

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

THIAGO MOTTA BOLONINI

**GEOLOGIA E POTENCIALIDADE DO GRANITO “VERMELHO CAPÃO BONITO”  
(SUDOESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO) COMO ROCHA ORNAMENTAL**

Rio Claro - SP

2011

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

THIAGO MOTTA BOLONINI

**GEOLOGIA E POTENCIALIDADE DO GRANITO “VERMELHO CAPÃO BONITO”  
(SUDOESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO) COMO ROCHA ORNAMENTAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-graduação em Geologia  
Regional para obtenção do título de Mestre  
em Geologia Regional.

**Orientador:** Prof.Dr. Antonio Misson Godoy

Rio Claro - SP

2011

552 Bolonini, Thiago Motta  
B693g Geologia e potencialidade do granito “Vermelho Capão Bonito” (Sudoeste do Estado de São Paulo) como rocha ornamental / Thiago Motta Bolonini. - Rio Claro : [s.n.], 2011  
170 f. : il., figs., tabs., quadros, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Antonio Misson Godoy

1. Petrologia. 2. Maciço granítico - Delimitação da ocorrência. 3. Ensaio tecnológico. 4. Mapeamento geológico.  
I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP  
Campus de Rio Claro/SP

THIAGO MOTTA BOLONINI

**GEOLOGIA E POTENCIALIDADE DO GRANITO “VERMELHO CAPÃO BONITO”  
(SUDOESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO) COMO ROCHA ORNAMENTAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-graduação em Geologia  
Regional para obtenção do título de Mestre  
em Geologia Regional.

Orientador: Prof.Dr. Antonio Misson Godoy

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.

---

**Dr. Leonardo Luiz Lyrio da Silveira**

Centro de tecnologia mineral – CETEM  
(Campus avançado de Cachoeiro do Itapemirim - CACI/ES)

Rio Claro, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Dedico este trabalho à minha família, pai, mães, irmão, amigos-irmãos, noiva, sogros e em especial (in memoriam) à amiga Prof.<sup>a</sup> e Dr<sup>a</sup> Cláudia Lopes de Moura.

## AGRADECIMENTOS

Ao amigo e professor Dr. Leonardo Luiz Lyrio da Silveira pelo incentivo.

Ao amigo e professor Dr. Cesar D' Abronzo Martinelli que, junto à sua esposa, a amiga e professora Dra Cláudia Lopes de Moura, me abrigou em seu lar no início desta jornada de dois anos e tanto me apóia.

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Antonio Misson Godoy por ter me aceitado como orientado, pela paciência e pelo auxílio e conselhos prestados a cada passo deste trabalho.

Ao anjo que se chama Rosângela que tanto ajuda e se preocupa e aos técnicos dos laboratórios de Rochas Ornamentais (Adílson), Laminação (Júnior) e Geoquímica.

À minha família por ter me apoiado quando decidi ficar distante por mais dois anos para dar este passo tão importante em meu processo de qualificação profissional. Minha Família inclui também a minha noiva e os pais por se mostrarem pacientes e entenderem as dificuldades enfrentadas no decorrer deste estudo.

Aos amigos-irmãos da República Zé Comédia (Rapa e Papai Urso) pela ótima convivência, pelo respeito e, sobretudo pelos bons e hilários momentos que passamos morando sob o mesmo teto. Também aos amigos e agregados que passaram pela casa e que sempre me visitaram e convidaram para almoços e jantares.

Aos membros das bancas da qualificação (Prof. Dr. Antonio Carlos Artur, Prof. Dr. Antenor Zanardo) e da defesa (Prof. Dr. Antonio Carlos Artur e Dr. Leonardo Luiz Lyrio da Silveira).

Ao CNPq pela bolsa cedida através do processo 137364/2009-1.

Por fim, a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para que este trabalho fosse finalizado com sucesso.

“Meu amigo, meu compadre, meu irmão, escreva  
sua história pelas suas próprias mãos.”  
(ZÉ GERALDO, 1980)

## RESUMO

O Maciço Granítico Capão Bonito localiza-se no sudoeste do Estado de São Paulo e está associado à evolução neoproterozóica da Província Mantiqueira Central. As suas rochas afloram junto à borda da Bacia do Paraná em um corpo com forma alongada cujo eixo maior apresenta direção geral NE-SW, perfazendo uma área aproximada de 110km<sup>2</sup>. Ocorre intrusivo em rochas epimetamórficas da Formação Votuverava, do Grupo Açungui e em rochas graníticas do Complexo Três Córregos e a sua colocação encontra-se relacionada a uma tectônica rúptil das zonas de cisalhamento de direção NE-SW. O contato sul encontra-se delimitado pela Falha do Bairro dos Alves que compõe a Zona de Cisalhamento Quarenta Oitava e por contatos normais com as rochas metassedimentares. Os contatos oeste e noroeste ocorrem com rochas graníticas do Complexo Três Córregos a partir da Falha de Capão Bonito ou Zona de Cisalhamento Itapirapuã, além de apresentar contato também com as rochas metassedimentares da Formação Votuverava. Nos metassedimentos, quando preservados das feições deformacionais impostas pela deformação milonítica, preservam-se texturas e mineralogias do metamorfismo de contato com desenvolvimento de minerais na fácies albita-epidoto e hornblenda hornfels. A região central e norte do maciço caracterizam-se por uma área arrasada constituindo um planalto entre os fortes da serra com poucos afloramentos na forma de matacões expostos. Os contatos sul e extremo NW do corpo apresentam-se mais íngremes e encontram-se mais dissecados e erodidos, apresentando inúmeras exposições das litologias do maciço com riqueza de matacões e lajedos expostos ou com coberturas de solo menos espessas, contribuindo, portanto, para o direcionamento das frentes de lavra. No contato norte do maciço encontra-se pequenas lavras ou exposições de rochas associadas principalmente às cabeceiras das drenagens, pois se apresentam parcialmente encobertos por rochas sedimentares do Grupo Itararé e por sedimentos recentes da Bacia do Paraná. O Maciço Capão Bonito é constituído por sienogranitos vermelhos, holo- a leucocráticos com biotita e rara hornblenda, inequigranulares de granulação média a grossa a porfiríticos e isotrópicos a levemente miloníticos e/ou cataclásticos nas regiões marginais. Comercialmente são denominados de Vermelho Capão Bonito e para exportação como *Rubi Red Granite*. Neste trabalho foi realizada a caracterização tecnológica com a análise petrográfica, as determinações de índices físicos, desgaste abrasivo AMSLER, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão na tração por três pontos, resistência à flexão por quatro pontos, resistência ao impacto de corpo duro, propagação de ondas ultrassônicas, a resistência ao ataque químico e análise geoquímica de elementos maiores e traços. O estudo preciso dessas características e comportamento torna-se fundamental para a exploração e utilização corretas e seguras das rochas para revestimento. Os resultados obtidos nos diversos ensaios mostram que os parâmetros analisados apresentam-se bastante similares, evidenciando uma homogeneidade das rochas do maciço por situarem-se dentro dos limites tidos como padrões estabelecidos pelas normas obedecendo satisfatoriamente os valores limites fixados para granitos a serem utilizados em revestimento de ambientes em interiores e exteriores.

**Palavras-chave:** Capão Bonito, granito, ensaio tecnológico, rocha ornamental.



## **ABSTRACT**

The Capão Bonito Granitic Massif is located in the southwestern of São Paulo state and is related to the evolution neoprotherozoic of the Mantiqueira Central Province. Its rocks outcrop along the edge of the Paraná Basin in a body with elongated major axis shows the general direction of NE-SW, covering an area of approximately 110km<sup>2</sup>. Occurs intrusive on epi-metamorphic rocks of the Votuverava Formation, Açungui Group and granitic rocks of the Três Córregos Complex and their placement is related to a ruptile tectonics of shear zones in NE-SW direction. The south contact is limited by the failure of the Alves district comprising Quarenta Oitava shear zone and normal contacts with the metasedimentary rocks. The western and northwestern contacts occur, with granitic rocks of the Três Córregos Granitic Complex from the Capão Bonito failure or Itapirapuã shear zone, and also perform contact with the metasedimentary rocks of Votuverava Formation. In the metasediments, when preserved the features of deformation imposed by mylonitic deformation, to preserve texture and mineralogy of contact metamorphism with development of minerals in the albite-epidote facies and hornblende hornfels. The central region and north of the massif are characterized by a flattened area forming a plateau between the strong from the mountains with few outcrops in the form of boulders exposed. The south and the extreme NW contacts of the body have become more steep and are more dissected and eroded, presenting numerous exhibitions lithology with the massive wealth of exposed boulders and flagstones or less thick soil cover, contributing thus to the direction of the quarries. In the north contact of the massif rocks, are small pits or rock exposures associated mainly with the headwaters of drainages, because they have partially covered by sedimentary rocks of the Itararé Group and by recent sediments of the Paraná Basin. The Capão Bonito Granite Massif consists of sienogranite red holo to leucocratic with biotite and rare hornblende, inequigranular medium to coarse grained to porphyritic and the isotropic to slightly mylonitic and / or cataclastic in marginal regions. Commercially are called Vermelho Capão Bonito and for export as Ruby Red Granite. On this work was realize an technological characterization with tests of petrographic analysis and determinations of physical indexes, resistances of the abrasive wear AMSLER, of the uniaxial compressive strength, of flexural strength in traction for three points, resistance to bending by four points, the resistance to the impact of hard body, the speed of propagation of ultrasonic sound waves, resistance to chemical attack and geochemistry of major and trace elements. So, the precise study of these characteristics and behaviors, are fundamental to the exploitation and use correct and safe rocks to coating. The results obtained in the different varieties of tests showed that the parameters analyzed have to be quite similar, indicating a homogeneity of the massif rocks because their results are situate themselves within the limits considered as standards established by the rules satisfactorily obeying the limits set for granite used in coating internal and external.

**Keywords:** Capão Bonito, granite, technological analysis, dimension stone.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Acesso ao município de Capão Bonito a partir de São Paulo–SP.....	26
<b>Figura 2.</b> Recorte de mosaico CBERS2B – HRC, com demarcação dos afloramentos do Granito Capão Bonito.....	27
<b>Figura 3.</b> Organograma das etapas de estudo.....	30
<b>Figura 4.</b> Aspectos das rochas do maciço Granítico Capão Bonito.....	31
<b>Figura 5.</b> Sentido das lineações e das microfissuras de alívio.....	38
<b>Figura 6.</b> Procedimento de análise modal quantitativa de (A), para (E), conforme movimento de <i>charriot</i> de passo .....	41
<b>Figura 7.</b> Ilustração do método de coloração seletiva ou colorimetria.....	42
<b>Figura 8.</b> Tipos de contatos entre grãos minerais.....	43
<b>Figura 9.</b> Fotomicrografia apresentando exemplos de microfissuras.....	44
<b>Figura 10.</b> Ilustração do cálculo do índice de microfissuramento (mf/mm <sup>2</sup> ).....	44
<b>Figura 11.</b> Mapa de campos contados por lâmina.....	45
<b>Figura 12.</b> Prensa utilizada para o ensaio de resistência à compressão uniaxial.....	47
<b>Figura 13.</b> Ilustração da placa que originou os corpos de prova para o ensaio de ataque químico.....	50
<b>Figura 14.</b> Ilustração do método de exposição da rocha aos reagentes.....	50
<b>Figura 15.</b> Aparelho de medição utilizado na análise de perda de brilho.....	51
<b>Figura 16.</b> Passos para medição do brilho.....	52
<b>Figura 17.</b> Lavra de matacões. Mina de granito ativa em flanco de encosta.....	58
<b>Figura 18.</b> Mina de granito ativa em flanco de encosta.....	59
<b>Figura 19.</b> Pedreira em fossa do granito Branco Ceará, da Granistone, no município de Santa Quitéria-CE.....	60
<b>Figura 20.</b> Pedreira de mármore em poço.....	61
<b>Figura 21.</b> Lavra por bancadas baixas.....	62
<b>Figura 22.</b> Lavra pelo método de bancadas altas. Barra de São Francisco–ES	63
<b>Figura 23.</b> Lavra de painéis verticais. Barra de São Francisco – ES .....	64
<b>Figura 24.</b> Lavra de capeado, por desabamento, do Granito Giallo Esperança, da Rocha Branca Mineração, Boa Esperança-ES.....	65
<b>Figura 25.</b> Exemplo de lavra seletiva. Barra de São Francisco – ES .....	65
<b>Figura 26.</b> Mina subterrânea. Quartzito “Azul Imperial”, BA.....	66
<b>Figura 27.</b> Esquema de divisão dos volumes extraídos em uma pedreira.....	67

