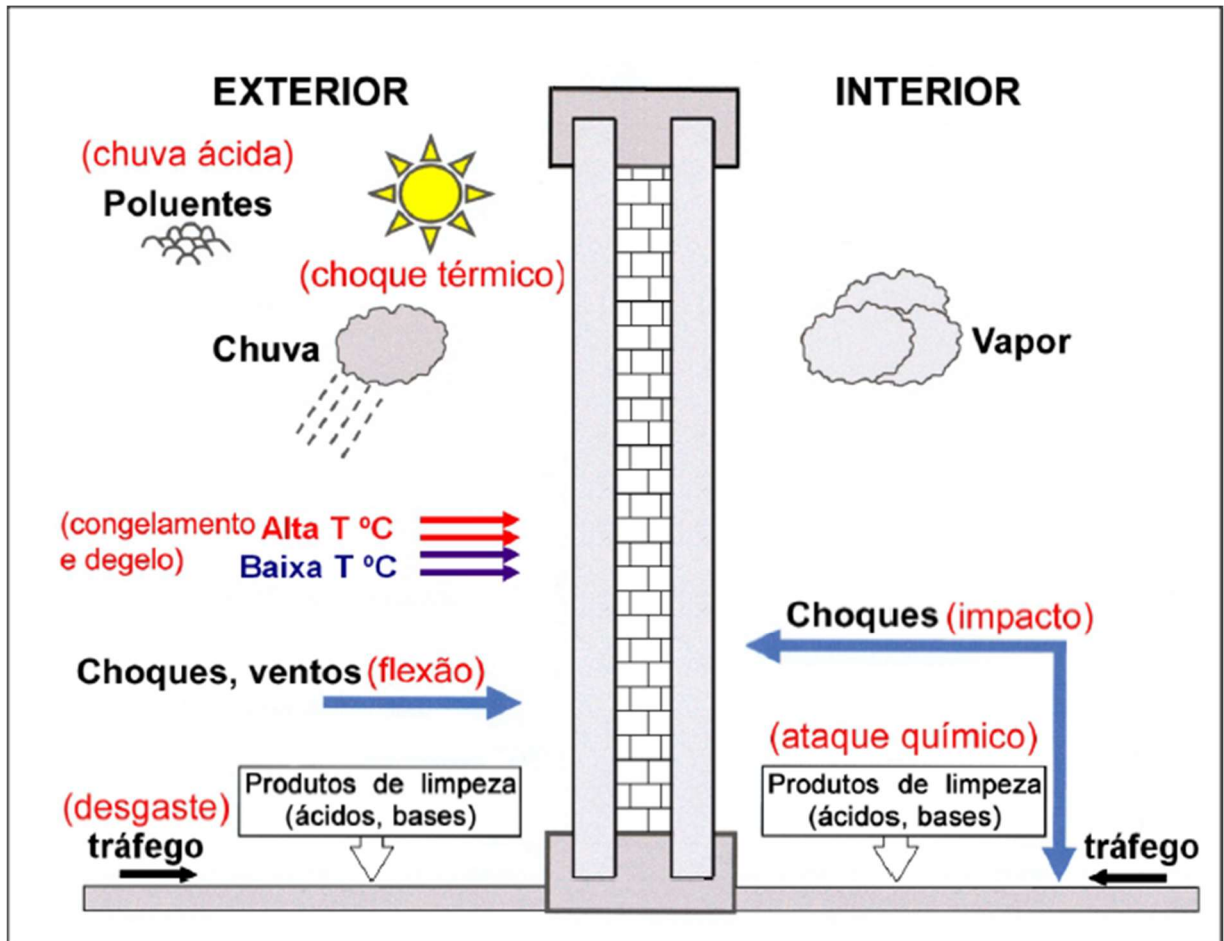


Figura 16: Solicitações conforme o ambiente

Fonte: (FRASCÁ; RODRIGUES; PALDÊS, 2019).

Tipos de uso	Especificidade do uso
Pisos	Tipo de tráfego (pedestres x veículos), volume de circulação (residencial x comercial x industrial)
Paredes	Nível de umidade, influência de ventos
Bancadas	Nível de acidez e basicidade provenientes da manipulação dos materiais (alimentos, produtos de limpeza, produtos químicos, etc.).
Pias	Condições como uso de água quente e fria, contato com produtos de natureza ácida e /ou básica.

Quadro 8: Correlação entre os tipos de usos/ aplicações e especificidades

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Tabela 5 correlaciona às informações obtidas a partir da análise de cada propriedade.

Tabela 5: Informações obtidas a partir da análise de cada propriedade de caracterização tecnológica.

Propriedade	Informação obtida
Densidade	Peso e volume da rocha
Absorção de água	Capacidade de absorver água
Resistência ao desgaste Amsler	Resistência ao desgaste pelo tráfego de pedestres ou veículos na superfície da rocha
Resistência à compressão	Determinação da tensão que provoca a ruptura da rocha. Importante parâmetro na utilização como colunas e pilares. Quando em valores elevados indica valores adequados de outras propriedades.
Resistência à flexão 4 pontos	Capacidade de resistir a esforços fletores, como a ação do vento em fachadas
Resistência à flexão 3 pontos	Capacidade de resistir a esforços de tração, como a ação de passos de pedestres ou aplicação de pesos em pisos elevados/suspensos
Coefficiente de dilatação térmico linear	Capacidade de dilatar e contrair por variação de temperatura, aquecimento por insolação diurno e resfriamento noturno, congelamento e degelo ou mudanças bruscas de temperatura
Resistência ao impacto	Resistência à quebra pelo impacto da queda de objetos

Fonte: (FRASCÁ; RODRIGUES; PALDÊS, 2019).

A Tabela 6 correlaciona os principais tipos de uso e ambientes aos parâmetros tecnológicos recomendados para análise na especificação das rochas ornamentais.

Considerando que as rochas após instaladas tornam-se parte integrante do sistema construtivo outras considerações como a escolha adequada da argamassa de assentamento ou fixação, os procedimentos de aplicação, a observação do sistema de impermeabilização (estanqueidade de contrapisos e paredes) a o tipo e largura de espaçamento do rejunte também são pertinentes.

As interações que a rocha pode estabelecer com os locais de instalação, tipos de utilização e materiais de assentamento são complexas. No entanto, a observação adequada do tipo de rocha e a maneira de utilização possibilitam a obtenção de desempenhos satisfatórios.

O objetivo deste trabalho se restringe ao tipo de rocha, ambiente e utilização, mas existem outras opções que ajudam a viabilizar o uso das rochas empregadas como revestimentos como o aumento da espessura da placa, a redução do espaçamento entre os apoios e o tipo de acabamento empregado. Assim, para as rochas que apresentam menor resistência pode ser adotado espessuras superiores a 2 e 3 cm, que são mais largamente utilizadas pela indústria de beneficiamento de rocha. Em áreas escorregadias pode-se optar pelo acabamento escovado, que por ser mais rugoso (áspero) tende a reduzir o risco de queda dos pisos polidos.

Tabela 6: Uso, ambientes de aplicação e parâmetros tecnológicos recomendados

Tipos de Uso	Ambiente de Aplicação			Recomendações de ensaio segundo os índices de qualidade							
				AP	DA	PA	AA	DE	CO	FL	DI
Piso	Interno	Seco	Baixo tráfego	X	X	X	X	X	X	-	-
			Alto tráfego	X	X	X	X	X	X	-	-
		Molhado	Baixo tráfego	X	X	X	X	X	X	-	-
			Alto tráfego	X	X	X	X	X	X	-	-
	Externo	Baixo tráfego	X	X	X	X	X	X	-	X	
		Alto tráfego	X	X	X	X	X	X	-	X	
Parede	Interna	Seco		X	X	X	X	-	X	X	-
		Molhado		X	X	X	X	-	X	X	-
	Externo			X	X	X	X	-	X	X	X
Bancada	Interna	Seco		X	X	X	X	-	-	X	-
		Molhado		X	X	X	X	-	-	X	-
	Externo			X	X	X	X	-	-	X	X
Colunas e Pilares	Interno			X	X	X	X	-	X	X	-
	Externo			X	X	X	X	-	X	X	X
Pias	-			X	X	X	X	-	X	X	X
Soleiras	Interno	Seco	Baixo tráfego	X	X	X	X	X	X	-	-
			Alto tráfego	X	X	X	X	X	X	-	-
		Molhado	Baixo tráfego	X	X	X	X	X	X	-	-
			Alto tráfego	X	X	X	X	X	X	-	-
	Externo	Baixo tráfego	X	X	X	X	X	X	-	X	
		Alto tráfego	X	X	X	X	X	X	-	X	

Fonte: Adaptado (ABIROCHAS, 2019).

AP = Análise Petrográfica

DA = Densidade aparente

PA = Porosidade aparente

AA = Absorção de água

FL = Resistência a Flexão

DI = Dilatação Térmica Linear

CO = Resistência a Compressão Uniaxial

DE = Resistência ao Desgaste Amsler

4 METODOLOGIA

Para obter os resultados e respostas apresentadas neste trabalho, foi analisada a adequabilidade de alguns tipos de materiais pétreos em diferentes usos como revestimentos (pisos, fachadas, etc.) através das informações obtidas por meio da caracterização tecnológica.

Para realizar esse propósito foi estabelecida uma parceria com o LABTECROCHAS-IGC-UFMG onde foi possível acessar um grande número de resultados de ensaios de caracterização tecnológica previamente realizados neste laboratório. Devido a grande quantidade de dados definiu-se critérios para selecionar as amostras que melhor contribuíssem para este trabalho.

Assim, o primeiro critério de seleção adotado foi escolher amostras que continham os resultados de todos os ensaios dos índices de qualidade. Esses são compostos pelos seguintes ensaios: análise petrográfica, densidade aparente, porosidade aparente, absorção de água, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão, resistência ao desgaste abrasivo Amsler e dilatação térmica linear.

Este filtro resultou em 56 amostras de 14 tipos diferentes de rochas, conforme apresentado no apêndice A. Cada ensaio demanda uma quantidade específica de corpos de prova para sua realização, sendo: uma amostra representativa para a análise petrográfica, 10 corpos de prova para determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água, 6 corpos de prova para resistência à compressão uniaxial, 6 corpos de prova para a resistência à flexão, 2 corpos de prova para resistência ao desgaste abrasivo Amsler e 2 corpos de prova para determinação do coeficiente de dilatação térmica linear.

No entanto, constatou-se que alguns tipos rochosos continham pouca representatividade, como o arenito, que apresentou apenas uma amostra que satisfazia o primeiro critério de seleção adotado – resultados de todos os ensaios dos índices de qualidade. De forma a se obter uma maior quantidade de informações oriundas da caracterização tecnológica, optou-se por rejeitar tipos rochosos com baixa representatividade amostral uma vez que, o baixo número de amostras impede que sejam formuladas relações para os parâmetros dos ensaios que compõem os índices de qualidade.

Essas relações, se existentes, possibilitam a capacidade de prever o comportamento do material com apenas parte das informações de caracterização tecnológica. O êxito desse processo pode levar a uma redução do número de ensaios necessários para determinar as propriedades das rochas, diminuindo custos da caracterização e abreviando o prazo de entrega dos resultados.

Assim, o segundo critério de filtro adotado foi o número mínimo de seis amostras para cada grupo rochoso. Esta nova seleção resultou em 27 amostras distribuídas nos tipos rochosos granito, gnaiss e quartzito. Considerando que os valores dos resultados dos ensaios analisados neste trabalho são valores médios, o apêndice B apresenta os resultados individualizados dos corpos de prova utilizados no cálculo do valor médio, bem como o coeficiente de variação e o desvio padrão de cada amostra.

Diante da premissa que considera a influência da porosidade na resistência físico-mecânica dos materiais pétreos, o banco de dados foi organizado ordenando as amostras em ordem crescente de porosidade. Essa disposição possibilitou correlacionar o aumento da porosidade aos demais parâmetros de caracterização tecnológica, bem como ao comportamento por tipo de material.

O tratamento dos dados e a compreensão do comportamento de cada um dos parâmetros de caracterização tecnológica foram feitos utilizando gráficos do tipo boxplot e gráficos de dispersão.

Os gráficos boxplot permitem a visualização de medidas estatísticas descritivas como mínimo, máximo, primeiro quartil, segundo quartil ou mediana e o terceiro quartil. Além disso, o boxplot fornece uma análise visual da dispersão, da simetria e dos valores discrepantes (outliers) do conjunto de dados, permitindo a avaliação da forma de distribuição e da variabilidade através da amplitude total (diferença entre valores máximos e mínimos).

Os gráficos de dispersão possibilitam avaliar relações de causa e efeito entre duas variáveis e traçar linhas de tendência que evidenciam o comportamento do parâmetro analisado. Considerando que as normas relacionadas a rochas para revestimento utilizam valores médios como referência, adotou-se este mesmo parâmetro na plotagem dos gráficos de tendência para que seja possível a comparação dos parâmetros segundo a mesma métrica. A linha média também foi inserida no gráfico boxplot para facilitar a visualização do comportamento das amostras, embora a medida padrão de tendência central utilizada pelos boxplots seja a mediana.

Assim, os gráficos de boxplots traçados indicam a variabilidade dos dados utilizados, onde se podem observar grupos homogêneos que apresentam baixa dispersão dos resultados e grupos mais heterogêneos com uma amplitude maior de resultados. A tendência geral do comportamento das amostras é exibida através da linha média. Os gráficos de dispersão indicam o comportamento das amostras por meio das linhas ou retas de tendência. A análise concomitante dos dois tipos de gráficos corrobora para uma análise mais adequada das amostras.

Dentre os ensaios dos índices de qualidade, apenas as informações da análise petrográfica não foram apresentadas graficamente. Considerando que a finalidade da

petrografia é analisar, classificar geologicamente e descrever as características da rocha optou-se por apresentar as informações obtidas neste ensaio - análise textural, composição mineralógica, conclusão petrográfica e observações relevantes - através de tabelas resumo. Essas informações contribuem para possíveis correlações do comportamento observado nos ensaios físico-mecânicos.

Para a identificação das amostras em situação de excepcionalidade e atenção foram utilizados referenciais normativos e trabalhos técnicos que apresentam critérios baseados em conceitos de desempenho. As normas técnicas que orientam requisitos para rochas de revestimento apresentam valores típicos encontrados em determinados tipos de materiais pétreos, que servem como recomendação para as diversas funções exercidas pelas rochas nas edificações. Por outro lado, o conceito de desempenho dos materiais encontrados em trabalhos técnicos possui maior amplitude de valores, permitindo uma análise mais minuciosa da rocha.

Logo, a avaliação dos parâmetros das propriedades tecnológicas por referenciais diferentes é um método que tende a contribuir para uma melhor análise das características do material permitindo um melhor reconhecimento das aptidões do material segundo as principais solicitações de esforços solicitados nos diferentes tipos de uso como revestimentos.

5 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados da pesquisa das amostras analisadas. Para extrair uma maior quantidade de informação através da caracterização tecnológica foram definidas duas abordagens. A primeira se refere a uma análise que visa compreender a influência do aumento da porosidade nas características tecnológicas dos materiais pétreos. A segunda se baseia em normas que orientam a utilização de rochas empregadas como revestimentos e em trabalhos técnicos que conceituam como Muito Alto, Alto, Médio, Baixo e Muito Baixo o desempenho das rochas segundo os valores dos parâmetros tecnológicos.

5.1 Análise dos dados em relação ao aumento da porosidade

A análise em relação ao aumento da porosidade foi realizada nas 27 amostras, distribuídas em três tipos de rochas: Granito com 9 amostras, Quartzito com 12 amostras e Gnaisse com 6 amostras.

A maior parte das amostras são materiais oriundos do estado de Minas Gerais, com poucas amostras vindas de outros estados. Assim, das 27 amostras analisadas, 22 são provenientes de Minas Gerais, 2 do Rio de Janeiro, 2 da Bahia e 1 de São Paulo.

Em relação as correlações, analisou-se as informações coletadas através da análise petrográfica, tabelas 7, 8 e 9, que apresentassem características da rocha como textura, composição mineralógica e outras observações tais como microfissuras, tamanhos dos grãos e presença de estruturas.

Embora essas informações sejam de suma importância para compreensão das propriedades dos materiais pétreos, no âmbito desse trabalho, não se conseguiu estabelecer correlações entre essas características das rochas e suas influências nos parâmetros físicos e mecânicos dos grupos de rochas analisados.

Uma das limitações encontradas foi a variabilidade da granulometria dos grãos. Essa apresentou faixas abrangentes, como fina até média e fina até grossa, o que dificulta a formação de grupos, uma vez que uma mesma amostra poderia pertencer a mais de um grupo.

Dessa mesma forma, as microfissuras apresentaram uma amplitude considerável, desde o tipo, se inter ou intragranular, até a presença ou não de preenchimento. Logo, quanto maior a quantidade de características menores são os grupos de amostras o que dificulta a percepção de tendência do comportamento do conjunto amostral.

Já a análise dos testes físico-mecânicos compreendeu os seguintes ensaios: resistência ao desgaste por abrasão Amsler, resistência a compressão uniaxial, resistência a flexão 3 pontos, dilatação térmica linear (coeficiente de dilatação térmico linear nas fases de aquecimento e resfriamento), densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água. Após agrupar as amostras dos três grupos de rocha em ordem crescente de porosidade, foram gerados gráficos com cada um dos parâmetros onde foram observados comportamentos diversos e específicos para cada agrupamento e que por isso será descrito de forma particularizada.

5.1.1 Amostras de Granitos

O conjunto de dados tanto da porosidade quanto da absorção de água foram melhor descritos com curvas exponenciais, sendo este modelo capaz de explicar a variância dos dados em mais de 90% (coeficiente de determinação ou R-quadrado) para as duas propriedades avaliadas. A inclinação positiva dessa curva descreve um rápido crescimento desses parâmetros.

Percebe-se uma relação direta entre a porosidade e a absorção de água, confirmado as expectativas de que com o aumento da quantidade de poros se aumenta a absorção de água do material, conforme mostrado no Gráfico 2, (a) e (b) e no Gráfico 3, (a) e (b).

Em relação a densidade o comportamento observado segue conforme esperado, de que quanto maior a quantidade de poros menor a densidade. Porém, não apresenta a mesma clareza observada na absorção de água, uma vez que, há picos de crescimento da densidade que contradizem a previsão de queda contínua dos valores. Através de uma análise minuciosa, foi observado que os picos de aumento na realidade não representavam uma contradição em relação ao que era esperado, mas sim, uma diferença de comportamento, onde foi percebido que havia três subgrupos (indicados pelas retas de tendência) que respondiam de maneira diferente ao aumento da porosidade. Sendo um subgrupo mais sensível a essa variação de porosidade, respondendo a esse aumento com maior intensidade, o que reflete no maior coeficiente de inclinação da reta, conforme pode ser observado no Gráfico 4, (a) e (b).

O comportamento visto na densidade, também foi observado para o gráfico de compressão, com a presença de três subgrupos com diferentes intensidades de resposta ao aumento da porosidade. No entanto, a amostra de número 6 não se enquadrava em nenhuma dessas tendências, o que sugere a existência de outros subgrupos que não tiveram representatividade no conjunto das amostras desse estudo, conforme observado no Gráfico 5 (a) e (b). A hipótese de alguma alteração nessa mesma amostra também foi descartada, uma

vez que, os corpos de prova que a compõe apresentam uma variabilidade pequena, coeficiente de variação de 11,78%. De forma geral, um coeficiente abaixo de 15% indica uma baixa dispersão e um indicativo de homogeneidade dos dados, o que leva a uma segurança quando se utiliza a média das amostras para uma avaliação do comportamento desse conjunto.

No gráfico de flexão 3 pontos – Gráfico 6 (a) e (b) – percebe-se o encontro de duas retas de tendência com uma reta em particular. Nos gráficos de tendência da densidade e compressão também é possível identificar uma convergência pelo prolongamento das retas, o que parece sugerir que há pontos comuns entre as retas de tendência.

A amostra 3, no gráfico de flexão 3 pontos, apresenta um distanciamento maior da reta de tendência, no entanto, ao se observar seu coeficiente de variação de 5,72%, disponível no apêndice B deste trabalho, a amostra apresenta uma boa homogeneidade dos dados, o que válida sua utilização nessa análise.

Todas as tendências observadas nos ensaios de absorção, densidade, compressão e flexão são identificadas no gráfico de dilatação térmica linear. No entanto, observa-se diferenças nas fases, sendo a fase de aquecimento mais suscetível ao aumento da porosidade, pois a diferença entre os coeficientes angulares das retas é superior ao quádruplo. Já na fase de resfriamento a diferença entre o menor e o maior coeficiente angular é inferior ao triplo. O Gráfico 7 (a) e (b) e o Gráfico 8 (a) e (b) demonstram o acima exposto.

Já no gráfico de desgaste – Gráfico 9 (a) e (b) – se percebe uma certa alternância entre a tendência de queda e aumento do parâmetro. Em tese, o esperado é que com o aumento da porosidade os valores de desgaste também cresçam, o que indica uma menor resistência do material. Outra peculiaridade observada no gráfico do desgaste é a sugestão de que há um determinado valor de porosidade onde não se observa mudança de comportamento do material. Assim, a partir de uma porosidade de 0,964 não se observou alterações do desgaste, o que tornou os resultados estáveis e repetitivos. Embora esse valor tenha sido identificado, o mesmo não representa uma definição, visto que a determinação de um valor específico demanda outros métodos estatísticos e um maior quantitativo de amostras.

