

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

LARA CÍNTIA ARNDT SAAR

**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 (SP)

2013

FICHA CATALOGRÁFICA (deverá constar no VERSO da página de rosto)

consultar o Bibliotecário

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

LARA CÍNTHIA ARNDT SAAR

**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.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geologia Regional.

Orientador: Prof.Dr. Antônio Misson Godoy

Rio Claro (SP)

2013

LARA CÍNTIA ARNDT SAAR

**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.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geologia Regional.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Antonio Misson Godoy - Orientador

Departamento de Petrologia e Metalogenia – DPM
Instituto de Geociências e Ciências Exatas IGCE/UNESP, Rio Claro - SP.

Prof. Dr. Antonio Carlos Artur

Departamento de Petrologia e Metalogenia – DPM
Instituto de Geociências e Ciências Exatas IGCE/UNESP, Rio Claro - SP.

Prof. Dr. Antenor Paraguassú

Universidade de São Paulo - USP
São Carlos – SP

Rio Claro, 01 de março de 2013.

Dedico este trabalho a minha família que sempre esteve ao meu lado, em todos os momentos e a meu amado Thiago, por todo carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, não poderia de deixar de agradecer ao grandioso DEUS, pois tenho certeza que, se cheguei até aqui, foi pelas mãos e pelo querer dele.

Este trabalho também não chegaria ao fim sem a colaboração de instituições, mestres, técnicos, colegas e, especialmente da família e dos amigos, que souberam usar sabiamente a paciência, entendendo e apoiando nos momentos de fraquezas e cansaço, quando tantas vezes nos tornamos chatos e irritantes.

Então me sinto na obrigação de concretizar todo meu agradecimento a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha realização neste momento.

Agradeço a meu orientador Prof. Dr. Antonio Misson Godoy, pelas orientações, disponibilidade, paciência dedicada e por todo seu conhecimento transmitido nesse período.

Aos meus pais Carlota e Germano, pelas orações e o apoio nos momentos difíceis quando eu mais precisava, nas minhas ausências e nos meus “nervosinhos”, amo muito vocês.

Ao meu estimado noivo Thiago Motta Bolonini, pelos ensinamentos, sugestões, discussões (grandes discussões) e, especialmente, por ter me suportado com paciência nos momentos de desespero e choro que foram muitos, sempre me encorajando e incentivando.

A minha família, de um modo geral, incluindo sobrinhos, irmã, tios e tias, padrinho e madrinha, cunhada e cunhado, sogro e sogras, primos e primas.

Ao amigo Dr. Cesar D' Abronzo Martinelli e Claudinha (in memorian) que me ajudaram no ponta pé inicial deste trabalho.

Ao querido professor e amigo Dr. Leonardo Luiz Lyrio da Silveira, que me ensinou os primeiros passos neste mundo do conhecimento científico.

À empresa F.Gran Granitos Ltda e todos seus colaboradores pela atenção e ajuda que me foram dispensadas no decorrer do trabalho e pelo fornecimento de parte dos materiais rochosos necessários.

À empresa Mineração Thomazini e seus colaboradores, pelo apoio e o fornecimento de parte dos materiais rochosos utilizados.

À empresa Stone Mineração e seus colaboradores que também me deram apoio me fornecendo mais uma parte dos materiais rochosos.

À empresa IGM – Internacional Granitos e Mármore Ltda, principalmente pelo meu amigo Paulo Cergio que ajudou fornecendo parte dos ladrilhos e me suportou quando não parava de ligar para ele.

Às amigas Simone e Daniele (incluindo, é claro, a Keilley) pela paciência e incentivos durante os momentos de crise e desesperança, aguentando meus lamentos e me encorajando a começar tudo outra vez.

Ao meu grande amigo Antonio, que por muitas vezes cobriu a minha ausência, dando-me sempre apoio e palavras de conforto quando precisei e pelas sugestões e ensinamentos a mim dedicados.

Aos amigos Lúcio, Raphael, Ludiany, Dio, Jhon, Ariádina (e Cleber), Juquinha, Narbal, Abrahão, que souberam esperar e aguentar meus ataques.

À pós-graduação do IGCE/UNESP, por toda infraestrutura oferecida para o término deste trabalho.

Aos colaboradores do IGCE/DPM Júnior, Adilson Fontanelli, Vladimir e em especial ao Adilson, pela indispensável colaboração na realização dos ensaios, apesar dos grandes sustos que tomei.

Aos amigos, companheiros e colegas de pós-graduação Denise, Leiliane, Fanny, Adriano, Igor, Dennin, Fabi, Léo, Homero, Jeferson, Patrick e Liz e... o Defeito, que me ajudou na confecção das amostras.

À república Zé Comédia (incluindo todos os personagens que por ela passaram) que por muitas vezes me acolheu com o maior carinho.

À Rosângela, o anjo da Pós...

Ao colega Marcos pela ajuda com o ensaio de Dilatação térmica.

À Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro dado em diferentes etapas da pesquisa, viabilizando a realização deste trabalho.

Meus muitos agradecimentos, de todo o coração.

Um sonho sonhado sozinho é um sonho. Um sonho sonhado junto é realidade.

Raul Seixas

RESUMO

O setor de rochas ornamentais atinge consumidores cada vez mais exigentes por qualidade tornando evidente o incremento, na demanda por qualificação destes materiais pétreos, sustentado pela busca por soluções tecnológicas que os adéquem ao uso. Com o objetivo de agregar conhecimento técnico aos estudos das jazidas de rochas ornamentais no Estado do Espírito Santo, enfatiza-se a contextualização geológica e tecnológica de três dos principais tipos litológicos utilizados como rocha ornamental, extraídos no município de Barra de São Francisco, conhecidos comercialmente como *Giallo* São Francisco Real, Branco Marfim e Branco Dallas. Os tipos litológicos são definidos como sienogranitos peraluminosos do Tipo S, de idade neoproterozóica, pertencentes à Suíte Carlos Chagas. Ocorrem intrusivos em sillimanita-granada-biotita gnaisses e/ou migmatitos bandados a acamados do Complexo Nova Venécia. Observa-se, próximo aos contatos com as rochas encaixantes ou a partir de megaxenólitos migmatíticos, quando parcialmente consumidos, a imposição aos leuco- sienogranitos de feições texturais de consumo e/ou mistura diversas, como composições mais máficas e maiores concentrações de granada ou desenvolvimento de *schlieren* constituídos por concentrações principalmente de minerais máficos. A deformação milonítica impõe a estas rochas um bandamento tectônico definido pela alternância de bandas micáceas e quartzo-feldspáticas (predominantes) e por feições texturais porfiroclásticas com porcentagem e intensidade variáveis de feldspato potássico e granadas, originando os subtipos rochosos. São constituídos por quartzo, microclínio, oligoclásio, biotita e muscovita, podendo ocorrer sillimanita, granada, minerais acessórios como apatita, titanita, zircão e minerais opacos. Impostos aos minerais principais observam-se feições retrometamórficas superimpostas pelo evento milonítico com a geração de cloritas, epidoto, sericita, minerais opacos e argilo minerais. A partir da análise petrográfica permitiu-se definir as direções mais representativas das amostras para a realização dos ensaios físico-mecânicos nos materiais pétreos. Em seguida foram realizados os ensaios de caracterização tecnológica englobando análises e ensaios como: Análise Petrográfica; Índices Físicos; Resistência à Compressão Uniaxial conjugado ao Congelamento e Degelo; Resistência à Compressão Uniaxial; Módulo de Ruptura; Resistência à Flexão por Quatro Pontos; Resistência ao Impacto de Corpo Duro; Resistência à Abrasão (Desgaste Amsler); Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas; Resistência ao Ataque Químico; Alterabilidade e análise Geoquímica, com o intuito de determinar as características físico-mecânicas e químicas dos materiais, bem como orientar sua aplicação como produto final. Os resultados obtidos foram comparados entre si, e correlacionados com os padrões limites estabelecidos pelas instituições normalizadoras para rocha ornamental de revestimento e demonstraram que possuem boa aplicação como rocha ornamental de revestimento, porém em algumas correlações mostraram restrições.

Palavras-chave: Rocha ornamental, granito, caracterização tecnológica, Barra de São Francisco.

ABSTRACT

The ornamental industry reaches consumers more and more demanding quality by making evident the increment in demand for skills these stone materials, supported by the search for technological solutions that suit the use. With the objective to aggregate technical expertise to the study of deposits of dimensional stones in the State of Espírito Santo, emphasizes the contextualization geological and technological background of three major rock types used as dimension stone, taken in the town of Barra de São Francisco, known commercially Giallo São Francisco Real, Branco Marfim e Branco Dallas.. The rock types are defined as syenogranites peraluminous S Type of Neoproterozoic age, belonging to Carlos Chagas Suite. Intrusive occur in sillimanite-garnet-biotite gneisses and / or the bedridden banded migmatite Complex Nova Venécia. It is observed next to contacts with the host rocks or from migmatitic megaxenólitos when partially consumed, the imposition of the leuco-syenogranites textural features of consumption and / or mixing different, such as more mafic compositions and higher concentrations of garnet or schlieren develop composed concentrations of mafic minerals. The deformation imposes on these mylonitic rocks a tectonic banding defined by alternating bands of mica and quartz-feldspar (predominant) and textural features porfiroblásticas with percentage and intensity of K-feldspar and grenades, causing subtypes rocky. They are composed of quartz, microcline, oligoclase, biotite and muscovite may occur sillimanite, garnet, accessory minerals such as apatite, titanite, zircon and opaque minerals. Imposed the minerals main features are observed superimposed retrometamórficas milonítico the event with the generation of chlorite, epidote, sericite, opaque minerals and clay minerals. Based on the petrographic analysis allowed to define the directions of the most representative samples for the realization of physico-mechanical in stone materials. Then were performed tests for the characterization technological encompassing analyzes and tests as: Petrographic Analysis, Physical Indexes; Uniaxial Compressive Strength combined with the freezing and defrosting; Uniaxial Compressive Strength, Modulus of Rupture; for Flexural Four Points; Resistance to Hard Body Impact, Abrasion Resistance (Amsler wear) Determination of the velocity of propagation of ultrasonic waves; Resistance to Chemical Attack; Changeable Geochemistry and in order to determine the physico-mechanical and chemical materials, as well as orienting its application as a final product. The results obtained were compared between themselves and correlated to the standards suggested for silicate rocks, normalizing institutions for their specifications and demonstrated that they have good application as ornamental coating, but in some correlations showed restrictions.

Keywords: Dimension stone, granite, technological characterization, Barra de São Francisco.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Localização do município de Barra de São Francisco no estado do Espírito Santo.....	21
Figura 2. Vias de acesso ao Município de Barra de São Francisco a partir de Vitória.	22
Figura 3. Feições geomorfológicas com destaque ao relevo constituído por monólitos.	23
Figura 4. Estrutura de Comercialização de Mármore e Granitos no Brasil.....	25
Figura 5. Demonstrativo da taxa de crescimento das exportações brasileiras..	27
Figura 6. Evolução da produção brasileira de rochas voltada para os mercados interno e externo – 2000-2011.....	28
Figura 7. Esquema de corte para confecção dos corpos-de-prova destinados aos ensaios tecnológicos.....	33
Figura 8. Mapa de campos contados por lâmina.....	39
Figura 9. Representação da amostra submetida ao método de coloração seletiva, da imagem tratada e sua classificação supervisionada.....	40
Figura 10. Tipos de contatos entre grãos minerais.....	41
Figura 11. Procedimento de análise modal quantitativa de A para E, conforme movimento de <i>charriot</i> de passo.....	44
Figura 12. Esquema ilustrando a resistência mecânica de uma rocha em relação aos aspectos composicionais, estruturais e texturais.....	49
Figura 13. Detalhe do corpo-de-prova com esforços aplicados em direção perpendicular (a) e paralela (b) à estruturação da rocha.....	50
Figura 14. Figura representativa do ângulo de comercialização dos materiais.	54
Figura 15. O Orógeno Araçuaí, seus componentes e ambientes geotectônicos..	62
Figura 16. Mapa geológico do Orógeno Araçuaí.....	63
Figura 17. Figuras dos materiais (A) <i>Giallo</i> São Francisco Real; (B) Branco Marfim e (C) Branco Dallas.....	69
Figura 18. Características petrográficas e geológicas gerais das rochas da região.	70
Figura 19. Mapa geológico de detalhe.....	71
Figura 20. Ilustração dos volumes isolados utilizando algumas das tecnologias citadas.	72
Figura 21. Bloco diagrama esquematizando os planos de corte.....	73
Figura 22. Visão geral da mina do <i>Giallo</i> São Francisco Real.....	73
Figura 23. Frentes de lavra da Mina de <i>Giallo</i> São Francisco.....	74

Figura 24. Figura de alguns xenólitos e veios encontrados na mina Stone Mineração.	75
Figura 25. Figura geral da mina Branco Dallas.....	76
Figura 26. Frentes de lavra da Mina de Branco Dallas.....	77
Figura 27. Detalhe da foliação milonítica e migmatitos encontradas na Mina de Branco Dallas.....	78
Figura 28. Foto geral da mina do Branco Marfim.....	79
Figura 29. Frente de lavra da Mina de Branco Marfim.....	79
Figura 30. Feições geológicas encontradas na mina onde foi coletada a amostra Branco Marfim.	80
Figura 31. Esquema demonstrando a orientação dos cortes verticais realizados nas minas.	82
Figura 32. Distribuição dos elementos maiores das amostras estudadas.....	86
Figura 33. Amostra do material denominado <i>Giallo</i> São Francisco Real	87
Figura 34. Amostra do material denominado <i>Giallo</i> São Francisco Real (BSF 010), atacado por ácido fluorídrico e tratado com cobalto-nitrito de sódio no ensaio de coloração seletiva.....	88
Figura 35. Imagem da amostra do <i>Giallo</i> São Francisco Real (BSF 010) após a classificação supervisionada.....	88
Figura 36. Classificação modal da amostra do <i>Giallo</i> São Francisco Real (BSF 010).....	89
Figura 37. Fotomicrografias das lâminas BSF 010.1 e BSF 010.2.....	91
Figura 38. Fotomicrografias das microfissuras.....	92
Figura 39. Amostra do material denominado Branco Marfim.....	93
Figura 40. Amostra do material denominado Branco Marfim (BSF 273), atacado por com ácido fluorídrico e tratadas com cobalto-nitrito de sódio no ensaio de colorimetria.	94
Figura 41. Figura da imagem após a classificação supervisionada de imagem do material denominado Branco Marfim (BSF 273).....	94
Figura 42. Classificação modal da amostra do material Branco Marfim (BSF 273).	96
Figura 43. Fotomicrografias das lâminas Branco Marfim BSF 273.1 e BSF 273.2.	97
Figura 44. Fotomicrografias das microfissuras.....	98
Figura 45. Figura da amostra do material denominado Branco Dallas.....	99
Figura 46. Figura da amostra do material denominado Branco Dallas (BSF 081), atacado por com ácido fluorídrico e tratadas com cobalto-nitrito de sódio no ensaio de colorimetria.	100
Figura 47. Figura da imagem após a classificação supervisionada de imagem	100

do material denominado Branco Dallas (BSF 081).....	
Figura 48. Classificação modal da amostra do material Branco Dallas (BSF 081).	101
Figura 49. Fotomicrografias das lâminas Branco Dallas BSF 081.1 e BSF 081.2.	102
Figura 50. Fotomicrografias das microfissuras.....	103
Figura 51. Gráficos demonstrativos dos resultados de índices físicos.....	106
Figura 52. Comparação dos teores de microfissuras medidos nas direções paralela e perpendicular com os resultados obtidos no ensaio de compressão uniaxial.....	108
Figura 53. Correlação entre o Índice de enfraquecimento hidráulico medido com os resultados de compressão uniaxial.....	109
Figura 54. Correlação dos resultados obtidos no ensaio de compressão uniaxial com respectivas Vps.....	110
Figura 55. Representação gráfica dos resultados obtidos no ensaio de compressão uniaxial conjugado ao congelamento e degelo.....	112
Figura 56. Resultados obtidos nas medidas de Vp do ensaio de compressão uniaxial conjugado ao congelamento e degelo.....	113
Figura 57. Correlação dos resultados obtidos nos índices físicos com os resultados do ensaio de compressão uniaxial conjugado ao congelamento e degelo.	115
Figura 58. Correlação entre os resultados de anisotropia com os resultados do ensaio de compressão uniaxial conjugado ao congelamento e degelo.....	116
Figura 59. Representação gráfica dos resultados do ensaio de módulo de ruptura.....	117
Figura 60. Modelo de aplicação das forças do ensaio de módulo de ruptura, considerando as duas foliações de direção paralela aplicada.....	118
Figura 61. Gráficos correlacionando os índices de enfraquecimento hidráulico e os resultados do ensaio de módulo de ruptura nas condições seca e saturada.....	120
Figura 62. Comparação do módulo de ruptura com os resultados de Vp.....	121
Figura 63. Resultado obtidos no ensaio de Flexão por 4 pontos.....	123
Figura 64. Esquema dos corpos-de-prova para o ensaio de Flexão por 4 pontos.....	124
Figura 65. Gráfico com os resultados Vp medidos no ensaio de Flexão por 4 pontos.....	125
Figura 66. Índice de enfraquecimento hidráulico medido com os resultados de Flexão por 4 pontos.....	126
Figura 67. Representação gráfica dos resultados médios do ensaio de	

impacto de corpo duro, com relação ao índice de microfissuras e tamanho de grãos.....	128
Figura 68. Gráficos com os resultados do ensaio de desgaste abrasivo, com relação ao índice de quartzo e feldspato.....	130
Figura 69. Representação gráfica dos valores médios da Vp dos corpos-de-prova utilizados nos ensaio de compressão uniaxial e conjugado ao congelamento e degelo.....	132
Figura 70. Valores médios de Vp dos corpos-de-prova do ensaio de módulo de ruptura pelo método tradicional, segundo direções paralelas e perpendiculares à foliação.....	133
Figura 71. Valores médios de Vp dos corpos-de-prova do ensaio de flexão a 4 pontos.....	134
Figura 72. Correlação dos valores médios de Vp e os valores de densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água.....	136
Figura 73. Classificações de anisotropia influenciado pelo comportamento e quantidade de descontinuidades.....	139
Figura 74. Simulação do ensaio de compressão uniaxial com os possíveis principais planos de ruptura da rocha.	139
Figura 75. Relações dos planos teóricos de ruptura com os eixos do elipsóide dos esforços.....	141
Figura 76. Esquema dos corpos-de-prova utilizados nos ensaios de resistência à compressão e à flexão. a) suposta direção perpendicular à foliação; b) suposta direção paralela à foliação.	141
Figura 77. Demonstrativo dos ângulos de foliação no corpo-de-prova de compressão uniaxial.....	142
Figura 78. Demonstrativo dos ângulos de foliação no corpo-de-prova de módulo de ruptura.....	143
Figura 79. Figura da marcação de foliação nas condições paralelas dos corpos-de-prova do ensaio do módulo de ruptura.....	143
Figura 80. Gráfico com os resultados do ensaio do ataque químico.....	148
Figura 81. Correlação dos índices de porosidade e absorção d'água com a perda de brilho provocadas por agentes agressivos.....	149
Figura 82. Superfície das placas polidas das amostras <i>Giallo</i> São Francisco Real, submetidas aos ataques dos diferentes compostos químicos.....	151
Figura 83. Tardoz das amostras <i>Giallo</i> São Francisco Real, submetidas ao ataque químico.....	152
Figura 84. Superfície das placas polidas das amostras Branco Dallas, submetidas aos ataques dos diferentes compostos químicos.....	153
Figura 85. Tardoz das amostras Branco Dallas, submetidas ao ataque químico.....	154
Figura 86. Superfície das placas polidas das amostras Branco Marfim,	

submetidas aos ataques dos diferentes compostos químicos..... 155

Figura 87. Tardoz das amostras Branco Marfim, submetidas ao ataque químico..... 156

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Breve descrição macroscópica das amostras estudadas.....	31
Quadro 2. Especificações e dimensões dos corpos-de-prova para cada conjunto de amostras.....	34
Quadro 3. Ensaios de caracterização recomendados para cada solicitação das rochas ornamentais e de revestimento.....	37
Quadro 4. Classificação das cores por grupo de minerais.....	40
Quadro 5. Reagentes utilizados no ensaio de ataque químico e correspondentes concentrações, tempo de exposição e produtos do cotidiano que contém estas substâncias.....	57
Quadro 6. Tipos de alteração em revestimentos.....	59
Quadro 7. Roteiro para avaliação preliminar do estado de alteração e do grau de coerência de rochas.....	59
Quadro 8. Valores limítrofes especificados pela norma ABNT NBR 15844:2010, ASTM C615 (2003) e valores médios para rochas silicáticas brasileiras por Frazão e Farjallat (1995).....	83
Quadro 9. Quadro do resumo petrográfico da amostra <i>Giallo</i> São Francisco Real.....	90
Quadro 10. Quadro do resumo petrográfico da amostra Branco Marfim (BSF 273).....	95
Quadro 11. Quadro do resumo petrográfico da amostra Branco Dallas (BSF 081).....	104
Quadro 12. Resumo das principais alterações observadas nas placas que sofreram ataque químico.....	146
Quadro 14. Classificação das classes de resistência ao ataque químico das amostras estudadas.....	157
Quadro 13. Classes de resistência ao ataque químico.....	50
Quadro 15. Resumo dos resultados dos ensaios aplicados nas amostras estudadas.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação de intensidade do grau de alteração.....	42
Tabela 2. Valores das análises geoquímicas de elementos maiores e menores.....	85
Tabela 3. Resumo dos resultados da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água.....	105
Tabela 4. Resultados dos ensaios de compressão uniaxial.....	107
Tabela 5. Índice de enfraquecimento hidráulico na resistência à compressão uniaxial.....	110
Tabela 6. Resultados médios obtidos no ensaio de resistência à compressão uniaxial conjugado ao congelamento e degelo.....	112
Tabela 7. Índice de enfraquecimento hidráulico medido com os resultados de compressão uniaxial conjugado ao congelamento e degelo.....	114
Tabela 8. Resultados obtidos no ensaio de Módulo de Ruptura.....	117
Tabela 9. Índice de enfraquecimento hidráulico medido com os resultados de módulo de ruptura.....	119
Tabela 10. Resultado obtidos no ensaio de Flexão por 4 pontos.....	122
Tabela 11. Índice de enfraquecimento hidráulico medido com os resultados de Flexão por 4 pontos.....	126
Tabela 12. Resultados obtidos no ensaio de impacto de corpo duro.....	127
Tabela 13. Resultados obtidos no ensaio de desgaste abrasivo.....	129
Tabela 14. Valores médios de Vp dos corpos-de-prova da compressão uniaxial e conjugado ao congelamento e degelo.....	132
Tabela 15. Valores médios de Vp dos corpos-de-prova do ensaio de módulo de ruptura.....	133
Tabela 16. Valores médios de Vp dos corpos-de-prova do ensaio de flexão a 4 pontos, no estado seco e saturado.....	134
Tabela 17. Resumos dos valores de anisotropia calculados por ensaio.....	138
Tabela 18. Resultados obtidos no ensaio de ataque químico.....	147

LISTA DE SIGLAS

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ASTM – American Society for Testing and Materials.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

DIN - Deutsch Institut fur Normung

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral.

DPM – Departamento de Petrologia e Metalogenia

ETR's – Elementos Terras Raras

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IGCE – Instituto de Geociências e Ciências Exatas

IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

ISRM - Internation Society for Rocks Mecanic

IUGS - International Union of Geological Sciences.

LABOGEO – Laboratório de Geoquímica

NBR – Norma Brasileira.

UNESP – Universidade Estadual Paulista “Julho de Mesquita Filho”.

UTM – Universal Transversa de Mercator

V_p – Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas

PUNDIT - Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Test

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	19
1.1. INTRODUÇÃO.....	19
1.2. OBJETIVOS.....	20
1.3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	21
1.4. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	22
1.4.1. Morfologia (Relevo).....	22
1.4.2. Clima, Vegetação e Hidrografia.....	24
1.5. MERCADO DE ROCHAS ORNAMENTAIS.....	25
1.6. ASPECTOS ECONÔMICOS E RECURSOS MINERAIS DO MUNICÍPIO DE BARRA DE SÃO FRANCISCO.....	28
CAPÍTULO 2	31
2.1. MATERIAIS E MÉTODOS	31
2.1.1. Materiais Estudados	31
2.1.2. Métodos Utilizados.....	32
CAPÍTULO 3	61
3.1. GEOLOGIA REGIONAL	61
3.1.1. Contexto geotectônico e geologia regional	61
3.1.2. Estratigrafia da área de estudo.....	63
CAPÍTULO 4	68
4.1. GEOLOGIA LOCAL.....	68
4.1.1. Suíte Intrusiva Carlos Chagas	69
4.2. DESCRIÇÃO DAS MINAS.....	71
4.2.1. Mina da amostra BSF010 do material <i>Giallo</i> São Francisco Real.....	73
4.2.2. Mina da amostra BSF081 do material Branco Dallas.....	75
4.2.3. Mina da amostra BSF273 do material Branco Marfim.....	78
4.3. GEOLOGIA ESTRUTURAL.....	81
CAPÍTULO 5	83
5.1. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	83
5.1.1. Análise Geoquímica.....	84
5.1.2. Análise Petrográfica.....	87
5.1.3. Determinação da Densidade Aparente, Porosidade Aparente e Absorção De Água.....	104
5.1.4. Resistência à Compressão Uniaxial	107
5.1.5. Resistência ao Congelamento e Degelo Conjugado à Compressão	111

Uniaxial	
5.1.6. Módulo de Ruptura (Flexão por carregamento em Três Pontos).....	117
5.1.7. Resistência à Flexão por carregamento em Quatro Pontos.....	122
5.1.8. Resistência ao Impacto de Corpo Duro.....	126
5.1.9. Resistência à Abrasão (Desgaste Amsler).....	129
5.1.10. Determinação da Propagação de Ondas Ultrassônicas.....	131
5.1.11. Resistência ao Ataque Químico.....	144
CAPÍTULO 6	158
6.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE INDICAÇÕES DE USO.....	158
CAPÍTULO 7	163
7.1. CONCLUSÃO	163
CAPÍTULO 8	165
8.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	165
ANEXOS	171

CAPÍTULO 1

1.1. INTRODUÇÃO

Como rocha ornamental defini-se todo material rochoso que passa por um processo de beneficiamento e é utilizado em aplicações de revestimento e ornamentação. Materiais rochosos usados como revestimentos de edificações tendem a se modificar e deteriorar naturalmente com o tempo (FRASCÁ, 2003).

As rochas ornamentais, também designadas pedras naturais, rochas dimensionais e materiais de cantaria, definem uma das mais promissoras áreas do setor mineral. Tal afirmação é justificada tanto pelos novos tipos de utilização das rochas ornamentais nas paisagens urbanas, quanto por novas tecnologias de extração, manuseio, transporte e beneficiamento de blocos. Além destas características que aprimoram a exploração e otimizam a produção, com conseqüente redução de custos, o mercado consumidor, cada vez mais exigente, requer uma padronização das características tecnológicas e estéticas dessas rochas de forma a reforça-se a necessidade da conciliação entre o conhecimento técnico e a estética para sua especificação e adequação.

A caracterização tecnológica das rochas ornamentais deve ser realizada antes da extração e comercialização do material para que sejam conhecidos suas características e comportamentos frente às solicitações impostas a elas quando aplicadas.

Frasca (2002) aponta ações que visam a qualificação sistematizada das matérias-primas e dos produtos, das técnicas mais adequadas para colocação e manutenção de rochas em revestimentos e a difusão dessas tecnologias, principalmente, ao mercado consumidor, como demandas atuais do setor.

O conhecimento das propriedades físico-mecânicas e das características

químico-mineralógicas das rochas utilizadas como revestimento são fatores técnicos que podem afetar o preço do produto, as opções de uso e a valorização do material mediante as exigências do mercado.

O valor comercial da rocha é consequência direta das características técnicas, bem como das características estéticas. Haja vista que a utilização mais adequada para uma dada rocha deve ser aquela que apresente o valor técnico, estético e comercial mais elevado (MOURA et al., 2000 *apud* SOSSAI, 2006).

Outra aplicação para os resultados dos ensaios tecnológicos pode ser feita na extração (planejamento de lavra), podendo implicar em redução de custos e contribuir para padronização dos blocos extraídos.

O mercado de rochas ornamentais, recuperado após a crise econômica mundial de 2007, com minas voltando a produção normal, tem hoje, o Espírito Santo como seu maior produtor no Brasil, com cerca de 580 t exportadas de janeiro a novembro de 2011 (INFOROCHAS, 2011).

O município de Barra de São Francisco se destaca nesses números, principalmente em relação à produção de blocos. Por esse motivo, decidiu-se selecionar alguns dos materiais lá extraídos e denominados comercialmente como granitos: *Giallo* São Francisco Real, Branco Marfim e Branco Dallas, com o intuito de estabelecer critérios para sua aplicação.

A CPRM (2007a) descreve que a maior parte da produção de blocos do noroeste capixaba provém da Suíte Carlos Chagas, em particular, de suas rochas amareladas. Considerando todos estes fatos, este trabalho visa uma complementação ao tema, na finalidade de especificar um conjunto de três variedades litológicas quanto às suas propriedades tecnológicas frente a algumas possíveis aplicações.

1.2. OBJETIVOS

Este trabalho avalia as características tecnológicas (propriedades físico-mecânicas) e de alterabilidade dos “granitos” *Giallo* São Francisco Real, Branco Marfim e Branco Dallas, extraídos no município de Barra de São Francisco – ES, visando a definição de parâmetros técnicos capazes de esclarecer e/ou prever o comportamento físico-mecânico e químico dessas rochas durante o uso em suas

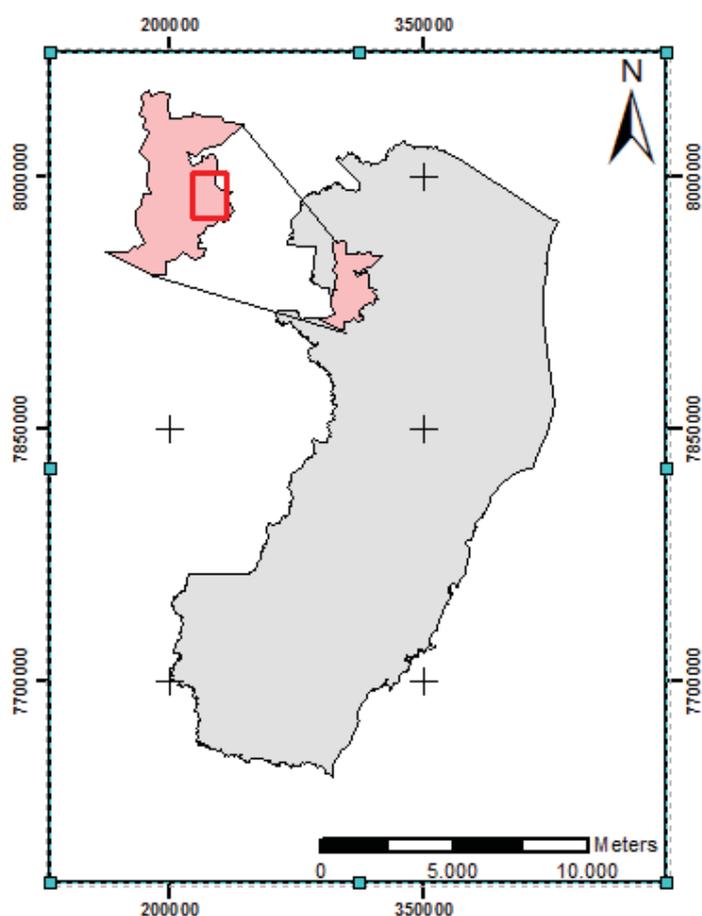
aplicações finais, além de contribuir com orientações para a correta especificação dos materiais estudados frente às respectivas características tecnológicas, bem como, desenvolver patamares técnicos determinados que possibilitem o maior interesse econômico de exploração, permitindo desta forma uma escolha técnica e adequada, mantendo sempre os requisitos desejáveis de ordem estética.

1.3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os tipos litológicos estudados foram amostrados em minas ativas, na porção leste do município de Barra de São Francisco.

O município de Barra de São Francisco localiza-se na região noroeste do estado do Espírito Santo (Figura 1) e está inserido na folha cartográfica de Mantena (SE-24-A-VI), publicada pelo IBGE (1979).

Figura 1. Localização do município de Barra de São Francisco no estado do Espírito Santo.

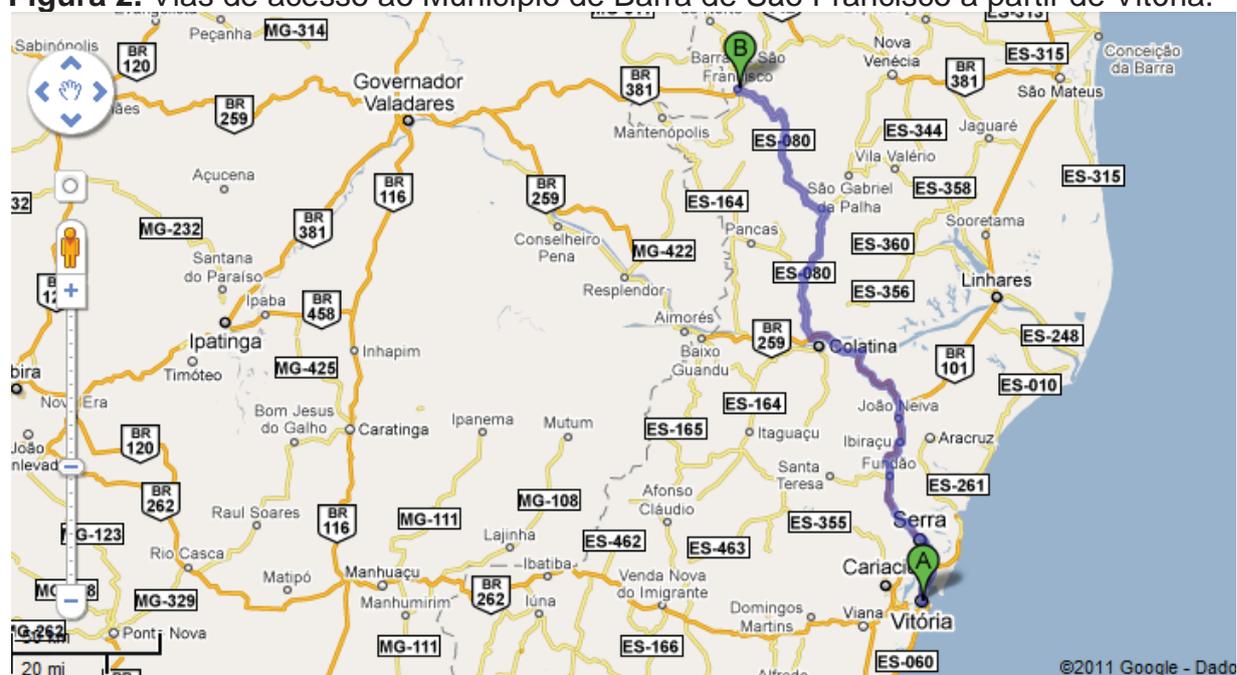


Legenda: Delimitação da área em estudo, em rosa, município de Barra de São Francisco e em cinza o estado do Espírito Santo. **Fonte:** Elaborado pelo autor.

O acesso ao município, partindo de Vitória (Capital do estado), pode ser feito pela rodovia federal BR-259 até o município de Colatina, a partir do qual segue-se pela rodovia estadual ES-080, por aproximadamente 120 km, até à cidade de Barra de São Francisco (Figura 2).

Quanto ao acesso ao interior do município, pode ser feito por estradas, caminhos e trilhas que ligam suas diversas porções. Desta forma, fica sobremaneira facilitado o transporte dos blocos para as indústrias de beneficiamento, para o mercado interno e, para o porto de Vitória na forma de blocos para exportação.

Figura 2. Vias de acesso ao Município de Barra de São Francisco a partir de Vitória.



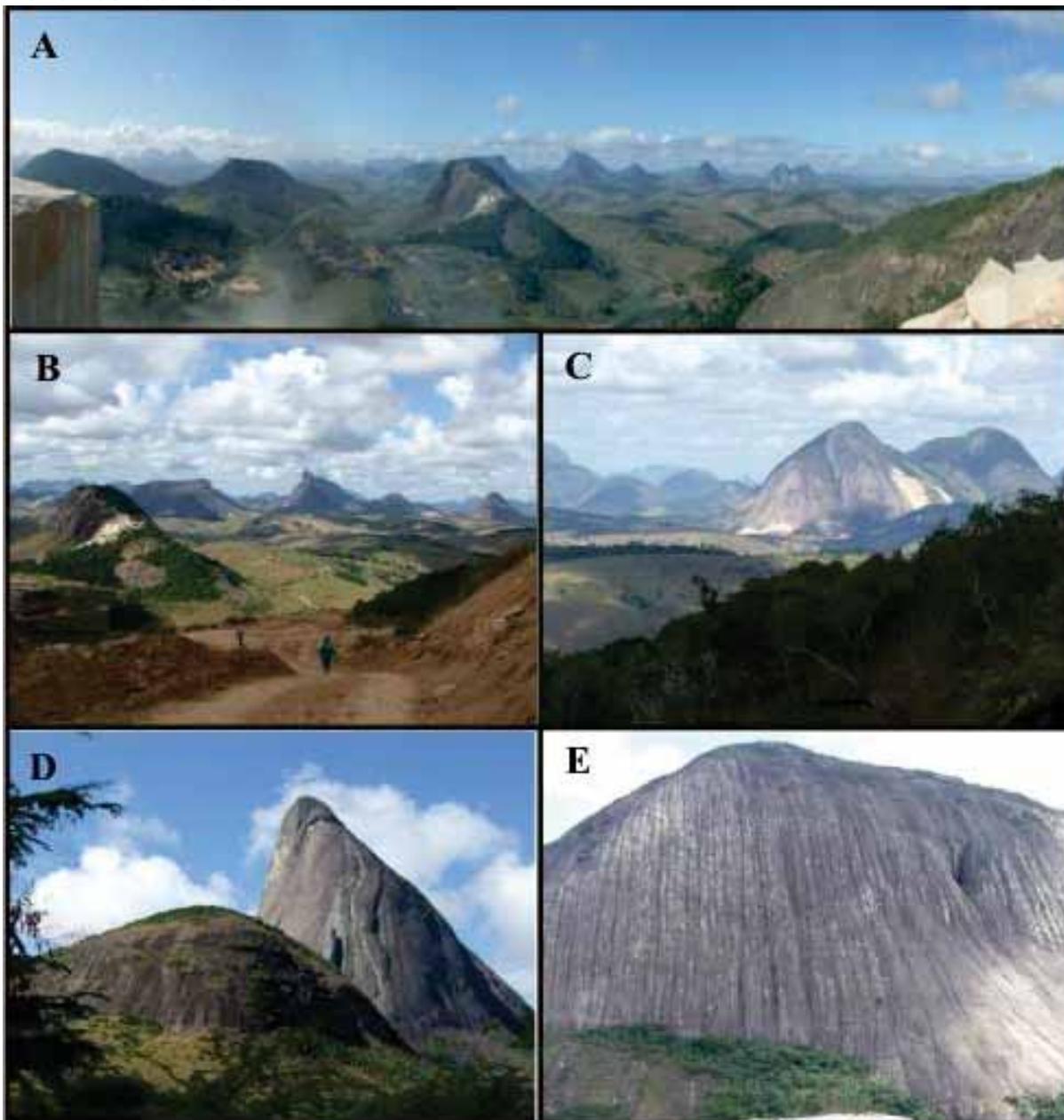
Legenda: (A) Vitória – ES; (B) Barra de São Francisco – ES. **Fonte:** Modificado do *Google maps* (2011).

1.4. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

1.4.1. MORFOLOGIA (RELEVO)

A região onde encontram-se as minas estudadas é definida por três feições geomorfológicas distintas (Figura 3) que estão intimamente ligadas às litologias existentes e, em segundo plano, ao modelamento do relevo por parte do sistema de drenagem.

Figura 3. Feições geomorfológicas com destaque ao relevo constituído por monólitos rochosos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No primeiro caso, ocorre um relevo bastante acidentado com monólitos de dezenas de metros de altitude constituindo os “inselbergs” e as cuestras. A diferença de altitude pode atingir, neste caso, valores superiores a 400m, onde a vegetação é pouco desenvolvida nos topos rochosos.

Nestas encostas é comum o desenvolvimento de depósito de tálus, onde por vezes são desenvolvidas algumas culturas regionais (CPRM, 2007a). Sucede a estes acidentes geográficos um relevo mais arrasado e pediplanizado, formado por morros de topo abaulado e colinas sucessivas ao longo de grandes extensões.

Neste tipo de relevo o papel da drenagem é de grande influência, por remodelar estes terrenos. Finalmente, podem ser citadas as baixadas representadas por terrenos desnudados e dissecados, localmente pediplanizados, como resultado da atuação dos fenômenos erosionais. Próximo das drenagens são encontrados pequenas sub bacias, cujo pacote de sedimentação não apresenta expressão dentro do conjunto do relevo.

1.4.2. CLIMA, VEGETAÇÃO E HIDROGRAFIA

Segundo Köppen (1900), a região da cidade de Barra de São Francisco compreende um clima quente e úmido, caracterizado por possuir três meses secos (junho a agosto) com variações locais para semi-úmido de quatro a cinco meses (maio a setembro). O índice pluviométrico anual varia de 600 a 1000mm, sendo sua maior concentração nos meses de novembro a março.

A temperatura apresenta médias elevadas durante todo o ano em torno de 25°C, sendo os meses de dezembro a janeiro os mais quentes, com amplitude térmica diária em torno dos 32°C. Os meses mais frios são junho e julho, quando a temperatura oscila entre 18°C e 20°C, com mínimas em torno de 14°C.

A vegetação diretamente ligada às condições climáticas e a atuação do homem, apresenta uma associação de pastagens, culturas diversas e vegetação secundária. Como consequência da ação antrópica indiscriminada, a vegetação primitiva representada pela Mata Atlântica, típica da Serra do Mar, foi retirada, para a exploração de madeira e para o desenvolvimento de culturas e pastagens.

A partir da retirada da Mata primitiva surgiu então uma vegetação secundária, representada por capoeiras e capoeirinhas.

Estas encontram-se desenvolvidas principalmente nos vales da região, onde a umidade é mais elevada.

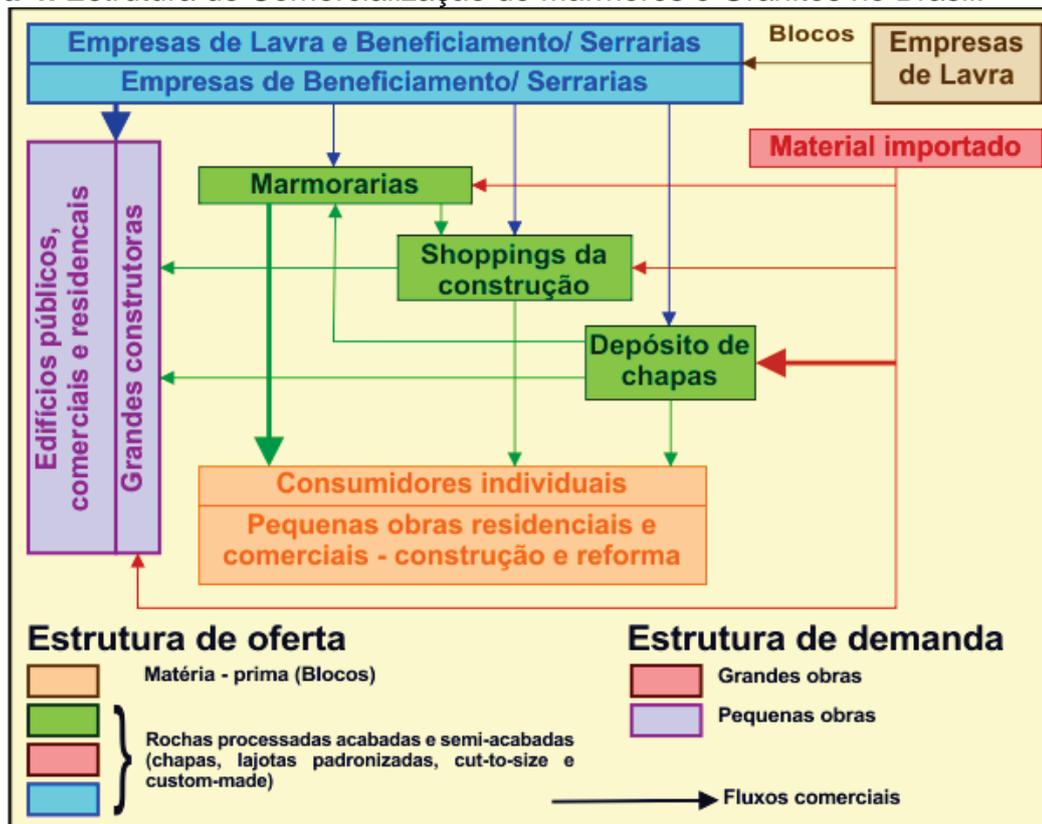
As culturas permanentes desenvolvidas na região estão restritas ao plantio de café e também de forma extensiva a lavoura branca, representada por arroz, feijão e milho. Localmente, encontra-se a cultura de subsistência de espécies variadas.

A hidrografia da região é comandada pela bacia do Rio São Francisco, tendo como principais afluentes, próximos as frentes de lavra, alvo deste estudo, os Córregos da Prata, Paulista e Comprido.

1.5. MERCADO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

A estrutura de comercialização das rochas ornamentais e de revestimento no mercado interno, sobretudo quanto aos mármore, granitos e outros materiais extraídos em blocos e serrados em chapas, estão dispostos na figura 4.

Figura 4. Estrutura de Comercialização de Mármore e Granitos no Brasil.



Fonte: ABIROCHAS (2004).

Segundo os dados preliminares do Anuário Mineral Brasileiro de 2010, em depuração pelo DNPM, os investimentos em pesquisa mineral efetuados no Brasil apontam para uma reserva medida de rocha equivalente 27,1 bilhões de toneladas (até o ano de 2009) para em torno de 1000 variedades de materiais, sendo o Espírito Santo responsável por cerca de 15 bilhões de toneladas desse montante (DNPM, 2010). Diante deste cenário, o setor vem realizando investimentos de expansão e modernização das unidades de beneficiamento já existentes, bem como de implantação de novas unidades com concepções avançadas e com a incorporação de tecnologias competitivas.

A atual estrutura de oferta nacional de rochas ornamentais pode ser caracterizada pela produção da ordem de 87,85 milhões de metros m³/ano, de blocos de mármore e granitos e pela existência de cerca de 1400 teares instalados, compreendendo a uma produção líquida do beneficiamento 25,35 milhões/m³ (Abirochas, 2012b).

Além do notável potencial geológico para materiais diversificados e de rara beleza, o país conta com infraestrutura de transporte relativamente facilitada dos depósitos produtores para os polos de processamento e de demanda, com portos bem localizados em relação às áreas produtoras. Estas vantagens comparativas fundamentam o comportamento de expansão que vem sendo demonstrado pelo setor, bem como as favoráveis perspectivas de um grande desenvolvimento.

O Espírito Santo, segundo o Anuário Mineral Brasileiro de 2010, ficou em primeiro lugar em todas as etapas de produção do setor rochas ornamentais, chegando ao patamar de 972.260 t de produção bruta, chegando a ocupar 48% da produção brasileira (DNPM, 2010).

No mercado externo, sobressaem perspectivas de ampliação da demanda em países como Estados Unidos, Canadá e Inglaterra, que embora de alta renda "*per capita*", ainda apresentam consumos específicos comparativamente reduzidos.

Já no mercado interno, a demanda de produtos acabados (26 milhões de m²/ano, ou o equivalente a cerca de 8% do consumo mundial), apresenta forte potencial de expansão, na medida em que seja retomado o crescimento da construção civil e em que seja desenvolvido um trabalho de conscientização do mercado consumidor, com relação às vantagens técnicas e econômicas das rochas ornamentais, em relação a outros materiais de revestimento (ABIROCHAS, 2012a).

O processo de revigoração do mercado de rochas ornamentais, que se verificou na Europa na década de 80 simultaneamente à discussão dos novos paradigmas da economia mundial (globalização, megamercados e novas trajetórias tecnológicas), teve um sensível transbordamento de estímulos para o Brasil, por via de ampliações de mercado para os granitos e outros materiais brasileiros e acesso às tecnologias avançadas de produção (CALAES, 2012).

O desenvolvimento do mercado de rochas ornamentais requer uma maior interação do setor produtivo com a construção civil. É fundamental que criadores de concepções arquitetônicas, das edificações residenciais e de serviços, sejam mais bem informados acerca das características das rochas ornamentais com cores,

texturas disponíveis, aplicações recomendáveis etc.

Participação nas Exportações

No ano de 2011, as exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento totalizaram US\$ 999,65 milhões (Figura 5), correspondentes a um volume físico comercializado de 2.188.929,59 t, ou, em números redondos, US\$ 1 bilhão e 2,2 milhões t. As rochas processadas compuseram 74,6% do faturamento e 45,3% do volume físico dessas exportações, tendo-se as rochas brutas respectivamente com 25,4% e 54,7% (ABIROCHAS, 2012a).

Figura 5. Demonstrativo da taxa de crescimento das exportações brasileiras.

VARIÇÃO ANUAL DO TOTAL DAS EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS E DAS EXPORTAÇÕES DE ROCHAS				
Ano	Exportações			
	Total Brasil US\$ milhões	Varição %	Setor de Rochas US\$ milhões	Varição %
2002	60.361,78	+3,67	338,80	+20,93
2003	73.084,14	+21,18	429,38	+26,97
2004	96.475,22	+32,00	600,96	+39,97
2005	118.308,27	+22,63	789,97	+31,45
2006	137.469,70	+16,20	1.045,13	+32,30
2007	160.649,07	+16,86	1.093,50	+4,62
2008	197.942,44	+23,20	954,54	-13,17
2009	152.994,74	-22,71	724,12	-24,15
2010	201.915,29	+31,98	959,19	+32,47
2011	256.039,58	+26,81	999,65	+4,22

Fonte: ABIROCHAS (2012a).

Frente ao ano de 2010, registrou-se variação positiva de 4,22% no faturamento, com recuo de 2,26% no volume físico das exportações (Figura 6). A variação positiva do faturamento foi devida ao incremento do preço médio dos principais produtos exportados, destacando-se: +29,3% para blocos de mármore; +10,5% para ardósias; +13,7% para quartzitos foliados; e +4,2% para chapas polidas de granito.

Pode-se assim dizer que foram mantidas, com preços mais elevados que os de 2010, as exportações brasileiras de rochas em 2011, o que já era esperado pelo quadro projetado da economia mundial (ABIROCHAS, 2010).

As exportações do Espírito Santo correspondem a 70,87% do valor obtido das

exportações, registrando US\$ 651,5 milhões, e 61,34% do volume (1.231.730 t). Com isso, a participação do Estado, de janeiro a novembro de 2011, obteve um aumento de 3,29% em relação ao mesmo período do ano de 2010, quando foram alcançados cerca de US\$ 630,8 milhões (INFOROCHAS, 2011).

Figura 6. Evolução da produção brasileira de rochas voltada para os mercados interno e externo – 2000-2011.

EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO BRASILEIRA DE ROCHAS VOLTADA PARA OS MERCADOS INTERNO E EXTERNO – 2000-2011			
Período	Produção (t) Mercado Externo	Produção (t) Mercado Interno	Produção Total (t)
2000	1.288.993,0	3.939.607,0	5.228.600,0
	24,6%	75,4%	100%
2001	1.319.261,8	3.824.104,6	5.153.366,4
	25,6%	74,4%	100%
2002	1.567.987,4	4.031.967,6	5.559.955,0
	28,0%	72,0%	100%
2003	1.947.539,6	4.138.521,7	6.086.061,3
	32,0%	68,0%	100%
2004	2.324.783,4	4.132.948,3	6.457.731,7
	36,0%	64,0%	100%
2005	2.719.996,6 (+17%)	4.174.277,8 (+1%)	6.894.274,4 (+6,8%)
	39,5%	60,5%	100%
2006	3.263.995,9 (+20%)	4.257.763,4 (+2%)	7.521.759,3 (+9,1%)
	43,4%	56,6%	100%
2007	3.373.422,2 (+3%)	4.598.384,5 (+8%)	7.971.806,7 (+6,0%)
	42,3%	57,7%	100%
2008	2.700.000 (-20%)	5.100.000 (+11%)	7.800.000 (-2,2%)
	34,6%	65,4%	100%
2009	2.240.000 (-17%)	5.360.000 (+5%)	7.600.000 (-2,6%)
	29,5%	70,5%	100%
2010	3.000.000 (+34%)	5.900.000 (+10%)	8.900.000 (+17,1%)
	33,7%	66,3%	100%
2011	2.900.000 (-3%)	6.100.000 (+3,2%)	9.000.000 (+1,1%)
	32,2%	67,8%	100%

Fonte: ABIROCHAS (2012a).

E com isso, o Espírito Santo, no setor de rochas ornamentais encerrou o ano de 2011 com R\$ 1,3 bilhão em exportações, um crescimento de 3,7% se comparado ao período anterior (FOLHA VITÓRIA, 2012). Mesmo com todos esses patamares, o setor de rochas ornamentais também possui oscilações diante do mercado e principalmente como consequência das tendências e economias mundiais.

1.6. ASPECTOS ECONÔMICOS E RECURSOS MINERAIS DO MUNICÍPIO DE BARRA DE SÃO FRANCISCO

O município de Barra de São Francisco, que servirá como base de apoio ao

estudo, localiza-se a uma latitude sul de 18° 45' 37,0" e uma longitude oeste de Greenwich de 40° 53' 18,0" e possui uma área de 942,55 km², o que equivale a 2,0% do território estadual. Limita-se ao norte com o município de Ecoporanga, ao sul com Mantenópolis e Águia Branca, a leste com Nova Venécia e Vila Pavão e a oeste com Água Doce do Norte e o Estado de Minas Gerais (IBGE, 2010).

O município dista de Vitória cerca de 260 km e conta com um contingente populacional de cerca de 39.000 habitantes. O transporte é satisfatório e o município é cortado pelas rodovias ES-080, ES-320, ES-426, BR/ES-381.

O município de Barra de São Francisco, atualmente, tem como suas principais atividades econômicas desenvolvidas a agricultura, a pecuária, a extração e o beneficiamento de rochas ornamentais.

Quanto à mineração, esta é desenvolvida por algumas empresas fazendo da região um centro de mineração latente. O mercado encontra-se aquecido, havendo, inclusive, incentivos fiscais.

Hoje em toda a região encontram-se em expansão as atividades voltadas para o setor de blocos de granito, além de ser crescente o número de empresas em implantação, haja visto, o pátio com capacidade instalada de equipamentos de beneficiamento ter aumentado com a criação do Polo Industrial de Barra de São Francisco. Na região, grande produtora nacional de rochas, os materiais mais importantes são agrupados em linhas comerciais denominadas "amarelo", "branco", "verde" e "exótico".

As principais concentrações de pedreiras de rochas ornamentais na região se localizam nos arredores de Paulista, Itaperuna, Poranga, Córrego Fortaleza e Perdida, no município de Barra de São Francisco - ES, em Mantena - MG, em Guararema, do município de Nova Venécia e em Todos os Santos, no município de Vila Pavão.

Quanto a geologia, a unidade mais importante em termos de produção histórica e atual de rochas ornamentais é a Suíte Carlos Chagas, em particular suas rochas deformadas. O intemperismo incipiente de rochas miloníticas desta unidade dá origem à grande maioria dos materiais agrupados na linha dos litotipos "amarelos".

Estas rochas incipientemente intemperizadas mantêm as propriedades físicas essenciais, mas ganham as tonalidades amarelas que as tornaram de grande procura e valor nos mercados nacional e internacional.

Além da cor, outro motivo do valor dos materiais da linha dos "amarelos" é a relativa facilidade de corte, uma vez que o intemperismo incipiente abrandando a dureza da rocha (CPRM, 2007a).

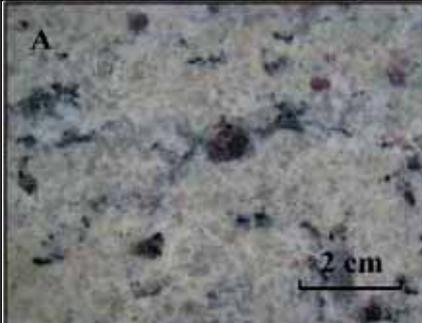
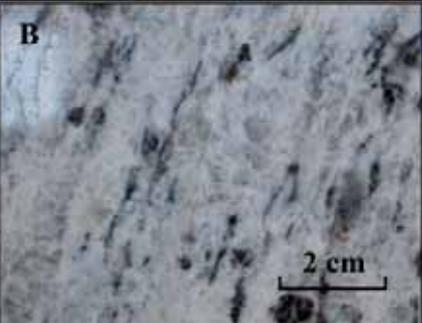
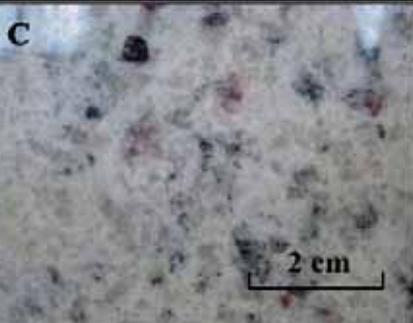
CAPÍTULO 2

2.1. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1.1. MATERIAIS ESTUDADOS

Os materiais escolhidos para análise foram os comercialmente conhecidos como Granito *Giallo* São Francisco Real, Branco Dallas e Branco Marfim (Quadro 01), pertencentes à Suíte Intrusiva Carlos Chagas, integrante do Orógeno Araçuaí de Pedrosa & Soares (2006). Os litotipos são, no geral, granada sienogranitos gnáissicos paraderivados de paragênese semelhante (quartzo, microclínio, plagioclásio, biotita, granada e sillimanita) com diferentes proporções minerais.

Quadro 1. Breve descrição macroscópica das amostras estudadas

		
<p>Denominação comercial: <i>Giallo</i> São Francisco Real Coloração: Branca-Amarelada Classificação: Granada gnaissie sienogranítico Composição mineralógica básica: Quartzo (26% aprox.), microclínio (43% aprox.), plagioclásio (28% aprox.), biotita (1% aprox.), granada (2% aprox.), e acessórios.</p>	<p>Denominação comercial: Branco Marfim Coloração: Branca Classificação: Granada gnaissie sienogranítico Composição mineralógica básica: Quartzo (24% aprox.), microclínio (43% aprox.), plagioclásio (26% aprox.), biotita (4% aprox.), granada (3% aprox.), e acessórios.</p>	<p>Denominação comercial: Branco Dallas Coloração: Branca Classificação: Granada gnaissie sienogranítico Composição mineralógica básica: Quartzo (30% aprox.), microclínio (45% aprox.), plagioclásio (21% aprox.), biotita (2% aprox.), granada (2% aprox.), e acessórios.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

A ocorrência destes tipos litológicos tem grande influencia na economia do município de Barra de São Francisco-ES, fato que junto a grande demanda comercial por estes materiais, justifica este estudo.

2.1.2. MÉTODOS UTILIZADOS

a) Revisão Bibliográfica

Consistiu no levantamento de informações referentes a área de estudo, incluindo dados sobre geologia (avaliação de mapas geológicos e relatórios pré-existentes), características físicas das rochas ornamentais, bem como a identificação das jazidas em exploração para rocha ornamental dos materiais selecionados.

b) Reconhecimento da área de estudo

Foi realizado o reconhecimento em campo e a identificação das principais feições geológicas-estruturais das ocorrências pré-selecionadas (materiais amarelos e brancos) extraídas para uso como rocha ornamental. No total foram estudados 03 afloramentos (em 3 saídas ao campo de 5 dias cada), sendo 1 afloramento para cada tipo litológico selecionado (em minas ativas distintas). Para a demarcação e localização destas áreas, em mapa, foram utilizadas fotografias aéreas (escala 1:15.000) fornecidas pelo IEMA (Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos).

Foi usado, como base cartográfica, o mapa planialtimétrico do IBGE (1ª edição) publicada em 1979, da Folha Mantena SE.24-Y-A-VI, em escala 1/100.000, além da carta geológica elaborada pela CPRM (2007b) da folha de Mantena SE.24-Y-A-VI (sob a mesma escala) e o mapa geológico da região de Ecoporanga – Mantena-Montanha-Nova Venécia, elaborado por Junior (2009) em sua dissertação. Para melhor visualização e identificação dos afloramentos em foco (minas ativas) foram utilizadas imagens do ortofotomosaico IEMA 2007/2008 em escala 1:15.000 PEC “A” (Padrão de Exatidão Cartográfica classe “A”), com resolução espacial de 1m, elaborado a partir de um Levantamento aerofotogramétrico em escala 1:35.000.

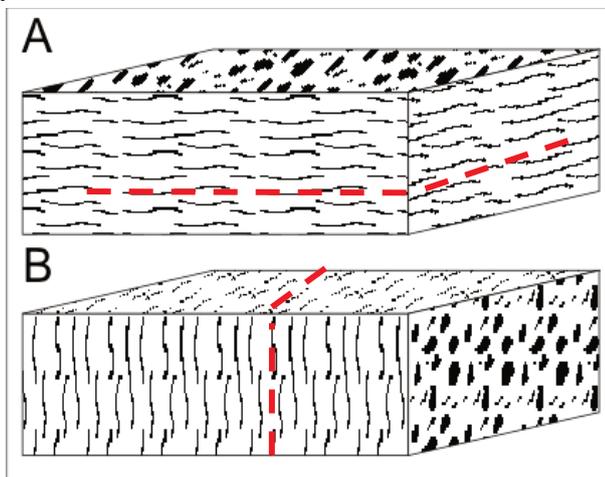
Softwares do grupo ArcGis e AutoCad foram utilizados para plotar a localização do ponto de coleta das amostras e modificar a escala dos mapas pré-existentes à um padrão de escala 1:25:000.

c) Seleção e coleta de amostra

Para facilitar a coleta de amostras, aproveitou-se dos rejeitos produzidos nas minas buscando sempre resguardar quantidade suficiente para a confecção de todos os corpos-de-prova, bem como a integridade física das amostras evitando, ao máximo, descontinuidades provocadas pela intervenção antrópica.

Outro parâmetro utilizado foi a orientação segundo a feição deformacional dominante (foliação principal) a fim de garantir que os corpos-de-prova fossem confeccionados em duas direções de corte, permitindo que os ensaios tecnológicos fossem realizados em duas diferentes orientações, ou seja, corpos-de-prova com faces normais e paralelas à foliação da rocha (Figura 7).

Figura 7. Esquema de corte para confecção dos corpos-de-prova destinados aos ensaios tecnológicos.



Legenda: (A) para esforços normais à foliação dominante da rocha e (B) para esforços paralelos à mesma. Tracejado em vermelho: plano da foliação. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

d) Confecção dos corpos de prova

Foi utilizada uma máquina com serra diamantada do Laboratório de Rochas Ornamentais da UNESP (Universidade Estadual Paulista), para o corte e confecção dos corpos de provas, conforme as medidas exigidas pelas respectivas normas da ABNT e ASTM para os ensaios de caracterização tecnológica (Quadro 2).

Quadro 2. Especificações e dimensões dos corpos-de-prova para cada conjunto de amostras.

REQUISITOS E ENSAIOS	NORMAS	DIMENSÕES DOS CORPOS-DE-PROVA
Requisitos para Granitos	ABNT NBR 15844:2010	Valores limítrofes para aplicação de rochas ornamentais e revestimento.
Análise petrográfica	ABNT NBR 15845:2010 (anexo A)	Fragmento de cerca de 5cm representativos das feições macroscópicas
Determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água	ABNT NBR 15845:2010 (anexo B)	No mínimo 10 corpos-de-prova, com dimensões entre 5cm e 7cm e com relação base altura 1:1
Compressão uniaxial	ABNT NBR 15845:2010 (anexo E)	Formato cúbico de no mínimo 10 corpos-de-prova, sendo cinco na direção paralela e cinco na direção perpendicular à estrutura. E com dimensões das arestas entre (70 ± 2) mm e (75 ± 2) mm.
Congelamento e degelo	ABNT NBR 15845:2010 (anexo D)	Formato cúbico de no mínimo 10 corpos-de-prova, sendo cinco na direção paralela e cinco na direção perpendicular à estrutura. E com dimensões das arestas entre (70 ± 2) mm e (75 ± 2) mm.
Módulo de ruptura (Flexão por carregamento em três pontos)	ABNT NBR 15845:2010 (anexo F)	No mínimo 10 corpos-de-prova, com formato retangular, sendo cinco na direção paralela e cinco na direção perpendicular à estrutura, com dimensões de (50 x 100 x 200) mm
Flexão por carregamento em quatro pontos	ABNT NBR 15845:2010 (anexo G)	No mínimo 10 corpos-de-prova, com formato retangular, sendo cinco na direção paralela e cinco na direção perpendicular à estrutura, com dimensões de (3 x 10 x 38) cm
Desgaste abrasivo AMSLER	ABNT NBR 12.042 (1992)	No mínimo 4 corpos-de-prova, sendo 2 na direção paralela e 2 na direção perpendicular à estrutura, com dimensões de 7 x 7 e 3 cm de altura.
Impacto de corpo duro	ABNT NBR 15845:2010 (anexo H)	No mínimo cinco corpos-de-prova com dimensões de $(20 \pm 0,5)$ cm x $(20 \pm 0,5)$, com espessura de $(2,5 \pm 0,2)$
Determinação da Resistência ao Ataque Químico*	ABNT NBR 13818:1997 (anexo H)	2 corpos-de-prova de placas de polidas (10cm x 10cm), para cada substância atacada mais 2 corpos-de-prova não atacado para futura comparação, ou seja, serão 12 corpos-de-prova.
Determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas	D 2845 (ASTM, 1990)	Realizado conjugado aos ensaios de resistência mecânica
Legenda: (*) Ensaio adaptado para rocha ornamental.		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Também foram utilizadas as dependências dos laboratórios da UNESP para a moagem das amostras destinadas à análise geoquímica e para a realização dos ensaios de caracterização tecnológica. Em seguida, as amostras foram demarcadas com nomenclaturas que representassem suas origens em campo, ganhando então a sigla referente ao município (BSF-Barra de São Francisco) e a numeração base em referência ao processo minerário em que aflora (010, 081 e 273), sendo denominadas de BSF010, BSF081 e BSF273, para as amostras comercialmente designadas *Giallo* São Francisco Real, Branco Dallas e Branco Marfim, respectivamente, além de demarcações feitas para identificação do sentido dos esforços a serem imprimidos facilitando a realização dos ensaios.