<b>Figura 28.</b> Máquina de corte com fio diamantado.....	69
<b>Figura 29.</b> Corte com Jet flame.....	70
<b>Figura 30.</b> Cortador a corrente.....	71
<b>Figura 31.</b> Ferramentas utilizadas no tombamento de painéis verticais (filões).	72
<b>Figura 32.</b> Blocos esquadrejados.....	73
<b>Figura 33.</b> Pau-de-carga.....	74
<b>Figura 34.</b> Rampa.....	74
<b>Figura 35.</b> Grua "Derrick".....	75
<b>Figura 36.</b> Mapa tectônico (terrenos) Apiaí, Guaxupé, Curitiba, Embu e Luis Alves.....	78
<b>Figura 37.</b> Esboço Geológico de parte da Faixa Ribeira com a localização da área estudada.....	80
<b>Figura 38.</b> Mapa Geológico da região do Maciço Granítico Capão Bonito.....	84
<b>Figura 39.</b> Filito sericítico da Formação Votuverava.....	86
<b>Figura 40.</b> Aspectos do quartzito exposto na Serra do Cantagalo.....	87
<b>Figura 41.</b> Ilustração da ocorrência dos quartzitos da Serra do Cantagalo.....	88
<b>Figura 42.</b> Muscovita-biotita xisto da Formação Votuverava.....	88
<b>Figura 43.</b> Ilustração da ocorrência das rochas metabásicas da Formação Votuverava.....	89
<b>Figura 44.</b> Afloramento das rochas do Complexo Granítico Três Córregos.....	90
<b>Figura 45.</b> Ilustração de ocorrências do monzogranito Três Córregos.....	91
<b>Figura 46.</b> Ilustração da ocorrência do monzogranito Três Córregos.....	92
<b>Figura 47.</b> Localização das principais zonas de afloramento do Granito "Vermelho Capão Bonito" (Matacões).....	94
<b>Figura 48.</b> Zonas de matacões 1 e 2.....	95
<b>Figura 49.</b> Rochas expostas na zona de matacões 1 (Z1).....	96
<b>Figura 50.</b> Zona de afloramento 3 (Z3).....	96
<b>Figura 51.</b> Zona de afloramento 4 (Z4).....	97
<b>Figura 52.</b> Mini indústria de beneficiamento (Granitos Pires).....	98
<b>Figura 53.</b> Zona de matacões 5 (Z5).....	99
<b>Figura 54.</b> Zona de matacões 6 (Z6).....	99
<b>Figura 55.</b> Ilustração do sienogranito inequigranular do Capão Bonito.....	100
<b>Figura 56.</b> Detalhe da fácies de sienogranito porfiróide do Capão Bonito.....	101
<b>Figura 57.</b> Detalhe para microfissuras transgranulares.....	102

<b>Figura 58.</b> Planos de falhas e juntas nas rochas do Maciço Capão Bonito.....	102
<b>Figura 59.</b> Dique de diabásio intrusivo nas rochas do Capão Bonito.....	103
<b>Figura 60.</b> Veio pegmatóide no Maciço Granítico Capão Bonito.....	103
<b>Figura 61.</b> Estruturas <i>schlieren</i> definidas pelas concentrações de minerais máficos em bloco do granito “Vermelho Capão Bonito”.....	104
<b>Figura 62.</b> Mistura e consumo de magmas mais ricos em máficos em bloco do granito "Vermelho Capão Bonito".....	104
<b>Figura 63.</b> Presença de pequenos enclaves micáceos em bloco do granito Capão Bonito.....	104
<b>Figura 64.</b> Xenólitos de granitos distintos em bloco do granito Capão Bonito...	105
<b>Figura 65.</b> Grupo Itararé (arenito mal selecionado com seixos de quartzo).....	105
<b>Figura 66.</b> Intrusão de diabásio no corte da estrada.....	106
<b>Figura 67.</b> Diabásio pertencente à Formação Serra Geral com esfoliação esferoidal.....	107
<b>Figura 68.</b> Sedimentos recentes de abandono de canal e meandro de córrego com extração de areia oriunda da erosão da pedreira Somibras (Maciço Capão Bonito).....	108
<b>Figura 69.</b> Nível de cascalheira com sedimentos angulosos.....	108
<b>Figura 70.</b> Classificação modal das rochas do Maciço Granítico Capão Bonito	109
<b>Figura 71.</b> Sienogranito “Vermelho Capão Bonito”.....	111
<b>Figura 72.</b> Fotomicrografias de cristais de quartzo com leve extinção ondulante, em contato com cristais de microclínio .....	112
<b>Figura 73.</b> Fotomicrografias de cristais de quartzo anedrais com extinção ondulante e subgrãos em contato com oligoclásio anedral com geminação polissintética apresentando-se saussuritizados.....	113
<b>Figura 74.</b> Fotomicrografias de cristais de quartzo anedrais apresentando microfissuras com preenchimento geralmente feito por sericita.....	113
<b>Figura 75.</b> Fotomicrografias de cristais de biotita com início de cloritização e minerais opacos secundários, microfissuras com preenchimento por sericitas em contato com cristais de quartzo e microclínio.....	114
<b>Figura 76.</b> Fotomicrografias mostrando a hornblenda cloritizada, presença de cristal de hornblenda pouco alterado em contato com cristal de microclínio pertítico e quartzo .....	115
<b>Figura 77.</b> Sienogranito Vermelho Capão Bonito.....	116
<b>Figura 78.</b> Fotomicrografias de cristal de quartzo anedral com extinção ondulante, em contato com cristal de microclínio anedral, pertítico e com geminação em grade.....	118
<b>Figura 79.</b> Fotomicrografias de cristal de quartzo anedral em contato com oligoclásio subhedral com geminação polissintética e leve saussuritização.....	118

<b>Figura 80.</b> Fotomicrografias de cristal de biotita em contato com cristais de quartzo e plagioclásio .....	118
<b>Figura 81.</b> Fotomicrografias mostrando hornblenda com transformações para biotita e clorita em contato com cristais de microclínio .....	119
<b>Figura 82.</b> Sienogranito Vermelho Capão Bonito.....	120
<b>Figura 83.</b> Fotomicrografias de cristal de quartzo anedral com extinção ondulante, em contato com cristal de microclínio com geminação em grade.....	121
<b>Figura 84.</b> Fotomicrografias de cristais de oligoclásio sericitizado em contato com quartzo anedral e biotita.....	122
<b>Figura 85.</b> Fotomicrografias de cristais de biotita em contato com cristais de quartzo e plagioclásio.....	122
<b>Figura 86.</b> Ilustração dos planos de corte associados ao quadro estrutural da área .....	126
<b>Figura 87.</b> Distribuição dos elementos maiores das rochas sienograníticas do Maciço Granítico Capão Bonito .....	130
<b>Figura 88.</b> Resultados dos ensaios de caracterização físico-mecânica.....	133
<b>Figura 89.</b> Índice microfissural e tamanho médio de microfissuras por amostra e lâmina (em função do sentido de corte relativo ao plano de microfissuras).....	135
<b>Figura 90.</b> Índice microfissural por lâmina e tipo de microfissura.....	136
<b>Figura 91.</b> Resistência ao impacto de corpo duro.....	139
<b>Figura 92.</b> Velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas (Vp).....	140
<b>Figura 93.</b> Representação das medidas de brilho inicial e final para amostra CBT2 do Sienogranito Vermelho Capão Bonito .....	143
<b>Figura 94.</b> Estimativa da perda de brilho para o Sienogranito Vermelho Capão Bonito.....	144
<b>Figura 95.</b> Corpos-de-prova atacados pelo ácido cítrico (C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> ).....	145
<b>Figura 96.</b> Corpos-de-prova atacados pelo hipoclorito de sódio (NaClO).....	145
<b>Figura 97.</b> Corpos-de-prova atacados pelo cloreto de amônia (NH <sub>4</sub> Cl).....	146
<b>Figura 98.</b> Corpos-de-prova atacados pelo ácido clorídrico (HCl).....	146
<b>Figura 99.</b> Corpos-de-prova atacados pelo hidróxido de potássio (KOH).....	147

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Nome e localização das amostras utilizadas para o estudo.....	31
<b>Tabela 2.</b> Imagens CBERS2B que compõem o mosaico utilizado para o estudo.....	36
<b>Tabela 3.</b> Resumo petrográfico das lâminas de amostras coletadas em campo	110
<b>Tabela 4.</b> Composição mineralógica modal CBT1 (%).....	112
<b>Tabela 5.</b> Composição mineralógica modal CBT2 (%).....	117
<b>Tabela 6.</b> Composição mineralógica modal CBT3 (%).....	121
<b>Tabela 7.</b> Valores das análises geoquímicas de elementos maiores e menores das rochas do Granito Capão Bonito.....	128
<b>Tabela 8.</b> Resultados de caracterização tecnológica para as amostras CBT1, CBT2 e CBT3 e valores limítrofes da ASTM (1992), ABNT (2010a), para uma amostra do referido granito, médias dos resultados de Navarro (2006).....	132
<b>Tabela 9.</b> Resumo petrográfico da contagem de microfissuras e relações de contatos intergrãos.....	134
<b>Tabela 10.</b> Resumo dos resultados relativos ao brilho dos corpos-de-prova testados.....	143

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Evolução do volume físico anual das exportações brasileiras de rochas ornamentais.....	22
<b>Quadro 2.</b> Exportações mensais do setor de rochas ornamentais 2010-2011....	23
<b>Quadro 3.</b> Relação de amostras e corpos-de-prova em função dos ensaios aos quais foram direcionados e suas respectivas normas.....	40
<b>Quadro 4.</b> Limites para classificação de granulação.....	41
<b>Quadro 5.</b> Tamanho relativo de grãos minerais.....	42
<b>Quadro 6.</b> Ensaio da resistência ao ataque químico corpos-de-prova, agentes químicos agressivos e tempo de exposição.....	51
<b>Quadro 7.</b> Principais agentes e mecanismos de alteração de rocha. Modificado de Silva (2009).....	54
<b>Quadro 8.</b> Alteração em revestimentos. Modificado de Chiodi Filho (1995).....	55
<b>Quadro 9.</b> Algumas das principais formas de alteração (patologias) observadas nos materiais rochosos, produzidas pelos agentes de meteorização. Modificado de Silva (2009).....	56

## 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 – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral.
- DPM – Departamento de Petrologia e Metalogenia
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- IGCE – Instituto de Geociências e Ciências Exatas
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas.
- IUGS - International Union of Geological Sciences.
- LABOGEO – Laboratório de Geoquímica
- MINEROPAR – Minerais do Paraná SA.
- NBR – Norma Brasileira.
- SRTM – Shuttle Radar Topography Mission
- UNESP – Universidade Estadual Paulista “Julho de Mesquita Filho”.
- UTM – Universal Transversa de Mercator



## SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	19
I.1. INTRODUÇÃO.....	19
I.2. O MERCADO DE ROCHAS ORNAMENTAIS.....	21
I.3. OBJETIVOS.....	25
I.4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	25
I.5. ASPECTOS FISIOGRÁFICOS.....	26
CAPÍTULO II.....	29
II.1. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
II.1.1. MATERIAIS UTILIZADOS.....	30
II.1.2. MÉTODOS UTILIZADOS.....	32
II.1.2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	32
II.1.2.1.1. Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais.....	32
II.1.2.2. TRABALHOS DE CAMPO.....	35
II.1.2.3. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISES E ENSAIOS.....	37
II.1.2.4. ANÁLISE PETROGRÁFICA.....	40
II.1.2.5. GEOQUÍMICA.....	46
II.1.2.6. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA.....	46
II.1.2.7. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO .....	49
CAPÍTULO III.....	57
III.1. MÉTODOS E TECNOLOGIAS DE LAVRA.....	57
III.1.1. MÉTODOS DE LAVRA .....	57
III.1.2. CICLO DE PRODUÇÃO DA PEDREIRA.....	66
III.1.2.1. DESMONTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS .....	67
III.1.2.1.1. Técnicas de corte.....	67
III.1.2.1.2. Técnicas de Desmonte.....	71
III.1.2.1.3. Técnicas de Dimensionamento dos Blocos.....	72
III.1.2.1.4. Técnicas de Movimentação dos Blocos.....	73
III.1.2.1.5. Técnicas de Carregamento dos blocos.....	73
III.1.3. A IMPORTÂNCIA DAS JUNTAS NA LAVRA.....	75
CAPÍTULO IV .....	77
IV.1. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	77
IV.1.1. TERRENO APIAÍ.....	78
CAPÍTULO V.....	82
V.1. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL.....	82

V.1.1. ROCHAS DO EMBASAMENTO.....	85
V.1.2. COMPLEXO GRANÍTICO TRÊS CÓRREGOS.....	90
V.1.3. MACIÇO GRANÍTICO CAPÃO BONITO.....	92
V.1.4. ROCHAS DA BACIA DO PARANÁ.....	105
V.1.4.1. ROCHAS SEDIMENTARES - GRUPO ITARARÉ.....	105
V.1.5. ROCHAS MAGMÁTICAS - FORMAÇÃO SERRA GERAL.....	106
V.1.6. COBERTURAS SEDIMENTARES.....	107
V.2. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA.....	109
V.3. CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL.....	124
CAPÍTULO VI.....	127
VI. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA.....	127
CAPÍTULO VII.....	131
VII.1. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	131
CAPÍTULO VIII.....	142
VIII.1. ATAQUE QUÍMICO.....	142
CAPÍTULO IX.....	148
IX.1. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	148
CAPÍTULO X.....	154
X.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	154
ANEXO 1.....	163

# CAPÍTULO I

## I.1. INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas dimensionais e materiais de cantaria, definem uma promissora e crescente área do setor mineral. Tal crescimento é proporcionado tanto pelos novos tipos de utilização das rochas nas paisagens urbanas, quanto por novas tecnologias de extração, manuseio, transporte e beneficiamento de blocos.