Tabela 7: Resumo da análise petrográfica dos Granitos

Nº Amostra	Análise Textural	Observação	Mineralogia	Classificação
Amostra 1	Rocha de textura granular hipidiomórfica, inequigranular e com granulação variando desde média até grossa. Presença de cristais desenvolvidos de feldspatos e de quartzo, não mostrando nenhuma disposição preferencial. Os cristais de granada ocorrem ocupando espaços entre os de quartzo e feldspatos e com distribuição irregular. As palhetas de biotita não mostram orientação.	A amostra analisada tem composição granítica e apresenta estruturas de microfissuramento.	K-Feldspato; Plagioclásio; Quartzo; Biotita; Granada	Granada-Biotita - Granito
Amostra 2	A rocha é inequigranular, apresenta granulação variando de fina até grossa e a composição é granítica. A textura pode ser definida como granular hipidiomórfica. Os minerais félsicos mostram contatos côncavo-convexos e predominam sobre os constituintes máficos. As palhetas de biotita não mostram nenhuma orientação.	Foram identificadas microfissuras na amostra	Feldspato potássico; Plagioclásio; Quartzo; Biotita	Biotita Microclina - Granito
Amostra 3	A rocha apresenta textura granular hipidiomórfica. É equigranular, pois não apresenta grandes variações em termos de tamanhos dos grãos, que variam de finos até médios. Os contatos entre grãos de feldspatos e de quartzo são do tipo côncavo-convexo.	Foram identificadas microfissuras na amostra e também estruturas mirmequíticas.	Feldspato potássico; Plagioclásio; Quartzo; Biotita	Biotita Microclina - Granito
Amostra 4	Rocha com textura granular hipidiomórfica. É equigranular, com granulação variando de fina até média. É constituída por cristais de feldspatos, de quartzo, de granada e raros agregados ou por finas palhetas isoladas de micas. As palhetas de biotita não mostram nenhuma disposição e orientação preferencial. O tipo de contato predominante entre os grãos é o côncavo-convexo, mas observa-se algum contato reto entre grãos de quartzo.	Foram identificadas microfissuras do tipo intra e intergranular e estruturas mirmequíticas	Feldspato potássico; Plagioclásio; Quartzo; Biotita/Muscovita; Granada; Sillimanita	Sillimanita Granada - Granito
Amostra 5	A rocha apresenta granulação variando de fina até grossa, com predomínio da última e por conta disso pode ser considerada levemente inequigranular. A textura pode ser definida como granular hipidiomórfica e holocristalina. Os minerais félsicos mostram contatos côncavo-convexos e predominam sobre os constituintes máficos.	Não foram identificadas microfissuras.	Feldspato potássico; Plagioclásio; Quartzo; Granada; Biotita; Muscovita	Granada Microclina - Granito

Nº Amostra	Análise Textural	Observação	Mineralogia	Classificação
Amostra 6	A rocha é inequigranular, apresenta granulação fina e a composição é granítica. A textura pode ser definida como granular hipidiomórfica. Os minerais félsicos mostram contatos côncavo-convexos e predominam sobre os constituintes máficos. As palhetas de muscovita e de biotita mostram disposição segundo uma determinada direção. Os cristais de granada são raros e mostram distribuição irregular.	Há presença de microfissuras na amostra, sendo intragranulares e intergranulares, com presença de minerais opacos e limonita.	Feldspato potássico; Plagioclásio; Quartzo; Muscovita; Biotita; Granada	Microclina Granito
Amostra 7	Rocha de textura granular hipidiomórfica, inequigranular e com granulação variando desde média até grossa, sendo de composição granítica. Presença de cristais desenvolvidos (centimétricos) de feldspatos e de quartzo, não mostrando nenhuma disposição preferencial. Os cristais de turmalina ocorrem ocupando espaços entre os de quartzo e feldspatos. As palhetas de muscovita são raras e não mostram orientação.	Apresenta estruturas de microfissuramento tanto inter, quanto intragranulares, que se mostram em parte preenchidas por material secundário (sericita).	Plagioclásio (albita); Quartzo; K-Feldspato; Muscovita; Turmalina	Albita - Granito
Amostra 8	A rocha é inequigranular e apresenta granulação variando de fina até grossa. A textura pode ser definida como granular hipidiomórfica. Os contatos entre grãos são predominantemente do tipo côncavo-convexo. Também apresenta algum conteúdo em minerais secundários, com ênfase para aqueles que ocorrem com produtos da substituição de cristais de plagioclásio. Sendo que, alterações de opacos conferem coloração amarelada a determinadas porções da rocha.	Não foram encontradas microfissuras na amostra. Há presença de estruturas mirmequíticas.	Feldspato potássico; Plagioclásio; Quartzo; Biotita; Granada	Biotita - Granito

Nº Amostra	Análise Textural	Observação	Mineralogia	Classificação
Amostra 9	A rocha é inequigranular e apresenta granulação variando de fina até média. A textura pode ser definida como granular hipidiomórfica, sem orientação de seus minerais constituintes. A composição é granítica. Os cristais prismáticos e fibrosos de sillimanita mostram-se dispostos segundo linhas ou finas bandas interrompidas. Os contatos entre grãos são predominantemente do tipo côncavo-convexo. A rocha também é constituída por minerais félsicos e máficos distribuídos de forma muito irregular. Além disso, apresenta linhas constituídas por minerais fibrosos e esbranquiçados e de agregados de cristais de cordierita e de biotita com distribuição irregular. Também se percebe finas palhetas de biotita distribuídas com certa regularidade.	Não foram encontradas microfissuras na amostra. Há presença de estruturas mirmequíticas e de linhas de limonita.	Feldspato potássico; Plagioclásio; Quartzo; Biotita/Muscovita; Cordierita; Sillimanita	Cordierita- Sillimanita - Granito

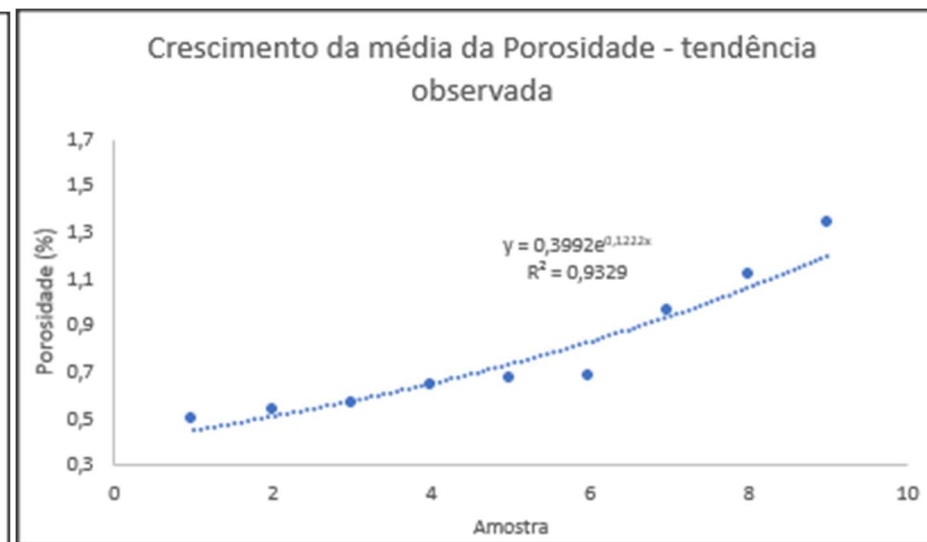
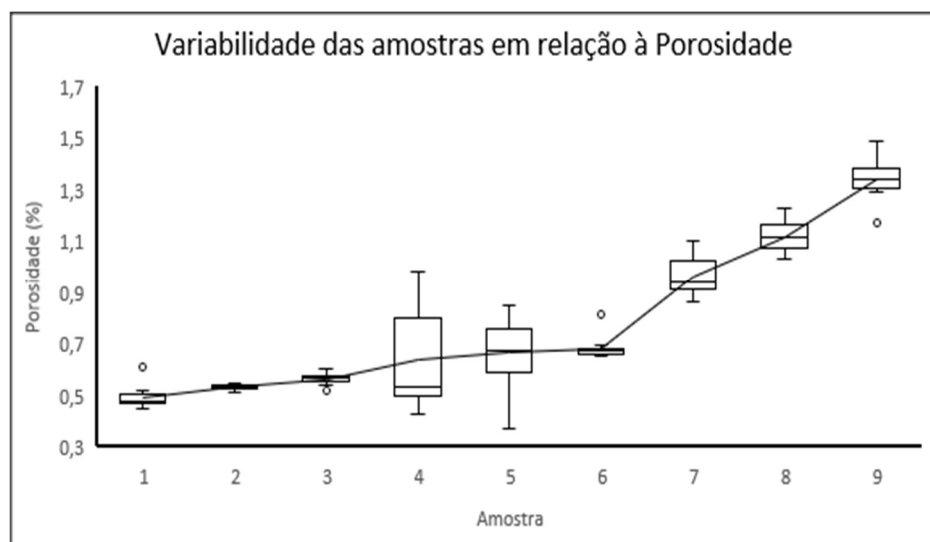


Gráfico 2 (a) e (b): Análise das amostras de granito quanto ao parâmetro Porosidade

Fonte: Elaborado pelo Autor.

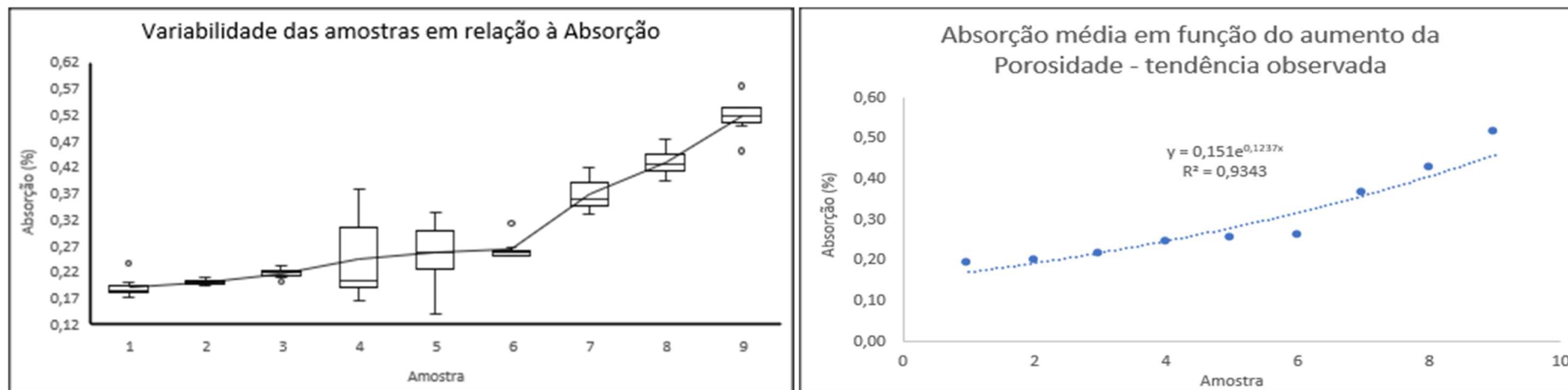


Gráfico 3 (a) e (b): Análise das amostras de granito quanto ao parâmetro Absorção

Fonte: Elaborado pelo Autor.

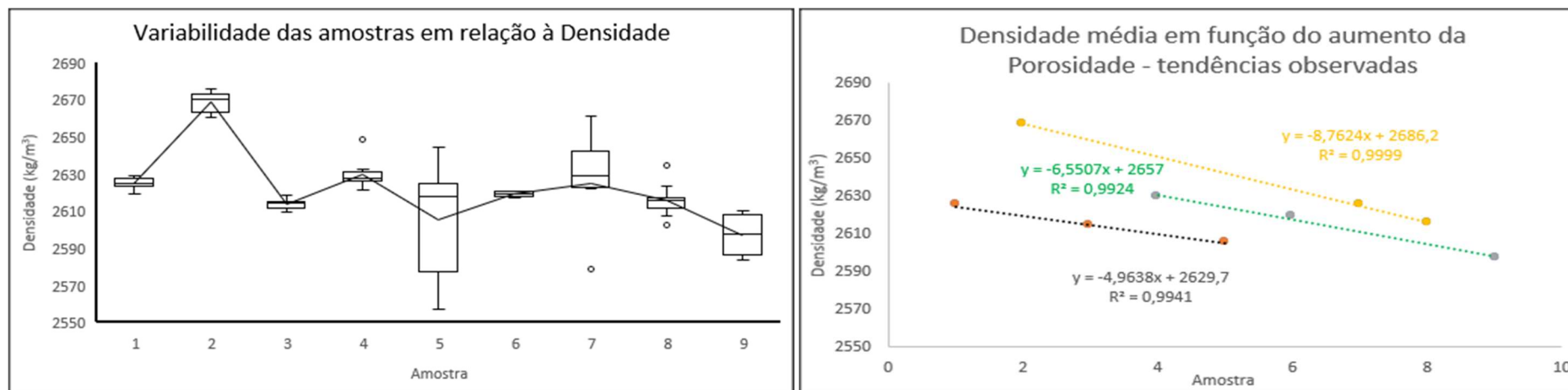


Gráfico 4 (a) e (b): Análise das amostras de granito quanto ao parâmetro Densidade

Fonte: Elaborado pelo Autor.

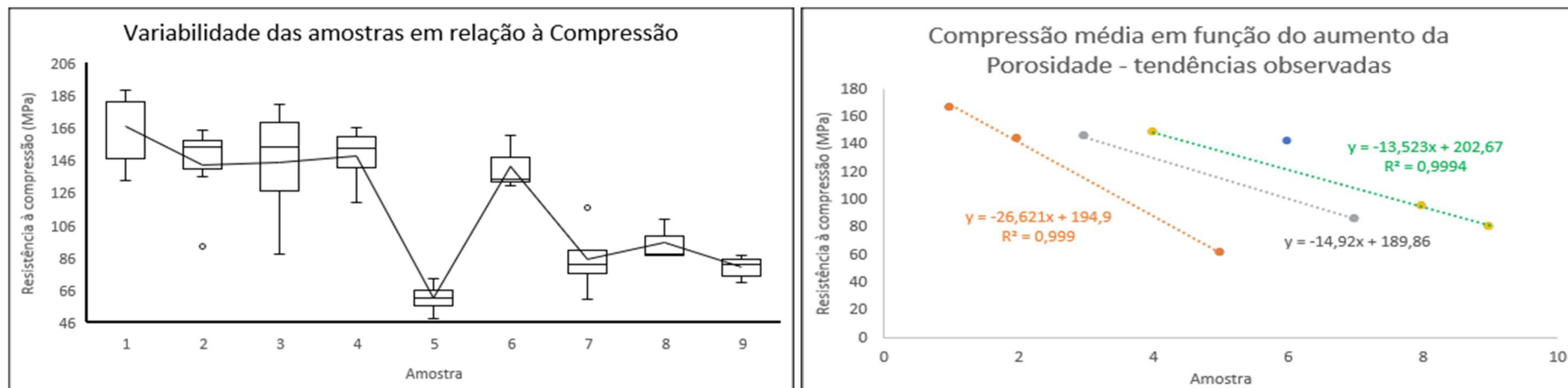


Gráfico 5 (a) e (b): Análise das amostras de granito quanto ao parâmetro Compressão

Fonte: Elaborado pelo Autor.

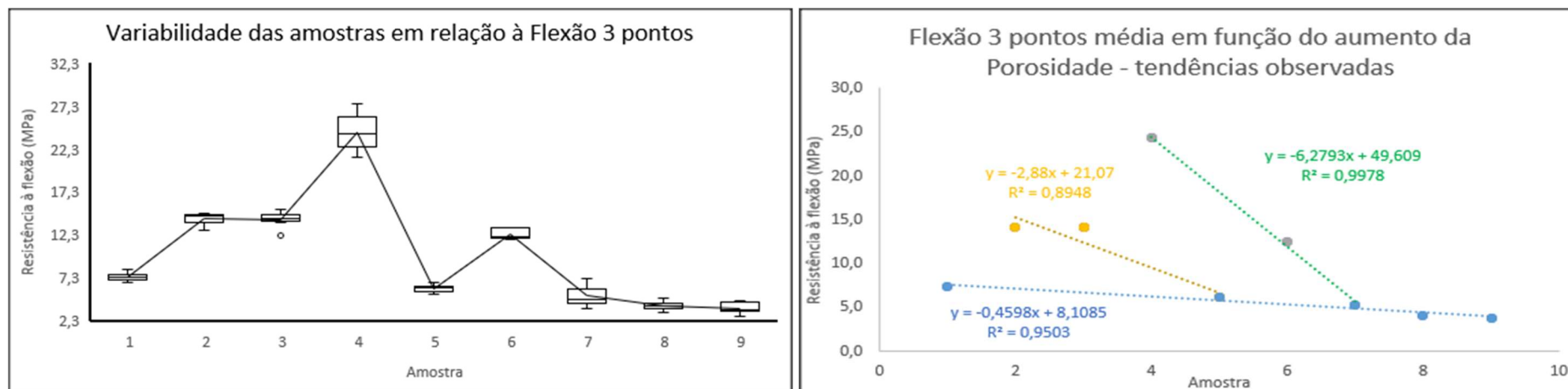


Gráfico 6 (a) e (b): Análise das amostras de granito quanto ao parâmetro Flexão 3 Pontos

Fonte: Elaborado pelo Autor.

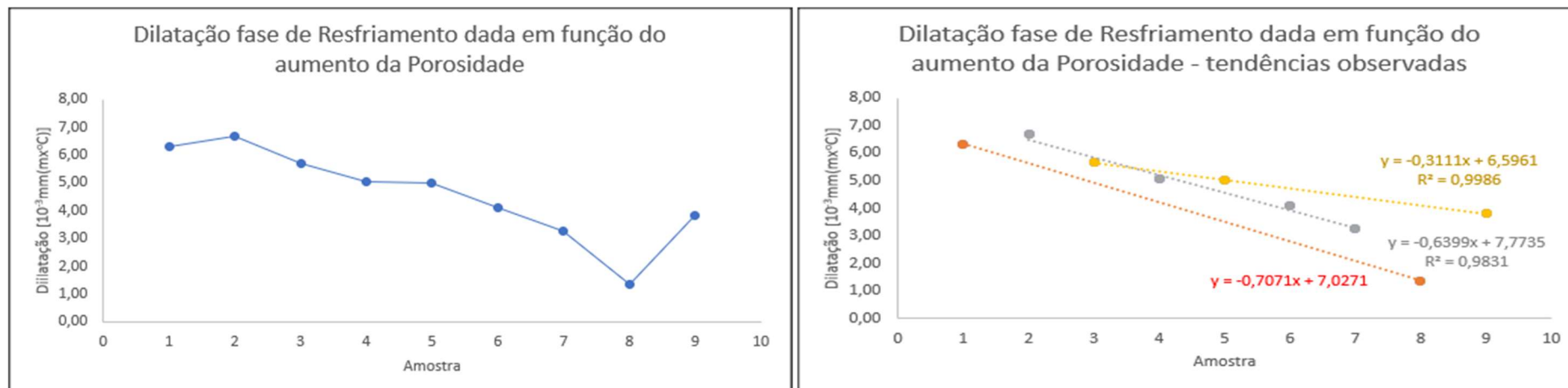


Gráfico 7 (a) e (b): Análise das amostras de granito quanto ao parâmetro Dilatação na fase de resfriamento

Fonte: Elaborado pelo Autor.

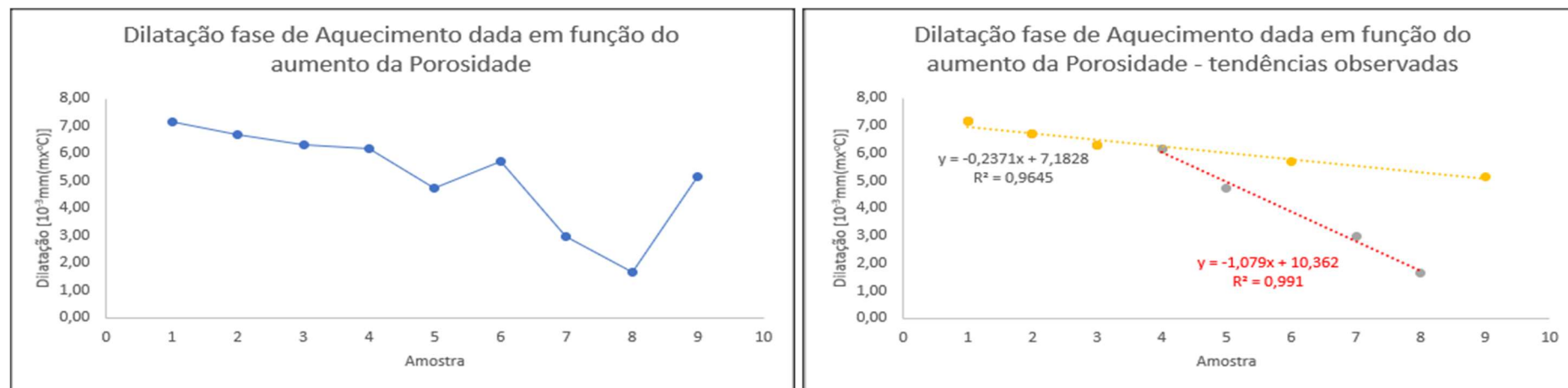


Gráfico 8 (a) e (b): Análise das amostras de granito quanto ao parâmetro Dilatação na fase de aquecimento

Fonte: Elaborado pelo Autor.

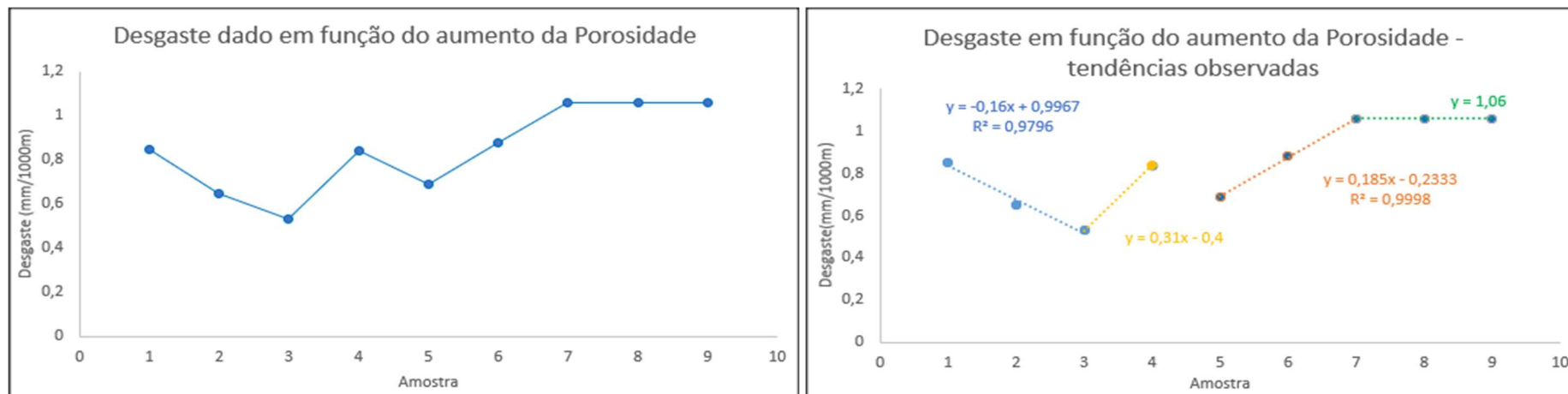


Gráfico 9 (a) e (b): Análise das amostras de granito quanto ao parâmetro Desgaste

Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.1.2 Amostras de Quartzitos

Ao organizar os dados de porosidade em ordem crescente de valor e plotar o gráfico de dispersão, percebe-se uma tendência de crescimento exponencial. O Gráfico 10 (a) e (b) apresenta o coeficiente de determinação da curva exponencial, que é de 93,4%. Essa mesma tendência é percebida para a absorção de água, conforme mostrado no Gráfico 11 (a) e (b), o que demonstra uma relação direta entre esses dois fatores.