Quanto à análise petrográfica, as lâminas utilizadas foram confeccionadas no laboratório de laminação da UNESP, em um total de seis, obtidas em duas direções: 3 paralelas e 3 perpendiculares aos planos principais de foliação nas amostras sendo que para cada amostra foram destinadas duas lâminas (1 paralela e 1 normal ao seu plano de foliação principal), para melhor avaliar os comportamentos físico-mecânicos demonstrados nos ensaios realizados. Lembrando que, houve um cuidado em relação a confecção das lâminas petrográficas, pois se procurou prepara-las em feições das amostras onde não se abrangia os grandes cristais, uma vez que as amostras selecionadas apresentam granulometria grossa a muito grossa.

Os ensaios de caracterização tecnológica englobam os índices físicos (densidade aparente, porosidade e absorção de água), as resistências: ao desgaste abrasivo AMSLER; à compressão uniaxial; à compressão uniaxial condicionada ao congelamento/degelo; ao módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos); à flexão por quatro pontos; e ao impacto de corpo duro, além da determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.

Assim, o desempenho dos materiais rochosos quando em uso, pode ser avaliado através de análises e ensaios tecnológicos e são normatizados por entidades nacionais e internacionais como a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, a American Society for Testing and Materials - ASTM, o Deutsch Institut fur Normung - DIN e a Internation Society for Rocks Mecanic - ISRM, entre outros. Para o estudo em questão foram utilizadas as normas da: ABNT e ASTM, conforme são discriminados no quadro 2. Todos foram executados no laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia -Rio Claro (SP).

Já para os ensaios de caracterização química, que incluem a litogeoquímica (elementos maiores e traços) e o ataque químico (exposição a agentes químicos agressivos), uma porção de cada amostra foi desagregada (com o uso de uma marreta), britada e pulverizada, exceto os corpos-de-prova utilizados para o ensaio de ataque químico, também cortados com disco diamantado.

e) Caracterização tecnológica

De acordo com Frascá (2002), atualmente, as rochas ornamentais têm sido bastante utilizadas na construção civil, constituindo os revestimentos verticais (paredes e fachadas) e horizontais (pisos) de exteriores e de interiores de edificações. Respondem pela proteção das estruturas e dos substratos contra o intemperismo e agentes degradadores, domésticos e industriais, além de exercerem funções estéticas.

O padrão estético, fornecido pela cor, textura, estrutura e homogeneidade da rocha, é determinado pelo modo de formação, composição mineral, padrões de orientação ou deformação impressos pela história geológica etc. Constitui a principal condicionante para o comércio e uso da rocha; por sua vez, impostos pelos modismos e não pelas características tecnológicas das rochas (FRASCÁ, 2002).

De acordo com Lima (2002) *apud* Frazão & Paraguassu (1998), as rochas de revestimento servem de elemento durável e decorativo em revestimentos verticais de exteriores e interiores e de piso de edificações. Neste uso, as rochas exercem as seguintes funções:

- a) Manter os aspectos estéticos ao longo do tempo;
- b) Promover isolamento (ou conforto) térmico na edificação;
- c) Proteger as estruturas do intemperismo;
- d) Facilitar a limpeza e manter a higidez no ambiente.

Sendo assim, alguns dos estudos que deverão ser efetuados nas amostras das litologias identificadas, envolve a petrografia da rocha, densidade, absorção de água, compressão axial, resistência à flexão, resistência à abrasão e resistência ao impacto.

Além da alterabilidade, estes testes dirigirão a aplicabilidade das rochas

ornamentais nos seus diversos usos dentro da construção civil, da arquitetura e das artes. Como vimos, anteriormente, as rochas ornamentais e de revestimento, quando em uso, têm algumas funções e são submetidas às mais variadas solicitações. Desta forma, a caracterização tecnológica precisa (mineralógica, química e físico-mecânica) desses materiais torna-se de fundamental importância para a sua utilização de forma correta, segura e econômica.

Considerando estes fatos, a adequação de um material para uma aplicação particular não pode ser definida sem o conhecimento dos seus parâmetros tecnológicos e sem levar em conta as condições às quais o material será submetido (FRAZÃO, 1995).

Após os resultados dos ensaios é possível então atribuir os adequados locais para sua aplicação/uso, conforme podemos destacar os principais usos *versus* ensaios no quadro 3.

Quadro 3. Ensaio de caracterização recomendados para cada solicitação das rochas ornamentais e de revestimento.

Usos/Ensaio	Análise Petrográfica	Índices Físicos	Resistência				Módulo de deformab. estática	Dilatação Térmica Linear	Alterabilidade
			Desgaste	Impacto	Compressão Uniaxial	Flexão			
Extração	X	X	X			X		X	
Beneficiamento	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Revestimento externo	X	X	X			X		X	
Revestimento Interno	X	X	X			X		X	X
Pisos	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Colunas e Pilares	X	X			X	X	X	X	X
Pedestais	X	X			X	X	X	X	X
Tampos de mesas e Balcões	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pias	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Soleiras	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Esculturas	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cilindros p/ indústria de papel, alimentos, etc.	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mesas e Aparelho de desenho	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: IPT (1993).

Lima (2002) relata que, em termos gerais, pode-se dizer que as solicitações sofridas pelas rochas ornamentais quando usadas como revestimento são as seguintes: atrito ou desgaste, impacto, ação das intempéries, ataque por produtos

de limpeza, ação de líquidos agressivos em geral, variação de temperatura, etc.

Muito embora a maioria dos compradores de blocos de rochas ornamentais não tenha a exigência de ensaios tecnológicos como condicionante imprescindível para a compra, sabe-se que esses testes são fundamentais para aplicação final da rocha ornamental.

i) Análise Petrográfica

Realizada conforme norma ABNT NBR 15845:2010 – Anexo A, permite classificar as rochas com ênfase nas feições que podem comprometer suas resistências físico-mecânicas e químicas, afetando sua estética e durabilidade.

A análise petrográfica constitui o único método de investigação laboratorial que possibilita a visualização detalhada dos constituintes da rocha, permitindo avaliar as implicações de suas propriedades no comportamento posterior dos produtos aplicados (ABIROCHAS, 2011). Permite classificar as rochas com ênfase nas feições que podem comprometer suas resistências físico-mecânicas e químicas, afetando sua estética e durabilidade.

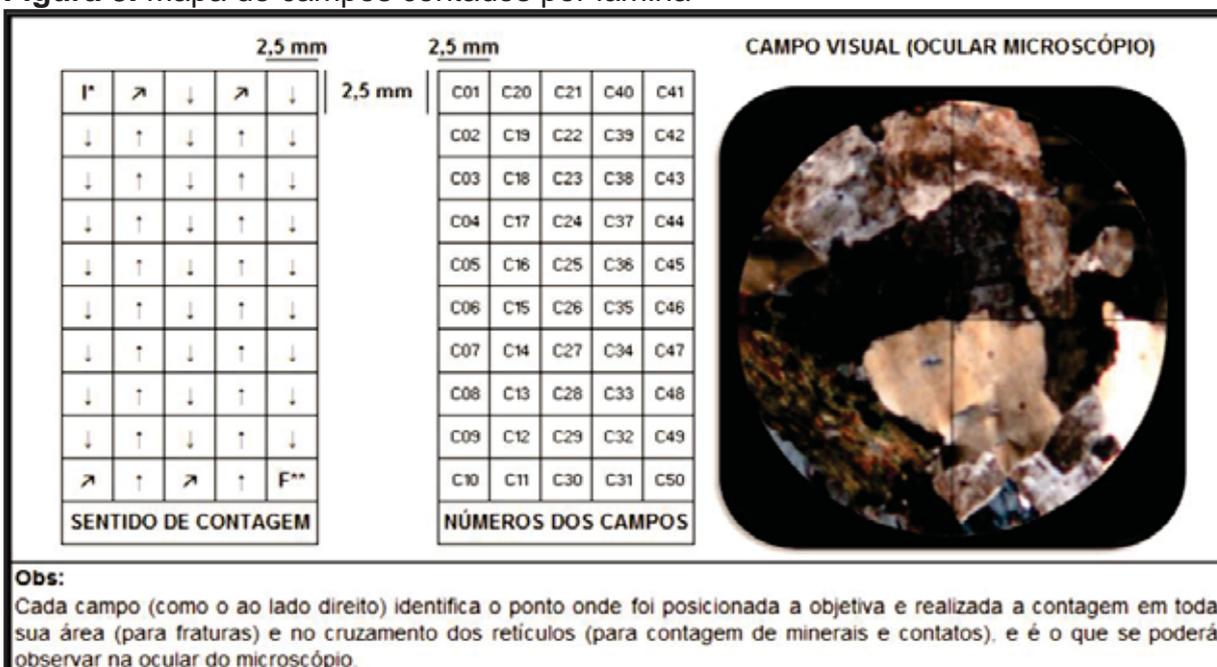
A análise é fundamentada na observação macroscópica das amostras e das lâminas petrográficas (seções delgadas), estudadas ao microscópio óptico de luz transmitida e permite observar detalhadamente características composicionais, texturais, estruturais e de alteração mineral. Todas estas características são fundamentais para: a classificação e definição da nomenclatura do tipo litológico, a elucidação de problemas que possam ocorrer durante os ensaios laboratoriais; interpretação dos resultados dos ensaios; entender as relações entre tipos minerais alteráveis, solúveis e friáveis e; auxiliar na definição da melhor aplicação para cada tipo de rocha.

No contexto dos ensaios laboratoriais, quanto mais diversificados os métodos usados na investigação mineralógica, melhores serão as interpretações dos resultados de caracterização tecnológica, o que facilita a solução de problemas que por ventura venham a surgir antes, durante ou após a aplicação da rocha (COSTA, 2008). Na realização do estudo petrográfico é possível classificar e redimensionar informações detalhadas para o melhor entendimento desses comportamentos.

Portanto, foi realizada uma contagem em cada lâmina em uma média de 50 campos, definidos pela área de visualização da ocular do microscópio de acordo com o aumento proporcionado pela objetiva de 4x (4 vezes) (Figura 8).

A representação das lâminas nas duas direções (paralela e perpendicular a foliação), como dito anteriormente, pelo qual as lâminas foram confeccionadas ajudou na observação do estiramento dos minerais e no esclarecimento de algumas características físicas das rochas estudadas quando submetidas aos esforços físico-mecânicos.

Figura 8. Mapa de campos contados por lâmina



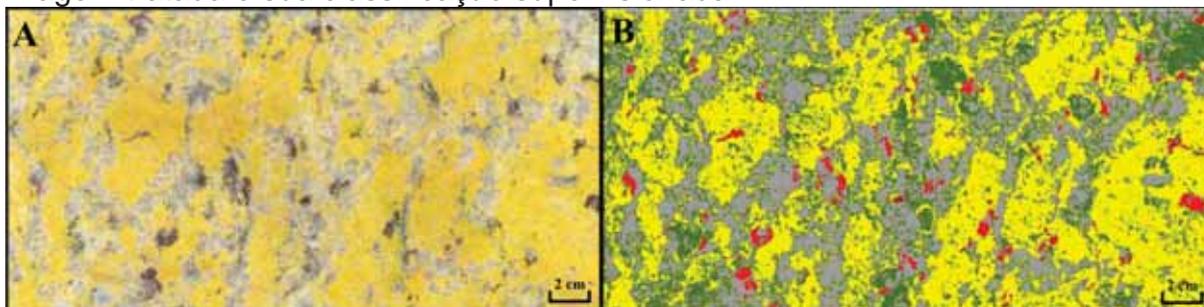
Legenda: I*) Início da contagem; F**) Fim da contagem. **Fonte:** Modificado de Bolonini (2011).

Além disso, foi realizado como método auxiliar o método de coloração seletiva por cobaltonitrito de sódio ($\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$) para a contagem modal macroscópica, que consiste em mergulhar uma face da rocha, previamente desgastada, em contato com o ácido fluorídrico (HF) e, em seguida, com solução de cobaltonitrito de sódio, que reage com os feldspatos dando a eles uma coloração específica (amarela para feldspatos potássicos), diferenciando-os de minerais como o quartzo, plagioclásio, a biotita e a granada (e.g.) e facilitando o reconhecimento e suas contagens.

Após realizado o ensaio de coloração seletiva, foi gerada uma imagem digital através de um aparelho de escaneamento. Cada figura gerada foi tratada no programa Arc Gis 9.3, através do método de classificação supervisionada de

imagem, onde o programa extrai amostras de pixels de cada cor distribuída na imagem e os agrupa em classes escolhidas pelo executor da técnica (Figura 9).

Figura 9. Representação da amostra submetida ao método de coloração seletiva, da imagem tratada e sua classificação supervisionada.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os resultados obtidos são imagens classificatórias para cada cor da imagem, traduzidas pela contagem de pixels de cada cor, no caso as escolhidas estão distribuídas no quadro 4.

Quadro 4. Classificação das cores por grupo de minerais.

MINERAL	COR
Granada	vermelho
Feldspato Potássico	amarelo
Quartzo	cinza
Feldspato Plagioclásio	verde
Outros	preto

Fonte: Elaborado pelo autor.

A classificação petrográfica das rochas estudadas seguiu as recomendações da IUGS (STRECKEISEN, 1976).

Nas lâminas foram analisados: tamanhos relativos dos cristais, relações de contato, grau de alteração mineral, microfissuras, composição modal com a geração de um resumo em forma de tabela para cada amostra estudada.

• Tamanho dos Cristais

O tamanho dos cristais tem uma relação direta com a resistência mecânica das rochas. Minerais com facilidade de clivagem (feldspato, por exemplo) tendem a se cisalharem mais facilmente do que minerais com fraca clivagem como o quartzo, por exemplo (TORQUATO, 2004).

Quando da análise microscópica a classificação utilizada para as dimensões

médias dos cristais, em milímetros, foram distribuídas entre as classes fina (< 1,0 mm), média-fina (entre 1,0 mm e 3,0 mm), média (entre 3,0 mm e 7,0 mm), média-grossa (entre 7,0 mm e 10,0 mm) e grossa (> 10,0 mm). E levando em consideração as observações macroscópicas e microscópicas a designação textural para rochas, quanto seu tamanho relativo de minerais, é feita sob três classes:

Equigranulares, quando os grãos minerais das rochas possuem o mesmo tamanho, ou quando as dimensões dos grãos variam dentro de uma estreita faixa;

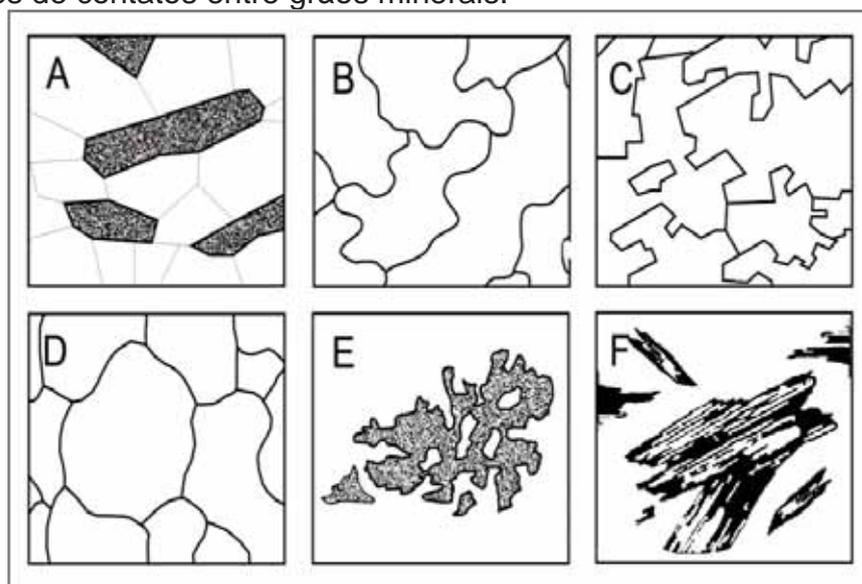
Inequigranulares, quando apresentam grãos minerais que diferem de tamanho numa relação de até 1:10, sem que os grãos maiores sobressaiam em relação aos menores;

Porfíricas, quando exibem megacristais de dimensões pelo menos cinco vezes superiores à média dos grãos da matriz, sobressaindo-se nitidamente em relação às dimensões destes.

• Relações de Contatos

A análise textural define a forma que apresentam as bordas dos minerais e é fator determinante para a descrição dos tipos de contatos existentes entre eles. Desta forma, foram adotadas as classificações dos principais tipos de contatos, vistos na figura 10.

Figura 10. Tipos de contatos entre grãos minerais.



Legenda: A) Retilíneos; B) lobulados; C) Engrenados; D) Sinuosos; E) Serrilhados e F) Esgarçados.

O tipo de borda do cristal determina o tipo de contato entre os grãos, sendo mais comumente descritos na literatura os contatos planos, plano-serrilhados, arredondados, plano-lobulares, denteados, côncavo-serrilhados, serrilhados, irregular-serrilhados e denteados. A forma ou tipo dos contatos entre os grãos é um importante fator a ser considerado, pois influem no grau de resistência da rocha a sollicitações físico-mecânicas.

• Grau de Alteração Mineral

A alteração sofrida pelos minerais constituintes das rochas influi na qualidade tecnológica das rochas ornamentais e de revestimento, pois a formação de neominerais mais facilmente removíveis pode aumentar o grau de porosidade da rocha, diminuir sua resistência físico-mecânica e potencializar os processos de alteração.

O grau de alteração observado em microscópio foi quantificado para cada mineral passível de alteração, tais como plagioclásios (saussuritização, sericitização, epidotização e transformação para carbonatos), feldspato potássico (sericitização, argilominerais) e minerais máficos (cloritização, epidotização e transformações para óxidos e hidróxidos). De acordo com a intensidade de alteração adotou-se a classificação vista na tabela 1.

Tabela 1. Classificação de intensidade do grau de alteração.

Grau de Alteração	Intenso	Moderado	Incipiente	Ausente
Porcentagem	> 60%	30 a 60 %	< 30 %	0%

Fonte: Elaborado pelo autor.

É interessante ressaltar que a classificação apresentada acima é de caráter ilustrativo, pois na maioria das vezes a alteração mineral se manifesta de forma pulverulenta sobre os grãos minerais, ou seja, normalmente não consome totalmente o grão mineral – embora possa ocorrer em alguns casos.

• Microfissuras

A caracterização e quantificação do microfissuramento são de grande

importância no estudo das rochas ornamentais, uma vez que, são fatores utilizados na compreensão do comportamento das rochas diretamente ligados quanto à porosidade, absorção d'água e resistência mecânica.

A presença de fissuras intercomunicadas acarreta um aumento do coeficiente de permeabilidade.

O que pode ser um fator preponderante no surgimento de patologias, como eflorescências e manchas, ou mesmo permitir a formação e/ou alojamento de sais, podendo avançar para um processo de deterioração da rocha.

Se tornando então, um fator previsional, voltado às situações e finalidades das obras civis.

Baseia-se, portanto, fundamentalmente no conhecimento das características dos minerais formadores das rochas e nas condições físico-químicas que levam à alteração dos minerais, ao enfraquecimento e a desagregação da rocha.

As microfissuras devem ser avaliadas em termos de preenchimentos (presença ou ausência), de tipologia: intragranular (ocorre dentro do mineral), intergranular (ocorre de um mineral para outro) ou transgranular (atravessa mais dois minerais), sendo a quantificação expressa pelo número de microfissuras por milímetro quadrado (mf/mm²).

Segue a classificação sugerida por Meyer (2003):

Alto >0,25 microfissuras por mm²

Moderado 0,1 a 0,25 microfissuras por mm²

Baixo <0,1 microfissuras por mm²

Foi realizado neste caso também, um comparativo das lâminas em suas diferentes seções delgadas em que foram confeccionadas (paralela e perpendicular a foliação).

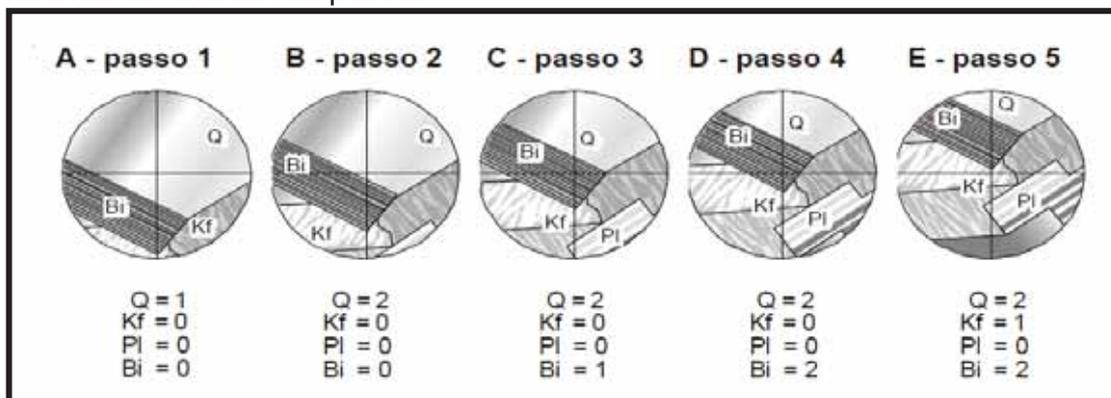
• **Quantificação Mineralógica**

Uma das técnicas para quantificação mineralógica pode ser feita através da análise pontual dos minerais localizados no centro exato da imagem do microscópio, que se situa no cruzamento dos retículos, conforme método da Figura 11.

Uma vez que as amostras selecionadas apresentam granulometria grossa a muito grossa a contagem modal macroscópica obtida pelo método exposto acima, foi correlacionada com a contagem modal microscópica através de uma média das

contagens, devido a baixa representatividade modal da análise microscópica, no que tange as dimensões dos cristais.

Figura 11. Procedimento de análise modal quantitativa de A para E, conforme movimento de *charriot* de passo.



Legenda: Q) Quartzo; Kf) Feldspato Potássico; Pl) Plagioclásio; Bi) Biotita.

A sistemática para a determinação da composição mineralógica das rochas estudadas visa o enquadramento e classificação das amostras segundo o diagrama QAP proposto pela IUGS (STRECKEISEN, 1976).

ii) Determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água

O ensaio é realizado seguindo as normas da ABNT 15845:2010 – Anexo B.

Este ensaio determina alguns parâmetros físicos de uma rocha, como a densidade, porosidade e absorção d'água aparentes. Elevada densidade indica alta resistência mecânica; ao contrário, a alta porosidade aponta baixa resistência e a elevada absorção d'água indica baixa durabilidade do material, além de favorecer o surgimento de manchas sob a aplicação de fluidos.

• Densidade aparente

A massa específica aparente consiste no volume do material sólido, desconsiderando todos os poros. A definição de massa específica de um material rochoso depende tanto de sua rede de poros permeáveis como impermeáveis.

Assim, a massa específica absoluta refere-se ao volume de material sólido,

excluídos todos os poros, e pode, portanto, ser definida como a relação da massa do sólido no vácuo e o volume desse mesmo sólido a uma temperatura estabelecida. Já a massa específica aparente é o volume total do sólido, incluídos os poros impermeáveis, mas não os capilares. Os grupos rochosos mais comuns possuem valores de massa específica aparente entre 2,6 e 3,0 g/cm³.

O efeito da água contida nos poros ou cavidades reflete em todas as propriedades físico-mecânicas, uma vez que a densidade da água é muito maior que a do ar. Isso faz aumentar a densidade aparente da rocha, mesmo sem qualquer alteração estrutural.

- **Porosidade aparente**

Além disso, a quantificação relativa dos poros de um material e seu volume total representa sua porosidade. Vários esquemas de classificação foram propostos para descrever o complexo sistema poroso de uma rocha e, com isso, definidos vários tipos de porosidade. A porosidade total é definida como sendo a relação entre o volume de todos os vazios contidos em um corpo-de-prova e o volume total da amostra. A porosidade aparente considera apenas os vazios que permitem a circulação de fluidos (ar e água) em seu interior. Quando se abordam as características do espaço poroso, deve ser levado em consideração não apenas o volume ocupado pelos vazios, mas também a dimensão, forma superfície e distribuição destes. Essas características permitem, entre outros aspectos, conhecer o transporte das fases líquidas e gasosas na rocha, a formação de minerais secundários no espaço poroso (especialmente sais) e até quantificar o grau de alteração da rocha.

Em resumo, a porosidade aparente mostra relação direta com a resistência físico-mecânica das rochas; a absorção d'água, com a possibilidade de infiltração de líquidos; e, a massa específica aparente, com os aspectos de resistência físico-mecânica, além de permitir calcular o peso individual das placas especificadas no projeto arquitetônico de uma edificação.

- **Absorção de Água**

As propriedades das rochas são muito influenciadas pela absorção de água.

Rochas com alta absorção de água apresentam aumento na massa específica aparente saturada e na condutividade térmica, dentre outras, enquanto a resistência mecânica diminui, por enfraquecimento das ligações intergranulares.

Os valores dos índices físicos são obtidos com as seguintes expressões:

- Densidade aparente: $A/C-B \times 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

- Porosidade aparente: $C-A/C-B \times 100 \text{ (\%)}$

- Absorção de água: $C-A/A \times 100 \text{ (\%)}$

iii) Determinação da Propagação de Ondas Ultrassônicas

Este ensaio tem como objetivo medir a velocidade de vibração das ondas de compressão e de cisalhamento na rocha, ou seja, a velocidade (V) de propagação de uma onda longitudinal, em um percurso (D), que é efetivamente infinito (x) na extensão lateral.

Desta forma, pode-se estimar as condições físicas em que se encontram os referidos corpos-de-prova, através de alterações observadas nas velocidades de vibração das ondas, segundo a norma americana ASTM D2845:1990.

De acordo com Torquato (2004), como as rochas possuem características que as fazem diferentes dos sólidos ideais, a propagação das ondas elásticas através delas é influenciada tanto pelas suas propriedades intrínsecas, onde se destacam, a textura, a estrutura (fraturas, fissuras, etc.), a mineralogia, a porosidade, a massa volumétrica (densidade) e a anisotropia, quanto pelas propriedades extrínsecas, como por exemplo o seu conteúdo em água.

Mesquita (2002) afirma que, por ser uma técnica não destrutiva, a determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas é muito utilizada em estudos de conservação de edifícios e monumentos históricos. Com a deterioração do material rochoso, diminui o grau de coesão entre os grãos minerais, aumentando a porosidade e, conseqüentemente, diminuindo a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.

Lima (2006) relata que as diferenças na velocidade de propagação de ondas elásticas são frequentemente observadas em rochas condicionadas pela orientação

das estruturas internas ou pela presença de descontinuidades. Mesquita (2002) ressalta que a anisotropia é um importante parâmetro para qualquer interpretação de velocidade de ondas, uma vez que esta velocidade pode aumentar até 30% em função da direção de propagação nas amostras.

As técnicas de ultrassons aplicam-se para o estudo da anisotropia, propriedades mecânicas e estrutura do meio, pois a medição dessa velocidade num material rochoso constitui uma forma de investigação complementar aos ensaios de resistência mecânica, tendo a vantagem de não ser destrutivo.

De forma geral, a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas está diretamente associada com a anisotropia, grau de sanidade e coesão dos minerais, constituindo assim, um importante índice para qualificação e avaliação do comportamento físico-mecânico das rochas.

Este ensaio foi utilizado como complemento aos ensaios de compressão uniaxial, congelamento e degelo e de módulo de ruptura em todas as condições (direção, saturação e congelamento) a que foram submetidas as amostras correspondentes a eles.

As medidas foram efetuadas no aparelho denominado PUNDIT (*Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Test*), equipado com dois transdutores de 54 KHz, com duas possibilidades de medidas (de 0,1 a 999,9 μ s e de 1 a 9999,9 μ s em unidades de 1 μ s), provido de alimentação através de corrente elétrica ou bateria interna.

O cálculo da velocidade é realizado através da fórmula:

$$V_p = d / t$$

Onde:

V_p = velocidade da onda ultrassônica longitudinal (**m/s**)

d = distância percorrida pela onda de ultrassom (**m**)

t = tempo do percurso da onda de ultrassom (**s**)

• Índice de Anisotropia (IA)

Com base nas medidas de V_p , foram também calculados os índices de anisotropia de todos os corpos-de-prova submetidos a este ensaio, que apesar de

estarem bem marcados pela foliação, optou-se por obter valores para a melhor discussão dos resultados dos ensaios de compressão uniaxial (natural e conjugado ao congelamento e degelo) e módulo de ruptura.

A anisotropia é um fator relevante na diversificação da resistência que a rocha oferece em diferentes planos de corte aos esforços a que é submetida. Essa diferença é marcante em rochas foliadas ou com planos estruturais bem definidos (acamamento, foliação etc.). No caso de rochas com distribuição mineral aleatória, a anisotropia, mesmo que tênue, deve ser sempre considerada em função do plano de serragem do material e/ou do uso a que se destina (MESQUITA, 2002).

Mesquita (2002) afirma que existe uma dependência direcional (anisotropia) da resistência a aplicações de esforços mecânicos, frequentemente observada em rochas, condicionada pela orientação das estruturas internas ou pela presença de descontinuidades, tais como orientação preferencial de minerais, microfaturas ou disposição de “vazios” na rocha.

Esse parâmetro, apesar de normalmente não ser considerado na caracterização de rochas ornamentais, é importante no sentido de orientar a melhor posição de serragem e detectar limitações práticas que terão, por exemplo, peças graníticas serradas em planos com menor resistência física e/ou mecânica.

Para tanto é necessário que sejam preparados corpos-de-prova em, no mínimo, duas orientações de corte para execução dos ensaios, uma segundo o plano de serragem dos blocos para obtenção das placas graníticas (plano de corrida) e outra ortogonal a esse. Este procedimento permite calcular o índice de anisotropia (IA) de cada granito em função do ensaio físico-mecânico realizado.

A anisotropia de V_p foi calculada pela expressão:

$$IA_{(V_{seco})} = [1 - (V_{seco}_{(min)} / V_{seco}_{(max)})] \times 100$$

Onde:

IA = índice de anisotropia (%);

Vseco(min) = velocidade mínima das ondas segundo uma direção (m/s);

Vseco(max) = velocidade máxima das ondas segundo uma direção perpendicular (m/s).

Neste caso foram utilizados corpos-de-prova também em condições saturadas.

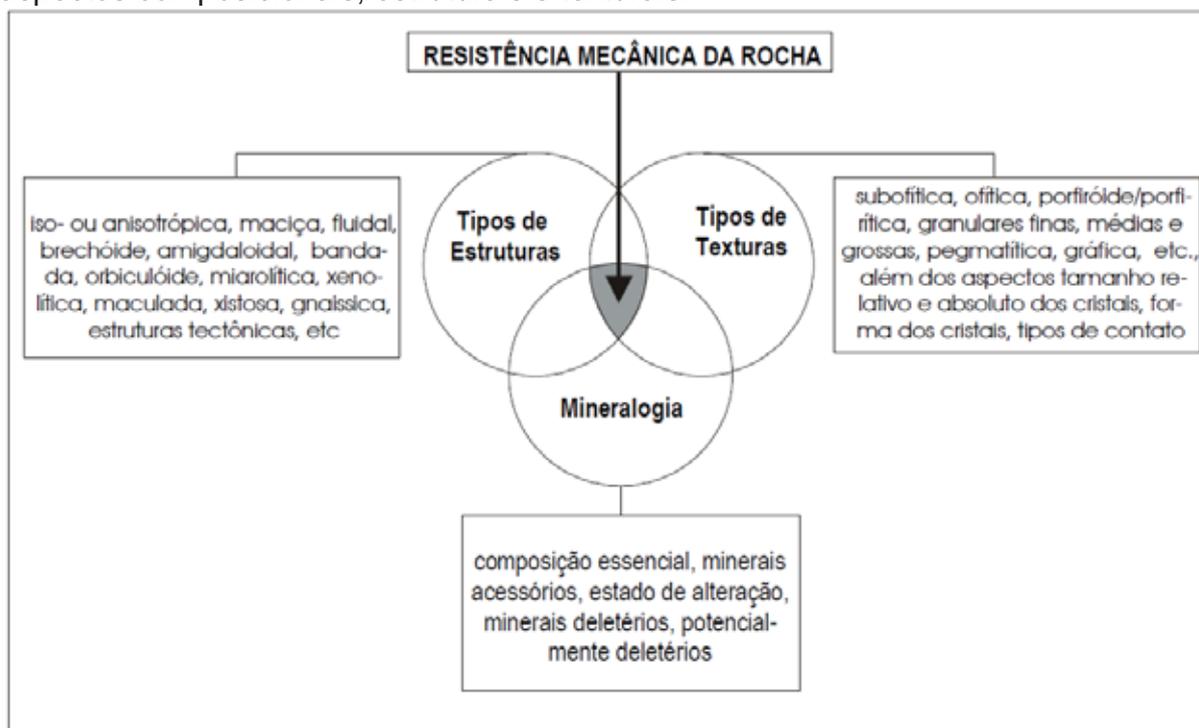
iv) Resistência à Compressão Uniaxial

Ensaio utilizado para determinação da resistência do material ao esforço mecânico compressivo, identificando o valor máximo de tensão que o material suporta antes da ruptura. É importante quando a rocha destina-se à utilização em colunas e pilares. É realizado seguindo as normas da ABNT NBR 15885:2010 – Anexo E.

A resistência mecânica das rochas está condicionada a uma série de fatores intrínsecos que influenciam diretamente, embora com pesos diferentes, os valores finais. Dentre estes se destacam a direção do esforço de compressão em relação à estrutura, o estado de alteração, a presença ou ausência de microfissuras na rocha, a anisotropia, as dimensões dos minerais e a porosidade da rocha (Figura 12) (TORQUATO, 2004 *apud* FIGUEIREDO, 1997).

Porém, deve-se destacar como inconveniente o posicionamento paralelo ou transversal dos planos de bandeamento/foliação das rochas anisótropas, em relação ao alinhamento do eixo de compressão a que ela será submetida na obra.

Figura 12. Esquema ilustrando a resistência mecânica de uma rocha em relação aos aspectos composicionais, estruturais e texturais.

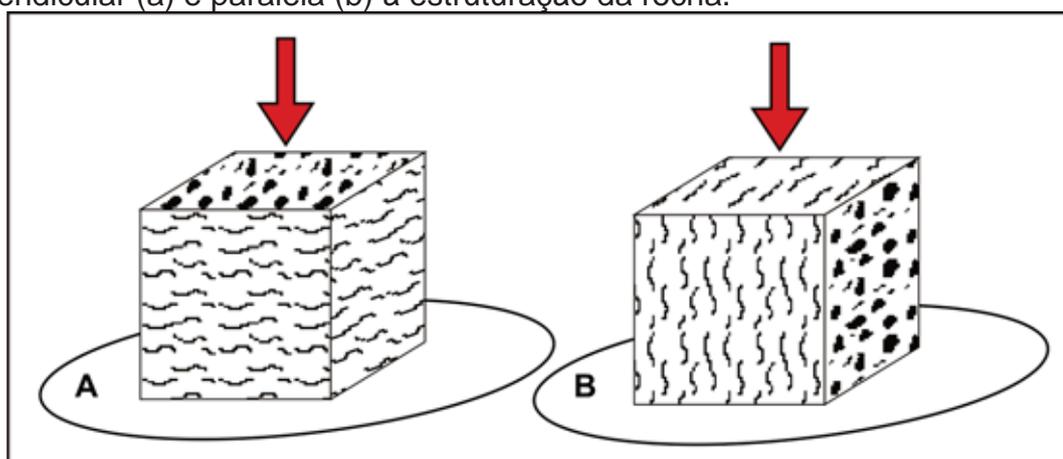


Fonte: Navarro (2002).

Conforme Torquato (2004), a anisotropia pode reproduzir-se à escala da rocha e, assim, influenciar o aumento ou a diminuição da sua resistência mecânica.

Considerando então o índice de anisotropia da rocha, neste caso as condições paralelas ou perpendiculares ao bandamento ou a foliação, o resultado da resistência vai ser condicionada à direção da sua estrutura (Figura 13).

Figura 13. Detalhe do corpo-de-prova com esforços aplicados em direção perpendicular (a) e paralela (b) à estruturação da rocha.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Via de regra, as rochas que apresentam feições anisotrópicas tendem, em tese, a possuir uma menor resistência mecânica, uma vez que a anisotropia configura-se em planos de fraqueza definindo uma descontinuidade física dentro do material.

Da mesma forma, granulações mais grosseiras e um grau de imbricamento não muito coeso podem influenciar substancialmente no comportamento mecânico dos litotipos. Assim, rochas que apresentam baixa anisotropia, granulações mais finas e bom entrelaçamento mineral, constituem materiais de maiores resistências à compressão uniaxial.

A tensão de ruptura é obtida através da fórmula:

$$\sigma_c = P/A$$

Onde:

σ_c = tensão de ruptura na compressão (MPa)

P = força máxima de ruptura (kN)

A = área da face do corpo-de-prova submetido ao carregamento (m²)

Em seguida, baseado nos resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial, nas condições seca e saturada, foi estabelecido o percentual de influência que a água promove na resistência da rocha quando submetida a esforços.

O coeficiente “R” (enfraquecimento hidráulico) constitui, portanto, mais um avanço no processo de classificação, e é definido por:

$$R = \sigma_{\text{sat}} / \sigma_{\text{sec}} \times 100 (\%)$$

Onde σ_{sat} e σ_{sec} representam, respectivamente, a resistência à compressão simples da rocha saturada e seca.

• Coeficiente de Enfraquecimento Hidráulico (R)

O coeficiente de enfraquecimento hidráulico R (KOWALSKI, 1970 *apud* FIGUEIREDO, 1997) relaciona a resistência de um material seco e saturado e permite avaliar o efeito da água na resistência física dos materiais.

De acordo com a expressão definida por Kowalski (1970), quanto maior o valor do coeficiente de enfraquecimento hidráulico (R) menor a influência da água na resistência da rocha quando submetida a esforços.

v) Resistência ao Congelamento e Degelo conjugado à compressão uniaxial

É um ensaio recomendado para as rochas ornamentais que se destinam à exportação para países de clima temperado, nos quais é importante o conhecimento prévio da susceptibilidade da rocha a este processo de alteração.

É realizado seguindo as normas da ABNT 15885:2010 – Anexo D.

Segue os mesmos procedimentos do ensaio de compressão uniaxial simples, acrescentando-se que a rocha passa a ser submetida a 25 ciclos de congelamento e degelo antes de ser aplicada a força de compressão.

A partir do resultado deste ensaio determina-se a resistência da rocha. Calcula-se então, comparando seus resultados com os da compressão uniaxial ao

natural, o enfraquecimento da rocha.

Por fim, calculou-se, então, o coeficiente de enfraquecimento (K), pela relação entre a resistência após os ciclos de congelamento e degelo e a resistência no estado natural.

$$K = \sigma_{cd} / \sigma_{nat}$$

Onde:

K = coeficiente de enfraquecimento da rocha

σ_{cd} = valor médio de resistência mecânica dos corpos-de-prova após o congelamento e degelo (MPa)

σ_{nat} = valor médio de resistência mecânica dos corpos-de-prova não submetidos ao ensaio de congelamento e degelo (MPa)

Os resultados de queda ou aumento na resistência à compressão após os ciclos de congelamento e degelo podem ser expressivos, haja vista que a água presente nos poros de uma rocha faz com que os mesmos se expandam durante o congelamento, o que gera uma tensão, e se distendam após o degelo, podendo provocar fadigamento e desagregação dos contatos intracristalinos (PAZETO, 2011 *apud* NAVARRO, 1998) e, conseqüentemente, o enfraquecimento gradual do material, após os ciclos.

Foi utilizado ainda para este ensaio, o cálculo de enfraquecimento hidráulico (R) com os resultados obtidos, tanto na condição seca, quanto na condição saturada após os 25 ciclos de congelamento e degelo, seguindo a fórmula:

$$R = \sigma_{sat25} / \sigma_{sec} \times 100 (\%)$$

Onde σ_{sat} e σ_{sec} representam, respectivamente, a resistência à compressão simples da rocha saturada e seca.

vi) Módulo de Ruptura (Flexão por carregamento em três Pontos)

É realizado seguindo as normas da ABNT NBR 15845:2010 – Anexo F.

Permite avaliar sua aptidão para uso em revestimento, ou elemento estrutural, e também fornece um parâmetro indicativo de sua resistência à tração.

É importante, principalmente, quando há a intenção de se utilizar os materiais pétreos em revestimento exteriores, especialmente sob a forma de placas que estarão sujeitas a forças flexoras por parte da própria edificação e/ou pela ação do vento.

Outro objetivo deste ensaio é orientar o cálculo da espessura das placas, em função da área das placas de rochas, que sofrem esforços fletores, durante o transporte ou após sua colocação em fachadas/revestimento.

Costa (2007) confirma que os resultados obtidos no ensaio são influenciados principalmente pela composição mineralógica, pela textura, pela estrutura, pela presença ou ausência de microfissuras, pela anisotropia, pelo estado de alteração e pela porosidade da rocha. Esses fatores podem, ou não, ocasionar problemas na fixação das placas.

Pazeto (2011) *apud* Mesones (2003) reitera ainda que utilizando-se outras variáveis (cargas de tráfego, formato da peça e resistência à flexão) numa equação de equilíbrio é possível adaptar a rocha para qualquer uso através do redimensionamento de sua espessura.

A tensão de ruptura é obtida segundo a fórmula:

$$\sigma_f = 3 \times P \times L / 2 \times b \times d^2$$

Onde:

σ_f = valor do módulo de ruptura (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 (m)

Também para este ensaio foi utilizado o cálculo de enfraquecimento hidráulico (R) com os resultados obtidos, tanto na condição seca, quanto na condição saturada.

vii) Resistência à Flexão por Quatro Pontos

Este ensaio visa determinar a resistência de um corpo rochoso quando submetido a ações conjuntas de compressão e tração. A importância prática do

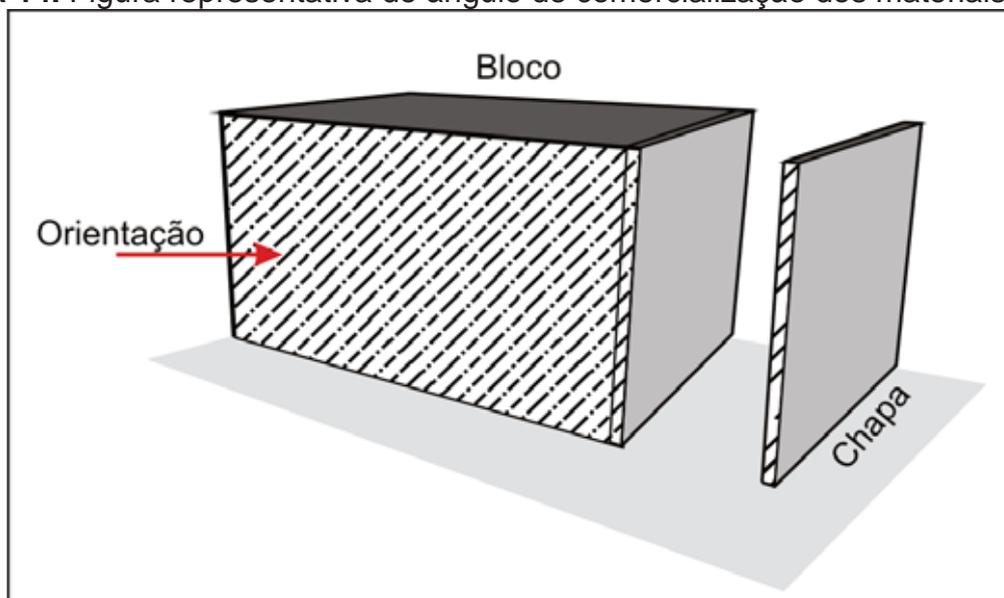
mesmo reside no fato de permitir o cálculo da espessura em função da área das placas que sofrerão esforços fletores após sua colocação em revestimento de fachadas. (MESQUITA, 2002).

É realizado segundo a norma da ABNT 15885:2010 – Anexo G.

Esse índice ainda é útil para a análise do material quando é aplicado pelo sistema americano de fixação de placas, onde as placas permanecem afastadas do suporte (estruturas ou paredes) ancoradas por dispositivos metálicos.

A norma determina que este ensaio seja realizado em placas de rochas da mesma forma em que são comercializadas, podendo assim conflitar com alguns resultados de outros ensaios quando comparados entre si, portanto as amostras serão trabalhadas no laboratório segundo o ângulo de comercialização do material, ou seja os corpos-de-prova Branco Dallas tiveram espessuras médias de 3 cm e as amostras Branco Dallas e Branco Marfim tiveram espessuras em média de 2 cm (Figura 14).

Figura 14. Figura representativa do ângulo de comercialização dos materiais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A tensão de ruptura é obtida segundo a fórmula:

$$\sigma_f = 3 \times P \times L / 4 \times b \times d^2$$

Onde:

σ_f = valor do módulo de ruptura (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 (m)

viii) Resistência ao Impacto de Corpo Duro

Este ensaio fornece informações acerca do grau de tenacidade de um material rochoso e conseqüentemente de sua capacidade de suportar ações mecânicas instantâneas. Essa propriedade relaciona-se tanto com o arranjo dos minerais como com a estrutura das rochas. É realizado seguindo a norma da ABNT 15845:2010 – Anexo H.

É um ensaio voltado diretamente para um produto da rocha, no caso ladrilhos, quando da sua utilização em revestimentos horizontais de interiores e exteriores, soleiras, degraus, mesas, balcões e pias.

Quanto menores os valores encontrados, menos resistente ao choque é o material, tornando-se, no caso, imprescindíveis os cuidados redobrados no transporte e na sua colocação.

A resistência da rocha ao impacto é obtida através da determinação da altura de queda de uma esfera de aço que provoca o fissuramento até a ruptura do corpo-de-prova.

O resultado é expresso pelo produto da média aritmética das alturas de queda que fraturam as placas e pela energia de ruptura, calculado segundo a expressão:

$$W = m \times g \times h$$

Onde:

W= energia de ruptura (J)

m= massa da esfera (kg)

g= aceleração da gravidade (9,806 m/s²)

h= altura de ruptura (m)

I) Resistência à Abrasão (Desgaste Amsler)

Este ensaio procura simular em laboratório a solicitação por atrito devido ao alto tráfego de pessoas em locais públicos. De acordo com Lima (2006), é a resistência apresentada por um dado material quando do contato por fricção com material abrasivo.

É extremamente utilizado para avaliar a resistência de rochas de uso ornamental, principalmente quando aplicados em ambientes de alto tráfego. É realizado de acordo com a norma NBR 12042 da ABNT (1992).

O resultado do ensaio é obtido pelo desgaste total a partir da fórmula:

$$\text{Desgaste abrasivo} = H_i (\text{espessura inicial}) - H_f (\text{espessura final}) (\text{em mm})$$

A resistência que a rocha oferece ao desgaste tem relação direta com a composição mineralógica, o grau de dureza dos constituintes minerais e sua compactidade, além da granulação e arranjo mineral (textura).

Tais aspectos reafirmam o alcance dos estudos petrográficos por microscopia óptica, que permitem tanto a definição dos constituintes mineralógicos, quanto a caracterização da textura da rocha, como elementos auxiliares para a previsão de desgaste dos materiais aplicados.

ix) Resistência ao Ataque Químico

Para o ensaio de resistência ao ataque químico das rochas são necessárias simulações dos ambientes agressivos em escala de tempo humano, já que as alterações, fenômenos naturais de degradação das rochas processam-se em escala geológica.

O ensaio é baseado na norma ABNT NBR 13818, anexo H (ABNT, 1997) cuja especificação do ataque químico é voltada para placas cerâmicas, sendo então modificada e adaptada para as rochas ornamentais e de revestimento.

Os reagentes utilizados, suas respectivas aplicações, tempo de contato e concentrações estão relacionados no quadro 5.

Quadro 5. Reagentes utilizados no ensaio de ataque químico e correspondentes concentrações, tempo de exposição e produtos do cotidiano que contém estas substâncias (ABNT, 1997, adaptada).

REAGENTES	CONCENTRAÇÃO	TEMPO DE CONTATO	PRODUTOS QUE CONTÉM OS REAGENTES AGRESSIVOS
Cloreto de Amônia (NH ₄ Cl)	100g/l	24h	Produtos químicos de uso domésticos como detergentes e sabões
Hipoclorito de Sódio (NaClO)	20mg/l	24h	Produtos de tratamento de água de piscina, água sanitária e produtos anti-mofo
Ácido Cítrico (C ₂ H ₈ O ₇)	100g/l	24h	Sucos de frutas cítricas, vinagre e refrigerantes
Ácido Clorídrico (HCl)	3%v/v	96h	Ácido muriático
Hidróxido de Potássio (KOH)	100g/L	96h	Sabões em geral

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para este ensaios foram utilizados 10 placas de rochas polidas de 10 x 10 x 2 cm, 2 placas para cada reagente, sendo 2 mantidas como padrão. Antes do ensaio é efetuada a limpeza da superfície dos corpos de prova com um pano umedecido em álcool, e estes são então submetidos a medidas de brilho (três medidas na região a ser atacada) no aparelho denominado *Gloss Meter* (HORIBA, Modelo IG-3010), o qual apresenta sistema fixo de incidência da luz refletida de 60° em relação à superfície polida da placa. Após o tempo de contato específico de cada reagente (área de ataque de ~ 65 cm²), os corpos de prova são lavados em água corrente, secos ao natural e submetidos a uma avaliação visual acompanhada de uma nova medida do lustro (três medidas na região atacada) e efetuada a avaliação da resposta do material aos agentes.

Meyer (2003) cita alguns exemplos, quando em contato com substâncias de uso comum no nosso cotidiano, tais como: produtos de limpeza doméstica (detergentes, água sanitária, desinfetantes), bebidas alcoólicas, refrigerantes, sucos de fruta, vinagre, etc. O grau de resistência química de uma rocha quando submetida ao contato com substâncias agressivas é determinado pelas variações composicionais (porções mais enriquecidas em quartzo, em feldspatos, ou em diferentes minerais máficos); variações texturais (trama, granulação, tipos de contatos); grau de alteração, grau de microfissuramento absorção, porosidade, entre outros.

De acordo com Hueston (1999), os problemas mais comuns nas rochas

ornamentais, quanto a sua aplicação são: queimado (mancha opaca, causada por algum derramamento líquido ácido); manchas; eflorescência (resíduos brancos de pó na superfície da pedra); escamamento; amarelamento; rebordes (diferença de altura na instalação de duas placas assentadas); rachaduras; marcas esbranquiçadas; manchas de umidade; perda de brilho e alteração mineral, sendo os dois últimos mais comuns.

• **Perda de Brilho**

De acordo com Mesquita (2002) o brilho ou lustro é uma das características que imprimem qualidade à pedra ornamental e sua diminuição ou ausência total em função do uso do material constitui uma patologia secundária. A redução de brilho durante a vida útil de um material pétreo pode ser provocada por desgastes de ordem física ou química.

Dentre as causas físicas mais comuns está o desgaste mecânico provocado em pisos polidos por tráfego intenso de pessoas, objetos ou máquinas. Entre as causas químicas, destaca-se a alteração natural que podem sofrer alguns minerais em função de climas diferentes daqueles em que jaziam ou a aceleração da alteração mineral e/ou deterioração da rocha pelo uso indevido de produtos de limpeza contendo substâncias químicas agressivas. A redução de brilho provocada pelo ataque de substâncias químicas varia em função de diversos parâmetros tais como a composição da rocha, presença de microfissuras, natureza do preenchimento dessas microfissuras, grau de absorção de líquidos e porosidade aparente, além do tempo de exposição da rocha ao ataque.

• **Alterabilidade**

O resultado da interação rocha/ambiente poderá traduzir-se em alterações das características físico-químicas do material rochoso que se manifestam sob a forma de defeitos dos mais diversos tipos (manchamentos, desintegração de minerais, ruptura, diminuição da resistência mecânica), genericamente denominados de patologias (MESQUITA, 2002). Em revestimentos de rochas ornamentais, os processos de alteração dos materiais aplicados são decorrentes da ação de agentes físicos, químicos e biológicos, conforme mostra o quadro 6.

Quadro 6. Tipos de alteração em revestimentos.

AGENTE	FENÔMENO	AÇÃO	CONSEQUÊNCIA
Físicos	Cristalização de sais	Tensão de vazios	Fissuração
	Variação de temperatura	Dilatação/contração	Fissuração + Deslocamento
	Absorção d'água	Formação de Manchas	Modificação Estética
	Saturação/secagem	Lixiviação	Desagregação/Corrosão
Químicos Reação a:	Ácidos	Dissol. CO ₃ / Recrist.	Corrosão
	Álcalis	Dissol. SiO ₄ / Recrist.	Fissuração
	Produtos domésticos	Dissol. / Absorção	Manchas
Biológicos	Fixação de vegetais inferiores	Tensão de vazios	Fissuração
	Metabolismo	Dissol. CO ₃ e SiO ₄	Corrosão e Manchas

Fonte: Modificado de Chiodi Filho (1995).

A avaliação da adequação de uma rocha para uso como rocha ornamental de revestimento, quanto ao grau de alteração, se desenrola desde a escala mega ou macroscópica até a microscópica (quadro 7).

Quadro 7. Roteiro para avaliação preliminar do estado de alteração e do grau de coerência de rochas

PARÂMETRO	ROCHA	CARACTERÍSTICAS
Estado de alteração	Sã	Microscopicamente, não há indícios de alterações físicas ou químicas; minerais apresentam brilho.
	Pouco alterada	Alteração incipiente dos minerais; em geral, a rocha exibe pouca descoloração.
	Medianamente alterada	Minerais medianamente alterados; geralmente, não apresentam brilho.
	Muito alterada	Minerais muito alterados, por vezes pulverulentos e friáveis; totalmente sem brilho.
Grau de coerência	Coerente	Quebra com dificuldade ao golpe do martelo e produz poucos fragmentos e de bordas cortantes; superfície dificilmente riscável por lâmina de aço.
	Medianamente coerente	Quebra com relativa facilidade ao golpe do martelo e produz fragmentos com bordas quebradiças por pressão dos dedos; superfície riscável por lâmina de aço.
	Pouco coerente	Quebra com muita facilidade ao golpe de martelo (esfarela) e produz fragmentos que podem ser partidos manualmente; superfície riscável por lâmina de aço, que deixa sulcos profundos.
	Incoerente	Quebra facilmente com a pressão dos dedos e se desagrega; pode ser cortada por lâmina de aço.

Fonte: Frazão (2002) apud Frazão & Augusto Junior (1994)

Nesta, a avaliação do grau de alteração se faz pela identificação dos teores de minerais primários alterados, teores e tipos de minerais secundários, além do grau de microfissuração (inter ou intracristalina) presente.

Na escala mega e macroscópica se utilizam meios desde sensoriais, como táteis e visuais, até os mecânicos manuais, que podem permitir classificar as rochas desde sãs até muito alteradas, assim como desde coerentes até incoerentes, conforme mostra o quadro 7.

f) Análise Geoquímica

A utilização dos dados de geoquímica de rocha, principalmente quanto à variabilidade de elementos maiores em relação às variedades faciológicas, permite a adequada identificação e tipificação das variedades estudadas, com o propósito de evitar designações genéricas e/ou incorretas, e que além de qualificar precisamente a rocha, define parâmetros, voltados às suas melhores aplicações como materiais de revestimento, bem como para seu comportamento tecnológico, fornecendo ainda, informações acerca de transformações ou da susceptibilidade a alteração dos minerais presentes nos materiais.

Em suma, a geoquímica de rocha permite classificar quimicamente um litotipo amostrado com base em sua composição, fornecendo noções a cerca de sua gênese.

A análise litoquímica foi realizada no Laboratório de Geoquímica - LABOGEO do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista - Rio Claro e as amostras destinadas a tais análises foram selecionadas a partir dos estudos de campo e petrográficos. Tal análise foi realizada por fluorescência de raios-X para os óxidos de elementos maiores SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 (concentração em % com o uso de pastilhas fundidas) e os elementos traço Cr, Ni, Rb, Sr, Zr, Y, Nb e Ba (com concentração em ppm e analisados em pastilhas prensadas sob 30 t/cm²).

CAPÍTULO 3

3.1. GEOLOGIA REGIONAL

3.1.1. CONTEXTO GEOTECTÔNICO E GEOLOGIA REGIONAL

A compilação de dados bibliográficos sobre a Geologia da região foi embasada nas informações divulgadas através do Programa Geologia do Brasil - nota explicativa da folha Mantena - SE.24-Y-A-VI, da dissertação de mestrado de Júnior (2009) e de outros autores relacionados a geologia regional da área.

De acordo com CPRM (2007a), a região setentrional do Estado do Espírito Santo localiza-se na zona de retroarco do orógeno Araçuaí (Figura 15).

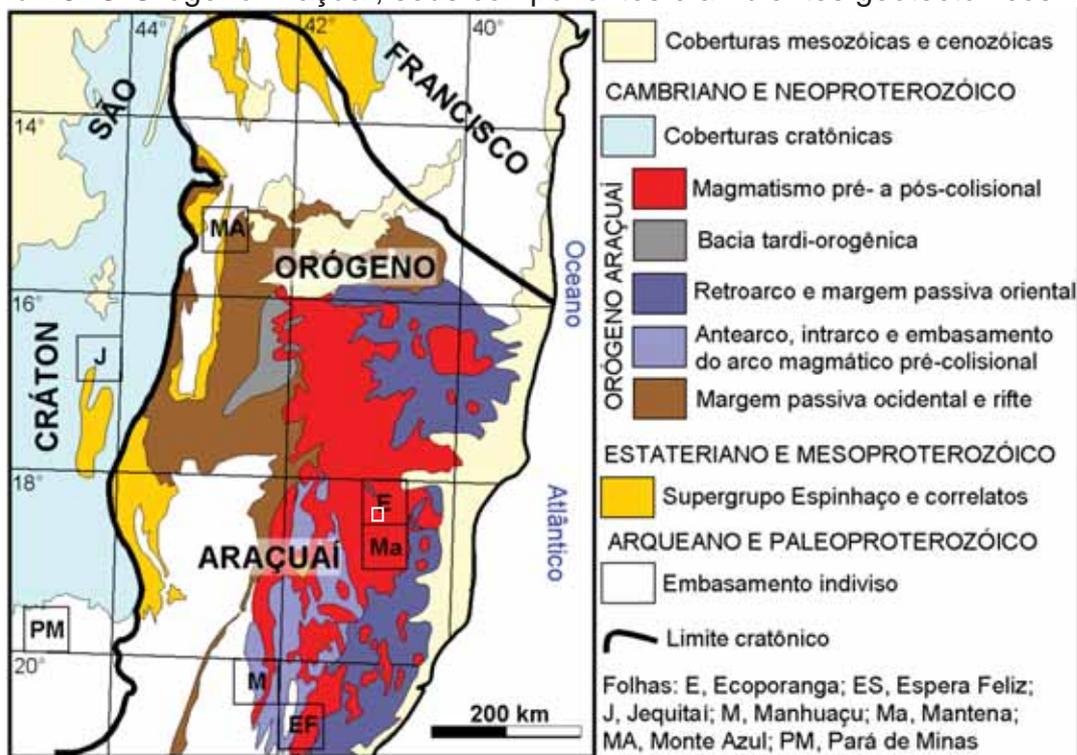
O Orógeno Araçuaí é a região orogênica neoproterozóico-cambriana que se estende do Cráton do São Francisco ao litoral atlântico, aproximadamente entre os paralelos 15° e 21° S (Figura 16a). Na altura do paralelo 21°, a passagem do Orógeno Araçuaí para o Orógeno Ribeira é marcada pela deflexão da estruturação brasileira que muda da direção NNE, a norte, para NE, a sul. A Faixa do Congo Ocidental (ou Oeste Congo) é a contraparte do Orógeno Araçuaí que foi herdada pela África após a abertura do Atlântico Sul (CPRM, 2007a).

O Orógeno Araçuaí guarda marcantes evidências dos estágios précolisional (630-585 Ma), sincolisional (585-560 Ma), tardicolisional (560-535 Ma) e pós-colisional (530-490 Ma).

No estágio précolisional (630-585 Ma), acrescionário, foi edificado um arco magmático cálcio-alcalino em ambiente de margem continental ativa. Este arco é representado pela Suíte G1 (Figura 16b), constituída por batólitos tonalíticos a granodioríticos, ricos em autólitos dioríticos e máficos, deformados, que registram a

foliação regional em fácies anfibolito a granulito. Denominações locais desta suíte são Galiléia, São Vítor, Mascarenhas e várias outras (CPRM, 2007a).

Figura 15. O Orógeno Araçuai, seus componentes e ambientes geotectônicos.



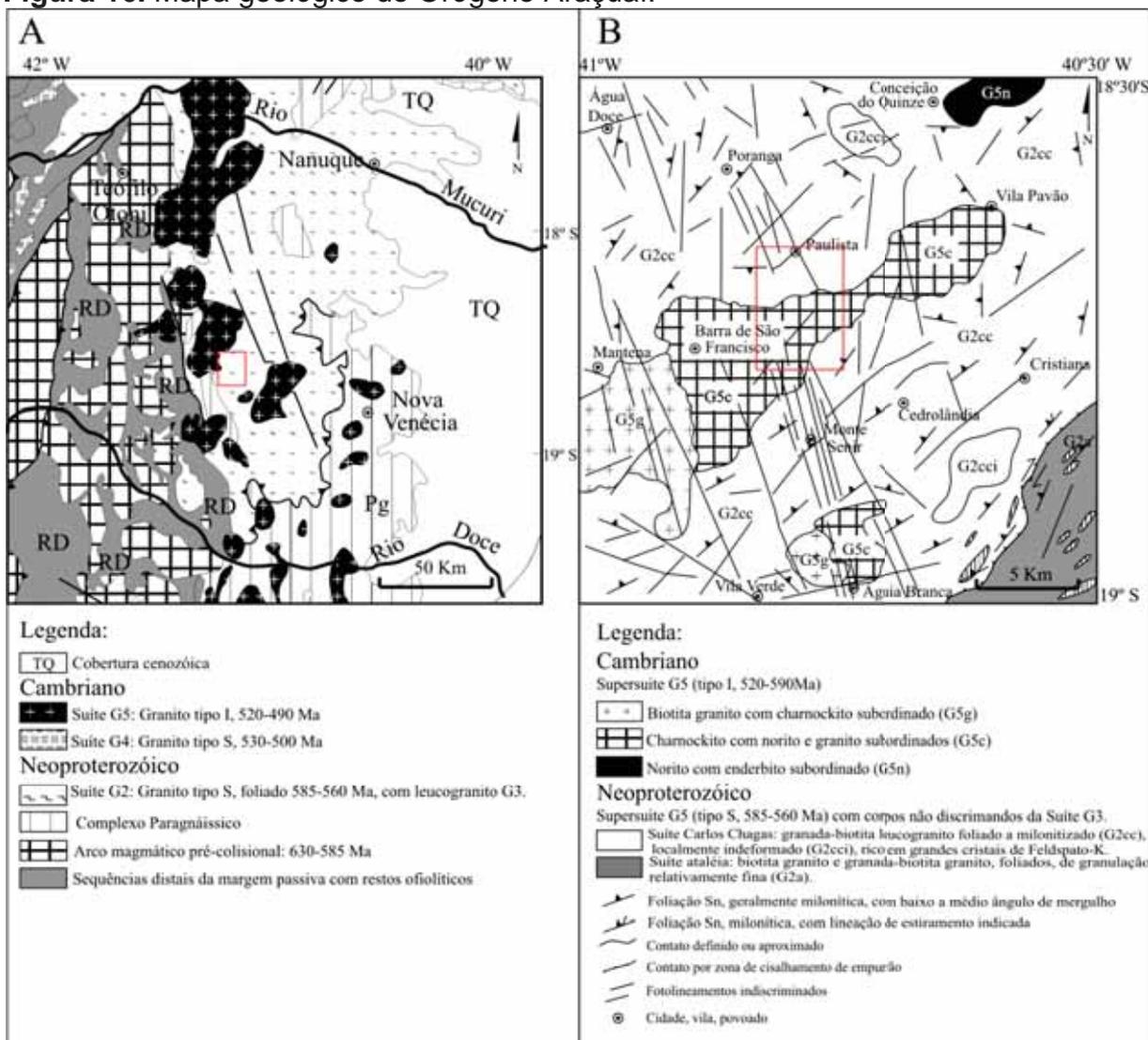
Legenda: Área de estudo destacada em linha branca. **Fonte:** CPRM, *apud* modificado de Pedrosa-Soares *et al.* 2005 e Alkmim *et al.* 2006 (2007a).

Entre os estágios précolisional e sincolisional ocorreu sedimentação, em bacia de retroarco, dos protólitos do complexo paragnáissico (Figura 16b) da região setentrional do Espírito Santo, que contém zircões detríticos com idades entre 630 e 600 Ma. A rocha largamente predominante neste complexo é um gnaiss peraluminoso (rico em granada, cordierita e/ou sillimanita) que atingiu metamorfismo da fácies granulito (CPRM, 2007a).

O Orógeno Araçuai, de presença marcante na área de estudo, foi então dividido em Supersuíte G5 (Cambriano) e Supersuíte G2 (Neoproterozóico) por Pedrosa & Soares (2006), como mostra a figura 28b. Eles, mais tarde, classificam esta área como Suíte G5 (Cambriano) e Suíte G2 (Neoproterozóico), como mostra a figura 16b. Já Junior (2009) coloca o Orógeno Araçuai subdividido, na região, entre a Cambriana Suíte Intrusiva Aimorés (Charnockito) e a Neoproterozóica Suíte Carlos Chagas (deformada).