Além das tecnologias que aprimoram as explorações e aperfeiçoam a produção com conseqüente redução de custos, o mercado consumidor exige cada vez mais a padronização das características tecnológicas das rochas para utilização como ornamento e revestimento.

As rochas são bastante empregadas em arquitetura, na decoração de ambientes e também como revestimentos, seja de interiores (pisos e paredes), de fachadas (revestimentos verticais) ou até como elementos estruturais e utensílios domésticos. A crescente utilização de rochas ornamentais em obras civis tem alertado os usuários para problemas decorrentes de uma escolha inadequada de

aplicação das mesmas, pois, por serem expostas a condições ambientais diversas, necessitam de cuidados de caráter técnico para que haja a preservação de sua função estética de decoração.

A melhor medida preventiva para esses problemas é a correta especificação das rochas frente aos usos pretendidos respeitando-se, além do efeito estético desejado, suas características tecnológicas, resultando na escolha das melhores aplicações para cada tipo de rocha e assim, apresentando soluções arquitetônicas, estéticas e funcionais muito mais confiáveis à sua utilização na construção civil.

Frasca (2002) define rocha ornamental como rocha natural, submetida a diversos tipos de beneficiamento ou afeiçoamento (bruto, aparelhado, apicoado, esculpido e polido) utilizado para exercer uma função estética.

Já as rochas para fins de revestimento, são classificadas como produtos do desmonte de materiais rochosos em blocos e de seu subsequente desdobramento em chapas, posteriormente polidas e cortadas em placas.

Em termos gerais, as rochas ornamentais são classificadas comercialmente em dois grupos: granitos e mármore.

As rochas comercialmente conhecidas como granitos correspondem às rochas silicáticas, onde estão englobados os tipos litológicos ígneos (de caráter ácido, intermediário, básico e ultrabásico) com origem plutônica a extrusiva.

As rochas sedimentares são representadas por arenitos, conglomerados, calcários, varvitos, entre outras. As rochas metamórficas representadas por migmatitos, gnaisses, quartzitos, xistos, milonitos, etc.

Já os mármore são representados por rochas tanto de origem sedimentar, quanto metamórfica. Exemplos destes são os mármore calcíticos e dolomíticos.

Os travertinos, a exemplo dos calcários, são rochas carbonatadas, geralmente de origem sedimentar, essencialmente calcíticos que podem apresentar-se pouco ou não metamorfisados e são definidos pela sua coloração geralmente creme a bege-amarelada.

Devido à variedade de tipos, composições, cores, estruturas e texturas, as rochas conhecidas pelo mercado como granitos são as mais utilizadas para revestimentos, seguidas dos mármore (nacionais ou importados) utilizados notadamente no acabamento de interiores.

Dessa maneira, percebe-se que a aplicação de uma rocha está inteiramente relacionada às propriedades geológicas, representadas pela cor, textura, homogeneidade, estrutura, nível de deformação a que foi submetido o corpo rochoso e as suas características petrográficas, químicas e físico-mecânicas.

Fatores relacionados a tais propriedades são determinantes, também para a viabilidade de extração neste setor da mineração. Sabe-se que a pesquisa geológica, tanto a nível exploratório regional quanto de detalhe, deve anteceder a abertura de frentes de lavras com produção em escala comercial.

Conhecer previamente as características de uma determinada formação rochosa representa condição indispensável para a escolha correta do método de lavra, dimensionamento de equipamentos, elaboração de uma programação racional de extração com a finalidade de ter melhor desempenho da atividade produtiva prevendo, inclusive, a minimização de possíveis impactos ambientais.

## I.2. O MERCADO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

De acordo com a ABIROCHAS (2010c), a partir do fechamento da balança comercial brasileira de 2010, destacou-se um rápido avanço da concentração das exportações em uma pauta restrita de produtos primários (minério de ferro, petróleo, soja, açúcar e carnes), que responderam por 43,4% do faturamento das exportações brasileiras em 2010.

Esse avanço foi condicionado pelo aumento da demanda asiática, por bens primários, e pela demanda mais fraca dos países compradores de manufaturados, como os EUA. As vendas são então concentradas em produtos primários, cujos preços são historicamente voláteis, normalmente ligados a setores pouco intensivos em mão de obra, podendo tornar vulneráveis as exportações.

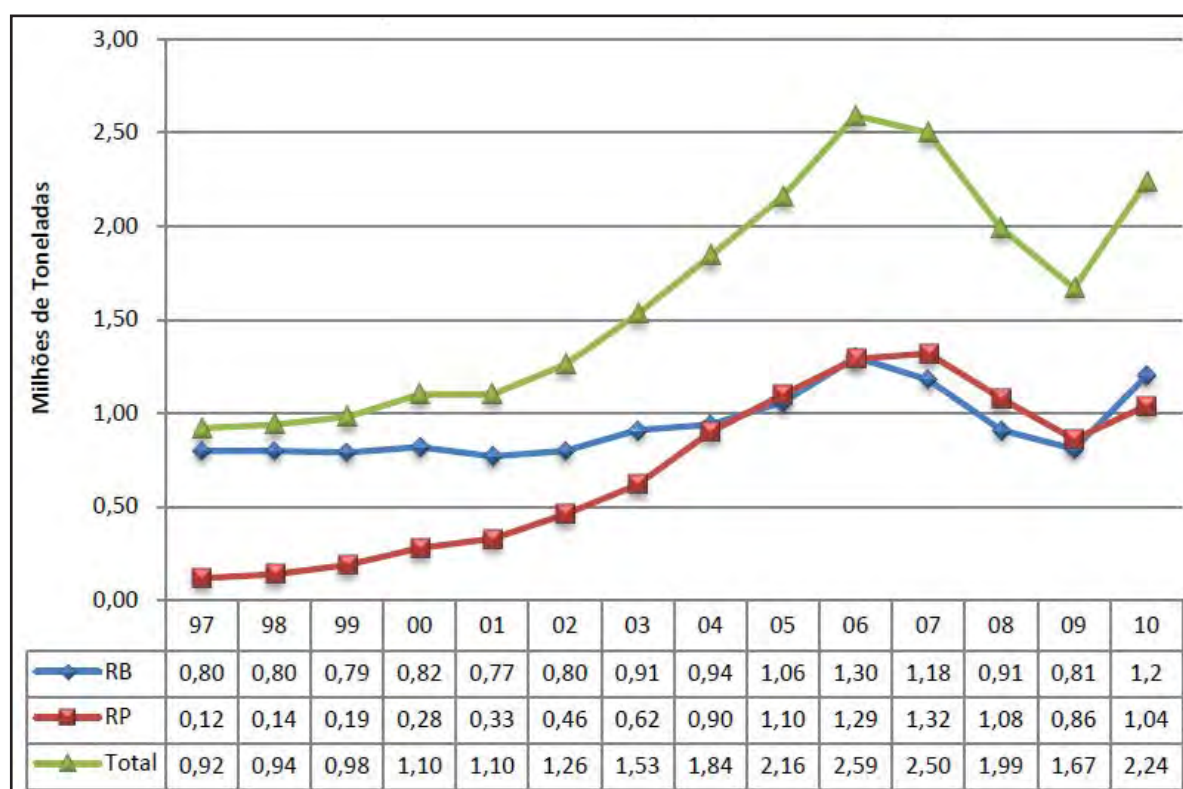
Segundo a ABIROCHAS o setor de rochas ornamentais, apesar de intensivo em mão de obra, segue a mesma tendência controlada pelos mercados dos EUA e da China em um cenário de valorização cambial e aumento das importações, em que foi cogitada pelo Ministro do Desenvolvimento a idéia de aplicar mecanismos de defesa comercial, visando apoiar vários segmentos e fazendo alusão a uma

perspectiva mais promissora de recuperação da economia dos EUA, particularmente de seu mercado imobiliário residencial. Resumidamente a idéia seria fornecer um incentivo aos exportadores, utilizando o protecionismo na tentativa de diminuir as importações e por consequência aumentar as exportações.

Dentro deste contexto, a ABIROCHAS (2010c) afirma objetivamente, que a economia dos EUA encerrou o ano de 2010 em ritmo encorajador, apontando um quadro mais positivo para 2011. A queda de preços dos imóveis residenciais e as execuções de dívidas hipotecárias, que são reflexos da crise financeira sofrida pelo setor em 2007, continuariam, no entanto, pressionando o crescimento do mercado imobiliário do país.

O quadro 01 deixa evidente a influência da crise no volume físico das exportações brasileiras de rochas ornamentais, primeiro nas processadas e, em seguida, nas brutas. Contudo, percebe-se que a partir de 2009 houve uma retomada de crescimento que se estendeu ao ano seguinte.

**Quadro 1.** Evolução do volume físico anual das exportações brasileiras de rochas ornamentais.



**Legenda:** RP) Rochas Processadas; RB) Rochas Brutas. **Fonte:** Modificado de ABIROCHAS (2011c).

Em relação à China, a ABIROCHAS (2010c) indica a projeção do crescimento de 8% em 2011. O mercado europeu poderá ser estimulado pela expansão da economia alemã, cujo PIB cresceu 3,6% em 2010, e pelos pacotes financeiros de ajuda a países debilitados da zona do Euro, como Portugal, Espanha e Grécia. O que indica que as exportações brasileiras de rochas ornamentais poderão crescer discretamente em 2011 e, novamente, ultrapassar o patamar de US\$ 1 bilhão. Para a indústria de beneficiamento, o mercado interno continuará sendo, em 2011, tão ou mais atraente que o mercado externo.

A ABIROCHAS (2011), afirma que as exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento totalizaram US\$ 281,5 milhões no 1º quadrimestre de 2011 e que esse faturamento foi gerado pela comercialização de 636.582,16 t de rochas brutas e processadas. As exportações mensais evoluíram de US\$ 48,8 milhões em janeiro, para US\$ 89,5 milhões em abril, avançando de 123 mil t para 194 mil t no mesmo período. Os números do mês de abril de 2011 são superiores aos do mês de abril de 2010 (Quadro 2).

**Quadro 2.** Exportações mensais do setor de rochas ornamentais 2010-2011.



**Fonte:** Modificado da ABIROCHAS (2011)

A exemplo da China, que cobra taxas de até 24% para a importação de rochas processadas, talvez fosse oportuno aventar tarifação semelhante para as importações brasileiras, tanto de produtos de materiais rochosos naturais quanto aglomerados. O outro caminho seria negociar, bilateralmente, a retirada da tarifação chinesa para as chapas brasileiras. De acordo com a ABIROCHAS (2010a) as projeções de consumo/produção e exportações mundiais indicam a manutenção da tendência de crescimento do mercado internacional com projeção, para 2025, de um

consumo mundial e transações internacionais de 2,1 bilhões de m<sup>2</sup> equivalentes/ano.

Em relação ao Estado de São Paulo, em 1990, constituiu o maior centro consumidor de rochas ornamentais do País. Na época respondeu por cerca de 70% do consumo nacional de mármore e granitos beneficiados, com a utilização, deste modo, de quase toda sua produção que correspondia a 20% da produção nacional, além de adquirir rochas provenientes de outros estados (IPT, 1990).