No caso da densidade, ocorre a tendência de diminuição com o aumento da porosidade. No entanto, as primeiras amostras apresentaram linearidade com baixo coeficiente angular, sugerindo pequena sensibilidade das amostras em relação a porosidade. À medida que a porosidade se elevou foram percebidas respostas mais contundentes. Assim, essas observações indicaram a presença de três subgrupos, representados pelas três retas no gráfico de tendências. As diferenças de sensibilidade em relação ao aumento da porosidade são descritas pelas diferenças dos coeficientes angulares das retas que assumiram, respectivamente, os seguintes valores: -0,747, -11,287 e -10,77. Embora todos os coeficientes sejam negativos, indicando a tendência de queda do parâmetro, algumas amostras apresentaram comportamento diferente do esperado dentro da sequência de aumento da porosidade. Essas amostras são 2, 4, 7, 11 e podem ser compreendidas como pontos de inflexão, revelando uma tendência de mudança de comportamento do material. Observa-se que duas delas, 4 e 7, representam o início de novas retas de tendência.

De todas as amostras de densidade, a amostra 11 apresenta a maior dispersão dos dados, como pode ser observado no gráfico boxplot pela amplitude interquartil, que é muito superior à das outras amostras. Tal diferença implica no deslocamento da média para baixo em relação a mediana, de forma que o valor da média neste caso seria um valor com maior nível de imprecisão. Se essa amostra fosse retirada da reta de tendência na qual ela faz parte, o novo valor do coeficiente angular seria de -8,0235, diferente do determinado quando a amostra é considerada, que foi de -10,77. Como se trata de um estudo qualitativo que objetiva perceber o comportamento do material frente o aumento da porosidade, optou-se por não descartar esse dado. O Gráfico 12 (a) e (b) exibe o acima descrito.

Já em relação ao gráfico de resistência a compressão, observa-se um comportamento não previsível, visto que mantendo a ordenação da quantidade de poros em ordem crescente, ora ocorre redução ora aumento da resistência a compressão. As linhas médias traçadas no gráfico boxplot evidenciam os pontos de inflexão tornando o aspecto visual do gráfico semelhante a picos e vales. A ocorrência de inflexões no gráfico gera maior número de retas de

tendência que confirmam a imprevisibilidade no comportamento do material, conforme mostrado no Gráfico 13 (a) e (b).

No gráfico de tendências observadas, foram traçadas as retas que evidenciam a redução da compressão face ao aumento da porosidade. No entanto, as retas que mostrariam o comportamento não esperado – aumento da resistência a compressão em função do aumento da porosidade – não foram inseridas como o objetivo de facilitar a visualização. Entretanto, se agruparmos as amostras 2, 4 e 5 e as amostras 7, 10 e 11 a tendência de crescimento da resistência à compressão frente ao aumento da porosidade será percebida.

Uma tendência geral de queda da resistência frente ao aumento da porosidade é identificada no gráfico de flexão 3 pontos conforme pode ser observado no Gráfico 14 (a) e (b). No entanto, ocorre formação de picos de grande intensidade que destoam dos valores das demais amostras, o que de certa forma, evidencia a possibilidade de um comportamento dúbio, onde ora o parâmetro aumenta e ora diminui, comprometendo a previsibilidade de comportamento do conjunto de dados. Para preservar uma boa visualização optou-se por traçar no gráfico as retas que evidenciam o comportamento esperado, de redução da resistência, e de indicar textualmente, as tendências de aumento da resistência. Assim, a compressão se eleva na sequência das amostras 2, 3 e 8, nas amostras 4, 6, e 9, e por último nas amostras 1 e 5.

As fases do ensaio de dilatação térmica linear, apresentadas no Gráfico 15 (a) e (b) e no Gráfico 16 (a) e (b), apresentaram grande similaridade, evidenciando que tanto o aumento quanto o decréscimo da temperatura provocam efeitos análogos no comportamento das amostras. No que tange as informações referentes a tendência observada, o padrão de dispersão dos dados sugere uma imparcialidade, uma vez que a amplitude observada em relação a reta de tendência geral é baixa, não evidenciando nenhum comportamento de aumento ou diminuição. Essa constatação indica que os valores tendem a ficar próximos dessa reta de tendência, sendo possível que a porosidade não afetou de forma efetiva o comportamento da dilatação desse conjunto de dados.

O Gráfico 17 (a) e (b) relativo ao desgaste apresenta uma tendência geral de queda de resistência com o aumento da porosidade. Vale ressaltar que valores maiores de desgaste revelam uma menor resistência do material. Embora haja essa tendência, há picos de intensidade elevada, que geram tendências de diminuição do desgaste. No gráfico de tendências observadas, foi possível traçar uma dessas retas de aumento de resistência sem comprometer a visualização das tendências contrárias. Essa reta pode ser identificada facilmente pelo seu coeficiente angular negativo. Assim, esse parâmetro também apresentou um comportamento de dualidade, que tende a comprometer a previsibilidade de comportamento do material.

Tabela 8: Resumo da análise petrográfica dos Quartzitos

Nº Amostra	Análise Textural	Observações	Mineralogia	Classificação
Amostra 1	<p>A rocha é essencialmente constituída por cristais de quartzo, com granulação variando desde fina até muito fina. Os grãos de granulação muito fina normalmente ocupam espaços entre os grãos de granulação fina. A textura originalmente granoblástica, mostra-se deformada, o que é definido por forte alongamento dos cristais de quartzo. A presença de raras e finas palhetas de sericita não confere nenhuma feição especial à textura da rocha. Em alguns corpos de prova, há linhas ou finas bandas com coloração amarelada, alternadas com outras esbranquiçadas. Cristais de minerais opacos (óxidos), de granulação muito fina, ocorrem ocupando espaços entre os grãos de quartzo e invariavelmente mostrando alteração para limonita, que em parte explica a presença de bandas ou áreas com coloração marrom avermelhada.</p>	Foram identificadas microfissuras na rocha.	Quartzo, Sericita, Óxidos	Quartzito
Amostra 2	<p>A rocha apresenta granulação predominantemente fina. A textura é a granoblástica, definida pelos grãos de quartzo. As palhetas de sericita são finas e encontram-se dispersas na rocha, ocupando espaços entre os grãos de quartzo, ou, às vezes, dispostas segundo uma determinada direção, mas não chegando a configurar planos de foliação definidos. Mostra distribuição irregular. Rocha de aspecto maciço e constituída, essencialmente, por cristais de quartzo. Presença de raros cristais de minerais opacos.</p>	Foram identificadas microfissuras na rocha.	Quartzo, Sericita, Feldspatos, Óxidos	Sericita – Quartzito grauaquiano
Amostra 3	<p>A rocha apresenta textura granoblástica definida pelos cristais de quartzo, que são predominantes. Presença de finas palhetas de sericita (mica) isoladas ou alinhadas, sempre orientadas, mas não configurando estrutura planar. Os contatos entre os grãos de quartzo são do tipo irregular até retos e a granulação da rocha é predominantemente fina.</p>	Não foram identificadas microfissuras importantes na rocha.	Quartzo, Opacos, Sericita	Sericita – Quartzito (quartzito micáceo)
Amostra 4	<p>Rocha de textura granoblástica, conferida pelo arranjo dos grãos de quartzo, com ausência de estruturas planares. Presença de finas palhetas de mica (sericita), em parte mostrando disposição segundo uma determinada direção, às vezes compondo linhas e finos agregados. As finas palhetas de clorita mostram-se bem distribuídas na rocha e invariavelmente encontram-se orientadas. Os contatos entre os grãos são do tipo irregular e a granulação é predominantemente fina. Presença de bandas</p>	Foram identificadas inúmeras microfissuras na rocha, em boa parte preenchidas com limonita (coloração amarelo alaranjada).	Quartzo, Clorita, Sericita, Turmalina, Óxidos	Sericita-Clorita Quartzito

Nº Amostra	Análise Textural	Observações	Mineralogia	Classificação
	interrompidas e áreas esbranquiçadas ricas em quartzo e de áreas esverdeadas (clorita).			
Amostra 5	<p>Rocha de textura lepidogranoblástica, com forte orientação dos grãos de quartzo e das finas palhetas de mica, sem apresentar estruturação, para além da forte orientação de seus constituintes mineralógicos. Os contatos entre os grãos de quartzo variam de retos até irregulares, com bom ordenamento, que é condicionado pelas palhetas de mica. A granulação é predominantemente uniforme e fina. Presença de finas palhetas de mica, que se encontram fortemente orientadas, às vezes concentradas em finas bandas. Foram identificadas raras microfissuras do tipo intergranulares. Linhas e espaços intergranulares encontram-se com frequência preenchidos por material opaco em parte alterado para limonita e hematita; A amostra analisada apresenta conteúdo em material secundário relacionado com substituição dos óxidos e produção de hidróxidos de ferro.</p>	<p>Não foram identificadas microfissuras significativas na rocha.</p>	<p>Quartzo, Sericita, Óxidos</p>	<p>Sericita - Quartzito</p>
Amostra 6	<p>A rocha analisada apresenta duas partes distintas. Uma parte é maciça e constituída por grãos de quartzo de granulação fina e com textura granoblástica. Essa textura granoblástica é definida pela disposição dos grãos de quartzo, que é o mineral que ocorre em maior conteúdo na rocha. Os contatos entre esses grãos variam de côncavo-convexos (predominantes) até irregulares ou retos (subordinados) e com bom engrenamento. Essa parte é hospedeira de material injetado. A outra parte (injeções) está representada por bandas e linhas igualmente constituídas por cristais de quartzo, mas de granulação muito fina. Essas bandas e linhas são mais novas e podem representar injeções de material silicoso resultante de algum processo de dissolução, que ocorre preenchendo fissuras e espaços vazios na rocha. As bandas e linhas se cortam e apresentam direções diferentes entre si. Foram identificadas diminutas inclusões de opacos nos grãos de quartzo. Tanto parte das fissuras, quanto parte dos espaços intergranulares, se encontram ocupadas por cristais de minerais opacos ou produtos da alteração destes, o que confere coloração rósea avermelhada ou amarronzada à rocha. Presença de finas bandas ou linhas (veios), que se destacam do restante da rocha por sua coloração esbranquiçada e espessuras diferentes. A rocha apresenta alguma estruturação definida pela presença de linhas ou finas bandas esbranquiçadas entrecortadas em matriz com coloração róseo amarronzada. Essas bandas e linhas são melhor observadas segundo determinadas direções de corte.</p>	<p>Foram identificadas microfissuras na rocha, em parte preenchidas por material opaco em boa parte alterado para limonita e com coloração amarelo-amarronzada.</p>	<p>Quartzo, Óxidos</p>	<p>Quartzito com baixo grau de recristalização</p>

Nº Amostra	Análise Textural	Observações	Mineralogia	Classificação
Amostra 7	<p>Rocha com textura granoblástica predominante, apresentado bandamento pouco desenvolvido e definido pela presença de bandas com alto conteúdo em cristais de dumortierita em meio aos de quartzo e outras ricas em cristais de quartzo e contendo finas palhetas de sericita. As finas palhetas de sericita configuram bandas, mas não definem planos de foliação. Os contatos entre os grãos são do tipo irregular e a granulação é predominantemente fina. A rocha apresenta granulação fina e aspecto maciço, contendo seixos ou nódulos com coloração esbranquiçada ou escura e em meio a material com coloração cinza azulada. Na amostra de rocha analisada se observa que os nódulos mostram algum alongamento e disposição segundo determinada direção.</p>	<p>Foram identificadas microfissuras na rocha.</p>	<p>Quartzo, Sericita/Muscovita, Dumortierita Opacos</p>	<p>Dumortierita Quartzito</p>
Amostra 8	<p>A rocha é essencialmente constituída por cristais de quartzo, com granulação variando desde a fina até a muito fina. Os grãos de granulação muito fina normalmente ocupam espaços entre os grãos de granulação fina. A textura originalmente granoblástica, mostra-se deformada, o que é definido por forte alongamento dos cristais de quartzo. A presença de finas palhetas de sericita, embora orientadas, não confere nenhuma feição especial à textura da rocha.</p>	<p>Foram identificadas microfissuras na rocha contendo material de coloração amarelada (limonita).</p>	<p>Quartzo, Sericita, Óxidos</p>	<p>Quartzito milonítico</p>
Amostra 9	<p>A rocha é essencialmente constituída por cristais de quartzo, com granulação variando desde a fina até a muito fina. Os grãos de granulação muito fina normalmente ocupam espaços entre os grãos de granulação fina. A textura originalmente granoblástica, mostra-se deformada, o que é definido por forte alongamento dos cristais de quartzo. A presença de finas palhetas de sericita, embora orientadas, não confere nenhuma feição especial à textura da rocha. Presença, em alguns corpos de prova, de linhas ou de finas bandas com coloração amarelada, alternadas com outras esbranquiçadas; alguns corpos de prova não apresentam estruturação ou bandamento, enquanto outros sim.</p>	<p>Não foram identificadas microfissuras na rocha.</p>	<p>Quartzo, Sericita, Óxidos</p>	<p>Quartzito milonítico</p>
Amostra 10	<p>A rocha apresenta granulação predominantemente fina. A textura é a granoblástica, definida pelos grãos de quartzo. As palhetas de sericita são finas e encontram-se dispersas na rocha, ocupando espaços entre os grãos de quartzo, ou, às vezes, dispostas segundo uma determinada direção, mas não chegando a configurar planos de foliação definidos. Mostra distribuição regular; Rocha essencialmente constituída por cristais de quartzo. Presença de raras e finas palhetas de mica, em meio a uma</p>	<p>Não foram identificadas microfissuras na rocha.</p>	<p>Quartzo, Sericita, Óxidos</p>	<p>Sericita - Quartzito</p>

Nº Amostra	Análise Textural	Observações	Mineralogia	Classificação
	massa predominantemente formada por cristais de quartzo; a rocha não apresenta estruturas.			
Amostra 11	Rocha de textura granoblástica, definida pela disposição dos grãos de quartzo, que é o mineral que ocorre em maior conteúdo na rocha. Os contatos entre os grãos variam de retos até irregulares, com bom engrenamento. A granulação é equigranular fina. Foram identificadas inclusões ou linhas de inclusões nos grãos de quartzo, definidas pela disposição de diminutos cristais de opacos. Tanto parte das fissuras, quanto parte dos espaços intergranulares, encontram-se ocupados por cristais de minerais opacos ou produtos da alteração destes, o que confere coloração rósea avermelhada ou amarelo-amarronzada à rocha; Presença de bandas ou áreas que se destacam por colorações diferenciadas; a rocha apresenta alguma estruturação definida pela presença de linhas ou finas bandas interrompidas e marcadas por colorações diferentes.	Foram identificadas microfissuras na rocha, em parte preenchidas por material opaco em boa parte alterado para limonita e com coloração amarelo-amarronzada.	Quartzo, Óxidos	Quartzito
Amostra 12	Rocha de textura granoblástica. Apresenta granulação predominantemente fina e é constituída essencialmente por grãos de quartzo e de feldspato, aos quais associam-se finas palhetas de micas. Essas palhetas, ocupando espaços entre os grãos de quartzo e do feldspato, mostram distribuição regular. O feldspato foi identificado como sendo em parte a albita (predominante), mas também a microclina. Presença de grãos de minerais opacos (óxidos) distribuídos de forma regular, mostrando alterações e ocupando espaços intergranulares. Do conjunto de minerais presentes na rocha observa-se que o conteúdo em feldspato é superior a 25%.	Foram identificadas microfissuras na amostra e sem presença de estruturas, a não ser aquelas marcadas por alterações.	Quartzo, Plagioclásio, Microclina, Opacos, Biotita, Sericita, Clorita	Transição entre um orto arenito arcossiano para um quartzito arcossiano

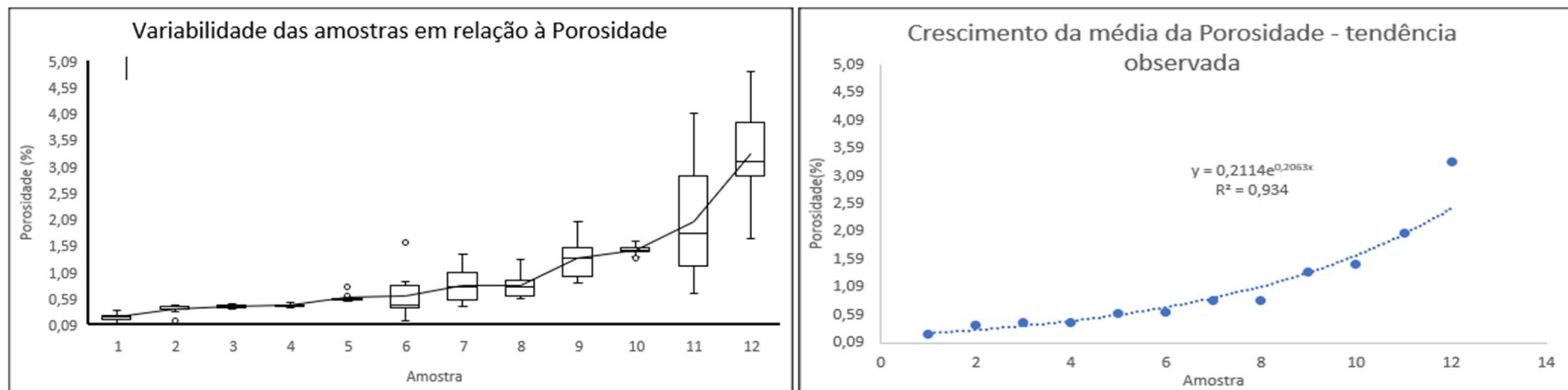


Gráfico 10 (a) e (b): Análise das amostras de quartzito quanto ao parâmetro Porosidade

Fonte: Elaborado pelo Autor.

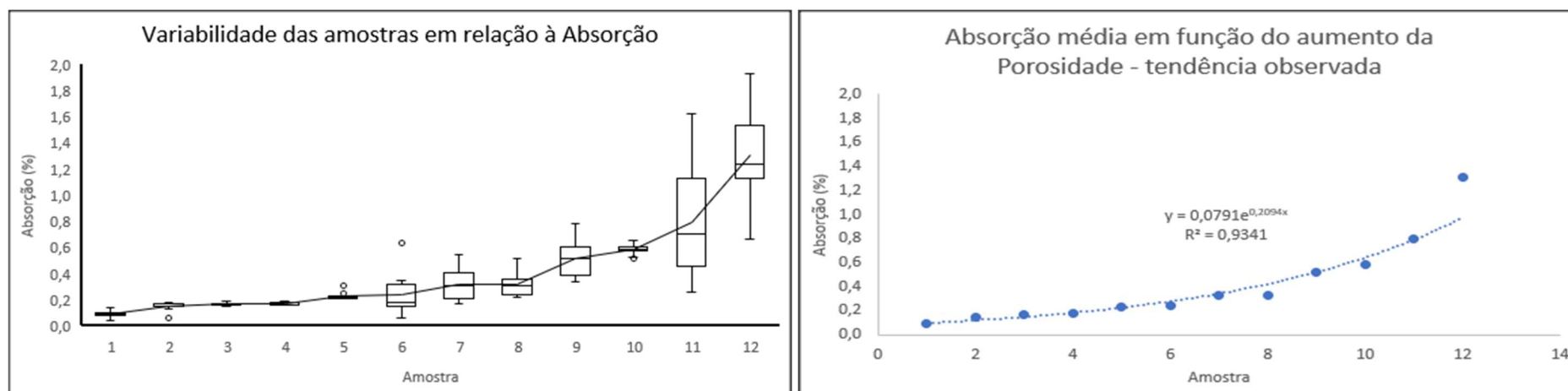


Gráfico 11 (a) e (b): Análise das amostras de quartzito quanto ao parâmetro Absorção

Fonte: Elaborado pelo Autor.

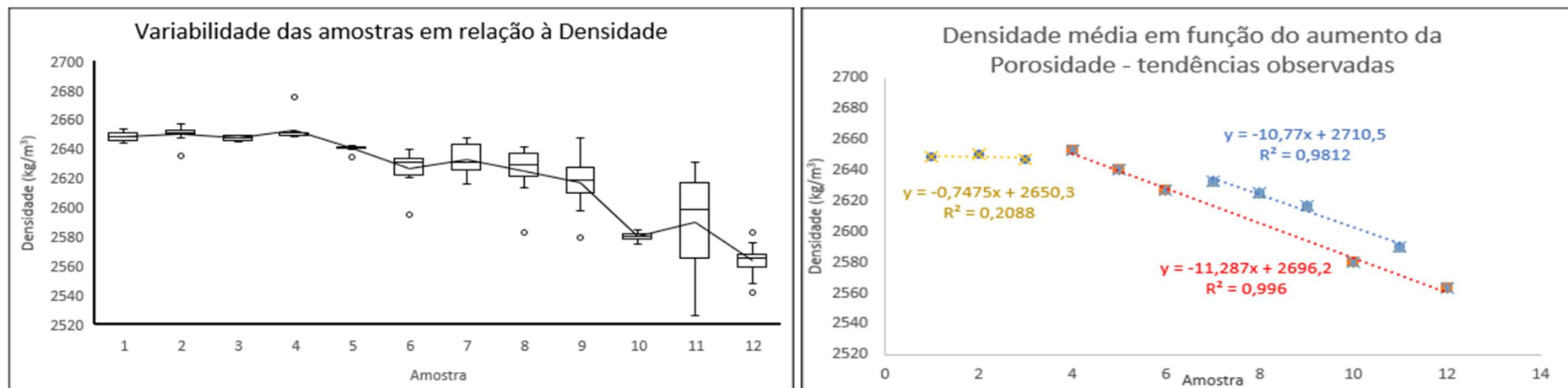


Gráfico 12 (a) e (b): Análise das amostras de quartzito quanto ao parâmetro Densidade

Fonte: Elaborado pelo Autor.