Tais subdivisões classificam de forma particular o mesmo conjunto de rochas. Contudo, Junior (2009) inclui detalhes relevantes, cujo mapa foi utilizado para representação da localização das minas nas referidas suítes intrusivas.

Figura 16. Mapa geológico do Orógeno Araucaí.



Legenda: Área de estudo destacada em linha vermelha. **A) Fonte:** Pedrosa-Soares *et al.* (2005) **B) Fonte:** Pedrosa-Soares *et al.* (2006).

3.1.2. ESTRATIGRAFIA DA ÁREA DE ESTUDO

a) Suíte Carlos Chagas

A Suíte Carlos Chagas destaca-se como a unidade mais extensa da área de estudo, caracterizando um grande batólito com mais de 5.000 km², que aflora na forma de pães-de-açúcar e matacões. Esta unidade é também a mais importante do

ponto de vista econômico, pois aloja mais de uma centena de pedreiras que extraem rochas ornamentais, em particular o material amarelo (Junior, 2009).

De acordo com CPRM (2007a), uma designação anterior desta unidade foi a de Leucogranito Carlos Chagas CPRM (2007a) *apud* Silva 2000, Pinto *et al.* 2001. Trata-se de uma unidade de rochas graníticas leucocráticas do tipo S, com granada e biotita onipresentes, geralmente foliadas, com frequentes termos protomiloníticos a miloníticos. Por aproximação, estas rochas ajustam-se à definição de *leucogranito* (granito com baixo conteúdo de minerais máficos, geralmente menor que 5%), embora sejam livres de moscovita.

De acordo com Junior (2009) o batólito Carlos Chagas encaixa várias intrusões tardias da Suíte Aimorés (G5) que cortam a estruturação regional e, localmente, impõem metamorfismo de contato na unidade encaixante. A Suíte Carlos Chagas apresenta marcante homogeneidade composicional. As rochas desta suíte são leucocráticas, de granulação grossa, ricas em porfiroclastos de feldspato potássico e granada. Por aproximação, o granito Carlos Chagas, embora seja livre de muscovita, ajusta-se à definição de leucogranito (granito com baixo conteúdo de minerais máficos, geralmente menor que 5%; (IUGS, 1973).

De acordo com Junior (2009), a Suíte Carlos Chagas apresenta-se extensivamente deformada, mas ocorrem áreas onde as feições ígneas estão bem preservadas e o leucogranito é livre da foliação regional. Por isto, a Suíte Carlos Chagas foi subdividida em uma unidade deformada e outra indeformada.

As rochas predominantes nestas subunidades apresentam coloração branco-acinzentada, quando não intemperizadas. O intemperismo confere as tonalidades amarelas, desde levemente amarelada ("amarelo palha") a amarelo intenso ("dourado", no jargão comercial), que incrementam o valor destas rochas como material ornamental. O solo e os saprólitos apresentam geralmente coloração rosa-amarelada a vermelho-rosado, mas ocorrem manchas restritas de solo vermelho escuro que se confunde com o solo de charnockito e norito.

A subunidade (Suíte Chagas indeformada) representa as porções preservadas da deformação, livres da foliação regional, onde são inequívocas as texturas e estruturas ígneas. A subunidade é constituída por biotita-granada leucogranito porfirítico de granulação muito grossa a grossa. Esta rocha é rica em fenocristais euédricos, centimétricos a decimétricos de feldspato potássico peritítico. Ocorre orientação de fenocristais de feldspato potássico por fluxo ígneo, com

feições de entelhamento de cristais retangulares e desvios de trajetória em torno de fenocristais maiores, assim como estrutura completamente isotrópica. A granada também forma fenocristais euédricos que atingem alguns centímetros de diâmetro.

A matriz do leucogranito tem granulação média a grossa e é constituída essencialmente por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio cálcio-sódico, granada e biotita. Os minerais acessórios são opacos (sulfeto e outros), zircão, apatita e monazita.

A subunidade NP3γ2cc (Suíte Chagas deformada) ocupa a maior parte da área estudada, onde é intrudida por corpos graníticos, charnockíticos e noríticos da Suíte Aimorés. Esta subunidade é constituída por sillimanita-granada-biotita protomilonito gnaiss e sillimanita-granada-biotita milonito gnaiss, predominantes, com granada ultramilonito muito subordinado, resultantes da deformação do leucogranito Carlos Chagas.

A homogeneidade composicional da Suíte Carlos Chagas não é refletida nas suas estruturas tectônicas, de tal forma que os litotipos predominantes são deformados em intensidades diversas e predominam largamente na região.

O leucogranito deformado da Suíte Carlos Chagas tem composição mineralógica similar ao indeformado, mas varia desde termos que mostram a foliação regional incipientemente desenvolvida a termos com marcante textura milonítica.

A foliação regional se materializa pela orientação da biotita e sillimanita fibrosa, e estiramento do quartzo e feldspato da matriz, e dos fenocristais de feldspato potássico que passam a porfiroclastos ocelares.

Em termos mineralógicos e petrográficos, a Suíte Carlos Chagas mostra todas as características de granito tipo-S, tais como a presença de granada, biotita, sillimanita, apatita livre, monazita e ilmenita, o alto conteúdo de feldspato potássico e os xenólitos de rochas metassedimentares aluminosa.

b) Suíte Aimorés

A denominação Suíte Intrusiva Aimorés foi aplicada por CPRM (2007a) *apud* Silva *et al.* (1987) para englobar intrusões situadas no norte do Espírito Santo e leste de Minas Gerais.

Essa suíte ocupa uma grande intrusão de Barra do São Francisco. Trata-se de um corpo alongado na direção ENE, que corta a foliação dúctil regional. Esta intrusão é também discordante do sistema de lineamentos NW que, nela, está representado por fraturas orientadas, em média, na direção N20W com mergulho de 45° para NE. A orientação geral da intrusão indica que ela aproveitou alguma estrutura relacionada ao sistema de lineamentos de direção NE para se alojar. Entretanto, no terreno, são observadas apenas fraturas esparsas nesta direção (CPRM, 2007a).

A intrusão de Barra do São Francisco apresenta duas subunidades litologicamente distintas (CPRM, 2007b).

A subunidade ocidental, que ocorre a oeste e sudoeste de Barra de São Francisco, é constituída por biotita granito com charnockito subordinado, cortados por veios pegmatíticos e de biotita granito fino. A subunidade oriental, que se estende dos arredores de Barra de São Francisco para nordeste, é constituída de charnockito com fácies mais máficas eventuais (CPRM, 2007a).

Conforme Junior (2009) as rochas da Suíte Aimorés afloram em pães-de-açúcar, cortes de estrada, lajedos, leitos de rio e matacões. Variedades de charnockito e norito são exploradas para rocha ornamental em dezenas de pedreiras sobre maciços e matacões. As fácies graníticas são extraídas para brita e pedra de talhe (para alicerce, meio-fio e calçamento).

No caso de ambas as intrusões, as subunidades litológicas são consideradas como partes do mesmo corpo magmático, pois não se observou nenhuma descontinuidade ou feição que indique pulsos magmáticos distintos. Ademais, a diferença de cor entre granito e charnockito se deve essencialmente à coloração verde do feldspato. Este fenômeno se relaciona aos centros de cor impostos ao feldspato pelas inclusões de CO₂. A variação da relação H₂O/CO₂ no interior da intrusão determina a distribuição de fácies granítica (hidratada) em relação à charnockítica, ou seja, a fácies granítica significa razão H₂O/CO₂ relativamente alta (CPRM, 2007a).

O biotita granito tem textura porfirítica de granulação geralmente grossa e coloração cinza. Os fenocristais são de feldspato potássico perítico. Fenocristais e eventuais autólitos ricos em biotita podem estar orientados por fluxo ígneo. A composição essencial da matriz da biotita granito consiste de plagioclásio sódico, feldspato potássico perítico, quartzo e biotita. Os minerais acessórios são apatita,

zircão, allanita e opacos, em sua maioria inclusos em biotita. A matriz tem composição de monzogranito, mas a rocha como um todo é um sienogranito porfirítico em decorrência da alta relação fenocristais/matriz (CPRM, 2007a).

O charnockito tem textura porfirítica a subporfirítica, hipidiomórfica, de granulação grossa a média e estrutura isotrópica. Sua coloração varia entre verde escuro, verde claro (*verde jade*) e verde azulado (*verde pavão*), quando livre de intemperismo.

O charnockito e suas variações de cor são compostos de feldspato potássico perítico, quartzo, plagioclásio, biotita, ortopiroxênio e anfibólio. A granada pode ser muito abundante próximo aos contatos do corpo, ou em zonas restritas no seu interior, em função de assimilação de encaixantes.

Os minerais acessórios comuns são zircão, titanita, apatita, espinélio e opacos. Os processos de alteração deutérica são sericitização de feldspato potássico, saussuritização de plagioclásio e cloritização de biotita (CPRM, 2007a).

A alteração vermelho-amarelada do ortopiroxênio, gerando hidróxidos de ferro, é produto do intemperismo. Intercrescimentos mirmequíticos no plagioclásio são comuns (CPRM, 2007a).

A cor do charnockito se deve essencialmente à coloração do feldspato, como referido no início deste item. Entretanto, esta coloração é extremamente suscetível ao intemperismo.

Mesmo com intemperismo incipiente (que não prejudica a produção de rocha ornamental), o charnockito tende a mudar de cor, passando gradativamente a verde amarelado, amarelo escuro (*dourado*), bege e cinza.

Estas variações de cor são nitidamente observadas nas pedreiras, onde são fatores que diversificam a oferta comercial da rocha e podem aumentar seu valor (CPRM, 2007a).

Conforme Junior (2009) as diversas fácies da Suíte Aimorés atendem aos requisitos mineralógicos e petrográficos para serem classificadas como do tipo-I, tais como presença de anfibólio, allanita e magnetita, e associação de termos ácidos e básicos.

CAPÍTULO 4

4.1. GEOLOGIA LOCAL

Na região afloram as rochas neoproterozóicas do domínio tectônico interno do Orógeno Araçuaí, constituídas por sillimanita-granada-cordierita-biotita paragnáisses e/ou migmatitos bandados a acamados e granulitos do Complexo Nova Venécia e as frequentes intrusões de rochas graníticas do tipo-S, denominadas de Suíte Ataléia e as mais abrangentes da Suíte Carlos Chagas, pertencentes ao núcleo metamórfico-anatético do orógeno, a partir da fusão parcial das rochas metassedimentares do Complexo Nova Venécia.

As rochas neoproterozóicas da Suíte Carlos Chagas constituem granitos peraluminosos do Tipo S que são marcadas por uma foliação regional definida pela orientação da biotita e sillimanita e uma textura blasto miloníticas identificada pelo estiramento do quartzo e dos porfiroclastos ocelares de feldspato potássico.

Tardiamente, ocorrem as intrusões de composição granítico-charnockíticas da Suíte Aimorés que afloram na forma de pequenos corpos semicirculares, com exceção da grande intrusão de Barra de São Francisco que ocorre na forma de um grande corpo alongado, com direção NE-SW e segundo um sistema de fraturas denominadas de Lineamento Vitória-Colatina-Ecoporanga.

As rochas charnockíticas são denominados comercialmente de “Verde Pavão” e constituídas predominantemente por charnockitos, mais raramente por opdalito e enderbito. São rochas de tonalidades desde verde claro a verde azulado extraídas dos maciços charnockíticos que sucedem em importância econômica na região.

As considerações a cerca da geologia serão restritas aos maciços onde as amostras foram coletadas.

4.1.1. SUÍTE INTRUSIVA CARLOS CHAGAS

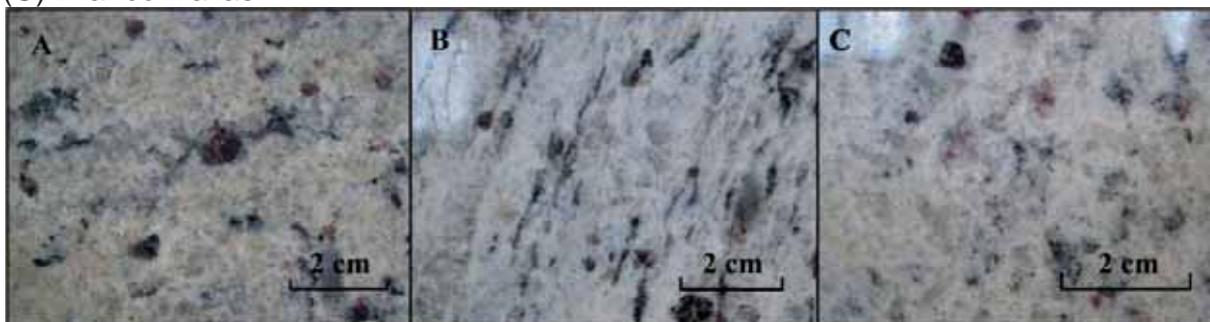
As rochas da Suíte Carlos Chagas representam a formação geológica de maior extensão na área, na qual estão localizadas as três frentes de lavra onde são explotados os materiais rochosos escolhidos para o estudo (Figura 17).

São granitos sincolisionais do tipo S, geralmente foliados e apresentando com frequentes termos protomiloníticos a miloníticos

As variedades de granada-biotita sienogranitos de coloração branco-acinzentada apresentam-se geralmente fortemente anisotrópicos. A deformação milonítica impõe aos leucogranitos feições gnáissicas que são realçadas por um bandamento tectônico definido pela alternância de bandas de composições micáceas, mas dominam as bandas quartzo-feldspáticas e por feições texturais porfiroclásticas de porcentagem e intensidade variáveis de feldspato potássico e granadas, determinando os diversos subtipos rochosos. O intemperismo quando presente confere a elas tonalidades amareladas, desde levemente amarelada a amarelo intenso, que incrementam o valor como rocha ornamental.

São constituídos por quartzo, microclínio, oligoclásio, biotita e muscovita, podendo ocorrer sillimanita e granada, além dos minerais acessórios como apatita, titanita, zircão, minerais opacos. Impostos aos minerais principais observam-se feições retrometamórficas miloníticas com a geração de cloritas, epidoto, sericita, minerais opacos e argilo minerais.

Figura 17. Figuras dos materiais (A) *Giallo* São Francisco Real; (B) Branco Marfim e (C) Branco Dallas.

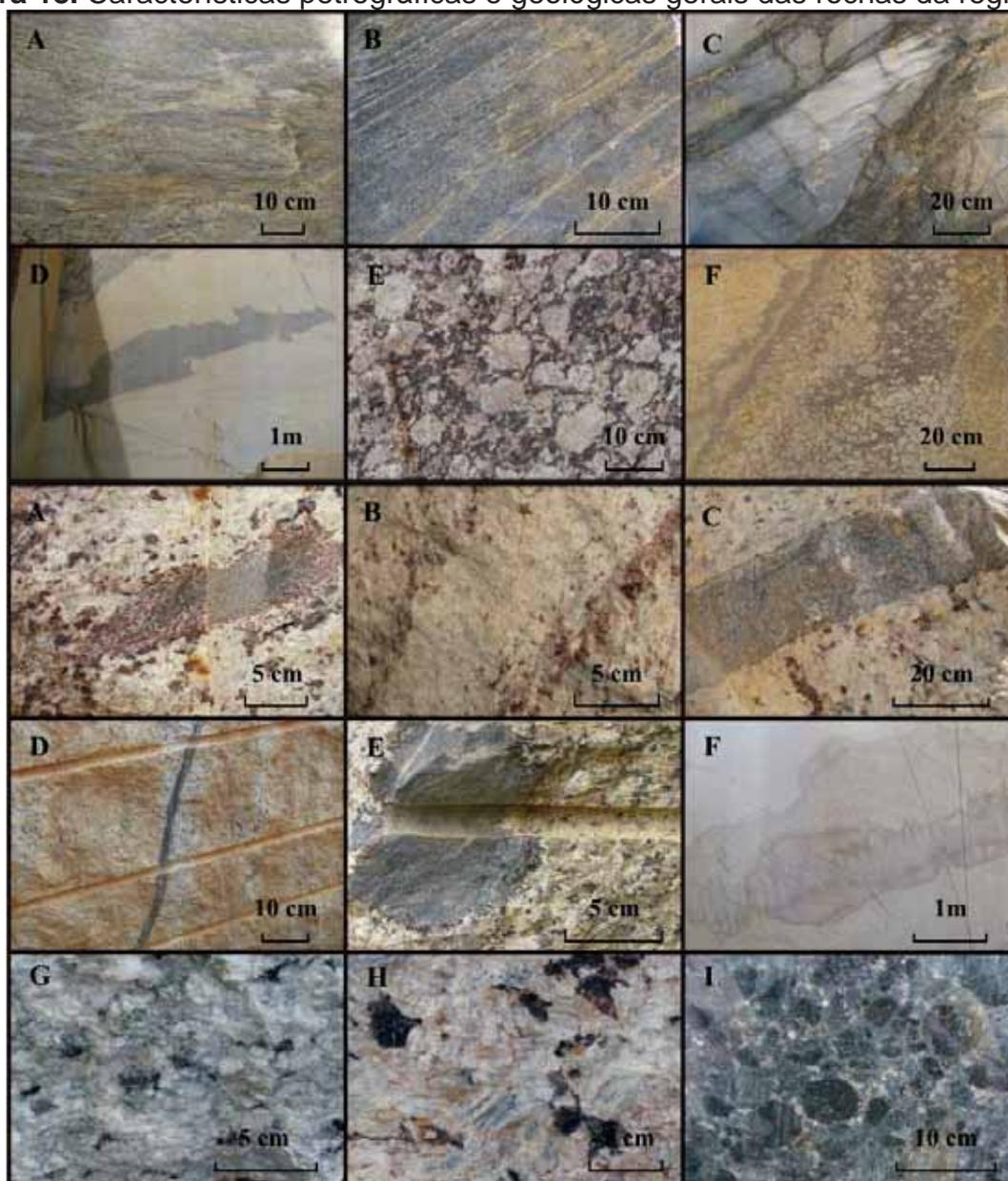


Fonte: Elaborada pelo autor.

Nas rochas da Suíte Carlos Chagas (Figura 19) observam-se com frequência próximo aos contatos e/ou a partir de megaxenólitos migmatíticos (Figuras 18 A, B, C) e de composições mais máficas (Figura 18 D), quando parcialmente consumidos,

a imposição aos leucogranitos de feições texturais distintas com grandes concentrações de granada (Figura 18 E), estruturas de *schlieren* (Figura 18 F, G), veios aplíticos com granadas por segregação de fluxo nas bordas do dique (Figura 18 H), frequente autólitos máficos e migrogranulares e inúmeros xenólitos máficos parcialmente assimilados (Figuras 18 I, J, K), diques boudinados com bordas de reações (Figura 18 L) e diques pegmatíticos (Figuras 18 M, N).

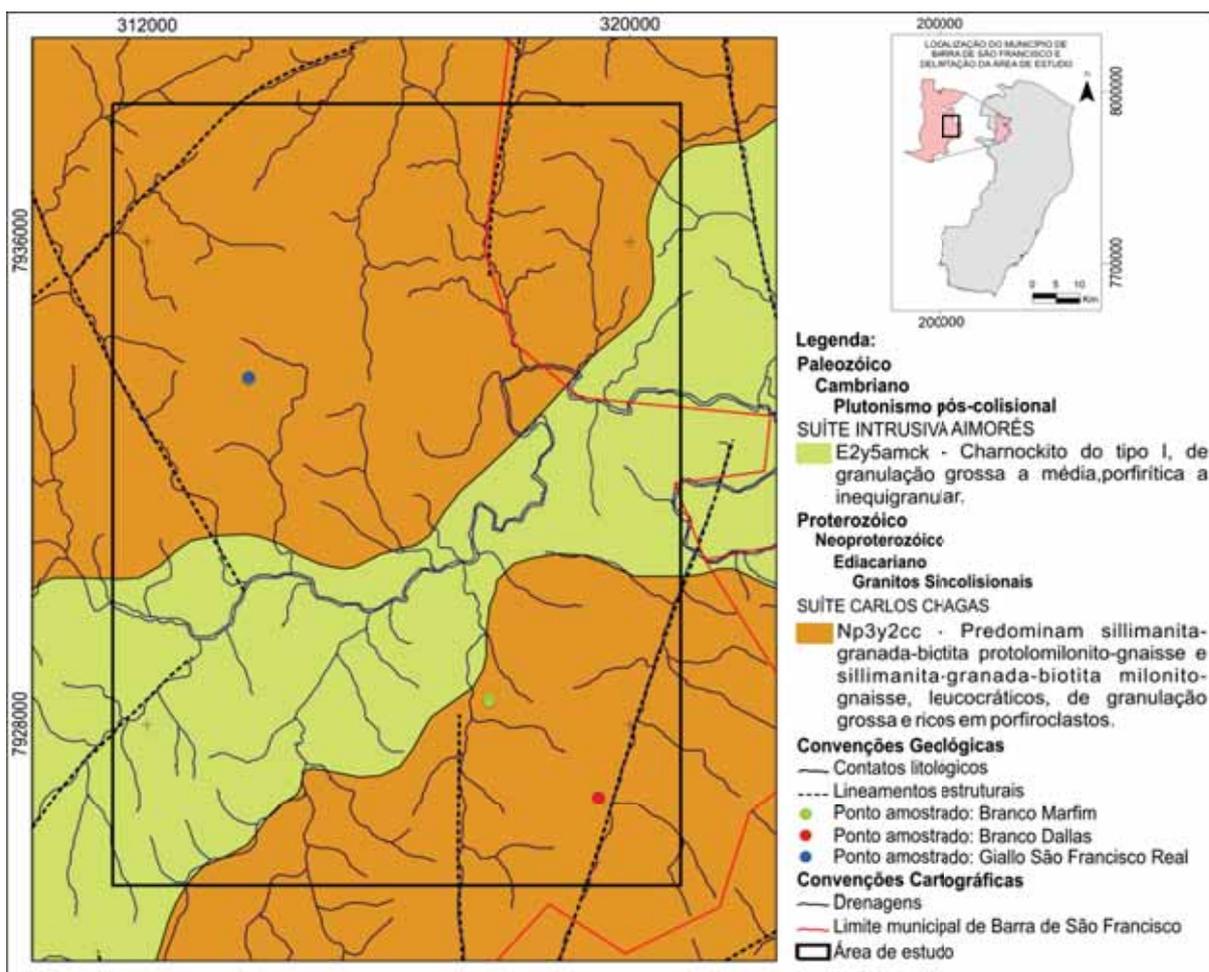
Figura 18. Características petrográficas e geológicas gerais das rochas da região.



Legenda: A, B, C) Megaxenólitos migmatíticos; D) Megaxenólitos migmatíticos de composições mais máficas; E) Leucogranitos de com concentrações de granada; F, G) Estruturas de *schlieren*; H) Veios aplíticos com granadas; I, J, K) Autólitos e xenólitos máficos; L) Diques boudinados; M, N) Diques pegmatíticos; e O) Charnockitos da Suíte Aimorés. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Feições texturais de consumo e/ou mistura são comuns também com as rochas da Suíte Aimorés que são constituídas por charnockitos de granulação grossa a porfírica podendo ocorrer à presença ou não de granada (Figura 18 O).

Figura 19. Mapa geológico de detalhe.



Fonte: Modificado de CPRM (2007b)

4.2. DESCRIÇÃO DAS MINAS

As minas correspondem aos locais onde são extraídos os materiais rochosos estudados conhecidos comercialmente como granitos *Giallo* São Francisco Real, Branco Dallas e Branco Marfim. As lavras situam-se na região noroeste do Estado do Espírito Santo, no município de Barra de São Francisco inseridas na Suíte Carlos Chagas. Todas as três minas estudadas são exploradas em maciços rochosos de topos aguçados e/ou colinas de topos convexos.

A extração é desenvolvida pelo método de lavra a céu aberto utilizando o sistema de bancadas, onde são realizados cortes com fio diamantado, perfuração com martetele a ar comprimido ou perfuratriz pneumática (ou hidráulica) e cordéis deflagrantes (Figura 20). E segue uma sequência simples, que consiste nos cortes primários (geralmente feitos com fio diamantado e às vezes explosivos) para individualização dos blocos primários, seja utilizando a zona capeada ou não.

Em seguida dá-se a individualização dos blocos secundários (blocos comercializáveis) que, geralmente, é realizada com o uso de marteteles, perfuratrizes pneumáticas ou fio diamantado.

Figura 20. Ilustração dos volumes isolados utilizando algumas das tecnologias citadas.



Legenda: **A)** Volume primário desmontado; **B)** Corte do volume primário com fio diamantado e; **C)** Bloco comercializável. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

A individualização desses volumes pode variar de acordo com o quadro geológico-estrutural, com a morfologia da mina, o método de extração empregado e até mesmo as características físico-mecânicas intrínsecas às rochas (como dureza e abrasividade). O controle estrutural de cada mina se dá pela relação entre as atitudes dos cortes (conhecidos coloquialmente como: corrida, segundo e trincante) feitos para isolamento dos volumes de rocha do maciço e as atitudes dos principais planos de deformação nele evidenciados. Foliações regionais superimpostas definem planos de corte relativamente facilitados, devido à estruturação bem marcada principalmente por planos de estiramento e orientação de cristais presentes na composição destas rochas tais como o quartzo, a biotita e o microclínio.

Para melhor entendimento dos termos adotados segue uma breve descrição dos tipos de cortes realizados aliados a um bloco diagrama (Figura 21).

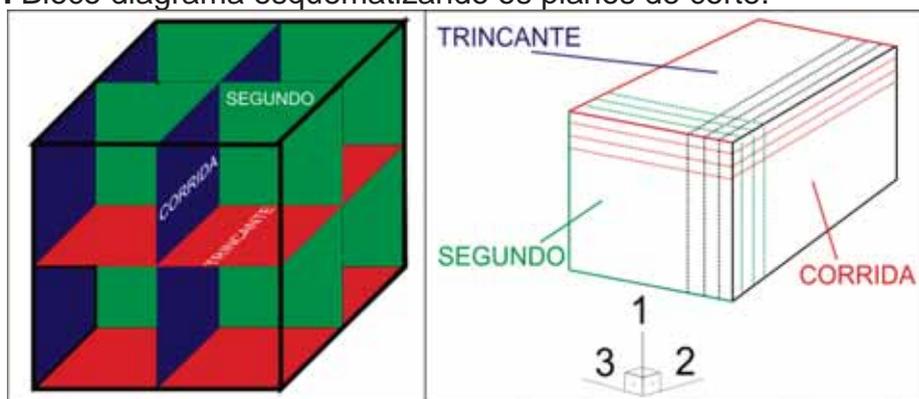
- A “Corrida” é conhecida como o corte, paralelo a direção de maior facilidade de corte, normalmente associado a uma foliação.

- O “Segundo” é o corte ortogonal à corrida, ou seja, a um ou mais planos

deformados (no caso da “foliação”) ou “linhas” orientadas (no caso de uma lineação mineral presente).

- O “Trincante” é o corte normal à estruturação mais penetrativa na rocha ou sub-paralelo a paralelo ao diaclasamento ou juntas de alívio).

Figura 21. Bloco diagrama esquematizando os planos de corte.



Legenda: 1) Trincante; 2) Corrída; 3) Segundo. **Fonte:** Modificada de Bolonini (2011).

4.2.1. Mina da amostra BSF010 do material *Giallo* São Francisco Real.

A mina do *Giallo* São Francisco Real (Figura 22) possui três frentes de lavra no mesmo maciço, duas em sua base e outra no topo, caracterizando, ao mesmo tempo, uma mina de lavras ascendente, descendente e em flanco. A média de altura de sua base até o topo fica em torno de 250 m.

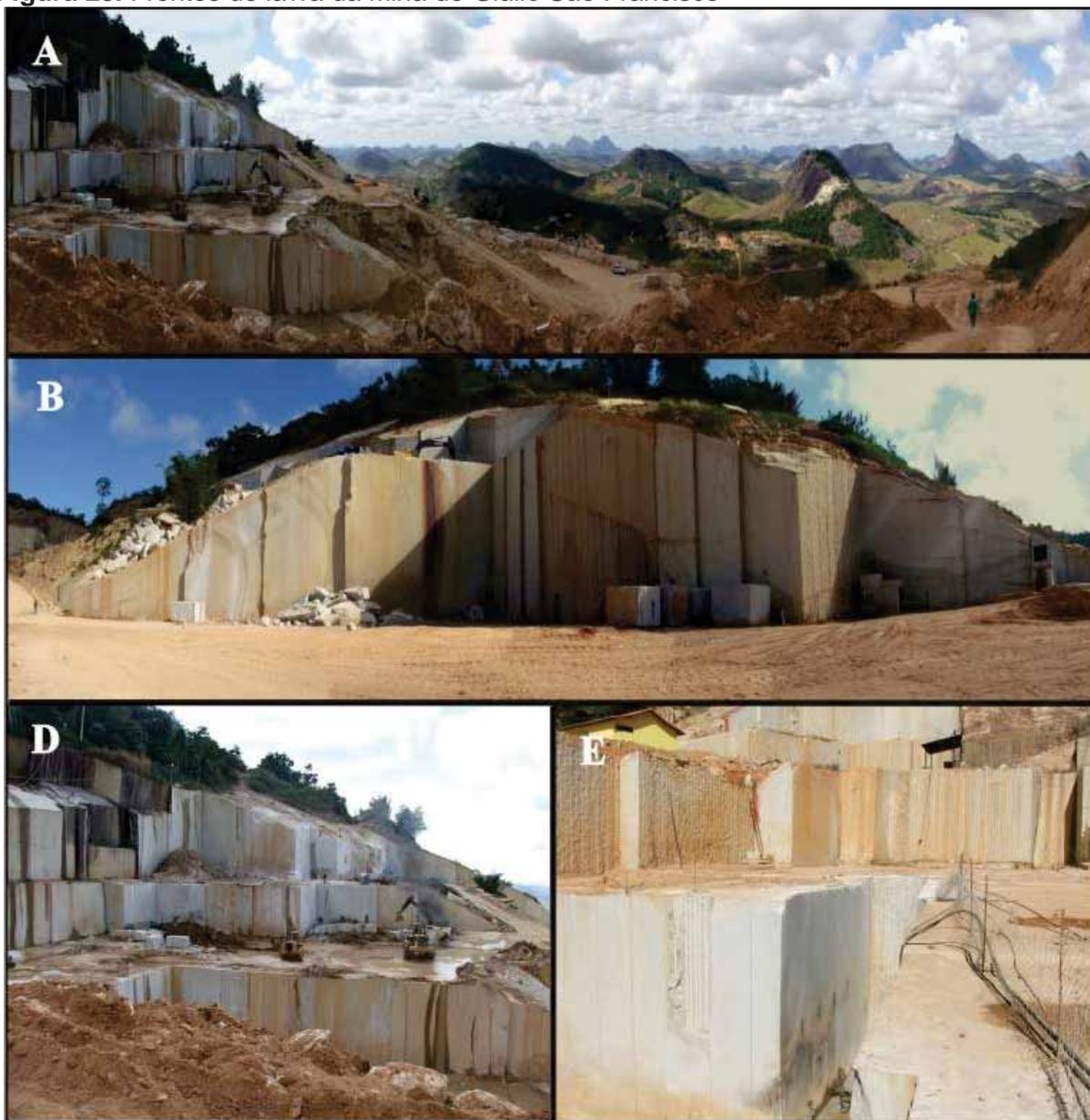
Figura 22. Visão geral da mina do *Giallo* São Francisco Real.



Fonte: Elaborada pelo autor.

As fotos da figura 23 destacam os painéis de desenvolvimento da frente de lavra da Mina da rocha *Giallo* São Francisco, localizada no município de Barra de São Francisco, sob as coordenadas UTM, Datum SAD69, 24k: 313.658E / 7.933.756N.

Figura 23. Frentes de lavra da Mina de *Giallo* São Francisco

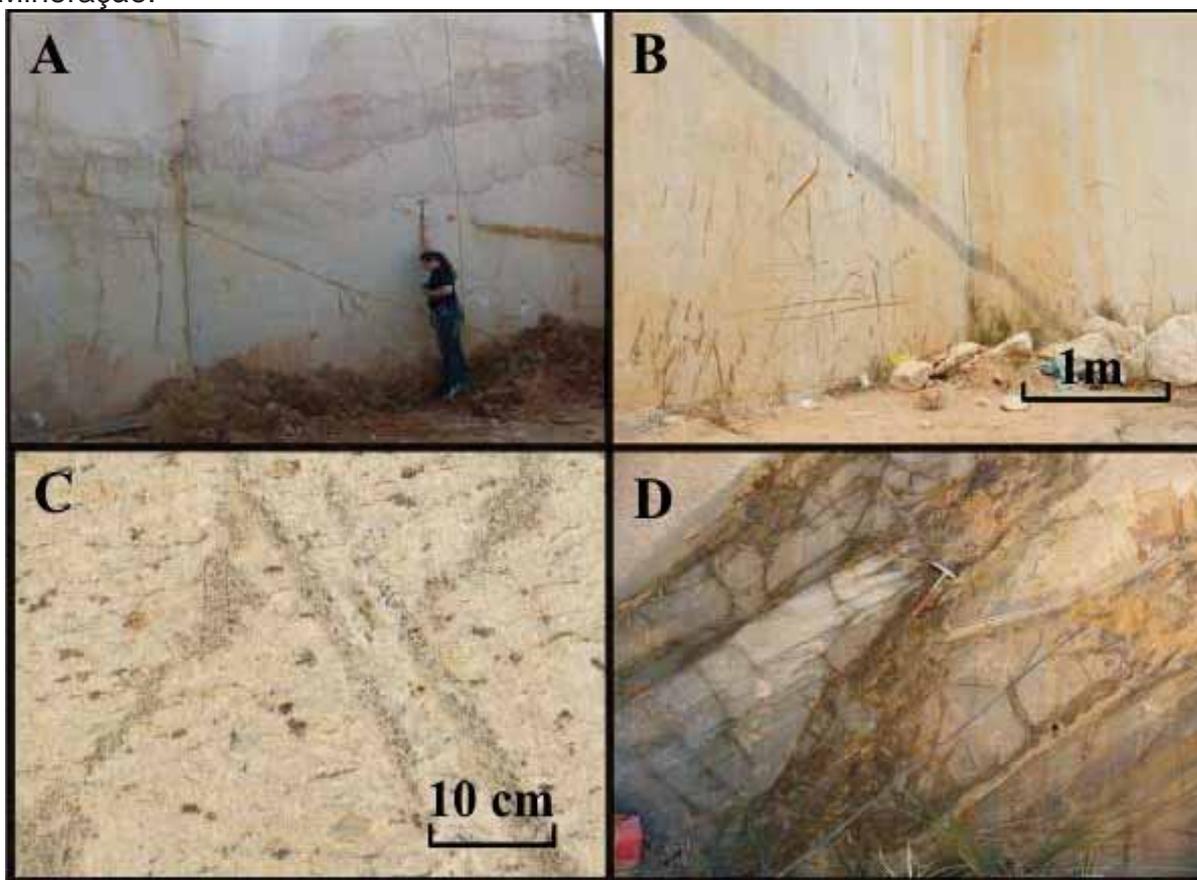


Fonte: Elaborada pelo autor.

Nesta mina foram encontradas esporadicamente feições particulares como diques *boudinados* (Figura 24 A) e veios máficos (Figura 24 B,C) concordantes e/ou cortando a estruturação gnáissica da rocha.

Além destas feições foram evidenciadas, no flanco esquerdo da mina, xenólitos migmatíticos das rochas encaixantes (Figura 24 D) onde porções gnáissicas ricas em biotita gradam para metatexitos com a fase neossomática bastante restrita e onde observa-se ausência de estruturas migmatíticas difusas e dando lugar a estrutura fortemente gnáissica, imposta por uma deformação penetrativa tardia.

Figura 24. Figura de alguns xenólitos e veios encontrados na mina Stone Mineração.



Legenda: A) Diques *boudinados*; B, C) Veios máficos; D) Xenólitos migmatíticos das rochas encaixantes. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

4.2.2. Mina da amostra BSF081 do material Branco Dallas.

Na mina do material Branco Dallas (Figura 25) é observada um capeamento de rochas cuja espessura varia entre poucos centímetros a alguns metros, o qual é limitado inferiormente pela presença de fraturas de alívio (desplacamento).

A extração na mina é feita de forma ascendente, devido a altura entre a base e o topo do maciço, que fica em média de 150 metros.

Figura 25. Figura geral da mina Branco Dallas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

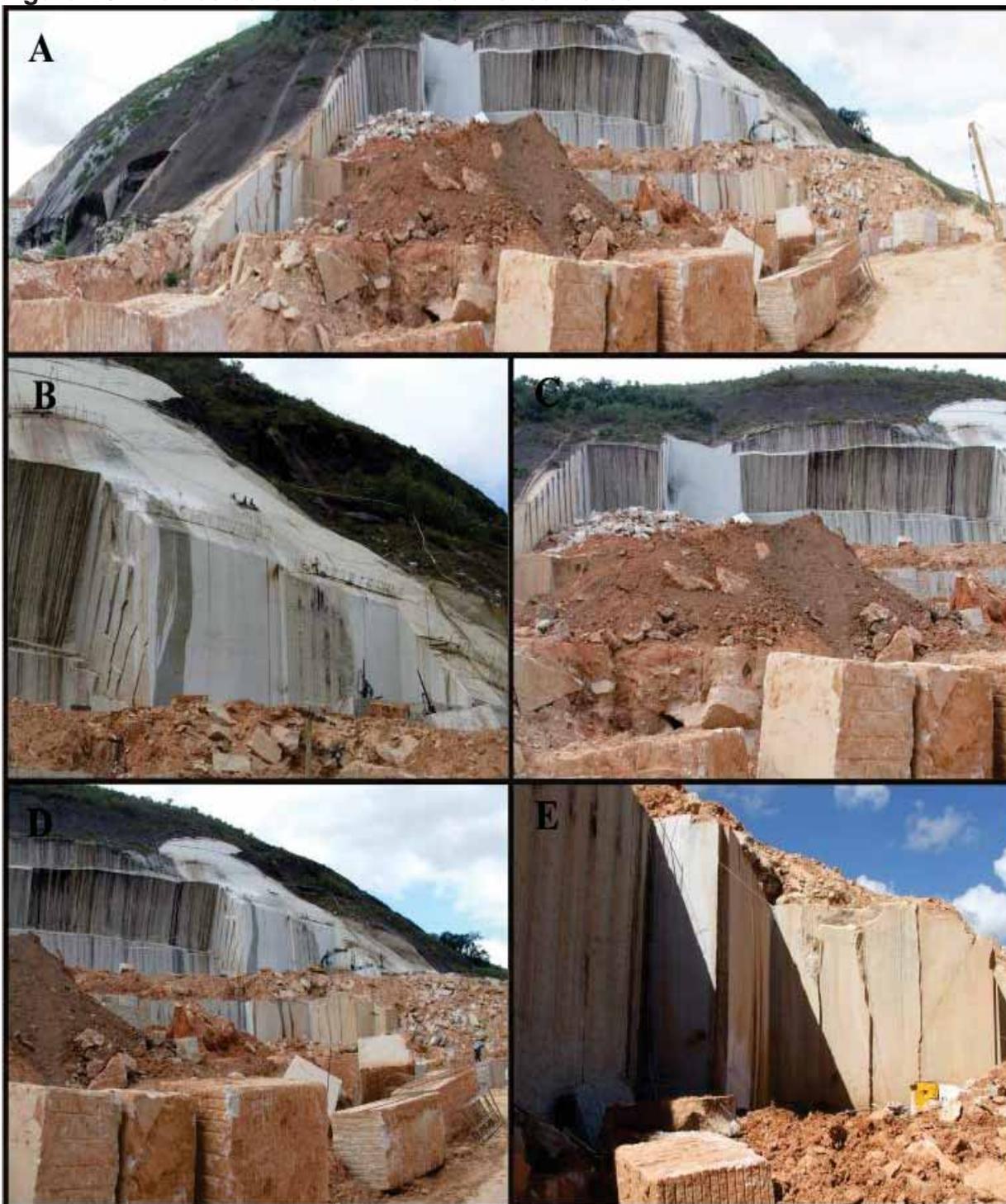
As fotos da Figura 26 destacam os painéis de desenvolvimento da frente de lavra da Mina de Mina de Branco Dallas, localizada no município de Barra de São Francisco, sob as coordenadas UTM, Datum SAD69, 24k: 319.492E / 7.926.828N)

Nesta mina, a deformação dúctil regional transformou os fenocristais em porfiroclastos ocelares, sigmoidais e/ou fitados (*ribbon*).

A foliação milonítica é anastomosada (Figura 27 A) e materializada pela orientação de biotita e estiramento de quartzo. Foi identificado também na mina o contato tectônico com as rochas migmatíticas encaixantes (Figura 27 B).

O metatexito, ou seja, o migmatito onde a anatexia é incipiente (parcial), apresenta uma porção paleossomática em que tanto a composição como a gnaissificação demonstram uma correlação com a porção gnáissica, sendo que o paleossoma aparece intrinsecamente relacionado com a porção neossomática.

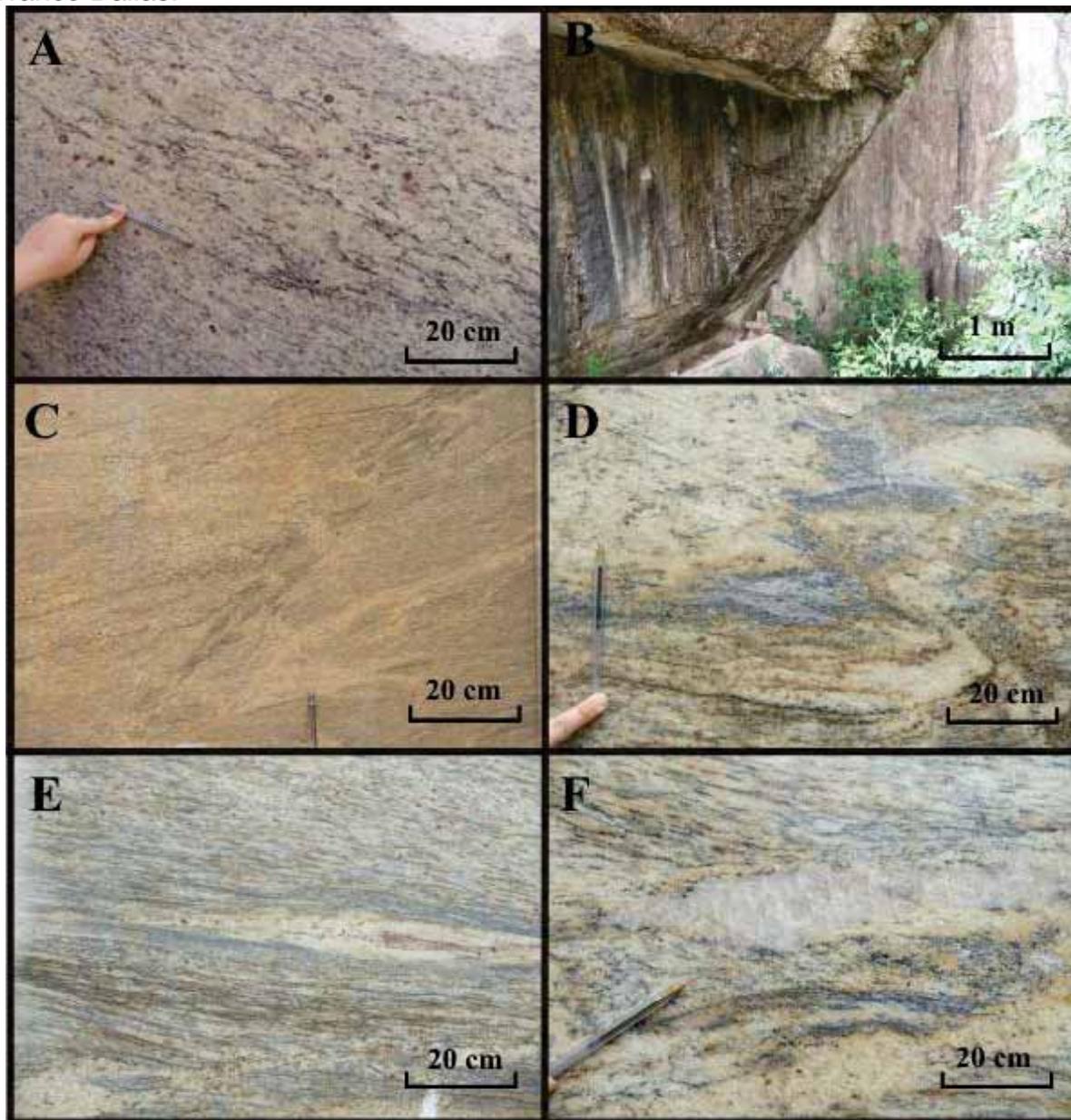
Figura 26. Frentes de lavra da Mina de Branco Dallas



Fonte: Elaborada pelo autor.

Além disso, pode-se identificar zonas de cisalhamento (Figura 27 C), estrutura ptigmática, onde dobras de características altamente desarmônica ao contrário da estrutura dobrada, ocorrendo o espessamento do limbo e afinamento das cristas (Figura 27 D), feições transpostas gnaissificadas (Figura 27 E) e diques de quartzo bouldinados (Figura 27 F).

Figura 27. Detalhe da foliação milonítica e migmatitos encontradas na Mina de Branco Dallas.



Legenda: **A)** Foliação milonítica anastomosada; **B)** Contato tectônico com as rochas migmatíticas encaixantes; **C)** Zonas de cisalhamento; **D)** Estrutura ptigmática; **E)** Feições transpostas gnaissificadas; e **F)** Diques de quartzo bouldinados. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

4.2.3. Mina da amostra BSF273 do material Branco Marfim.

A lavra na mina do Branco Marfim é realizada pelo método das bancadas altas e feita de forma descendente.

Tal método de lavra é utilizado pelas condições de facilidade oferecidas pelas baixas declividade e amplitude morfológicas do maciço (Figura 28).

Figura 28. Foto geral da mina do Branco Marfim.



Fonte: Elaborada pelo autor.

As fotos destacam os painéis de desenvolvimento da frente de lavra da Mina de Branco Marfim (Figura 29), localizada no município de Barra de São Francisco, sob as coordenadas UTM, Datum SAD69, 24k: 317.667E / 7.928.424N).

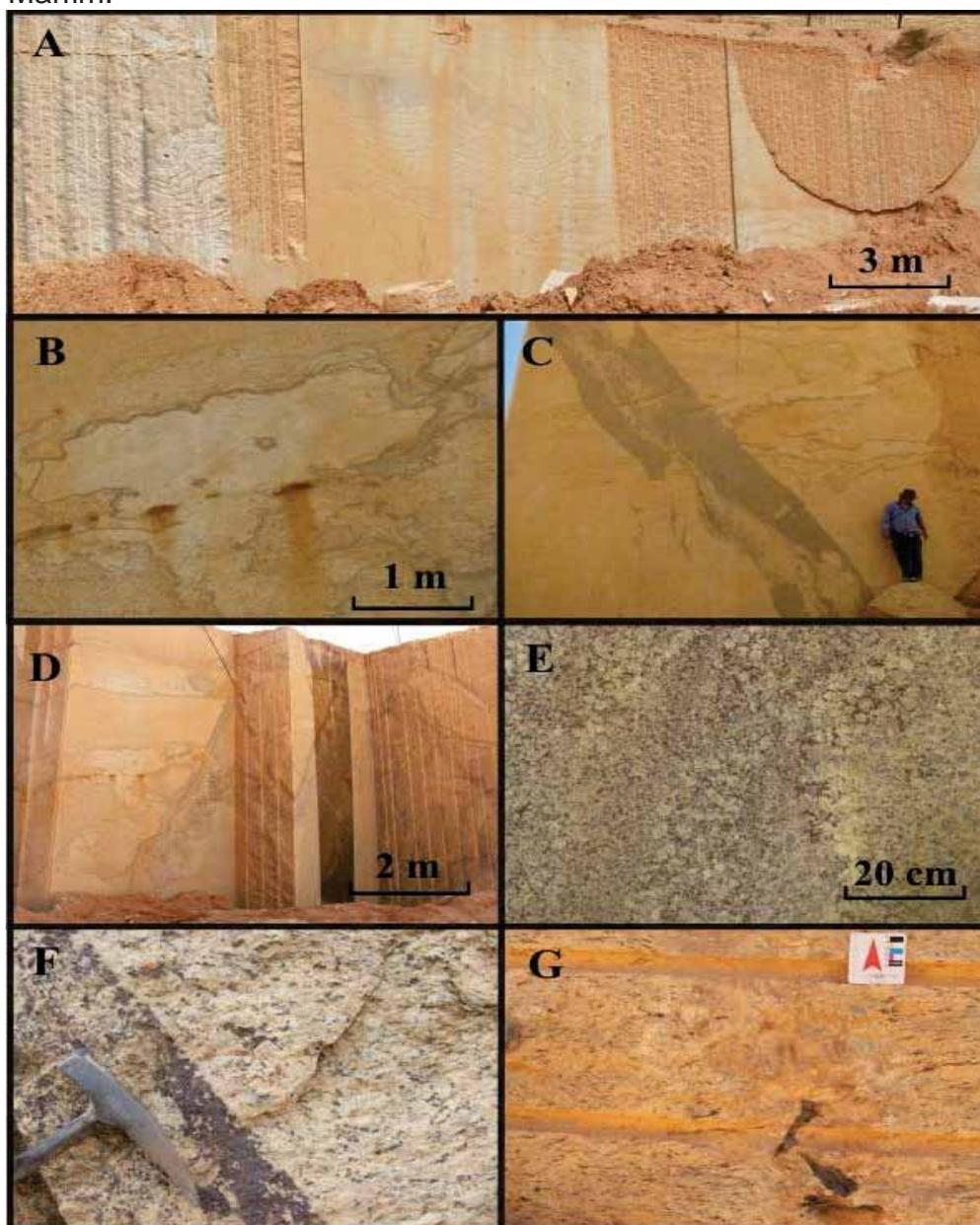
Figura 29. Frente de lavra da Mina de Branco Marfim.



Fonte: Elaborada pelo autor.

As feições encontradas nesta mina são de assimilação de xenólitos de rochas máficas (Figura 30 A, B), diques máficos e/ou charnockíticos e/ou enderbíticas/opdalíticas presentes na mina e atribuídas a Suíte intrusiva Aimorés, cortando a estruturação geral da rocha (Figura 30 C, D), mistura magmática, assimilações com concentração de granada (Figura 30 E), segregação de fluxo com concentração de granada nas bordas do dique (Figura 30 F) e diques pegmatíticos com cristais centimétricos tardios e discordantes da foliação principal (Figura 30 G).

Figura 30. Feições geológicas encontradas na mina onde foi coletada a amostra Branco Marfim.



Legenda: A, B) Assimilação de xenólitos de rochas máficas; C, D) Diques máficos e/ou charnockíticos e/ou enderbíticas/opdalíticas; E) Mistura magmática; F) Segregação de fluxo com concentração de granada; e G) Diques pegmatíticos. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

4.3. GEOLOGIA ESTRUTURAL

O quadro estrutural-metamórfico identificado nas unidades litológicas regionais é composto por 3 fases de deformação (D_n , D_{n+1} , D_{n+2}) atribuídas a eventos deformacionais neoproterozóicos.

A fase D_n reliquiar, é raramente observada e caracteriza-se pela formação de dobras reclinadas marcadas por uma foliação plano-axial S_n que se encontra associada ao ápice metamórfico definindo localmente as feições migmatíticas e atingindo o fácies sillimanita anfíbolito a granulito, apresentando direção geral de N182/35NW.

Sugere-se para os batólitos graníticos que estas litologias foram formadas através dos processos anatéticos em material crustal preexistente, em ambiente sintectônico em relação ao evento de granitização e migmatização neoproterozóica.

A fase D_{n+1} define a foliação S_{n+1} , a mais penetrativa, e destrói grande parte das feições construídas pela fase D_n , sendo caracterizada por um forte bandamento gnáissico, a partir da reorientação das estruturas migmatíticas, com a formação de uma foliação plano axial, paralelizada ao bandamento tectônico. São feições de baixo ângulo, localmente com maior inclinação.

Observam-se dobras apertadas reliquiares preservadas e contidas em S_{n+1} e apresentando para S_{n+1} direção média N113/30SW.

A fase D_{n+2} caracteriza-se por um evento transcorrente/transpressivo em que distanciando das zonas de cisalhamento, esta fase assume um caráter regional dúctil com formação de dobras abertas do bandamento tectônico gerando ondulações suaves a abertas, com a mesma orientação e com desenvolvimento de uma tênue foliação sub - vertical e marcada por uma fraca clivagem de crenulação, preservando as foliações anteriores.

Próximo as zonas de cisalhamento assumem uma forte crenulação de eixo sub-vertical, que se superpõe às demais e traço axial que evolui gradativamente e regionalmente para falhas direcionais.

A feição S_{n+2} gerada pela tectônica dúctil-rúptil define uma foliação milonítica vertical intensa definindo as zonas de cisalhamento de direção N03/V.

As associações minerais de D_{n+2} indicam condições de fácies xisto-verde baixa de caráter retrometamórfico. Tardiamente um intenso fraturamento esta

presente no maciço.

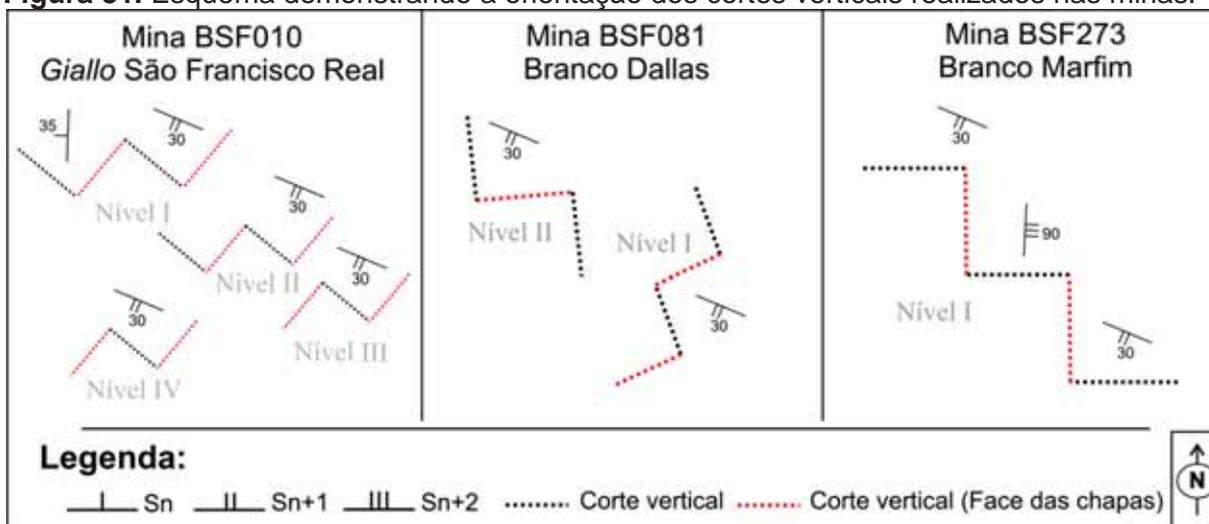
Apesar de possuir um quadro estrutural bem definido, com foliações bem demarcadas (exceto por S_n raramente preservada), os cortes realizados para o desdobramento de blocos nas minas não possuem um paralelismo (que possivelmente facilitaria o corte e acarretaria em provável redução de custos) com tais descontinuidades geológicas.

Os cortes (Figura 31) em suas totalidades são realizados em direções oblíquas às foliações regionais medidas.

O motivo de não serem realizados cortes paralelos a tais descontinuidades é que, se fossem feitos, modificariam-se as características estéticas dos materiais tais como a forma e volume de ocorrência dos cristais que compõem os desenhos finais das chapas.

É importante ainda dizer que o fato desses cortes serem realizados de forma oblíqua, podem acarretar uma redução da representatividade dos resultados das rochas ensaiadas em relação a forma em que são comercializadas.

Figura 31. Esquema demonstrando a orientação dos cortes verticais realizados nas minas.



Fonte: Elaborada pelo autor

CAPÍTULO 5

5.1. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A qualificação dos materiais rochosos silicáticos destinados ao uso como rochas ornamentais e de revestimento pode ser baseada em parâmetros tecnológicos limítrofes sugeridos e especificados conforme expresso no quadro 8. Tais parâmetros limítrofes visam a qualificação de rochas silicáticas destinadas a ambientes sujeitos a intensas solicitações físico-mecânicas.

Quadro 8. Valores limítrofes especificados pela norma ABNT NBR 15844:2010, ASTM C615 (2003) e valores médios para rochas silicáticas brasileiras por Frazão e Farjallat (1995).

PROPRIEDADES	VALORES FIXADOS NBR 15844:2010	VALORES MÉDIOS ROCHAS SILICÁTICAS Frazão & Farjallat (1995)	ASTM C615 (1992)
Densidade Aparente (kg/m ³), mín.	2.550	2.550	2560
Porosidade aparente (%), máx.	1,0	1,0	-
Absorção d'água (%), máx.	0,4	0,4	0,4
Módulo de ruptura (MPa), mín.	10,0	10,0	10,34
Resistência à flexão por quatro pontos (MPa), mín.	8,0	-	8,27
Resistência ao desgaste (mm/1000m), máx.	1,0	1,0	-
Resistência ao impacto de corpo duro (m), mín.	0,3	0,4	-
Coefficiente de dilatação térmica linear [10 ⁻³ mm/(m x °C)], máx.	8,0	12,0	-
Resistência à compressão uniaxial (MPa), mín.	100,0	100,0	131,0
Velocidade de Propagação de ondas ultrassônicas (m/s), mín.	-	4.000	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar de os granitos *Giallo* São Francisco Real, Branco Marfim e Branco Dallas possuírem similaridades cromáticas e estéticas, eles exibem propriedades tecnológicas distintas que são reflexos de seus aspectos petrográficos.

Os resultados dos ensaios são correlacionados com aspectos mineralógicos, texturais e estruturais dessas rochas, visando o melhor entendimento do comportamento físico-mecânico apresentado por elas diante das diversas solicitações a que foram submetidas.

As discussões e interpretações referentes aos resultados obtidos para os ensaios físico-mecânicos, em termos da qualificação dos materiais, baseiam-se na análise comparativa dos valores médios divulgados pela literatura pertinente e, fundamentalmente, nos valores fixados pela norma ABNT NBR 15844:2010, ASTM C615 (1992) e àqueles valores médios identificados para rochas silicáticas brasileiras proposto por Frazão & Farjallat (1995), conforme os valores apresentados no quadro 8.

5.1.1. ANÁLISE GEOQUÍMICA

As análises serão discutidas quanto ao padrão de distribuição dos elementos maiores.

As determinações foram realizadas por Espectrometria de Fluorescência de raios X, empregando amostras fundidas em matriz de borato.

Os resultados das análises são apresentados na tabela 2.

Na figura 45 encontra-se representada a distribuição dos elementos maiores nos três materiais estudados.

Em razão das características ácidas dos litotipos estudados os valores de SiO_2 das amostras apresentam valores elevados e situam-se no intervalo entre 71 e 73% (Figura 32A).

A ocorrência de valores mais altos de SiO_2 não implica, em termos de composição mineralógica, em uma variação drástica na porcentagem de minerais, por exemplo, como o microclínio e o quartzo, que possuem uma resistência maior a solicitações mecânicas e menor ao desgaste abrasivo e que na análise petrográfica mostram-se em grande número, mas com pouca variação entre as amostras.

Os valores TiO_2 (Figura 32B) são pouco variáveis e sugestivamente baixos nas amostras estudadas, evidenciando as quantidades maiores de minerais

acessórios.

Tabela 2. Valores das análises geoquímicas de elementos maiores e menores.

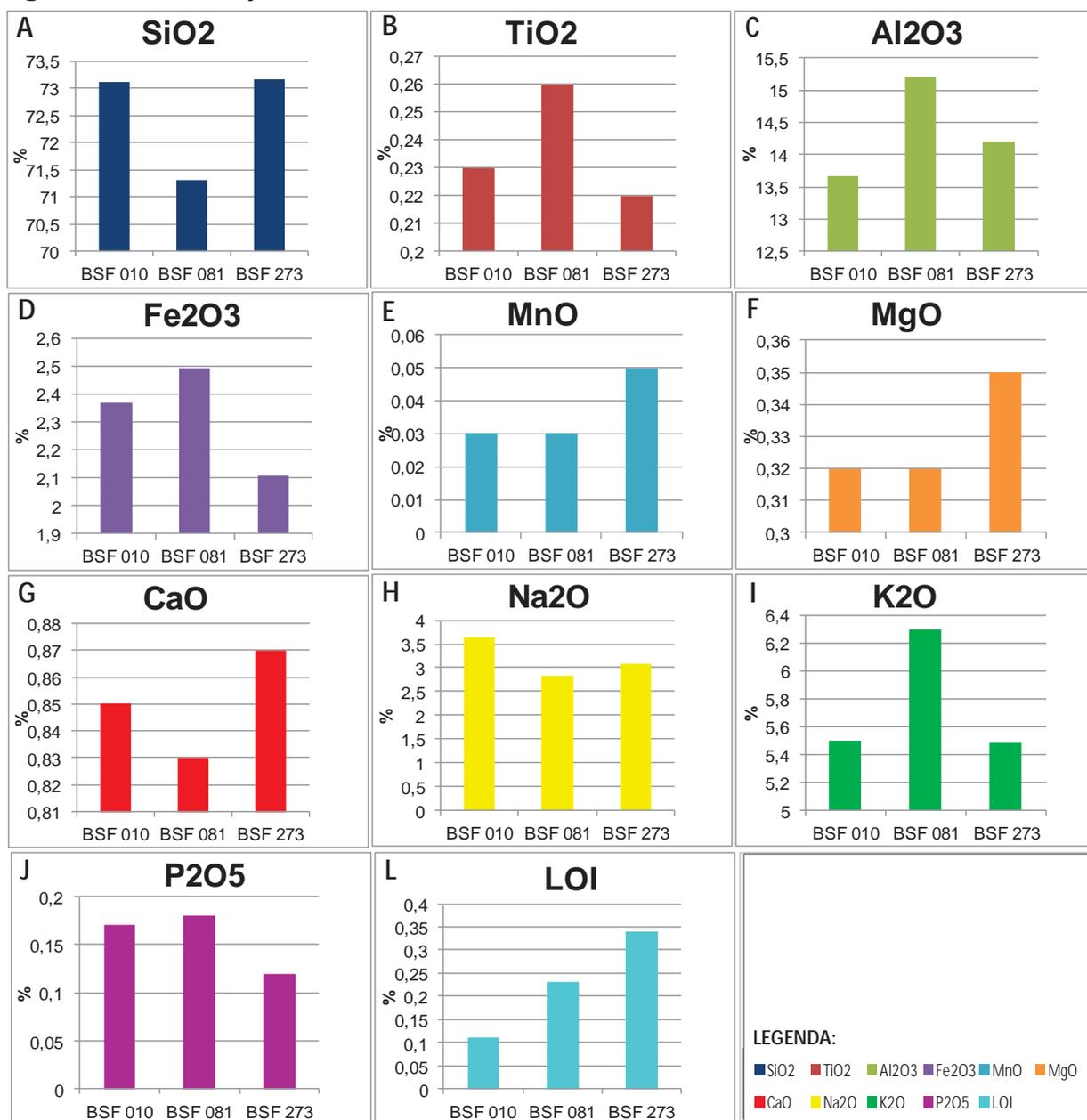
	BSF 010	BSF 081	BSF 273
SiO₂ (%)	73,11	71,32	73,17
TiO₂ (%)	0,23	0,26	0,22
Al₂O₃ (%)	13,66	15,21	14,2
Fe₂O₃ (%)	2,37	2,49	2,11
MnO (%)	0,03	0,03	0,05
MgO (%)	0,32	0,32	0,35
CaO (%)	0,85	0,83	0,87
Na₂O (%)	3,65	2,84	3,08
K₂O (%)	5,5	6,3	5,49
P₂O₅ (%)	0,17	0,18	0,12
LOI (%)	0,11	0,23	0,34
Cr (ppm)	75	44	77
Cu (ppm)	1	2	1
Ni (ppm)	1	3	4
Zn (ppm)	40	30	29
Ba (ppm)	149	138	115
Rb (ppm)	276	299	230
Sr (ppm)	21	22	32
La (ppm)	13	7	22
Ce (ppm)	32	24	34
Zr (ppm)	114	85	104
Y (ppm)	25	40	32
Nb (ppm)	12	10	5

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os teores de Al₂O₃ se apresentam no intervalo de 13,66% a 15,21% (Figura 32C), mostrando valores mais elevados para as rochas mais enriquecidas em minerais máficos, além de estarem por vezes, inversamente proporcionais aos teores de SiO₂, o que reflete na menor resistência abrasiva e maior alterabilidade dos tipos estudados.

Quanto ao óxido Fe₂O₃ (Figura 32D), encontra-se diretamente correlacionado à presença de minerais máficos e à presença dos minerais opacos, apresentando valores entre 2,11% a 2,49% . Esta relação de valores mais elevados de minerais de Fe propicia a geração de hidróxidos de Fe, que quando em contato com ambientes úmidos, facilitam o aparecimento de manchas por vezes avermelhadas correspondendo geralmente a menores valores de resistência à alteração.

Figura 32. Distribuição dos elementos maiores das amostras estudadas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os teores de MnO apresentam-se inexpressivos, sendo menores que 0,1% (Figura 32E) e evidenciam valores semelhantes entre as amostras estudadas. Assim como os teores de MnO, os teores de MgO (Figura 32F) e CaO (Figura 32G), são pouco expressivos, variando de 0,32% a 0,35% e 0,83% a 0,87% respectivamente. As relações apresentadas dos valores de K₂O (Figura 32I) variando de 5,49% a 6,3% e de Na₂O (Gráfico 32H) variando de 2,84% a 3,65% são bem elevadas e características das rochas ácidas, mas apresentam pequenas diferenças entre as amostras estudadas. Estes valores obtidos não representam

controle no comportamento físico-mecânico das rochas. Os teores de P_2O_5 (Figura 32J), e de LOI (Figura 32L), também são pouco expressivos, variando de 0,12% a 0,18% e 0,11% a 0,34% respectivamente.