A indústria paulista, mostra-se bem aquém do mercado produtivo brasileiro com relação às rochas ornamentais e para revestimento. De acordo com Mello (2004) pelo menos desde o início dos anos 2000, a produção de blocos paulista equivale a menos de 1% do volume físico da produção nacional. Fato justificado em decorrência das dificuldades postas nos cenários da mineração estadual (tributação e custos de mão-de-obra, frete e insumos não pétreos maiores do que outros estados; a fiscalização mineral, ambiental e tributária mais rigorosa e a forte concorrência com os produtos da mineração no Espírito Santo).

A produção do Estado na década de 90 era, basicamente, de granitos ornamentais, considerando que era praticamente inexistente a exploração de mármore em blocos no Estado, sendo um exemplo da extração destes tipos de rochas em uma mina localizada em Campos do Jordão (IPT, 1990.).

Mello (2004) constatou que no ano de 2003 em São Paulo a produção de rochas ornamentais era definida em três atividades:

I – Atividade minerária de pequeno porte, envolvendo dez pedreiras, e geralmente realizada de modo descontínuo;

II – Atividade de serragem de blocos nacionais e importados, realizada por 23 empreendimentos, de pequeno, médio e alguns poucos de grande porte;

III – Atividade de acabamento, onde se estimou existirem cerca de 3.000 marmorarias, em sua maioria micro e pequenas empresas distribuídas em boa parte do estado, com uma concentração de 1.000 empresas na capital.

Segundo Mello (2004) a partir de dados adquiridos junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM mostra que, em 2003, existiam em São Paulo 615 solicitações de títulos minerários, em dezenas de municípios paulistas, cuja substância de interesse era o granito, sendo que dentre estas 115 especificamente para granitos ornamentais e para revestimento.



Contudo, ao contrário do crescimento do quadro nacional de processos que se efetivavam em minas produtivas, o Estado de São Paulo seguia em um declínio da extração de blocos ao longo de 15 anos.

Esta situação resulta da quantidade de minas ativas no estado que eram, em julho de 2003, no total de 10 e que se dividiam nas principais regiões produtoras de rochas ornamentais a Grande São Paulo, Capão Bonito, Itu, Bragança Paulista e Lavrinhas. Estas regiões produziram 8650 m<sup>3</sup> de rocha em 2003, com destaque para as regiões dos municípios de Itu e Capão Bonito, que produziram respectivamente 3250 e 2000 m<sup>3</sup>.

### I.3. OBJETIVOS

O presente trabalho direciona-se especificamente ao estudo das rochas do Maciço Granítico Capão Bonito, no sudoeste do Estado de São Paulo. Objetiva-se a partir do mapeamento geológico delimitar detalhadamente a sua extensão e definir novas áreas com potencialidade de extração.

Os estudos das caracterizações geológicas e tecnológicas de suas variedades graníticas sejam em minas já existentes (ativas ou inativas), seja em áreas sem atividades de exploração evidenciadas, fornecerão subsídios a otimização na exploração e a correta orientação de seu uso, frente às especificações das características tecnológicas, na utilização como rocha ornamental e para revestimento.

### I.4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área estudada insere-se no SW do estado de São Paulo e sua maior porção está contida no município de Capão Bonito (Figura 1), nas Folhas Topográficas em 1: 50.000 de Capão Bonito (IBGE, 2005a) e Guapiara (IBGE, 2005b).

**Figura 1.** Acesso ao município de Capão Bonito a partir de São Paulo–SP.



**Legenda:** A) Capão Bonito – SP; B) São Paulo – SP. **Fonte:** Mod. de *Google maps* (2011).

Em relação a grandes centros urbanos, Capão Bonito dista cerca de 240 km da capital paulista, e 128 km da cidade de Sorocaba, importante núcleo industrial e tecnológico do Estado.

## 1.5. ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

O Maciço Capão Bonito encontra-se inserido na zona fisiográfica denominada de Paranapiacaba, Mesorregião de Itapetininga, segundo a classificação do (IBGE, 2005c).

A área de estudo apresenta um relevo mais acidentado ao sul, composto por formas bem estruturadas, topos de morros angulosos e vertentes côncavo-retilíneas, marcadas pela presença de rochas mais resistentes ao intemperismo, como o quartzito; pela presença de zonas de cisalhamento e falhas de cavalgamento indicando um quadro estrutural diferente do que se apresenta ao norte.

O relevo no contato sul é mais dissecado e erodido evidenciando coberturas de solo menos espessas direciona as frentes de lavra para esta porção da área.

No norte o relevo é composto por morros de topos arredondados de “meia-laranja” dados pela ocorrência, em sua maioria, de rochas graníticas em contato com as rochas sedimentares da Bacia do Paraná.

A figura 2 traz a delimitação das zonas onde o granito Capão Bonito aflora, confirmando a maior ocorrência de jazidas na porção sudoeste do corpo magmático justificada pela maior incidência de afloramentos.

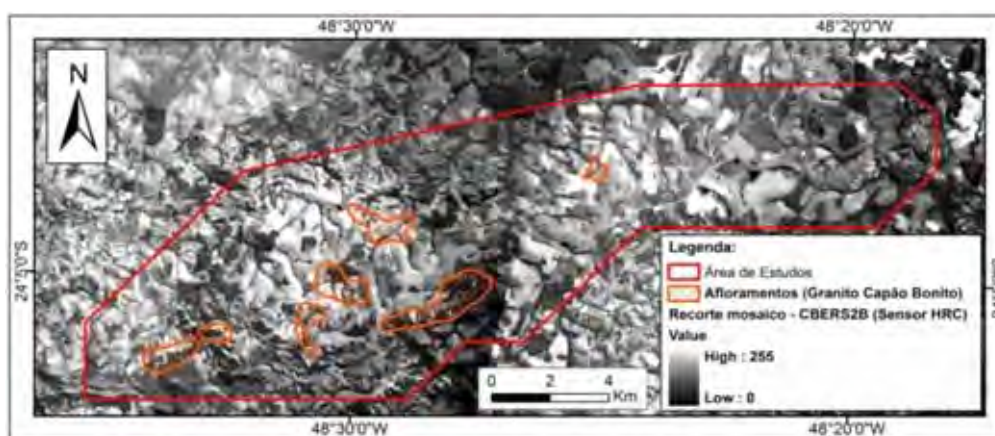
O clima enquadra-se como temperado marítimo. A altitude média da região é de 700m, possui temperatura mínima média de 16°C e temperatura máxima média de 28°C, sendo que a média durante o ano é de 22°C.

O regime pluviométrico é homogêneo, com chuvas bem distribuídas ao longo das estações, entre 1.000 e 2.000 mm anualmente.

A vegetação é representada por Mata Atlântica ainda em partes preservadas em parques estaduais, além de pequenos trechos de mata densa, principalmente nas margens dos rios e nas proximidades de uma das entradas do Parque Intervales.

Nos topos das colinas e vales, nota-se em toda região a intensa atuação antrópica, como grandes culturas de trigo, verduras e o reflorestamento de eucaliptos, além de pastagens para pecuária.

**Figura 2.** Recorte de mosaico CBERS2B – HRC, com demarcação dos afloramentos do Granito Capão Bonito



**Fonte:** Elaborada pelo autor

Quanto à hidrografia, a região coincide com o divisor de águas de duas grandes bacias hidrográficas – a bacia do rio Ribeira do Iguape e a Bacia do rio Paranapanema – sendo que a drenagem é quase toda em direção ao primeiro, coincidindo com a existência de várias cabeceiras de rios tributários do mesmo, restando pouca drenagem à segunda.

O rio Ribeira de Iguape é o único grande rio no Estado de São Paulo que corre diretamente para o oceano. A bacia do Ribeira insere-se num relevo bastante dissecado e movimentado, alcançando altitudes maiores que 1.000 metros e com áreas de alta declividade, pertencendo em termos geomorfológicos na sua maior parte à Província Costeira (ALMEIDA, 1964; PONÇANO, 1981), onde se limita com o Planalto Atlântico através dos divisores das serras do Mar e de Paranapiacaba.

O rio Paranapanema é um divisor natural dos territórios dos Estados de São Paulo e Paraná. A declividade média total do rio Paranapanema, desde suas nascentes até a desembocadura no rio Paraná é de 61 cm/km, não considerando os primeiros 100 km, onde o rio desce a serra de Paranapiacaba, a declividade média é de 43 cm/km, valor relativamente baixo para um percurso tão extenso de 820 km. O rio Paranapanema divide-se em três longos trechos:

Baixo Paranapanema, que vai da foz do rio Paraná, até Salto Grande, com 421 km de extensão. Apresenta uma declividade média de 29 cm/km, larguras superiores a 200m nos trechos mais profundos e nos trechos rasos, larguras que chegam a atingir 800m e seus raios de curvatura são da ordem de 1.000 m. Médio Paranapanema, que se estende de Salto Grande até a confluência do rio Apiaí-Guaçu (com 328 km) apresenta um desnível total de 210m e;

Alto Paranapanema (onde está inserido o corpo magmático Capão Bonito) que vai da confluência do rio Apiaí-Guaçu, até as nascentes, na serra de Agudos Grandes, com uma extensão total de 180 Km. Apresenta uma declividade média bastante elevada de 150 cm/km. Drenando uma série de ribeirões que descem da serra de Paranapiacaba, o Alto Paranapanema vai ganhando porte ao receber os principais rios o Itapetininga e o Apiaí-Guaçu.

O perímetro urbano do município de Capão Bonito é cortado por diversos rios, como Paranapanema, Paranapitanga e das Almas, além de diversos córregos (Córrego dos Gomes, Córrego dos Alves, Córregos Pinhalzinho e Pinhalzinho de Baixo e Córrego Pedroso).

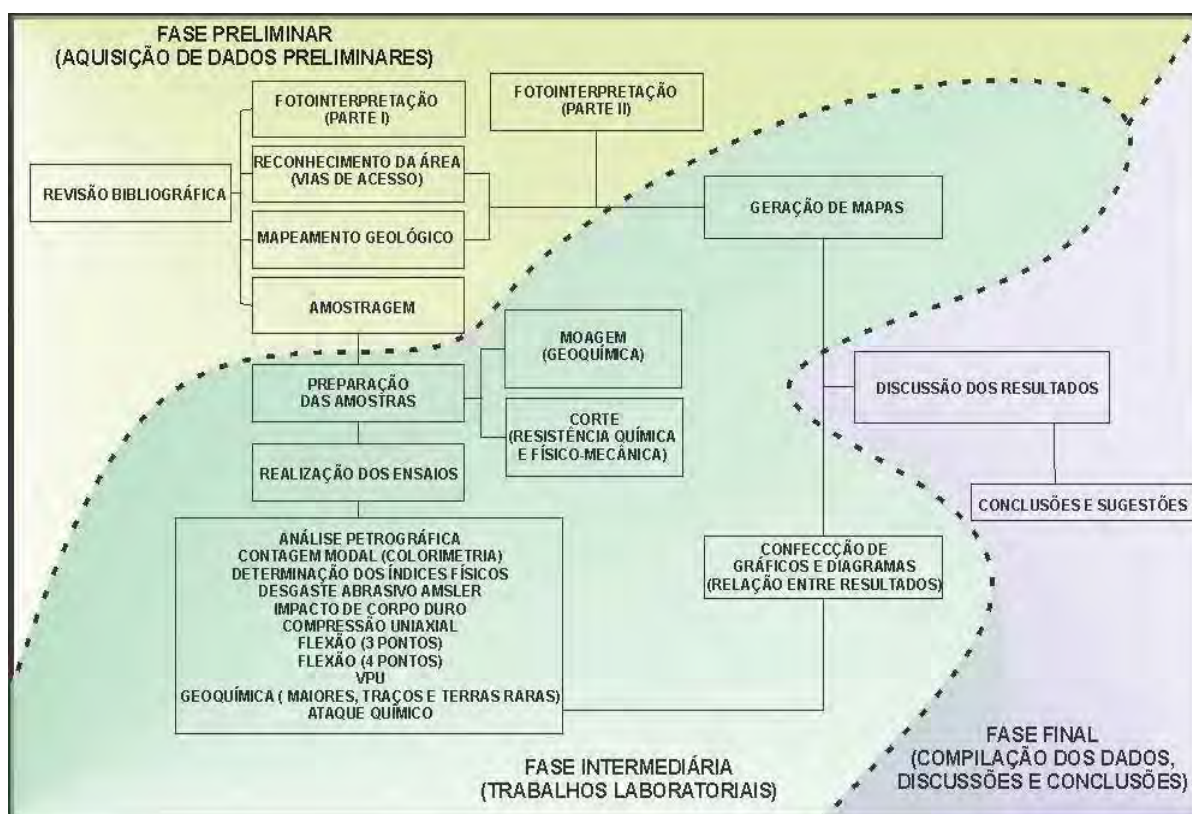
## CAPÍTULO II

### II.1. MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades de gabinete envolveram a revisão bibliográfica, a fotointerpretação e posterior tratamento de dados e de campo como o reconhecimento da área e o mapeamento geológico seguido da amostragem das rochas encontradas. Os estudos foram realizados, seguindo a ordem estabelecida no organograma da figura 3, em basicamente três fases:

- **Fase preliminar:** nesta fase foram adquiridos dados preliminares com atividades de gabinete e coleta de dados e amostras em campo;
- **Fase intermediária:** nesta fase foi realizada a preparação das amostras para os ensaios e análises, com posterior realização dos mesmos além da geração de mapas, gráficos, diagramas e tabelas utilizados para interpretação base para a fase seguinte e;
- **Fase final:** aqui foram feitas as discussões, tomadas as conclusões e dadas às sugestões cabíveis ao tema estudado.