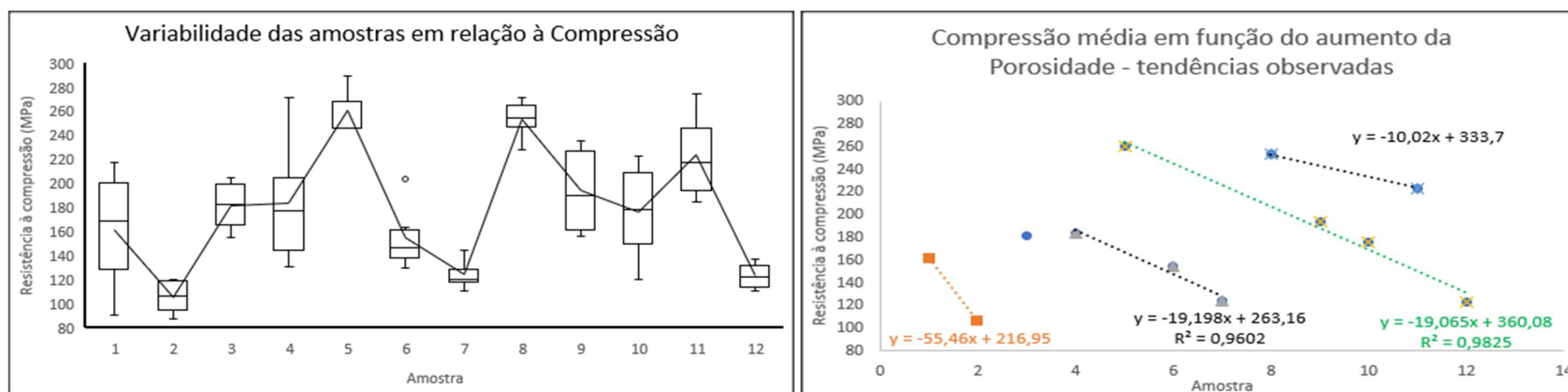


Gráfico 13 (a) e (b): Análise das amostras de quartzito quanto ao parâmetro Compressão

Fonte: Elaborado pelo Autor.

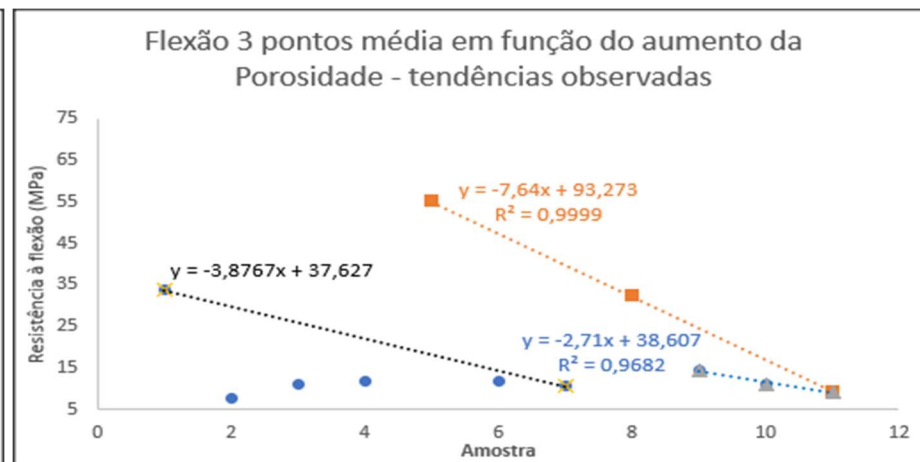
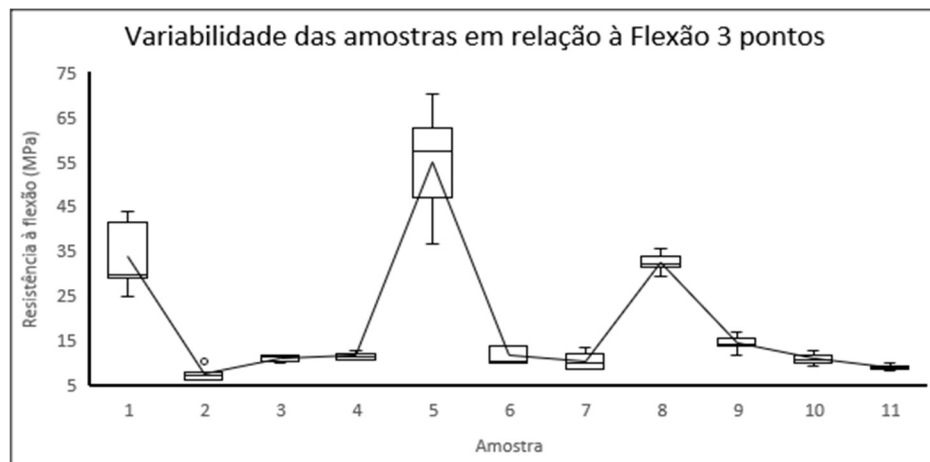


Gráfico 14 (a) e (b): Análise das amostras de quartzo quanto ao parâmetro Flexão 3 Pontos

Fonte: Elaborado pelo Autor.

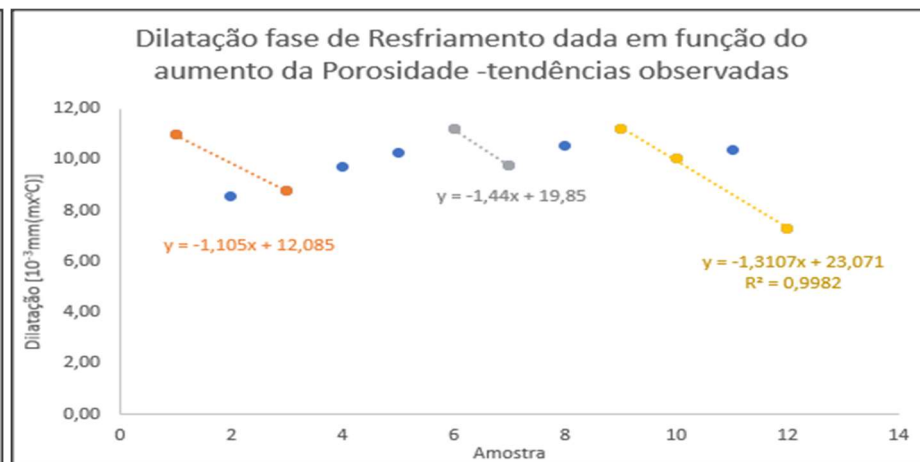
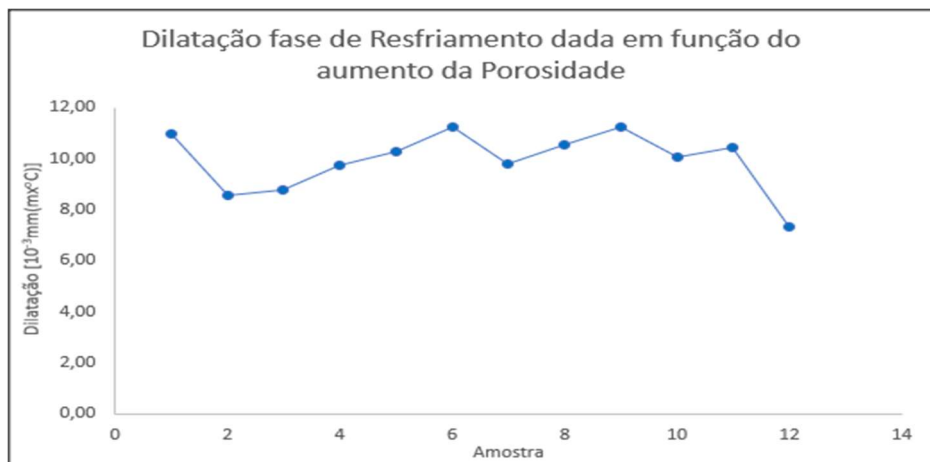


Gráfico 15 (a) e (b): Análise das amostras de quartzo quanto ao parâmetro Dilatação na fase de Resfriamento

Fonte: Elaborado pelo Autor.

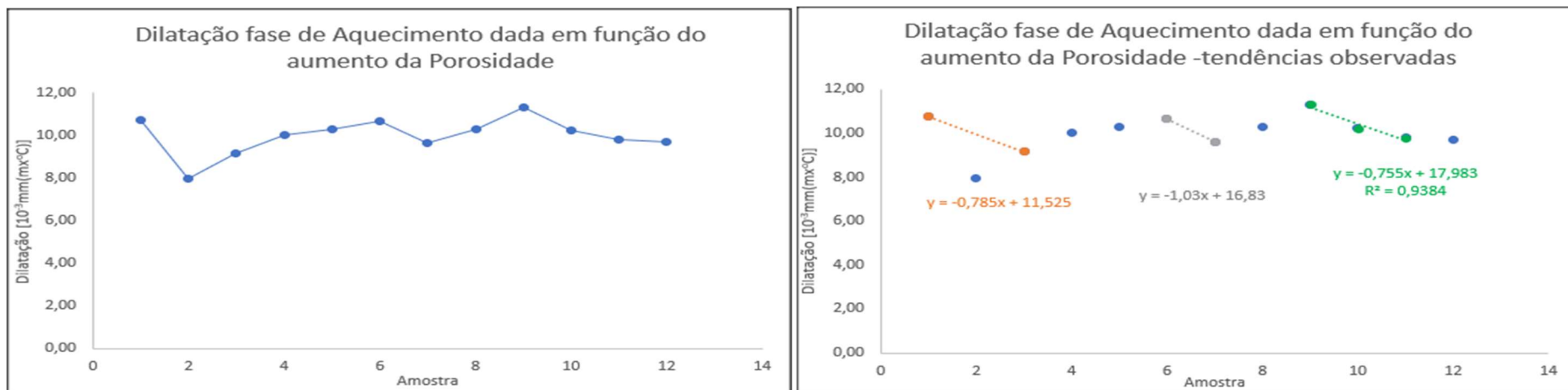


Gráfico 16 (a) e (b): Análise das amostras de quartzito quanto ao parâmetro Dilatação na fase de Aquecimento

Fonte: Elaborado pelo Autor.

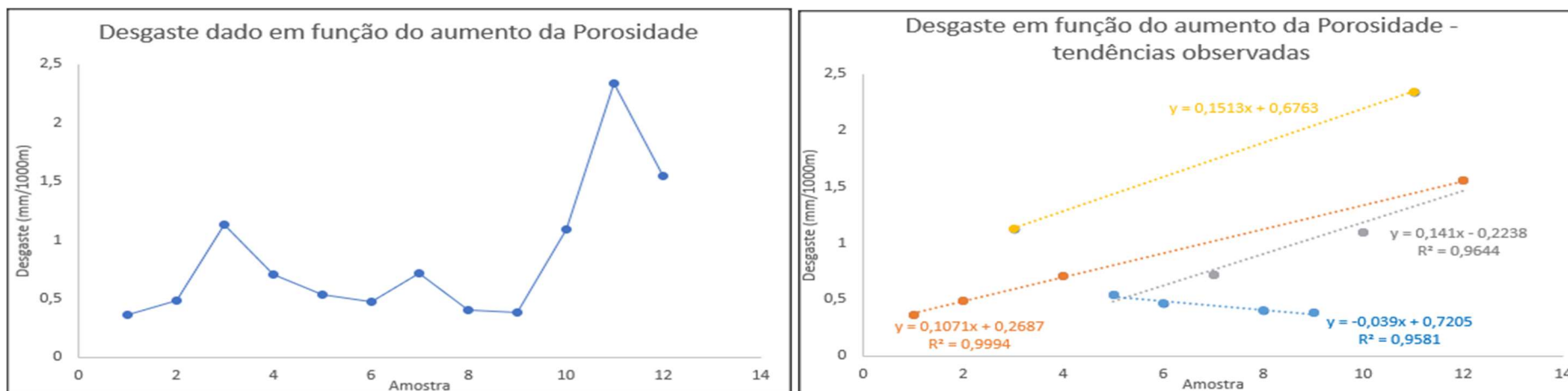


Gráfico 17 (a) e (b): Análise das amostras de quartzito quanto ao parâmetro Desgaste

Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.1.3 Amostras de Gnaises

Os dados relativos a porosidade e a absorção de água apresentaram um crescimento linear e coeficiente de determinação superior a 97%, não explicando a variabilidade dos dados para um valor inferior a 3%, conforme mostrado no Gráfico 18 (a) e (b) e no Gráfico 19 (a) e (b). Assim, evidencia-se a existência de uma relação direta e proporcional entre o aumento da absorção e o crescimento da porosidade, o que implica em uma alta relevância desse parâmetro na capacidade do material em absorver água.

No Gráfico 20 (a) e (b), referente ao parâmetro densidade, a relação não é direta. Embora exista uma tendência geral de queda, há picos de aumento da densidade com o aumento da porosidade. Os maiores valores sugerem um subgrupo desse conjunto de dados, mais sensível a esse maior número de poros e que reage mais abruptamente diante desse fator. Isso é evidenciado ao observar o coeficiente angular de um subgrupo que é quase o quádruplo do outro subgrupo. Já no gráfico de tendências observadas relativos ao ensaio de compressão se percebe duas tendências de perda de resistência quase que paralelas, indicando uma certa conformidade com o aumento da porosidade. No entanto, as amostras 2, 3 e 4 apresentam uma tendência contrária de aumento da resistência. Esses resultados podem ser visualizados no Gráfico 21 (a) e (b) configuram um caráter de dualidade no comportamento da compressão, o que dificulta a previsibilidade do seu comportamento. Assim, com o propósito de preservar a boa visualização no gráfico, a reta de tendência de aumento da densidade não foi traçada.

As tendências de queda de resistência observadas para a flexão 3 pontos e apresentadas no Gráfico 22 (a) e (b) mostram que se houvesse um maior número de amostras, provavelmente as retas de tendência teriam pontos em comum, se apresentando como retas convergentes. No gráfico, existe apenas um ponto de inflexão, a amostra 2. A amostra 3 é a única que apresenta aumento da resistência frente ao aumento da porosidade. Essa tendência de elevação da resistência a flexão é menos evidente à observada na resistência à compressão, já que três amostras tiveram a resistência à compressão aumentada mediante o aumento da porosidade. Logo, há hipótese de dois subgrupos com respostas em diferentes níveis de sensibilidade é pertinente para este caso.

Em relação as fases de dilatação, mostradas no Gráfico 23 (a) e b e no Gráfico 24 (a) e (b), foi observado uma tendência geral de aumento da dilatação nas fases de resfriamento e aquecimento, contrariando a expectativa de um comportamento inversamente proporcional ao aumento da porosidade. No entanto, o padrão apresentado tende a apresentar um caráter de

dualidade, visto que ora a resistência cresce, ora reduz, o que gera uma certa dificuldade para precisar seu comportamento.

O Gráfico 25 (a), que apresenta o comportamento do desgaste, apresenta dois patamares de estabilidade localizados entre as amostras 1 e 2 e entre as amostras 4 e 5. Sendo que, o segundo patamar apresenta maior valor de desgaste, indicando uma tendência de diminuição da resistência conforme apresentado no Gráfico 25 (b). Há apenas uma exceção a esse comportamento, a amostra 3, que na sequência para amostra 4 apresenta uma redução do desgaste, que pode ser definido com um ponto de inflexão.

Assim, ao se ligar os pontos de maior desgaste percebe-se uma reta de tendência mais acentuada que aquela formada pela base dos patamares, sendo o primeiro subgrupo mais sensível ao aumento da porosidade.

Tabela 9: Resumo da análise petrográfica dos Gnaisses

Nº Amostra	Análise Textural	Observações	Mineralogia	Classificação
Amostra 1	<p>A rocha é equigranular e apresenta granulação variando de fina até média. É constituída por minerais félsicos (claros) e por minerais máficos (escuros) e com distribuição regular; essencialmente formada por cristais de feldspatos, de quartzo, de anfibólio e por palhetas de biotita. Nas porções quartzo-feldspáticas, constituídas por cristais de microclina, plagioclásio e quartzo a textura é granoblástica. As palhetas de biotita e os cristais de anfibólio não configuram nenhuma estrutura bem definida. Dos dois máficos, apenas a biotita mostra alguma orientação. Os contatos entre grãos são predominantemente do tipo côncavo-convexo; rocha não apresenta estruturação ou bandamento definidos.</p>	<p>Foram identificadas microfissuras na amostra, intragranulares e intergranulares, em parte preenchidas por material secundário de granulação muito fina.</p>	<p>Plagioclásio, Microclina, Quartzo, Hornblenda, Biotita</p>	<p>Hornblenda-Biotita-Granito - Gnaiss</p>
Amostra 2	<p>A rocha é equigranular e apresenta granulação variando de fina, predominante, até média. É constituída por minerais félsicos (claros) e por minerais máficos (escuros) e com distribuição irregular; essencialmente formada por cristais de feldspatos e de quartzo e em menor conteúdo por cristais de anfibólio e por finas palhetas de biotita. Nas porções quartzo-feldspáticas, constituídas por cristais plagioclásio, microclina e quartzo a textura é granoblástica. As palhetas de biotita e os cristais de anfibólio não configuram nenhuma estrutura bem definida. Dos dois máficos, apenas a biotita mostra alguma orientação. Os contatos entre grãos são predominantemente do tipo côncavo-convexo. A rocha apresenta alguma estruturação marcada pela presença de linhas até finas bandas incompletas e formadas por minerais máficos (escuros).</p>	<p>Foram identificadas microfissuras na amostra, com predomínio das intra sobre as intergranulares, em parte preenchidas por diminutos cristais de minerais opacos e por material secundário de granulação muito fina.</p>	<p>Plagioclásio, Microclina, Quartzo, Hornblenda, Biotita</p>	<p>Hornblenda-Biotita - Gnaiss</p>
Amostra 3	<p>A rocha é equigranular e apresenta granulação variando de fina até média. É constituída essencialmente por cristais de feldspatos, de quartzo, de anfibólio e por palhetas de biotita. Nas porções quartzo-feldspáticas, constituídas por cristais de plagioclásio e quartzo a textura é granoblástica. As palhetas de biotita e os cristais de anfibólio e de minerais opacos compõem linhas ou finas bandas e mostram alguma disposição segundo uma direção determinada, definindo uma pouco marcada textura lepidonematoblástica. Os contatos entre grãos são predominantemente do tipo côncavo-convexo; A rocha é constituída por minerais félsicos (claros) e por minerais máficos (escuros), que mostram alguma disposição preferencial, segundo bandas pouco espessas e com coloração variando entre a esbranquiçada e a cinza esverdeada; apresenta discreta estruturação por meio de bandamento identificado por uma alternância de bandas pouco espessas esbranquiçadas com outras, de coloração escura.</p>	<p>Não foram identificadas microfissuras na amostra, intragranulares ou intergranulares.</p>	<p>Plagioclásio, Quartzo, Hornblenda, Biotita, Granada, Apatita, Opacos</p>	<p>Granada-Hornblenda-Biotita-Plagioclásio - Gnaiss.</p>

Nº Amostra	Análise Textural	Observações	Mineralogia	Classificação
Amostra 4	<p>A rocha é equigranular e apresenta granulação predominantemente fina. A composição é granítica e a textura pode ser definida como granular hipidiomórfica reliquiar, submetida a esforços dirigidos, que resultaram no desenvolvimento de uma textura em parte granoblástica, em parte lepidoblástica, com predomínio de minerais subédricos. As palhetas de biotita mostram disposição segundo uma determinada direção, sem, no entanto, constituírem planos de foliação. Os contatos entre grãos são predominantemente do tipo côncavo-convexo. O bandamento da rocha é definido pela presença de bandas mostrando clara variação composicional, sendo frequentes as composições: 1) bandas com cristais de microclina, plagioclásio e de quartzo; 2) linhas interrompidas e constituídas por palhetas de biotita. Presença de veio de quartzo concordante com o bandamento e com a orientação das micas. A rocha é constituída por minerais félsicos e minerais máficos. Presença de pontos pretos (cristais de óxidos) e de linhas interrompidas formadas por minerais escuros (palhetas isoladas de micas). Presença de banda acinzentada com granulação média (cristais de quartzo) com bordas amareladas; apresenta estruturação, definida pela presença de linhas de minerais escuros (máficos) interrompidas, alternadas com bandas claras ricas em minerais félsicos.</p>	<p>Foram identificadas microfissuras na amostra, intragranulares e intergranulares, em parte preenchidas com palhetas de sericita e por limonita.</p>	<p>Feldspato potássico, Plagioclásio, Quartzo, Biotita, Opacos</p>	<p>Biotita-Microclina Granito-Gnaiss.</p>
Amostra 5	<p>A rocha é equigranular e apresenta granulação predominantemente fina, mas também partes com granulação média. A composição é tonalítica e a textura pode ser definida como granular hipidiomórfica reliquiar, submetida a esforços dirigidos, que resultaram no desenvolvimento de estrutura gnáissica, alongamento de cristais de minerais félsicos e de textura em parte lepidoblástica, com predomínio de minerais subédricos. As palhetas de biotita mostram alguma disposição segundo uma determinada direção, sem, no entanto, constituírem planos de foliação. Os contatos entre grãos são predominantemente do tipo côncavo-convexo. O bandamento da rocha é definido pela presença de bandas mostrando clara variação composicional, sendo frequentes as composições: 1) bandas com cristais de plagioclásio e de quartzo; 2) bandas ou linhas interrompidas e constituídas por cristais de granada e palhetas de biotita; A rocha é constituída por minerais félsicos e minerais máficos. Presença de bandas constituídas por minerais félsicos (feldspatos e quartzo) alternadas com bandas escuras constituídas por minerais máficos (granada e biotita); a rocha apresenta estruturação definida pela presença de bandas e linhas de minerais escuros (máficos), alternadas com bandas claras e ricas em minerais félsicos. Às vezes essas bandas mostram-se interrompidas.</p>	<p>Foram identificadas microfissuras na amostra, intragranulares e intergranulares, em parte preenchidas com palhetas de sericita e por opacos.</p>	<p>Plagioclásio, Quartzo, Granada, Biotita</p>	<p>Granada – Tonalito-Gnaiss.</p>

Nº Amostra	Análise Textural	Observações	Mineralogia	Classificação
Amostra 6	<p>A rocha é equigranular e apresenta granulação variando de fina até média, com alguns cristais grossos de feldspatos, sendo constituída por minerais félsicos e máficos. A textura pode ser definida como granular hipidiomórfica, mas em parte granoblástica, em especial para as áreas quartzo-feldspáticas e fibroblástica nas bandas interrompidas e constituídas por agregados fibrosos de sillimanita, mais cristais de minerais opacos. Palhetas de micas e cristais fibrosos de sillimanita mostram alguma orientação. Os contatos entre grãos de minerais félsicos são predominantemente do tipo côncavo-convexo. Foram identificadas áreas constituídas por minerais félsicos, com presença de linhas ou finas bandas interrompidas e constituídas por minerais de aspecto fibroso, identificados como sendo agregados interrompidos e orientados de fibrolita (sillimanita) com coloração esbranquiçada ou finas palhetas de biotita. Apresenta alguma estruturação definida pela presença de linhas ou de finas bandas interrompidas e constituídas por minerais máficos em meio a áreas compostas por cristais félsicos.</p>	<p>Foram identificadas microfissuras na amostra, com predomínio das intergranulares sobre as intragranulares e com presença de opacos e de limonita.</p>	<p>Feldspato potássico, Plagioclásio, Quartzo, Sillimanita, Granada, Biotita, Opacos</p>	<p>Granada-Sillimanita-Granito Gnaiss</p>

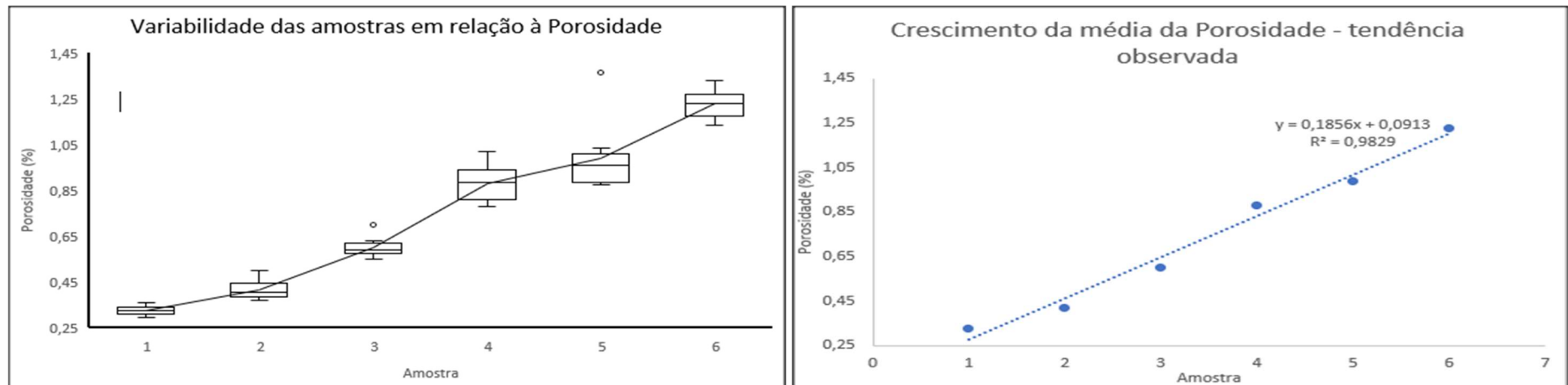


Gráfico 18 (a) e (b): Análise das amostras de gnaiss quanto ao parâmetro Porosidade

Fonte: Elaborado pelo Autor.