De um modo geral, os resultados apresentam-se bastante regulares, com diferenças mínimas entre si. Tal constatação permite afirmar que existe certa homogeneidade entre as rochas amostradas uma vez que as diferenças, tanto petrográficas quanto químicas, não representaram fortes discordâncias.

5.1.2. ANÁLISE PETROGRÁFICA

a) *Giallo* São Francisco Real (granada gnaisse)

Trata-se de uma rocha de composição sienogranítica, leucocrática, coloração amarelada e estrutura porfiroclástica e gnáissica, de textura inequigranular, predominantemente granoblástica e com granulação média a média-grossa. A granulação média varia de 1,0 mm a cerca de 25 mm, dimensões estas definidas pelo estiramento mineral, principalmente dos feldspatos. Sua orientação estrutural é bem definida pela disposição preferencial dos cristais de biotita de coloração preta e pelo estiramento dos minerais claros. Os cristais de granada vermelhos têm distribuição regular na rocha. O quartzo apresenta coloração acinzentada, enquanto o feldspato é esbranquiçado a amarelado (Figura 33).

Figura 33. Amostra do material denominado *Giallo* São Francisco Real



Fonte: Elaborada pelo autor.

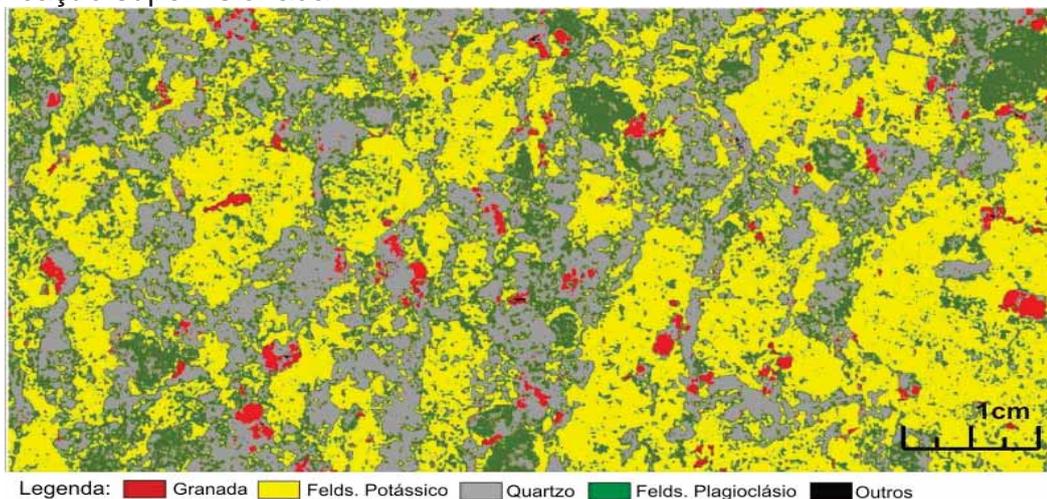
Através do tingimento das amostras com cobaltonitrito de sódio, foi observado que a quantidade de feldspatos alcalinos é bem mais elevada que a dos plagioclásios (Figura 34). Como método auxiliar de contagem de minerais macroscópica, foi utilizada a classificação supervisionada, cujo o método é detalhado no capítulo 4, realizada com o uso do programa ArcGIS 9.3 (Figura 35). Com as análises visuais e o resultado do tratamento da imagem digitalizada da amostra exposta ao método de classificação por coloração seletiva, foram então quantificadas as porcentagens dos minerais: 26% de quartzo, 43% feldspato potássico, 28% feldspato plagioclásio, 2% granada e 1% entre minerais de alteração e minerais opacos.

Figura 34. Amostra do material denominado *Giallo* São Francisco Real (BSF 010), atacado por ácido fluorídrico e tratado com cobalto-nitrito de sódio no ensaio de coloração seletiva.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 35. Imagem da amostra do *Giallo* São Francisco Real (BSF 010) após a classificação supervisionada.



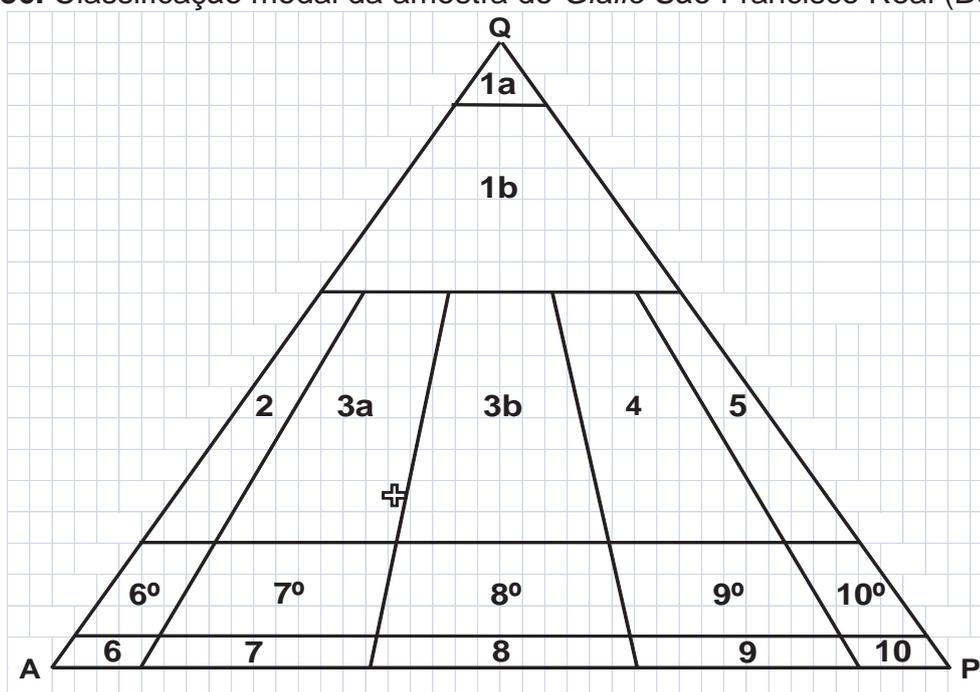
Fonte: Elaborada pelo autor.

Os minerais na média de contagem modal entre a microscópica e macroscópica, estão representados pelas seguintes porcentagens: 43% de microclínio, 24% quartzo, 22% de plagioclásio, 5% biotita, 2% granada, 1% sillimanita e 3% de minerais acessórios como zircão, titanita e apatita, além dos minerais de alteração como sericita, epidoto, clorita, calcita e dos minerais opacos.

A quantificação mineral foi lançada no diagrama QAP (STRECKEISEN, 1976) na figura 36 no qual apresentou composição sienogranítica. Segue, no quadro 9, uma síntese das informações das lâminas estudadas desta amostra.

Quando observado ao microscópio óptico, o feldspato potássico é representado pelo microclínio e atinge as maiores dimensões ao longo do maior estiramento (~25mm) e larguras normalmente inferiores a 10 mm, possui granulação variando de média a grossa, forma anédrica a subédrica, pertíticos e micropertíticos, apresentando fraco grau de alteração.

Figura 36. Classificação modal da amostra do *Giallo* São Francisco Real (BSF 010).



Legenda: Classificação modal no diagrama QAP no campo do sienogranito. Divisões internas segundo recomendações IUGS. **Fonte:** Streckeisen (1976).

O plagioclásio apresenta cristais granoblásticos com geminações do tipo Carlsbad e polissintética e normalmente mais alterados por uma fraca saussuritização que se manifesta mais intensamente nos núcleos dos cristais maiores.

Os cristais de quartzo são anedrais com extinção ondulante, sob a forma de agregados monominerálicos alongados e também na forma de grãos, na maioria microfissurados e raramente arredondados.

Quadro 9. Quadro do resumo petrográfico da amostra *Giallo* São Francisco Real.

Características Petrográficas		Giallo São Francisco Real (paralelo)				Giallo São Francisco Real (perpendicular)			
Coloração		amarelada				amarelada			
Estrutura		gnáissica				gnáissica			
Textura		granoblástica				granoblástica			
Granulação relativa		Média a Grossa				Média a Grossa			
Mineralogia (%)	Quartzo	24				26			
	Feldspato potássico	43				41			
	Plagioclásio	22				20			
	Biotita	5				7			
	Opacos	2				3			
	Sillimanita	1				1			
	Granada	2				2			
	Apatita	traços				traços			
	Titanita	traços				traços			
	Zircão	traços				traços			
	Sericita	traços				traços			
	Epidoto	traços				traços			
	Carbonatos	traços				traços			
Total máficos (%)		10				13			
Granulação (mm)	Variação	1 a 25				1 a 25			
	Predominância	2 a 22				2 a 22			
Granulação		0,5				0,54			
Microfissuras	Total/mm ²	0,5				0,54			
	Quantificação	Quantidade		Medida (mm)		Quantidade		Medida (mm)	
		nP	P	nP	P	nP	P	nP	P
	Intragrão (%)	93,29	2,92	91,49	3,13	92,62	6,71	91,71	6,03
	Intergrão (%)	0	0	0	0	0,67	0,00	2,26	0,00
Transgranular (%)	0,95	2,84	2,03	3,35	0,00	0,00	0,00	0,00	
Contato Mineral (%)	Lobulado	53				51			
	Retilíneo	5				5			
	Engrenado	11				12			
	Sinuoso	26				26			
	Serrilhado	3				5			
	Esgarçado	2				2			
Alteração Mineral	Feldspato K	Moderado				Moderado			
	Plagioclásio	Moderado				Moderado			
	Biotita	Incipiente				Incipiente			
Classificação Petrográfica (QAP)		granada gnaïsse (sienogranito)							

Fonte: Elaborado pelo autor.

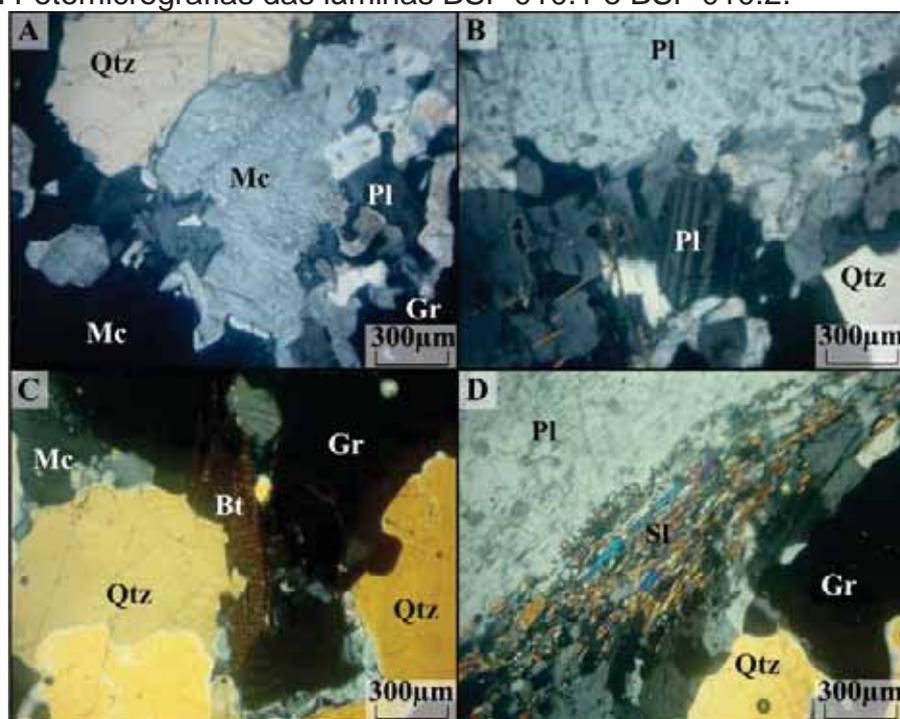
A biotita possui pleocroísmo pardo/marrom claro e marrom escuro e alguns cristais encontram-se cloritizados. Ocorrem sob a forma de lamelas ou palhetas preferencialmente formando concentrações lineares descontínuas de espessuras

submilimétricas.

A granada possui granulação que varia de média a grossa (0,3 a 1 cm) e apresenta cristais estirados e rotacionados em relação à foliação principal. A sillimanita possui granulação fina, hábitos prismático e fibroso, com disposição concordante à orientação das biotitas e granadas.

A figura 37 apresenta as principais feições microscópicas texturais e estruturais destes litotipos.

Figura 37. Fotomicrografias das lâminas BSF 010.1 e BSF 010.2.



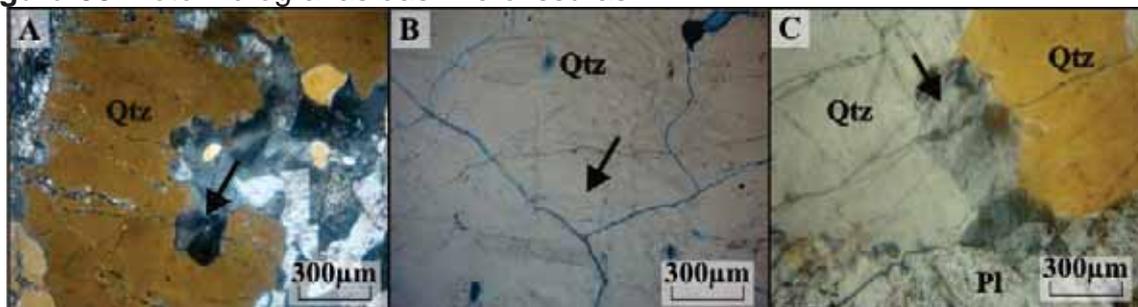
Legenda: Nicóis cruzados. **Qtz)** Quartzo; **Bt)** Biotita; **Pl)** Plagioclásio; **Gr)** Granada; **Mc)** Microclínio; **Sl)** Sillimanita; **A)** Microclínio com maclas deformadas e micropertítico. **B)** Plagioclásio com geminação polissintética. **C)** Cristais de Biotita e Granada. **D)** Sillimanita fibrosa bordejando o plagioclásio. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Quanto ao estado microfissural, para o melhor entendimento e influência das microfissuras, optou-se em confeccionar lâminas tanto na direção perpendicular (e. g. BSF 010.1) quanto na direção paralela (e. g. BSF 010.2) em relação à foliação das amostras.

A lâmina de direção perpendicular (BSF 010.1) possui um índice de microfissuramento mineral cerca de 0,54 mf/mm² com comprimento médio total de 1,15 mm. Foram encontradas com maior representatividade microfissuras intragranulares (0,47 mf/mm² e tamanho médio de 0,91 mm) e em sua maioria

preenchidas. As microfissuras transgranulares são pouco representativas (0,01 mf/mm² e tamanho médio de 0,5 mm) (Figura 38).

Figura 38. Fotomicrografias das microfissuras.



Legenda: Nicóis cruzados. **Qtz)** Quartzo; **Pl)** Plagioclásio; **A)** Microfissuras intragranulares em quartzo preenchidas por plagioclásio. **B)** Microfissuras intragranulares em quartzo não preenchidas. **C)** Microfissura transgranular. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Na lâmina de direção paralela (BSF 010.2), o índice de microfissuramento é dado por cerca de 0,50 mf/mm² e comprimento médio total de 1,15 mm. Sendo as microfissuras intragranulares as mais representativas (0,27 mf/mm² e tamanho médio de 0,88 mm).

As microfissuras intergranulares são pouco representativas (0,004 mf/mm²), ocupando menos de 1% do total encontrado na lâmina.

Os minerais que possuem, em média, maior quantidade de microfissuras são: feldspato potássico (31%), plagioclásio (26%), quartzo (34%) e granada (5%). Quando preenchidas, são por preenchimento de quartzo.

Os contatos minerais identificados são, em sua maioria, lobulados (53%), seguidos por sinuosos (26%) e engrenados (11%), havendo ainda a ocorrência de contatos serrilhados, retilíneos e esgarçados menos representativos.

b) BRANCO MARFIM BSF 273 (granada gnaïsse)

A rocha apresenta composição sienogranítica, estruturação fortemente gnáïssica, caracterizada pela presença de bandas de composição quartzo-feldspática, alternadas com linhas interrompidas e cristais isolados de granada e biotita. Mostra granulação variando de fina à média (0,5 a 20 mm) e orientação definida pela disposição preferencial dos cristais de biotita de coloração preta.

Esta rocha é rica em porfiroclastos centimétricos (até 10 cm) de feldspato potássico perfitico. O quartzo apresenta coloração acinzentada, onde ocorrem

também pequenas orientações de fenocristais de feldspato potássico, com feições de entelamento de cristais retangulares e desvios de trajetória em torno de fenocristais maiores e estrutura fortemente anisotrópica e alto grau de microfissuramento.

Os cristais de granada vermelhos, com granulação variável de fina a grossa (0,2 a 10 cm), mostram distribuição regular na rocha. Alguns cristais de granada estão envoltos por palhetas de biotita (Figura 39).

Através do tingimento das amostras com cobaltonitrito de sódio foi possível observar que a quantidade de feldspatos alcalinos é bem mais elevada que a dos plagioclásios (cerca de duas vezes maior) (Figura 40).

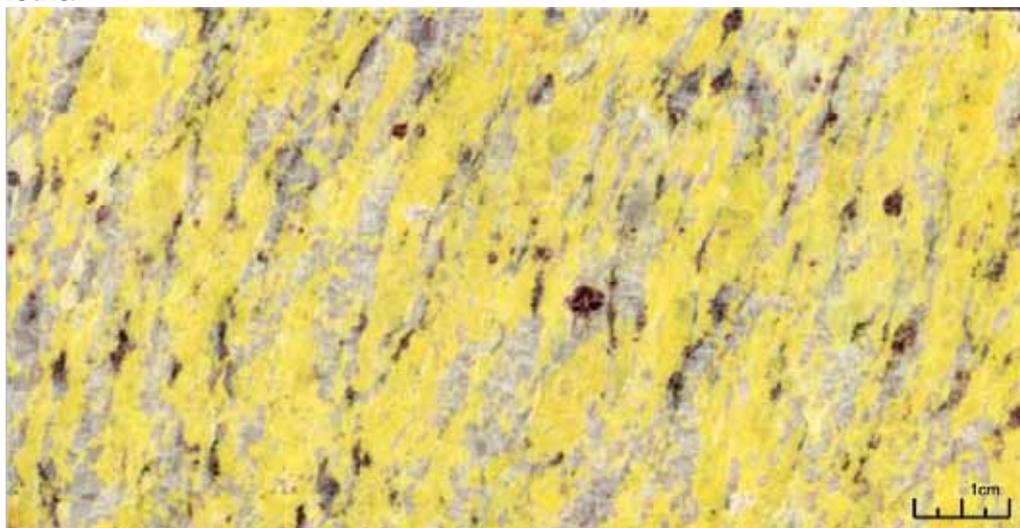
Figura 39. Amostra do material denominado Branco Marfim.



Fonte: Elaborada pelo autor.

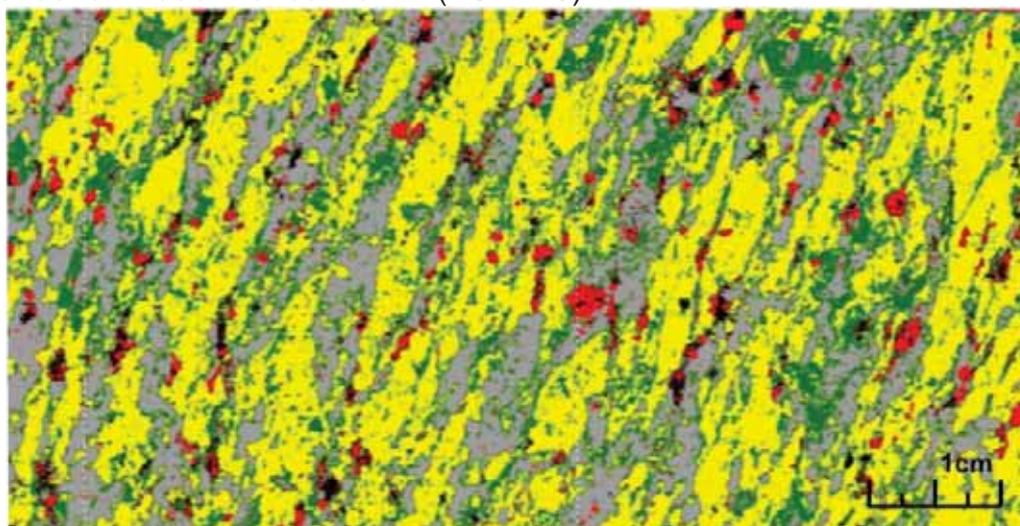
Como método auxiliar de contagem de minerais macroscópica, foi utilizada a classificação supervisionada, cujo método é detalhado no capítulo 4, realizada com o uso do programa ArcGIS 9.3 (Figura 41).

Figura 40. Amostra do material denominado Branco Marfim (BSF 273), atacado por com ácido fluorídrico e tratadas com cobalto-nitrito de sódio no ensaio de calorimetria.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 41. Figura da imagem após a classificação supervisionada de imagem do material denominado Branco Marfim (BSF 273).



Legenda: ■ Granada ■ Felds. Potássico ■ Quartzo ■ Felds. Plagioclásio ■ Outros

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os minerais na média de contagem modal entre a microscópica e macroscópica, estão representados pelas seguintes porcentagens: feldspato potássico (41%), plagioclásio (22%), quartzo (26%), granada (5%), biotita (4%) e sillimanita (2%), além de minerais acessórios como zircão e epidoto (Quadro 10).

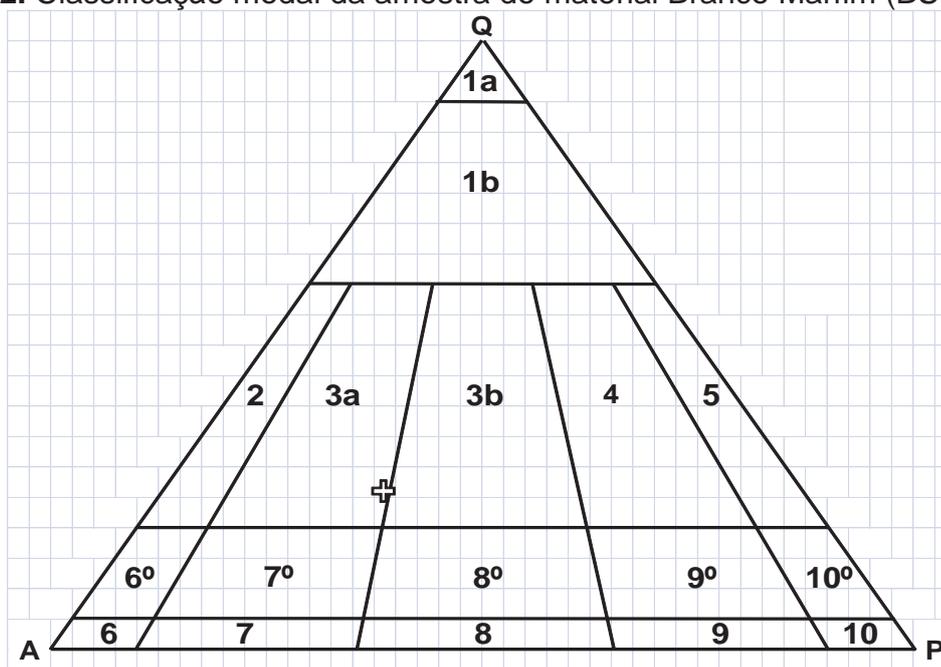
As informações da contagem modal foram lançadas no diagrama QAP (STRECKEISEN, 1976), conforme figura 42 e apresentando composição sienogranítica e designado de granada gnaisse.

Quadro 10. Quadro do resumo petrográfico da amostra Branco Marfim (BSF 273).

Características Petrográficas		Branco Marfim (paralelo)				Branco Marfim (perpendicular)			
Coloração		esbranquiçada				esbranquiçada			
Estrutura		gnáissica				gnáissica			
Textura		granoblástica/lepidoblásticas				granoblástica/lepidoblásticas			
Granulação relativa		Média a Grossa				Média a Grossa			
Mineralogia (%)	Quartzo	26				28			
	Feldspato potássico	41				39			
	Plagioclásio	22				21			
	Biotita	4				5			
	Opacos	1				1			
	Sillimanita	2				2			
	Granada	5				4			
	Apatita	traços				traços			
	Titanita	traços				traços			
	Zircão	traços				traços			
	Sericita	traços				traços			
	Epidoto	traços				traços			
	Carbonatos	traços				traços			
Total máficos (%)		12				12			
Granulação (mm)	Variação	5 a 20				5 a 20			
	Predominância	0,6 a 22				0,8 a 20			
Microfissuras	Total/mm ²	0,37				0,41			
	Quantificação	Quantidade		Medida (mm)		Quantidade		Medida (mm)	
		nP	P	nP	P	nP	P	nP	P
	Intragrão(%)	69,20	28,13	59,57	37,71	82,33	15,66	81,65	15,17
	Intergrão (%)	0,00	2,23	0,00	2,31	0,00	1,20	0,00	2,29
Transgranular(%)	0,45	0,00	0,41	0,00	0,40	0,40	0,48	0,40	
Contato Mineral (%)	Lobulado	59				57			
	Retilíneo	4				4			
	Engrenado	11				11			
	Sinuoso	18				16			
	Serrilhado	6				6			
	Esgarçado	3				4			
Alteração Mineral	Feldspato K	Moderado				Moderado			
	Plagioclásio	Moderado				Moderado			
	Biotita	Moderado				Moderado			
Classificação Petrográfica QAP)		<i>granada gnaïsse (sienogranito)</i>							

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 42. Classificação modal da amostra do material Branco Marfim (BSF 273).



Legenda: Classificação modal no diagrama QAP no campo do sienogranito. Divisões internas segundo recomendações IUGS. **Fonte:** Streckeisen (1976).

Ao microscópio os megacristais de plagioclásio e feldspato potássico (~20 mm), com poucos cristais apresentando faces retilíneas, mas também margens côncavas em contato com mimerquita, mostrando inclusões de minerais como quartzo, biotita, sillimanita e opacos. O feldspato potássico apresenta granulação entre média e grossa, forma anédrica a subédrica e inclusões de quartzo, biotita e minerais opacos, além de um baixo grau de sericitização e intercrescimento pertítico.

O feldspato potássico matricial mostra por vezes, geminação do tipo tartana, que indica a estrutura do microclínio, à semelhança do que ocorre com os megacristais, embora estes exibam uma tartana grosseira, além de poder estar combinada com macla tipo Carlsbad. São observados também cristais pertíticos e micropertíticos, não muito alterados com geminação também desenvolvida.

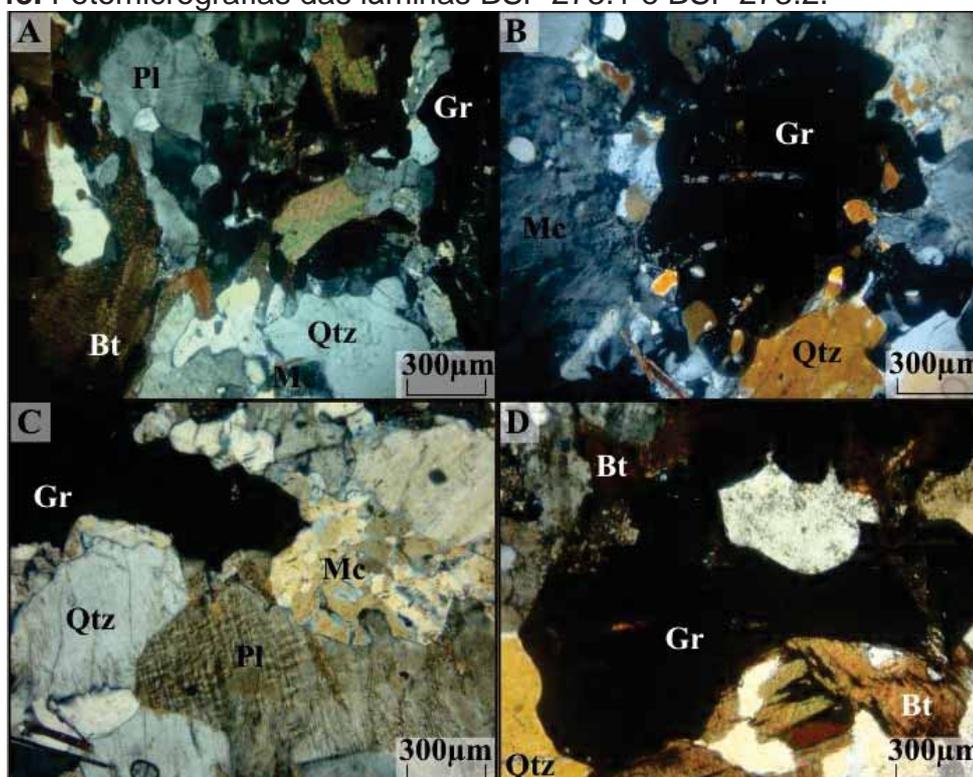
O plagioclásio tanto na forma de megacristais quanto em sua matriz exhibe características tabulares e geminação Albita-Carlsbad, e na matriz em cristais anédricos a subédricos e apresentam geminação Albita, ocorrendo também em forma de inclusão no feldspato potássico, além de estar fortemente saussuritizado podendo chegar a carbonato. Alguns cristais apresentam intercrescimento antipertítico. São observadas mimerquitas com intercrescimento de quartzo vermicular e plagioclásio.

O quartzo, cujo principal modo de ocorrência dá-se na matriz, ocorre ao lado

dos feldspatos, biotita e outros minerais e, por vezes, exibe massa de granulação grosseira. A biotita ocorre em palhetas bem cristalizadas em tamanho inferior aos dos demais minerais, exibindo absorção parda que pode chegar à bem forte e às vezes em variado estado de alteração para clorita, assim como, a presença de cristais que apresentam seus núcleos de anfibólio.

A granada (0,2 a 1 cm) apresenta inúmeras inclusões de minerais opacos que estão, muitas vezes, orientadas e dobradas. Por vezes possui microfissuras preenchidas por sericita. A sillimanita possui granulação fina, hábitos prismático e fibroso. Os minerais acessórios e secundários são sericita, zircão, apatita, clorita e opacos. Ao microscópio observa-se também uma incipiente e descontínua xistosidade desenvolvida pela biotita, poiquiloblastos de granada com sillimanita prismática e/ou fibrosa tal como feldspato ou quartzo. Muitas vezes esta foliação envolve os porfiroclastos de feldspato gerando a textura do tipo *augen* (feldspatos ocelares), sendo típica também na amostra de mão ou afloramento. Na figura 43 apresenta feições microscópicas texturais e estruturais destes litotipos.

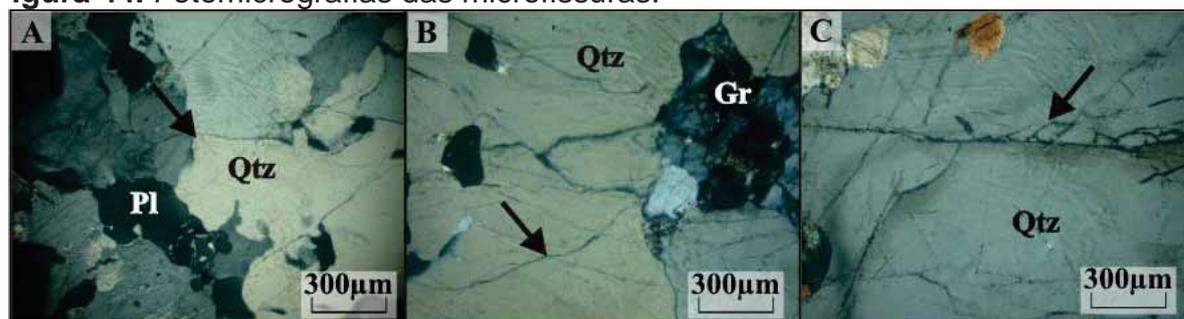
Figura 43. Fotomicrografias das lâminas BSF 273.1 e BSF 273.2.



Legenda: Nicóis cruzados. **Qtz)** Quartzo; **Bt)** Biotita; **Pl)** Plagioclásio; **Gr)** Granada; **Mc)** Microclínio; **A)** Microclínio com geminação cruzada e biotita alterando para clorita. **B)** Granada com inclusões de biotita e sillimanita. **C)** Cristais de plagioclásio com intercrescimento de quartzo vermicular e microclínio micropertítico. **D)** Granada com inclusões de biotita e cristais de biotita alterando para clorita. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

No estado microfissural, para o melhor entendimento, como já dito anteriormente, foram confeccionadas lâmina tanto na direção perpendicular (BSF 273.1), quanto na direção paralela (BSF 273.2) em relação à foliação das amostras. A lâmina BSF 273.1 possui um índice de microfissuramento mineral com cerca de 0,41 mf/mm² e comprimento médio total de 1,00 mm. Foram encontrados os três tipos de microfissuras, sendo as intragranulares as de maior representatividade (com 0,40 mf/mm² e tamanho médio de 0,99 mm) e em sua maioria não preenchidas. As microfissuras intergranulares (0,005 mf/mm²) e transgranulares 0,004 mf/mm²) são pouco representativas (1% do total da lâmina). Na lâmina BSF 273.2, o índice de microfissuramento é dado por cerca de 0,37 mf/mm² e comprimento médio total de 0,92 mm, sendo as microfissuras intragranulares as de maior representatividade (com 0,36 mf/mm² e tamanho médio de 1,08 mm) (Figura 44).

Figura 44. Fotomicrografias das microfissuras.



Legenda: Nicóis cruzados. **Qtz)** Quartzo; **Pl)** Plagioclásio; **Gr)** Granada; **A)** Microfissuras intergranulares em quartzo não preenchidas. **B)** Microfissuras intragranulares em quartzo não preenchidas. **C)** Microfissuras intragranulares em quartzo preenchidas. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os minerais que possuem maior quantidade, em média, de microfissuras são: feldspato potássico (31%), feldspato plagioclásio (11%), quartzo (37%) e granada (15%). Quando preenchidas, são principalmente por quartzo nos feldspatos, porém sem muita expressão. Os contatos minerais identificados são, em sua maioria, lobulados (59%), seguidos por (18%) sinuoso, engrenado (11%), há ainda a ocorrência de contatos serrilhados, retilíneos e esgarçados menos representativos.

c) BRANCO DALLAS BSF 081 (granada gnaïsse)

Rocha com composição sienogranítica e estruturação gnáïssica, caracterizada pela presença de bandas de composições quartzo-feldspáticas,

alternadas com linhas interrompidas e cristais isolados de biotita e granada (figura 45). A rocha apresenta granulação variando de média a grossa (0,3 a 2,6 cm) e textura granoblástica, sendo de composição QAP granítica.

Os máficos presentes (~19% do volume total da rocha) são: granada, biotita e opacos. O feldspato potássico apresenta granulação média (até 8 cm) e intercrescimento perítico e micropertítico em praticamente todos os grãos e possui forma anédrica.

Figura 45. Figura da amostra do material denominado Branco Dallas

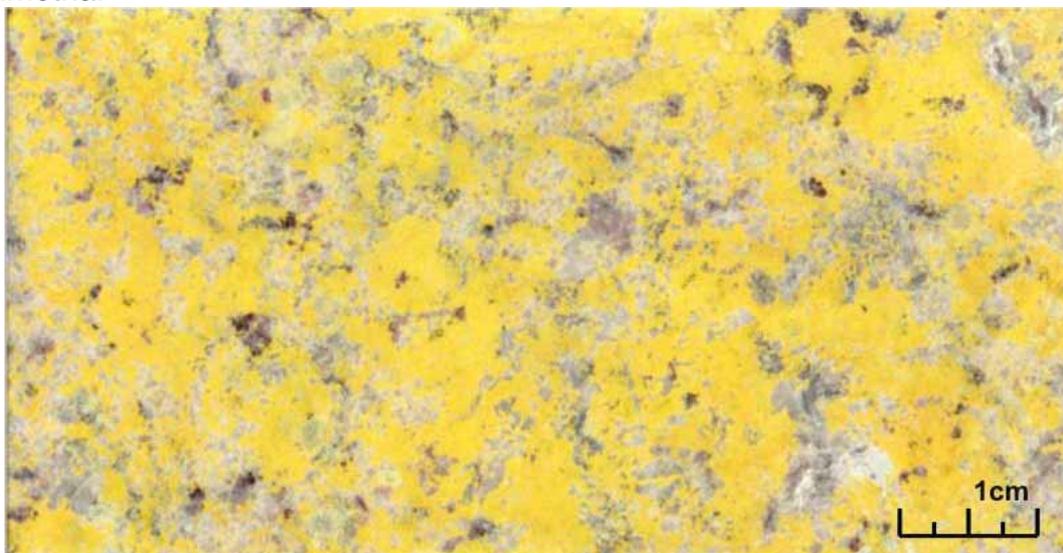


Fonte: Elaborada pelo autor.

Através do tingimento das amostras com cobaltonitrito de sódio e foi possível observar que a quantidade de feldspatos alcalinos é bem mais elevada que a dos plagioclásios, cerca de duas vezes maior (Figura 46).

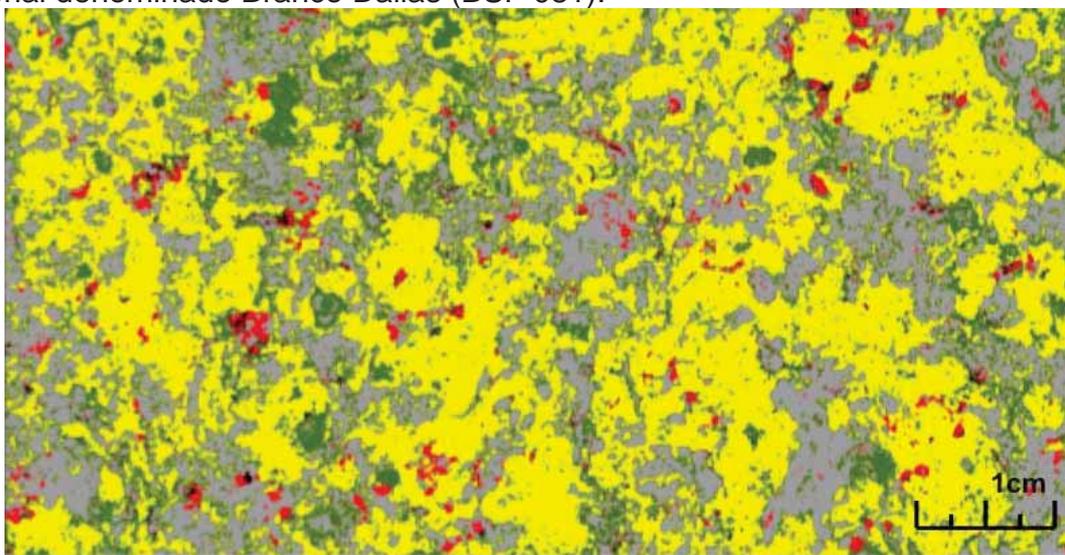
Como método auxiliar de contagem de minerais macroscópica, foi utilizada a classificação supervisionada, cujo o método é detalhado no capítulo 4, realizada com o uso do programa ArcGIS 9.3 (Figura 47).

Figura 46. Figura da amostra do material denominado Branco Dallas (BSF 081), atacado por com ácido fluorídrico e tratadas com cobaltonitrito de sódio no ensaio de colorimetria.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 47. Figura da imagem após a classificação supervisionada de imagem do material denominado Branco Dallas (BSF 081).



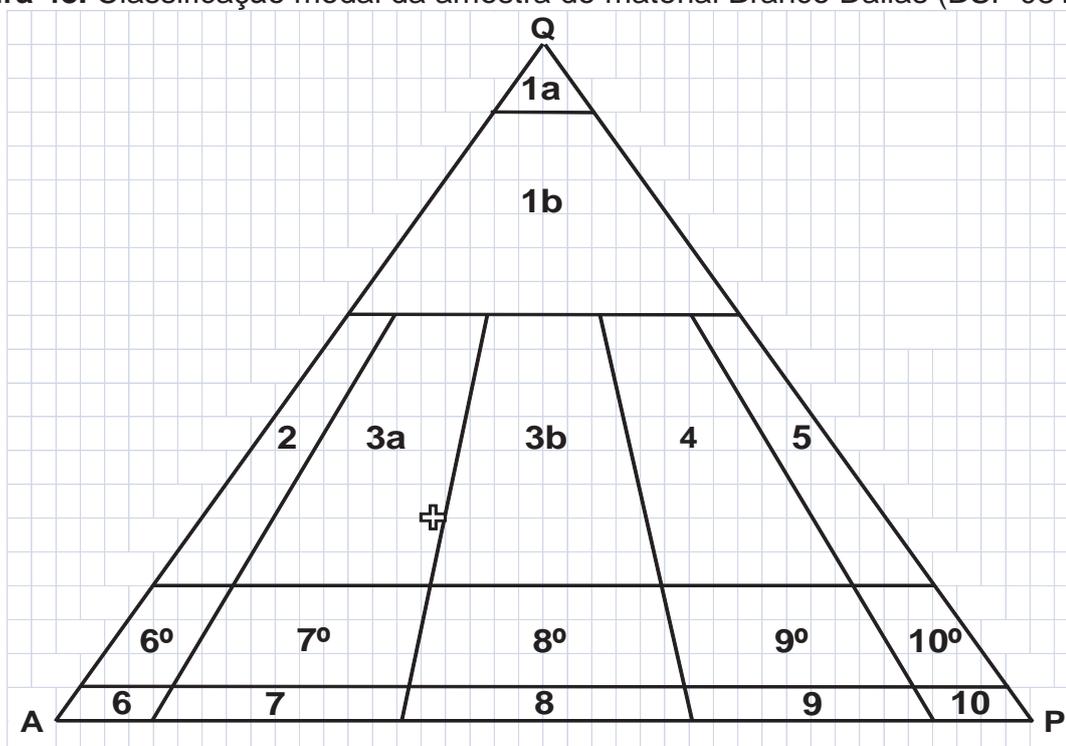
Legenda: ■ Granada ■ Felds. Potássico ■ Quartzo ■ Felds. Plagioclásio ■ Outros

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os minerais na média de contagem modal entre a microscópica e macroscópica revelou as seguintes porcentagens: 37% de feldspato potássico, 19% de feldspato plagioclásio, 26% quartzo, 5% biotita, 8% granada, 4% sillimanita e 1% minerais acessórios como apatita e sericita (Quadro 11). Com isso, foi lançado as informações quantitativas minerais no diagrama QAP (STRECKEISEN, 1976) na

figura 48 e a e apresentando composição sienogranítica e designado de granada gnaisse.

Figura 48. Classificação modal da amostra do material Branco Dallas (BSF 081).



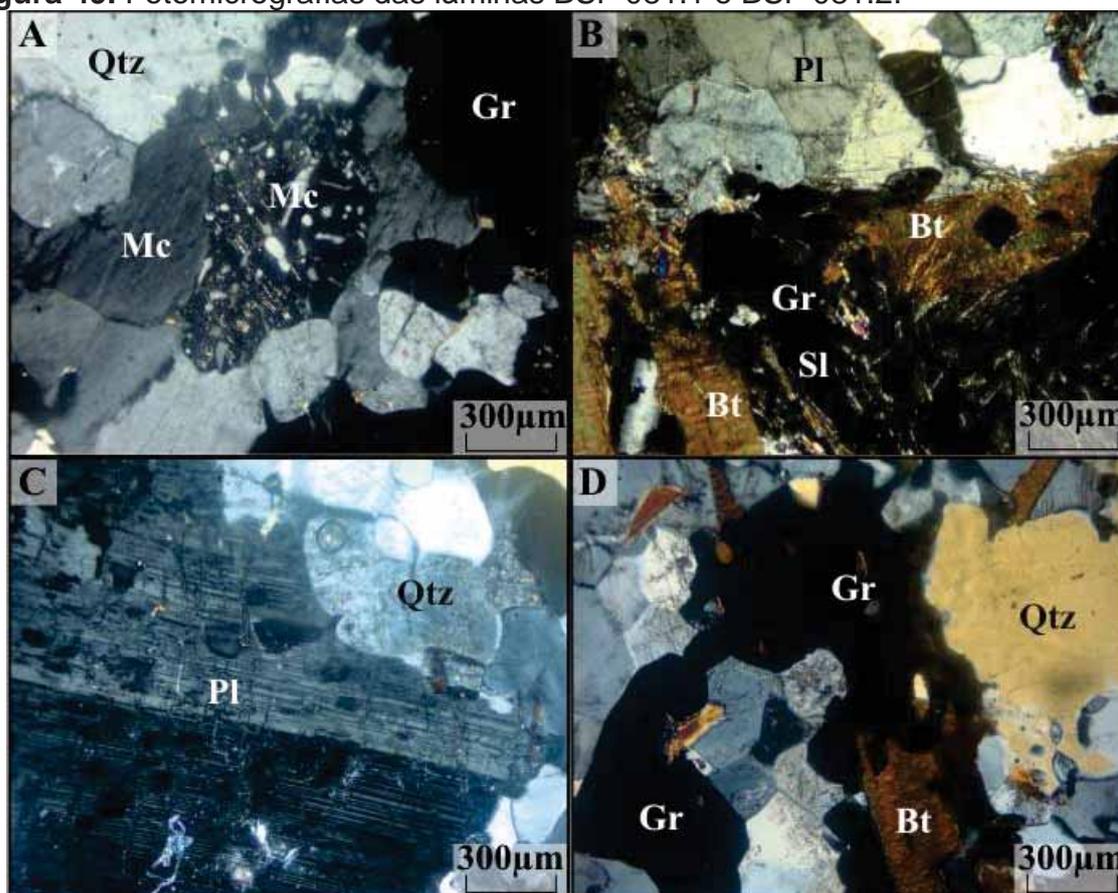
Legenda: Classificação modal no diagrama QAP no campo do sienogranito. Divisões internas segundo recomendações IUGS. **Fonte:** Streckeisen (1976).

Ao microscópico a foliação é desenhada pela biotita e bandas de material félsico (tal como feldspato ou quartzo), sendo discreta, e recebendo a denominação de grossa, onde se observam feições oclares, que são típicas nas amostras de mão (Figura 49).

As principais inclusões principalmente nos feldspatos são de quartzo e de poucos cristais anédricos de plagioclásio que possuem baixos graus de sericitização. O plagioclásio também ocorre sob a forma de cristais relativamente grandes (até 8 cm) em contato com os principais minerais da rocha, apresentando granulação média a grossa e forma anédrica. Possui baixo grau de saussuritização e de intercrescimento anti-pertítico e mirmequítico.

O feldspato potássico é o mineral predominante, com dimensões variáveis, desde alguns milímetros até centímetros (até 8 cm) de comprimento, com megacristais oclares. Apresenta orientação definida pela disposição preferencial das palhetas de biotita.

Figura 49. Fotomicrografias das lâminas BSF 081.1 e BSF 081.2.



Legenda: Nicóis cruzados. **Qtz)** Quartzo; **Bt)** Biotita; **Pl)** Plagioclásio; **Gr)** Granada; **Mc)** Microclínio; **Sl)** Sillimanita; **A)** Microclínio com maclas deformadas e microperítico. **B)** Cristais de granada e biotita com inclusões de sillimanita e biotita cloritizando. **C)** Cristal de plagioclásio com lamelas de antiperítica. **D)** Cristais de granada com inclusões de quartzo e biotita. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os cristais de quartzo são anedrais com extinção ondulante, com diâmetros variados (0,3 a 2,5 cm), ocorrem em forma de grãos na maioria microfissurados, arredondados, subordinadamente como inclusões em cristais de plagioclásio e feldspato potássico e, por vezes, exibem massa de granulação grossa. Apresentam-se em cristais xenomórficos irregulares. A biotita e a sillimanita (inclusões na granada, plagioclásio, etc.) estão presentes de modo subordinado.

A granada apresenta granulação grossa (0,2 a 0,8 cm), forma anédrica e inclusão de quartzo, zircão e fibrolita. A fibrolita ocorre também associada aos feldspatos e à biotita. Um fato marcante é a presença de granadas com inclusões de fibrolita dobrada, formando uma textura do tipo “*snow ball*”. Apatita, zircão, carbonato e outros acessórios secundários mostram ocorrência discreta.

A biotita predomina sobre a granada e de um modo geral, forma filmes que contornam os cristais de feldspato.

A sillimanita ocorre em agregados de cristais aciculares geralmente

associados às granadas.

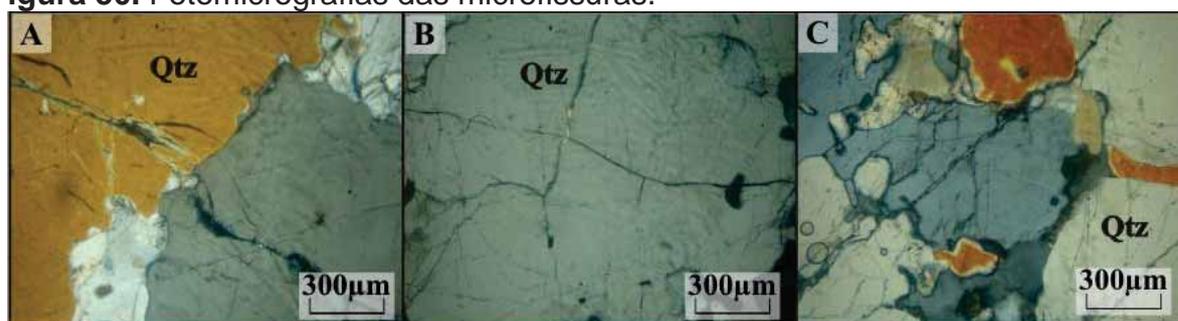
Para identificação de seu estado microfissural foi realizado o mesmo procedimento adotado para as outras amostras, identificando as lâminas como BSF 081.1 (direção perpendicular) e BSF 081.2 (direção paralela). Assim, a lâmina de direção perpendicular (BSF 081.1) possui um índice de microfissuramento mineral com cerca de 0,73 mf/mm² e comprimento médio total de 0,98 mm.

Foram encontrados os três tipos de microfissuras, sendo as intragranulares com maior representatividade (0,70 mf/mm² e tamanho médio de 1,00 mm) e em sua maioria não preenchidas por quartzo e feldspato potássico.

As microfissuras intergranulares (0,01 mf/mm²) e transgranulares (0,01 mf/mm²) são pouco representativas, perfazendo menos de 1% do total encontrado na lâmina. Na lâmina de direção paralela (BSF 081.2), o índice de microfissuramento é dado por cerca de 0,62 mf/mm² e comprimento médio total de 1,11 mm, sendo as microfissuras intragranulares mais representativas (0,55 mf/mm² e tamanho médio de 0,89 mm), e as não preenchidas são pouco representativas.

Os minerais que possuem maior quantidade, em média, de microfissuras são: feldspato potássico (14%), plagioclásio (23%), quartzo (34%), biotita (11%), sillimanita (6%) e granada (9%). Quando preenchidas, são por preenchimento de quartzo nas granadas e feldspato, porém não são muito expressivos (Figura 50).

Figura 50. Fotomicrografias das microfissuras.



Legenda: Nicóis cruzados. **Qtz)** Quartzo; **A)** Microfissuras intergranulares em quartzo preenchidas. **B)** Microfissuras intragranulares em quartzo não preenchidas. **C)** Microfissura transgranular. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os contatos minerais identificados são, em sua maioria, lobulados (47%), seguidos por (24%) sinuoso e engrenado (13%), há ainda a ocorrência de contatos serrilhados, retilíneos e esgarçados menos representativos. Segue no quadro 11, uma síntese das informações das lâminas estudadas dessa amostragem.

Quadro 11. Quadro do resumo petrográfico da amostra Branco Dallas (BSF 081).

Características Petrográficas		Branco Dallas (paralelo)		Branco Dallas (perpendicular)					
Coloração		esbranquiçada		esbranquiçada					
Estrutura		gnáissica		gnáissica					
Textura		hipidiomórfica granular		hipidiomórfica granular					
Granulação relativa		Média a Grossa		Média a Grossa					
Mineralogia (%)	Quartzo	26		25					
	Feldspato potássico	37		39					
	Plagioclásio	19		20					
	Biotita	5		5					
	Opacos	1		1					
	Sillimanita	4		4					
	Granada	8		6					
	Apatita	traços		traços					
	Titanita	traços		traços					
	Zircão	traços		traços					
	Sericita	traços		traços					
	Epidoto	traços		traços					
Carbonatos	traços		traços						
Total máficos (%)		19		16					
Granulação (mm)	Variação	0,3 a 26		0,3 a 26					
	Predominância	0,6 a 20		0,6 a 20					
Microfissuras	Total/mm ²	0,62		0,73					
	Quantificação	Quantidade		Medida (mm)		Quantidade		Medida (mm)	
		nP	P	nP	P	nP	P	nP	P
	Intragrão(%)	88,76	10,06	82,72	14,98	85,50	11,50	79,03	15,68
	Intergrão (%)	0,59	0,59	1,31	0,99	1,00	0,50	1,22	0,88
	Transgranular(%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,22	1,96
Contato Mineral (%)	Lobulado	47		42					
	Retilíneo	7		7					
	Engrenado	13		13					
	Sinuoso	24		21					
	Serrilhado	1		1					
	Esgarçado	7		8					
Alteração Mineral	Feldspato K	Incipiente		Incipiente					
	Plagioclásio	Moderado		Moderado					
	Biotita	--		--					
Classificação Petrográfica (QAP)		<i>granada gnaïsse (sienogranito)</i>							

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.3. DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE, POROSIDADE APARENTE E ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para o melhor entendimento dos parâmetros estudados nos índices físicos e seus fatores de influência optou-se por elaborar uma tabela (Tabela 3) mostrando e

classificando seus índices, sendo os quadros preenchidos de vermelho os maiores valores obtidos entre as amostras estudadas, os quadros de cor amarela apresentam os valores intermediários e os de cores verdes os menores valores dos índices.

Com base nos resultados obtidos foi realizada uma comparação com os valores sugeridos pela ABNT (2010), ASTM C615 (1992) e Frazão e Farjallat (1995), que ajuda a qualificar os materiais para a aplicação como rocha ornamental, como será discutido a seguir.

As amostras *Giallo* são Francisco Real e Branco Dallas apresentaram porcentagens de porosidade e absorção de água inferiores às sugeridas como limite, ou seja, menores que 1,0% para porosidade e de 0,4% para absorção de água, e a amostra Branco Marfim apresentou valores superiores, entre 1,34 a 1,08% de porosidade respectivamente e 0,53 a 0,41% de absorção de água respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo dos resultados da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água.

Amostra	<i>Giallo</i> São Francisco Real	Branco Dallas	Branco Marfim
Densidade aparente (kg/m ³)	2636	2632	2631
Porosidade %	0,71	0,65	1,08
Abs. d'água %	0,27	0,25	0,41

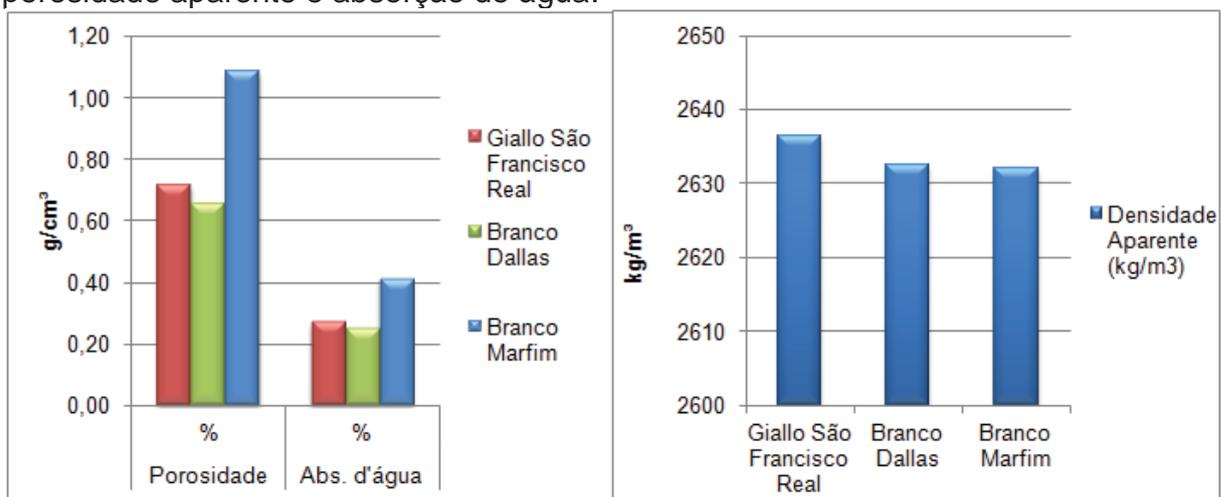
Legenda: Cor vermelha – maiores valores. Cor amarela – valores intermediários. Cor verde – menores valores. **Fonte:** Elaborado pelo autor.

No tocante à densidade os três conjuntos de rochas analisadas apresenta valores superiores à média das rochas brasileiras, conforme os sugeridos pelas normas ABNT 15844 (2010), ASTM C615 (1992) e por Frazão e Farjallat (1995) de 2.550 kg/m³ (Figura 51).

De forma geral, observa-se que as três variedades litológicas apresentam uma boa correlação entre as características de absorção de água e porosidade aparente.

O mesmo não ocorre com a densidade aparente, pois apresentam valores muito próximos entre si dificultando sua correlação com outros dados.

Figura 51. Gráficos demonstrativos dos resultados da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sendo assim, o material Branco Marfim apresenta coerentemente os maiores valores de porosidade (1,08%) e absorção de água (0,41%), justificados pelo seu maior índice de anisotropia, heterogeneidade textural dada por granulação grossa e por vezes estiradas (textura lepidoblástica) e o alto grau de microfissuramento.

O tipo petrográfico Branco Dallas apresentou 0,65% de porosidade aparente e 0,25% de absorção de água. É a variedade litológica com melhor desempenho dentre as rochas estudadas, o que se explica através de suas características petrográficas inerentes. Trata-se de um material menos anisotrópico, de granulação grossa e, mesmo assim, com baixo grau de microfissuramento, além do bom engrenamento mineral.

O material *Giallo* São Francisco Real, por sua vez, apresenta índices de porosidade (0,71%) e absorção de água (0,27%), intermediários aos materiais anteriores. Seus aspectos petrográficos como: textura granoblástica inequigranular com granulação média a média-grossa, com megacristais de feldspato potássico, menor grau de microfissuramento preenchido, justificam seu desempenho tecnológico principalmente pelo fato de suas microfissuras estarem em maior parte preenchidas por material filossilicático.

Concluiu-se então que, dentre as três amostras estudadas, a textura e a quantidade de microfissuras demonstram ser os índices mais importantes na análise dos resultados de índices físicos, não menosprezando os outros índices (contato mineral, e granulação, e. g.) que intrinsecamente estão interligados, porém esses índices irão auxiliar no entendimento dos resultados dos outros ensaios realizados.

5.1.4. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL

A resistência à compressão uniaxial foi testada nos três tipos de materiais selecionados e estudados, nas condições seca e saturada e em dois planos perpendiculares entre si, um paralelo à estrutura (foliação ou corrida) e outro ortogonal a esta.

Os resultados médios das resistências à compressão uniaxial obtidas para os três materiais encontram-se relacionados na tabela 4 e representados na figura 52.

Tabela 4. Resultados dos ensaios de compressão uniaxial.

Compressão Uniaxial (MPa)				
Amostra	Natural			
	Seco		Saturado	
	Paralelo	Normal	Paralelo	Normal
<i>Giallo São Francisco Real</i>	128,01	117,32	111,49	90,33
Branco Dallas	124,99	104,45	114,65	98,27
Branco Marfim	105,35	96,30	91,29	98,05

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com relação à resistência à compressão uniaxial das rochas estudadas, quase todas se apresentaram dentro dos valores sugeridos como limites por Frazão & Farjallat (1995) e ABNT NBR 15844 (2010).

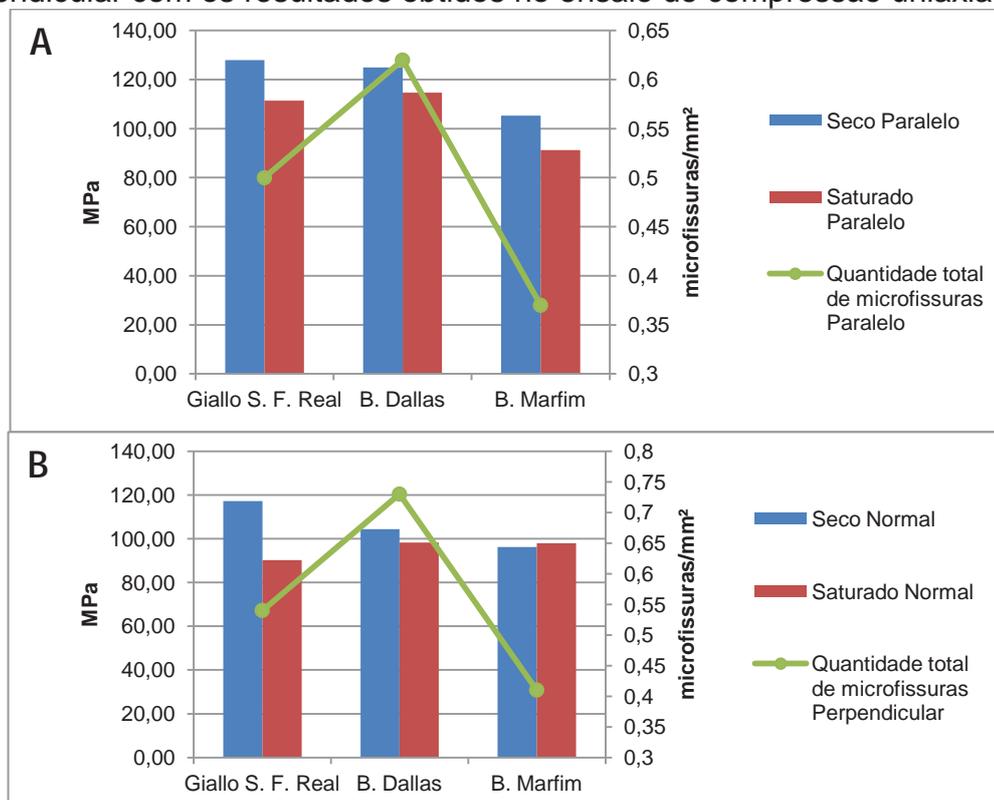
Com exceção das amostras referentes ao material Branco Marfim. Porém, admitindo-se o valor fixado pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 1992) que determina para este ensaio o limite maior ou igual a 131,0 MPa, verifica-se que nenhuma amostra alcançou os valores sugeridos.

Quanto às condições seca e saturada (Figura 52), as amostras apresentaram, em seu estado saturado, os menores valores de resistência.

Fato explicado pela existência de uma diminuição de energia sobre a superfície entre os grãos que as constituem e em função de modificações das ligações entre esses grãos produzidas por uma distribuição da pressão nos poros não drenados, que também foi refletida pelo enfraquecimento hidráulico. A exceção ficou para o Branco Marfim, em sua condição saturada perpendicular, que apresentou os valores inversos, apesar de seu menor grau de microfissuramento, a amostra possui um bom imbricamento mineral e incipiente alteração mineral e é detentor de marcante estrutura gnáissica planar dada por evidente estiramento

mineral que leva ao desenvolvimento de planos que representam discontinuidades físicas no meio sólido (Figura 53).

Figura 52. Comparação dos teores de microfissuras medidos nas direções paralela e perpendicular com os resultados obtidos no ensaio de compressão uniaxial.

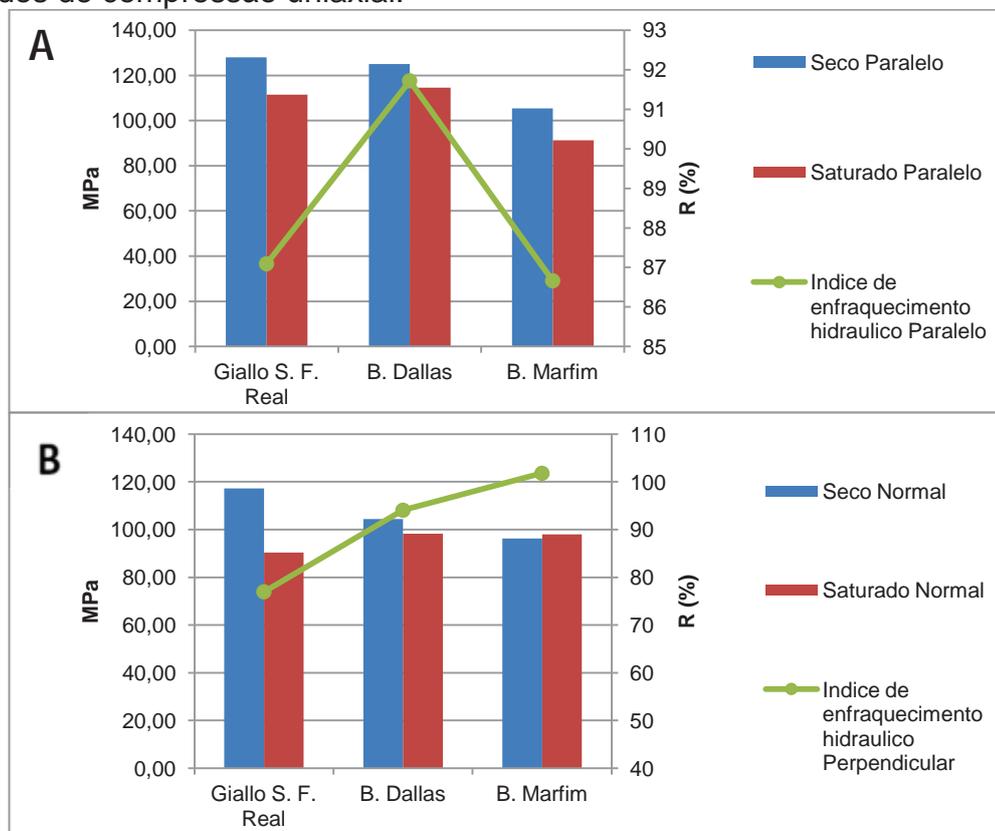


Legenda: (A) Quantidade de microfissuras paralelo *versus* resultados da compressão uniaxial na direção paralela. (B) Quantidade de microfissuras perpendicular *versus* resultados da compressão uniaxial na direção perpendicular. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

O *Giallo* São Francisco Real foi o detentor da maior resistência à compressão uniaxial (128 MPa) e se diferencia dos demais por representar um material com menor presença as feições lepidoblásticas, com bom engrenamento mineral, apesar de sua granulação média a grossa e seu baixo teor de máficos.