**Figura 3.** Organograma das etapas de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

### II.1.1. MATERIAIS UTILIZADOS

Na área de exposição do Maciço Granítico Capão Bonito foram selecionados 7 pontos de amostragem (2 em minas ativas, 2 em minas inativas e outros 3 em áreas sem atividades de extração identificadas).

As áreas sem atividades de exploração foram definidas como potenciais por constituírem áreas onde a exposição do Granito Capão Bonito é suficiente para o início das atividades de pesquisa em campo com volume significativo de rocha aflorante (diminuindo custos com remoção de solo e/ou decapeamento numa possível exploração) representada pela presença de matacões com medidas acima da normalmente utilizada para confecções de blocos.

As amostras foram demarcadas com a sigla CBT que indica o local de ocorrência (CB) que é o Município de Capão Bonito – SP, inicial do nome do coletor

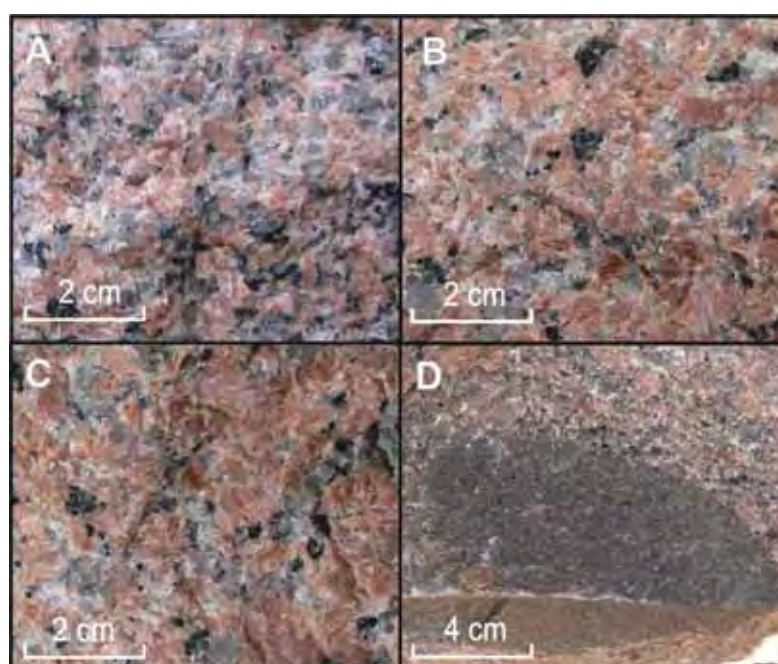
(T) e autor desta dissertação, em seguida o número de identificação, sendo então enumeradas e localizadas como disposto na tabela 1. Para CBT4 acrescenta-se um “x” por se tratar de um xenólito com importância na caracterização tecnológica por serem encontrados dispersos nas rochas do maciço em estudo.

**Tabela 1.** Nome e localização das amostras utilizadas para o estudo

Nome	Coordenada	
	Latitude – W	Longitude - S
<b>CBT1</b>	48° 28' 57,596”	24° 5' 31,634”
<b>CBT2</b>	48° 30' 3,041”	24° 5' 21,377”
<b>CBT3</b>	48° 27' 38,857”	24° 5' 5,122”
<b>CBT4x</b>	48° 27' 29,806”	24° 4' 54,26”
<b>CBT5</b>	48° 27' 36,429”	24° 4' 49,014”
<b>CBT6</b>	48° 27' 42,391”	24° 4' 42,497”
<b>CBT7</b>	48° 25' 0,828”	24° 2' 57,09”

Macroscopicamente a única amostra que apresenta grandes diferenças em termos petrográficos, texturais e estruturais é a CBT4x (Xenólito). As rochas amostradas, exceto CBT4x (equigranular fina), são basicamente rochas faneríticas inequigranulares, leucocráticas de coloração avermelhada apresentando características padronizadas ao Vermelho Capão Bonito (Figura 4).

**Figura 4.** Aspectos das rochas do maciço Granítico Capão Bonito.



**Legenda:** A) CBT1; B) CBT2; C) CBT3; D) CBT4x. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

## II.1.2. MÉTODOS UTILIZADOS

### II.1.2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os trabalhos tiveram início com a pesquisa bibliográfica onde foram adquiridas informações acerca do contexto geológico, histórico de produção (extração e comercialização), caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento, localização, acesso, clima, vegetação e hidrografia, que envolvem a área de estudo especificamente no que diz respeito à rocha denominada comercialmente como “Vermelho Capão Bonito”. Esses instrumentos de informação deram condições para que fossem realizadas as primeiras avaliações quanto à execução do trabalho.

#### II.1.2.1.1. Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais

##### A) ANÁLISE PETROGRÁFICA

O estudo petrográfico de uma rocha implica em uma série de observações rigorosas que pretendem, em geral, descrever a composição mineralógica, a forma, dimensões e relações mútuas dos minerais constituintes (textura), a alteração e deformações sofridas, etc.

Os estudos petrográficos são importantes, pois, com base neles, pode-se compreender melhor o comportamento das rochas em relação a algumas propriedades físico-mecânicas (QUEIROZ et al., 2007).

##### B) ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS

**Índices Físicos** – Engloba índices de massa específica porosidade e absorção d'água aparente. O índice de absorção d'água, por exemplo, indica a capacidade de a rocha ser encharcada por líquidos. O índice de absorção d'água nunca é, portanto, superior ao índice de porosidade aparente, destacando-se que



uma rocha com alta porosidade não tem, necessariamente, alta absorção d'água, pois seus poros e cavidades podem não ser comunicantes (BAËTA, 2004).

**Desgaste abrasivo AMSLER** - Os resultados deste ensaio permitem comparar os valores de desgaste de diversos materiais e contribui significativamente para a especificação de rochas que serão utilizadas para revestimento de áreas de tráfego intenso de pedestres como saguões de rodoviárias, de metrô, aeroportos e *shoppings*, que necessitam de materiais que apresentem baixos valores de desgaste (NAVARRO, 2002).

**Resistência à compressão uniaxial** - Os resultados referentes a este parâmetro são valiosos para a realização de cálculos geotécnicos e de dimensionamento. De acordo com Vidal et al. (1999) as placas de rocha para revestimento, raramente sofrem solicitações de compressão e, apesar do ensaio ser solicitado mais frequentemente para avaliação da resistência dos materiais sobre os quais vão atuar forças verticais, este constitui um índice valioso da qualidade das placas de revestimento. Sabe-se que elevados valores de resistência à compressão implicam, geralmente, em materiais de alta resistência mecânica.

**Resistência à flexão por três pontos** - Este ensaio visa, de acordo com Mattos (2005), determinar a tensão que provoca a ruptura da rocha, quando submetida a esforços fletores (flexão e tração simultaneamente), obtendo-se parâmetros indicativos de integridade física dos materiais pétreos, visto que quanto mais alterada e microfraturada for a rocha analisada, menor será o valor correspondente a resistência à flexão.

**Determinação da resistência a flexão por quatro pontos** - Segundo Mattos (*op. cit.*), os resultados obtidos a partir deste ensaio permitem determinar a área e a espessura mínima segura para o suporte de esforços fletores das placas de rochas, quando aplicadas em fachadas. Segundo Frascá (2002), neste, simulam-se os esforços de flexão (MPa) em placas de rocha, com espessura usual (predeterminada), apoiadas em dois cutelos de suporte e com dois cutelos de carregamento (quatro pontos). Tem grande importância para o dimensionamento de placas a serem utilizadas no revestimento de fachadas com o uso de sistemas de ancoragem metálica para a sua fixação (*inserts* metálicos).

**Determinação da resistência ao impacto de corpo duro** - De acordo com Mattos (*op. cit.*) trata-se de um ensaio importante para a avaliação da resistência de

rochas destinadas ao revestimento de interiores e exteriores, bem como para soleiras, degraus, mesas, balcões e pias. Quanto menores os valores (altura de queda) encontrados, menos resistente ao choque é a rocha, tornando imprescindíveis cuidados extras no transporte e em relação aos ambientes de aplicação.

**Determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas** - O objetivo deste ensaio é avaliar, indiretamente, o grau de alteração e de coesão das rochas (SANTOS, 2007). O mesmo está baseado na propagação de ondas sonoras de alta frequência pelo material analisado. Estas ondas variam de velocidade em função da quantidade de poros e vazios, o que possibilita a detecção de descontinuidades.

De acordo com Navarro (2002), o procedimento permite uma avaliação quantitativa da orientação mineral, dado esse que pode ser correlacionado com parâmetros tecnológicos.

Sabendo a distância entre os pontos, é possível então determinar a velocidade média no trecho de propagação, que irá depender de diversos fatores como a natureza do material, a porosidade do mesmo, a presença ou não de água nos poros, entre outros. Em função da sua sensibilidade a estes fatores, os ensaios ultrassônicos servem para caracterizar um determinado material, sua integridade e outras propriedades físicas (LORENZI et al., 2003).

#### C) ENSAIO DE ALTERABILIDADE QUÍMICA

**Ataque químico** - Torquato (2004) define que este ensaio simula, em laboratório, os efeitos isolados de alguns agentes naturais e antropogênicos degradantes que podem vir a entrar em contato com o revestimento. Em especial, os resultantes da ação das águas meteóricas (chuvas ácidas) e dos materiais utilizados na limpeza das mesmas (produtos de limpeza doméstica, tratamento de águas de piscina, produtos antimofa, manuseio de frutas cítricas, vinagres, refrigerantes gasosos isotônicos, ácido muriático, sabão mole etc.).

Silva (2009) afirma que a redução de brilho provocada pelo ataque de substâncias químicas varia em função de parâmetros 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.

Silva (2009) define que o brilho ou lustro é uma das características que imprimem qualidade à rocha ornamental e sua diminuição ou ausência total em função do uso do material constitui uma patologia secundária podendo ser provocada por desgastes de ordem física (tráfego de pessoas, máquinas, etc.) ou química (clima e/ou uso de produtos de limpeza que contém substâncias químicas agressivas).

A redução de brilho provocada pelo ataque de substâncias químicas varia em função de parâmetros 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.

#### II.1.2.2. TRABALHOS DE CAMPO

##### A) FOTOINTERPRETAÇÃO

Esta foi realizada em duas fases:

- **Fase I** (que antecedeu as atividades de campo) - foram demarcadas, analisadas e interpretadas as feições litológicas que auxiliaram na delimitação ou definição dos contatos litológicos e a presença de estruturas, segundo orientações publicadas e empregadas na definição de zonas homólogas, com a definição das formas de vertentes, formas de topo de morro, classificação de drenagens e a delimitação da presença de lineamentos que indicassem algum tipo de estruturação.

Para esta fase foram utilizadas as cartas topográficas em escala 1: 50.000 de Capão Bonito – SP, SG-22-X-B-III-1 (IBGE, 2011a) e Guapiara – SP, SG-22-X-B-II-2 (IBGE, 2011b), a: imagem LANDSAT 7 ETM+, 220/77 (INPE, 2011), composta pelas bandas 5, 4 e 3 para os canais RGB. Além de fotografias aéreas em escala 1: 25.000, fornecidas pela USP; a imagem de radar STRM (*Shuttle Radar Topography Mission*) SG-22-X-B (MIRANDA, 2005) e; quatro cenas do satélite CBERS 2B, sensor HRC (monocromático) com resolução espacial de 2,5m (INPE, 2011) nas órbitas e pontos que se encontram listados na tabela 2.