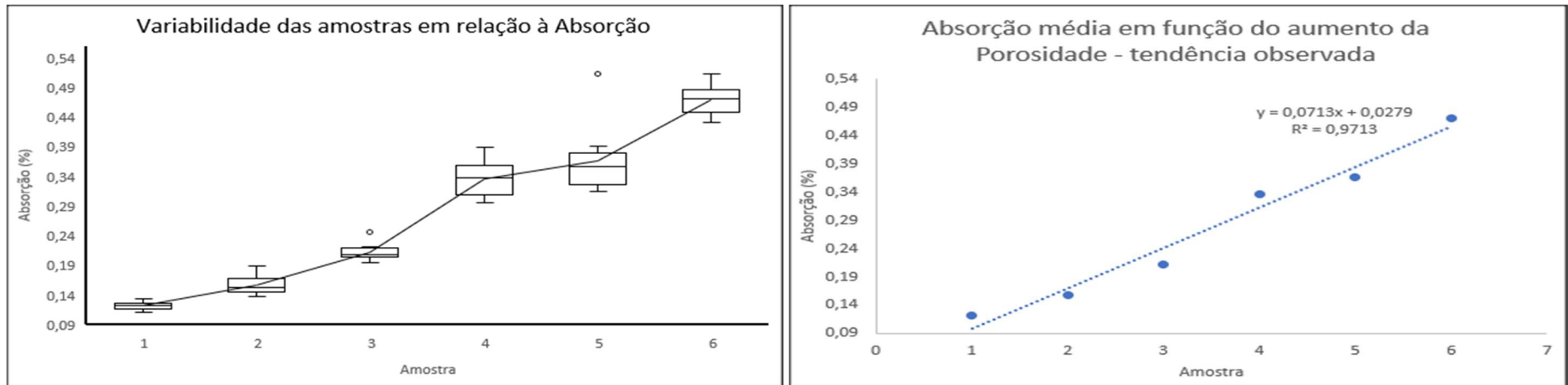


Gráfico 19 (a) e (b): Análise das amostras de gnaiss quanto ao parâmetro Absorção

Fonte: Elaborado pelo Autor.

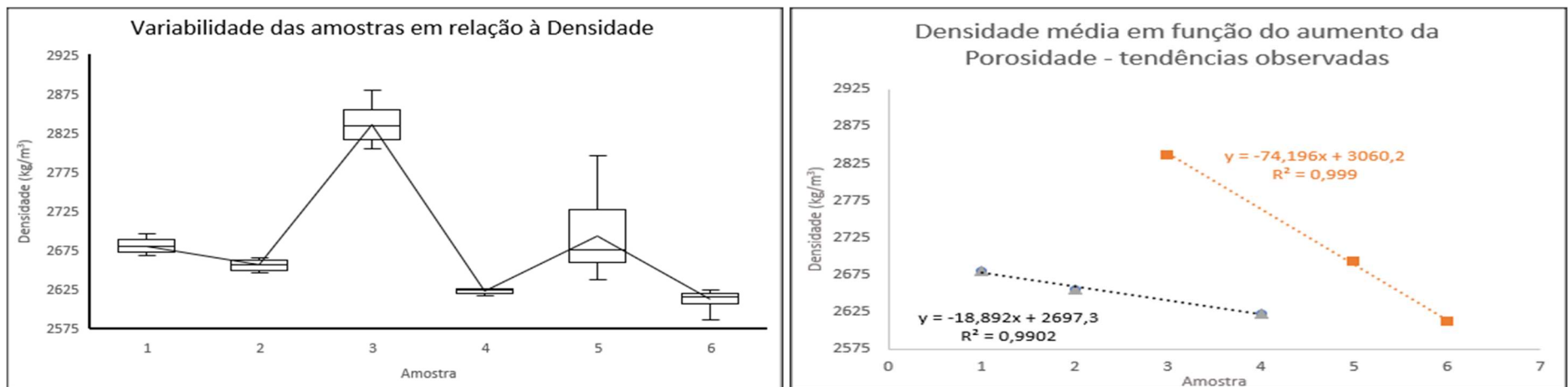


Gráfico 20 (a) e (b): Análise das amostras de gnaiss quanto ao parâmetro Densidade

Fonte: Elaborado pelo Autor.

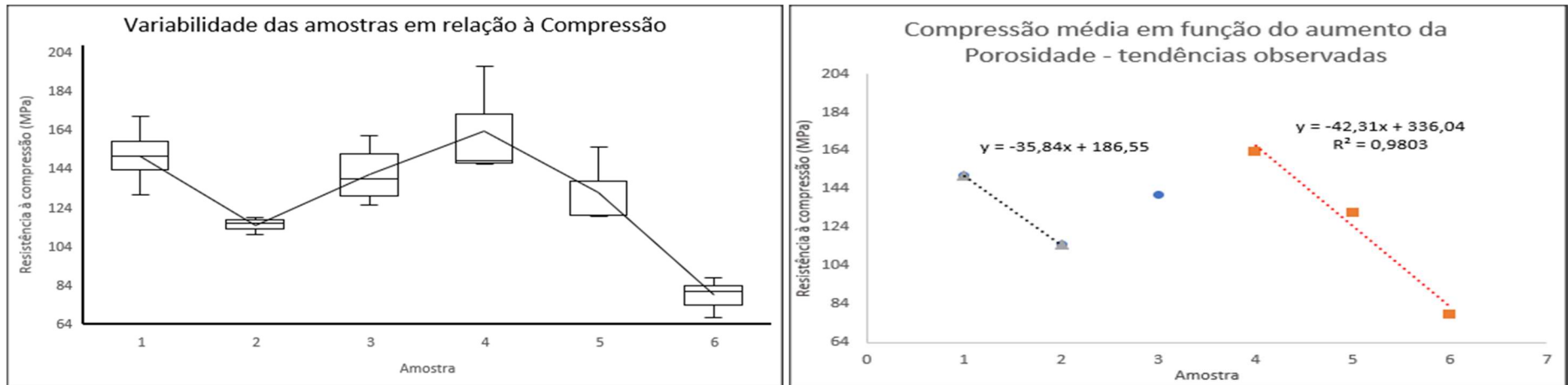


Gráfico 21 (a) e (b): Análise das amostras de gnaiss quanto ao parâmetro Compressão

Fonte: Elaborado pelo Autor.

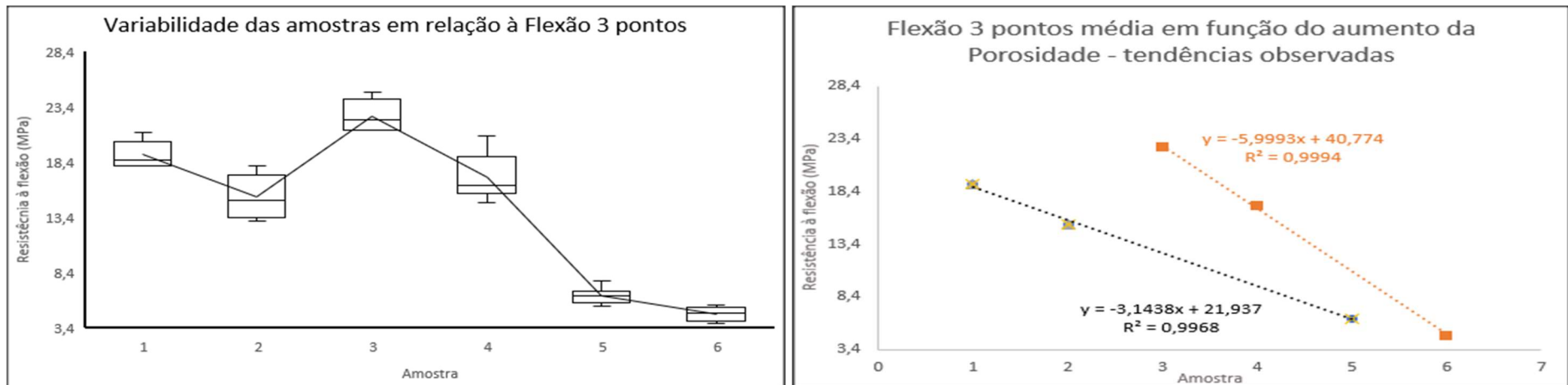


Gráfico 22 (a) e (b): Análise das amostras de gnaiss quanto ao parâmetro Flexão 3 Pontos

Fonte: Elaborado pelo Autor.

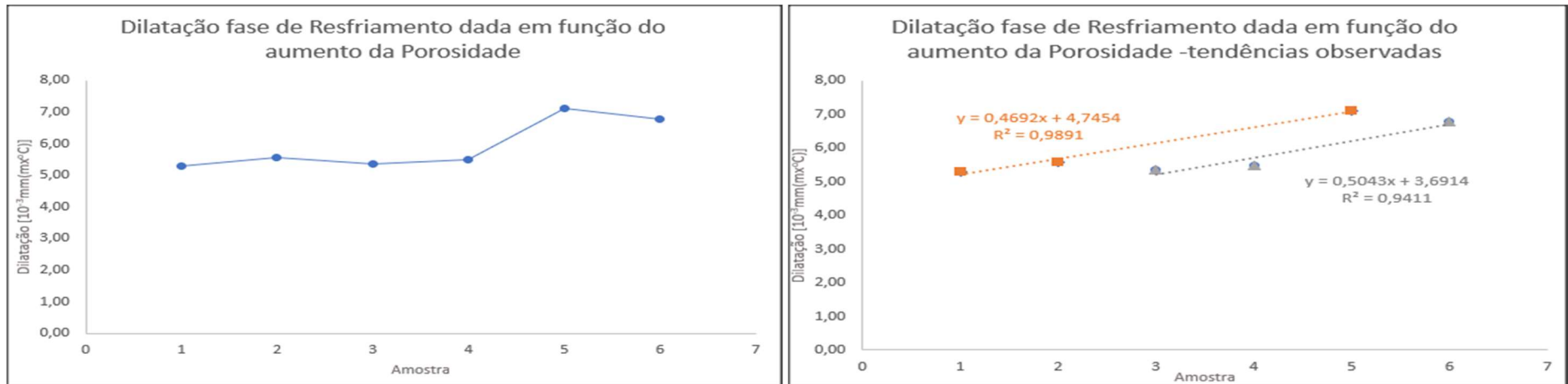


Gráfico 23 (a) e (b): Análise das amostras de gnaiss quanto ao parâmetro Dilatação na fase de resfriamento

Fonte: Elaborado pelo Autor.

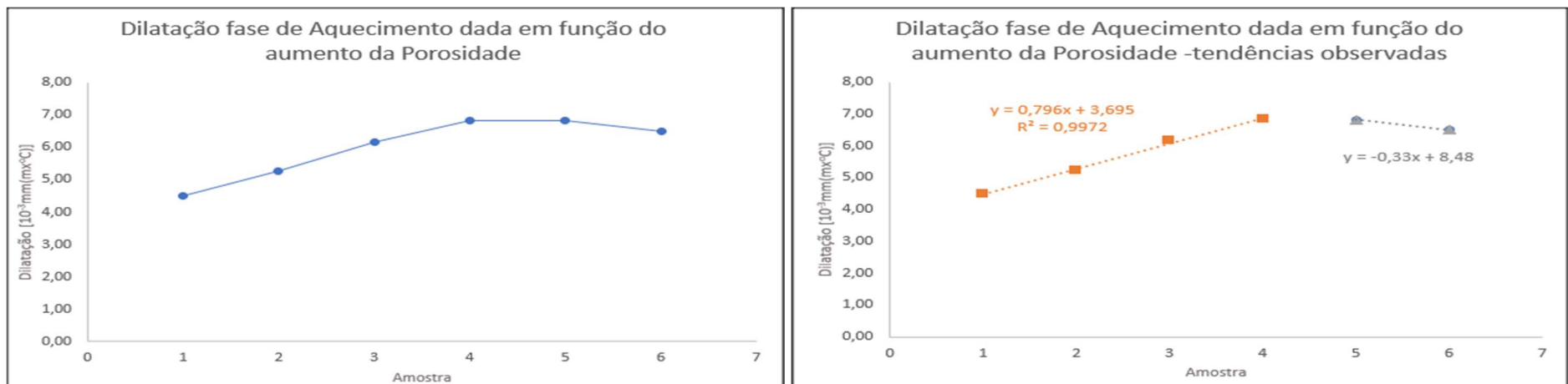


Gráfico 24 (a) e (b): Análise das amostras de gnaiss quanto ao parâmetro Dilatação na fase de aquecimento.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

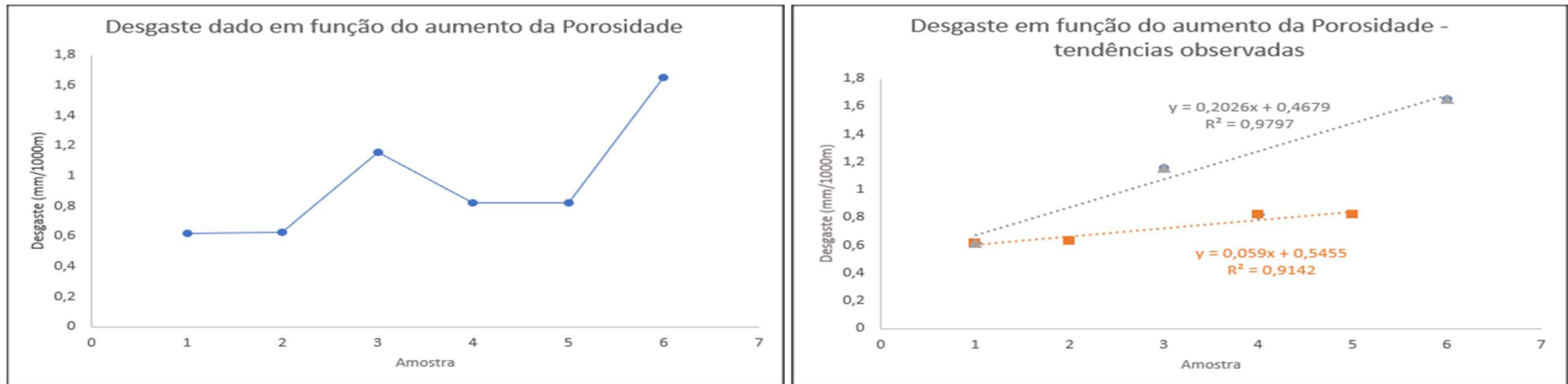


Gráfico 25 (a) e (b): Análise das amostras de gnaiss quanto ao parâmetro Desgaste.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.2 Análise dos Dados em Relação a Normas e Critérios de Desempenho

Este capítulo correlaciona os parâmetros das propriedades intrínsecas das amostras selecionadas do banco de dados do LABTECROCHAS com normas e trabalhos técnicos.

Além disso, também são apresentadas indicações de uso para os materiais que apresentaram desempenho insatisfatório em uma ou mais propriedades da caracterização tecnológica, observando as solicitações específicas que estarão submetidos conforme a aplicação.

5.2.1 Granitos

A Tabela 10 apresenta os valores aferidos durante a realização dos ensaios das amostras de granito para as propriedades que compõem os índices de qualidade. Considerando os valores recomendados na NBR 15844, pintou-se de vermelho os valores inferiores aos indicados na norma.

Tabela 10: Análise dos parâmetros das amostras de granito segundo a NBR 15844

Amostra	Densidade	Porosidade	Absorção	Desgaste	Compressão	Flexão 3pts	Flexão 4pts	Dilatação Aquecimento	Dilatação Resfriamento
1	2625,150	0,496	0,189	0,85	166,85	7,44	-	7,14	6,32
2	2668,661	0,534	0,200	0,65	143,57	14,17	-	6,71	6,69
3	2613,903	0,565	0,216	0,53	145,10	14,28	-	6,30	5,69
4	2629,761	0,638	0,243	0,84	148,39	24,32	-	6,17	5,05
5	2605,295	0,667	0,256	0,69	61,32	6,10	5,29	4,74	5,00
6	2619,302	0,684	0,261	0,88	142,42	12,45	-	5,69	4,10
7	2625,207	0,964	0,367	1,06	85,42	5,31	4,25	2,99	3,26
8	2615,882	1,118	0,427	1,06	95,41	4,10	-	1,65	1,37
9	2597,338	1,341	0,516	1,06	80,22	3,80	-	5,16	3,81
Parâmetros NBR 15844	> 2550	1	< 0,4	< 1,0	> 100	> 10,0	> 8,0	< 8,0	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Assim, de acordo com a NBR 15844 as amostras 1, 5, 7, 8 e 9 apresentam valores não típicos para granitos utilizados como revestimentos nas edificações.

5.2.2 Quartzitos

Para avaliação normativa do quartzito foi utilizada a norma ASTM C616 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2015b) que especifica alguns parâmetros dos índices de qualidade para esses materiais. A Tabela 11 apresenta os resultados da caracterização tecnológica das amostras. Os valores pintados em vermelho indicam não conformidade em relação aos valores normativos.

Tabela 11: Análise dos parâmetros das amostras de quartzito segundo a norma ASTM C 616

Amostra	Densidade	Porosidade	Absorção	Desgaste	Compressão	Flexão 3pts	Flexão 4pts	Dilatação Aquecimento	Dilatação Resfriamento
1	2648,723	0,239	0,090	0,36	161,49	33,75	-	10,74	10,98
2	2650,496	0,396	0,150	0,49	106,03	7,68	5,78	7,97	8,56
3	2647,228	0,450	0,170	1,13	181,78	11,09	8,63	9,17	8,77
4	2652,821	0,459	0,174	0,71	184,11	11,63	-	10,00	9,74
5	2640,249	0,611	0,231	0,54	260,37	54,92	-	10,30	10,28
6	2626,662	0,638	0,244	0,47	154,74	11,62	-	10,65	11,21
7	2632,858	0,850	0,323	0,72	124,26	10,49	8,14	9,62	9,77
8	2625,043	0,852	0,325	0,4	253,54	32,46	-	10,29	10,54
9	2616,793	1,356	0,519	0,38	193,92	14,5	-	11,30	11,21
10	2580,225	1,506	0,584	1,09	176,60	10,94	-	10,21	10,06
11	2590,153	2,054	0,799	2,34	223,48	9,08	-	9,79	10,41
12	2563,514	3,344	1,306	1,55	123,06	x	28,61	9,69	7,31
Parâmetros ASTM C616	> 2560	n.e	≤ 1	n.e	≥137,9	≥ 13,9	n.e	n.e	n.e

Nota: n.e = não especificado

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Segundo a ASTM C616 as amostras 2, 3, 4, 6, 7, 10, 11 e 12 apresentam não conformidades que carecem de análise complementar ou alterações para serem utilizadas como revestimentos.

5.2.3 Gnaisses

Não foram encontradas referências normativas específicas para rochas classificadas como gnaisses. No entanto, existem trabalhos técnicos que avaliam os principais parâmetros das propriedades intrínsecas, independentemente do tipo de rocha, baseados em um conceito de

desempenho. De maneira geral, são atribuídos conceitos de desempenho com base em intervalos de valores. Essa classificação possibilita traçar o perfil dos pontos fortes e fracos de cada material, o que contribui para especificar o uso. A Tabela 12 apresenta a classificação de desempenho segundo o intervalo dos valores das propriedades intrínsecas.