Já ao comparar os materiais entre si, somente na condição saturada, notamos que se exprime quase a mesma relação das amostras na condição seca, porém os valores apresentados pela amostra *Giallo* São Francisco Real, sofrem uma diminuição de resistência, quando comparada aos outros dois materiais, isso acontece justamente por ser a amostra que apresentou também os maiores valores de densidade (2636,41 kg/m³), fazendo com que a água não interferisse tanto no resultado do ensaio, como também por apresentar o menor índice de enfraquecimento hidráulico (Tabela 5).

Figura 53. Correlação entre o Índice de enfraquecimento hidráulico medido com os resultados de compressão uniaxial.



Legenda: (A) Índice de enfraquecimento hidráulico paralelo *versus* resultados da compressão uniaxial na direção paralela. (B) Quantidade de microfissuras perpendicular *versus* resultados da compressão uniaxial na direção perpendicular. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

O material Branco Dallas apresentou os valores intermediários (média de 110 MPa), não muito diferente do material *Giallo* São Francisco Real e o que levou à redução de sua resistência foi seu alto grau de microfissuramento (relacionado aos feldspatos potássicos) e seu alto teor de máficos.

A amostra Branco Marfim, apresentou os menores valores médios de resistência (97,75 MPa), pois a amostra é detentora de uma marcante estrutura gnáissica planar dada por evidente estiramento mineral e um acentuado nível de microfissuramento, comprovado pela alta porosidade aparente e absorção de água.

Contudo, quando realizamos uma comparação entre os valores médios de todas as amostras estudadas do ensaio de compressão uniaxial e a influência do enfraquecimento hidráulico, notamos que todos os índices de enfraquecimento hidráulico (R) apresentam valores próximos de 100%, que indica que esta rocha tem um comportamento relativamente semelhante neste parâmetro, tanto a seco quanto após a saturação (Tabela 5).

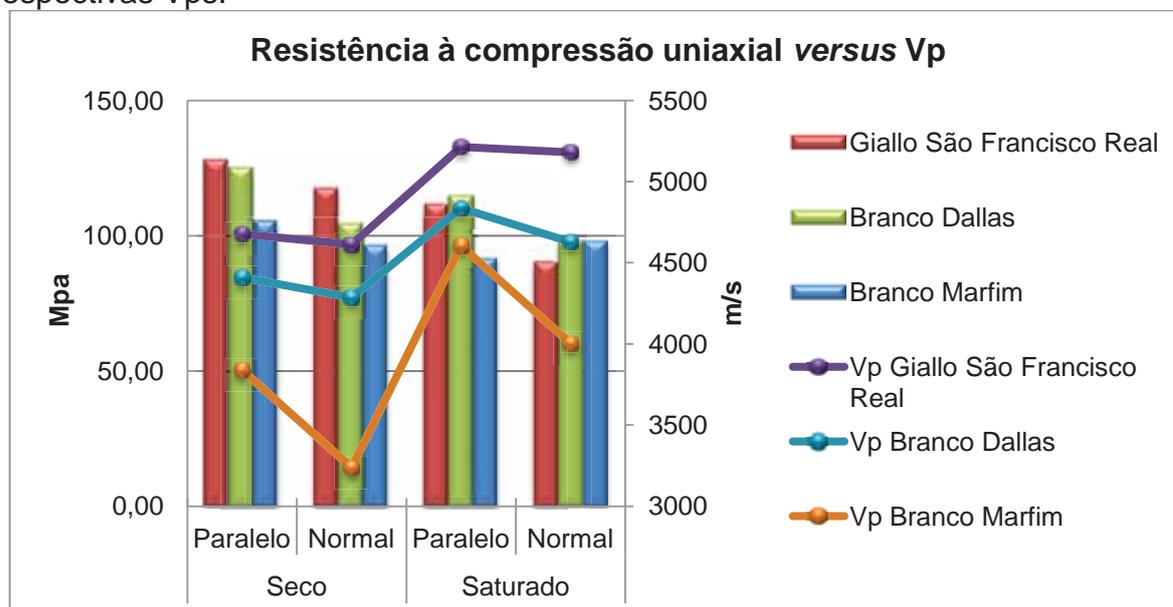
Tabela 5. Índice de enfraquecimento hidráulico na resistência à compressão uniaxial.

Índice de enfraquecimento hidráulico							
Amostra	Seco		Saturado		R (%)		R (%)*
	Paralelo	Normal	Paralelo	Normal	Paralelo	Normal	
<i>Giallo São Francisco Real</i>	128,01	117,32	111,49	90,33	87,09	76,99	82,04
Branco Dallas	124,99	104,45	114,65	98,27	91,72	94,08	92,9
Branco Marfim	105,35	96,3	91,29	98,05	86,66	101,82	94,24

Legenda: (*) Média entre o paralelo e o perpendicular. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Quando correlacionamos este ensaio aos valores obtidos na Vp (Figura 54), podemos constatar que, apesar da grande similaridade, as relações destas velocidades com os índices de compressão uniaxial nem sempre se mostram diretamente ligadas, principalmente para as rochas em condições saturadas. Isto evidencia a existência de outros parâmetros influenciando nos resultados obtidos que devem ser considerados, como por exemplo: seu grau de microfissuramento, porosidade aparente, absorção de água e sua estrutura gnáissica.

Figura 54 Correlação dos resultados obtidos no ensaio de compressão uniaxial com respectivas Vps.



Fonte: Elaborada pelo autor.

As diferenças encontradas entre as direções de foliação, tanto paralela, quanto perpendicular, se explicam pelo fato dessas rochas apresentarem indícios de descontinuidades característicos de rochas anisotrópicas, bem como estruturas de foliação e microfissuramento mineral perpendiculares ao plano de foliação principal da amostra, além de apresentarem mais de uma direção de foliação que se

interceptam, justificando assim a menor velocidade de propagação das ondas ultrassônicas nessa direção, em algumas amostras, ou seja, as amostras em condições paralelas apresentaram os maiores valores em relação à direção perpendicular à foliação.

Verifica-se que a V_p nas amostras secas é menor do que em amostras saturadas, pois o módulo de compressão é muito maior no meio saturado, enquanto que o módulo de cisalhamento é constante.

A amostra *Giallo* São Francisco Real apresentou a maior velocidade de propagação de ondas registrada devido ao seu maior índice de densidade, porém há uma diferença: enquanto os valores de V_p aumentaram na condição saturada tanto na direção perpendicular quanto na paralela (como deveria ter acontecido), os valores de compressão uniaxial diminuíram. Isto implica em um aumento de seu índice de enfraquecimento hidráulico, fator relevante para a explicação dos baixos resultados de compressão uniaxial.

A amostra Branco Dallas mostrou bastante coerência entre os valores de compressão uniaxial (média de 110 MPa) e de V_p (média de 4411 m/s), onde apresentou os valores intermediários de resistência a compressão uniaxial e intermediários para V_p .

Na amostra Branco Marfim os valores mantiveram-se constantes em quase todas as condições destes ensaios. Todavia, na condição saturada e paralela houve uma inversão de valores, sendo que enquanto os valores de V_p aumentaram, os valores de Compressão uniaxial diminuíram.

Isso também foi identificado pelo maior índice de enfraquecimento hidráulico para esta mesma amostra, indicando que a influência da água é muito pequena pois a rocha possui alto teor de microfissuras preenchidas, fazendo com que o preenchimento dessas microfissuras, no estado saturado aumente a força de distribuição de pressão em relação a força de compressão suportada.

5.1.5. RESISTÊNCIA AO CONGELAMENTO E DEGELO CONJUGADO A COMPRESSÃO UNIAXIAL

Os valores médios obtidos para o ensaio de congelamento e degelo (gd) conjugado à compressão uniaxial e outros relacionados a este ensaio, estão relacionados na tabela 6 e na figura 55.

Em relação às amostras do ensaio de compressão uniaxial simples, observa-se um aumento na resistência, indicando a pouca influência da variação de temperatura na resistência dos mesmos, isso pode estar relacionado ao nível de microfissuras encontrados nas amostras que em sua maioria estão preenchidas.

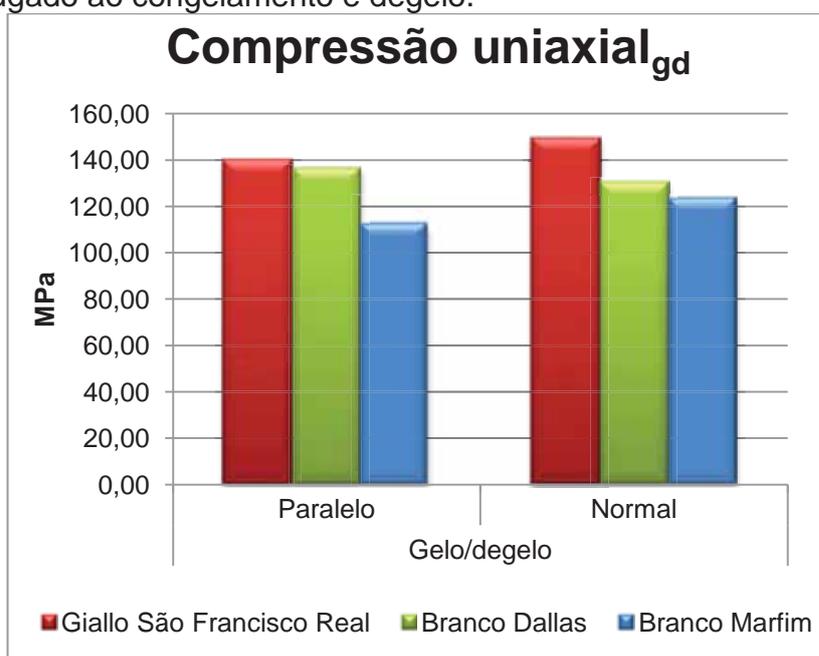
Tabela 6. Resultados médios obtidos no ensaio de resistência à compressão uniaxial conjugado ao congelamento e degelo.

Compressão Uniaxial conjugado ao congelamento e degelo (MPa)				
Amostra	Gelo/degelo		Índice de enfraquecimento K	
	Paralelo	Normal	Paralelo	Normal
<i>Giallo São Francisco Real</i>	140,11	149,67	1,09	1,28
Branco Dallas	136,44	130,74	1,09	1,25
Branco Marfim	112,46	123,44	1,07	1,28

Fonte: Elaborada pelo autor.

Em relação à resistência do ensaio de compressão uniaxial após congelamento/degelo todas as amostras estudadas se apresentaram dentro dos valores sugeridos como limites por Frazão & Farjallat (1995) e ABNT NBR 15844 (2010) de ser maior ou igual a 100,0 MPa, inclusive admitindo-se o valor fixado pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 1992) que determina para este ensaio o limite maior ou igual a 131,0 MPa, com exceção da amostra Branco Marfim.

Figura 55. Representação gráfica dos resultados obtidos no ensaio de compressão uniaxial conjugado ao congelamento e degelo.



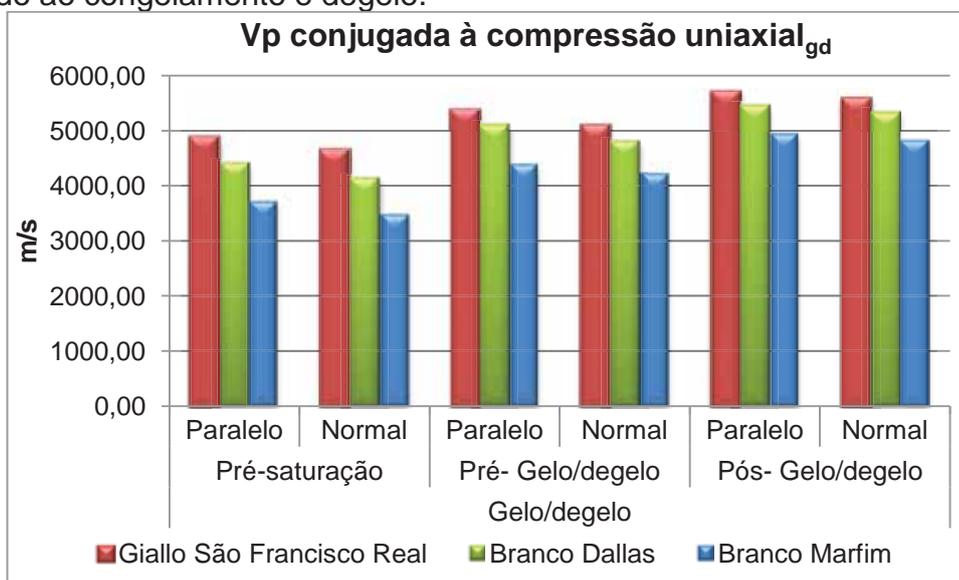
Fonte: Elaborada pelo autor.

Todas as amostras estudadas apresentaram um aumento da resistência após a ciclagem, tendo coeficiente de enfraquecimento superior a 1, o que significa que a integridade física de todas as amostras foram mantidas após os 25 ciclos de congelamento e degelo.

Este comportamento é reflexo de suas propriedades petrográficas. Segundo o estudo de Barroso & Barroso (2003) ainda salienta que em alguns casos há pouca correlação entre os resultados obtidos e o coeficiente de enfraquecimento (K), no sentido deste não descrever adequadamente os efeitos do ciclo de congelamento e degelo, haja vista que a variação cíclica da temperatura atuante ao longo do tempo é reconhecidamente um dos parâmetros deletérios mais efetivos na degradação das rochas (ARTUR et al., 2005). Assim, observa-se um aumento na resistência à compressão, indicando a pouca influência da variação brusca de temperatura na resistência dos mesmos.

Contudo, como os valores medidos de V_p (Figura 56) se mostram coerentes com os resultados obtidos, há de se relatar que o aumento da velocidade do pulso estaria relacionado a certo “encharcamento” dos corpos-de-prova em virtude do maior tempo de permanência dos mesmos sob condições de saturação, ou seja, pode se constatar que as microfissuras preenchidas geraram esse “encharcamento” aumentando a área de atrito da resistência a compressão e o aumento de sua resistência e diminuindo as tensões internas quando contida num espaço confinado.

Figura 56. Resultados obtidos nas medidas de V_p do ensaio de compressão uniaxial conjugado ao congelamento e degelo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O índice de enfraquecimento hidráulico, também ajudou a correlacionar estes quesitos, ou seja, todas as amostras tiveram seus índices de enfraquecimento hidráulico superiores a 100%, contrariando seu índice de enfraquecimento hidráulico, que ao invés de enfraquecer obteve aumento de resistência (tabela 7), o que indica que as rochas estudadas tem um comportamento relativamente semelhante tanto na condição seco como após a saturação.

Isso tudo se explica pelo fato das amostras estudadas refletirem uma heterogeneidade textural e estrutural devido a sua evidenciada anisotropia e sua granulação de média a grossa.

Tabela 7. Índice de enfraquecimento hidráulico medido com os resultados de compressão uniaxial conjugado ao congelamento e degelo.

Índice de enfraquecimento hidráulico "R" Gelo/degelo							
Amostras	Saturado (MPa)		Seco (MPa)		R (%)		R (%)*
	Paralelo	Normal	Paralelo	Normal	Paralelo	Normal	
<i>Giallo São Francisco Real</i>	140,11	149,67	128,01	117,32	109,46	127,58	118,52
Branco Dallas	136,44	130,74	124,99	104,45	109,16	125,18	117,17
Branco Marfim	112,46	123,44	105,35	96,30	106,75	128,19	117,47

* Média entre o paralelo e o perpendicular.

Fonte: Elaborada pelo autor.

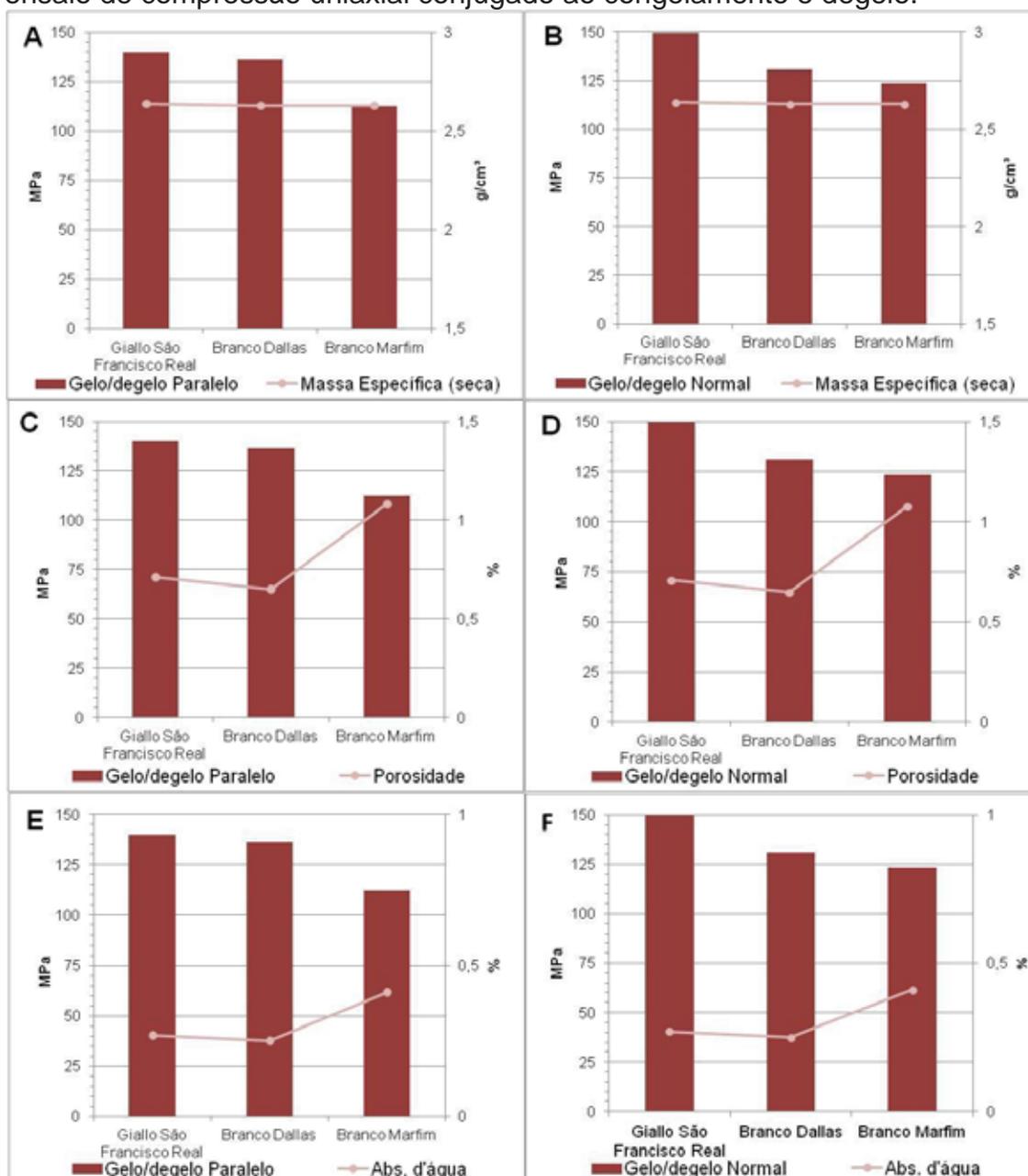
A explicação para este fato se encontra novamente nos teores de microfissuras e sua anisotropia, que apesar dos corpos-de-prova se manterem no mesmo formato e tamanho, a intersecção das duas direções de foliação observadas, foram contrabalanceadas pelo o aumento do espaço ocupado pela microfissuras preenchidas no efeito chamado acima de "encharcamento" bem como sua estrutura gnáissica marcante e o estiramento mineral coincidente com a foliação marcante.

Além dessas associações podemos ainda fazer correlações com os índices de porosidade e absorção de água, pois estão diretamente ligados entre si, ou seja, as rochas que apresentaram os menores índices de porosidade e absorção de água foram as que apresentaram os maiores valores de resistência, com exceção do *Giallo São Francisco Real* que apresentou valores intermediários devido ao seu alto número de microfissuras não preenchidas, que culminou numa balança de valores com a amostra Branco Dallas (Figura 57).

Quanto a diferença entre as direções de aplicação da força, as amostras na condição paralela apresentaram-se no geral com os valores menores em relação a

direção perpendicular, com exceção da amostra Branco Dallas, que teve esses valores ao inverso. Os resultados mostraram então que ocorreu o inverso do que ocorreu no ensaio de compressão uniaxial simples, onde os valores na direção paralela foram maiores do que na direção perpendicular.

Figura 57. Correlação dos resultados obtidos nos índices físicos com os resultados do ensaio de compressão uniaxial conjugado ao congelamento e degelo.

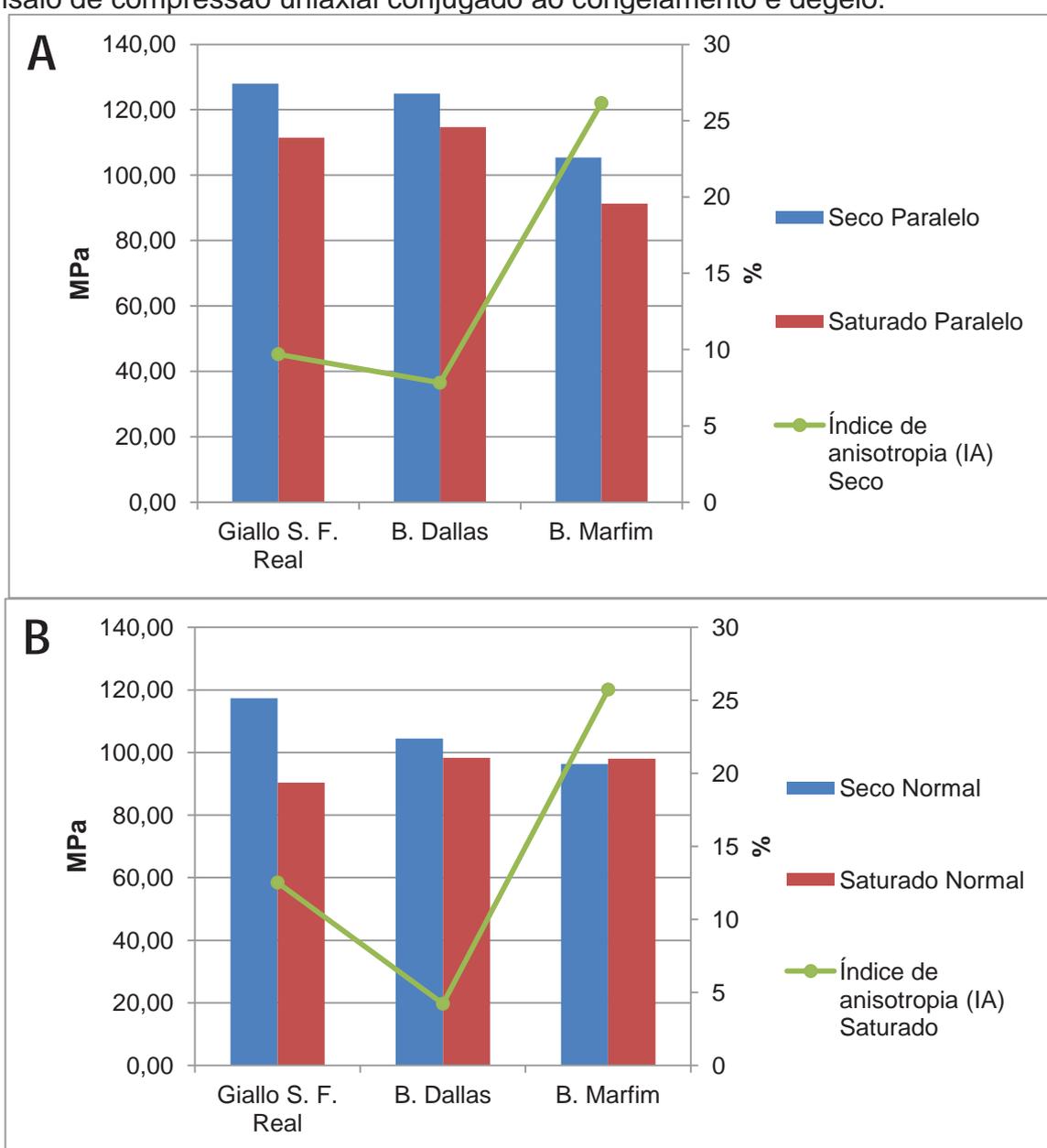


Legenda: (A) Compressão Uniaxial conjugado a gelo/degelo paralelo *versus* massa específica. (B) Compressão Uniaxial conjugado a gelo/degelo perpendicular *versus* massa específica. (C) Compressão Uniaxial conjugado a gelo/degelo paralelo *versus* porosidade. (D) Compressão Uniaxial conjugado a gelo/degelo perpendicular *versus* porosidade. (E) Compressão Uniaxial conjugado a gelo/degelo paralelo *versus* absorção d'água. (F) Compressão Uniaxial conjugado a gelo/degelo perpendicular *versus* absorção d'água. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Vale lembrar que os índices de anisotropia calculados para este ensaio, tiveram uma redução brusca nas amostras Branco Dallas e Branco Marfim, colaborando para o aumento de sua resistência.

Já a amostra *Giallo* São Francisco Real apresentou um aumento de anisotropia que não se pôde correlacionar com o seu alto valor de resistência durante o ensaio, porém existe uma equivalência, pois esta amostra no estado seco foi a que apresentou os menores valores de anisotropia (Figura 58).

Figura 58. Correlação entre os resultados de anisotropia com os resultados do ensaio de compressão uniaxial conjugado ao congelamento e degelo.



Legenda: (A) Compressão Uniaxial conjugado a gelo/degelo paralelo *versus* índice de anisotropia na condição seca. (B) Compressão Uniaxial conjugado a gelo/degelo perpendicular *versus* índice de anisotropia na condição saturada. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

5.1.6. MÓDULO DE RUPTURA (FLEXÃO POR CARREGAMENTO EM TRÊS PONTOS)

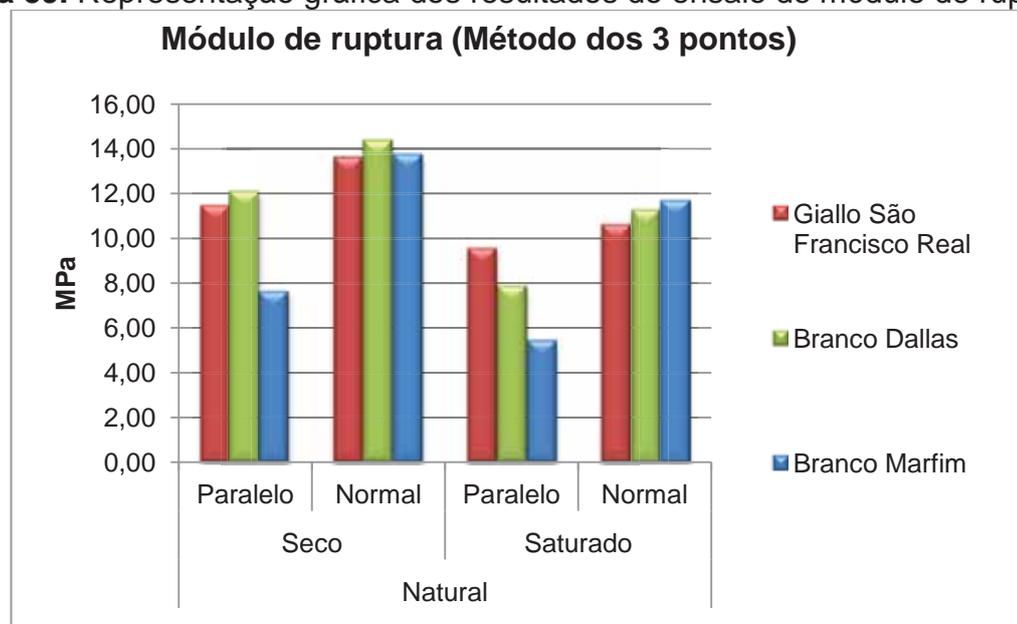
Os ensaios de resistência à flexão com carregamento em três pontos foram realizados em duas direções relativas ao plano de foliação (paralela e perpendicular) e nas condições seca e saturada. Através da tabela 8 e da figura 59 é possível observar que os resultados do ensaio do módulo de ruptura fornecidos pelas amostras de rochas analisadas mostram-se diretamente dependentes das relações texturais e estruturais exibidas pelos materiais rochosos.

Tabela 8. Resultados obtidos no ensaio de Módulo de Ruptura.

Módulo de ruptura (MPa)				
Amostra	Natural			
	Seco		Saturado	
	Paralelo	Perpendicular	Paralelo	Perpendicular
<i>Giallo São Francisco Real</i>	11,45	13,61	9,54	10,59
Branco Dallas	12,09	14,38	7,87	11,26
Branco Marfim	7,63	13,76	5,45	11,70

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 59. Representação gráfica dos resultados do ensaio de módulo de ruptura.



Fonte: Elaborada pelo autor.

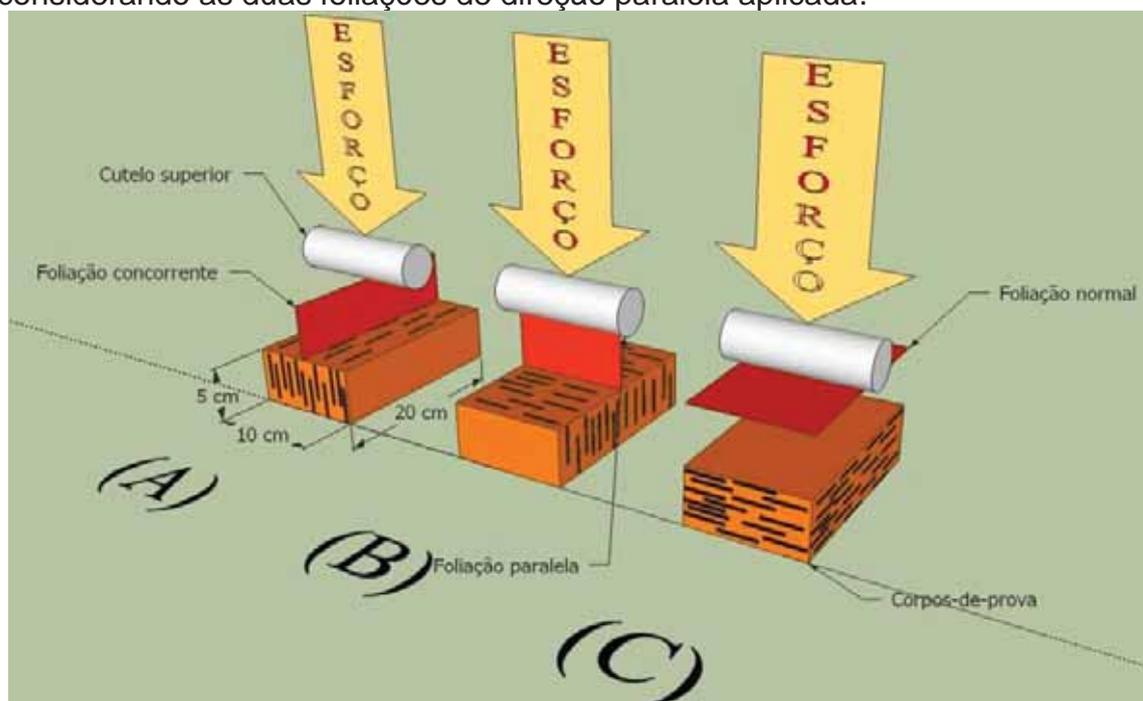
Correlacionando os parâmetros obtidos dos resultados com os valores limites sugeridos pela ABNT NBR 15844 (2010) que é de >10 MPa e pela norma C-615 da

ASTM (1992) de $>10,34$ MPa e os obtidos por Frazão & Farjallat (1995), notamos que os valores para todas as amostras na condição perpendicular a foliação estão superiores aos valores sugeridos, porém na direção paralela (estado seco) somente a amostra Branco Marfim ficou abaixo desses valores e na direção paralela (estado saturado) todas as amostras ficaram abaixo dos valores sugeridos.

Neste ensaio foi mais fácil à visualização dos planos de foliação e os planos de descontinuidades, discutidos anteriormente, devido as maiores dimensões dos corpos-de-prova. Há de se observar que as amostras *Giallo* São Francisco Real, que seriam destinados ao corte na direção paralela, tiveram seus corpos-de-prova cortados em direção diferente, com a foliação paralela ao seu comprimento e ortogonal a sua maior face (Figura 60), que diferente das outras amostras apresentou sua direção paralela à foliação concordante com o comprimento dos corpos-de-prova.

Assim, nesta situação, os esforços flexores proporcionados pelos cutelos de apoio superiores e inferiores formam “planos” dispostos de forma concorrente com o plano de foliação, diminuindo sua resistência na condição paralela em relação aos outros ensaios nessas mesmas condições.

Figura 60. Modelo de aplicação das forças do ensaio de módulo de ruptura, considerando as duas foliações de direção paralela aplicada.



Legenda: (A, B) Amostra *Giallo* São Francisco Real; (B, C) Amostras Branco Marfim e Branco Dallas.
Fonte: Elaborada pelo autor.

Em geral, assim como no ensaio de compressão uniaxial, podemos constatar que no ensaio de módulo de ruptura, os corpos-de-prova perderam resistência quando submetidos ao ensaio na condição saturada, contudo em diferentes proporções. Assim podemos correlacionar os dados de enfraquecimento hidráulico com a queda de resistência das amostras quando na condição saturada (Tabela 9 e Figura 61).

Então, a amostra *Giallo São Francisco Real* foi a que apresentou em média os maiores valores do índice de enfraquecimento hidráulico na direção paralela, representando assim a amostra que teve a menor influência da água no ensaio realizado na condição saturada, o que condiz com o melhor resultado de resistência nessas condições.

Tabela 9. Índice de enfraquecimento hidráulico medido com os resultados de módulo de ruptura.

Índice de enfraquecimento hidráulico							
	Seco		Saturado		R (%)		R (%)*
	Paralelo	Perpen	Paralelo	Perpen	Paralelo	Perpen	
<i>Giallo São Francisco Real</i>	11,45	13,61	9,54	10,59	83,39	77,85	80,62
Branco Dallas	12,09	14,38	7,87	11,26	65,13	78,29	71,71
Branco Marfim	7,63	13,76	5,45	11,70	71,50	84,98	78,24

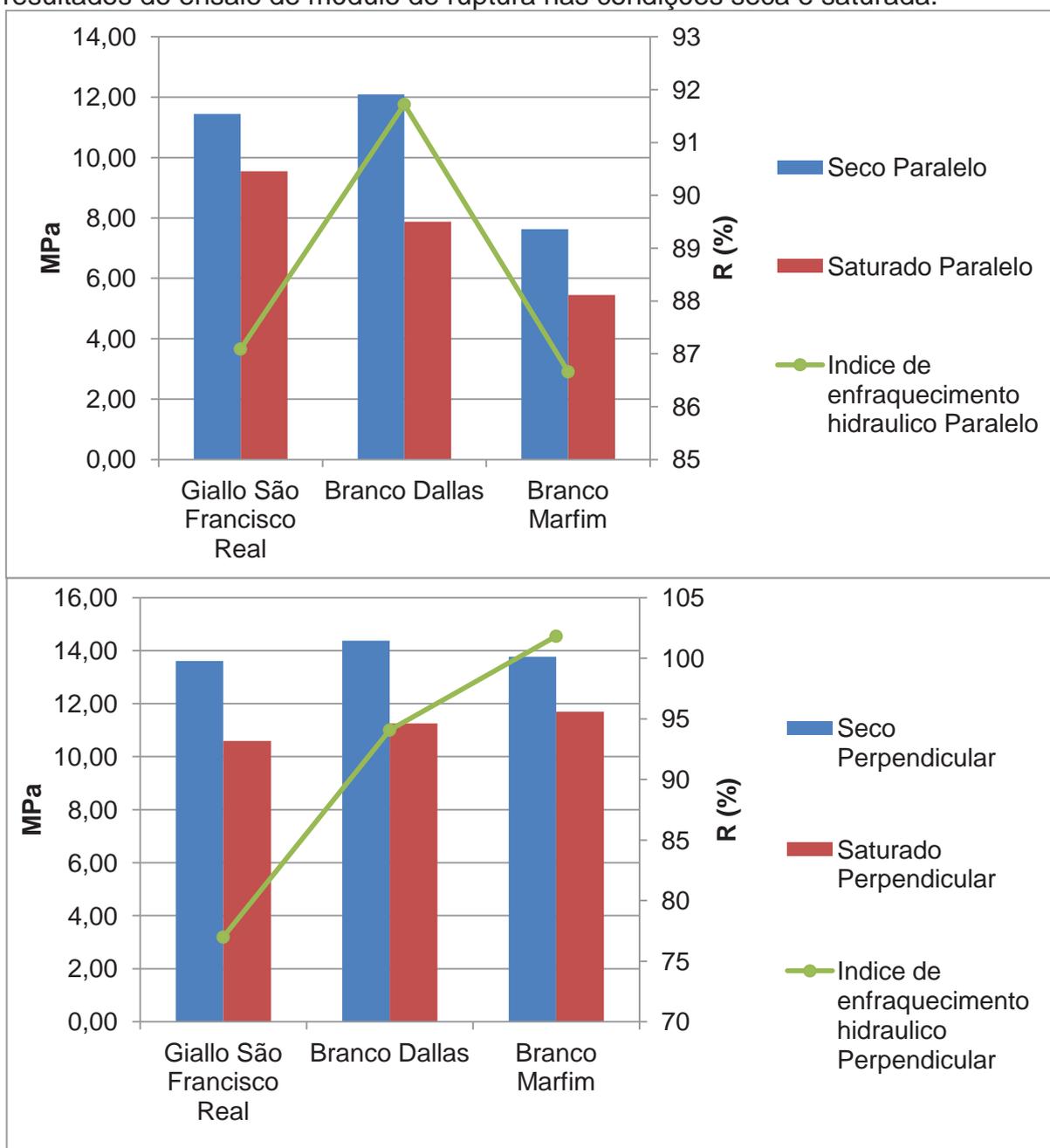
* Média entre o paralelo e o perpendicular. **Fonte:** Elaborada pelo autor

A amostra Branco Marfim foi a que apresentou os maiores valores do índice de enfraquecimento hidráulico na direção perpendicular, tendo assim a menor influência da água nos ensaios realizados na condição saturada, condizendo com os maiores valores de resistência nesta condição.

Já amostra Branco Dallas, não apresentou boa correlação com os índices de enfraquecimento hidráulico, enquanto apresentou os menores índices, condizendo com sua baixa porosidade, absorção de água e microfissuras não preenchidas.

Tomando como base as direções nas quais os esforços foram realizados nos ensaios, nota-se que as amostras na direção paralela apresentaram os menores valores de resistência, diferente do que aconteceu no ensaio de compressão uniaxial, tanto em condições saturadas quanto secas, onde apresentou os maiores valores de resistência nesta direção. Neste caso há de se ressaltar que a amostra *Giallo São Francisco Real*, teve sua resistência reduzida, devido ao formato dos corpos-de-prova, como já foi explicado anteriormente.

Figura 61. Gráficos correlacionando os índices de enfraquecimento hidráulico e os resultados do ensaio de módulo de ruptura nas condições seca e saturada.



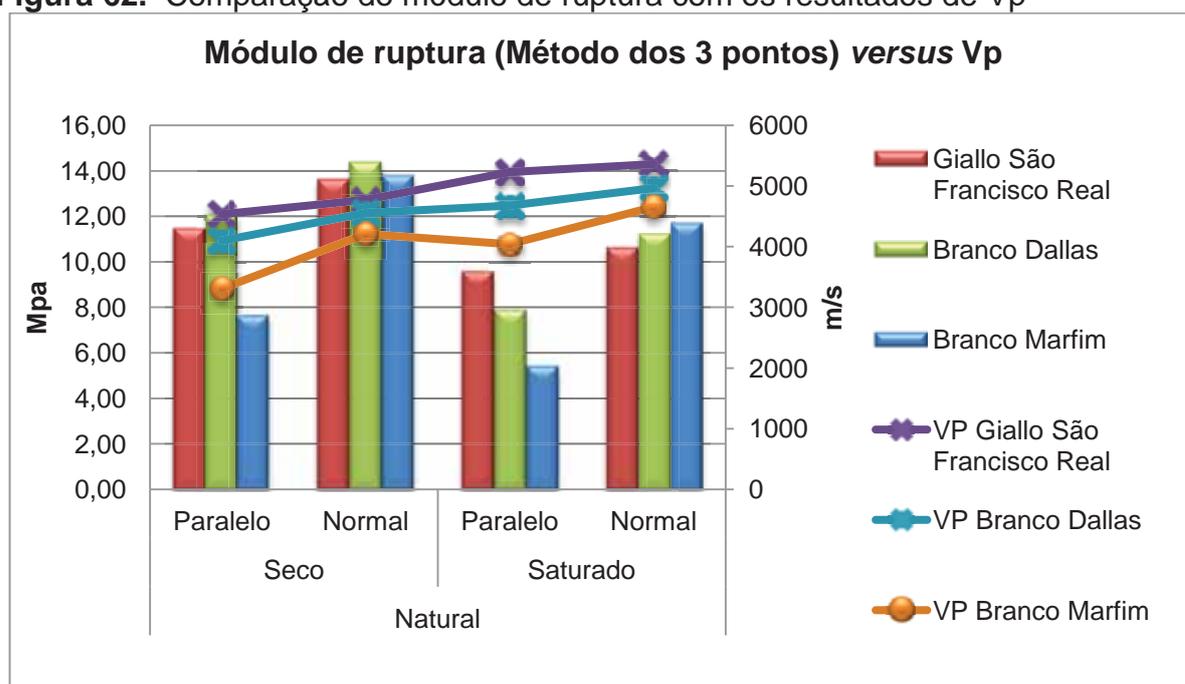
Legenda: (A) Módulo de ruptura nas condições seca e saturada de direção paralela *versus* índice de enfraquecimento hidráulico na direção paralela. (B) Módulo de ruptura nas condições seca e saturada de direção perpendicular *versus* índice de enfraquecimento hidráulico na direção perpendicular.
Fonte: Elaborada pelo autor.

Essas diferenças se refletem nos índices de anisotropia calculados (Tabela 17), onde a amostra Branco Dallas obteve os menores valores e a amostra Branco Marfim os maiores índices de anisotropia, onde seu alto valor de anisotropia reflete sua disposição planar paralelamente ao plano de foliação.

Então, a amostra *Giallo* São Francisco Real teve valores intermediários (média de 11,30 MPa) apresentados na condição seca, entretanto, teve os maiores valores de resistência na condição saturada no paralelo e os menores valores na direção perpendicular, explicado também pelos índices intermediários de porosidade, absorção de água e baixo teores de máficos, além de apresentar em média a menor influência da água, aliados ao seu moderado microfissuramento, pelo agem como superfícies de fraqueza diminuindo a resistência da rocha, inclusive controlando a direção de seu rompimento. Deve-se ressaltar ainda que os corpos-de-prova para amostra *Giallo* São Francisco Real foram confeccionados em direção diferente aos corpos-de-prova das amostras Branco Marfim e Branco Dallas, conforme visto na figura 60.

A amostra Branco Dallas (média de 11,40 MPa) apresentou os maiores valores na condição seca, tanto na direção paralela quanto na perpendicular, porém apresentou valores intermediários de resistência quando ensaiado na condição saturada (Figura 62). Apesar da similaridade dos resultados com os da amostra *Giallo* São Francisco Real, a justificativa para tal comportamento é pelo fato de apresentar a maior média de tamanho de grãos, que se encontram estirados e pelo bom engrenamento mineral.

Figura 62. Comparação do módulo de ruptura com os resultados de V_p



Legenda: VP: Velocidade de Propagação de Ondas ultrassônicas. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

A amostra Branco Marfim apresentou os menores valores de resistência na direção paralela (6,54MPa), tanto na condição seca quanto na condição saturada (Figura 62). Mas apresentou valores intermediários na direção perpendicular seca (13,76 MPa) e o maior valor na condição saturada (11,70 MPa) o que pode ser explicado pela condicionante de enfraquecimento hidráulico, refletida na incontestável influência da anisotropia e do grau de microfissuramento.

5.1.7. RESISTÊNCIA À FLEXÃO POR CARREGAMENTO EM QUATRO PONTOS

Os resultados obtidos permitem determinar a área e a espessura mínima segura para o suporte de esforços flexores das placas de rochas, quando aplicadas como revestimentos como pisos, fachadas verticais e horizontais, bem como bancadas, mesas, etc., e por este motivo os corpos-de-prova que são usados para este ensaio seguem as medidas de espessura das placas, no caso de materiais já comercializados, neste caso então, os corpos-de-prova Branco Dallas tiveram espessuras médias de 3 cm e as amostras Branco Dallas e Branco Marfim tiveram espessuras em média de 2 cm.

Cabe ainda ressaltar que este ensaio foi executado obedecendo às superfícies de corte das placas polidas comercializadas e não nas direções paralelas e perpendiculares à foliação como no caso dos outros ensaios já realizados. Sendo as amostras comercializadas na direção oblíqua aos planos de foliação predominantes, formando um ângulo de cerca de 20°, com exceção da amostra *Giallo São Francisco Real*, que é comercializada na direção perpendicular ao plano de foliação. Procurou-se apenas realizar nas condições seca e saturada.

Segue na tabela 10 e figura 63 os resultados médios das resistências à flexão obtidas no ensaio.

Tabela 10. Resultado obtidos no ensaio de Flexão por 4 pontos.

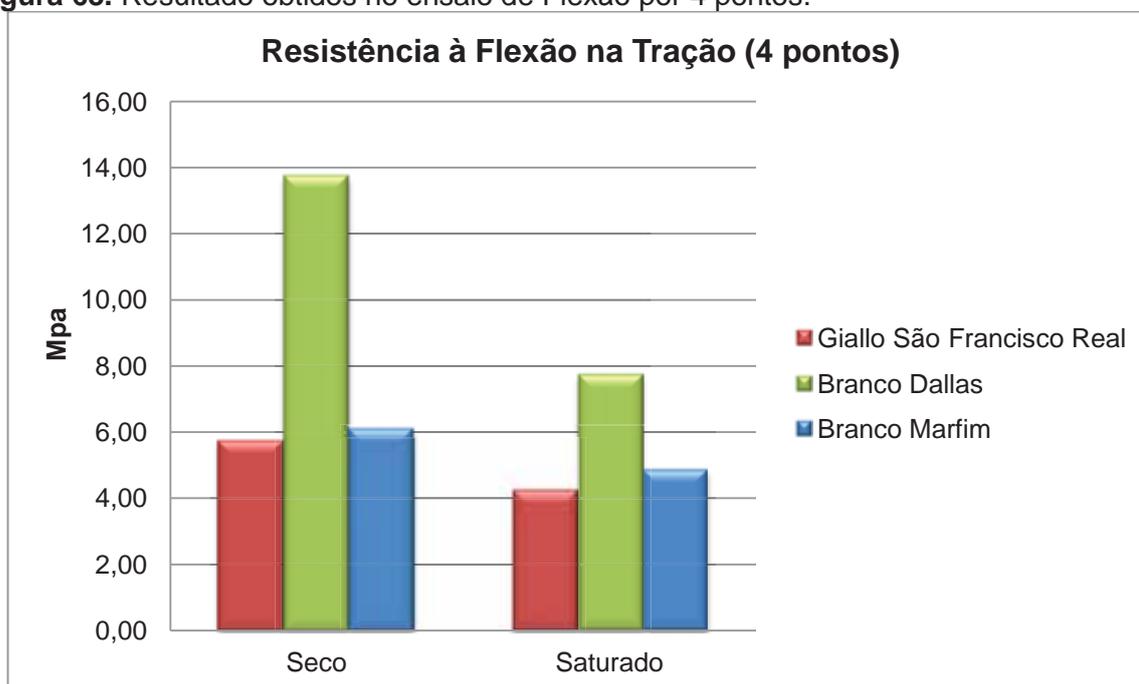
Flexão a 4 pontos (MPa)		
Amostras	Seco	Saturado
<i>Giallo São Francisco Real</i>	5,72	4,24
Branco Dallas	13,74	7,76
Branco Marfim	6,10	4,87

Fonte: Elaborada pelo autor.

No geral todas as amostras, com exceção da Branco Dallas no estado seco, ficaram abaixo dos limites sugeridos pela norma C-615 da ASTM (1992) e ABNT NBR 15844 (2010) que é de $>8,27$ MPa e de >8 MPa respectivamente.

Considerando as três amostras submetidas ao ensaio, tanto na condição seca quanto na saturada, a amostra *Giallo* São Francisco Real, foi a que apresentou os menores valores de resistência (seco 5,72 e saturado 4,24 MPa) discordando com as maiores resistências registradas nos ensaios anteriores.

Figura 63. Resultado obtidos no ensaio de Flexão por 4 pontos.

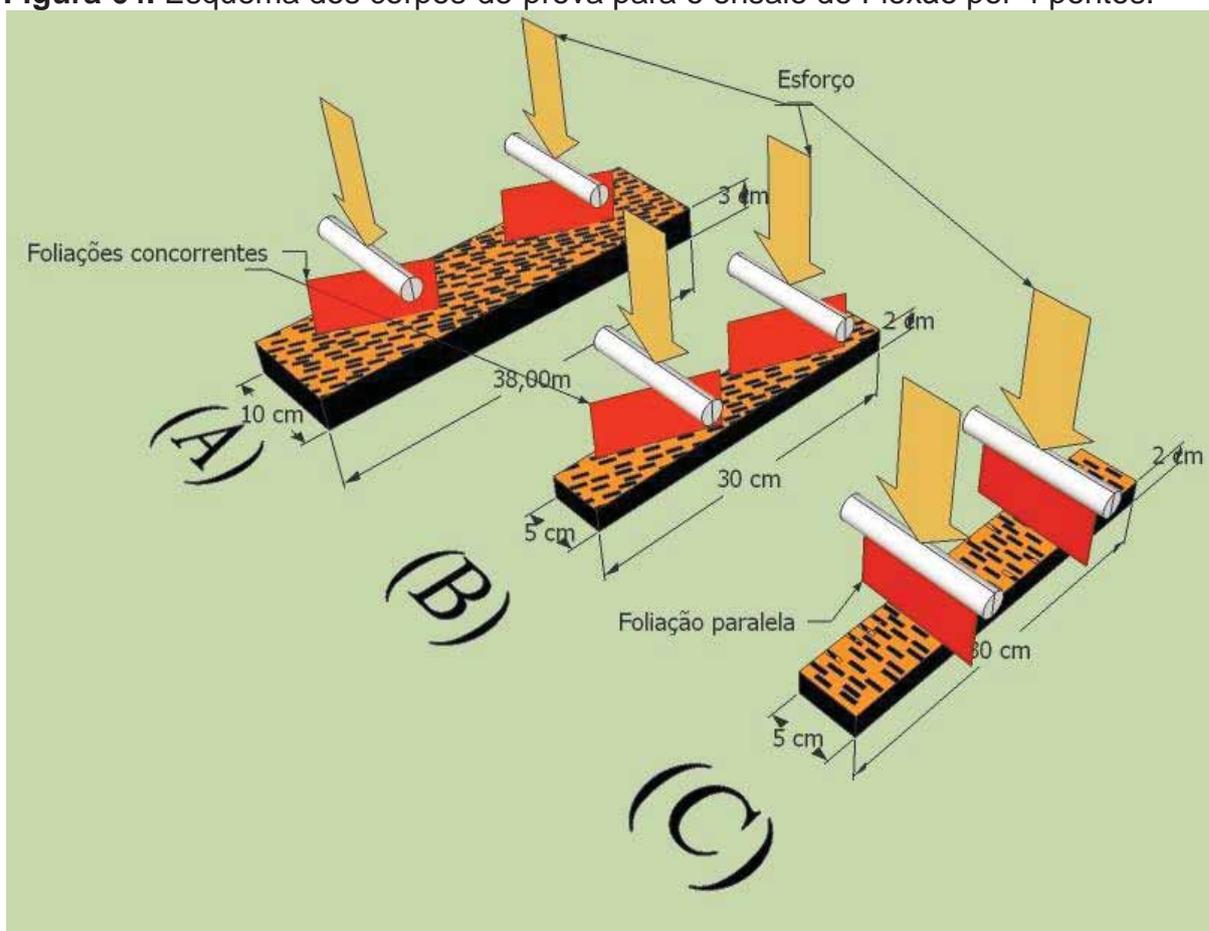


Fonte: Elaborada pelo autor.

Isso é explicado pela direção do esforço a que os corpos-de-prova foram submetidos durante o ensaio, estando na direção paralela à foliação (Figura 64 c), diferente das outras amostras que tiveram as placa submetidas ao ensaio em direção oblíqua a foliação (Figura 64 a e b).

Já a amostra Branco Marfim, apresentou valores intermediários, diferente também do que aconteceu em outros ensaios, onde apresentava os menores valores de resistência e, apesar dela apresentar os menores valores de porosidade e densidade, ela foi ensaiada numa direção oblíqua a foliação, o que aumentou sua resistência, quando comparada à amostra *Giallo* São Francisco Real, pois a força aplicada se concentrou na intersecção oblíqua entre a foliação predominante e os cutelos do ensaio.

Figura 64. Esquema dos corpos-de-prova para o ensaio de Flexão por 4 pontos.



Legenda: (A) Amostra Branco Dallas; (B) Branco Marfim; e (C) Amostra *Giallo* São Francisco Real.
Fonte: Elaborada pelo autor.

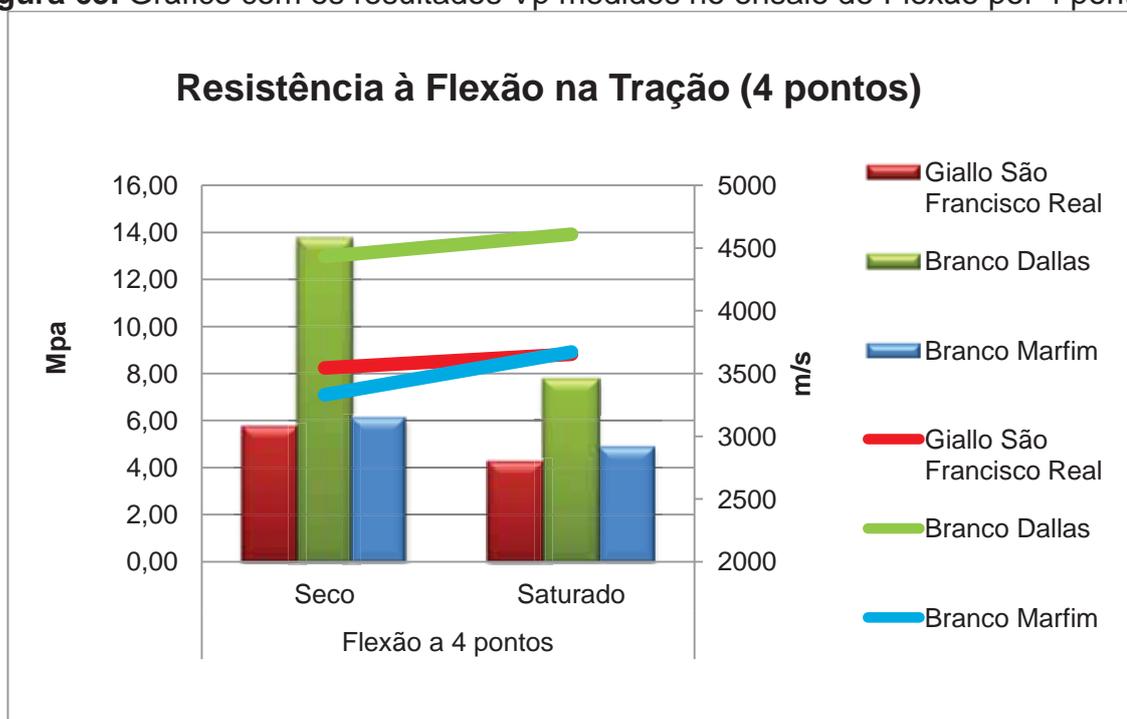
Quanto à amostra Branco Dallas, foram apresentados os maiores valores de resistência, pois os resultados foram influenciados pela espessura dos corpos-de-prova, que foram maiores, e também pelo esforço ter sido realizado na direção oblíqua a foliação, assim como aconteceu na amostra Branco Marfim, o que conseqüentemente elevou sua resistência.

Quando se analisa a resistência somente na condição saturada, nota-se geralmente uma queda significativa de resistência, isso porque, o grau de microfissuramento, que é considerável nas três amostras, influi agindo como planos de fraqueza que diminuem a resistência da rocha, inclusive controlando a direção de seu rompimento, além disso, as amostras apresentam uma granulação que vai de média a grossa, e com foliação marcada e estiramento mineral bem definido, contribuindo para maior rede de porosidade e conseqüente absorção de água.

Para um melhor entendimento, os valores da resistência à flexão a 4 pontos foram correlacionados com a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas das

mesmas amostras ensaiadas, considerando a diferença de espessura dentre os corpos-de-prova das diferentes amostras. Estas correlações estão representadas na figura 65.

Figura 65. Gráfico com os resultados Vp medidos no ensaio de Flexão por 4 pontos.



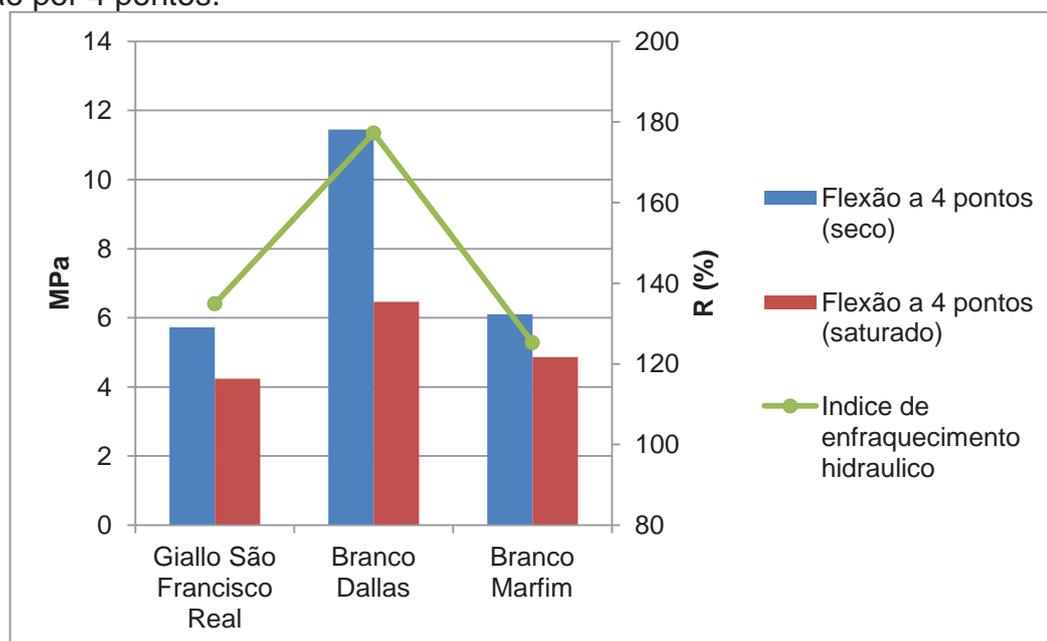
Fonte: Elaborada pelo autor.

Quando correlacionamos os valores de resistência obtidos aos valores de VP, chegamos à conclusão de que não existe uma relação direta entre as amostras, baseando a justificativa novamente na diferença entre as espessuras e na direção da foliação ser diferentes nos corpos-de-prova.

Como o ensaio foi realizado tanto na condição seca quanto na saturada, podemos estabelecer o índice de enfraquecimento hidráulico, conforme a figura 66. Assim, as amostras tiveram seus índices de enfraquecimento hidráulico proporcionais às suas diferenças de resistência nas condições seca e saturada, com exceção da amostra Branco Dallas, que apresentou os maiores valores de resistência e apresentou o maior índice de enfraquecimento hidráulico.

Desconsiderando a amostra Branco Dallas, devido a sua diferença de espessura de corpo-de-prova, a amostra Branco Marfim foi a que apresentou o menor índice de enfraquecimento hidráulico, o que condiz, em adição com seu baixo grau de microfissuras e menor média de tamanho de grãos, com seus maiores valores de resistência para este ensaio.

Figura 66. Índice de enfraquecimento hidráulico medido com os resultados de Flexão por 4 pontos.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A amostra *Giallo São Francisco Real* apresentou o maior índice de enfraquecimento hidráulico (tabela 11), compatível com sua menor resistência apresentada, contribuída pelo menor grau de estiramento dos minerais, uma vez que a posição das placas, como já foi dito, esta num direção oblíqua a foliação.

Tabela 11. Índice de enfraquecimento hidráulico medido com os resultados de Flexão por 4 pontos.

Índice de enfraquecimento hidráulico			
Amostra	Seco	Saturado	R (%)
<i>Giallo São Francisco Real</i>	5,72	4,24	134,91
Branco Dallas	11,45	6,46	177,24
Branco Marfim	6,1	4,87	125,26

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.1.8. RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CORPO DURO

Os corpos-de-prova que são usados para este ensaio seguem as medidas de espessura das placas, no caso de materiais já comercializados, neste caso então, os

corpos-de-prova Branco Dallas tiveram espessuras médias de 3 cm e as amostras Branco Dallas e Branco Marfim tiveram espessuras em média de 2 cm.

Segue abaixo a média dos resultados obtidos no ensaio de corpo duro (tabela 12) e estão representados graficamente também na figura 67.

Tabela 12. Resultados obtidos no ensaio de impacto de corpo duro.

Impacto de Corpo Duro (J)			
Amostra	Fissura (J)	Ruptura (J)	Altura de Ruptura (m)
<i>Giallo São Francisco Real</i>	2,45	3,53	0,36
Branco Dallas	3,82	4,31	0,44
Branco Marfim	2,84	3,33	0,34

Fonte: Elaborada pelo autor.

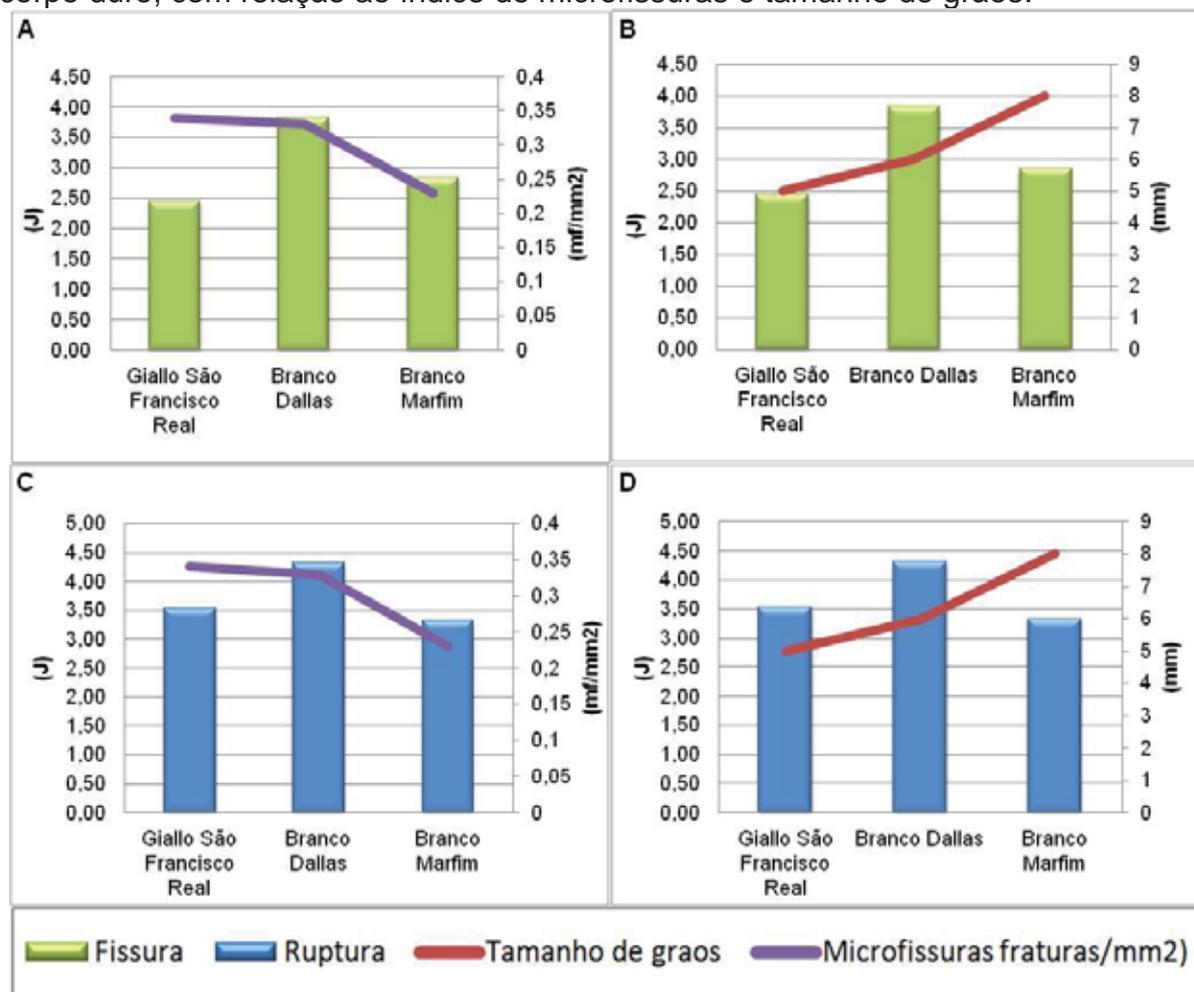
A condição mínima relativa à resistência ao impacto de corpo duro para rochas ornamentais e de revestimento sugeridas por Frazão & Farjallat (1995) e ABNT NBR 15844 (2010) é que as mesmas suportem impactos de uma esfera de aço de 1 kg através de queda livre de uma altura igual ou superior a 40 cm e 30 cm respectivamente. Seguindo este conceito, apenas a amostra Branco Dallas ficou dentro dos limites sugeridos, sendo que as amostras *Giallo* São Francisco Real e a Branco Marfim ficaram abaixo destes valores, porém próximos aos limites.