**Tabela 2.** Imagens CBERS2B que compõem o mosaico utilizado para o estudo.

SATÉLITE/SENSOR-ÓRBITA/PONTO-DATA	
CBERS2B/HRC-156_C/127_2 - 30-07-2008	CBERS2B/HRC-156_E/127_2 - 29-06-2009
CBERS2B/HRC-156_C/127_3 - 25-08-2008	CBERS2B/HRC-156_E/127_3 - 29-06-2009

**Legenda:** CBERS (Satélite)/HRC-156\_C (Sensor-Órbita)/127\_2-30-07-2008 (Ponto-Data).

A composição da imagem Landsat7 e o mosaico composto a partir das quatro imagens CBERS2B (tabela 2) foram confeccionados através do software ENVI 4.6.1.

Tanto a imagem Landsat7 ETM+ quanto o mosaico CBERS2B foram projetados com o Datum *World Geodetic System* de 1984, que é compatível ao utilizado nos demais arquivos (Imagem SRTM, arquivos em vetores de hidrografia e divisão política municipal, por exemplo), em ambiente Arcgis 9.3.1, onde foram georreferenciados.

- **Fase II** - Nesta a primeira interpretação foi confrontada com os dados obtidos em campo pelo mapeamento geológico e foram feitos os ajustes necessários a confecção do mapa geológico.

## B) ATIVIDADES DE CAMPO

Foi de fundamental importância o reconhecimento das vias de acesso aos diversos pontos a serem estudados, que foram marcados nas fotografias aéreas (minas ativas, inativas, afloramentos, famílias de juntas, etc.), para que pudesse ser feito o planejamento das atividades de campo.

No mapeamento geológico buscou-se, em um primeiro instante, localizar os contatos e feições demarcadas nas aerofotos e imagens de satélite e radar como meio de localização das variedades litológicas e estruturas geológicas dentro da área de estudo.

Matta (2003) afirma que esta etapa verifica e corrige "*in loco*" as condições observadas na etapa anterior (fotointerpretação). As prováveis rochas existentes na área, definidas após as pesquisas bibliográficas realizadas, com o subsídio de mapas, fotografias aéreas, etc., neste momento, devem ser confirmadas em campo e em escalas mais detalhadas. Ao mesmo tempo foram feitas, onde possíveis, considerações a respeito da petrografia, com a classificação das rochas em escala

macroscópica, e do quadro estrutural com a medição de juntas, falhas, zonas de cisalhamento, lineações, etc.

Foram também feitas considerações a respeito da explorabilidade dos afloramentos tendo em vista suas características topo-geológicas e a existência de pedreiras já iniciadas.

O quadro estrutural foi mais detalhadamente estudado em apenas uma mina, que se encontra ativa, na busca por sugerir melhorias ao método de desmonte utilizado. Concomitante ao mapeamento foi feita a amostragem das rochas que foram analisadas e caracterizadas por este estudo.

O mapeamento geológico do Maciço Granítico Capão Bonito foi realizado a partir dos trabalhos de campo previstos no projeto, além da integração de dados da literatura. Para a confecção do extremo leste do mapa geológico, foram utilizados e checados em campo os dados de compilação do Trabalho de Campo II do curso de Geologia - Projeto Capão Bonito I - UNESP (2009).

A porção restante do mapa foi confeccionada a partir de dados do autor desta dissertação adquiridos em campo, enquanto monitor da disciplina denominada Trabalho de Campo II do curso de Geologia - Projeto Capão Bonito II- UNESP (2010). – Campus de Rio Claro – SP.

### II.1.2.3. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISES E ENSAIOS

Nesta fase foi realizada a atividade de preparação das amostras destinadas aos ensaios e análises laboratoriais com a moagem (análise geoquímica), o corte das mesmas (caracterização físico-mecânica) e a posterior execução dos ensaios e análises em laboratório.

Para os ensaios de caracterização físico-mecânica os corpos-de-prova foram cortados com o uso de uma serra diamantada de propriedade do laboratório de rochas ornamentais da Unesp – Campus de Rio Claro – SP em acordo com o exigido pelas normas específicas de cada ensaio.

A caracterização tecnológica engloba ensaios que determinam os índices físicos (massa específica seca e saturada, porosidade e absorção d'água aparentes), as resistências: ao desgaste abrasivo AMSLER; à compressão uniaxial;

à flexão sob 3 e 4 pontos e; ao impacto de corpo duro, além da determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.

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

Para o melhor entendimento do comportamento das amostras aos esforços a que são submetidas nos ensaios foram feitas análises petrográficas. Para tanto, as lâminas utilizadas tiveram sua confecção realizada no laboratório de laminação da Unesp – Campus de Rio Claro – SP, em um total de dez lâminas sendo que CBT1, CBT2, e CBT3 confeccionadas em duas direções.

O modelo esquemático (Figura 5) apresenta as denominações utilizadas na exploração de rochas ornamentais para as direções de cortes que se associam às microfissuras, lineações e foliações segundo modelo proposto por Godoy et al., (2002).

A existência de uma família de microfissuras sub-horizontais provocadas provavelmente por alívio de tensão permite a denominação do corte como “trincante”.

**Figura 5.** Sentido das lineações em relação às microfissuras de alívio



**Legenda:** (----) Lineação mineral – “Corrida”; (---) Microfissuras de alívio “Trincante”; (- - -) Lineação menos penetrativa - “Segundo”. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

A existência de uma lineação mineral mais penetrativa sub-vertical paralela a um dos cortes realizados para isolamento de blocos, que se encontra associado, na área, a deformação milonítica de direção NE-SW permite explicar a denominação do corte como “corrida”.

A existência de uma lineação mineral menos penetrativa paralela outro dos cortes realizados para isolamento de blocos, que se encontra associada a uma deformação de direção geral NW-SE permite explicar a denominação do corte como “segundo”.

Para as demais amostras (CBT4x, CBT5, CBT6 e CBT7) apenas uma lâmina foi analisada para efeito apenas de comparação da variação composicional/mineralógica ao longo da ocorrência do corpo magmático estudado e denominado Maciço Granítico Capão Bonito.

De forma resumida as lâminas CBT1, CBT2 e CBT3 foram confeccionadas em sentido normal e paralelo ao plano de microfissuras, sendo denominadas em função deste plano de microdescontinuidades como: CBT1.1 (paralelo), CBT1.2 (normal); CBT2.1 (paralelo), CBT2.2 (normal); CBT3.1 (paralelo), CBT3.2 (normal).

Os corpos de prova utilizados para a caracterização tecnológica quanto aos parâmetros de resistência essencialmente físico-mecânicos, também seguiram a orientação relativa ao plano de microfissuras para sua preparação e para exposição aos esforços fletores, compressivos, abrasivos, entre outros, impostos a eles durante a realização dos ensaios laboratoriais.

A caracterização tecnológica (físico-mecânica e química) tem como função principal a tomada de medidas preventivas diante de problemas passíveis de ocorrência em rochas ornamentais frente às solicitações relacionadas ao seu uso. São testadas em laboratório as reações que as rochas podem ter frente aos esforços impostos às rochas no cotidiano.

Os ensaios foram realizados em acordo com as normas específicas para cada um deles, visando fornecer uma informação preliminar ao estudo do potencial para exploração das variedades graníticas a partir do estudo de rochas já exploradas e de amostras coletadas em locais sem atividades de exploração detectadas.

No quadro 3 pode-se visualizar o número de amostras e corpos-de-prova que foram direcionados a cada tipo de ensaio específico.

**Quadro 3.** Relação de amostras e corpos-de-prova em função dos ensaios aos quais foram direcionados e suas respectivas normas.

Amostra	Análises e ensaios realizados									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
	n° Lam.	n° Cdp	n° Cdp	n° Cdp	n° Cdp	n° Cdp	n° Cdp	n° Cdp	n° Cdp	n° Pp
CBT1	2	10	2	6	6	n. r.	n. r.	12	n. r.	1
CBT2	2	10	2	6	6	10	5	12	12	1
CBT3	2	10	2	6	6	n. r.	n. r.	12	n. r.	1
CBT4	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	1
CBT4x	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	1
CBT5	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	1
CBT6	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	1
CBT7	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	1
<b>LEGENDA:</b>										
N° Pp	Número de porções pulverizadas de rocha para geoquímica									
N° Cdp	Número de corpos-de-prova ensaiados									
N° Lâm.	Número de lâminas analisadas									
I	Análise petrográfica - NBR 15845, ANEXO A (ABNT, 2010b)									
II	Determinação dos índices físicos - NBR 12766 (ABNT, 1992c)									
III	Determinação do desgaste abrasivo AMSLER - NBR 12042 (ABNT, 1992a)									
IV	Determinação da resistência à compressão uniaxial - NBR 12767 (ABNT, 1992d)									
V	Resistência à flexão por 3 pontos - NBR 12763 (ABNT, 1992b)									
VI	Resistência à flexão por 4 pontos - ASTM C 880 (ASTM, 1998)									
VII	Resistência ao Impacto de corpo duro (ABNT - NBR 15845, ANEXO H, 2010)									
VIII	Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas - D2845 (ASTM, 1990)									
IX	Resistência ao ataque químico - NBR 13818, anexo H (ABNT, 1997)									
X	Geoquímica (LABOGEO, UNESP - CAMPUS DE RIO CLARO - SP)									
n. r.	Não realizado (a)									

#### II.1.2.4. ANÁLISE PETROGRÁFICA

Esta análise é fundamentada na observação de lâminas petrográficas (seções delgadas), estudadas ao microscópio óptico de luz transmitida e permite observar as características composicionais, texturais, estruturais e de alteração mineral segundo a norma NBR15845, anexo A (ABNT, 2010a).

A quantificação mineralógica (composição modal) é a análise pontual dos minerais localizados no centro exato da imagem do microscópio, que se situa no cruzamento dos retículos (Figura 6A). Foi realizada com uma média de 600 pontos por lâmina, utilizando um microscópio binocular Olympus BX40 e um *charriot*.

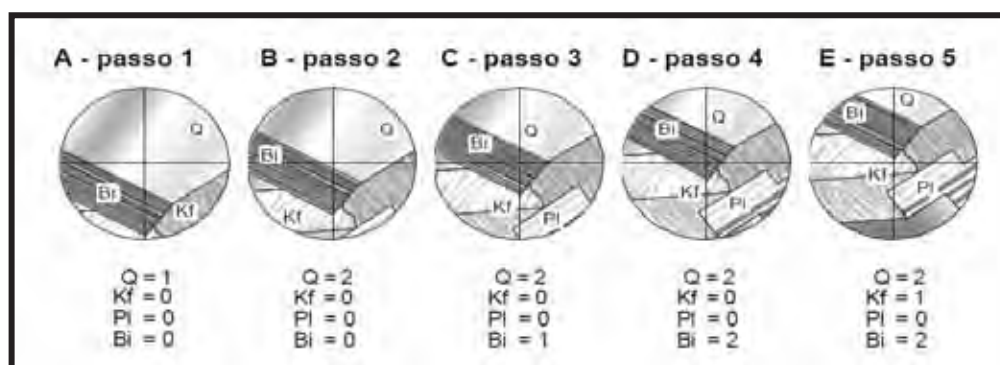
No método disponibilizado digitalmente por Motoki (2004), após o registro do mineral contemplado pelo cruzamento dos retículos, desloca-se a platina em uma determinada distância com o *charriot* de passo acoplado à platina do microscópio. Na nova posição, o mineral situado no cruzamento dos retículos é analisado (Figura



6B). Quando tal cruzamento indica o mesmo mineral, ele é computado novamente. Desta forma, as análises continuam até o final da coluna ou linha (Figuras 6C, D, E). Ao final da coluna (ou linha), efetua-se o deslocamento horizontal. Assim, a lâmina delgada é analisada na forma de varredura e a soma dos pontos computados para cada mineral representa abundância relativa do mineral em volume, e a porcentagem corresponde à moda.

A partir deste estágio são utilizadas as designações petrográficas e composicionais para classificação de rochas magmáticas da *International Union of Geological Sciences* (IUGS) publicadas por Streckeisen (1976).

**Figura 6.** 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. **Fonte:** Mod. de Motoki (2004).

A granulação foi analisada com base nas dimensões limítrofes determinadas no quadro 4. Para auxiliar na descrição do tamanho relativo dos cristais, se fez necessária a utilização das seguintes denominações de tamanhos médios utilizados segundo o quadro 5.