Tabela 12: Avaliação de desempenho segundo as propriedades intrínsecas das rochas






Propriedades Intrínsecas das Rochas	Valores de Referência - Desempenho				
	Muito Alto	Alto	Médio	Baixo	Muito Baixo
Porosidade Aparente (%)	> 6,0	6,0 – 3,0	3,0 – 1,0	1,0 - 0,5	< 0,5
Absorção d'água (%)	> 3,0	3,0 – 1,0	1,0 - 0,4	0,4 - 0,1	< 0,1
Compressão Uniaxial (MPa)	> 180,0	180,0 – 130,0	130,0 – 70,0	70,0 – 40,0	< 40,0
Flexão (carregamento em três pontos) (MPa)	> 20,0	20,0 – 16,0	16,0 – 10,0	10,0 – 6,0	< 6,0
Flexão (carregamento em quatro pontos) (MPa)	> 15,0	15,0 - 11,5	11,5 - 7,5	7,5 – 4,5	< 4,5
Coefficiente de dilatação térmica linear 10^{-3} mm/(m x °C)	> 12,0	12,0 - 10	10 - 8	8 - 6	< 6,0
Impacto de Corpo Duro (m)	> 0,95	0,95 - 0,7	0,7 – 0,5	0,5 - 0,3	< 0,3
Desgaste Amsler (mm/1000 m)	> 6,0	6,0 – 3,0	3,0 - 1,5	1,5 – 0,7	< 0,7

Fonte: Adaptado (FILHO; CHIOLDI, 2019).

Cabe ressaltar que a densidade aparente foi a única propriedade que não foi classificada segundo o critério de desempenho. Embora a densidade seja um parâmetro relevante, essa propriedade está mais relacionada a aspectos de sobrecargas estruturais que consideram a carga proveniente do tipo de material e a questões de custo de transporte e armazenamento, diretamente impactados pelo peso e volume do material. Dessa forma o tipo de uso e o ambiente de instalação não impõe esforços solicitantes que interajam com essa propriedade. Por essa razão esta classificação de desempenho foi admitida no âmbito deste trabalho.

Assim, a avaliação das amostras de gnaiss na Tabela 13 foi realizada com base na classificação de desempenho supracitada e utilizou uma escala de cores para indicar a classificação de desempenho de cada parâmetro.

Tabela 13: Análise dos parâmetros das amostras de Gnaiss segundo (FILHO; CHIODI, 2019).

Amostra	Densidade	Porosidade	Absorção	Desgaste	Compressão	Flexão 3pts	Flexão 4pts	Dilatação Aquecimento	Dilatação Resfriamento
1	2680,578	0,327	0,122	0,62	150,71	19,10	13,92	4,49	5,30
2	2656,256	0,418	0,157	0,63	114,87	15,24	-	5,25	5,57
3	2836,240	0,602	0,212	1,16	140,91	22,60	-	6,16	5,35
4	2622,816	0,882	0,336	0,82	163,33	17,04	-	6,84	5,49
5	2693,388	0,988	0,367	0,82	131,42	6,32	-	6,83	7,12
6	2612,268	1,228	0,470	1,65	78,71	4,69	-	6,50	6,79
Desempenho	Muito Alto 	Alto 	Médio 	Baixo 	Muito Baixo 				






Fonte: Elaborado pelo Autor.

Como no critério adotado não existe não conformidades, neste critério não há um padrão de não conformidade, cabe observar que a amostra 6 e a amostra 5 apresentaram desempenhos muito baixo e baixo para a flexão 3 pontos, respectivamente. Dessa maneira, será necessário observar as condições de utilização para essas amostras de forma a evitar trincas, ruptura do material ou outras patologias relacionadas aos esforços fletores.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As amostras que apresentaram alguma condição singular segundo os critérios normativos podem ser avaliadas pelos conceitos de desempenho do trabalho técnico, de forma a indicar a utilização em ambientes que respeitem as características do material. Da mesma forma, para as amostras já analisadas segundo a classificação de desempenho proposta no trabalho técnico e que apresentaram parâmetros que requerem atenção também é apresentado indicações de uso com base no desempenho de suas propriedades. A Tabela 14 reúne as amostras listadas neste trabalho que se enquadram nesta condição. Alguns critérios de qualidade das rochas para revestimento consideram que propriedades como densidade aparente, porosidade aparente, absorção de água, dilatação térmica e desgaste são benquistos em valores mais baixos enquanto a compressão e flexão em valores maiores.

Tabela 14: Amostras em situação de excepcionalidade pela norma e trabalhos técnicos

Tipo/ Amostra	Porosidade	Absorção	Desgaste	Compressão	Flexão 3pts	Flexão 4pts	Dilatação Aquecimento	Dilatação Resfriamento
Granito/A1	0,496	0,189	0,85	166,85	7,44	-	7,14	6,32
Granito/A5	0,667	0,256	0,69	61,32	6,10	5,29	4,74	5,00
Granito/A7	0,964	0,367	1,06	85,42	5,31	4,25	2,99	3,26
Granito/A8	1,118	0,427	1,06	95,41	4,10	-	1,65	1,37
Granito/A9	1,341	0,516	1,06	80,22	3,80	-	5,16	3,81
Quartzito/A2	0,396	0,150	0,49	106,03	7,68	5,78	7,97	8,56
Quartzito/A3	0,450	0,170	1,13	181,78	11,09	8,63	9,17	8,77
Quartzito /A4	0,459	0,174	0,71	184,11	11,63	-	10,00	9,74
Quartzito/A6	0,638	0,244	0,47	154,74	11,62	-	10,65	11,21
Quartzito/A7	0,850	0,323	0,72	124,26	10,49	8,14	9,62	9,77
Quartzito/A10	1,506	0,584	1,09	176,60	10,94	-	10,21	10,06
Quartzito/A11	2,054	0,799	2,34	223,48	9,08	-	9,79	10,41
Quartzito/A12	3,344	1,306	1,55	123,06	-	28,61	9,69	7,31
Gnaisse/A5	0,988	0,367	0,82	131,42	6,32	-	6,83	7,12
Gnaisse/A6	1,228	0,470	1,65	78,71	4,69	-	6,50	6,79
Desempenho	Muito Alto 	Alto 		Médio 		Baixo 		Muito Baixo 

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Essa diferenciação, pode levar a algumas inconsistências como por exemplo o conceito de desempenho médio adotado na referência de trabalhos técnicos em relação aos preceitos das normas técnicas. Assim, muitos valores médios não são recomendados pela norma, o que exige uma análise mais acurada para definição de uso dos materiais que se enquadram nessa faixa de valores.

Por este motivo, todos os valores classificados como médios no âmbito deste trabalho serão considerados como valores que requerem atenção, além dos já mencionados valores muito alto, alto, baixo e muito baixo segundo os critérios de qualidade para as propriedades físico-mecânicas.

Os materiais que atendem aos requisitos normativos podem ser utilizados na maioria dos ambientes e em diversos tipos de utilização com segurança, assim como aqueles que apresentam conceitos de desempenho superiores aos padrões médios. Para os demais casos é necessária uma avaliação de perfil das características apresentadas de forma individualizada.

Cabe ressaltar que essa especificação está fundamentada nas características físico-mecânicas das rochas e aborda ambientes sem peculiaridades. Dessa maneira, há locais e usos bastante específicos que requerem atenção e que não são objeto desse trabalho, como por exemplo utilização de materiais pétreos em ambientes susceptíveis a névoas marinhas. Para determinar o comportamento das rochas frente a agentes e condições específicas há necessidade de realização de ensaios complementares que levam em conta essas solicitações. Nessa perspectiva, os ensaios do tipo alteração acelerada são capazes de simular diversas situações que corroboram com essa finalidade.

Ainda assim, salienta-se que as rochas podem ser submetidas a diversos tipos de tratamentos e soluções para suprirem a ineficiência de determinada característica. Assim, por exemplo, o uso de resinas, hidrofugantes, sistemas epóxi associados com telas (do tipo polipropileno, fibra de vidro, etc.) faz parte de um conjunto de métodos capazes de viabilizar a utilização da rocha quando suas características naturais não conferem tal segurança de uso. Logo, a identificação das competências e vulnerabilidades das amostras, obtidas através da caracterização tecnológica, fornecem informações para que as soluções e tratamentos possam ser implementados de forma precisa reduzindo custos com procedimentos desnecessários.

No entanto, o objeto desse trabalho se restringe a materiais pétreos sem tratamentos. Apenas adequações na espessura das placas (usualmente são adotadas espessuras de 2,0 e 3,0 cm) e no espaçamento entre os apoios são considerados.

6.1 Amostras de Granito

A amostra 1 apresenta uma porosidade muito baixa, valores baixos de absorção de água, desgaste, flexão, dilatação e um valor alto de compressão na classificação de desempenho. Logo, a única observação dessa amostra está na resistência a flexão 3 pontos visto que o valor especificado em norma é igual ou superior a 10,00 MPa, ante os 7,44 MPa aferidos em teste. Contudo, essa situação pode ser contornada com o aumento da espessura de uso do material que irá permitir uma maior segurança para resistir aos esforços de tração e/ou aumento do número de apoios. A indicação do valor específico da espessura e o espaçamento adequado dos apoios é definida pelo projetista, considerando os esforços solicitantes em cada situação. Sanada essa questão o material passa a se enquadrar nos diversos tipos de uso comuns das rochas de revestimento.

A amostra 5 de granito apresenta porosidade, absorção de água, compressão, flexão 3 e 4 pontos com valores baixos, desgaste e dilatação em valores muito baixos na classificação por desempenho. Pela norma são exigidos valores de compressão superior ou igual a 100,00 MPa, flexão 3pts maior igual a 10,0 MPa e flexão 4pts maior igual a 8,0 MPa, enquanto os valores aferidos foram respectivamente 61,32 MPa, 6,10 MPa e 5,29 MPa. Como todos os parâmetros de resistência mecânica (compressão e flexão) do material estão baixos o uso em situações de maior esforço como colunas e pilares, pisos elevados e fachadas aeradas sujeitas a regime de ventos considerados altos (prédios muito altos ou em lugares de maior altitude) devem ser evitados. Salvaguardada essa condição a utilização pode ser diversificada, já que os demais parâmetros se encontram em faixas de utilização adequadas.

A amostra 7 apresenta baixos valores de porosidade, absorção de água e desgaste, valor médio de compressão e valores muito baixos de flexão 3 pts., flexão 4 pts. e dilatação térmica na classificação por desempenho. Quanto a norma, o desgaste exigido é menor igual a 1mm/1000m, compressão maior igual a 100,00 MPa, flexão 3 pts. maior igual a 10,00 MPa, flexão 4pts maior igual a 8,00 MPa, os valores aferidos foram respectivamente 1,06 mm/1000m, 85,42 MPa, 5,31 MPa e 4,25 MPa. Como o valor do desgaste está acima do recomendado pela norma, não seria adequado sua utilização como piso em ambientes de alto tráfego. Os demais parâmetros de resistência mecânica também estão com índices médios e muito baixos. Logo, a utilização em condições que exigem altos esforços compressivos, de tração e fletores devem ser evitados. Dessa forma, fachadas expostas a consideráveis forças de ventos, pisos em áreas comerciais como shoppings, colunas e pilares são utilizações que se enquadram nessas limitações. Excluídas as questões limitantes os demais usos são adequados.

A amostra 8 apresenta valores médios de porosidade, absorção, compressão, um valor baixo de desgaste e valores muito baixos para flexão 3 pts. e dilatação térmica na classificação por desempenho. Em termos de valores normativos a porosidade deve ser menor ou igual a 1%, a absorção menor ou igual a 0,4%, desgaste menor ou igual a 1,00 mm/1000m, compressão maior ou igual a 100,00 MPa e flexão 3 pts. maior ou igual a 10,00 MPa em contrapartida os parâmetros aferidos nessa amostra foram respectivamente: 1,118%, 0,427%, 1,06mm/1000m, 95,41 MPa e 4,10 MPa. Essa caracterização indica restrições ao uso devido aos valores médios de porosidade e absorção, que aumentam a possibilidade de manchamentos tanto por absorção de água quanto de outras substâncias. A parte mecânica também demanda cuidados, uma vez que esforços compressivos e de tração não podem ser elevados. Dessa forma, deve-se evitar sua utilização em áreas úmidas e molhadas, fachadas areadas e pisos de alto tráfego. Já colunas e pilares com espessura superior as médias de utilização podem ser consideradas, uma vez que a compressão está próxima do recomendado por norma. Uso residencial como pisos, soleiras, rodapés, além de revestimentos de paredes internas são boas opções para esse perfil de caracterização.

A amostra 9 apresenta valores médios de porosidade, absorção, compressão, um valor baixo de desgaste e valores muito baixos para flexão 3 pts. e dilatação térmica na classificação por desempenho. Em termos de valores normativos a porosidade deve ser menor ou igual a 1%, a absorção menor ou igual a 0,4%, desgaste menor ou igual a 1,00 mm/1000m, compressão maior ou igual a 100,00 MPa e flexão 3 pts. maior ou igual a 10,00 MPa. Os parâmetros aferidos nessa amostra foram respectivamente: 1,341%, 0,516%, 1,06mm/1000m, 80,22 MPa e 3,80 MPa. Essa caracterização se assemelha em muito com a amostra 8 e em termos práticos pode ser utilizada a mesma recomendação.

6.2 Amostras de Quartzito

A amostra 2 apresenta porosidade e desgaste muito baixos, absorção de água, flexão 3 pts., flexão 4 pts. e fase de aquecimento da dilatação baixos e compressão e fase de resfriamento da dilatação médias na classificação de desempenho. Em termos normativos a compressão é maior ou igual a 137,9 MPa e a flexão 3 pts. maior ou igual a 13,9 MPa. Para estes parâmetros a amostra apresentou nos testes respectivamente 106,03 MPa e 7,68 MPa. Tanto pela norma quanto pela classificação de desempenho, a resistência a flexão é o ponto que requer maior atenção nessa amostra. Sendo assim, é prudente se evitar situações de grandes esforços fletores e de tração como pisos elevados e fachadas aeradas. Caso seja utilizado nessas situações,

recomenda-se adotar placas mais espessas, para se obter maior coeficiente de segurança. Outra opção é reduzir o espaçamento entre as estruturas de apoio. O uso como piso convencional é uma boa opção, já que a amostra apresentou um desgaste abrasivo muito baixo.

A amostra 3 apresentou uma classificação de desempenho muito baixa para porosidade, baixa para absorção de água e desgaste, muito alta para compressão e média para flexão e dilatação térmica. Nos padrões normativos, apenas a flexão se encontra abaixo do recomendado que é maior igual 13,9 MPa, ante os 11,09 MPa aferidos no ensaio. Devido a flexão se encontrar um pouco abaixo do recomendado por norma e a compressão em um patamar mais elevado, pode-se utilizar esse material com espessuras maiores para situações que exigem esforços fletores, pois apenas o fator mecânico exige mais atenção ou optar por reduzir o espaçamento entre as estruturas de apoio. A indicação do valor específico da espessura e o espaçamento adequado dos apoios é definida pelo projetista, considerando os esforços solicitantes na rocha em cada situação. Embora, o desgaste apresente um valor considerado baixo, como ele se encontra acima de 1,00 mm/1000m, com certa cautela pode-se optar por priorizar pisos de tráfego não tão elevado. Essa observação é baseada na norma para granitos, que recomenda desgaste abrasivo menor que 1,00 mm/1000m, uma vez que não há referência normativa de quartzitos para esse parâmetro.

A amostra 4 possui uma porosidade muito baixa, uma absorção e desgaste baixos, compressão muito alta e flexão e dilatação médias nos critérios de classificação por desempenho. Em relação a norma, apenas a flexão ficou abaixo do recomendado, sendo o valor aferido de 11,63 MPa enquanto a referência normativa indica um valor maior ou igual a 13,9 MPa. Os valores dessa amostra são muito próximos aos valores da amostra 3, sendo assim, cabe somente observar que os usos que envolvem esforços de tração na flexão irão necessitar de espessuras maiores que as utilizadas convencionalmente. Além disso, como o desgaste aferido foi de 0,71 mm/1000m, abaixo de 1,00 mm/1000m, o que confere uma faixa de segurança para utilização em pisos de alto tráfego.

A classificação por critérios de desempenho da amostra 6 indicou uma porosidade e absorção de água baixas, um desgaste muito baixo, uma flexão média e compressão e dilatação térmica altas. Nos critérios normativos apenas a flexão ficou abaixo do recomendado que é maior ou igual a 13,9 MPa, ante os 11,62 MPa aferidos. Como em outros casos deve-se atentar para usos que tenham esforços associados a tração na flexão, sendo sugerido a adoção de maior espessura ou aumento do número de apoios para a adoção deste material. A indicação do valor específico da espessura e o espaçamento adequado dos apoios é definido pelo projetista, considerando os esforços solicitantes na rocha em cada situação. O desgaste muito baixo indica

uma boa resistência a abrasão, atendendo a todos os tipos de tráfego como piso. Já a dilatação térmica linear foi considerada alta, o que exige cuidados relacionados a juntas de dilatação. Dependendo do efeito estético almejado, a espessura da junta de dilatação pode restringir o uso deste material.

A amostra 7 apresentou apenas dois critérios na classificação por desempenho: baixo para porosidade, absorção e desgaste e médio para compressão, flexão e dilatação. Nos parâmetros especificados pela norma, a compressão de 124,26 MPa ficou abaixo da recomendada que é maior igual a 137,9 MPa e a flexão de 10,49 MPa inferior a estipulada que é maior igual a 13,9 MPa. Assim, os esforços mecânicos requerem atenção. Por prevenção, pode-se utilizar placas mais espessas que as convencionais de forma a se obter maior segurança nos usos que possuem este tipo de solicitação. Para os demais usos o material se mostra adequado.

Na classificação por desempenho a amostra 10 apresenta porosidade, absorção de água e flexão médias, baixo desgaste, além de compressão e dilatação térmica altas. Considerando os parâmetros normativos apenas a flexão 3pts está abaixo do recomendado que é maior ou igual a 13,9 MPa enquanto o valor aferido foi de 10,94 MPa. A dilatação térmica é o quesito que necessita de maior atenção, pois seu valor, considerado alto, pode apresentar restrições quanto a estética das placas devido a necessidade de maior junta de dilatação desse material. A porosidade e absorção, consideradas médias, também requerem cuidados, uma vez que em ambientes internos pode ser necessário se atentar para a estanqueidade dos locais de instalação. Como mencionado outrora, o desgaste de 1,09 mm/1000m para pisos de elevado tráfego pode não ser a melhor opção, sendo necessário outras análises adotadas em pisos cerâmicos como a resistência a abrasão superficial, que norteia a classificação do tipo PEI para esses materiais. Embora a flexão 3 pts. esteja um pouco abaixo da referência normativa, o fato de a compressão ter alcançado um alto valor possibilita o aumento da espessura da rocha e/ou a redução do espaçamento entre os apoios, de forma a aumentar a segurança na utilização desse material nos casos em que esse tipo de esforço é exigido. Compete ao projetista especificar a espessura e o espaçamento dos apoios, observando os esforços solicitantes em cada situação.

A amostra 11 na classificação por critérios de desempenho apresentou parâmetros médios para porosidade, absorção, desgaste e dilatação na fase de aquecimento, uma compressão muito alta, uma baixa flexão e por último um valor alto para fase de resfriamento na dilatação térmica. Em relação a norma, apenas a flexão 3 pts. não se enquadrar nos valores recomendados, tendo alcançado 9,08 MPa, frente aos 13,9MPa determinados pela normativa. O valor aferido no ensaio de desgaste foi de 2,34 mm/1000m, embora seja considerado um

valor médio e a norma não especifica um valor para esse parâmetro, pode-se concluir que esse valor não seja adequado para pisos de alta circulação, tendo seu uso restrito a pequenos tráfegos, como por exemplo em ambientes residenciais. Tal inferência se baseia na recomendação normativa de 1,00 mm/1000m do granito, sendo o valor medido maior que o dobro do valor de referência. Na ausência de critérios normativos é necessário maior cuidado na especificação, dessa forma, a cautela se torna uma solução mais segura, de forma que outros ensaios são necessários para indicar com maior acurácia uma determinada condição de utilização. Em relação aos parâmetros mecânicos um valor muito alto da compressão permite a adoção de espessura maior que a convencional de forma a atenuar o desempenho obtido na flexão. Cabe ressaltar o valor alto da dilatação que exige maiores juntas de dilatação o que leva a uma piora na estética do conjunto de placas, bem como índices maiores de porosidade e absorção que exigem cuidados em relação a estanqueidade em ambientes internos.

Já a amostra 12 apresenta nos critérios de classificação por desempenho valores altos de porosidade e absorção, valores médios de desgaste, compressão e fase de aquecimento da dilatação, um valor muito alto de flexão 4 pts. e um valor baixo na fase de resfriamento da dilatação. Em relação a norma, a absorção e a compressão ficaram abaixo dos valores recomendados sendo aferidos 1,306 % e 123,06 MPa respectivamente. A norma define absorção menor ou igual a 1% e compressão igual ou superior a 137,9 MPa. Os valores altos de porosidade e absorção restringem algumas utilizações, no entanto, favorecem o uso em condições específicas. Assim, ambientes externos como áreas próximas a piscinas, rampas de circulação e varandas se beneficiam dessa alta absorção, ao mesmo tempo, a maior quantidade de poros também auxilia para que a rocha tenha melhores condições antiderrapantes o que aumenta a segurança no tráfego de pedestres nestas condições. A parte mecânica também possibilita, com um aumento de espessura de uso, a utilização em rampas de garagem, aproveitando as características já mencionadas. O valor de desgaste de 1,55 mm/1000m pode trazer maior segurança em usos residências do que em áreas de comércio ou indústria. A flexão 4pts de 28,61 MPa, torna esse material muito propício para utilização em pisos elevados que exigem grandes esforços fletores, bem como, escadas do tipo suspensa.

6.3 Amostras de Gnaisse

A amostra 2 apresenta valores muito baixos de porosidade, desgaste e dilatação. Em relação a compressão e flexão 3 pts. apresenta valor médio e a absorção de água foi classificada como baixa segundo os critérios da classificação por desempenho. Embora tenho obtido

conceito médio, o valor de 15,24 MPa na flexão 3 pontos e 114,87 MPa na compressão, são valores que não geram grandes desconfortos na utilização do material, visto que o limite de mudança do conceito de médio para alto, na flexão é de 16,00 MPa e na compressão de 130,00 MPa. Assim, a proximidade com os valores classificados como altos e os demais conceitos obtidos fazem com que não se perceba adversidades no uso como revestimentos desse material.