Para um melhor entendimento do comportamento das amostras ensaiadas, os valores da resistência ao impacto foram correlacionados com o índice de microfissuras/mm² e o tamanho de grãos apresentados pelas respectivas rochas e estão representados na figura 67.

A resistência da rocha ao impacto está diretamente associada às suas propriedades petrográficas como a anisotropia, textura (entrelaçamento/imbricamento mineral), microfissuramento e grau de alteração mineral.

A amostra Branco Dallas é o material detentor da maior altura (0,44m) de ruptura e energia (4,31 J) de ruptura, isso se explica porque é, das três amostras, a que apresentou as maiores espessuras dos corpos-de-prova, que no caso foi de 3 cm (espessura pelo qual é comercializada), além de ter em sua constituição mineralógica a maior quantidade de máficos.

Figura 67. Representação gráfica dos resultados médios do ensaio de impacto de corpo duro, com relação ao índice de microfissuras e tamanho de grãos.



Legenda: (A) Impacto de corpo duro na fissura *versus* índice de microfissuramento. (B) Impacto de corpo duro na fissura *versus* tamanho de grãos. (C) Impacto de corpo duro na ruptura *versus* índice de microfissuramento. (D) Impacto de corpo duro na ruptura *versus* tamanho de grãos. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

A amostra *Giallo* São Francisco Real apresentou valores intermediários dentre as três amostras, com altura de ruptura de 0,36m e energia de ruptura de 3,53 J, e se mostrou coerente com os valores de microfissuras e tamanho de grãos, confirmando que a correlação petrográfica é fator mais importante para este ensaio.

A amostra Branco Marfim foi a que apresentou os menores valores, com altura de ruptura de 0,34 e energia de ruptura de 3,33 J e foi, dentre as três amostras, a que não apresentou uma boa relação com a porosidade e absorção de água, uma vez que possuindo nestes índices, os maiores valores. Além disso, é a rocha que mais representa o estiramento dos minerais de sua constituição, facilitando assim a ruptura da rocha em seus planos de fraqueza.

Vale ressaltar que a diferença na resistência entre os materiais mais uma vez é reflexo direto das descontinuidades físicas resultantes das foliações que se interceptam.

5.1.9. RESISTÊNCIA À ABRASÃO (DESGASTE AMSLER)

A resistência que uma rocha oferece ao desgaste está intimamente associada à dureza dos seus constituintes minerais, à sua compacidade e a sua granulação, sendo estes, parâmetros que influenciam diretamente nos custos de polimento e acabamento desses materiais.

Para um entendimento mais amplo, os valores da resistência ao desgaste foram correlacionados com os teores de quartzo e feldspato definidos através da petrografia. Os resultados médios do ensaio estão representados na tabela 13 e na figura 68. Lembrando que todas as amostras foram ensaiadas na condição seca e nas direções paralelas e perpendiculares aos planos de foliações.

Tabela 13. Resultados obtidos no ensaio de desgaste abrasivo.

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12042 (ABNT, 1992)				
Amostras	Desgaste médio (500 m)		Desgaste médio (1000 m)	
	Paralelo	Normal	Paralelo	Normal
<i>Giallo São Francisco Real</i>	0,48	0,56	0,85	0,97
Branco Dallas	0,55	0,49	0,99	0,91
Branco Marfim	0,44	0,57	0,57	1,08

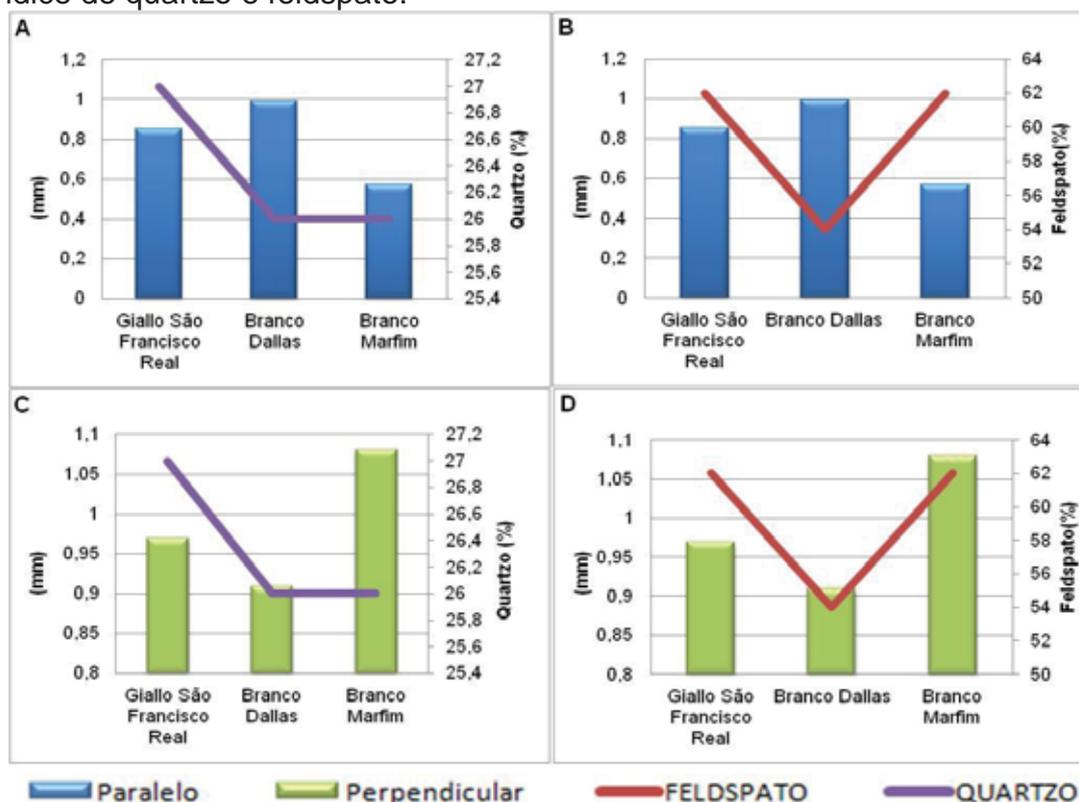
Fonte: Elaborada pelo autor.

Segundo os valores sugeridos por Frazão & Farjallat (1995), ABNT NBR 15844 (2010) e pela norma C-615 da ASTM (1992), os resultados dos ensaios revelam números acima dos limites máximos aceitáveis de padrões de qualidade para os três tipos de materiais, com exceção da amostra Branco Marfim na direção perpendicular que ficou um pouco acima do valor sugerido.

Analisando a figura 68 e também a tabela 13, verifica-se a relação existente entre a resistência que a rocha oferece ao desgaste por abrasão Amsler e a sua constituição mineralógica. Por conseguinte, se uma rocha contém um percentual elevado em quartzo, certamente apresentará uma resistência maior a este tipo de esforço mecânico. O valor do desgaste abrasivo possui uma relação inversamente

proporcional ao teor de quartzo, pois este mineral com dureza 7 na escala de Mohs, altamente abrasivo, imprime maior resistência ao desgaste das rochas, quando comparadas àquelas mais enriquecidas em feldspatos, de dureza 6. Esta relação se apresenta coerente para os três tipos estudados.

Figura 68. Gráficos com os resultados do ensaio de desgaste abrasivo, com relação ao índice de quartzo e feldspato.



Legenda: (A) Desgaste Amsler na direção paralela *versus* índice de quartzo. (B) Desgaste Amsler na direção paralela *versus* índice de feldspato. (C) Desgaste Amsler na direção perpendicular *versus* índice de quartzo. (D) Desgaste Amsler na direção perpendicular *versus* índice de feldspato. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Associando-se a observação da relação composição/desgaste com os demais aspectos petrográficos dos conjuntos litológicos, conclui-se que a textura (tamanho dos cristais) também é fator determinante na resistência ao desgaste abrasivo.

Nota-se que o maior desgaste ocorre nas superfícies perpendiculares à foliação da rocha devido ao fato das superfícies dos cristais de quartzo e feldspato, expostas ao atrito, serem consideravelmente menores nesta posição face ao estiramento mineral que compõe sua estruturação gnáissica, bem como devido ao maior número de contatos planos que refletem irregularidades na superfície da rocha. Já nos planos paralelos à foliação a área das superfícies expostas dos

cristais de quartzo e feldspato é maior, o que faz sua resistência ao desgaste abrasivo ser um pouco maior.

Entre as três amostras na direção paralela, o material Branco Dallas foi o que apresentou o maior valor de desgaste (média de 0,95 mm) sustentado, principalmente, pelo elevado número de microfissuras (0,67 mf/mm²) e o alto teor de máficos que podem ter facilitado a remoção de partículas durante o percurso abrasivo. A amostra Branco Marfim apresentou o menor desgaste (média de 0,82 mm) justificado por seu melhor engrenamento mineral e pelas menores dimensões relativas de seus cristais.

A amostra *Giallo* São Francisco Real se mostrou, nesta direção, com valor intermediário de desgaste (média de 0,91 mm) e, apesar de apresentar a maior porcentagem de quartzo, seu valor de desgaste pode estar relacionado à sua heterogeneidade textural, com granulação média a grossa, presença de granadas fortemente microfissuradas, além das menores dimensões dos cristais de quartzo.

Já em relação às amostras submetidas ao ensaio na condição perpendicular, o Branco Dallas foi o que apresentou o menor valor de desgaste, ao contrário do que foi apresentado na direção paralela, devido à presença dos fenocristais de feldspato que acabam suportando mais o desgaste, por apresentarem as maiores superfícies expostas ao atrito e os cristais de quartzo com moderado microfissuramento, o qual pode facilitar a remoção de partículas durante o percurso abrasivo.

O Branco Marfim apresentou o maior valor de desgaste, contrariando o apresentado na direção paralela. Isto ocorre porque este apresenta a menor quantidade de microfissuras não preenchidas. A amostra *Giallo* São Francisco Real também apresentou valores intermediários.

5.1.10. DETERMINAÇÃO DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRASSÔNICAS

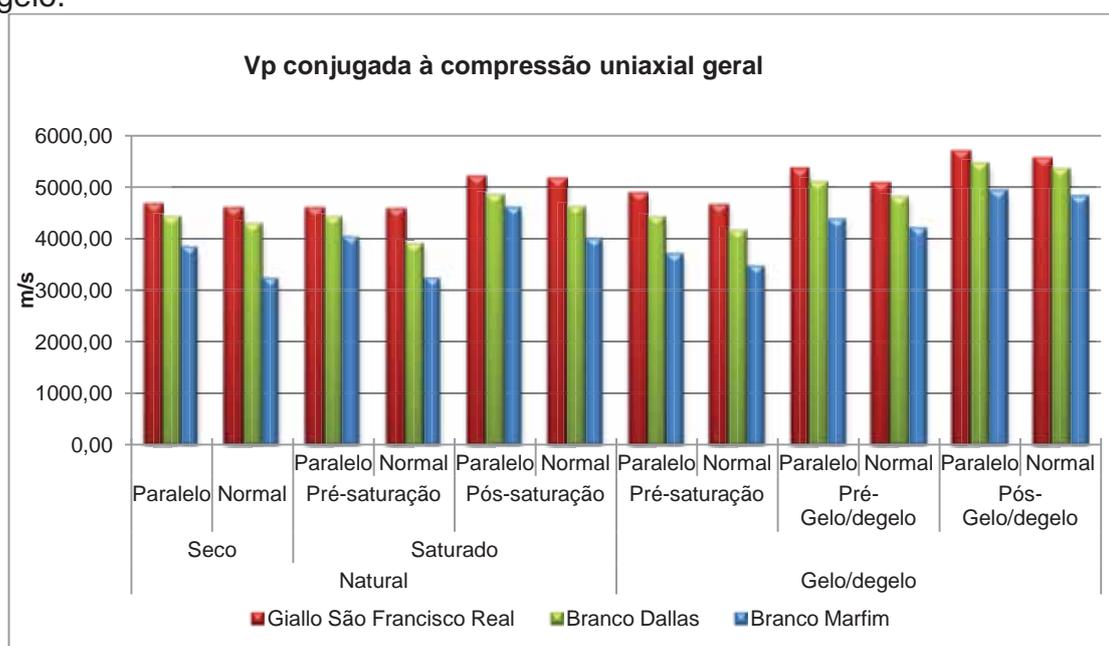
Os resultados de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (V_p) obtidos de forma conjugada aos ensaios de compressão uniaxial, flexão 3 pontos e flexão 4 pontos para os três materiais encontram-se nas tabelas 14, 15 e 16 e são representados nas figuras 69, 70, 71, 72.

Tabela 14. Valores médios de Vp dos corpos-de-prova da compressão uniaxial e conjugado ao congelamento e degelo.

Determinação da Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (Vp) dos corpos-de-prova da compressão uniaxial.												
Amostra	Natural						Gelo/degelo					
	Seco		Saturado				Gelo/degelo					
	Paral	Perp	Pré-saturação		Pós-saturação		Pré-saturação		Pré-Gelo/degelo		Pós-Gelo/degelo	
			Paral elo	Norm al	Paral elo	Nor mal	Paral elo	Norm al	Paral elo	Norm al	Paral elo	Norm al
Giallo São Francisco Real	4677	4612	4605	4582	5214	5180	4877	4650	5368	5090	5702	5576
Branco Dallas	4409	4285	4411	3901	4837	4628	4420	4149	5109	4802	5456	5345
Branco Marfim	3839	3237	4032	3240	4604	4002	3713	3475	4384	4215	4940	4827

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 69. Representação gráfica dos valores médios da Vp dos corpos-de-prova utilizados nos ensaio de compressão uniaxial e conjugado ao congelamento e degelo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como os três tipos graníticos estudados possuem composições mineralógicas similares, as diferenças nas velocidades de propagação de ondas não se apoiam diretamente em diferenças de densidade, dando-se em decorrência de anisotropias, variações texturais, diferentes arranjos de rede porosa e/ou microfissuramentos e os aspectos petrográficos.

Há de se observar também para este ensaio que as amostras *Giallo São Francisco Real*, que seriam destinados ao corte na direção paralela, tiveram seus

corpos-de-prova cortados em direção diferente, com a foliação paralela ao seu comprimento e ortogonal a sua maior face, que diferente das outras amostras apresentou sua direção paralela à foliação concordante com o comprimento dos corpos-de-prova.

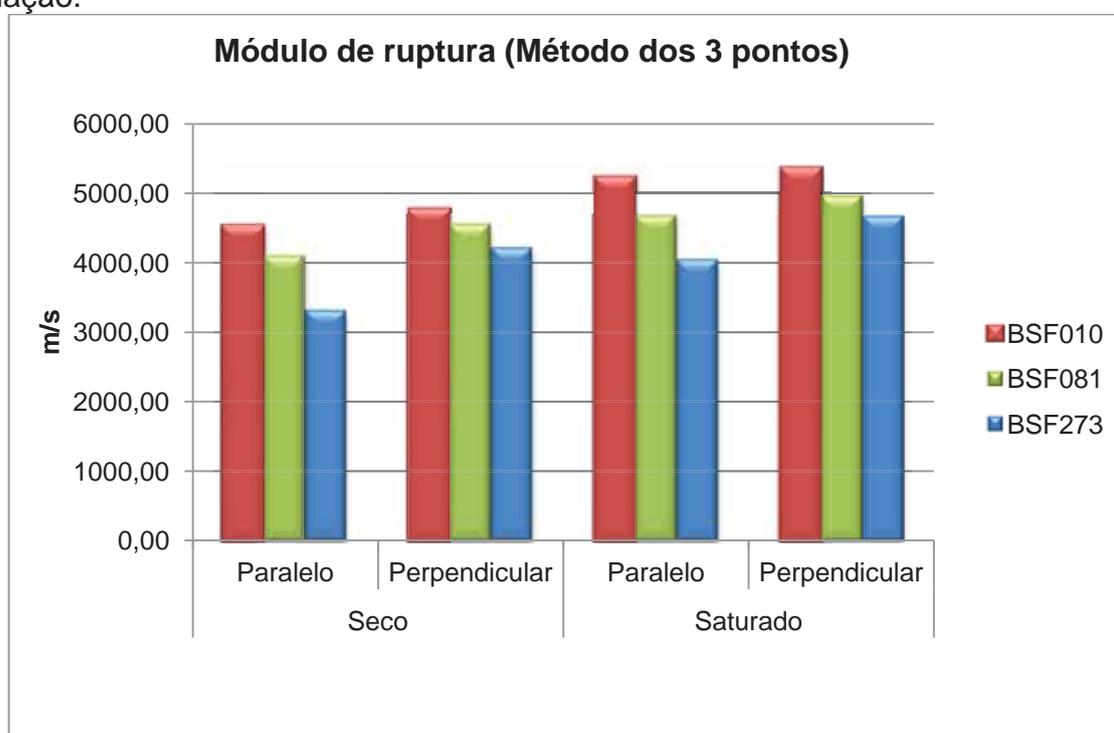
Considera-se também que a velocidade de propagação das ondas é maior na água (1.500 m/s) do que no ar (340 m/s), contudo a expansibilidade dos minerais pode abrir fraturas modificando os seus valores iniciais.

Tabela 15. Valores médios de Vp dos corpos-de-prova do ensaio de módulo de ruptura.

Vp conjugado ao módulo de ruptura (m/s)				
Amostra	Seco		Saturado	
	Paralelo	Normal	Paralelo	Normal
<i>Giallo São Francisco Real</i>	4533,00	4770,00	5228,00	5362,00
Branco Dallas	4100,00	4555,00	4676,00	4968,00
Branco Marfim	3312,00	4209,00	4038,00	4655,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 70. Valores médios de Vp dos corpos-de-prova do ensaio de módulo de ruptura pelo método tradicional, segundo direções paralelas e perpendiculares à foliação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de velocidade de propagação de ondas obtidos para os materiais estudados permitem situá-los, com exceção do Branco Marfim (principalmente na

condição seca) e do *Giallo São Francisco Real* no ensaio de 4 pontos, acima da média calculada para as rochas brasileiras por Frazão & Farjallat (1995).

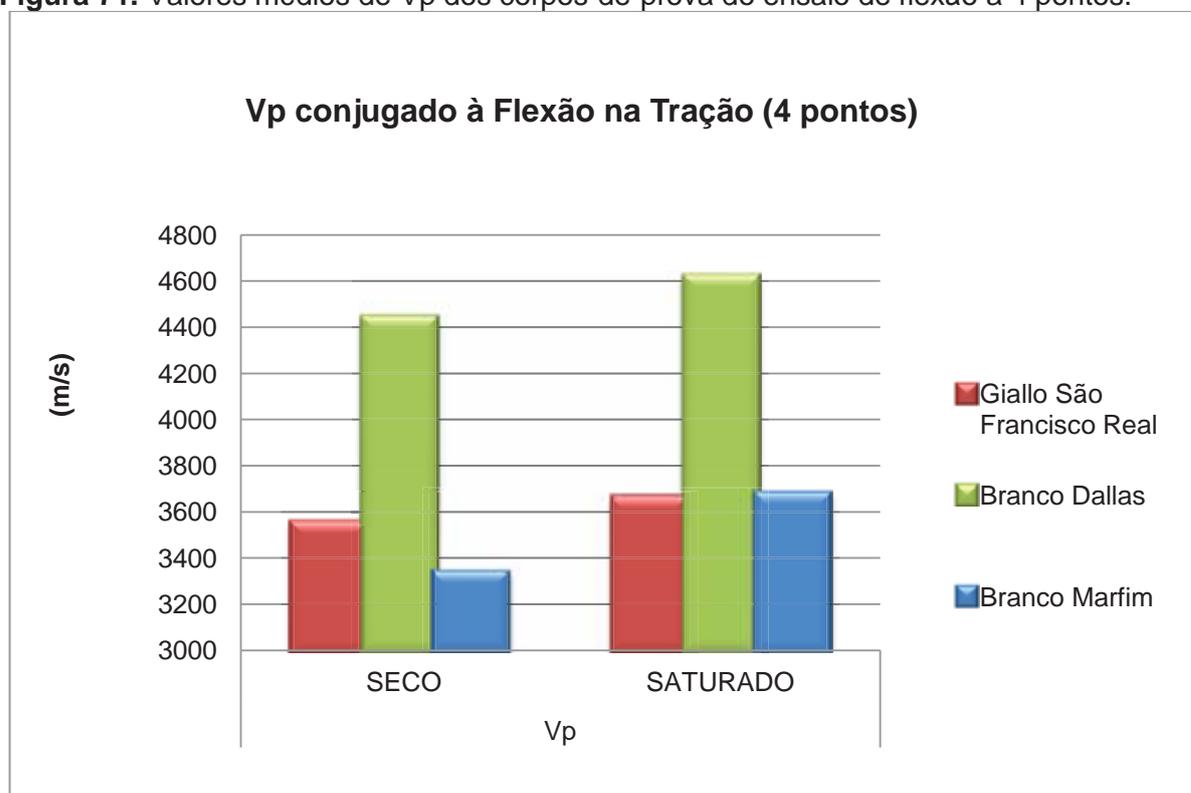
Tabela 16. Valores médios de Vp dos corpos-de-prova do ensaio de flexão a 4 pontos, no estado seco e saturado.

Vp conjugado ao módulo de Flexão a 4 pontos (m/s)		
Amostra	Seco	Saturado
<i>Giallo São Francisco Real</i>	3544	3654
Branco Dallas	4433	4611
Branco Marfim	3330	3671

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto à correlação com os aspectos petrográficos de cada rocha estudada, as velocidades obtidas mostram boa coerência com as características petrográficas inerentes a cada rocha, principalmente em relação à composição mineralógica, granulação e microfissuramento dos materiais.

Figura 71. Valores médios de Vp dos corpos-de-prova do ensaio de flexão a 4 pontos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, as amostras representadas pelo material *Giallo* São Francisco Real apresentaram as maiores velocidades de propagação de onda, com média de 5.061 m/s. Isso se deve, além de ter a maior densidade (2636,41 kg/m³) e um baixo grau de microfissuramento (principalmente não preenchido), à menor influência da textura lepidoblástica.

O material Branco Dallas apresentou velocidade intermediária (4.682 m/s). Tal valor se deve a sua granulação grossa (predominantemente composta por feldspato potássico) com expressivo microfissuramento que no conjunto contribuem para o retardamento da propagação das ondas ultrassônicas.

A variedade petrográfica Branco Marfim de composição quartzo-feldspática e elevada heterogeneidade textural, caracterizada por granulação geral grossa, apresenta a menor velocidade de ondas ultrassônicas (média de 4.097 m/s) dentre o conjunto estudado.

Isso se deve, além do forte estiramento mineral, ao volume de quartzo (~27%) e seu grau de microfissuramento, que influenciam na diminuição da velocidade de propagação das ondas.

Em suma, verifica-se que a velocidade de ondas ultrassônicas nas rochas saturadas em água é bem maior do que nas rochas secas. Tal constatação é concordante com os dados teóricos, já expostos, sobre a influência da água na propagação destas velocidades.

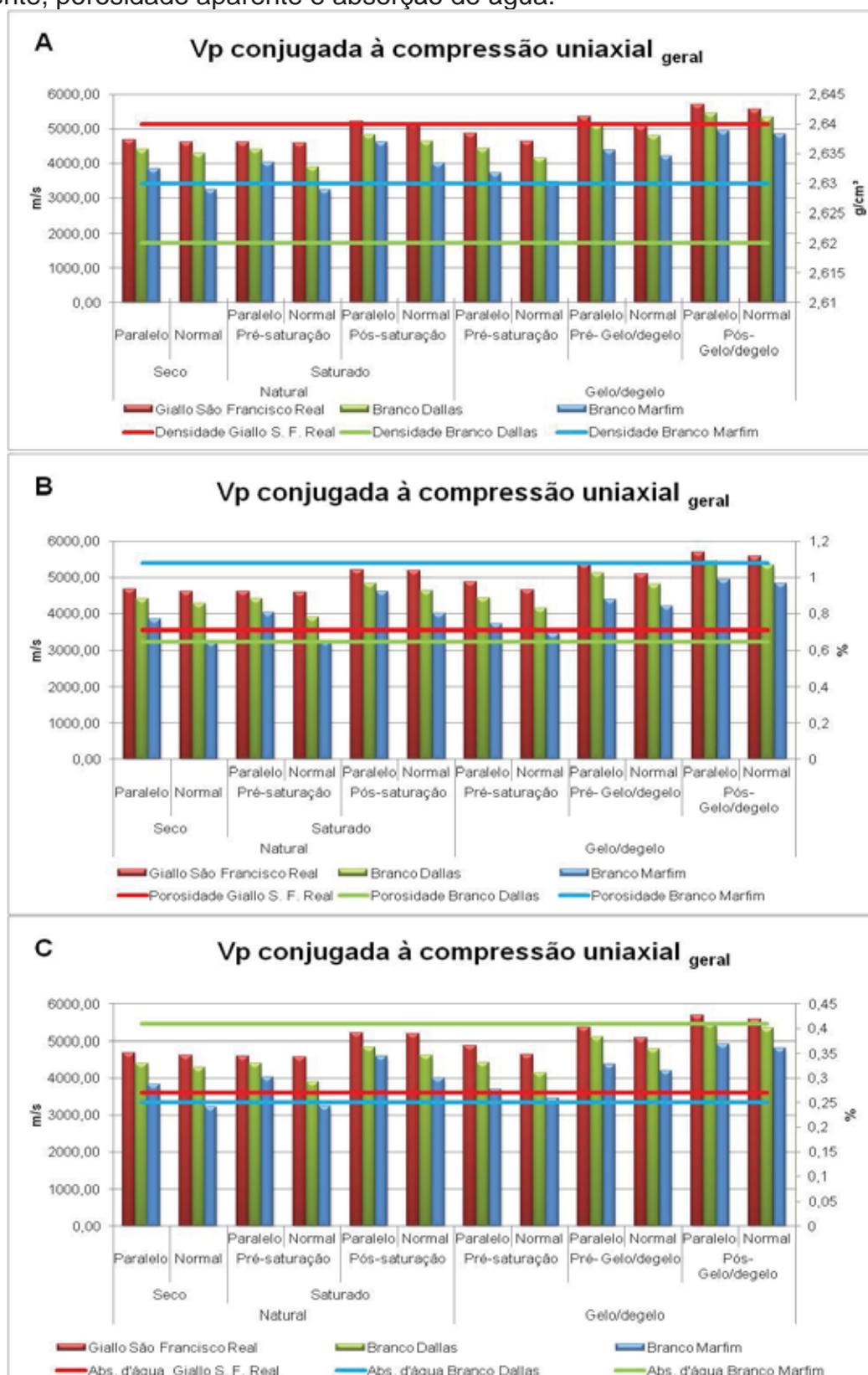
Este aumento ocorre porque a amostra submetida à saturação em água por mais de 24 horas passa a ter seus poros e espaços vazios preenchidos, não significando maior integridade da rocha, mas acelerando a velocidade de propagação das ondas.

Vale ressaltar que nas amostras do ensaio de determinação da flexão a 4 pontos as medições de V_p foram realizadas em corpos-de-prova com espessuras menores, uma vez que o ensaio deve ser realizado em placas polidas prontas para comercialização.

Sendo assim, os corpos-de-prova do Branco Dallas tiveram espessuras médias de 3 cm e as amostras Branco Dallas e Branco Marfim tiveram espessuras, em média, de 2 cm.

As diferenças de espessura refletiram significativamente nos resultados por apresentar grandes divergências em amostras com características petrográficas similares.

Figura 72. Correlação dos valores médios de Vp e os valores de densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água.



Legenda: (A) Correlação entre VP na Compressão Uniaxial *versus* densidade aparente. (B) Correlação entre VP na Compressão Uniaxial *versus* porosidade aparente. (C) Correlação entre VP na Compressão Uniaxial *versus* absorção de água. **Fonte:** Elaborado pelo autor.

Pode-se observar também que, quando são comparadas as médias de V_p obtidas para os corpos-de-prova no estado saturado do ensaio de compressão uniaxial, a amostra *Giallo* São Francisco Real apresenta a maior média de V_p e também a maior resistência a compressão uniaxial.

A amostra Branco Marfim apresentou a menor V_p e também a menor média de resistência à compressão Uniaxial. Isto ocorre devido à saturação em água acarretar uma redução da resistência da rocha, ao mesmo tempo em que gera uma aceleração da velocidade das ondas, motivo pelo qual a avaliação de integridade da rocha com este método de velocidade de propagação de ondas deve ser realizada utilizando-se corpos-de-prova na condição seca, considerando que a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas serem maior em rochas menos alteradas, com maior densidade e melhor entrelaçamento mineral.

- **Cálculo do Índice de anisotropia das rochas a partir da Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.**

Figueiredo (2001) *apud* Mouza *et al.* (1983) comentam que as técnicas de ultrassons aplicam-se para o estudo da anisotropia, das propriedades mecânicas e da estrutura do meio, pois a medição dessas velocidades num material rochoso constitui um meio de investigação complementar aos ensaios de resistência mecânica tendo a vantagem de ser uma técnica não destrutiva.

Sendo assim, foi calculado, a partir dos resultados de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas o índice de anisotropia apresentado pelos corpos-de-prova para cada ensaio (tabela 17), tanto na direção perpendicular à foliação, quanto na direção paralela à foliação, seguindo a fórmula apresentada no capítulo 2.

Navarro (2006) *apud* Schön (1996), considerando diversos autores, assinala que gnaisses e xistos apresentam os valores mais altos de anisotropia das propriedades térmicas e que esse fator em rochas ígneas e metamórficas é afetado principalmente pelos constituintes minerais e conseqüentemente pela anisotropia individual de cada mineral essencial, pela forma e disposição dos minerais (foliação e xistosidade) e pela orientação e geometria das fraturas.

De forma análoga observam-se as mesmas relações considerando as velocidades de propagação de ondas elásticas (V_p e V_s).

Tabela 17. Resumos dos valores de anisotropia calculados por ensaio em relação a V_p .

Índice de anisotropia IA (%)					
	Ensaio Mecânico		Compressão uniaxial	Comp. uniaxial Gelo/Degelo	Módulo de Ruptura
Giallo São Francisco Real	PARALELO/ PERPENDICUL AR	SECO	9,69	--	10,92
		PRÉ-SATURAÇÃO	9,04	15,19	14,09
		SATURADO	12,52	16,26	7,72
		SAT. APÓS 25 CICLOS	--	8,93	--
Branco Dallas	PARALELO/ PERPENDICUL AR	SECO	7,82	--	13,01
		PRÉ-SATURAÇÃO	21,25	12,34	18,77
		SATURADO	4,22	0,10	10,83
		SAT. APÓS 25 CICLOS	--	2,86	--
Branco Marfim	PARALELO/ PERPENDICUL AR	SECO	26,15	--	33,13
		PRÉ-SATURAÇÃO	41,56	5,35	22,46
		SATURADO	25,73	6,11	20,65
		SAT. APÓS 25 CICLOS	--	10,26	--

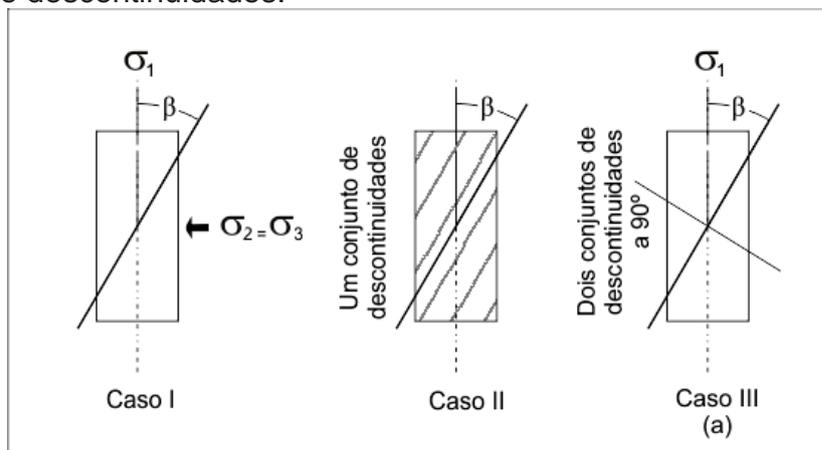
Fonte: Elaborada pelo autor.

Na figura 73 é possível verificar, conforme estudos feitos por Harthi (1998), que os planos de anisotropia são influenciados também pelo comportamento e quantidade das descontinuidades (foliação, bandamento, microfissuras, etc.) presentes nas rochas estudadas.

Então, por este mesmo método, o autor classificou os três casos possíveis para sua classificação: Caso I - único plano de anisotropia, tal como foliação ou bandamento; Caso II - um conjunto de descontinuidades, tais como foliações laminações ou de clivagem mineral e; Caso III - quando dois conjuntos de descontinuidades se interseptom no ângulo de 90°.

No caso das amostras estudadas estabelecemos, principalmente através da marcação macroscópica da foliação que os corpos-de-provas possuem, um conjunto de descontinuidades que se interceptam, interferindo nos resultados dos ensaios, principalmente invertendo os índices de resistência entre as direções paralelas e perpendiculares, ou seja, os resultados resistência obtidos em corpos-de-prova ensaiados em uma determinada direção relativa à foliação, na verdade correspondem aos resultados esperados para outra direção relativa à foliação que não aquela.

Figura 73. Classificações de anisotropia influenciado pelo comportamento e quantidade de descontinuidades.

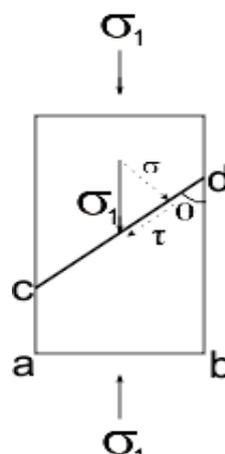


Fonte: Harthi (1998).

Os resultados do estudo da anisotropia para as amostras se mostraram semelhantes indicando o que ocorre no Caso II, onde a força de falha é máxima quando o ângulo β é igual a zero ou 90° e é mínima quando as faixas β estão entre 20° e 45° . A fim de quantificar o grau de anisotropia, Harthi (1998) *apud* Singh *et al.* (1989) sugeriram que para o cálculo de anisotropia se reflita a relação entre a força de compressão máxima obtida em $\beta = 90^\circ$ e força o mínimo de compressão.

Digno de registro é o fato de, nas litologias estudadas bem como noutras em que a anisotropia conferida pela xistosidade ou pela estratificação é muito acentuada, ser comum o valor mínimo do módulo de elasticidade ocorrer para uma direção intermediária entre a normal e a paralela àquelas descontinuidades estruturais (Figura 74).

Figura 74. Simulação do ensaio de compressão uniaxial com os possíveis principais planos de ruptura da rocha



Fonte: Costa, (2007).

Em acordo com estas referencias, pode se constatar que a máxima resistência à compressão obtida pode ser assumida ao ser controlada pela resistência à compressão do material intacto, enquanto que a mínima resistência à compressão registrada é controlada pela resistência ao cisalhamento da descontinuidade.

A razão de anisotropia, que é a relação entre o valor máximo para as forças mínimas de compressão, pode indiretamente descrever a relação entre a resistência à compressão do material e da resistência ao cisalhamento da descontinuidade. Portanto, a razão de anisotropia, se refere ao máximo e ao mínimo das forças compressivas, que aumenta com o aumento da resistência à compressão ou a diminuição da resistência ao cisalhamento da descontinuidade (Harthi, 1998).

Considerando que para efeito dos cálculos de anisotropia dos resultados de V_p leva-se em conta o menor valor em uma direção e o maior valor numa segunda direção perpendicular a primeira direção, foram realizados em algumas condições dos corpos-de-prova, critérios invertidos em suas direções, ou seja, o valor máximo foi representado pela direção paralela e o valor mínimo foi representado pela direção perpendicular, pois foi observado que estes corpos-de-prova apresentaram uma segunda foliação marcante, comum em litologias deformadas em condições dúcteis, com o desenvolvimento de uma ou mais famílias de planos de orientação das rochas, não paralelos à estratificação original da rocha, fazendo com que houvesse uma interferência nos valores de propagação de ondas ultrassônicas.

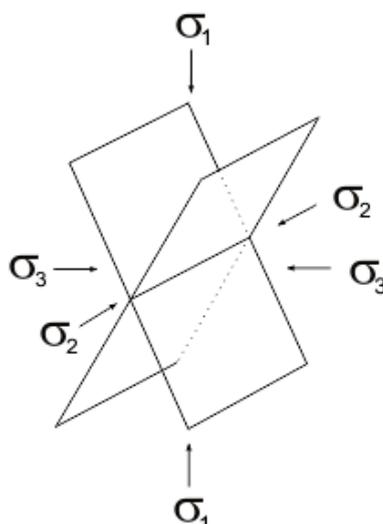
De acordo com Costa (2007), considerando o corpo-de-prova submetido a um ensaio de compressão uniaxial, por exemplo: $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$. Seja um plano de ruptura formando um ângulo " θ " com a direção da pressão σ_1 . A pressão σ_1 pode ser decomposta num esforço normal " σ ", perpendicular ao plano de fratura, e num esforço cisalhante " τ ", paralelo ao plano de fratura.

A ruptura terá a maior possibilidade de acontecer com um valor de θ , tal que τ seja o maior possível.

Ainda de acordo com Costa (2007), neste caso também, o valor de τ é máximo quando $\theta = 45^\circ$. De maneira prática, isso significa que os planos de ruptura

potencialmente mais prováveis correspondem às duas famílias de planos que formam um ângulo de 45° com σ_1 e σ_3 e apresentam σ_2 como interseção (Figura 75).

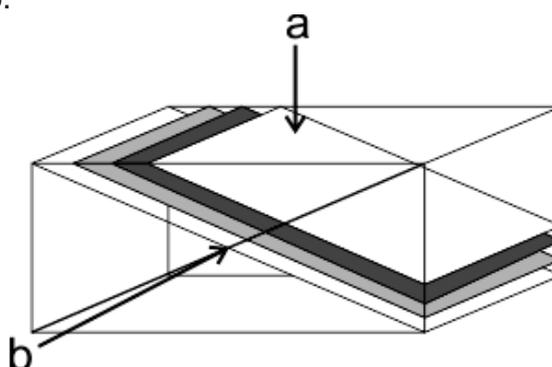
Figura 75. Relações dos planos teóricos de ruptura com os eixos do elipsóide dos esforços



Fonte: Costa, (2007).

O mesmo pode acontecer em alguns corpos-de-prova utilizados para os ensaios de resistência à compressão e à flexão, como sugerimos na figura 76.

Figura 76. Esquema dos corpos-de-prova utilizados nos ensaios de resistência à compressão e à flexão. a) suposta direção perpendicular à foliação; b) suposta direção paralela à foliação.



Fonte: Costa, (2007).

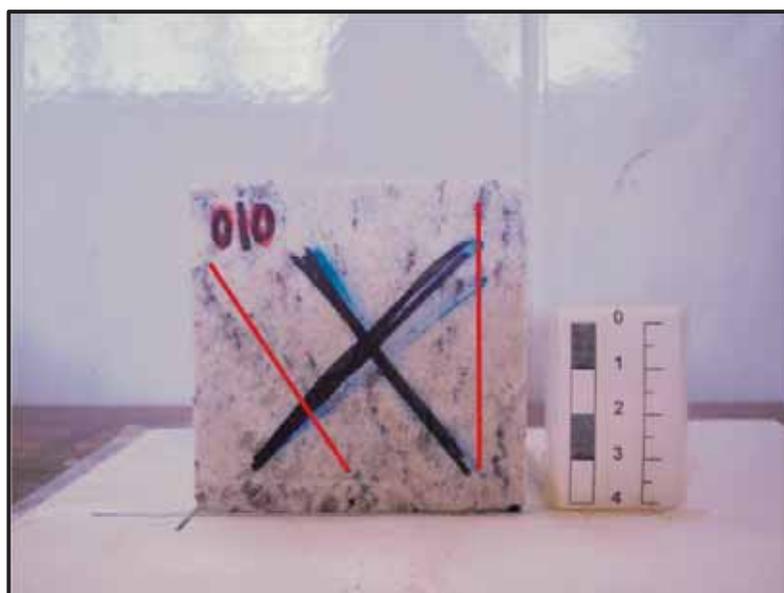
Em (a) verifica-se a suposta direção dos esforços perpendiculares à foliação principal, que é observada melhor na posição (b).

A direção perpendicular à foliação (a) é, na realidade o plano de menor resistência da rocha, uma vez que aponta para o encontro das duas foliações. Na direção (b), ocorre o contrário.

Quando se realiza o ensaio na suposta direção paralela, na verdade, ele é realizado no ponto de maior resistência da rocha (interseção dos planos de foliação) (Costa, 2007).

Na amostra *Giallo* São Francisco Real (Figura 77), ficou demonstrado que existe uma diferença considerável de anisotropia entre as amostras e também entre os corpos-de-prova dos ensaios realizados. Nessa amostra a intersecção das descontinuidades é mais espaçada, tornando a identificação de planos intermediários entre as direções paralelas e perpendiculares menos visíveis. Então, seus resultados de V_p nos corpos-de-prova do ensaio de compressão uniaxial, foram influenciados pela diminuição de seu índice de anisotropia em relação às outras duas amostras, principalmente devido ao seu baixo teor de máficos. Já os resultados obtidos para os corpos-de-prova do ensaio de compressão uniaxial conjugado ao congelamento e degelo, esta rocha apresentou a maior anisotropia que é explicada pelo seu estado microfissural, pela sua pequena quantidade de máficos e pela maior densidade, que fez com que houvesse maior coesão na estrutura da rocha e aumentasse a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.

Figura 77. Representação das foliações no corpo-de-prova destinado à compressão uniaxial.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Nos valores médios obtidos nos corpos-de-prova do ensaio de módulo de ruptura (Figura 78) seus valores intermediários são uma consequência

principalmente da granulação distribuída em sua estrutura e a quantidade de microfissuras não preenchidas dispersas nas amostras.

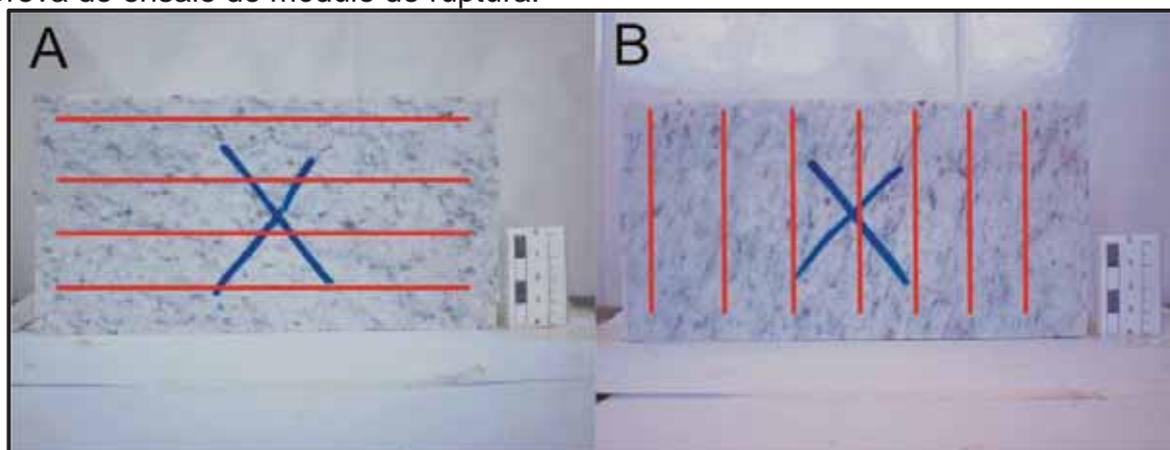
Figura 78. Demonstrativo dos ângulos de foliação no corpo-de-prova de módulo de ruptura.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Lembrando ainda que para este ensaio os corpos-de-prova foram confeccionados com uma diferença em relação às outras amostras, pois devido ao tamanho dos blocos coletados em campo não foi possível à confecção dos corpos-de-prova na direção paralela a foliação e sim com o plano foliação sendo concorrente ao plano de esforço, conforme figura 79.

Figura 79. Figura da marcação de foliação nas condições paralelas dos corpos-de-prova do ensaio do módulo de ruptura.



Legenda: (A) *Giallo* São Francisco Real; (B) Branco Dallas. Fonte: Elaborada pelo autor.

Na amostra Branco Dallas, apesar de ter sido classificada com o maior índice de foliação em estudo macroscópico, os valores apresentados como resultados do ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas são intermediários, dados principalmente pelos seus tipos de contatos entre minerais não serem com tão alto imbricamento mineral e pelo seu microfissuramento não preenchido também intermediários.

Uma exceção é o módulo de ruptura, em que apresentou o menor nível de anisotropia.

Isso se explica devido ao tamanho dos corpos-de-prova, pois ficou evidenciada melhor intersecção das descontinuidades em relação às direções onde foram realizados os ensaios.

A amostra Branco Dallas foi, das três amostras, a que apresentou os maiores índices de anisotropia, com exceção do ensaio de congelamento e degelo, onde as amostras tiveram os menores índices de anisotropia, causados por uma interferência da dilatação sofrida pelas microfissuras preenchidas tendo, por isso, um aumento da quantidade de vazios em seu meio poroso em comparação aos outros ensaios, onde o índice anisotropia foi maior.

A explicação para esse índice de anisotropia ser maior, apesar de macroscopicamente não apresentar esse valor tão alto e sim intermediário, é dada principalmente por apresentar os menores tamanhos de grãos em seu arranjo e por possuir a maior quantidade de contatos minerais lobulados, tendo assim um bom imbricamento mineral, favorecendo um aumento da velocidade de propagação de ondas em meio sólido e conseqüentemente aumentando o índice de anisotropia.

Chega-se a conclusão de que os índices de anisotropia em relação à V_p são muito subjetivos e dependentes de outras características intrínsecas, não se tornando alvo apenas para uma avaliação geral de rochas anisotrópicas.

Mas apenas um método auxiliar, considerando também que a relação dessas características com os valores de resultados dos ensaios mecânicos não é evidente devido aos efeitos causados pelas variações de espaçamento da foliação e da granulação nas rochas de acordo com a deformação que apresentam.

5.1.11. RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO

Neste item são apresentados e discutidos os resultados fornecidos pelos três

tipos de rochas ornamentais estudadas, através da determinação de perda de brilho, das alterações cromáticas exibidas e alterações minerais.

Simultaneamente, são analisadas e discutidas as influências dos aspectos petrográficos (mineralógicos, texturais e estruturais) na resistência da alterabilidade química apresentada para cada tipo.

Considerando-se que estas rochas são de natureza essencialmente granítica e, portanto, de constituição silicática, estes resultados expressam muito bem a ação danosa das substâncias alcalinas e ácidas sobre os diversos minerais formadores das rochas.

Estas ações podem manifestar-se de várias maneiras dentre elas a perda do brilho decorrente do polimento dos materiais beneficiados (TORQUATO, 2004).

De forma geral as amostras estudadas correspondem a rochas sãs, cujas alterações referem-se basicamente a sericitização do feldspato potássico, moderada saussuritização de cristais de plagioclásio.

E, por vezes, sinais de cloritização de biotitas, argilomineralizações de feldspatos e de liberação de óxidos e hidróxidos de ferro associados aos minerais ferromagnesianos observáveis somente a nível microscópico.

No decorrer do ensaio verificou-se que as soluções eram em parte absorvidas e percoladas através das placas, lixiviando os componentes mineralógicos dessas rochas causando, em alguns casos, modificações também nas faces opostas (tardoz) das amostras, especialmente em relação à deposição de algumas substâncias e à cor desses materiais.

Por esta razão procurou-se analisar e descrever os efeitos observáveis produzidos nas duas faces (polida e no tardoz) dessas amostras.

De um modo geral a atuação destas substâncias químicas sobre o polimento dos materiais graníticos das rochas em estudo, pode ser sintetizada no quadro 12.

A maioria dos granitos analisados não sofreram mudanças fortes com relação à alteração cromática, com exceção dos atacados por ácido clorídrico. Isso se verifica provavelmente em função de possuírem cor branca e serem hololeucocráticos.

No entanto, as substâncias que demonstraram maiores agressividades a olho nu, foram o ácido clorídrico e o cloreto de amônia.

Quadro 12. Resumo das principais alterações observadas nas placas que sofreram ataque químico.

Substância química agressiva	<i>Giallo</i> São Francisco Real	Branco Dallas	Branco Marfim
HCl	Amarelamento dos feldspatos (no local de aplicação e também no tardoiz)	Amarelamento dos feldspatos e também no tardoiz da placa	Amarelamento de toda a superfície polida e também na crosta de alteração no verso da placa
C6H8O7	Sutil clareamento	Manchas esbranquiçadas no tardoiz.	Esverdeamento evidente na superfície atacada e amarelamento em todo tardoiz
NH ₄ Cl	Mudança leve de coloração para esverdeado	Realçamento das cores	Sutil escurecimento
KOH	Sutil amarelamento	Mudança leve de coloração para esverdeado e esbranquiçado	Sutil escurecimento e esverdeamento dos feldspatos
NaClO	Realçamento das cores	Leve clareamento	Leve clareamento

Fonte: Elaborada pelo autor.

As alterações observadas foram amarelamento, que estaria relacionado à oxidação do ferro presente no próprio feldspato e/ou pela percolação do hidróxido de ferro gerado a partir dos minerais máficos ao longo dos planos de microfissuras presentes nos cristais de feldspatos e de quartzo e de clivagens dos feldspatos, resultante do ataque do ácido clorídrico; realçamento de cor, de responsabilidade do hipoclorito de sódio; esbranquiçamento causado pelo hidróxido de potássio; e às vezes esverdeamento pelo ataque também do cloreto de amônia e o hidróxido de potássio. Apesar de sutis, essas mudanças nas cores persistem mesmo depois da amostra secar completamente.

Ocorreu ainda uma maior infiltração dos ácidos cítrico e clorídrico nas amostras, que chegou a ser observada no tardoiz das amostras atacadas por elas, chegando ultrapassar a placa de 2 cm de espessura utilizada no ensaio, com reações no verso da placa, conforme pode ser observado nas figuras 82 a 87.

Isso se dá pela melhor absorção das soluções químicas colocadas sobre as superfícies durante a execução dos testes. Desta forma, essas substâncias químicas ficaram menos tempo em contato com a superfície destes granitos, reduzindo seu poder de ação na superfície.

O tardo da amostra Branco Dallas apresentou um material de aspecto esbranquiçado após o contato com o ácido cítrico, que pode ser indicativo da alteração superficial dos feldspatos constituintes desses materiais e/ou a deposição de sais decorrentes da lixiviação.

A redução do brilho causada pelo contato com substâncias químicas ocorre em função de diferentes parâmetros, como a composição da rocha, presença de microfissuras, natureza do preenchimento dessas microfissuras, grau de absorção de líquidos, porosidade, além do tempo de exposição da rocha ao ataque químico.

Por isso, antes de serem atacadas pelas substâncias químicas, as amostras foram submetidas a medidas de brilho, através do *Gloss metter*, para efeito de comparação ao final do ataque.

Os resultados obtidos com o brilho inicial e o brilho final tem-se a perda de brilho das amostras após o ataque com os diferentes reagentes identificados na tabela 18.

Tabela 18. Resultados obtidos no ensaio de ataque químico.

Reagente	Ácido Clorídrico (HCl)	Ácido cítrico (C8H8O7)	Cloreto de Amônia (NH4Cl)	Hidróxido de Potássio (KOH)	Hipoclorito de Sódio (NaClO)
Amostra	Pb (%)	Pb (%)	Pb (%)	Pb (%)	Pb (%)
Giallo São Francisco Real	+15,15	-1,94	-33,18	+32,54	+5,06
Branco Dallas	+4,62	-4,96	-32,84	-2,51	+12,1
Branco Marfim	+58,62	+28,71	-81,51	+10,94	+19,97

Fonte: Elaborada pelo autor.

De modo geral, o cloreto de amônia foi o composto químico que mais afetou o brilho das rochas, apesar de não apresentarem em análise visual, qualquer mudança no padrão estético da rocha, seguido pelo ácido cítrico e pelo hidróxido de potássio (Figura 80).

Como já dito, o reagente cloreto de amônia, foi o mais representativo na perda de brilho, provavelmente ocasionada por alterações nos cristais de biotita e de plagioclásio, que de um modo geral, são discretas e evidenciadas apenas por nuances esbranquiçadas sobre porções dos cristais de plagioclásio, as quais são mais evidentes próximos aos contatos e ao longo dos planos de clivagens e de microfissuras, devido suas maiores exposições à substância agressiva.

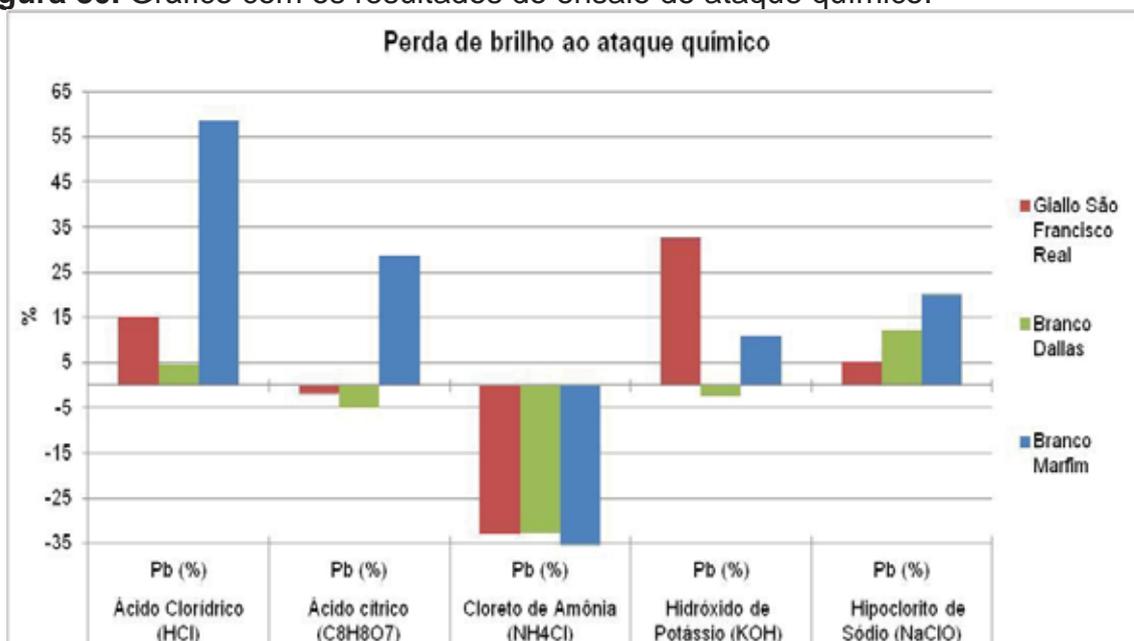
São comuns também nos cristais de feldspato potássico, maclas, contatos e

fissuras ressaltadas por linhas brancas devido à percolação do cloreto de amônia. O mesmo efeito de preenchimento pode ser notado ao longo de algumas microfissuras e contatos de cristais de quartzo, tornando-os mais abertos.

Em relação ao ácido cítrico, segundo reagente que denotou a perda de brilho das placas estudadas, em comparação visual da placa sã com as atacadas pelo ácido cítrico mostra uma suave variação cromática, cujas reações transformam suas cores originais para tonalidades mais claras, causadas pelo plagioclásio e pelo quartzo com feições esbranquiçadas. Há de se observar também o material esbranquiçado que penetra nas fissuras e contatos dos cristais de quartzo que se mostram mais ressaltados, gerando um aspecto desbotado à coloração.

Quanto ao ácido clorídrico, o Branco Marfim foi a que apresentou as reações mais evidentes a olho nu, porém estas alterações não se refletem de forma direta na perda de brilho, visto que não são maiores que as perdas de brilho do cloreto de amônia, ou de outros reagentes.

Figura 80. Gráfico com os resultados do ensaio do ataque químico.

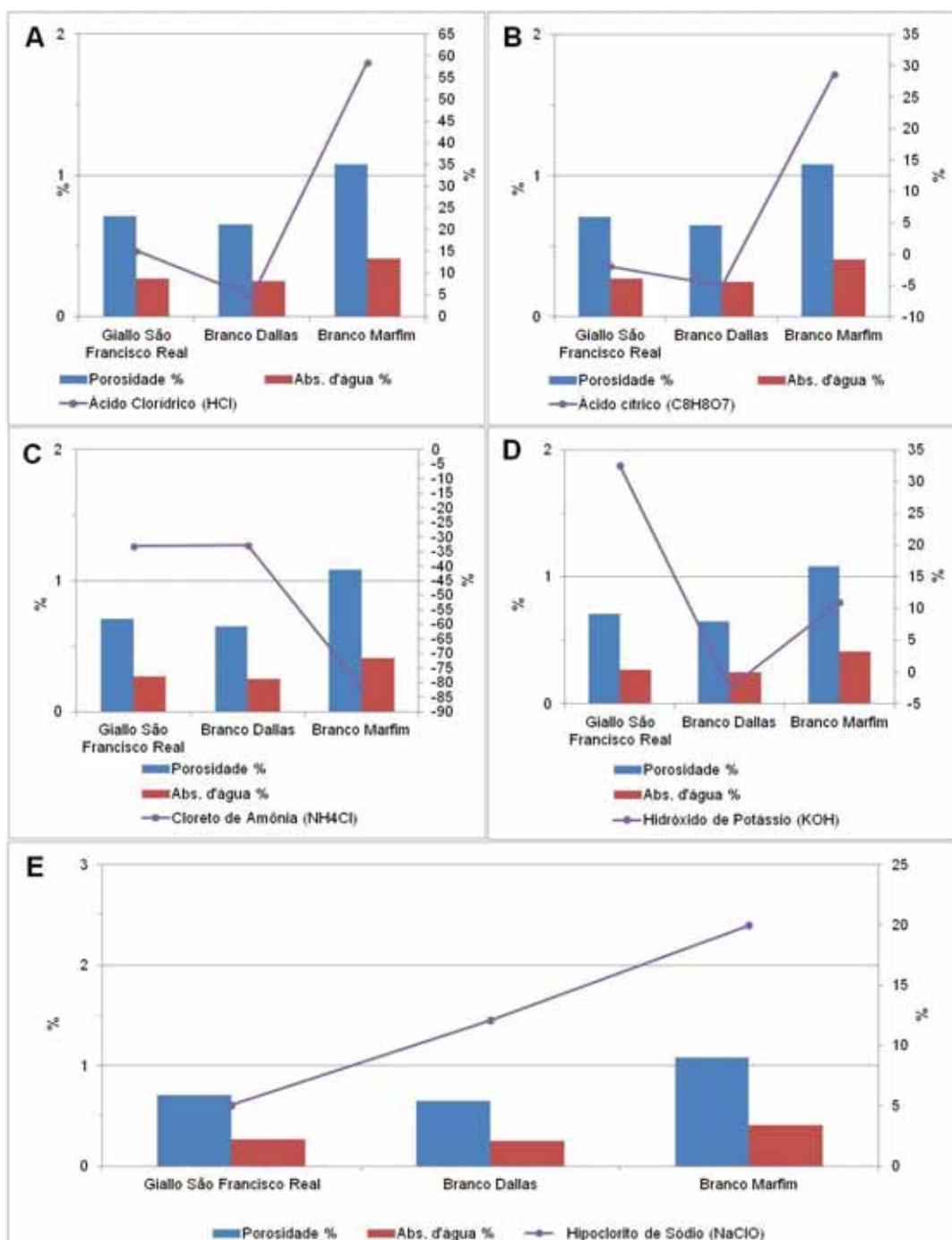


Fonte: Elaborada pelo autor.

Nota-se também que em algumas substâncias aplicadas e em alguns dos materiais não apresentaram perda de brilho após o ataque (Figuras 82 a 87), mas ao contrário, tiveram um aumento de brilho. Esta situação ocorreu principalmente após os ataques com o reagente hipoclorito de sódio (chegando a um aumento de 19% para a amostra Branco Marfim), ácido clorídrico (chegando a um aumento de 58%

para a amostra Branco Marfim) e hidróxido de potássio (32%) para a amostra *Giallo São Francisco Real* (Figura 81).

Figura 81. Correlação dos índices de porosidade e absorção d'água com a perda de brilho provocadas por agentes agressivos.



Legenda: (A) Correlação entre porosidade e absorção d'água *versus* perda de brilho por ácido clorídrico. (B) Correlação entre porosidade e absorção d'água *versus* perda de brilho por ácido cítrico. (C) Correlação entre porosidade e absorção d'água *versus* cloreto de amônia. (D) Correlação entre porosidade e absorção d'água *versus* perda de brilho por hidróxido de potássio. (E) Correlação entre porosidade e absorção d'água *versus* perda de brilho por hipoclorito de sódio. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Este resultado é explicado a partir de duas hipóteses, segundo Pazeto (2011): baseia-se no fato de que as amostras utilizadas não são homogêneas, havendo variações mineralógicas e texturais locais, de forma que, embora as medidas de brilho tenham sido efetuadas na mesma área das placas antes e após o ataque, há a possibilidade de se ter atingido minerais ou pontos distintos dos iniciais. A segunda hipótese justifica-se no sentido dos reagentes terem efetuado uma aparente limpeza na superfície das placas, removendo minerais secundários, como os carbonatos, o que também culminaria num aumento de brilho, uma vez que a remoção de impurezas torna a superfície mais lisa. E a segunda hipótese justifica-se no sentido dos reagentes terem efetuado uma aparente limpeza na superfície das placas, removendo minerais secundários, como os carbonatos, o que também culminaria num aumento de brilho, uma vez que a remoção de impurezas torna a superfície mais lisa.

No contexto da composição químico-mineralógica estas rochas apresentam larga semelhança, principalmente nos componentes mineralógicos principais, a de se resguardar sobre as diferenças texturais e físicas que permitissem correlacionar alguns comentários e possam proporcionar um melhor entendimento acerca das diferentes reatividades destas soluções em contato com elas.

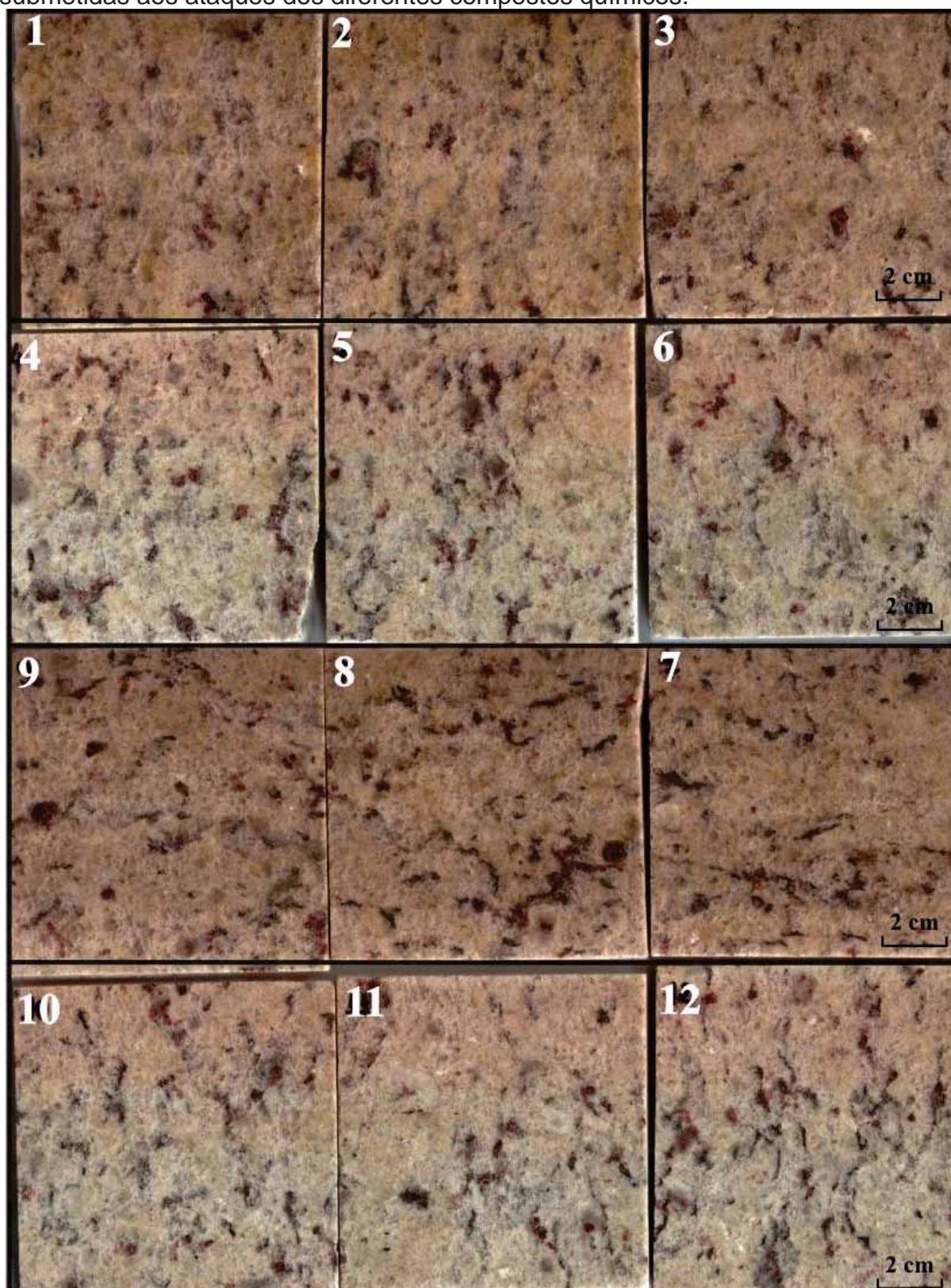
Para o conjunto de dados disponíveis verificou-se que a amostra Branco Marfim se mostrou o mais resistente relativamente ao polimento, apesar de ter exibido os maiores valores de porosidade e absorção de água, seguida pela amostra Giallo São Francisco Real e a amostra Branco Dallas. Embora, sobre o aspecto da transmissão de fluidos através dos materiais rochosos, a permeabilidade seja o parâmetro mais importante, a porosidade e absorção deve ter influenciado nas reatividades e percolações destas substâncias nestas rochas (Quadro 13).