#### Quadro 4. Limites para classificação de granulação

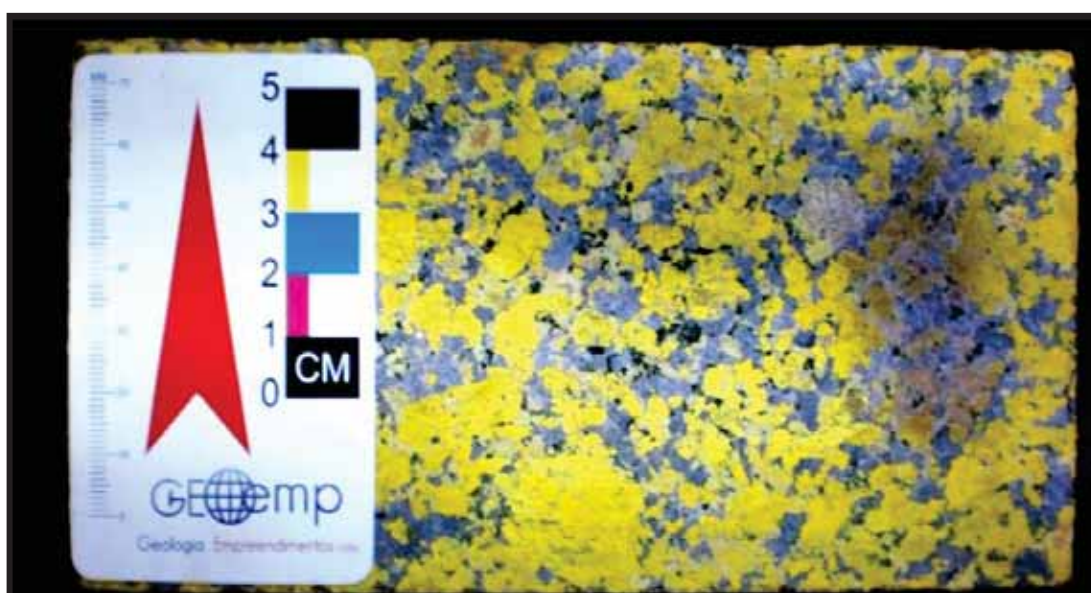
<b>FINA</b>	Para diâmetros médios predominantes de cristais inferiores a 1 mm
<b>MÉDIA-FINA</b>	Para diâmetros médios predominantes de cristais entre 1 mm e 2,9 mm
<b>MÉDIA</b>	Para diâmetros médios predominantes de cristais entre 3 mm e 6,9 mm
<b>MÉDIA-GROSSA</b>	Para diâmetros médios predominantes de cristais entre 7 mm e 10 mm
<b>GROSSA</b>	Para diâmetros médios predominantes de cristais maiores que 10 mm

**Quadro 5.** Tamanho relativo de grãos minerais

<b>EQUIGRANULAR</b>	Para rochas com grãos minerais de tamanho semelhante ou com variação mínima
<b>INEQUIGRANULAR</b>	Para rochas com grãos minerais que apresentam diferenças de tamanho de até 1:2, sem que sobressaíam em relação aos menores
<b>PORFÍRITICA</b>	Para rochas com mega-cristais de dimensões pelo menos cinco vezes superiores à média dos grãos da matriz, sobressaindo-se nitidamente em relação às dimensões destes
<b>PORFÍRÓIDE</b>	Para rochas com mega-cristais de dimensões pelo menos cinco vezes superior à média dos grãos da matriz de granulação média e grossa

Pelo fato das rochas estudadas apresentarem granulação de média-grossa a grossa, a determinação da composição modal foi realizada através da contagem microscópica conjugada à contagem macroscópica efetuada em placas atacadas com ácido fluorídrico e depois tratadas com cobalto-nitrito de sódio.

O método utilizado e recomendado por Moraes & Rodrigues (1978) permitiu a distinção entre feldspatos potássicos (que ganharam a cor amarela), cálcio-sódico (que apresentaram baixa alteração do padrão cromático) e o quartzo (que não apresenta nenhuma mudança cromática) como se pode visualizar na figura 7.

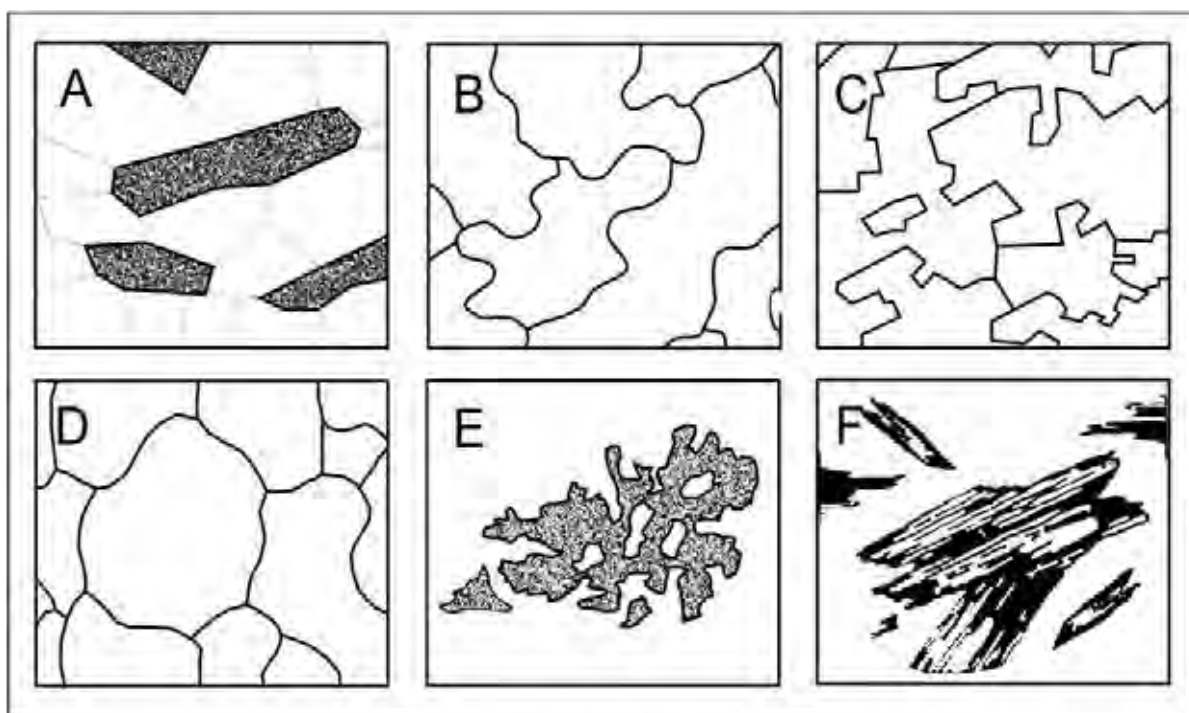
**Figura 7.** Ilustração do método de coloração seletiva ou colorimetria

**Fonte:** Elaborada pelo autor

A análise textural foi realizada para que se definisse a forma que apresentam as bordas dos minerais, fator determinante para a descrição dos tipos de contatos

existentes entre eles. Como bases para esta análise foram adotadas as classificações dos tipos de contato tidos como principais e utilizadas por Wernick (2003), cuja visualização pode ser feita na figura 8.

**Figura 8.** Tipos de contatos entre grãos minerais



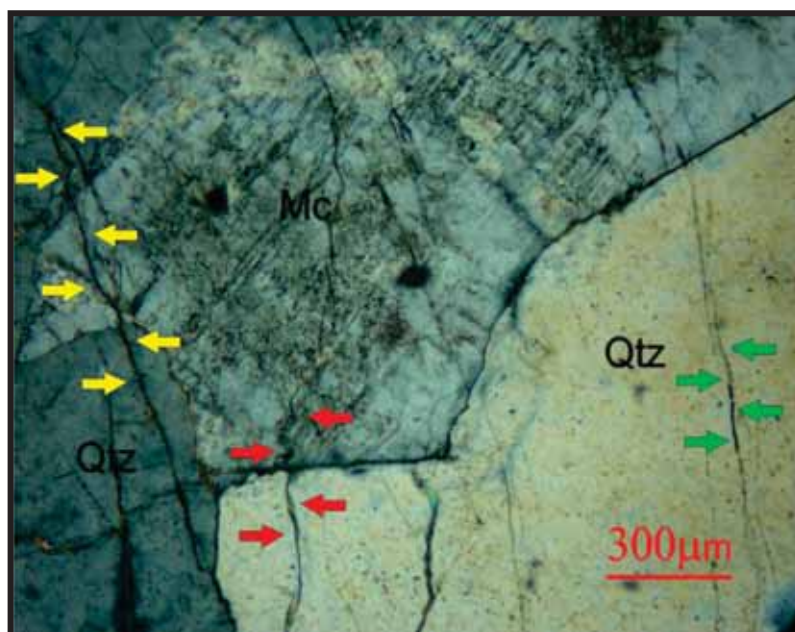
**Legenda:** A) Retilíneos; B) lobulados; C) Engrenados; D) Sinuosos; E) Serrilhados e F) Esgarçados. **Fonte:** Modificado de Wernick (2003)

É importante dizer que é comum a coexistência de dois ou mais destes tipos de contato. Em virtude disso, Mesquita (2002) e Silva (2009) acrescentaram em seus estudos os contatos arredondados, côncavo-convexos, serrilhados, plano-lobulares, plano-serrilhados e côncavo-serrilhados.

A análise estrutural foi realizada na busca por feições como foliações, bandamentos, xistosidades, lineações, que pudessem, de forma hipotética, contribuir para o aumento das possibilidades de desenvolvimento de superfícies fraturadas e de aceleração dos processos de alteração.

As microdescontinuidades foram analisadas de modo a caracterizar seu preenchimento (quando este se fez presente) e sua localização em relação aos grãos minerais separada em três tipos: intergranulares, intragranulares ou transgranulares (Figura 9).

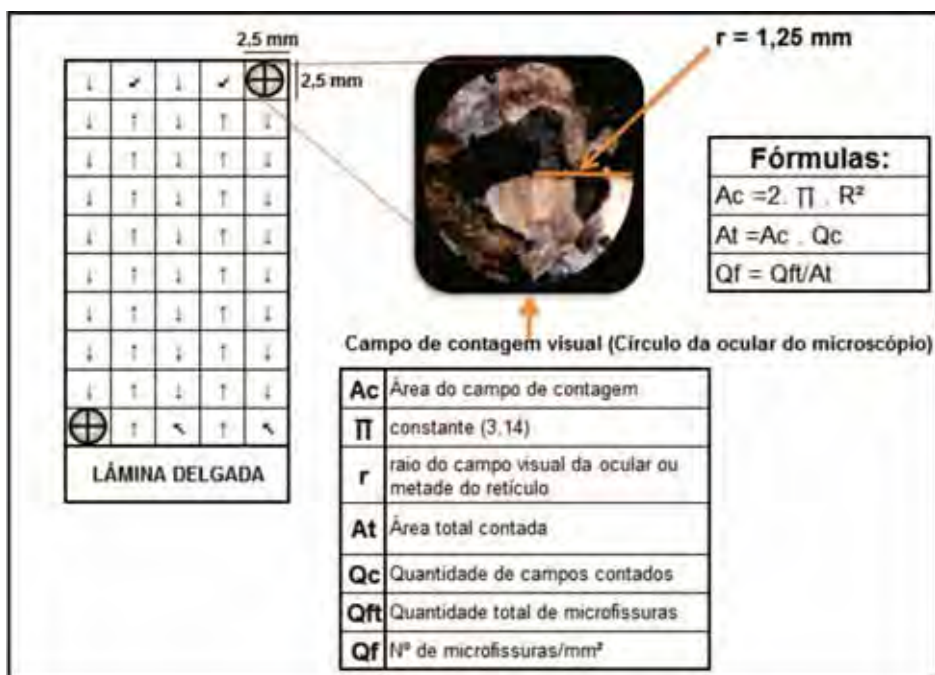
**Figura 9.** Fotomicrografia apresentando exemplos de microfissuras.



**Legenda:** Intergranulares-setas vermelhas, Intragranulares- setas verdes; Transgranulares-setas amarelas. Mc = Microclínio e Qtz = Quartzo. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

O índice de microfissuramento mineral é expresso em número de microfissuras por  $\text{mm}^2$  ou  $\text{mf}/\text{mm}^2$  (Figura 10) e equivale à média total das microfissuras existentes nas lâminas dividida pela área de observação e contagem.