Já a amostra 5 obteve apenas dois tipos de conceito de desempenho em seus parâmetros, alto para compressão e baixo para porosidade, absorção, desgaste, flexão 3pts e dilatação térmica. Assim, a única ressalva é em relação ao baixo valor de flexão, 6,32 MPa, que exige uma espessura maior ou redução do espaçamento entre os apoios, para resistir aos esforços de tração na flexão. A indicação da espessura da placa é definida pelo projetista, considerando os esforços solicitantes em cada situação. Outra opção é aplicar esses materiais em situações cujos esforços de flexão não sejam elevados.

A classificação por desempenho da amostra 6 apresenta uma flexão 3 pts. muito baixa, valores considerados médios para porosidade, absorção, desgaste e compressão, além de uma dilatação térmica linear baixa. Assim, o valor muito baixo de flexão 3 pts. , 4,69 MPa, e uma compressão média, 78,71 MPa, são fatores que inviabilizam o uso em situações de incidência de grandes esforços mecânicos. O desgaste médio, 1,65 mm/1000m, condiciona essa amostra a ser adotada em áreas com menor tráfego de circulação de pessoas, como as residenciais. Também há de se observar a porosidade de 1,228% e a absorção de 0,470%, que embora assumam valores classificados como médios exigem cuidados relativos à estanqueidade. Dessa forma, ambiente internos apresentam condições mais favoráveis para utilização desse material.

6.4 Tabela de Recomendações de Uso das Amostras Identificadas em Situação de Excepcionalidade e Atenção

A Tabela 15 reúne as informações obtidas através da especificação das amostras em situação de excepcionalidade e atenção de forma a apresentar uma recomendação com base nos principais tipos de uso e ambientes de instalação dos materiais pétreos utilizados como revestimentos nas edificações.

Tabela 15: Recomendação de Uso para Amostras em Situação de Excepcionalidade e Atenção

Tipo	Ambiente de Aplicação			Granito					Quartzito						Gnaisse				
				A1	A5	A7	A8	A9	A2	A3	A4	A6	A7	A10	A11	A12	A2	A5	A6
Piso	Interno	Seco	Baixo tráfego	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
			Alto tráfego	R	R	NR	NR	NR	R	NR	R	R	R	NR	NR	NR	R	R	NR
		Molhado	Baixo tráfego	R	R	R	NR	NR	R	R	R	R	R	NR	NR	NR	R	R	NR
			Alto tráfego	R	R	NR	NR	NR	R	NR	R	R	R	NR	NR	NR	R	R	NR
	Externo	Baixo tráfego	R	R	R	CE	CE	R	R	R	R	R	CE	CE	CE	R	R	CE	
		Alto tráfego	R	R	NR	NR	NR	R	NR	R	R	R	NR	NR	NR	R	R	NR	
Parede	Interna	Seco		R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R		
		Molhado		R	R	R	NR	NR	R	R	R	R	NR	NR	NR	R	R	NR	
	Externo			CE	CE	CE	NR	NR	CE	CE	CE	CE	CE	CE	CE	R	CE	NR	
Bancada	Interna	Seco		R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
		Molhado		R	R	R	NR	NR	R	R	R	R	NR	NR	NR	R	R	NR	
	Externo			R	R	R	CE	CE	R	R	R	R	CE	CE	CE	R	R	CE	
Colunas e Pilares	Interno			R	NR	NR	CE	CE	CE	R	R	R	CE	R	R	CE	R	NR	
	Externo			R	NR	NR	CE	CE	CE	R	R	R	CE	CE	CE	R	R	NR	
Pias	Molhado			R	R	R	NR	NR	R	R	R	R	R	NR	NR	NR	R	NR	
Soleiras	Interno	Seco	Baixo tráfego	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
			Alto tráfego	R	R	NR	NR	NR	R	NR	R	R	R	NR	NR	NR	R	R	NR
		Molhado	Baixo tráfego	R	R	R	NR	NR	R	R	R	R	R	NR	NR	NR	R	R	NR
			Alto tráfego	R	R	NR	NR	NR	R	NR	R	R	R	NR	NR	NR	R	R	NR
	Externo	Baixo tráfego	R	R	R	CE	CE	R	R	R	R	R	CE	CE	CE	R	R	CE	
		Alto tráfego	R	R	NR	NR	NR	R	NR	R	R	R	NR	NR	NR	R	R	NR	

R – Recomendado; CE – Condições Específicas; NR – Não Recomendado

Obs.: Paredes externas incluem condições como fachadas aeradas.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

7 CONCLUSÕES

O presente trabalho elaborou um banco de dados com o propósito de selecionar amostras em condição de excepcionalidade e atenção e recomendou a utilização desses materiais como revestimentos segundo os parâmetros de caracterização tecnológica. Esse método permitiu a análise de três tipos petrográficos: granito, gnaisse e quartzito. A análise dos resultados foi baseada em duas abordagens. A primeira adotou um caráter hipotético de avaliação da influência do aumento da porosidade nos resultados dos ensaios de caracterização tecnológica das amostras do banco de dados. A segunda fundamentou-se nos parâmetros recomendados por normas e trabalhos técnicos que utilizam critérios de avaliação por desempenho.

A correlação entre o aumento da porosidade e sua influência nos parâmetros de caracterização tecnológica não se mostrou um método efetivo para orientar as recomendações de uso dos materiais pétreos. Em alguns casos não foi possível perceber sua influência nas propriedades dos materiais, em outros ela se mostrou contraditória, ora com tendência de aumento ora com diminuição, demonstrando uma certa imprecisão na sua correspondência.

Dessa maneira, percebe-se que a porosidade não pode ser adota como critério isolado para recomendação de utilização dos materiais pétreos. De fato, somente a análise conjunta dos ensaios que compõem os índices de qualidade da rocha - análise petrográfica, desgaste abrasivo amsler, dilatação térmica linear, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão, densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água - conseguem fornecer os parâmetros necessários para uma especificação adequada.

No entanto, algumas normas não definem todos os critérios dos índices de qualidade. Considerando os tipos de rochas deste estudo, apenas a norma de granito apresenta a totalidade dos parâmetros. A normalização de quartzito atende parcialmente, sendo descritas apenas a densidade aparente, absorção de água, compressão uniaxial e flexão. Por outro lado, para o gnaisse, não foram encontradas normas específicas.

Para uma melhor recomendação de uso dos materiais é importante um conhecimento abrangente das características tecnológicas, tendo em vista que cada ensaio quantifica uma determinada propriedade da rocha diretamente relacionada com as funções desempenhadas pelos revestimentos.

Assim, a análise da conformidade das amostras evidencia que os materiais que atendem todos os requisitos normativos e os que apresentam conceitos de desempenho superiores aos padrões médios são adequados para aplicação na maioria dos ambientes e nos diversos tipos de

uso. Para os materiais que não se enquadram nos critérios acima é necessária uma avaliação minuciosa da propriedade cujo desempenho foi aquém do esperado, visto que cada parâmetro de caracterização tecnológica está relacionado a funções da rocha desempenhadas nas aplicações. Assim, o conhecimento das propriedades permite indicar a maior ou menor qualificação do material para os ambientes e funções objetivados.

Essa determinação da aptidão das rochas por intermédio da caracterização tecnológica além de aumentar a vida útil do revestimento, pode atenuar de maneira significativa a incidência de manifestações patológicas, uma vez que ambientes e funções inadequados para o material serão identificados através dessa ferramenta.

Como sugestão para trabalhos futuros tem-se um grande desafio com relação a uma maior precisão em relação as exigências dos materiais em termos de funções requeridas nos revestimentos. Assim, além das tipicidades dos ambientes, exposição à água (seco e molhado), nível de tráfego e demais particularidades relativas à utilização como revestimentos uma complementação desses aspectos por faixas de valores que sejam comparáveis com os parâmetros de caracterização tecnológica possibilitará determinar com maior exatidão os requisitos que o material precisa cumprir para atingir patamares de desempenho adequado para cada função. Tal avanço tornaria possível o estabelecimento de tabelas de exigências que os materiais deveriam cumprir para exercer cada tipo de função nos revestimentos das edificações o que deixaria o processo de especificação dos materiais pétreos mais simplificado e menos susceptível a erros. Além disso, influenciaria significativamente no aproveitamento de outros materiais menos conhecidos no mercado, tendo em vista que uma simples comparação entre sua caracterização tecnológica e uma tabela de valores recomendados por função garantiria uma segurança para sua utilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS. **Balço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2019**. Brasília: Associação Brasileira de Rochas Ornamentais, 2019.

AIRES-BARROS, L.; MAURÍCIO, A. .; FIGUEIREDO, C. . Definição de um índice de alterabilidade de rochas por aplicação de métodos de análise de imagem baseados na morfologia matemática binária. **Revista Universidade de Aveiro**, p. 95–102, maio 1991.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Specification for Limestone Dimension Stone. ASTM C568. West Conshohocken. 2003, p. 2.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Specification for Marble Dimension Stone. ASTM C503. West Conshohocken. 2015 a, p. 2.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Specification for Quartz-Based Dimension Stone. ASTM C616. West Conshohocken. 2015 b, p. 2.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12042: Materiais inorgânicos - Determinação do desgaste por abrasão. Rio de Janeiro. 2012, p. 5.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15844: Rochas para revestimento - Requisitos para granitos. Rio de Janeiro . 2015 a, p. 3.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845: Rochas para revestimento - Parte 2: Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro . 2015 b, p. 4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845: Rochas para revestimento - Parte 3: Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear. Rio de Janeiro. 2015 c, p. 4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845: Rochas para revestimento Parte 8: Determinação da resistência ao impacto de corpo duro. Rio de Janeiro. 2015 d, p. 4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845: Rochas para revestimento - Parte 5: Determinação da resistência à compressão uniaxial. Rio de Janeiro. 2015 e, p. 4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845: Rochas para revestimento - Parte 6: Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos). Rio de Janeiro. 2015 f, p. 5.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845: Rochas para revestimento - Parte 7: Determinação da resistência à flexão por carregamento em quatro pontos. Rio de Janeiro. 2015 g, p. 5.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845: Rochas para revestimento - Parte 1: Análise Petrográfica. Rio de Janeiro. 2015 h, p. 4.

BEZERRA, F. D. Rochas ornamentais. Caderno Setorial ETENE. **Banco do Nordeste do Brasil**, v. 63, n. 60, p. 1–22, dez. 2018.

BOLONINI, T. M. **Geologia e potencialidade do granito Vermelho Capão Bonito (Sudoeste do Estado de São Paulo) como rocha ornamental**. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2011.

BOLONINI, T. M. Estudo das Aplicações das Variedades de Um Quartzo Sienito Com Hiperstênio, Como Rochas Ornamentais, Com Auxílio da Caracterização Tecnológica e das Análises de Cor e Imagem. p. 134, 2015.

BROD, J. A.; MOURA, M. A. **Fundamentos de Mineralogia - Apostila**. Disponível em: <<https://mw.eco.br/ig/cursos/FundMineral/index.htm>>. Acesso em: 10 out. 2021.

CAMPELLO, M. S. **Rochas Carbonáticas**. Disponível em: <<http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/rochas-carbonaticas/>>. Acesso em: 15 out. 2021.

CASTILHO, E. D. F. **Caracterização tecnológica de rochas ornamentais: práticas laboratoriais**. Vitória: Instituto Federal do Espírito Santo, 2018.

COSTA, A. G. **Recursos Minerais de Minas Gerais - Rochas Ornamentais**. Belo Horizonte: CPRM, 2017.

COSTA, A. G. **Rochas ígneas e metamórficas: petrografia, aplicações e degradação**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2021.

COSTA, M. P. R. **Manual de Controlo de Qualidade para Revestimentos de Fachadas em Pedra**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2011.

ESBERT, ROSA AND MONTOTO, MODESTO AND ORDAZ, J. La piedra como material de construcción: Durabilidad, deterioro y conservación. **Materiales de Construcción**, v. 41, n. 3, p. 61–73, 2012.

FILHO, C. C.; CHIODI, D. K. **Relatório Técnico 33 - Perfil de Rochas Ornamentais e de Revestimento**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2009.

FILHO, C. C.; CHIODI, D. K. **As rochas ornamentais e de revestimento**. Brasília: ABIROCHAS, 2019.

FILHO, C. C.; RODRIGUES, E. DE P. **Guia de aplicação de rochas em revestimentos** Brasília ABIROCHAS, , 2020.

FLORIANO, C. F. **Petrologia das rochas metamórficas**. Rio Grande do Sul: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2021.

FRASCA, M. H. B. **Normalização, Especificações e Usos das Rochas Ornamentais na Construção Civil**. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/28336685-Normalizacao-especificacoes-e-usos-das-rochas-ornamentais-na-construcao-civil-assuntos.html>>. Acesso em: 15 out. 2021.

FRASCÁ, M. H. B. DE O. Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises das patologias associadas ao uso. **SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE**, 2002.

FRASCÁ, M. H. B. DE O.; RODRIGUES, E. DE P. **Caracterização Tecnológica de Rochas para Revestimento**. Brasília: ABIROCHAS, 2019.

FRASCÁ, M. H. B. DE O.; RODRIGUES, E. DE P.; PALDÊS, R. J. A. **Orientações para especificação de rochas ornamentais**. Brasília: ABIROCHAS, 2019.

FRAZÃO, E. B.; FARJALLAT, J. E. S. **Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento**. I CONGRESSO INTERNACIONAL DA PEDRA NATURAL. *Anais...*Lisboa: 1995

GONÇALVES, P. W.; CARNEIRO, C. D. R. Magmas e rochas ígneas: o estudo do calor interno da Terra. p. 62–73, fev. 2007.

HAZRATHOSSEINI, A.; MAHDEVARI, S. Applicability quality assessment of dimension stones for service in the buildings (A new approach using a mathematical model and fuzzy logic). **Journal of Building Engineering**, v. 20, p. 585–594, 2018.

IAMAGUTI, A. P. S. **Manual de rochas ornamentais para arquitetos**. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2001.

JIMENEZ, G. **Durability Considerations in the Design of Stone Facades**. Structures Congress 2008. *Anais...*Vancouver: 2008

LABTECROCHAS. **LabtecRochas**. Disponível em: <<http://www.cpmtc-igc-ufmg.org/labtecrochas/index-2.html>>. Acesso em: 10 dez. 2021.

MONTANI, C. **XXXI Rapporto Marmo e Pietre nel Mondo 2020 XXXI World Marble and Stones Report 2020**. Carrara: Aldus Casa di Edizioni in Carrara, 2020.

NARDY, A. J. R. **Notas de Aula - Noções básicas para a classificação de minerais e rochas**. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/petrologia/nardy/n8.pdf>>.

NAVARRO, G. R. B. et al. **Museu de Minerais, Minérios e Rochas Heinz Ebert**. Disponível em: <<https://museuhe.com.br/minerais/propriedades-fisicas/>>. Acesso em: 23 abr. 2021.

PAZETO, A. DE A. **Correlação entre propriedades petrográfica e comportamento tecnológico e de alterabilidade das rochas ornamentais silicáticas Diamante Negro (BA), Ocre Itabira e Branco Galaxy (ES)**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2011.

PRESS, F. et al. **Para Entender a Terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

RODRIGUES, A. S. et al. Caracterização Tecnológica de rocha pegmatítica visando sua utilização como rocha ornamental. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 15, n. 4, p. 434–440, 2018.

SAAR, L. C. A. **Avaliação dos “Granitos” Giallo São Francisco Real, Branco Dallas e Branco Marfim, do município de Barra de São Francisco/ES para aplicação como rocha ornamental e de revestimento**. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2013.

SAAR, L. C. A.; GODOY, A. M.; BOLONINI, T. M. Considerações sobre os granitos Giallo São Francisco Real, Branco Dallas e Branco Marfim, no município de Barra de São Francisco – ES para aplicação como rocha ornamental e de revestimento. **Revista Geociências**, v. 34, n. 1, p. 1–18, 2015.

SALAMUNI, E. **GEOLOGIA ESTRUTURAL-ESTRUTURAS PLANARES E LINEARES**. Paraná: Universidade Federal do Paraná, 2007.

SANTOS, M. D. **Notas de Aula - Mineralogia Física**. Pará: Universidade Federal do Pará, 2015.

SARIISIK, A.; SARIISIK, G. Characterization of Physical and Mechanical Properties of Natural Stones Affected by Ground Water under Different Ambient Conditions. **Ekoloji**, v. 19, p. 88–96, 2010.

SIEGESMUND, S.; SNETHLAGE, R. **Stone in Architecture: Properties and Durability**. 4^o ed. New York: Springer, 2000.

SOUZA RODRIGUES, A. **Caracterização tecnológica de uma rocha pegmatítica localizada na região de Equador - RN visando a sua utilização como rocha ornamental**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. **Tecnologia de rochas ornamentais : pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013.

VIDAL, F. W. H.; BESSA, M. DE F.; LIMA, M. A. B. Avaliação de rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas. **CETEM**, p. 30, 1999.

WINGE, M. **Glossário Geológico Ilustrado**. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/index.html>>. Acesso em: 19 out. 2020.

**APÊNDICE A – Banco de dados dos resultados dos ensaios de caracterização
tecnológica realizados no LABTECROCHAS**

Tabela 16: Resultados dos ensaios de caracterização tecnológica realizados no LABTECROCHAS

ID	Tipo	Estado	Cidade	Densidade (kg/m ³)	Porosidade (%)	Absorção (%)	Desgaste (mm)	Compressão (MPa)	Flexão 3pts (MPa)	Flexão 4pts (MPa)	Dilatação (mm/m°C)
1	Granito	MG	Teófilo Otoni	2600,120	1,112	0,428	1,15	61,01	12,18	x	3,37/4,22
2	Granito	BA	Tremedal	2682,237	0,762	0,284	1,62	86,64	18,26	12,90	8,22/7,88
3	Granito	MG	Poté	2598,252	0,959	0,369	1,16	83,99	8,34	x	5,29/4,96
4	Granito	RJ	Cantagalo	2605,295	0,667	0,256	0,69	61,32	6,10	5,29	4,74/5,00
5	Granito	BA	Boquira - Macaúbas	2632,858	0,850	0,323	0,72	124,26	10,49	8,14	9,62/9,77
6	Granito	BA	Condeúba - Mortugaba	2966,463	0,678	0,228	1,34	45,36	3,93	3,79	7,32/6,94
7	Granito	SP	Suzano	2668,661	0,534	0,200	0,65	143,57	14,17	x	6,71/6,69
8	Granito	MG	Santa Rita de Caldas	2613,903	0,565	0,216	0,53	145,10	14,14	x	6,30/5,69
9	Granito	MG	Mantena	2672,361	0,950	0,356	0,66	61,92	7,73	x	7,14/6,31
10	Granito	MG	Nanuque	2629,761	0,638	0,243	0,84	148,39	24,32	x	6,17/5,05
11	Granito	MG	Jequitinhonha	2597,338	1,341	0,516	1,06	80,22	3,80	x	5,16/3,81
12	Granito	MG	Jequitinhonha	2625,150	0,496	0,189	0,85	166,85	7,44	x	7,14/6,32
13	Granito	MG	Medina	2615,882	1,118	0,427	1,06	95,41	4,10	x	1,65/1,37
14	Granito	MG	Galiléia / São Geraldo do Baixo	2625,207	0,964	0,367	1,06	85,42	5,31	4,25	2,99/3,26
15	Granito	MG	Cipotânea	2619,302	0,684	0,261	0,88	142,42 par	12,45 per	x	5,69/4,10
16	Granito	MG	Mantena	2672,361	0,950	0,356	0,66	61,92	7,73	x	7,14/6,31
17	Quartzito	MG	Virgem da Lapa	2650,496	0,396	0,150	0,49	106,03	7,68	5,78	7,97 / 8,56
18	Quartzito	MG	Gouveia	2652,821	0,459	0,174	0,71	184,11	11,63	x	10,00/9,74
19	Quartzito	MG	Gouveia	2629,044	0,927	0,353	0,63	212,12	14,34	13,90	10,92/11,49

ID	Tipo	Estado	Cidade	Densidade (kg/m ³)	Porosidade (%)	Absorção (%)	Desgaste (mm)	Compressão (MPa)	Flexão 3pts (MPa)	Flexão 4pts (MPa)	Dilatação (mm/m°C)
20	Quartzito	MG	Santo Antônio do Retiro	2625,043	0,852	0,325	0,4	253,54	32,46	x	10,29/10,54
21	Quartzito	MG	Patos de Minas	2626,662	0,638	0,244	0,47	154,74	11,62	x	10,65/11,21
22	Quartzito	MG	SÃO VICENTE DE MINAS	2580,225	1,506	0,584	1,09	176,60	10,94	x	10,21/10,06
23	Quartzito	MG	Augusto de Lima - Corinto	2627,852	1,259	0,480	0,41	194,23	19,12	x	10,49/10,47
24	Quartzito	MG	Luminárias	2554,106	2,386	0,935	0,57	186,39	x	4,47	10,87/10,83
25	Quartzito	MG	Patos de Minas	2590,153	2,054	0,799	2,34	284,87	9,08	x	9,79/10,41
26	Quartzito	MG	João Pinheiro	2563,514	3,344	1,306	1,55	123,06	x	28,61	9,69/7,31
27	Quartzito	MG	Guapé	2640,249	0,611	0,231	0,54	260,37 per	54,92 per	x	10,30/10,28
28	Quartzito	MG	Santo Antônio do Retiro	2625,043	0,852	0,325	0,40	253,54	32,46	x	10,29/10,54
29	Quartzito	MG	Grão Mogol- Riacho dos Machados	2647,228	0,450	0,170	1,13	181,78	11,09	8,63	9,17/8,77
30	Quartzo	MG	Poté	2630,478	0,457	0,174	0,55	65,16	6,04	x	8,19/8,17
31	Quartzo	MG	Desterro do Melo	2821,264	0,280	0,099	alto	42,77	15,41	12,7	7,21/6,31
32	Xisto	BA	Condeúba – Mortugada	2802,426	1,485	0,529	2,27	34,88	2,69	3,50	10,17 / 8,54
33	Xisto	MG	Diamantina	3027,243	1,040	0,344	1,91	110,58	13,35	x	7,67/7,63
34	Brecha magmática	BA	Bom Jesus da Lapa	2630,053	0,471	0,179	0,40	82,35	16,94	x	6,26/6,55
35	Gnaisse	RJ	Santo Antônio de Pádua	2663,41	0,836	0,314	1,12	172,29 per	14,22	12,27 per	3,37/3,35
36	Gnaisse	MG	Lajinha	2682,946	0,749	0,279	1,07	122,78 per	8,59	8,16	7,07/7,37
37	Gnaisse	MG	Passa Tempo	2680,578	0,327	0,122	0,62	150,71	19,10	13,92	4,49/5,30
38	Gnaisse	RJ	Porciúncula	2739,699	0,660	0,241	1,19	183,60 per	12,19	8,82	5,26/5,18
39	Gnaisse	RJ	ITAPERUNA	2566,287	1,761	0,686	2,11	140,93 per	8,33 per	1,91	5,52/6,27