Quadro 13. Classes de resistência ao ataque químico.

Alterações de cor	% de perda de brilho	Feições de corrosão	Classe de resistência química
Nada observada	< 12%	Não observadas	A
Sutil descoloração	≤ 16%	Não observadas	B
Moderada descoloração	≥ 12%	Muito sutil	C
Moderada descoloração	< 12%	Muito sutil	C
Evidente descoloração	≥ 12%	observadas	D

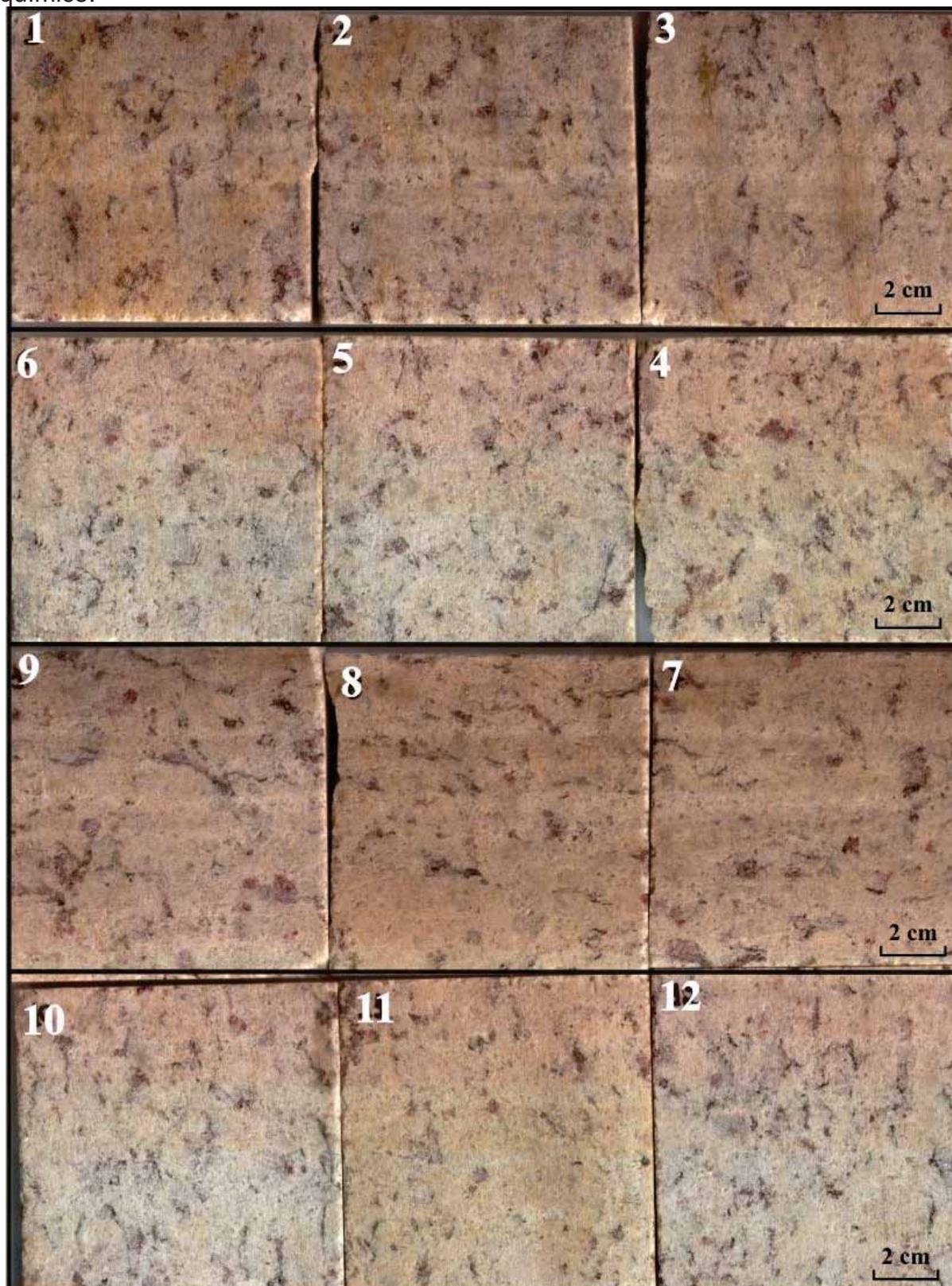
Fonte: Meyer, (2003).

Figura 82. Superfície das placas polidas das amostras *Giallo* São Francisco Real, submetidas aos ataques dos diferentes compostos químicos.



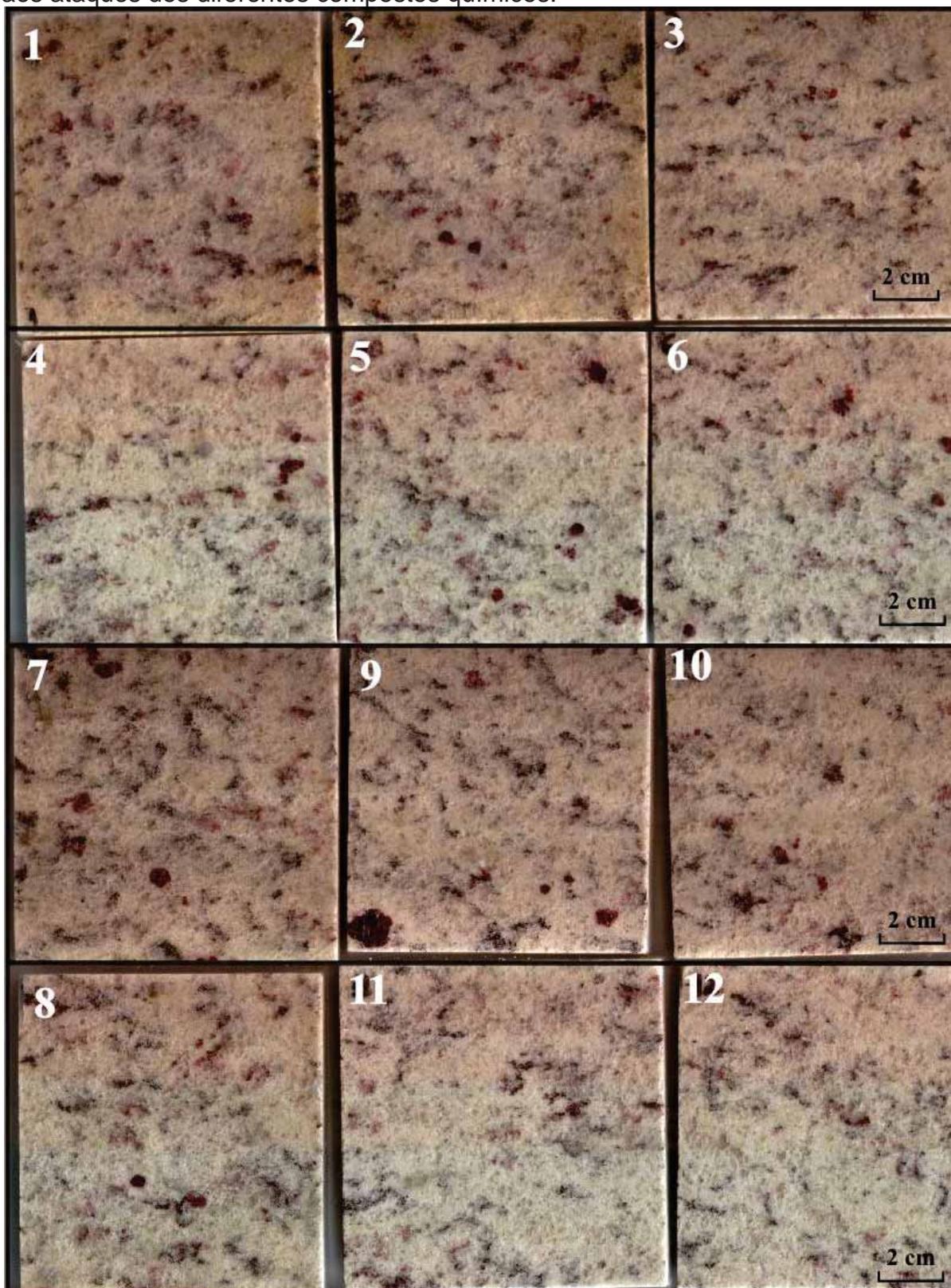
Legenda: Amostras após ao ataque químico. 1 e 2 - Ácido Clorídrico (HCl); 3 e 4 - Ácido cítrico (C₈H₈O₇); 5 e 6 - Cloreto de Amônia (NH₄Cl); 7 e 8 - Hidróxido de Potássio (KOH); 9 e 10 - Hipoclorito de Sódio (NaClO); 11 e 12 – sem ataque. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figura 83. Tardoz das amostras *Giallo* São Francisco Real, submetidas ao ataque químico.



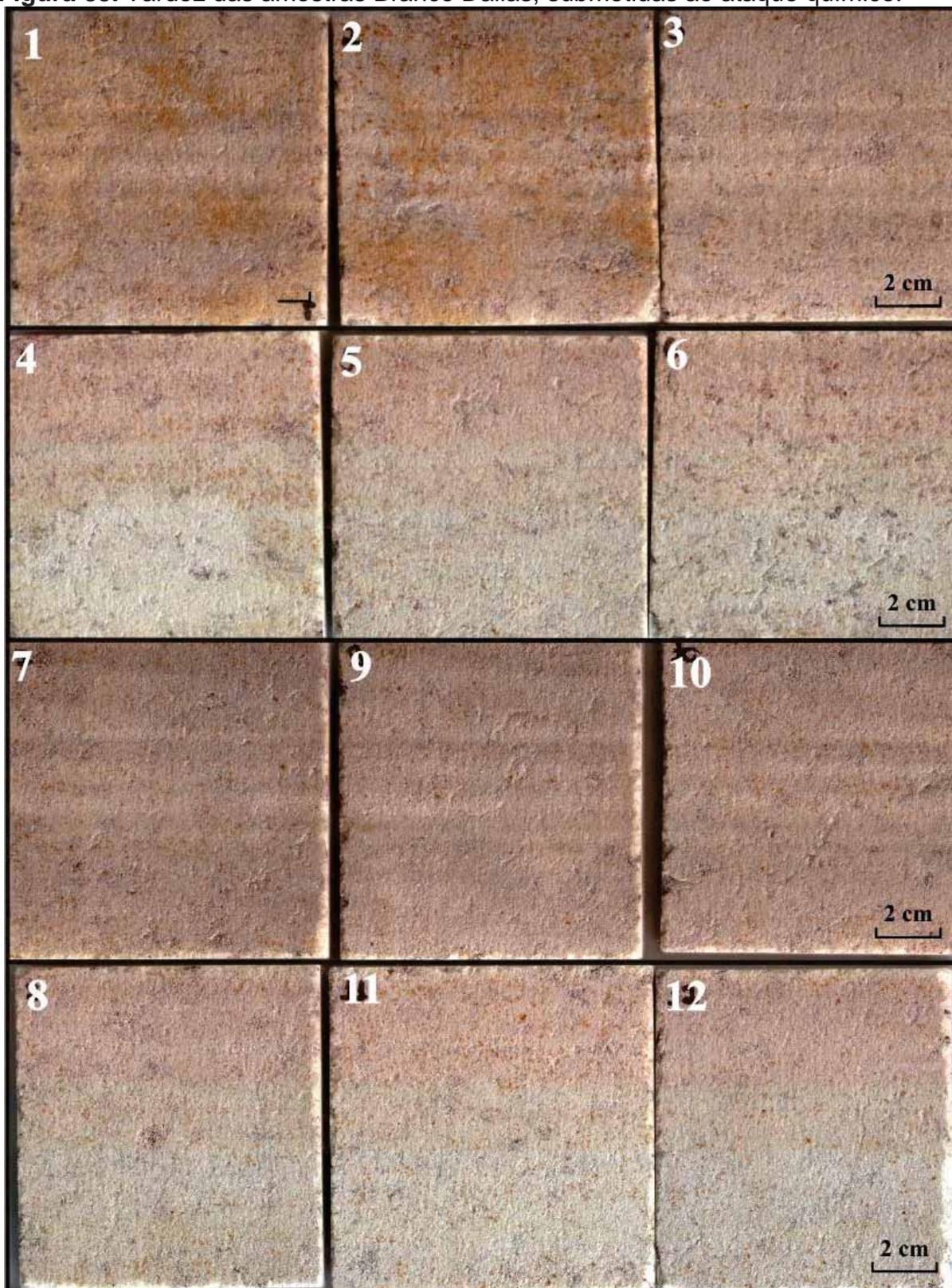
Legenda: Amostras após ao ataque químico. 1 e 2 - Ácido Clorídrico (HCl); 3 e 4 - Ácido cítrico (C₈H₈O₇); 5 e 6 - Cloreto de Amônia (NH₄Cl); 7 e 8 - Hidróxido de Potássio (KOH); 9 e 10 - Hipoclorito de Sódio (NaClO); 11 e 12 - sem ataque. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figura 84. Superfície das placas polidas das amostras Branco Dallas, submetidas aos ataques dos diferentes compostos químicos.



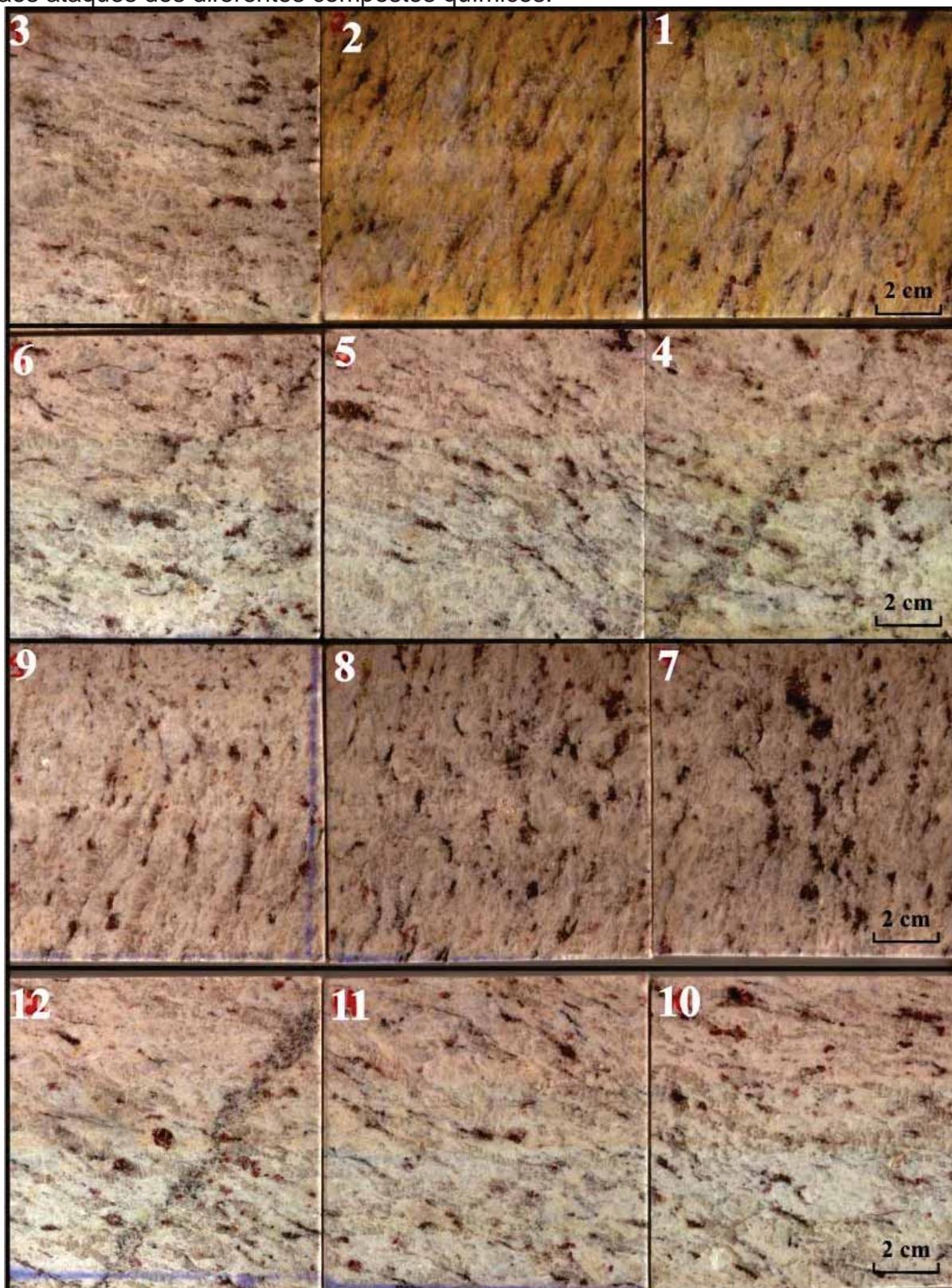
Legenda: Amostras após ao ataque químico. 1 e 2 - Ácido Clorídrico (HCl); 3 e 4 - Ácido cítrico (C₈H₈O₇); 5 e 6 - Cloreto de Amônia (NH₄Cl); 7 e 8 - Hidróxido de Potássio (KOH); 9 e 10 - Hipoclorito de Sódio (NaClO); 11 e 12 – sem ataque. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figura 85. Tardoz das amostras Branco Dallas, submetidas ao ataque químico.



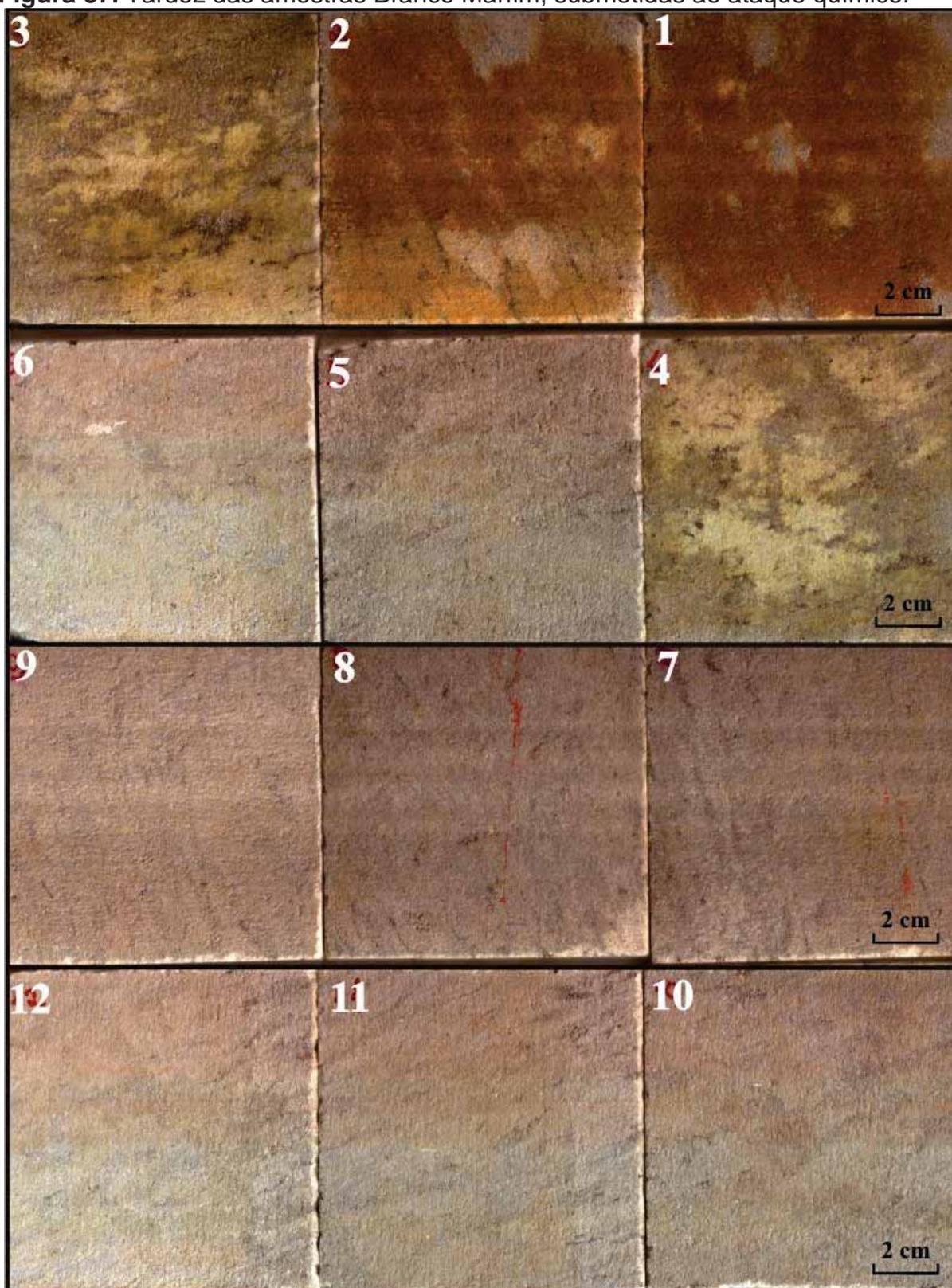
Legenda: Amostras após o ataque químico. 1 e 2 - Ácido Clorídrico (HCl); 3 e 4 - Ácido cítrico (C₈H₈O₇); 5 e 6 - Cloreto de Amônia (NH₄Cl); 7 e 8 - Hidróxido de Potássio (KOH); 9 e 10 - Hipoclorito de Sódio (NaClO); 11 e 12 - sem ataque. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figura 86. Superfície das placas polidas das amostras Branco Marfim, submetidas aos ataques dos diferentes compostos químicos.



Legenda: Amostras após ao ataque químico. 1 e 2 - Ácido Clorídrico (HCl); 3 e 4 - Ácido cítrico (C₈H₈O₇); 5 e 6 - Cloreto de Amônia (NH₄Cl); 7 e 8 - Hidróxido de Potássio (KOH); 9 e 10 - Hipoclorito de Sódio (NaClO); 11 e 12 - sem ataque. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figura 87. Tardoz das amostras Branco Marfim, submetidas ao ataque químico.



Legenda: 1 e 2 - Ácido Clorídrico (HCl); 3 e 4 - Ácido cítrico (C₈H₈O₇); 5 e 6 - Cloreto de Amônia (NH₄Cl); 7 e 8 - Hidróxido de Potássio (KOH); 9 e 10 - Hipoclorito de Sódio (NaClO); 11 e 12 – sem ataque. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Com base no comportamento das rochas estudadas, associando a porcentagem de perda de brilho e as alterações cromáticas observadas, podem ser estabelecidas classes de resistência ao ataque químico (Meyer, 2003).

Sendo assim, as amostras ficam classificadas, observando os parâmetros de seus comportamentos, atribuídos no quadro 14.

Quadro 14. Classificação das classes de resistência ao ataque químico das amostras estudadas.

Reagente	Ácido Clorídrico (HCl)	Ácido cítrico (C ₈ H ₈ O ₇)	Cloreto de Amônia (NH ₄ Cl)	Hidróxido de Potássio (KOH)	Hipoclorito de Sódio (NaClO)
Giallo São Francisco Real	B	A	C	B	A
Branco Dallas	B	A	C	B	A
Branco Marfim	C	C	B	C	A

Fonte: Elaborada pelo autor.

CAPÍTULO 6

6.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE INDICAÇÕES DE USO

Neste trabalho buscou estabelecer correlações entre os aspectos petrográficos e o comportamento tecnológico e de alterabilidade dos três tipos petrográficos utilizados como rochas ornamentais e de revestimento, classificadas comercialmente como *Giallo* São Francisco Real (BSF 010), Branco Dallas (BSF 081) e Branco Marfim (BSF 273). Petrograficamente foram classificadas como granada gnaisses, constituídas basicamente por microclínio, quartzo, plagioclásio, biotita, granada e sillimanita. Os minerais acessórios são representados por titanita, apatita, zircão e opacos.

Segue abaixo um resumo dos resultados alcançados através dos ensaios tecnológicos e de alterabilidade, adequando-os ao melhor uso dos materiais rochosos estudados coorelacionando-os com sua destinação final. Segue também no Quadro 15, um resumo com todos os resultados obtidos.

A variedade Branco Dallas, possui composição sienogranítica e estruturação gnáissica, caracterizada pela presença de bandas de composição quartzo-feldspática, alternadas com linhas interrompidas e cristais isolados de biotita e granada, de granulação média-grossa e elevado grau de microfissuramento. De forma geral, as correlações entre o comportamento tecnológico e os aspectos petrográficos dessa amostra mostraram-se coerentes na maioria dos ensaios realizados, uma vez que foi a variedade rochosa que apresentou o resultado tecnológico mais alto para os ensaios físico-mecânicos de flexões 3 e 4 pontos e impacto de corpo duro e corresponde ao material com os menores valores de absorção d'água e porosidade, com exceção somente para o desgaste amsler que apresentou a maior média de desgaste.

É, portanto, indicado principalmente para aplicação em fachadas, revestimentos verticais e horizontais de interiores e balcões em geral, porém há restrições para ambientes de baixo tráfego, haja vista seu elevado desgaste em relação aos outros materiais (~1,0 mm).

Com relação à resistência ao ataque químico de compostos agressivos, houve uma alteração esbranquiçada que penetrou nas fissuras e contatos dos cristais de quartzo gerando um aspecto desbotado à coloração nas amostras. Baseado nesses resultados indica-se maiores cuidados na aplicação dos produtos de limpeza, que apesar da baixa porosidade e absorção d'água, apresentou de certa forma, baixa resistência ao ataque químico, acompanhada de alterações cromáticas. A forma de limpeza correta seria aquela efetuada somente com um pano úmido e, quando necessário, utilizar somente detergente neutro.

Ainda assim, a utilização desse material deve ser evitada em ambientes úmido e de alto tráfego, como, banheiros e balcões de estabelecimentos comerciais, uma vez que estes ambientes requerem constantes limpezas e/ou estejam sujeitas a qualquer outra substância mais agressiva, seja ela ácida ou básica.

O material *Giallo* São Francisco Real, por sua vez, exibiu valores intermediários de índices físicos e resistências mecânicas em praticamente todos os ensaios executados e que corresponde a uma rocha de composição sienogranítica e estrutura porfiroclástica e gnáissica, mesmo assim, apresentou uma boa resistência mecânica (compressão uniaxial; compressão uniaxial conjugado ao congelamento e degelo; flexões 3, impacto de corpo duro e desgaste amsler). Para este material ressalta-se ainda que, durante a preparação dos corpos de prova do módulo de ruptura foi considerada a orientação dos planos de gnaissificação oblíquos à superfície de corte, o que imprime maior resistência mecânica segundo esta orientação de corte.

Levando-se em consideração suas ainda altas resistências, é mesmo assim indicado para aplicações em revestimentos de interiores, tanto vertical, quanto horizontal) em ambientes internos e revestimentos, sugere-se que a aplicação como revestimento externo deve restringir-se à ambientes de baixo a médio tráfego. A confecção de peças isoladas de tamanho menores, como colunas, pilares e tampos de mesa também são indicadas.

Quanto ao ataque químico a amostra revelou-se bastante sensível à maioria dos compostos químicos e soluções aciduladas utilizadas nas simulações. As alterações cromáticas, ocorridas frente à maioria dos compostos agressivos e acidulantes, caracterizadas por desbotamento/clareamento, amarelamento e ofuscamento das superfícies polidas das placas ensaiadas foram constatadas tanto visualmente quanto pela redução (calculada) do brilho. Desta forma, o uso desse material em ambientes mas propícios a umidade e constantes uso de material de limpeza, como, pias de cozinha, lavabo e revestimentos em banheiros, balcões de bares devem ser evitados, mas no caso de impossibilidade do uso de reagentes químicos agressivos, evitar o contato muito prolongado a fim de conservar a estética do material.

E por fim, o material Branco Marfim, igualmente uma rocha quartzo-feldspática, apresentou-se com os menores resultados em praticamente todos os ensaios realizados, porém na maioria dos ensaios seus resultados ficaram próximos aos limítrofes. Tal fato é explicado principalmente pelo seu estiramento mineral e seus altos índices de porosidade e absorção de água. Assim, em virtude das altas porosidade e absorção d'água, o material é individualmente indicado para ambientes secos, como tampos de mesa e bancadas, devendo as condições de uso em ambientes úmidos como pias de cozinha, lavabo e revestimentos de exteriores. Já sob os resultados físicos-mecânicos, embora este material tenha apresentado valores de tensão abaixo dos sugeridos pelas normas pode ser utilizado em fachadas e revestimentos, além do emprego como elemento estrutural, uma vez desde que seja adaptada sua espessura para o projeto pretendido. Em relação ao desgaste Amsler, embora esta rocha tenha obtida os maiores valores de desgaste na condição perpendicular, ela também obteve os menores valores em condições paralela a foliação, para tanto deve-se indicar este material na condição perpendicular a foliação com restrições para ambientes de revestimentos horizontais de interiores e exteriores em locais de baixo tráfego e ambientes secos.

Quanto ao ataque químico observou-se um amarelamento e manchas esbranquiçadas dos feldspatos e também no tardo da placa e uma leve mudança de coloração para esverdeado e esbranquiçado. Para este material, por se tratar de um material branco e de alta porosidade eles adquirem facilmente um aspecto gorduroso quando em contato com substâncias graxas (suor humano e gorduras em

geral), então deve-se ter restrições a seu uso em ambientes de maior contato de mãos, como em bancadas de centros comerciais, além de que, deve-se evitar o contato com substâncias agressivas (detergentes, desengordurantes, água sanitária, produtos anti-mofo), dado o alto microfissuramento do material.

Conforme já apresentado nas observações acima, os critérios de especificação para os materiais estudados ainda são sugestivos, uma vez que os resultados fornecidos pelos ensaios físico-mecânicos e químicos não devem ser tomados como absolutos.

Vale lembrar ainda que, além dos fatores já estudados, outras solicitações das condições ambientais, como no processo de extração, beneficiamento, transporte e aplicação, relata que estes procedimentos podem acentuar a ação dos agentes deletérios, acelerando os mecanismos de alteração e promovendo mudanças no aspecto das rochas que podem se traduzir como manchamentos, perda de brilho, alterações na cor, dentre outros.

Em suma os materiais são perfeitamente aplicáveis como rochas ornamentais e de revestimento, em ambientes internos e externos tanto como elemento de revestimento de pisos ou de fachadas, mas com os devidos cuidados na limpeza e manutenção, ambientes de alto tráfego ou sujeitos à emissão de poeira, tipos de aplicações em fachadas e pisos, etc.

Quadro 15. Resumo dos resultados dos ensaios aplicados nas amostras estudadas.

Características Petrográficas		Gião São Francisco Real I	Gião São Francisco Real II	Branco Dallas I	Branco Dallas II	Branco Martin I	Branco Martin II																		
Coloração		amarelada	amarelada	esbranquiçada	esbranquiçada	esbranquiçada	esbranquiçada																		
Estrutura		granítica	granítica	granítica	granítica	granítica	granítica																		
Textura		granoblástica	granoblástica	hipidimórfica granular	hipidimórfica granular	granoblástica/lepidoblástica	granoblástica/lepidoblástica																		
Granulação relativa		Média e Grossa	Média e Grossa	Média e Grossa	Média e Grossa	Média e Grossa	Média e Grossa																		
Mineralogia (%)	Quartz	24	26	26	25	26	26																		
	Feldspato potássico	40	41	37	36	41	39																		
	Plagioclásio	22	20	19	20	22	21																		
	Biotita	5	7	5	5	4	5																		
	Clorona	2	3	1	1	1	1																		
	Gilmarita	1	1	4	4	2	2																		
	Cloracada	2	2	2	2	2	4																		
	Apofita	traços	traços	traços	traços	traços	traços																		
	Tautilita	traços	traços	traços	traços	traços	traços																		
	Ortofo	traços	traços	traços	traços	traços	traços																		
	Sericita	traços	traços	traços	traços	traços	traços																		
	Epídoto	traços	traços	traços	traços	traços	traços																		
	Carbonatos	traços	traços	traços	traços	traços	traços																		
Total máficos (%)	10	10	10	10	12	12																			
Granulação (mm)	Variação	0,2 a 2,0	0,2 a 2,0	0,3 a 2,6	0,3 a 2,6	0,3 a 1,5	0,3 a 1,5																		
	Prevalência	0,2 a 2,2	0,2 a 2,2	0,3 a 2,5	0,3 a 2,5	0,3 a 1,25	0,3 a 1,25																		
Microfissuras	Total estimada ¹	0,5	0,54	0,62	0,73	0,37	0,41																		
		Quantidade	Medida (mm)	Quantidade	Medida (mm)	Quantidade	Medida (mm)	Quantidade	Medida (mm)	Quantidade	Medida (mm)	Quantidade	Medida (mm)												
Conteúdo Mineral (%)	Integrado (%)	nP	P	nP	P	nP	P	nP	P	nP	P	nP	P	nP	P	nP	P								
	Integrado (%)	93,29	2,92	91,49	3,13	92,62	6,71	91,71	6,03	88,76	10,06	82,72	14,98	85,50	11,50	79,03	15,68	69,20	26,13	29,37	37,71	82,33	15,66	81,65	15,17
	Frangível (%)	0	0	0	0	0,67	0,00	3,26	0,00	0,99	0,50	1,31	0,99	1,00	0,50	1,32	0,88	0,00	3,23	0,00	2,31	0,00	1,20	0,00	2,20
Alteração Mineral	Frangível (%)	0,93	2,84	2,01	3,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,32	1,36	0,45	0,00	0,41	0,00	0,40	0,40	0,41	0,40
	Lobuloso	53				51				47				42				59				57			
	Retilino	5				5				7				4				4				4			
	Engrenado	11				12				13				13				11				11			
	Saturado	26				26				24				21				18				16			
Classificação Petrográfica (QAP)	Grande	3				2				1				1				3				4			
	Moderado																								
	Incipiente																								
Massa Específica (g/cm ³)	Seca	2,64				2,632				2,63															
	Saturada	2,64				2,639				2,64															
Porosidade %		0,71				0,85				1,06															
Abs. d'água %		0,27				0,25				0,41															
Compressão Uniaxial (MPa)	Seca	126,01				117,32				124,99				104,46				105,36				96,30			
	Saturada	111,49				90,30				114,85				98,27				91,29				90,05			
VP (m/s)	Seca	4677				4612				4459				4285				3659				3257			
	Pre-saturação	4605				4582				4411				3961				4032				3340			
	Pos-saturação	5214				5190				4937				4803				4804				4002			
Anisotropia (%)	Seca	9,69				7,82				30,15															
	Pre-saturação	9,04				21,25				41,56															
	Saturada	12,52				4,22				25,73															
Índice de entrançamento hidráulico (%)	Medida nas direções	87,06				79,99				91,72				94,08				80,86				101,82			
	MÉDIA	82,94				80,96				84,24															
Compressão Uniaxial (MPa) Gelo/Degelo após 28 ciclos	Pre-saturação	4677				4650				4420				4149				3713				3475			
	Pre-Gelo/Degelo	5300				5090				5109				4902				4304				4215			
	Pos-Gelo/Degelo	5702				5276				5450				5345				4940				4827			
Anisotropia (%)	Pre-saturação	15,19				12,34				5,36															
	Pre-Gelo/Degelo	16,20				0,10				6,11															
	Pos-Gelo/Degelo	8,83				2,66				19,26															
Índice de entrançamento hidráulico (%)	Medida nas direções	109,46				127,58				106,16				125,16				106,75				128,19			
	MÉDIA	118,82				117,17																			
Resistência ao Desgaste Abrasivo Astalar (mm)	500m	0,46				0,56				0,55				0,49				0,44				0,57			
	1000m	0,85				0,97				0,99				0,91				0,57				1,08			
Resistência ao Impacto de Corpo Duro	Energia de Ruptura (J)	3,53				4,31				3,30															
	Altura de Fissura (m)	0,25				0,29				0,26															
	Altura de Ruptura (m)	0,36				0,44				0,34															
Módulo de ruptura (MPa)	Seca	11,45				13,81				12,09				14,38				7,83				13,76			
	Saturada	9,54				10,59				7,87				11,28				5,45				11,70			
VP (m/s)	Seca	4533				4770				4190				4255				3312				4209			
	Pre-saturação	4677				4640				4599				4355				3779				3704			
	Pre-saturação	4518				4704				3990				4545				3364				4309			
	Pos-saturação	5011				4658				4759				4372				4259				3594			
Anisotropia (%)	Seca	10,80				13,01				13,01				30,13											
	Pre-saturação	14,06				19,77				22,46															
	Pos-saturação	7,72				10,83				20,85															
Índice de entrançamento hidráulico (%)	Medida nas direções	83,36				77,85				85,13				79,29				71,50				84,96			
	MÉDIA	89,82				71,71				78,24															
Resistência à Flexão na Tração (Método dos 4 pontos) (MPa)	Seca	5,72				13,74				6,10															
	Saturada	4,24				7,70				4,87															
Índice de entrançamento hidráulico (%)	MÉDIA	134,91				177,24				126,26															

¹ Força aplicada em placas conforme são comercializadas

VP - Velocidade de Propagação de Ondas

Fonte: Elaborada pelo autor.

CAPÍTULO 7

7.1. CONCLUSÃO

De forma geral, o comportamento tecnológico exibido pelas rochas estudadas permite considerar que todos os materiais são indicados para utilização como rochas ornamentais e para revestimento em obras civis. No entanto, por se tratar de tipos petrográficos similares de comportamento tecnológico também similar, as rochas estudadas apresentam alguns parâmetros que fazem atribuir as indicações de uso para cada um dos materiais estudados diferenciados, principalmente quanto ao local da aplicação.

O material Branco Dallas, foi das três amostras que obteve os valores mais adequados em relação às médias limítrofes estabelecidos, devido ao seu bom entrelaçamento mineral, e mesmo com alto grau de microfissuramento, apresentou os menores índices de porosidade e absorção d'água, bem como os maiores valores de resistência mecânica na maioria dos ensaios, sendo aconselhado sua adequação para ambientes internos e externos, com restrição apenas para ambientes de intenso tráfego, devido ao seu alto desgaste abrasivo e ambientes úmidos devido ao seu alto microfissuramento mineral.

Já o material *Giallo* São Francisco Real exibiu valores intermediários de índices físicos e resistências mecânicas em relação aos outros dois materiais analisados, provavelmente devido a forma em que seus corpos-de-prova foram confeccionados (concorrente ao plano principal de foliação), porém suas características intrínsecas são similares ao material Branco Marfim, apresentando boa resistência mecânica na maioria dos ensaios realizados. Sendo assim, indicado

também para ambientes internos e externos, contudo deve-se obter peças isoladas de tamanho menores.

E o material Branco Marfim foi o material que apresentou os menores valores durante os ensaios, os maiores índices de porosidade e absorção d'água, bem como os menores valores de tensão dentre o conjunto de rochas estudadas, exceto pela maior resistência ao desgaste abrasivo, porém na maioria dos ensaios seus resultados ficaram próximos aos limítrofes, o que não reduz suas aplicabilidades como rocha ornamental, sendo ainda indicado para ambientes secos, e com restrições para ambientes de condições úmidas e com adaptações da sua espessura para o projeto pretendido.

Conforme já apresentado no Capítulo, os critérios de especificação para os materiais estudados ainda são sugestivos, uma vez que os resultados fornecidos pelos ensaios físico-mecânicos e químicos não devem ser tomados como absolutos.

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que os todos os materiais estudados são adequados para fins ornamentais, embora se tenham restrições quanto a sua aplicação, onde se deve tomar mais cuidados quanto ao material Branco Marfim, que apresentou os menores valores em praticamente todos os ensaios.

CAPÍTULO 8

8.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard D-2845. Standard Test Method for Laboratory: Determination of Pulse Ultrasonic Elastic Constants of Rocks**. Estados Unidos: ASTM, 1990. 5p.

_____. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard C – 615. Sloudart especification for granite dimension stone**. Estados Unidos:1992. 2p.

ARTUR, A.C.; VIGÁRIO, H.P. & NAVARRO, F.C. **Efeito do Aumento dos Ciclos Gelo/Degelo no Âmbito da Norma NBR 12769 para Avaliação do Decaimento da Resistência à Compressão Uniaxial de Granitos Ornamentais**. *In: Anais V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife-PE. PPGEMinas/SBG*, p. 10 - 22. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). **Consumo interno, perfil de utilização e estrutura de comercialização das rochas ornamentais e de revestimento no Brasil**. São Paulo, 2004.

_____.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). **Rochas do Século XXI - Cenário internacional**. São Paulo, 2010. Disponível em: http://www.abirochas.com.br/livro_01.php. Acesso em: 10 de dezembro de 2010.

_____.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS) - **balanço sucinto das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento em 2011**. São Paulo, 2012a. Disponível em: http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/10672/Informe_01_2012.pdf. Acesso em: 10 de fevereiro de 2012.

_____.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS).

Balço da Produo Mundial e do Comrcio Internacional de Rochas Ornamentais em 2011. So Paulo, 2012b. Disponvel em: http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/11364/Informe_11_2012.pdf. Acesso em: 10 de dezembro de 2012.

ASSOCIAO BRASILEIRA DE NORMAS TCNICAS (ABNT). **NBR 12042: Materiais inorgânicos. Determinao do desgaste por abraso.** Rio de Janeiro, 1992e. 3p.

_____. ASSOCIAO BRASILEIRA DE NORMAS TCNICAS (ABNT). **NBR 15845: Rochas para revestimento – Métodos para ensaio. Anexo A – Análise petrográfica.** Rio de Janeiro, 2010. 4p.

_____. ASSOCIAO BRASILEIRA DE NORMAS TCNICAS (ABNT). **NBR 15845: Rochas para revestimento – Métodos para ensaio. Anexo B - Determinao da Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorao d água Aparente.** Rio de Janeiro, 2010. 3p.

_____. ASSOCIAO BRASILEIRA DE NORMAS TCNICAS (ABNT). **NBR 15845: Rochas para revestimento – Métodos para ensaio. Anexo D – Resistência ao Congelamento e degelo.** Rio de Janeiro, 2010. 4p.

_____. ASSOCIAO BRASILEIRA DE NORMAS TCNICAS (ABNT). **NBR 15845: Rochas para revestimento – Métodos para ensaio. Anexo E – Resistência à Compresso Uniaxial.** Rio de Janeiro, 2010. 3p.

_____. ASSOCIAO BRASILEIRA DE NORMAS TCNICAS (ABNT). **NBR 15845: Rochas para revestimento – Métodos para ensaio. Anexo F – Módulo de ruptura (flexo por carregamento em três pontos).** Rio de Janeiro, 2010. 4p.

_____. ASSOCIAO BRASILEIRA DE NORMAS TCNICAS (ABNT). **NBR 15845: Rochas para revestimento – Métodos para ensaio. Anexo G – Flexo por carregamento em quatro pontos.** Rio de Janeiro, 2010. 4p.

_____. ASSOCIAO BRASILEIRA DE NORMAS TCNICAS (ABNT). **NBR 15845: Rochas para revestimento – Métodos para ensaio. Anexo H – Resistência ao impacto de corpo duro.** Rio de Janeiro, 2010. 4p.

_____. ASSOCIAO BRASILEIRA DE NORMAS TCNICAS (ABNT). **NBR 15844: Rochas para revestimento – Requisitos para granitos. Valores Limítrofes para aplicao.** Rio de Janeiro, 2010. 2p.

_____. ASSOCIAO BRASILEIRA DE NORMAS TCNICAS (ABNT). **NBR 13818: Determinao da resistncia ao ataque químico. Anexo – H.** Rio de Janeiro, 1997.

BARROSO, J. A.; BARROSO, E. V.; RAMALHO, R. S.; FERREIRA, S. A. **Algumas consideraes sobre o potencial geológico de Campos dos Goytacazes para a produo de Pedras Ornamentais.** Solos e Rochas, So Paulo, v. 26, n.3, 2003.

BOLONINI, T. M. **Geologia e potencialidade do granito “Vermelho Capão Bonito” (sudoeste do estado de São Paulo) como rocha ornamental.** Dissertação (Mestrado em Geologia Regional). Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus de Rio Claro - SP. Rio Claro, SP, Ed. UNESP, 2011.

CALAES, G. D. **O setor de rochas ornamentais diante do novo cenário econômico nacional.** IETEC - Instituto de Educação Tecnológica. Belo Horizonte – MG, 2012. Disponível em: http://www.ietec.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/200. Acesso em 10 de fevereiro de 2012.

CHIODI FILHO, C. **Aspectos técnicos e econômicos no setor de rochas ornamentais.** Série Estudos e Documentos, Rio de Janeiro: CNPq/CETEM , n. 28, 75 p. 1995.

COSTA, A. P. L. **Alterabilidade e caracterização tecnológica dos gnaisses enderbíticos da porção norte do estado do Ceará com aplicação no setor de rochas ornamentais.** Tese (Doutorado em Geologia Regional). Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus de Rio Claro - SP. Rio Claro, SP, Ed. UNESP, 2007.

COSTA, A. P. L. et al. **Petrografia e caracterização tecnológica dos gnaisses enderbíticos da porção norte do estado do Ceará com aplicação no setor de rochas ornamentais.** Revista Brasileira de Geociências. Rio Claro, SP, Ed. UNESP, 2008.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral – **Anuário Mineral Brasileiro 2010.** Brasília – DF, 2010.

FIGUEIREDO, P. M. S. L. R. **Estudo Tecnológico das Rochas Calcárias de Lisboa (Jurássico e Cretáceo).** Tese de Doutorado. Instituto Superior Técnico. Lisboa, Portugal. 179 p. 1997.

FIGUEIREDO, P; BARROS, A. L.; TORQUATO, M. F. *et al.* **Contribuição para o estudo das propriedades petrofísicas do granito Asa Branca e Rosa Iracema do Ceará (Brasil).** Anais do I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Salvador, Bahia. p. 6, 2001.

FOLHA VITORIA. **Exportações de rochas ornamentais no espírito santo somam R\$ 1,3 bilhão em 2011.** Vitoria – ES, 2012. Disponível em: <http://www.folhavitoria.com.br/site/?target=noticia&cid=0&ch=ead720a8fae55586437fda16b40415f8&nid=335397>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2012.

FRASCÁ, M. H. B. O. (2002) - **Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais e Revestimento: Estudo por meio de Ensaios e Análises e das Patologias associadas ao uso.** Curso de Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais – FIEC.

FRASCÁ, M. H. B. O.; YAMAMOTO, J. K. (2003) - **Ensaio de Alteração Acelerada em Rochas Para Revestimento – Estudos Experimentais em Rochas Graníticas**. Resumo apresentado no **IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste – CETEM – Fortaleza (CE)**.

FRAZÃO, E.B.; FARJALLAT, J.E.S. **Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento**. *In: Anais 1º Congresso Internacional da Pedra Natural*. Lisboa, Portugal. 47-58p. 1995.

GOOGLE MAPS. **Acesso ao município de Barra de São Francisco - ES**. Escala 1:50. Disponível em: <http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&tab=wl>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2011.

HARTHI, A.A.A. **Effect of planar structures on the anisotropy of Ranyah sandstone, Saudi Arabia**. Faculty of Earth Sciences, King Abdulaziz University, Arabia Saudita. 1998.

HUESTON, F. M. **Os dez problemas mais comuns em pedras**. *Revista Rochas de Qualidade*, nº 146, p. 92-96, 1999.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE cidades@, Informações do município de Barra de São Francisco, descrição e fontes**. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 10 de dezembro de 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta topográfica de Mantena, em escala 1:100.000 (folha SE-24-Y-A-VI)**. Ed. IBGE, 1979.

IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - **OrtoFiguramosaico IEMA 2007/2008**. Vitória, 2009. Disponível em: <http://www.meioambiente.es.gov.br/default.asp>. Acesso em: 03 de abril de 2011.

INFOROCHAS. *Revista Inforochas* - **Exportações alcançam US\$ 919,4 milhões em novembro. Nº 61**, novembro-dezembro de 2011. Pag. 14. Vila Velha – ES, 2011.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Catálogo de Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico, 79 p., 1993**.

IUGS (STRECKEISEN). **Plutonic rocks, classification and nomenclature recommended by the IUGS subcommission on the Systemics of Igneous Rocks: Geotimes**, October, 1973, p. 26-30, 1973.

JUNIOR, J. G. R. **As Suítes Graníticas Tipo-S do norte do Espírito Santo na região das Folhas Ecoporanga, Mantena, Montanha e Nova Venécia**. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências, 2009.

KOWALSKI, W.C. **The independence between strengt, softening, swelling and shrinkage of cretaceous marls and “Opokas” and their lithology.** Proc. of First Inter. Congés. of Int. Soc. Géologie of Eng. Paris, 1: p. 456-464. 1970.

KÖPPEN, W. & R. GEIGER (eds.) **Handbuch der Klimatologie.** 1. C. Gebr, Borntraeger, 1900.1-44p.

LIMA, J. J. C. **Estudo da dilatação térmica de rochas usadas em revestimento de edificações.** Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, SP, Ed. USP, 2002.

LIMA, M. A. B. **Estudo do comportamento dos gnaisses Casablanca, Juparaná Delicato e *Giallo* Falésia (Ceará-Brasil) em atmosfera salina.** Tese (Doutorado em Geologia Regional). Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus de Rio Claro - SP. Rio Claro, SP, Ed. UNESP, 2006.

MESQUITA, M. P. S. **Composição, Estruturas, Propriedades Tecnológicas e Alterabilidade dos Granitos Ornamentais do *Stock Morrinho*, Santa Quitéria (CE).** Tese (Doutorado em Geologia Regional). Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus de Rio Claro - SP. Rio Claro, SP, Ed. UNESP, 2002.

MEYER, A. P. **A influência da petrografia no comportamento tecnológico de rochas ornamentais do Complexo Socorro (SP) e maciço Pedra Branca (NG).** Dissertação (Mestrado em Geologia Regional). Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus de Rio Claro - SP. Rio Claro, SP, Ed. UNESP, 2003.

NAVARRO, F.C. **Caracterização Petrográfica Como Técnica Para a Previsão do Comportamento Físico e Mecânico de “Granitos” Ornamentais.** 2002. 88 p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP.

NAVARRO, A. P. **A influência da petrografia sobre a anisotropia a tensão de compressão e dilatação térmica de rochas ornamentais.** Tese (Doutorado em Geologia Regional). Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus de Rio Claro - SP. Rio Claro, SP, Ed. UNESP, 2006.

PAZETO, A. A. **Correlação entre propriedades petrográficas e comportamento tecnológico e de alterabilidade das rochas ornamentais silicáticas Diamante Negro (BA), Ocre Itabira e Branco Galaxy (ES).** Dissertação (Mestrado em Geologia Regional). Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus de Rio Claro - SP. Rio Claro, SP, Ed. UNESP, 2011.

PEDROSA-SOARES, A. C. *et al.* **Orógeno Araçuaí: estágio atual do conhecimento geotectônico.** Simpósio Cráton do São Francisco. Salvador. Anais... Salvador: SBG, 2005.

PEDROSA-SOARES, A. C. *et al.* **Magmatismo e tectônica do Orógeno Araçuaí no extremo leste de Minas e norte do Espírito Santo (18°-19°S, 41°-40°30'w).** GENOMOS - Instituto de Geociências da UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte - MG. 2006.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Brasília, 2007a. **Geologia da Folha de Mantena - SE.24-Y-A-VI - Programa Geologia do Brasil - nota explicativa da folha Mantena.** Escala 1:100.000

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Brasília, 2007b. **Geologia da Folha de Mantena - SE.24-Y-A-VI - Programa Geologia do Brasil – mapa geológico da folha Mantena.** Escala 1:100.000

SOSSAI, F. J. M. **Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa - UFV, 2006.

TORQUATO, M. F. B. **Rochas Ornamentais do Noroeste do Ceará (Brasil). Propriedades Tecnológicas, Alteração e Alterabilidade dos Granitos Vermelho Filomena, Meruoca Clássico e Verde Ceará.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas). Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico. Lisboa, Portugal, 2004.

ANEXOS

**DENSIDADE APARENTE,
POROSIDADE APARENTE E
ABSORÇÃO DE ÁGUA**

Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 15845:2010 Anexo B						
Amostra: BSF 010			Procedência: Barra de São Francisco - ES			
Interessado: Lara Cíntia A. Saar			Data: 02/2012			
Cdps	Peso (g)			Densidade aparente (kg/m³)	Porosidade	Abs. d'água
Núm.	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)		%	%
1	215,70	348,25	347,25	2619,766	0,75	0,29
2	224,25	361,01	360,24	2634,104	0,56	0,21
3	225,84	364,72	363,58	2617,944	0,82	0,31
4	224,10	362,11	361,00	2615,752	0,80	0,31
5	219,13	352,99	351,95	2629,240	0,78	0,30
6	218,84	352,43	351,46	2630,886	0,73	0,28
7	214,53	343,18	342,35	2661,096	0,65	0,24
8	217,77	350,12	349,31	2639,290	0,61	0,23
9	213,66	345,43	344,46	2614,100	0,74	0,28
10	240,88	381,83	380,84	2701,951	0,70	0,26
Valores Médios:				2636,413	0,71	0,27
Desvio Padrão:				26,963	0,084	0,033
Coefficiente de variação:				0,01	0,12	0,033
Fórmulas utilizadas:				m.e.seca = C / (B - A) * 1000		
				m.e.satur. = B / (B -		
				porosidade = (B - C) / (B - A) x 100		
				abs. d'água = (B - C) / C x 100		

Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 15845:2010 Anexo B						
Amostra: BSF 081			Procedência: Barra de São Francisco - ES			
Interessado: Lara Cíntia A. Saar			Data: 02/2012			
Cdps	Peso (g)			Densidade aparente (kg/m³)	Porosidade	Abs. d'água
Núm.	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)		%	%
1	220,02	354,57	353,74	2629,060	0,62	0,23
2	211,58	341,15	340,33	2626,611	0,63	0,24
3	213,09	344,00	343,07	2620,655	0,71	0,27
4	214,58	345,57	344,78	2632,109	0,60	0,23
5	219,09	350,93	350,07	2655,264	0,65	0,25
6	215,27	346,37	345,34	2634,172	0,79	0,30
7	235,84	379,30	378,35	2637,321	0,66	0,25
8	229,18	368,80	367,98	2635,582	0,59	0,22
9	218,18	351,37	350,51	2631,654	0,65	0,25
10	215,45	347,71	346,86	2622,562	0,64	0,25
Valores Médios:				2632,499	0,65	0,25
Desvio Padrão:				9,662	0,057	0,022
Coefficiente de variação:				0,00	0,09	0,021
Fórmulas utilizadas:				m.e.seca = C / (B - A) * 1000		
				m.e.satur. = B / (B -		
				porosidade = (B - C) / (B - A) x 100		
				abs. d'água = (B - C) / C x 100		

Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 15845:2010 Anexo B						
Amostra: BSF 273			Procedência: Barra de São Francisco - ES			
Interessado: Lara Cíntia A. Saar			Data: 02/2012			
Cdns Núm.	Peso (g)			Densidade aparente (kg/m ³)	Porosidade	Abs. d'água
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)		%	%
1	220,52	354,41	353,04	2636,791	1,02	0,39
2	214,94	347,04	345,63	2616,427	1,07	0,41
3	207,27	333,29	331,87	2633,471	1,13	0,43
4	225,48	362,74	361,29	2632,158	1,06	0,40
5	225,73	362,42	360,99	2640,939	1,05	0,40
6	234,45	376,23	374,80	2643,532	1,01	0,38
7	214,34	345,51	344,08	2623,161	1,09	0,42
8	216,16	347,42	345,97	2635,761	1,10	0,42
9	212,15	342,55	341,03	2615,261	1,17	0,45
10	206,42	331,26	329,85	2642,182	1,13	0,43
Valores Médios:				2631,968	1,08	0,41
Desvio Padrão:				10,310	0,050	0,020
Coefficiente de variação:				0,00	0,05	0,018
Fórmulas utilizadas:				m.e.seca = C/ (B - A)*1000		
				m.e.satur. = B/ (B -		
				porosidade = (B-C) / (B-A) x 100		
				abs. d'água = (B-C) / C x 100		

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 15845:2010 Anexo I
Amostra: BSF 010 **Procedência:** Barra de São Francisco - ES **Data:** 02/2012

Interessado: Lara Cíntia A. Saar

Cdp	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força kN	Tensão MPa	
	Núm.	h	b				Média	d					Média
1			2	3	4	1		2	3	4			
1	73,60	71,72	71,92	71,50	71,30	71,61	72,85	73,61	73,80	72,85	73,28	638,70	121,72
2	71,56	72,94	72,96	71,86	72,23	72,50	70,37	69,92	70,57	71,93	70,70	522,10	101,87
3	72,52	71,97	71,33	71,27	72,16	71,68	72,68	72,53	72,06	72,21	72,37	600,15	115,69
4	72,60	72,15	71,88	71,00	71,20	71,56	71,66	73,13	73,18	72,26	72,56	747,80	144,03
5	71,30	71,22	70,87	70,02	70,26	70,59	71,17	70,73	70,12	70,58	70,65	781,75	156,75
Média:						71,59					71,91	658,10	128,01
Desvio Padrão:						0,68					1,18	106,73	22,12
Coefficiente de variação:						0,01					0,02	0,16	0,17

Vp			
Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)
1	15,00	73,60	4907
2	15,90	71,56	4501
3	16,10	72,52	4504
4	15,60	72,60	4654
5	14,80	71,30	4818
Média:			4677
Desvio Padrão:			183,00

Informações adicionais:

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$$

Tx carregam. = 205,5 kN/min.

Esforço:		Cong./deg.		Condição da amostra:	
Paralelo	<input checked="" type="checkbox"/>	Com	<input type="checkbox"/>	Seca em estufa à ___°C	<input checked="" type="checkbox"/>
Normal	<input type="checkbox"/>	Sem	<input checked="" type="checkbox"/>	Saturado em água	<input type="checkbox"/>

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 15845:2010 Anexo E													
Amostra: BSF 010				Procedência: Barra de São Francisco - ES				Data: 02/2012					
Interessado: Lara Cíntia A. Saar													
Cdps	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão
Núm.	h	b				Média	d				Média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	72,27	73,00	71,15	70,01	72,15	71,58	72,29	72,33	72,16	72,43	72,30	551,60	106,58
2	71,37	71,59	71,78	71,50	71,58	71,61	71,62	71,05	69,69	69,98	70,59	477,95	94,55
3	72,23	72,60	71,31	71,71	72,60	72,06	72,45	71,55	71,40	72,29	71,92	591,60	114,16
4	72,76	71,12	71,51	70,90	71,29	71,21	73,01	72,17	71,44	72,02	72,16	706,65	137,53
5	72,29	72,60	74,38	74,56	73,30	73,71	71,42	72,89	71,66	69,91	71,47	704,70	133,77
Média:						72,03					71,69	606,50	117,32
Desvio Padrão:						0,99					0,69	99,29	18,18
Coefficiente de variação:						0,01					0,01	0,16	0,15
				Vp				Informações adicionais:					
	Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)					1kN = 101,971 kgf					
	1	16,1	72,27					1kgf = 9,80665 N					
	2	15,3	71,37										
	3	16,0	72,23					Tensão = $\frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$					
	4	14,6	72,76					Tx carregam. = 205,5 kN/min.					
	5	16,4	72,29										
				Média:				4612					
				Desvio Padrão:				227,59					
Esforço:			Cong./deg.:			Condição da amostra:							
Paralelo	<input type="checkbox"/>		Com	<input type="checkbox"/>		Seca em estufa à __°C <input checked="" type="checkbox"/>							
Normal	<input checked="" type="checkbox"/>		Sem	<input checked="" type="checkbox"/>		Saturado em água <input type="checkbox"/>							

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 15845:2010 Anexo E
Amostra: BSF 010 **Procedência:** Barra de São Francisco - ES **Data:** 02/2012

Interessado: Lara Cíntia A. Saar

Cdp	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força kN	Tensão MPa	
	Núm.	h	b				Média	d					Média
1			2	3	4	1		2	3	4			
6	73,36	73,10	73,21	73,05	72,40	72,94	73,01	73,95	73,16	72,33	73,11	468,25	87,81
7	70,92	72,40	72,46	72,18	72,26	72,33	70,42	70,93	70,95	70,70	70,75	404,45	79,04
8	71,47	71,83	71,32	71,64	72,35	71,79	70,95	71,72	71,52	70,83	71,26	683,05	133,54
9	71,80	70,42	70,40	70,55	70,96	70,58	71,27	72,26	72,28	71,12	71,73	664,70	131,28
10	70,12	69,94	69,03	68,83	69,46	69,32	70,12	70,22	70,74	70,17	70,31	612,95	125,77
Média:						71,39					71,43	566,68	111,49
Desvio Padrão:						1,45					1,08	123,79	25,96
Coefficiente de variação:						0,02					0,02	0,22	0,23

Vp			
Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)
6	15,4	73,36	4764
7	13,7	70,92	5177
8	13,4	71,47	5334
9	13,4	71,80	5358
10	12,9	70,12	5436
Média:			5214
Desvio Padrão:			268,55

Informações adicionais:

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$$

Tx carregam. = 205,5 kN/min.

Esforço:		Cong./deg.:		Condição da amostra:	
Paralelo	<input checked="" type="checkbox"/>	Com	<input type="checkbox"/>	Seca em estufa à __°C	
Normal	<input type="checkbox"/>	Sem	<input checked="" type="checkbox"/>	Saturado em água	<input checked="" type="checkbox"/>

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 15845:2010 Anexo E
Amostra: BSF 010 **Procedência:** Barra de São Francisco - ES **Data:** 02/2012

Interessado: Lara Cíntia A. Saar

Ctps	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força kN	Tensão MPa	
	Núm.	h	b				Média	d					Média
1			2	3	4	1		2	3	4			
6	71,00	70,84	70,31	69,66	69,77	70,15	71,12	70,45	69,91	71,12	70,65	459,95	92,81
7	72,92	72,31	72,57	72,67	72,45	72,50	72,48	73,38	72,65	71,94	72,61	446,90	84,89
8	70,51	73,15	73,68	72,04	71,16	72,51	70,35	70,31	70,59	70,25	70,38	632,40	123,93
9	70,79	71,77	71,49	71,40	71,53	71,55	71,09	70,45	68,87	69,85	70,07	427,15	85,21
10	69,58	74,25	72,91	72,22	73,36	73,19	69,91	70,65	68,81	66,21	68,90	326,70	64,79
Média:						71,98					70,52	458,62	90,33
Desvio Padrão:						1,18					1,35	110,38	21,47
Coefficiente de variação:						0,02					0,02	0,24	0,24

Vp			
Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)
6	13,6	71,00	5221
7	14,1	72,92	5172
8	13,0	70,51	5424
9	13,0	70,79	5445
10	15,0	69,58	4639
Média:			5180
Desvio Padrão:			325,83

Informações adicionais:

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$$

Tx carregam. = 205,5 kN/min.

Esforço:		Cong./deg.:		Condição da amostra:	
Paralelo	<input type="checkbox"/>	Com	<input type="checkbox"/>	Seca em estufa à __°C	
Normal	<input checked="" type="checkbox"/>	Sem	<input checked="" type="checkbox"/>	Saturado em água	<input checked="" type="checkbox"/>

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 15845:2010 Anexo I
Amostra: BSF 081 **Procedência:** Barra de São francisco - ES **Data:** 02/2012

Interessado: Lara Cíntia A. Saar

Cdp	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força kN	Tensão MPa		
	Núm.	h	b				Média	d					Média	
			1	2	3	4		1	2	3				4
1	74,56	71,00	70,66	70,67	70,40	70,68	74,52	74,65	74,43	74,39	74,50	492,45	93,52	
2	75,88	69,75	70,86	70,62	69,52	70,19	75,66	75,75	76,05	75,68	75,79	783,25	147,25	
3	75,55	72,37	72,22	72,45	72,51	72,39	75,46	75,57	74,90	75,55	75,37	612,55	112,27	
4	74,63	72,62	72,74	72,38	72,31	72,51	74,34	74,61	74,95	74,58	74,62	739,70	136,71	
5	75,39	71,71	71,63	71,46	71,09	71,47	74,98	75,02	75,18	75,57	75,19	726,60	135,21	
Média:						71,45					75,09	670,91	124,99	
Desvio Padrão:						1,02					0,53	118,01	21,73	
Coefficiente de variação:						0,01					0,01	0,18	0,17	

Vp			
Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)
1	18,10	74,56	4119
2	17,20	75,88	4412
3	16,50	75,55	4579
4	16,30	74,63	4579
5	17,30	75,39	4358
Média:			4409
Desvio Padrão:			189,80

Informações adicionais:

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$$

Tx carregam. = 205,5 kN/min.

Esforço:		Cong./deg.		Condição da amostra:	
Paralelo	<input checked="" type="checkbox"/>	Com	<input type="checkbox"/>	Seca em estufa à ___°C	<input checked="" type="checkbox"/>
Normal	<input type="checkbox"/>	Sem	<input checked="" type="checkbox"/>	Saturado em água	<input type="checkbox"/>

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 15845:2010 Anexo E

Amostra: BSF 081 **Procedência:** Barra de São Francisco - ES **Data:** 02/2012

Interessado: Lara Cíntia A. Saar

Cdp	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força kN	Tensão MPa		
	Núm.	h	b				Média	d					Média	
			1	2	3	4		1	2	3				4
1	74,63	70,33	70,51	71,09	71,12	70,76	74,48	74,96	75,15	74,62	74,80	593,15	112,06	
2	76,12	70,60	71,00	71,31	72,04	71,24	74,32	76,55	76,94	75,66	75,87	665,10	123,06	
3	74,52	70,64	70,70	70,96	70,53	70,71	74,46	74,51	74,31	74,36	74,41	523,95	99,58	
4	75,73	71,36	71,12	70,87	71,11	71,12	75,01	75,22	76,33	75,25	75,45	405,55	75,58	
5	75,29	70,49	71,14	69,96	69,28	70,22	75,26	75,30	75,38	75,14	75,27	591,65	111,94	
Média:						70,81					75,16	555,88	104,45	
Desvio Padrão:						0,4					0,57	97,74	18,15	
Coefficiente de variação:						0,01					0,01	0,18	0,17	

Vp			
Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)
1	16,70	74,63	4469
2	17,50	76,12	4350
3	18,30	74,52	4072
4	18,00	75,73	4207
5	17,40	75,29	4327
Média:			4285
Desvio Padrão:			150,93

Informações adicionais:

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Tensão = $\frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$

Tx carregam. = 205,5 kN/min.

Esforço:		Cong./deg.:		Condição da amostra:	
Paralelo	<input type="checkbox"/>	Com	<input type="checkbox"/>	Seca em estufa à ___°C	<input checked="" type="checkbox"/>
Normal	<input checked="" type="checkbox"/>	Sem	<input checked="" type="checkbox"/>	Saturado em água	<input type="checkbox"/>

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 15845:2010 Anexo E

Amostra: BSF 081 **Procedência:** Barra de São Francisco - ES **Data:** 02/2012

Interessado: Lara Cíntia A. Saar

Cdp	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força kN	Tensão MPa		
	Núm.	h	b				Média	d					Média	
			1	2	3	4		1	2	3				4
6	75,55	71,46	72,09	72,66	72,55	72,19	75,13	75,39	76,25	76,11	75,72	589,25	107,80	
7	71,99	77,27	77,68	75,81	76,11	76,72	71,57	71,85	72,26	71,93	71,90	646,40	117,18	
8	75,92	71,68	70,77	70,36	71,58	71,10	75,25	74,78	75,59	75,48	75,28	606,95	113,41	
9	75,66	69,08	69,70	71,20	70,91	70,22	75,25	75,48	75,50	75,22	75,36	492,90	93,14	
10	71,50	75,35	76,63	76,07	76,11	76,04	71,21	71,09	72,13	71,72	71,54	770,80	141,70	
Média:						73,25					73,96	621,26	114,65	
Desvio Padrão:						2,95					2,06	100,87	17,67	
Coefficiente de variação:						0,04					0,03	0,16	0,15	

Vp			
Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)
6	15,80	75,55	4782
7	14,70	71,99	4897
8	16,20	75,92	4686
9	15,70	75,66	4819
10	14,30	71,50	5000
Média:			4837
Desvio Padrão:			118,60

Informações adicionais:

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Tensão = $\frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$

Tx carregam. = 205,5 kN/min.

Esforço:		Cong./deg.:		Condição da amostra:	
Paralelo	<input checked="" type="checkbox"/>	Com	<input type="checkbox"/>	Seca em estufa à __°C	
Normal	<input type="checkbox"/>	Sem	<input checked="" type="checkbox"/>	Saturado em água	<input checked="" type="checkbox"/>

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 15845:2010 Anexo E

Amostra: BSF 081 **Procedência:** Barra de São Francisco - ES **Data:** 02/2012

Interessado: Lara Cíntia A. Saar

Cdp	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força kN	Tensão MPa		
	Núm.	h	b				Média	d					Média	
			1	2	3	4		1	2	3				4
6	74,10	70,64	70,66	70,47	79,36	72,78	73,46	72,93	73,76	73,22	73,34	477,40	89,43	
7	75,11	72,58	71,08	71,77	72,95	72,10	74,78	74,99	74,66	74,80	74,81	544,70	101,00	
8	75,20	70,63	71,53	39,24	70,84	63,06	75,24	74,61	74,82	74,57	74,81	448,05	94,98	
9	75,50	73,18	70,80	70,04	72,56	71,65	74,93	75,16	75,65	75,43	75,29	603,75	111,92	
10	75,35	70,67	71,02	70,18	69,94	70,45	75,10	75,75	75,20	70,25	74,08	490,55	94,00	
Média:						70,01					74,47	512,89	98,27	
Desvio Padrão:						3,98					0,76	61,71	8,68	
Coefficiente de variação:						0,06					0,01	0,12	0,09	

Vp			
Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)
6	17,10	74,10	4333
7	15,90	75,11	4724
8	16,20	75,20	4642
9	16,60	75,50	4548
10	15,40	75,35	4893
Média:			4628
Desvio Padrão:			207,81

Informações adicionais:

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Tensão = $\frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$

Tx carregam. = 205,5 kN/min.

Esforço:		Cong./deg.:		Condição da amostra:	
Paralelo	<input type="checkbox"/>	Com	<input type="checkbox"/>	Seca em estufa à __°C	
Normal	<input checked="" type="checkbox"/>	Sem	<input checked="" type="checkbox"/>	Saturado em água	<input checked="" type="checkbox"/>

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 15845:2010 Anexo I
Amostra: BSF 273 **Procedência:** Barra de São Francisco - ES **Data:** 02/2012

Interessado: Lara Cíntia A. Saar

Cdps	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força kN	Tensão MPa	
	Núm.	h	b				Média	d					Média
1			2	3	4	1		2	3	4			
1	74,77	71,57	72,52	72,76	71,09	71,99	74,72	74,36	74,88	74,83	74,70	529,40	98,45
2	74,81	72,27	72,74	71,94	71,52	72,12	75,05	74,36	74,31	74,86	74,65	738,05	137,10
3	76,26	71,16	70,75	72,49	73,49	71,97	75,29	77,35	77,57	75,76	76,49	585,00	106,26
4	75,62	70,81	70,79	71,32	71,14	71,02	75,44	75,70	75,61	75,58	75,58	464,25	86,49
5	75,34	70,33	69,96	69,60	69,73	69,91	75,95	75,40	74,85	74,53	75,18	517,35	98,44
Média:						71,40					75,32	566,81	105,35
Desvio Padrão:						0,94					0,76	104,90	19,10
Coefficiente de variação:						0,01					0,01	0,19	0,18

Vp			
Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)
1	19,90	74,77	3757
2	19,70	74,81	3797
3	19,70	76,26	3871
4	18,40	75,62	4110
5	20,60	75,34	3657
Média:			3839
Desvio Padrão:			170,13

Informações adicionais:

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$$

Tx carregam. = 205,5 kN/min.

Esforço:		Cong./deg.		Condição da amostra:	
Paralelo	<input checked="" type="checkbox"/>	Com	<input type="checkbox"/>	Seca em estufa à ___°C	<input checked="" type="checkbox"/>
Normal	<input type="checkbox"/>	Sem	<input checked="" type="checkbox"/>	Saturado em água	<input type="checkbox"/>

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 15845:2010 Anexo E
Amostra: BSF 273 **Procedência:** Barra de São francisco - ES **Data:** 02/2012

Interessado: Lara Cíntia A. Saar

Cdp	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força kN	Tensão MPa	
	Núm.	h	b				Média	d					Média
1			2	3	4	1		2	3	4			
1	75,57	70,08	71,57	71,30	70,48	70,86	75,66	74,94	75,15	75,68	75,36	467,20	87,50
2	75,48	70,68	76,41	71,87	71,77	72,68	75,25	75,17	75,29	75,53	75,31	591,95	108,14
3	74,28	70,83	70,07	70,16	71,65	70,68	74,41	73,88	73,99	74,51	74,20	522,40	99,62
4	74,84	73,95	73,56	73,41	74,01	73,73	74,03	75,16	75,47	75,45	75,03	459,05	82,98
5	75,26	72,52	73,54	74,10	72,30	73,12	75,06	75,24	75,26	75,04	75,15	567,30	103,25
Média:						72,21					75,01	521,58	96,30
Desvio Padrão:						1,37					0,47	58,97	10,66
Coefficiente de variação:						0,02					0,01	0,11	0,11

Vp			
Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)
1	22,80	75,57	3314
2	22,50	75,48	3355
3	22,10	74,28	3361
4	24,00	74,84	3118
5	24,80	75,26	3035
Média:			3237
Desvio Padrão:			150,22

Informações adicionais:

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$$

Tx carregam. = 205,5 kN/min.

Esforço:		Cong./deg.:		Condição da amostra:	
Paralelo	<input type="checkbox"/>	Com	<input type="checkbox"/>	Seca em estufa à ___°C	<input checked="" type="checkbox"/>
Normal	<input checked="" type="checkbox"/>	Sem	<input checked="" type="checkbox"/>	Saturado em água	<input type="checkbox"/>

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 15845:2010 Anexo E**Amostra:** BSF 273 **Procedência:** Barra de São Francisco - ES **Data:** 02/2012**Interessado:** Lara Cíntia A. Saar

Cdps	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força kN	Tensão MPa	
	Núm.	h	b				Média	d					Média
1			2	3	4	1		2	3	4			
6	74,54	72,33	72,35	71,22	71,39	71,82	74,12	74,72	74,41	74,51	74,44	529,35	99,01
7	74,23	71,32	71,95	70,85	70,99	71,28	74,28	74,28	74,30	74,58	74,36	461,90	87,15
8	75,07	72,09	72,03	71,05	71,03	71,55	74,07	75,44	75,22	75,11	74,96	418,90	78,10
9	74,32	71,06	70,18	70,51	71,58	70,83	73,93	74,37	74,62	74,20	74,28	509,65	96,87
10	75,19	71,67	71,14	70,77	70,81	71,10	75,21	75,21	75,01	74,86	75,07	508,85	95,34
Média:						71,32					74,62	485,73	91,29
Desvio Padrão:						0,39					0,37	44,84	8,63
Coefficiente de variação:						0,01					0	0,09	0,09

Vp			
Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)
6	16,20	74,54	4601
7	16,10	74,23	4611
8	16,30	75,07	4606
9	15,90	74,32	4674
10	16,60	75,19	4530
Média:			4604
Desvio Padrão:			51,31

Informações adicionais:

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Tensão = $\frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$

Tx carregam. = 205,5 kN/min.

Esforço:		Cong./deg.:		Condição da amostra:	
Paralelo	<input checked="" type="checkbox"/>	Com	<input type="checkbox"/>	Seca em estufa à __°C	<input type="checkbox"/>
Normal	<input type="checkbox"/>	Sem	<input checked="" type="checkbox"/>	Saturado em água	<input checked="" type="checkbox"/>

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 15845:2010 Anexo E**Amostra:** BSF 273 **Procedência:** Barra de São Francisco - ES **Data:** 02/2012**Interessado:** Lara Cíntia A. Saar

Cdp	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força kN	Tensão MPa		
	Núm.	h	b				Média	d					Média	
			1	2	3	4		1	2	3				4
6	74,63	72,99	72,60	73,30	74,41	73,33	74,64	74,09	74,85	74,88	74,62	572,75	104,69	
7	74,63	72,21	72,75	72,02	71,99	72,24	74,68	74,80	74,76	74,99	74,81	518,60	95,96	
8	72,02	70,15	70,54	70,61	69,85	70,29	71,22	70,71	71,53	72,86	71,58	404,35	80,37	
9	74,56	69,98	72,80	73,66	70,75	71,80	74,29	74,00	74,63	79,72	75,66	671,80	123,67	
10	74,97	70,25	70,11	71,44	71,71	70,88	74,37	74,78	75,81	75,61	75,14	455,60	85,54	
Média:						71,71					74,36	524,62	98,05	
Desvio Padrão:						1,18					1,6	103,98	17,13	
Coefficiente de variação:						0,02					0,02	0,20	0,17	

Vp			
Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)
6	21,50	74,63	3471
7	16,60	74,63	4496
8	17,10	72,02	4212
9	18,80	74,56	3966
10	19,40	74,97	3864
Média:			4002
Desvio Padrão:			383,99

Informações adicionais:

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$$

Tx carregam. = 205,5 kN/min.

Esforço:		Cong./deg.:		Condição da amostra:	
Paralelo	<input type="checkbox"/>	Com	<input type="checkbox"/>	Seca em estufa à __°C	
Normal	<input checked="" type="checkbox"/>	Sem	<input checked="" type="checkbox"/>	Saturado em água	<input checked="" type="checkbox"/>

**RESISTÊNCIA AO
CONGELAMENTO E DEGELO
CONJUGADO À COMPRESSÃO
UNIAXIAL**

Ensaio de Resistência ao congelamento e degelo- Norma - NBR - 15845:2010 Anexo I**Amostra:** BSF 010 **Procedência:** Barra de São francisco - ES **Data:** 02/2012**Interessado:** Lara Cíntia A. Saar

Cdp	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força kN	Tensão MPa		
	Núm.	h	b				Média	d					Média	
			1	2	3	4		1	2	3				4
11	72,16	71,68	71,53	71,75	71,64	71,65	70,84	72,83	73,61	70,88	72,04	654,75	126,85	
12	71,51	68,97	70,15	71,59	71,02	70,43	71,48	70,97	70,05	70,92	70,86	722,85	144,85	
13	72,00	70,30	70,41	71,19	70,79	70,67	71,59	72,25	71,71	71,39	71,74	601,40	118,63	
14	70,96	70,58	71,48	70,84	70,47	70,84	70,46	70,90	71,91	71,82	71,27	861,30	170,58	
15	69,06	70,25	70,13	70,13	70,78	70,32	68,59	69,05	68,81	69,44	68,97	677,40	139,66	
Média:						70,78					70,98	703,54	140,11	
Desvio Padrão:						0,52					1,21	98,43	19,93	
Coefficiente de variação:						0,01					0,02	0,14	0,14	

Vp			
Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)
11	12,3	72,16	5867
12	12,5	71,51	5721
13	12,3	72,00	5854
14	12,8	70,96	5544
15	12,5	69,06	5525
Média:			5702
Desvio Padrão:			163,49

Informações adicionais:

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$$

Tx carregam. = 205,5 kN/min.

Esforço:		Cong./deg.:		Condição da amostra:	
Paralelo	<input checked="" type="checkbox"/>	Com	<input checked="" type="checkbox"/>	Seca em estufa à __°C	
Normal	<input type="checkbox"/>	Sem	<input type="checkbox"/>	Saturado em água	<input checked="" type="checkbox"/>

Ensaio de Resistência ao congelamento e degelo- Norma - NBR - 15845:2010 Anexo I
Amostra: BSF 010 **Procedência:** Barra de São francisco - ES **Data:** 02/2012

Interessado: Lara Cíntia A. Saar

Cdp	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força kN	Tensão MPa	
	Núm.	h	b				Média	d					Média
1			2	3	4	1		2	3	4			
11	72,80	74,99	73,44	74,14	75,52	74,52	72,63	72,41	71,75	71,93	72,18	675,65	125,61
12	70,77	73,09	72,52	72,24	71,72	72,39	70,26	71,34	71,71	71,00	71,08	699,75	135,99
13	70,89	72,80	71,41	71,25	72,81	72,07	70,52	70,32	71,45	71,72	71,00	826,05	161,43
14	71,76	74,02	71,95	72,33	72,99	72,82	71,66	71,56	71,67	71,82	71,68	823,70	157,80
15	68,71	69,83	69,54	69,06	69,19	69,41	68,29	69,44	70,26	69,66	69,41	807,00	167,51
Média:						72,24					71,07	766,43	149,67
Desvio Padrão:						1,85					1,04	72,75	17,95
Coefficiente de variação:						0,03					0,01	0,09	0,12

Vp			
Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)
11	12,0	72,80	6067
12	12,7	70,77	5572
13	13,7	70,89	5174
14	12,5	71,76	5741
15	12,9	68,71	5326
Média:			5576
Desvio Padrão:			350,53

Informações adicionais:

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$$

Tx carregam. = 205,5 kN/min.

Esforço:		Cong./deg.:		Condição da amostra:	
Paralelo	<input type="checkbox"/>	Com	<input checked="" type="checkbox"/>	Seca em estufa à ___°C	<input type="checkbox"/>
Normal	<input checked="" type="checkbox"/>	Sem	<input type="checkbox"/>	Saturado em água	<input checked="" type="checkbox"/>

Ensaio de Resistência ao congelamento e degelo- Norma - NBR - 15845:2010 Anexo I**Amostra:** BSF 081 **Procedência:** Barra de São Francisco - ES **Data:** 02/2012**Interessado:** Lara Cíntia A. Saar

Cdp	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força kN	Tensão MPa	
	Núm.	h	b				Média	d					Média
1			2	3	4	1		2	3	4			
11	75,54	71,62	69,55	67,84	70,90	69,98	75,35	75,50	75,44	75,53	75,46	651,40	123,37
12	75,82	71,02	70,92	71,96	71,71	71,40	75,61	75,47	75,67	75,68	75,61	676,75	125,36
13	73,78	70,43	70,39	70,36	70,42	70,40	73,26	73,88	74,07	74,19	73,85	781,00	150,22
14	75,03	72,34	71,69	71,33	71,45	71,70	74,93	74,85	74,50	75,12	74,85	646,05	120,38
15	72,66	71,63	71,81	72,57	73,93	72,49	70,83	73,33	73,39	71,23	72,20	852,30	162,87
Média:						71,19					74,39	721,50	136,44
Desvio Padrão:						1,01					1,41	91,18	18,97
Coefficiente de variação:						0,01					0,02	0,13	0,14

Vp			
Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)
11	13,90	75,54	5435
12	14,20	75,82	5339
13	12,80	73,78	5764
14	13,90	75,03	5398
15	13,60	72,66	5343
Média:			5456
Desvio Padrão:			176,90

Informações adicionais:

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Tensão = $\frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$

Tx carregam. = 205,5 kN/min.

Esforço:		Cong./deg.:		Condição da amostra:	
Paralelo	<input checked="" type="checkbox"/>	Com	<input checked="" type="checkbox"/>	Seca em estufa à __°C	
Normal	<input type="checkbox"/>	Sem	<input type="checkbox"/>	Saturado em água	<input checked="" type="checkbox"/>

Ensaio de Resistência ao congelamento e degelo- Norma - NBR - 15845:2010 Anexo I

Amostra: BSF 081 Procedência: Barra de São Francisco - ES Data: 02/2012

Interessado: Lara Cíntia A. Saar

Cdps	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força	Tensão	
Núm.	h	b				Média	d				Média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
11	75,35	71,72	70,58	71,08	71,13	71,13	73,45	74,22	76,53	75,90	75,03	527,30	98,81
12	75,18	72,83	71,58	71,58	72,80	72,20	74,74	74,47	74,78	74,95	74,74	762,25	141,27
13	76,16	73,15	70,40	69,53	73,17	71,56	74,36	75,64	75,42	74,01	74,86	832,45	155,40
14	75,30	70,21	69,37	69,89	69,39	69,72	73,74	75,57	75,07	73,60	74,50	733,05	141,15
15	76,29	70,43	70,79	71,83	70,68	70,93	75,40	75,30	75,06	74,20	74,99	622,85	117,09
Média:						71,11					74,82	695,58	130,74
Desvio Padrão:						0,92					0,22	120,61	22,54
Coefficiente de variação:						0,01					0	0,17	0,17

Vp			
Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)
11	13,90	75,35	5421
12	14,20	75,18	5294
13	14,40	76,16	5289
14	13,70	75,30	5496
15	14,60	76,29	5225
Média:			5345
Desvio Padrão:			110,33

Informações adicionais:

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Tensão = $\frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$

Tx carregam. = 205,5 kN/min.

Esforço:	Cong./deg.:	Condição da amostra:
Paralelo	Com <input checked="" type="checkbox"/>	Seca em estufa à __°C
Normal	Sem <input type="checkbox"/>	Saturado em água <input checked="" type="checkbox"/>

Ensaio de Resistência ao congelamento e degelo- Norma - NBR - 15845:2010 Anexo I

Amostra: BSF 273 Procedência: Barra de São Francisco - ES Data: 02/2012

Interessado: Lara Cíntia A. Saar

Ctps	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força kN	Tensão MPa		
	Núm.	h	b				Média	d					Média	
			1	2	3	4		1	2	3				4
11	73,83	70,43	70,26	70,52	70,29	70,38	73,45	73,88	73,65	73,91	73,72	599,90	115,63	
12	73,67	70,12	70,67	70,71	70,77	70,57	72,97	73,47	73,31	71,92	72,92	489,10	95,05	
13	72,36	70,53	70,93	70,67	70,00	70,53	71,78	72,21	71,76	71,99	71,94	565,40	111,44	
14	75,79	69,84	69,25	69,72	70,12	69,73	75,61	75,59	75,80	75,40	75,60	624,30	118,42	
15	74,29	69,80	69,56	68,11	69,24	69,18	70,75	74,54	74,71	74,19	73,55	619,45	121,75	
Média:						70,08					73,54	579,63	112,46	
Desvio Padrão:						0,61					1,35	55,66	10,44	
Coefficiente de variação:						0,01					0,02	0,10	0,09	

Vp			
Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)
11	15,70	73,83	4703
12	14,60	73,67	5046
13	15,40	72,36	4699
14	15,10	75,79	5019
15	14,20	74,29	5232
Média:			4940
Desvio Padrão:			233,01

Informações adicionais:

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Tensão = $\frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$

Tx carregam. = 205,5 kN/min.

Esforço:		Cong./deg.:		Condição da amostra:	
Paralelo	<input checked="" type="checkbox"/>	Com	<input checked="" type="checkbox"/>	Seca em estufa à __°C	
Normal	<input type="checkbox"/>	Sem	<input type="checkbox"/>	Saturado em água	<input checked="" type="checkbox"/>

Ensaio de Resistência ao congelamento e degelo- Norma - NBR - 15845:2010 Anexo I**Amostra:** BSF 273 **Procedência:** Barra de São francisco - ES **Data:** 02/2012**Interessado:** Lara Cíntia A. Saar

Cdps	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força	Tensão	
Núm.	h	b				Média	d				Média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
11	75,32	69,79	70,50	70,44	69,51	70,06	75,31	75,50	75,40	75,39	75,40	566,40	107,22
12	74,45	69,95	76,58	69,89	69,57	71,50	74,06	74,56	74,45	74,07	74,29	768,25	144,65
13	75,63	71,63	76,22	70,13	72,46	72,61	75,52	75,65	79,90	75,33	76,60	573,50	103,11
14	75,16	70,97	71,42	71,41	71,03	71,21	75,02	74,76	75,33	75,39	75,13	881,25	164,74
15	75,40	70,91	71,70	72,94	72,09	71,91	75,41	74,95	74,19	74,23	74,70	523,65	97,49
Média:						71,46					75,22	662,61	123,44
Desvio Padrão:						0,94					0,88	154,49	29,60
Coefficiente de variação:						0,01					0,01	0,23	0,24

Vp			
Cdp	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)
11	16,80	75,32	4483
12	14,70	74,45	5065
13	15,60	75,63	4848
14	16,70	75,16	4501
15	14,40	75,40	5236
Média:			4827
Desvio Padrão:			335,01

Informações adicionais:

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Tensão = $\frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$

Tx carregam. = 205,5 kN/min.

Esforço:		Cong./deg.:		Condição da amostra:	
Paralelo	<input type="checkbox"/>	Com	<input checked="" type="checkbox"/>	Seca em estufa à __°C	<input type="checkbox"/>
Normal	<input checked="" type="checkbox"/>	Sem	<input type="checkbox"/>	Saturado em água	<input checked="" type="checkbox"/>

**MÓDULO DE RUPTURA (FLEXÃO
POR CARREGAMENTO EM TRÊS
PONTOS)**

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - Norma NBR 15845:2010 Anexo F

Amostra: BSF 010		Procedência: Barra de São Francisco - ES										Data: 02/2012		
Interressado: Lara Cíntia A. Saar														
Cdps	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa	
	espessura (d)		largura (b)				média		média b					
1	2	3	4	1	2	3	4	1		2	3	4		
1	52,78	52,15	51,30	51,28	101,94	99,42	99,03	101,09	100,37	180	9802,00	9,80		
2	50,41	50,42	50,28	50,26	100,38	100,81	100,85	100,66	100,68	180	12728,00	13,47		
3	50,91	50,36	50,78	51,18	102,27	100,33	100,89	102,59	101,52	180	10706,00	11,03		
4	50,54	50,41	50,70	50,55	102,39	101,50	103,05	102,64	102,40	180	11892,00	12,27		
5	51,35	50,95	50,89	50,70	101,29	101,44	101,10	100,23	101,02	180	10364,00	10,66		
				Média:	Média:				Média:	101,20	Média:	11098,40	11,45	
				Desvio Padrão:	Desvio Padrão:				Desvio Padrão:	0,80	Desvio Padrão:	1189,47	1,44	
				Coefficiente de variação:	Desvio Padrão:				Desvio Padrão:	0,01	Desvio Padrão:	0,11	0,13	
Vp														
Cdps	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)											
1	45,50	204,37	4492	Informações adicionais:										
2	44,00	200,28	4552	Tensão = (3.F.L)										
3	45,60	201,32	4415	(2.b.d ²)										
4	43,10	199,67	4633	1kN = 101,971 kgf										
5	43,70	199,85	4573	1kgf = 9,80665 N										
				Média:	Média:				Taxa de carregamento					
				Desvio Padrão:	Desvio Padrão:				4450 N/min					
				Desvio Padrão:	Desvio Padrão:									
				Desvio Padrão:	Desvio Padrão:									
Esforço:														
Cong./deg.:														
Paralelo	<input checked="" type="checkbox"/>	Com		Condição da amostra:										
Normal	<input type="checkbox"/>	Sem	<input checked="" type="checkbox"/>	Seca em estufa à ___ ° C										
				Saturado em água										

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - Norma NBR 15845:2010 Anexo F														
Amostra: BSF 010			Procedência: Barra de São Francisco - ES					Data: 02/2012						
Inte resado: Lara Cínthia A. Saar														
Cdps	espessura (d)				largura (b)				média		dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa	
	1	2	3	4	d	1	2	3	4	b				
1	51,30	49,59	48,05	49,90	49,71	100,81	99,25	100,27	101,63	100,49	180	13712,00	14,91	
2	50,31	50,57	51,18	50,61	50,67	102,29	103,47	102,34	102,14	102,56	180	13200,00	13,54	
3	50,39	50,43	50,79	50,67	50,57	102,36	101,67	101,02	101,81	101,72	180	13596,00	14,11	
4	48,06	48,21	50,02	49,13	48,86	101,38	102,81	102,91	101,86	102,24	180	13182,00	14,58	
5	51,24	50,79	50,19	51,42	50,91	100,87	102,93	102,81	100,96	101,89	180	10650,00	10,89	
Média:					50,14	Média:				101,78	Média:		12868,00	13,61
Desvio Padrão:					0,85	Desvio Padrão				0,79	Desvio Padrão:		1262,01	1,60
Coeficiente de variação:					0,02	Coeficiente de variação:				0,01	Coef. de variação:		0,10	0,12
Vp														
Cdps	Tempo (ms)	Dist. (mm)			Veloc. (m/s)			Informações adicionais:						
1	40,30	199,73			4956			Tensão = (3.F.L)						
2	41,70	202,75			4862			(2.b.d ²)						
3	41,00	201,95			4926			1kN = 101,971 kgf						
4	45,50	202,66			4454			1kgf = 9,80665 N						
5	43,40	201,89			4652			Taxa de carregamento						
Média:					4770			4450 N/min						
Desvio Padrão:					212,779									
Esforço:		Cong./deg.:		Condição da amostra:										
Paralelo		Com		Seca em estufa à ___ ° C										
Normal	X	Sem	X	Saturado em água										

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - Norma NBR 15845:2010 Anexo F														
Amostra: BSF 010			Procedência: Barra de São Francisco - ES			Data: 02/2012								
Interressado: Lara Cíntia A. Saar														
Cdps	espessura (d)				largura (b)				média		dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa	
	1	2	3	4	1	2	3	4	b					
6	50,56	50,69	50,85	50,14	50,56	101,52	102,34	102,77	101,33	101,99	180	8284,00	8,58	
7	50,12	49,74	49,79	48,55	49,55	103,08	102,27	101,38	102,17	102,23	180	8920,00	9,60	
8	50,57	50,76	50,61	50,40	50,59	101,38	100,82	101,23	101,86	101,32	180	9818,00	10,22	
9	50,57	50,55	50,61	50,16	50,47	102,18	100,13	100,38	102,68	101,34	180	7920,00	8,28	
10	51,19	50,77	51,13	50,56	50,91	100,97	101,15	100,60	100,56	100,82	180	10686,00	11,04	
				Média:	50,42	Média:				101,54	Média:	180	9125,60	9,54
				Desvio Padrão:	0,51	Desvio Padrão:				0,56	Desvio Padrão:		1131,18	1,14
				Coefficiente de variação:	0,01	Coefficiente de variação:				0,01	Coeff. de variação:		0,12	0,12
Vp														
		Informações adicionais:												
Cdps	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)											
6	38,60	201,79	5228	Tensão = (3.F.L)										
7	39,30	202,12	5143	(2.b.d ²)										
8	38,80	202,14	5210	1kN = 101,971 kgf										
9	37,60	199,73	5312	1kgf = 9,80665 N										
10	38,30	201,02	5249	Taxa de carregamento										
				Média:	5228	4450 N/min								
				Desvio Padrão:	61,297									
Esforço:			Cong./deg.:			Condição da amostra:								
Paralelo	<input checked="" type="checkbox"/>	Com	Seca em estufa à ___ ° C											
Normal	<input type="checkbox"/>	Sem	Saturado em água											
			<input checked="" type="checkbox"/>											

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - Norma NBR 15845:2010 Anexo F															
Amostra: BSF 010			Procedência: Barra de São Francisco - ES						Data: 02/2012						
Interessado: Lara Cínthia A. Saar															
Cdps	dimensões dos corpos-de-prova (mm)				dist. entre cutelos (L) (mm)		Força		Tensão						
	espessura (d)		largura (b)		média		N		MPa						
	1	2	3	4	média	1	2	3	4	média	b				
6	50,00	50,17	50,57	50,82	50,39	103,14	103,06	103,06	102,89	103,04	180,00	9662,00	9,97		
7	48,92	50,87	49,73	49,72	49,81	102,62	102,59	102,50	102,47	102,55	180,00	10660,00	11,31		
8	50,15	50,82	50,81	51,61	50,85	103,90	103,15	104,72	104,71	104,12	180,00	9874,00	9,90		
9	50,88	51,21	50,37	50,78	50,81	100,43	103,09	102,27	100,47	101,57	180,00	10518,00	10,83		
10	49,90	50,45	50,19	50,57	50,28	100,23	100,12	99,17	99,06	99,65	180,00	10208,00	10,94		
Média:					50,43	Média:					102,18	Média:		10184,40	10,59
Desvio Padrão:					0,43	Desvio Padrão:					1,69	Desvio Padrão:		420,50	0,62
Coefficiente de variação:					0,01	Coefficiente de variação:					0,02	Coef. de variação:		0,04	0,06
Vp															
Cdps	Tempo (ms)	Dist. (mm)	Veloc. (m/s)		Informações adicionais:										
6	36,30	202,31	5573		Tensão = (3.F.L)										
7	39,40	201,84	5123		(2.b.d ²)										
8	38,20	200,07	5237		1kN = 101,971 kgf										
9	37,90	201,21	5309		1kgf = 9,80665 N										
10	36,50	203,20	5567		Taxa de carregamento										
Média:					4450 N/min										
Desvio Padrão:					201,394										
Esforço:		Cong./deg.:		Condição da amostra:											
Paralelo		Com		Seca em estufa à ___ ° C											
Normal	X	Sem	X	Saturado em água											

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - Norma NBR 15845:2010 Anexo F													
Amostra: BSF 081			Procedência: Barra de São Francisco - ES						Data: 02/2012				
Interressado: Lara Cíntia A. Saar													
Cdps	espessura (d)				largura (b)				média		dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	1	2	3	4	1	2	3	4	b				
1	50,92	50,28	50,85	50,94	102,76	101,68	101,80	102,17	102,10	180	10266,00	10,54	
2	50,30	50,35	5,14	50,85	101,94	103,48	102,58	101,06	102,27	180	10758,00	18,52	
3	50,31	50,70	50,98	50,23	102,71	102,42	102,44	103,43	102,75	180	9192,00	9,45	
4	50,24	49,83	49,76	50,29	101,86	101,31	101,51	102,26	101,74	180	10252,00	10,87	
5	50,56	50,53	50,62	50,52	101,16	100,77	101,01	101,46	101,10	180	10598,00	11,07	
Média:				48,21	Média:				101,99	Média:		10213,20	12,09
Desvio Padrão:				5,07	Desvio Padrão:				0,62	Desvio Padrão:		610,74	3,65
Coefficiente de variação:				0,11	Coefficiente de variação:				0,01	Coef. de variação:		0,06	0,30
Vp													
Cdps	Tempo (ms)	Dist. (mm)		Veloc. (m/s)									
1	48,50	201,88		4162		Tensão = (3.F.L)							
2	48,50	200,83		4141		(2.b.d ²)							
3	50,50	202,93		4018		1kN = 101,971 kgf							
4	48,70	201,44		4136		1kgf = 9,80665 N							
5	49,90	201,70		4042		Taxa de carregamento							
Média:				4100	4450 N/min								
Desvio Padrão:				65,002									
Esforço:													
Cong./deg.:													
Condição da amostra:													
Paralelo	<input checked="" type="checkbox"/>	Com				Seca em estufa à ___ ° C						<input checked="" type="checkbox"/>	
Normal	<input type="checkbox"/>	Sem		<input checked="" type="checkbox"/>		Saturado em água						<input type="checkbox"/>	

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - Norma NBR 15845:2010 Anexo F															
Amostra: BSF 081			Procedência: Barra de São Francisco - ES						Data: 02/2012						
Interressado: Lara Cíntia A. Saar															
Cdps	espessura (d)				largura (b)				média		dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa		
	1	2	3	4	1	2	3	4	b						
1	48,71	51,18	49,15	50,86	49,98	99,81	99,24	100,17	102,17	100,35	180	13612,00	14,66		
2	49,61	48,82	50,60	50,14	49,79	106,84	103,92	103,80	105,69	105,06	180	13158,00	13,64		
3	49,11	49,87	49,58	49,50	49,52	102,12	101,69	102,27	101,74	101,96	180	13246,00	14,31		
4	50,28	50,15	50,37	50,61	50,35	99,87	99,55	101,12	98,43	99,74	180	13620,00	14,54		
5	48,00	46,61	48,26	49,84	48,18	105,78	100,80	101,13	106,64	103,59	180	13140,00	14,76		
Média:				Média:				Média:		Média:		Média:		Média:	
Desvio Padrão:				Desvio Padrão:				Desvio Padrão:		Desvio Padrão:		Desvio Padrão:		Desvio Padrão:	
Coefficiente de variação:				Coefficiente de variação:				Coefficiente de variação:		Coefficiente de variação:		Coefficiente de variação:		Coefficiente de variação:	
Vp															
Cdps	Tempo (ms)	Dist. (mm)		Veloc. (m/s)											
1	43,60	201,40		4619		Tensão = (3.F.L)									
2	44,00	200,45		4556		(2.b.d ²)									
3	43,70	201,42		4609		1kN = 101,971 kgf									
4	45,70	200,50		4387		1kgf = 9,80665 N									
5	43,50	200,23		4603		Taxa de carregamento 4450 N/min									
Média:				Média:											
Desvio Padrão:				Desvio Padrão:											
Informações adicionais:															
Taxa de carregamento															
4450 N/min															
Esforço:															
Cong./deg.:															
Condição da amostra:															
Paralelo			Com		Seca em estufa à ___ ° C							X			
Normal	X		Sem		Saturado em água										

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - Norma NBR 15845:2010 Anexo F													
Amostra: BSF 081			Procedência: Barra de São Francisco - ES					Data: 02/2012					
Interressado: Lara Cíntia A. Saar													
Cdps	espessura (d)				largura (b)				média		dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	1	2	3	4	1	2	3	4	b				
6	50,91	50,92	51,10	50,40	102,51	100,74	100,69	102,00	101,49	180	7684,00	7,91	
7	50,42	48,95	49,79	50,73	104,27	100,94	100,58	103,89	102,42	180	7412,00	7,82	
8	49,39	49,96	50,30	49,96	101,78	102,59	102,33	100,73	101,86	180	6638,00	7,07	
9	50,86	50,61	50,52	50,90	103,30	101,93	102,65	103,29	102,79	180	8578,00	8,76	
10	50,14	49,34	49,54	50,19	101,70	100,90	101,59	102,62	101,70	180	7300,00	7,81	
Média:				50,25	Média:				102,05	Média:		7522,40	7,87
Desvio Padrão:				0,49	Desvio Padrão:				0,54	Desvio Padrão:		704,31	0,60
Coefficiente de variação:				0,01	Coefficiente de variação:				0,01	Coeff. de variação:		0,09	0,08
Vp													
Cdps		Tempo (ms)	Dist. (mm)		Veloc. (m/s)								
6		43,10	202,54		4699		Tensão = (3.F.L)						
7		43,20	199,98		4629		(2.b.d ²)						
8		42,80	201,44		4707		1kN = 101,971 kgf						
9		42,10	200,88		4771		1kgf = 9,80665 N						
10		44,00	201,14		4571		Taxa de carregamento 4450 N/min						
			Média:		4676								
			Desvio Padrão:		77,034								
Esforço:		Cong./deg.:		Condição da amostra:									
Paralelo		<input checked="" type="checkbox"/>	Com		Seca em estufa à ___ ° C								
Normal		<input type="checkbox"/>	Sem		Saturado em água								
		<input checked="" type="checkbox"/>			X								

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - Norma NBR 15845:2010 Anexo F													
Amostra: BSF 081			Procedência: Barra de São Francisco - ES						Data: 02/2012				
Interressado: Lara Cíntia A. Saar													
Cdps	espessura (d)				largura (b)				média		dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	1	2	3	4	1	2	3	4	b				
6	50,73	50,20	50,34	50,62	102,16	102,44	101,83	102,31	102,19	180,00	10616,00	11,01	
7	50,11	49,39	49,35	50,49	104,52	106,97	107,05	106,64	106,30	180,00	10844,00	11,09	
8	50,82	50,84	50,50	50,35	101,73	102,25	101,96	101,40	101,84	180,00	11298,00	11,69	
9	50,19	49,69	49,56	49,53	102,28	102,35	101,90	102,17	102,18	180,00	10996,00	11,74	
10	50,71	50,08	50,17	50,58	100,19	101,17	101,54	100,38	100,82	180,00	10208,00	10,77	
Média:				50,21	Média:				102,66	Média:	10792,40	11,26	
Desvio Padrão:				0,40	Desvio Padrão:				2,11	Desvio Padrão:	410,00	0,43	
Coefficiente de variação:				0,01	Coefficiente de variação:				0,02	Coef. de variação:	0,04	0,04	
Vp													
Cdps	Tempo (ms)	Dist. (mm)		Veloc. (m/s)									
6	41,60	201,14		4835		Tensão = (3.F.L)							
7	39,40	201,99		5127		(2.b.d ²)							
8	41,10	201,63		4906		1kN = 101,971 kgf							
9	40,30	202,04		5013		1kgf = 9,80665 N							
10	40,80	202,38		4960		Taxa de carregamento							
Média:				4968	4450 N/min								
Desvio Padrão:				110,473									
Esforço:		Cong./deg.:		Condição da amostra:									
Paralelo		Com		Seca em estufa à ___ ° C									
Normal	X	Sem	X	Saturado em água									

**RESISTÊNCIA À FLEXÃO POR
CARREGAMENTO EM QUATRO
PONTOS**

Ensaio de Resistência à Flexão na Tração (Método dos 4 pontos) - NORMA ABNT 15845:2010 ANEXO G

Amostra:	BSF 010		Data:	12/04/2012								
Procedência:	Barra de São Francisco		Interessado:	Lara Cíntia Arndt Saar								
CP	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)								Dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa	
	espessura (d)				largura (b)							média
num	1	2	3	4	1	2	3	4	b			
1	20,82	21,24	21,41	21,33	45,08	48,09	48,43	45,57	46,79	200	872	6,22
2	22,18	21,52	21,16	21,88	46,41	45,92	46,02	46,56	46,23	200	420	2,90
3	20,87	21,35	21,21	21,17	49,87	46,77	46,54	49,34	48,13	200	1022	7,12
4	21,53	22,69	21,2	22,72	48,62	47,42	48,51	46,75	47,83	200	986	6,37
5	21,65	22,75	21,67	22,85	46,1	47,54	46,76	48,08	47,12	200	930	5,99
Média:												
Desvio Padrão:												
Coefficiente de variação:												
											Tensão = (3.P.L)	
											(4.b.d ²)	
											1kN = 101,971 kgf	1 KN
											1kgf = 9,80665 N	
Média:												
Desvio Padrão:												
Taxa de carregamento												535 N/min
VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO												
CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)									
1	86,3	301,00	3488									
2	85,8	302,00	3520									
3	85,7	300,00	3501									
4	82,0	300,00	3659									
5	84,7	301,00	3554									
Média:			3544									
Desvio Padrão:			68,625									
OBS.:												
seca em estufa à 75° C												
saturado em água												
x												

Ensaio de Resistência à Flexão na Tração (Método dos 4 pontos) - NORMA ABNT 15845:2010 ANEXO G

Amostra:	BSF 010		Data:		12/04/2012								
Procedência:	Barra de São Francisco		Interessado:		Lara Cíntia Arndt Saar								
CP	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)								Dist. entre cutelos (L) (mm)	Força KN	Tensão MPa		
	num	espessura (d)				largura (b)						média b	
1		2	3	4	1	2	3	4					
6	21,73	21,21	21,17	21,77	21,470	48,66	47,05	49,14	48,09	200	510	3,45	
7	21,93	21,35	21,24	21,65	21,543	47,3	48,18	46,72	36,75	200	486	4,27	
8	21,29	21,53	21,63	21,03	21,370	46,95	47,46	47,64	47,52	200	608	4,20	
9	21,16	21,62	21,46	21,26	21,375	46,85	47,88	48,15	47,61	200	690	4,76	
10	21,52	22,07	22,12	21,53	21,810	48,88	47,77	49,56	48,79	200	698	4,51	
Média:						21,51					45,75		4,24
Desvio Padrão:						0,18057					5,06		0,49
Coefficiente de variação:						0,01					0,11		0,12

Tensão = (3.P.L)
(4.b.d²)

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
6	83,5	302,00	3617
7	83,4	300,00	3597
8	82,5	300,00	3636
9	81,2	301,00	3707
10	80,8	300,00	3713
Média:			3654
Desvio Padrão:			52,906

1 KN

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Taxa de carregamento

535 N/min

OBS.:

seca em estufa à 75° C
saturado em água

x

Ensaio de Resistência à Flexão na Tração (Método dos 4 pontos) - NORMA ABNT 15845:2010 ANEXO G

Amostra:	BSF 081		Data:		12/04/2012								
Procedência:	Barra de São Francisco		Interessado:		Lara Cíntia Arndt Saar								
CP	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)								Dist. entre cutelos (L) (mm)	Força KN	Tensão MPa		
	espessura (d)				largura (b)							média b	
num	1	2	3	4	média d	1	2	3	4				
1	29,95	30,57	30,22	29,5	30,060	101,3	100,9	101,39	100,75	101,09	360	4412	13,04
2	29,37	30,18	30,36	29,62	29,883	102,92	100,32	100,11	103,74	101,77	360	4248	12,62
3	31,89	31,8	31,95	31,99	31,908	101,37	100,64	100,69	102,88	101,40	360	3652	9,55
4	32,1	31,33	31,19	31,9	31,630	101,92	104,26	101,73	100,45	102,09	360	4286	11,33
5	30,58	31,23	30,93	30,06	30,700	102,75	101	101,42	103,74	102,23	360	7910	22,17
Média:													
Desvio Padrão:													
Coefficiente de variação:													
Tensão = (3.P.L.) (4.b.d ²)													

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO		
CP	tempo (µs)	veloc. (m/s)
1	84,7	4522
2	86,7	4406
3	86,1	4460
4	87,6	4361
5	86,3	4415
Média:		4433
Desvio Padrão:		61,032

Taxa de carregamento
535 N/min

OBS.:	
	seca em estufa à 75° C
	saturado em água
	x

Ensaio de Resistência à Flexão na Tração (Método dos 4 pontos) - NORMA ABNT 15845:2010 ANEXO G

Amostra:	BSF 081		Data:		12/04/2012								
Procedência:	Barra de São Francisco		Interessado:		Lara Cíntia Arndt Saar								
CP	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)								Dist. entre cutelos (L) (mm)	Força KN	Tensão MPa		
	espessura (d)				largura (b)							média b	
num	1	2	3	4	média d	1	2	3	4				
6	31,8	31,52	31,79	31,93	31,760	102,09	103,26	102,86	101,2	102,35	360	2996	7,84
7	31,71	31,85	32,08	32,15	31,948	101,18	101,15	101,24	100,73	101,08	360	2376	6,22
8	32,06	31,81	31,73	31,89	31,873	100,19	101,91	101,8	99,58	100,87	360	2708	7,14
9	31,58	31,65	31,9	31,19	31,580	101,32	102,68	102,47	101,49	101,99	360	3400	9,03
10	29,16	29,48	29,42	29,45	29,378	101,28	103,18	103	101,48	102,24	360	2800	8,57
Média:													
31,31													
Desvio Padrão:													
1,08774													
Coefficiente de variação:													
0,03													

Tensão = (3.P.L.)

(4.b.d²)

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO		
CP	tempo (µs)	veloc. (m/s)
6	84,2	4501
7	87,0	4414
8	87,2	4392
9	80,0	4775
10	76,4	4974
Média:		4611
Desvio Padrão:		253,652

1 KN

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Taxa de carregamento

535 N/min

OBS.:

seca em estufa à 75° C
saturado em água

x

Ensaio de Resistência à Flexão na Tração (Método dos 4 pontos) - NORMA ABNT 15845:2010 ANEXO G

Amostra:	BSF 273		Data:		12/04/2012								
Procedência:	Barra de São Francisco		Interessado:		Lara Cíntia Arndt Saar								
CP	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)								Dist. entre cutelos (L) (mm)	Força KN	Tensão MPa		
	espessura (d)				largura (b)							média b	
num	1	2	3	4	média d				1	2	3		4
6	20,74	21,05	20,83	20,98	20,900	48,29	53,11	53,52	48,45	50,84	200	688	4,65
7	20,95	20,58	20,66	21,05	20,810	47,76	47,04	46,6	47,57	47,24	200	608	4,46
8	20,88	20,86	20,86	20,82	20,855	45,88	41,96	41,54	46,26	43,91	200	680	5,34
9	21,16	19,26	20,81	20,96	20,548	48,13	47,99	48,46	48,3	48,22	200	676	4,98
10	20,82	21,25	21,15	20,83	21,013	47,53	48,14	47,6	48,22	47,87	200	692	4,91
Média:													
20,83													
Desvio Padrão:													
0,17242													
Coefficiente de variação:													
0,05													

Tensão = (3.P.L)

(4.b.d²)

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO		
CP	tempo (µs)	veloc. (m/s)
6	81,5	3693
7	80,4	3731
8	82,9	3619
9	81,3	3715
10	83,4	3597
Média:		3671
Desvio Padrão:		59,627

1 KN

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Taxa de carregamento

535 N/min

OBS.:

seca em estufa à 75° C
saturado em água

x

RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CORPO DURO

Resultados da Resistência ao Impacto de Corpo Duro - NORMA NBR 12.764																		
Amostra: BSF 010			Procedência: Barra de São Francisco - ES					Data: 01/02/2012										
Interessado: Lara Cíntia A. Saar																		
altura das quedas (cm)	Corpos - de - prova																	
	1			2			3			4			5					
	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura		
20	x				x													
25	x				x													
30				x			x						x			x		
35							x			x			x			x		
40										x								
45											x							
50																		
55																		
60																		
65																		
70																		
75																		
80																		
85																		
90																		
95																		
100																		
espessura	e1	21,27			e1	20,66			e1	20,91			e1	21,15			e1	21,35
	e2	21,06			e2	21,24			e2	20,58			e2	21,55			e2	21,29
	e3	21,20			e3	21,2			e3	20,92			e3	21,53			e3	20,77
	e4	21,48			e4	20,76			e4	20,91			e4	20,86			e4	20,93
média		21,25				20,97				20,83				21,27				21,09
Desvio Padrão:		0,17				0,30				0,17				0,33				0,28
Coefficiente de variação:		0,01				0,01				0,01				0,02				0,01
Média das alturas de queda correspondentes à fissura da rocha:													25	0,25	m			
Média das alturas de queda correspondentes à ruptura da rocha:													36	0,36	m			

Resultados da Resistência ao Impacto de Corpo Duro - NORMA NBR 12.764																				
Amostra: BSF 081			Procedência: Barra de São Francisco - ES					Data: 01/02/2012												
Interessado: Lara Cíntia A. Saar																				
altura das quedas (cm)	Corpos - de - prova																			
	1				2				3				4				5			
	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura
20	x				x				x				x				x			
25	x				x				x				x				x			
30	x				x				x				x				x			
35	x					x				x			x				x			
40			x				x				x			x			x			
45				x											x				x	
50																				x
55																				
60																				
65																				
70																				
75																				
80																				
85																				
90																				
95																				
100																				
espessura	e1	31,15			e1	29,57			e1	29,18			e1	31,73			e1	31,72		
	e2	31,17			e2	29,07			e2	29,05			e2	31,86			e2	31,77		
	e3	31,42			e3	29,28			e3	29,21			e3	31,28			e3	31,53		
	e4	31,38			e4	29,24			e4	29,04			e4	31,48			e4	31,80		
média	31,28				29,29				29,12				31,59				31,71			
Desvio Padrão:	0,14				0,21				0,09				0,26				0,12			
Coefficiente de variação:	0,00				0,01				0,00				0,01				0,00			
Média das alturas de queda correspondentes à fissura da rocha:																0,39 m				
Média das alturas de queda correspondentes à ruptura da rocha:																0,44 m				

Resultados da Resistência ao Impacto de Corpo Duro - NORMA NBR 12.764																				
Amostra: BSF 273				Procedência: Barra de São Francisco - ES							Data: 01/02/2012									
Interessado: Lara Cíntia A. Saar																				
altura das quedas (cm)	Corpos - de - prova																			
	1				2				3				4				5			
	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura
20	x				x				x				x				x			
25	x				x					x			x				x			
30			x				x				x			x					x	
35				x			x								x					x
40																				
45																				
50																				
55																				
60																				
65																				
70																				
75																				
80																				
85																				
90																				
95																				
100																				
espessura	e1	19,79			e1	19,83			e1	19,79			e1	20,17			e1	19,76		
	e2	19,95			e2	20,27			e2	19,86			e2	19,87			e2	19,73		
	e3	19,10			e3	20,25			e3	19,87			e3	20,02			e3	20,02		
	e4	19,31			e4	19,85			e4	20,07			e4	20,44			e4	19,97		
média	19,54				20,05				19,90				20,13				19,87			
Desvio Padrão:	0,40				0,24				0,12				0,24				0,15			
Coefficiente de variação:	0,02				0,01				0,01				0,01				0,01			
Média das alturas de queda correspondentes à fissura da rocha:											29	0,29	m							
Média das alturas de queda correspondentes à ruptura da rocha:											34	0,34	m							

RESISTÊNCIA À ABRASÃO (DESGASTE AMSLER)

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Ansler) - Norma-NBR 12042 (ABNT, 1992)													
Amostra: BSF 010				Procedência: Barra de São Francisco - ES				Data: 02/2012					
Interessado: Lara Cíntia A. Saar													
Cdps	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)		Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)		Média (500m)	Média (1000m)	
	canto		canto		canto		(Li - L500m)		(Li - L1000m)				
1	1	8,90	1	8,61	1	8,32		0,29		0,58	0,42	0,79	
	2	8,89	2	8,53	2	8,14		0,36		0,75			
	3	8,95	3	8,45	3	8,14		0,50		0,81			
	4	9,00	4	8,46	4	8,00		0,54		1,00			
2	1	8,73	1	8,17	1	7,88		0,56		0,85	0,53	0,91	
	2	8,70	2	8,37	2	8,01		0,33		0,69			
	3	8,81	3	8,25	3	7,80		0,56		1,01			
	4	8,86	4	8,19	4	7,79		0,67		1,07			
3	1	8,03	1	7,26	1	6,90		0,77		1,13	0,57	0,91	
	2	7,32	2	6,88	2	6,47		0,44		0,85			
	3	7,70	3	7,48	3	7,14		0,22		0,56			
	4	8,20	4	7,35	4	7,11		0,85		1,09			
4	1	8,21	1	7,52	1	7,06		0,69		1,15	0,55	1,03	
	2	7,95	2	7,51	2	7,08		0,44		0,87			
	3	7,98	3	7,55	3	7,02		0,43		0,96			
	4	8,14	4	7,51	4	7,01		0,63		1,13			
										média entre os corpos de prova		1,04	1,81
										desvio padrão		0,07	0,10
										Coeficiente de variação		0,06	0,05
Obs: Cdps 1 e 2 com esforço paralelo à estruturação da rocha e 3 e 4 com esforço normal à mesma.													

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Ansler) - Norma-NBR 12042 (ABNT, 1992)												
Amostra: BSF 081			Procedência: Barra de São Francisco - ES			Data: 02/2012						
Interessado: Lara Cíntia A. Saar												
Cdps	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m (Li - L.500m) (mm)		Desgaste 1000m (Li - L.1000m) (mm)		Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto							
1	1	8,92	1	8,48	1	8,01		0,44		0,91	0,53	0,95
	2	8,87	2	8,40	2	8,01		0,47		0,86		
	3	8,82	3	8,21	3	7,85		0,61		0,97		
	4	8,86	4	8,25	4	7,81		0,61		1,05		
2	1	9,06	1	8,14	1	7,98		0,92		1,08	0,57	1,04
	2	8,84	2	8,45	2	7,93		0,39		0,91		
	3	8,80	3	8,41	3	7,71		0,39		1,09		
	4	8,85	4	8,28	4	7,77		0,57		1,08		
3	1	8,70	1	8,21	1	7,78		0,49		0,92	0,46	0,90
	2	8,69	2	8,39	2	7,96		0,30		0,73		
	3	8,77	3	8,29	3	7,85		0,48		0,92		
	4	8,80	4	8,22	4	7,77		0,58		1,03		
4	1	8,75	1	8,17	1	7,90		0,58		0,85	0,52	0,91
	2	8,85	2	8,44	2	8,03		0,41		0,82		
	3	8,89	3	8,45	3	7,93		0,44		0,96		
	4	8,86	4	8,23	4	7,85		0,63		1,01		
média entre os corpos de prova											1,04	1,90
desvio padrão											0,04	0,06
Coefficiente de variação											0,04	0,03
Obs: Cdps 1 e 2 com esforço paralelo à estruturação da rocha e 3 e 4 com esforço normal á mesma.												

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Ansler) - Norma-NBR 12042 (ABNT, 1992)														
Amostra: BSF 273			Procedência: Barra de São Francisco - ES			Data: 02/2012								
Interessado: Lara Cíntia A. Saar														
Cdps	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)		Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)		Média (500m)	Média (1000m)		
	canto		canto		canto		(Li - L500m) (mm)	(Li - L500m) (mm)	(Li - L1000m) (mm)	(Li - L1000m) (mm)				
1	1	8,90	1	8,55	1	7,88		0,35		1,02	0,44	0,95		
	2	8,88	2	8,53	2	8,04		0,35		0,84				
	3	8,86	3	8,29	3	7,94		0,57		0,92				
	4	8,87	4	8,37	4	7,84		0,50		1,03				
2	1	8,80	1	8,42	1	7,94		0,38		0,86	0,54	1,01		
	2	8,87	2	8,31	2	7,87		0,56		1,00				
	3	8,91	3	8,21	3	7,77		0,70		1,14				
	4	8,85	4	8,35	4	7,80		0,50		1,05				
3	1	8,39	1	7,92	1	7,19		0,47		1,20	0,54	1,03		
	2	8,17	2	7,78	2	7,14		0,39		1,03				
	3	8,24	3	7,64	3	7,36		0,60		0,88				
	4	8,25	4	7,55	4	7,25		0,70		1,00				
4	1	8,50	1	8,07	1	7,30		0,43		1,20	0,59	1,13		
	2	8,48	2	7,88	2	7,49		0,60		0,99				
	3	8,45	3	7,77	3	7,39		0,68		1,06				
	4	8,48	4	7,83	4	7,22		0,65		1,26				
											média entre os corpos de prova		1,05	2,06
											desvio padrão		0,06	0,07
											Coefficiente de variação		0,06	0,04
Obs: Cdps 1 e 2 com esforço paralelo à estruturação da rocha e 3 e 4 com esforço normal à mesma.														

Resistência ao Ataque Químico

Estimativa da perda de Brilho (Pb) NBR 13818 Anexo H (ABNT, 1997) GIALLO SÃO FRANCISCO REAL											Reagente	Pb (%)			
Gabaritos (G)				Gabaritos (G)				Pb (%)							
CDP 1i	G 4,5 cm	G 3,5 cm	(Bi)	CDP 1f	G 4,5 cm	G 3,5 cm	(Bf)								
Medidas	1	14	14	12,25	1	16	15	15,50	-27	Ácido clorídrico (HCl)	-27				
	2	10	12		2	16	15								
	3	12	12		3	15	17								
	4	11	13		4	14	16								
CDP 2i				CDP 2f				13,00	-4			Ácido cítrico (C₆H₈O₇)	3		
Medidas	1	11	10	1	11	11									
	2	11	11	2	10	11									
	3	14	14	3	15	14									
	4	13	16	4	15	17									
CDP 3i				CDP 3f				10,75	3					Ácido cítrico (C₆H₈O₇)	1
Medidas	1	10	8	1	11	10									
	2	12	10	2	11	10									
	3	13	12	3	11	11									
	4	11	13	4	10	12									
CDP 4i				CDP 4f				14,50	1	Ácido cítrico (C₆H₈O₇)	43				
Medidas	1	15	16	1	15	15									
	2	14	13	2	14	13									
	3	14	14	3	15	15									
	4	15	16	4	14	15									
CDP 5i				CDP 5f				8,63	43			Ácido cítrico (C₆H₈O₇)	22		
Medidas	1	16	11	1	11	7									
	2	16	14	2	9	9									
	3	16	19	3	8	11									
	4	11	17	4	6	8									
CDP 6i				CDP 6f				9,50	22					Ácido cítrico (C₆H₈O₇)	-55
Medidas	1	12	11	1	8	11									
	2	11	10	2	9	8									
	3	12	12	3	9	9									
	4	14	15	4	11	11									
CDP 7i				CDP 7f				20,88	-55	Ácido cítrico (C₆H₈O₇)	-9				
Medidas	1	16	12	1	22	22									
	2	16	12	2	21	23									
	3	13	14	3	18	23									
	4	12	13	4	17	21									
CDP 8i				CDP 8f				13,75	-9			Ácido cítrico (C₆H₈O₇)	-2		
Medidas	1	15	12	1	16	13									
	2	14	12	2	16	13									
	3	11	10	3	14	13									
	4	13	14	4	12	13									
CDP 9i				CDP 9f				10,88	-2					Ácido cítrico (C₆H₈O₇)	-8
Medidas	1	15	14	1	15	14									
	2	11	9	2	12	9									
	3	10	8	3	10	8									
	4	9	9	4	10	9									
CDP 10i				CDP 10f				12,50	-8	Ácido cítrico (C₆H₈O₇)	0				
Medidas	1	12	12	1	13	13									
	2	10	10	2	11	11									
	3	11	11	3	12	12									
	4	14	13	4	14	14									
CDP 11i				CDP 11f				13,63	0			Ácido cítrico (C₆H₈O₇)	0		
Medidas	1	12	15	1	12	15									
	2	14	12	2	14	12									
	3	15	12	3	15	12									
	4	16	13	4	16	13									
CDP 12i				CDP 12f				12,00	0					Ácido cítrico (C₆H₈O₇)	0
Medidas	1	12	11	1	12	11									
	2	11	11	2	11	11									
	3	13	12	3	13	12									
	4	13	13	4	13	13									

Legenda:

CDP1i = Corpo-de-prova 1 com medida (Bi)

(Pb) = Perda de Brilho

CDP1f = Corpo-de-prova 1 com medida (Bf)

Estimativa da perda de Brilho (Pb) NBR 13818 Anexo H (ABNT, 1997) BRANCO DALLAS												
Gabaritos (G)				Gabaritos (G)				Pb (%)	Reagente	Pb (%)		
CDP 1i	G 4,5 cm	G 3,5 cm	(Bi)	CDP 1f	G 4,5 cm	G 3,5 cm	(Bf)					
Medidas	1	55	62	61,00	1	58	66	63,63	-4	Ácido clorídrico (HCl)		
	2	62	58		2	64	63					
	3	58	62		3	59	62					
	4	66	65		4	69	68					
Medidas	1	68	62	68,75	1	68	68	72,13	-5		Ácido cítrico (C ₆ H ₈ O ₇)	
	2	71	69		2	75	73					
	3	69	72		3	75	75					
	4	69	70		4	70	73					
Medidas	1	66	65	66,88	1	66	61	64,75	3,2			Ácido cítrico (C ₆ H ₈ O ₇)
	2	68	64		2	67	63					
	3	69	67		3	65	64					
	4	68	68		4	66	66					
Medidas	1	70	71	71,75	1	65	68	67,00	6,6	Ácido cítrico (C ₆ H ₈ O ₇)		
	2	71	73		2	66	71					
	3	71	73		3	65	71					
	4	73	72		4	64	66					
Medidas	1	68	64	67,13	1	53	45	50,50	25		Cloreto de Amônia (NH ₄ Cl)	
	2	67	67		2	54	48					
	3	66	66		3	59	56					
	4	71	68		4	43	46					
Medidas	1	57	55	59,63	1	32	32	34,63	42			Cloreto de Amônia (NH ₄ Cl)
	2	62	61		2	35	34					
	3	59	60		3	35	37					
	4	61	62		4	34	38					
Medidas	1	66	63	63,13	1	63	62	60,63	4	Hidróxido de Potássio (KOH)		
	2	65	62		2	63	61					
	3	62	63		3	59	59					
	4	63	61		4	61	57					
Medidas	1	64	60	61,50	1	62	59	60,88	1		Hidróxido de Potássio (KOH)	
	2	63	59		2	62	58					
	3	62	63		3	67	62					
	4	65	56		4	65	52					
Medidas	1	55	57	59,25	1	66	65	67,75	-14			Hipoclorito de Sódio (NaClO)
	2	61	58		2	69	64					
	3	60	59		3	69	68					
	4	63	61		4	73	68					
Medidas	1	57	57	58,50	1	65	64	64,25	-10	Hipoclorito de Sódio (NaClO)		
	2	54	58		2	61	66					
	3	56	61		3	61	65					
	4	62	63		4	68	64					
Medidas	1	65	65	64,88	1	65	65	64,88	0		Nenhum reagente	
	2	62	65		2	62	65					
	3	65	66		3	65	66					
	4	65	66		4	65	66					
Medidas	1	64	66	65,88	1	64	66	65,88	0			Nenhum reagente
	2	65	67		2	65	67					
	3	66	66		3	66	66					
	4	65	68		4	65	68					

Legenda:
 CDP1i = Corpo-de-prova 1 com medida (Bi) (Pb) = Perda de Brilho
 CDP1f = Corpo-de-prova 1 com medida (Bf)

Estimativa da perda de Brilho (Pb) NBR 13818 Anexo H (ABNT, 1997)										Reagente		
Gabaritos (G)				(Bi)	Gabaritos (G)				(Bf)		Pb (%)	
CDP	1i	G 4,5 cm	G 3,5 cm		CDP	1f	G 4,5 cm	G 3,5 cm				
Medidas	1	20	20	25,50	1	49	47	49,75	-95	Ácido clorídrico (HCl)		
	2	31	23		2	47	52					
	3	24	22		3	42	54					
	4	34	30		4	49	58					
Medidas	1	29	39	39,75	1	47	50	53,75	-35		Ácido cítrico (C ₆ H ₈ O ₇)	
	2	34	39		2	50	57					
	3	42	44		3	54	58					
	4	50	41		4	57	57					
Medidas	1	49	45	43,00	1	54	57	51,75	-20			Cloro de Amônia (NH ₄ Cl)
	2	45	46		2	50	52					
	3	50	35		3	54	47					
	4	48	26		4	51	49					
Medidas	1	52	58	32,75	1	58	60	45,75	-40	Hidróxido de Potássio (KOH)		
	2	27	39		2	45	55					
	3	17	23		3	37	39					
	4	20	26		4	34	38					
Medidas	1	52	58	53,63	1	4	6	6,50	88		Hidróxido de Sódio (NaOH)	
	2	41	58		2	6	7					
	3	54	56		3	7	7					
	4	55	55		4	9	6					
Medidas	1	16	22	20,75	1	4	7	7,25	65			Hipoclorito de Sódio (NaClO)
	2	26	25		2	5	9					
	3	15	17		3	6	10					
	4	20	25		4	6	11					
Medidas	1	37	37	31,25	1	44	46	44,88	-44	Nenhum reagente		
	2	27	33		2	41	47					
	3	23	25		3	43	47					
	4	35	33		4	43	48					
Medidas	1	45	49	51,00	1	42	45	46,38	9		Nenhum reagente	
	2	47	53		2	43	49					
	3	54	52		3	47	50					
	4	58	50		4	47	48					
Medidas	1	45	26	38,88	1	45	22	39,50	-2			Nenhum reagente
	2	43	36		2	46	36					
	3	38	36		3	41	39					
	4	47	40		4	49	38					
Medidas	1	47	45	41,25	1	59	57	56,63	-37	Nenhum reagente		
	2	39	33		2	55	50					
	3	38	34		3	55	54					
	4	54	40		4	64	59					
Medidas	1	63	62	48,88	1	63	62	48,88	0		Nenhum reagente	
	2	53	59		2	53	59					
	3	54	43		3	54	43					
	4	40	17		4	40	17					
Medidas	1	68	69	65,13	1	68	69	65,13	0			Nenhum reagente
	2	61	63		2	61	63					
	3	68	62		3	68	62					
	4	64	66		4	64	66					

Legenda:
 CDP1i = Corpo-de-prova 1 com medida (Bi) (Pb) = Perda de Brilho
 CDP1f = Corpo-de-prova 1 com medida (Bf)