ID	Tipo	Estado	Cidade	Densidade (kg/m ³)	Porosidade (%)	Absorção (%)	Desgaste (mm)	Compressão (MPa)	Flexão 3pts (MPa)	Flexão 4pts (MPa)	Dilatação (mm/m°C)
40	Gnaiss	MG	São Sebastião do Oeste	2656,256	0,418	0,157	0,63	114,87 per	15,24 par	x	5,25/5,57
41	Gnaiss	MG	Simonésia	2836,240	0,602	0,212	1,16	140,91	22,60	x	6,16/5,35
42	Gnaiss	RJ	Santo Antônio de Pádua	2693,388	0,988	0,367	0,82	131,42 per	6,32 par	x	6,83/7,12
43	Gnaiss	MG	Conceição do Mato Dentro	2622,816	0,882	0,336	0,82	163,33 per	17,04	x	6,84/5,49
44	Gnaiss	MG	São José do Divino / Nova Módica	2612,268	1,228	0,470	1,65	78,71	4,69	x	6,50/6,79
45	Mármore	RJ	Cantagalo	2870,327	0,565	0,197	4,14	64,82	x	6,63	5,11/5,38
46	Esteatito	MG	Mariana	2840,342	0,227	0,080	alto	36,32	x	6,86	10,98/9,57
47	Esteatito	MG	Desterro de melo	2821,264	0,280	0,099	alto	42,77	15,41	12,70	7,21/6,31
48	Orthoquartzito	MG	Brasilândia de Minas - Buritizeiro – Santa Fé de Minas	2527,678	4,254	1,684	1,80	101,63	21,18	x	8,51/8,11
49	Arcósio	MG	João Pinheiro	2614,096	1,881	0,719	0,88	165,20	26,31	x	8,41/7,20
50	Arcósio	MG	João Pinheiro	2595,513	3,161	1,218	1,30	154,92	25,01	x	7,96/8,43
51	Sienito	MG	Caldas / Santa Rita de Caldas	2843,532	0,556	0,195	0,86	133,54 per	14,94 par	x	3,29/2,45
52	Gabro	MG	Itabira	3103,724	0,066	0,021	0,61	279,96	36,65	x	6,42/6,15
53	Gabro	BA	Brumado	3105,737	0,114	0,037	0,35	233,48	18,45	x	6,06/5,79
54	Calcário	MG	Arinos	2692,886	0,523	0,194	1,89	111,61	15,04	x	1,98/1,42
55	Calcário	MG	Paraopeba	2769,210	0,086	0,031	1,50	148,05	32,11	x	5,72/5,14
56	Arenito	MG	Brasilândia de Minas	2580,634	3,341	1,295	1,37	159,58 per	22,45	x	10,26/7,87

**APÊNDICE B – Resultados individualizados dos corpos de prova das 27 amostras
analisadas neste estudo**

Tabela 17: Dados do Granito

Nº Amostra	Propriedade	Unidade	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7	CP 8	CP 9	CP 10	Média	Desvio Padrão	CV (%)	
Amostra 1	Densidade aparente seca	kg/m3	2.629,5	2.628,4	2.623,2	2.626,8	2.628,8	2.625,6	2.624,1	2.623,9	2.619,5	2.621,7	2.625,2	3,3	0,1	
	Porosidade Aparente	%	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,0	9,5	
	Absorção de água	%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	9,7	
	Compressão	MPa	189,5	181,8	147,5	182,2	133,3	X	-	-	-	-	-	166,8	24,9	14,9
	Flexão 3 pts.	MPa	7,5	7,7	7,2	7,1	8,3	6,8	-	-	-	-	-	7,4	0,5	7,3
Amostra 2	Densidade aparente seca	kg/m3	2.673,7	2.660,7	2.670,8	2.670,1	2.665,8	2.660,5	2.675,5	2.675,7	2.671,5	2.662,3	2.668,7	5,9	0,2	
	Porosidade Aparente	%	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0	2,1	
	Absorção de água	%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	2,1	
	Compressão	MPa	154,1	92,8	164,8	136,0	154,5	159,2	-	-	-	-	-	143,6	26,7	18,6
	Flexão 3 pts.	MPa	14,4	13,6	12,8	14,7	14,9	14,6	-	-	-	-	-	14,2	0,8	5,7
Amostra 3	Densidade aparente seca	kg/m3	2.615,6	2.609,7	2.614,5	2.613,5	2.614,3	2.618,6	2.609,4	2.610,8	2.617,3	2.615,3	2.613,9	3,1	0,1	
	Porosidade Aparente	%	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,0	4,0	
	Absorção de água	%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	4,1	
	Compressão	MPa	88,5	120,9	147,9	172,9	160,1	180,2	-	-	-	-	-	145,1	34,7	23,9
	Flexão 3 pts.	MPa	14,4	15,4	13,9	12,3	14,1	14,8	-	-	-	-	-	14,1	1,1	7,5
Amostra 4	Densidade aparente seca	kg/m3	2.648,8	2.630,4	2.631,7	2.632,6	2.626,6	2.626,7	2.621,7	2.626,3	2.628,3	2.624,6	2.629,8	7,5	0,3	
	Porosidade Aparente	%	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	1,0	0,7	0,8	0,5	0,9	0,6	0,2	31,6	
	Absorção de água	%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,1	31,8	
	Compressão	MPa	166,0	148,9	119,9	158,7	X	X	-	-	-	-	-	148,4	20,2	13,6
	Flexão 3 pts.	MPa	26,0	22,5	21,4	27,5	24,2	X	-	-	-	-	-	24,3	2,5	10,3
Amostra 5	Densidade aparente seca	kg/m3	2.567,8	2.557,0	2.625,0	2.644,3	2.631,6	2.615,7	2.620,3	2.606,2	2.560,9	2.624,1	2.605,3	31,6	1,2	
	Porosidade Aparente	%	0,7	0,8	0,6	0,4	0,7	0,7	0,8	0,6	0,9	0,6	0,7	0,1	21,4	
	Absorção de água	%	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1	22,1	

Nº Amostra	Propriedade	Unidade	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7	CP 8	CP 9	CP 10	Média	Desvio Padrão	CV (%)	
	Compressão	MPa	67,1	59,5	63,3	55,7	48,8	73,5	-	-	-	-	61,3	8,7	14,2	
	Flexão 3 pts.	MPa	6,4	6,8	5,7	6,3	5,4	6,1	-	-	-	-	6,1	0,5	7,9	
Amostra 6	Densidade aparente seca	kg/m ³	2.620,3	2.621,0	2.620,7	2.617,6	2.618,0	2.620,7	2.619,1	2.619,6	2.618,3	2.617,8	2.619,3	1,3	0,1	
	Porosidade Aparente	%	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,0	7,1	
	Absorção de água	%	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	7,1	
	Compressão	MPa	161,7	134,8	130,8	X	X	X	-	-	-	-	-	142,4	16,8	11,8
	Flexão 3 pts.	MPa	13,2	13,1	12,1	11,8	12,0	X	-	-	-	-	-	12,5	0,7	5,3
Amostra 7	Densidade aparente seca	kg/m ³	2.633,5	2.579,0	2.624,3	2.647,5	2.629,5	2.661,2	2.629,4	2.622,3	2.579,6	2.645,7	2.625,2	27,0	1,0	
	Porosidade Aparente	%	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	0,1	7,9	
	Absorção de água	%	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,0	8,4	
	Compressão	MPa	60,6	117,0	82,2	90,5	76,9	X	-	-	-	-	-	85,4	20,7	24,3
	Flexão 3 pts.	MPa	3,8	7,3	4,8	X	X	X	-	-	-	-	-	5,3	1,8	33,1
Amostra 8	Densidade aparente seca	kg/m ³	2.611,2	2.616,0	2.607,5	2.613,8	2.602,5	2.623,4	2.634,8	2.615,4	2.616,1	2.618,1	2.615,9	8,8	0,3	
	Porosidade Aparente	%	1,2	1,0	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,2	1,1	0,1	5,8	
	Absorção de água	%	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,0	5,9	
	Compressão	MPa	88,2	110,2	87,8	X	X	X	-	-	-	-	-	95,4	12,8	13,5
	Flexão 3 pts.	MPa	5,0	4,0	4,1	3,4	X	X	-	-	-	-	-	4,1	0,7	16,3
Amostra 9	Densidade aparente seca	kg/m ³	2.597,4	2.608,7	2.606,8	2.608,9	2.584,6	2.598,1	2.610,7	2.583,8	2.588,5	2.586,0	2.597,3	11,0	0,4	
	Porosidade Aparente	%	1,5	1,4	1,2	1,4	1,3	1,3	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	0,1	6,2	
	Absorção de água	%	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0	6,2	
	Compressão	MPa	81,1	87,2	85,9	71,1	83,0	73,0	-	-	-	-	-	80,2	6,7	8,4
	Flexão 3 pts.	MPa	3,6	2,9	4,7	4,5	3,4	X	-	-	-	-	-	3,8	0,8	20,3

Tabela 18: Dados do Quartzito

Nº Amostra	Propriedade	Unidade	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7	CP 8	CP 9	CP 10	Média	Desvio Padrão	CV (%)	
Amostra 1	Densidade aparente seca	kg/m3	2.649,2	2.650,9	2.645,0	2.647,7	2.653,6	2.647,3	2.651,2	2.645,6	2.643,8	2.653,0	2.648,7	3,4	0,1	
	Porosidade Aparente	%	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,3	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2	0,1	31,1	
	Absorção de água	%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	31,1
	Compressão	MPa	194,9	141,9	91,2	217,9	X	X	-	-	-	-	-	161,5	56,6	35,1
	Flexão 3 pts.	MPa	25,0	41,3	43,8	29,0	29,6	X	-	-	-	-	-	33,8	8,3	24,5
Amostra 2	Densidade aparente seca	kg/m3	2.657,5	2.656,9	2.647,7	2.651,3	2.653,3	2.650,5	2.652,5	2.650,4	2.649,9	2.635,0	2.650,5	6,2	0,2	
	Porosidade Aparente	%	0,4	0,5	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,1	21,5
	Absorção de água	%	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	21,5
	Compressão	MPa	95,6	118,4	87,4	119,7	95,0	120,1	-	-	-	-	-	106,0	15,0	14,1
	Flexão 3 pts.	MPa	10,5	6,1	7,4	7,9	6,4	X	-	-	-	-	-	7,7	1,8	22,8
Amostra 3	Densidade aparente seca	kg/m3	2.644,5	2.646,6	2.646,7	2.644,6	2.649,1	2.647,7	2.645,7	2.649,1	2.649,1	2.649,2	2.647,2	1,9	0,1	
	Porosidade Aparente	%	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,0	6,4	
	Absorção de água	%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	6,4	
	Compressão	MPa	161,9	176,7	205,3	155,5	188,3	203,0	-	-	-	-	-	181,8	20,8	11,4
	Flexão 3 pts.	MPa	10,5	10,2	11,9	11,3	11,6	X	-	-	-	-	-	11,1	0,7	6,6
Amostra 4	Densidade aparente seca	kg/m3	2.675,5	2.649,4	2.649,3	2.651,1	2.650,2	2.651,8	2.649,9	2.651,2	2.651,2	2.648,7	2.652,8	8,0	0,3	
	Porosidade Aparente	%	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,0	6,1	
	Absorção de água	%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	6,2	
	Compressão	MPa	271,5	130,7	212,0	168,5	136,6	185,4	-	-	-	-	-	184,1	52,5	28,5
	Flexão 3 pts.	MPa	12,1	13,0	10,6	10,9	X	X	-	-	-	-	-	11,6	1,1	9,3
Amostra 5	Densidade aparente seca	kg/m3	2.642,3	2.640,1	2.634,2	2.640,4	2.641,1	2.641,2	2.640,4	2.639,4	2.641,1	2.642,3	2.640,2	2,3	0,1	
	Porosidade Aparente	%	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,1	12,2
	Absorção de água	%	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	12,4	

Nº Amostra	Propriedade	Unidade	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7	CP 8	CP 9	CP 10	Média	Desvio Padrão	CV (%)
	Compressão	MPa	289,2	246,3	245,6	X	X	X	-	-	-	-	260,4	25,0	9,6
	Flexão 3 pts.	MPa	63,0	70,1	61,7	53,3	36,8	44,7	-	-	-	-	54,9	12,5	22,7
Amostra 6	Densidade aparente seca	kg/m ³	2.639,6	2.629,2	2.632,5	2.620,4	2.625,8	2.594,9	2.620,7	2.633,4	2.633,7	2.636,5	2.626,7	12,8	0,5
	Porosidade Aparente	%	0,2	0,5	0,4	0,9	0,7	1,7	0,9	0,4	0,5	0,3	0,6	0,4	67,1
	Absorção de água	%	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,6	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	67,7
	Compressão	MPa	130,2	203,4	140,4	164,1	137,1	153,3	-	-	-	-	154,7	26,8	17,3
	Flexão 3 pts.	MPa	13,9	10,1	13,7	10,4	10,0	X	-	-	-	-	11,6	2,0	17,2
Amostra 7	Densidade aparente seca	kg/m ³	2.645,4	2.621,4	2.644,5	2.624,1	2.616,1	2.629,9	2.639,0	2.647,1	2.632,5	2.628,5	2.632,9	10,8	0,4
	Porosidade Aparente	%	0,5	0,7	0,5	1,0	1,4	1,1	0,7	0,5	1,0	1,2	0,9	0,3	39,1
	Absorção de água	%	0,2	0,3	0,2	0,4	0,5	0,4	0,3	0,2	0,4	0,4	0,3	0,1	39,3
	Compressão	MPa	110,9	118,3	144,4	120,2	119,6	132,1	-	-	-	-	124,3	12,0	9,6
	Flexão 3 pts.	MPa	13,3	8,5	10,7	12,5	9,4	8,6	-	-	-	-	10,5	2,0	19,3
Amostra 8	Densidade aparente seca	kg/m ³	2.621,2	2.626,8	2.636,7	2.641,4	2.638,8	2.621,7	2.613,1	2.637,0	2.630,8	2.582,9	2.625,0	17,4	0,7
	Porosidade Aparente	%	0,9	0,9	0,6	0,6	0,7	1,1	1,0	0,6	0,8	1,3	0,9	0,2	29,2
	Absorção de água	%	0,3	0,4	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3	0,5	0,3	0,1	29,9
	Compressão	MPa	245,8	227,7	271,9	258,7	249,3	267,8	-	-	-	-	253,5	16,2	6,4
	Flexão 3 pts.	MPa	31,9	32,6	31,2	29,3	35,6	34,1	-	-	-	-	32,5	2,2	6,8
Amostra 9	Densidade aparente seca	kg/m ³	2.629,2	2.621,0	2.647,5	2.579,4	2.631,7	2.616,7	2.598,1	2.611,9	2.608,8	2.623,6	2.616,8	18,9	0,7
	Porosidade Aparente	%	0,9	1,3	1,0	1,5	0,9	1,5	2,0	1,6	1,7	1,2	1,4	0,4	27,7
	Absorção de água	%	0,3	0,5	0,4	0,6	0,3	0,6	0,8	0,6	0,7	0,5	0,5	0,1	28,2
	Compressão	MPa	160,1	164,0	156,7	230,5	216,5	235,8	-	-	-	-	193,9	37,5	19,3
	Flexão 3 pts.	MPa	13,9	15,7	16,9	11,9	14,1	X	-	-	-	-	14,5	1,9	13,1
Amostra 10	Densidade aparente seca	kg/m ³	2.582,2	2.579,6	2.583,7	2.574,8	2.578,0	2.580,7	2.579,0	2.584,7	2.578,3	2.581,3	2.580,2	2,9	0,1
	Porosidade Aparente	%	1,5	1,5	1,4	1,7	1,6	1,5	1,5	1,3	1,6	1,5	1,5	0,1	6,4

Nº Amostra	Propriedade	Unidade	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7	CP 8	CP 9	CP 10	Média	Desvio Padrão	CV (%)
	Absorção de água	%	0,6	0,6	0,5	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,0	6,6
	Compressão	MPa	222,9	181,4	174,8	218,4	141,8	120,3	-	-	-	-	176,6	40,7	23,1
	Flexão 3 pts.	MPa	10,8	9,3	11,9	12,9	9,9	10,8	-	-	-	-	10,9	1,3	12,1
Amostra 11	Densidade aparente seca	kg/m3	2.594,4	2.603,2	2.585,4	2.630,5	2.626,2	2.549,4	2.619,3	2.525,8	2.559,0	2.608,3	2.590,2	35,1	1,4
	Porosidade Aparente	%	1,9	1,7	2,3	0,7	0,7	3,4	1,1	4,1	3,1	1,5	2,1	1,2	56,5
	Absorção de água	%	0,7	0,7	0,9	0,3	0,3	1,3	0,4	1,6	1,2	0,6	0,8	0,5	57,8
	Compressão	MPa	236,5	274,7	197,8	184,9	X	X	-	-	-	-	223,5	40,6	18,2
	Flexão 3 pts.	MPa	10,2	8,2	8,8	9,2	X	X	-	-	-	-	9,1	0,8	9,0
Amostra 12	Densidade aparente seca	kg/m3	2.548,2	2.558,0	2.576,1	2.541,6	2.567,0	2.566,0	2.562,4	2.568,8	2.564,2	2.583,0	2.563,5	12,2	0,5
	Porosidade Aparente	%	4,8	3,8	2,0	4,9	3,3	3,1	4,0	2,9	3,0	1,7	3,3	1,0	31,2
	Absorção de água	%	1,9	1,5	0,8	1,9	1,3	1,2	1,6	1,1	1,2	0,7	1,3	0,4	31,6
	Compressão	MPa	137,3	115,8	133,0	112,7	128,9	110,7	-	-	-	-	123,1	11,4	9,2
	Flexão 3 pts.*	MPa	31,7	30,5	30,5	30,2	26,3	22,4	-	-	-	-	28,6	3,5	12,4

Tabela 19: Dados do Gnaiss

Nº Amostra	Propriedade	Unidade	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7	CP 8	CP 9	CP 10	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Amostra 1	Densidade aparente seca	kg/m3	2.688,6	2.690,3	2.676,2	2.672,8	2.671,7	2.695,6	2.684,6	2.685,1	2.667,8	2.673,0	2.680,6	9,4	0,4
	Porosidade Aparente	%	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	5,7
	Absorção de água	%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	5,7
	Compressão	MPa	150,7	170,8	141,4	130,5	160,0	149,8	-	-	-	-	150,5	14,0	9,3
	Flexão 3 pts.	MPa	21,1	18,8	20,1	18,1	18,1	18,4	-	-	-	-	19,1	1,2	6,4
Amostra 2	Densidade aparente seca	kg/m3	2.665,9	2.659,9	2.657,8	2.654,2	2.646,8	2.664,7	2.647,6	2.654,0	2.661,3	2.650,2	2.656,3	6,8	0,3
	Porosidade Aparente	%	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,0	9,9
	Absorção de água	%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	10,1
	Compressão	MPa	116,0	110,1	118,5	X	X	X	-	-	-	-	114,9	4,3	3,8
	Flexão 3 pts.	MPa	15,8	13,5	17,0	18,1	14,0	13,1	-	-	-	-	15,2	2,0	13,3
Amostra 3	Densidade aparente seca	kg/m3	2.810,3	2.857,4	2.823,2	2.844,4	2.823,2	2.817,8	2.879,6	2.848,1	2.804,1	2.854,3	2.836,2	24,1	0,9
	Porosidade Aparente	%	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,0	6,9
	Absorção de água	%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	6,6
	Compressão	MPa	160,7	129,2	145,3	131,7	153,4	125,2	-	-	-	-	140,9	14,4	10,2
	Flexão 3 pts.	MPa	21,4	24,7	23,9	21,9	21,3	22,5	-	-	-	-	22,6	1,4	6,3
Amostra 4	Densidade aparente seca	kg/m3	2.626,0	2.625,1	2.623,9	2.623,7	2.626,1	2.617,4	2.618,0	2.619,9	2.626,1	2.621,9	2.622,8	3,4	0,1
	Porosidade Aparente	%	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	1,0	0,8	0,9	0,9	0,1	8,8
	Absorção de água	%	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,0	8,8
	Compressão	MPa	196,3	145,9	147,8	X	X	X	-	-	-	-	163,3	28,6	17,5
	Flexão 3 pts.	MPa	20,8	18,3	14,8	15,9	15,9	16,6	-	-	-	-	17,0	2,2	12,8
Amostra 5	Densidade aparente seca	kg/m3	2.669,3	2.675,0	2.661,3	2.736,5	2.637,4	2.796,6	2.676,1	2.724,4	2.656,8	2.700,5	2.693,4	47,4	1,8
	Porosidade Aparente	%	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	1,4	1,0	1,0	0,1	14,5
	Absorção de água	%	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,5	0,4	0,4	0,1	15,6

Nº Amostra	Propriedade	Unidade	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7	CP 8	CP 9	CP 10	Média	Desvio Padrão	CV (%)
	Compressão	MPa	119,4	120,1	154,7	X	X	X	-	-	-	-	131,4	20,2	15,4
	Flexão 3 pts.	MPa	6,5	5,4	5,8	6,3	7,7	6,3	-	-	-	-	6,3	0,8	12,3
Amostra 6	Densidade aparente seca	kg/m ³	2.606,5	2.615,5	2.606,6	2.623,9	2.586,7	2.615,5	2.619,6	2.619,8	2.607,1	2.621,5	2.612,3	11,1	0,4
	Porosidade Aparente	%	1,2	1,2	1,3	1,1	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	0,1	5,1
	Absorção de água	%	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,0	5,4
	Compressão	MPa	82,4	84,1	72,2	67,3	87,8	78,5	-	-	-	-	78,7	7,7	9,8
	Flexão 3 pts.	MPa	4,1	3,8	5,5	4,8	4,7	5,3	-	-	-	-	4,7	0,6	13,8