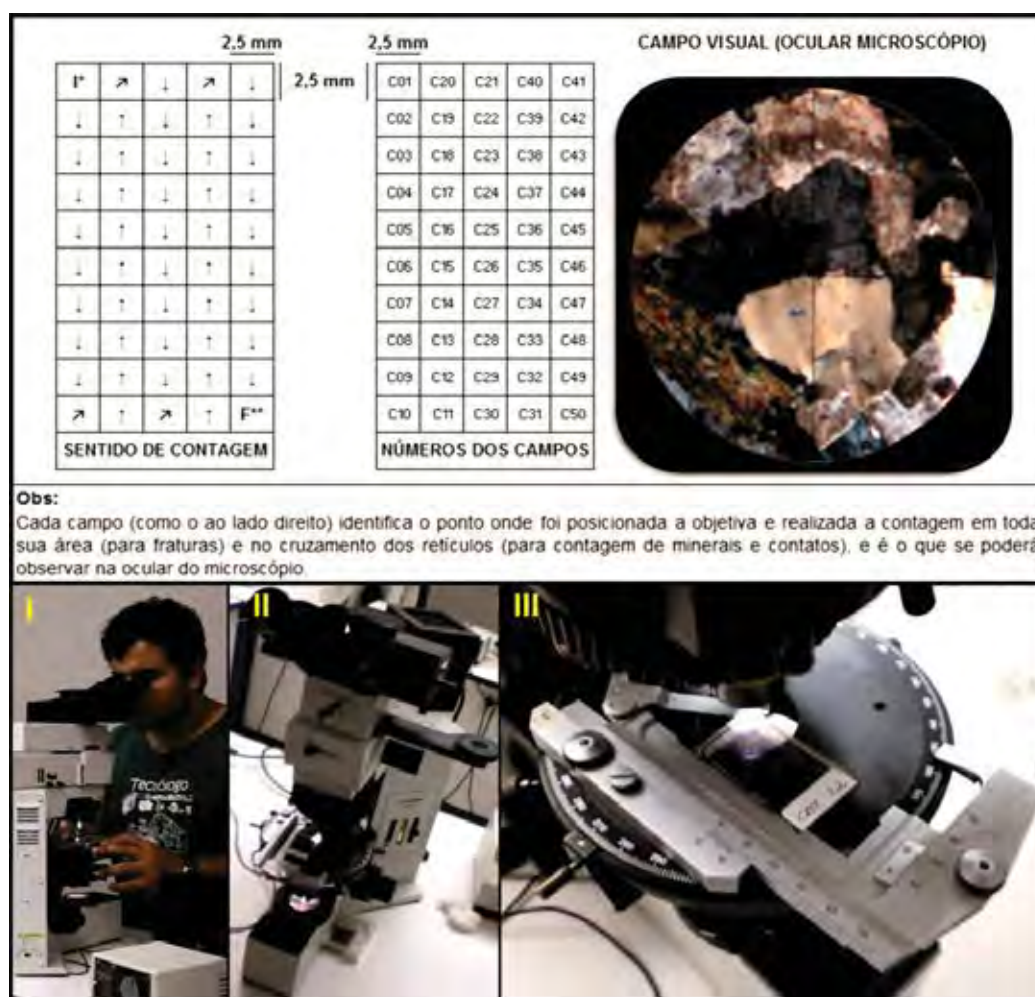
**Figura 10.** Ilustração do cálculo do índice de microfissuramento ( $\text{mf}/\text{mm}^2$ ).



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

A contagem foi realizada (por lâmina) em uma média de 50 campos, definidos pela área de visualização da ocular do microscópio de acordo com o aumento proporcionado pela objetiva (Figura 11).

**Figura 11.** Mapa de campos contados por lâmina



**Legenda:** I\*) Início da contagem; F\*\*) Fim da contagem; I) Mestrando ao microscópio; II) Detalhe do microscópio binocular e; (III) *Chariot* de passo, instalado para contagem. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Para avaliar o estado microfissural da rocha estudada foram utilizados os limites utilizados por Meyer (2003): Alto, índice > que 0,25 mf/mm<sup>2</sup>; Moderado, com índice entre 0,1 e 0,25 mf/mm<sup>2</sup> e; Baixo, com índice < que 0,1 mf/mm<sup>2</sup>.

Cabe ressaltar que foram feitas observações acerca dos graus de influência que cada tipo de microfissura exerceu sobre os resultados de relacionados à resistência das rochas em estudo frente aos esforços e ataques a que foram submetidas, a fim de discutir qual dos tipos exerce maior ou menor influência.

O grau de alteração mineral influencia diretamente na qualidade tecnológica das rochas ornamentais e de revestimento, pois a formação de sais, por exemplo, que são mais facilmente removíveis, pode aumentar seu grau de porosidade, diminuindo sua resistência físico-mecânica e potencializando os processos de alteração.

Os graus e tipos de alteração foram analisados em microscópio, conforme o utilizado por Meyer (2003), em cada mineral passível de alteração, tais como plagioclásios (saussuritização, sericitização, epidotização e transformação para carbonatos), feldspatos potássicos (sericitização, argilo-minerais) e minerais máficos (cloritização, epidotização e transformações para óxidos e hidróxidos), adotando a classificação: Intenso (>60%); Moderado (>30 a 60%); Incipiente (>10 a 30%); Muito incipiente (>5 a 10%); Ausente (até 5%).

#### II.1.2.5. GEOQUÍMICA

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  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  (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/cm<sup>2</sup>).

#### II.1.2.6. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA

##### A) DETERMINAÇÃO DE ÍNDICES FÍSICOS

Este ensaio é executado conforme a norma NBR 12766 (ABNT, 1992c) em dez corpos-de-prova pesando entre 250g a 350g secos em estufa (110° C por 24h) e saturados em água com o uso de bomba de vácuo (100 kPa). Engloba parâmetros de massa específica, seca e saturada, absorção de água e porosidade aparentes.

A massa específica aparente é expressa em  $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{kg/m}^3$  ou  $\text{t/m}^3$  enquanto a porosidade e a absorção d'água aparentes são expressas em porcentagem, indicando respectivamente a porcentagem total de espaços vazios em um volume de rocha e a porcentagem de espaços vazios intercomunicantes nesse mesmo volume.

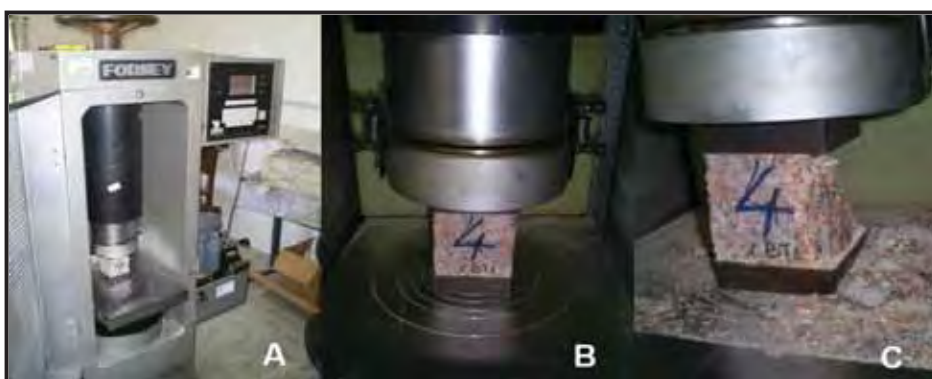
#### B) DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE ABRASIVO AMSLER

Este ensaio é executado segundo a norma NBR 12042 (ABNT, 1992a) faz menção ao parâmetro de dureza, em que duas placas de rochas são submetidas a um percurso (1000 m) em atrito constante com abrasivos do tipo areia essencialmente quartzosa em máquina AMSLER com o valor da abrasão sofrida em função do desgaste ocorrido no ensaio técnico dada em milímetros e lida com o auxílio de um relógio comparador.

#### C) DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL

Para tal ensaio, foram seguidas as orientações contidas na norma NBR 12767 (ABNT, 1992d) utilizando de uma prensa hidráulica FORNEY com acionamento elétrico, capacidade para 2200 KN do modelo F-502F-DFM (Figura 12).

**Figura 12.** Prensa utilizada para o ensaio de resistência à compressão uniaxial



**Legenda:** A) Prensa FORNEY preparada para o ensaio; B) Corpo-de-prova posicionado antes do ensaio; C) Corpo-de-prova rompido. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

#### D) DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO POR TRES PONTOS

Neste ensaio, realizado conforme a norma NBR 12763 (ABNT, 1992b), são testados corpos-de-prova com dimensões de 20 cm x 10 cm x 5 cm, que são superiores às de uso.

É também realizado com o uso da prensa hidráulica FORNEY com acionamento elétrico, capacidade para 2200 KN do modelo F-502F-DFM da figura 12. Contudo, o esforço é realizado através de três cutelos (2 inferiores e um superior móvel).

#### E) DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO POR QUATRO PONTOS

O ensaio especifica um método para determinação da tensão de ruptura na flexão, por carregamento em quatro pontos, de acordo com a norma ASTM C880 (ASTM, 1998), de placas de rocha ao uso como revestimento de edificações.

Como as placas utilizadas para o ensaio possuem espessura de uso (2 cm) os 12 corpos-de-prova (6 secos e 6 saturados em água) tiveram que ser adaptados conforme previsto, em nota, no item 4.2 da referida norma.

Os corpos-de-prova confeccionados ganharam então as seguintes dimensões: 30 cm de comprimento, 5 cm de largura e 2 cm de espessura (que já era a da placa). O vão de ensaio (L) é igual a 20 cm.

É também realizado com o uso da prensa hidráulica FORNEY com acionamento elétrico, capacidade para 2200 KN do modelo F-502F-DFM da figura 12. Contudo, o esforço é realizado através de quatro cutelos (2 inferiores e 2 superiores).

#### F) DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CORPO DURO

Este ensaio é realizado através da norma NBR 15845 Anexo H (ABNT, 2010b) e o procedimento utilizado consiste em deixar uma esfera de aço, com massa de 1 kg, cair sobre um corpo-de-prova com dimensões de 20 cm x 20 cm x 2 cm, assentado sobre um “colchão” de areia, até que ocorra a fissura, lascamento ou ruptura da placa utilizando-se da energia potencial gravitacional.

#### G) DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRASSÔNICAS

Neste ensaio foi adotado o procedimento de medição, antes da realização dos ensaios mecânicos (compressão uniaxial, módulo de ruptura e flexão na tração), em



todos os corpos-de-prova, utilizando como base a norma D2845 (ASTM, 1990).

Nele projeta-se o pulso ultrassônico para dentro do corpo-de-prova, medindo o tempo até que o mesmo se propague até outro ponto (alinhado com o primeiro) do corpo-de-prova. Sabendo a distância entre os pontos, é possível então determinar a velocidade média no trecho de propagação.

As medidas foram efetuadas com o aparelho denominado PUNDIT (*Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Test*), em uso na UNESP.

Este ensaio foi realizado de forma conjugada com os ensaios de determinação da resistência a compressão uniaxial, módulo de ruptura (3 pontos) e flexão a 4 Pontos, e em sua execução foram utilizados os corpos-de-prova destinados a estes testes, ou seja, foram (no total) ensaiados 6 corpos-de-prova cúbicos com  $7\pm 0,2$  cm de aresta e 16 corpos-de-prova em forma de paralelepípedo sendo: 6 corpos-de-prova com arestas medindo 20 cm x 10 cm x 5 cm e 10 corpos-de-prova com 30 cm x 5 cm x 2 cm de aresta onde foram determinadas as velocidades ultrassônicas (no caso dos últimos 10 corpos-de-prova o ensaio foi realizado nas condições seca e saturada, com 5 corpos-de-prova para cada condição) a fim de constituir “um controle de qualidade” para os ensaios.

#### II.1.2.7. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO

O ensaio de resistência ao ataque químico foi realizado com base nas diretrizes estabelecidas pela norma NBR 13818 anexo H (ABNT, 1997), utilizada para placas cerâmicas esmaltadas e adaptada para rochas aplicando na superfície polida da rocha, substâncias químicas em determinadas concentrações que simulam em velocidade acelerada o efeito de alguns agentes agressivos utilizados no cotidiano. Na determinação da resistência ao ataque químico foram utilizados 12 corpos-de-prova retirados de placas de rocha (Figura 13) do conjunto de amostras CBT2, serrados no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia da Universidade Estadual Paulista com dimensões de 10 x 10 x 10 x 02 cm.

**Figura 13.** Ilustração da placa que originou os corpos de prova para o ensaio de ataque químico



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os reagentes foram colocados em contato com a rocha através de um copo descartável parcialmente cheio de modo que haja ar dentro do copo, pois este será pressionado contra a placa de rocha e o conjunto (placa/copo/reagente) será virado. A pressão atmosférica não permite que o líquido caia (Figura 14) e o copo evita a evaporação que ocorre nos métodos usuais (tubo de PVC vedado lateralmente com silicone) devido ao tempo previsto de exposição para o ataque.

**Figura 14.** Ilustração do método de exposição da rocha aos reagentes



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

A relação dos agentes químicos utilizados para a verificação da resistência das rochas pesquisadas ao ataque químico, suas concentrações, valores de Ph, tempo de exposição e produtos de uso diário que contém os agentes testados encontra-se discriminada no quadro 6.

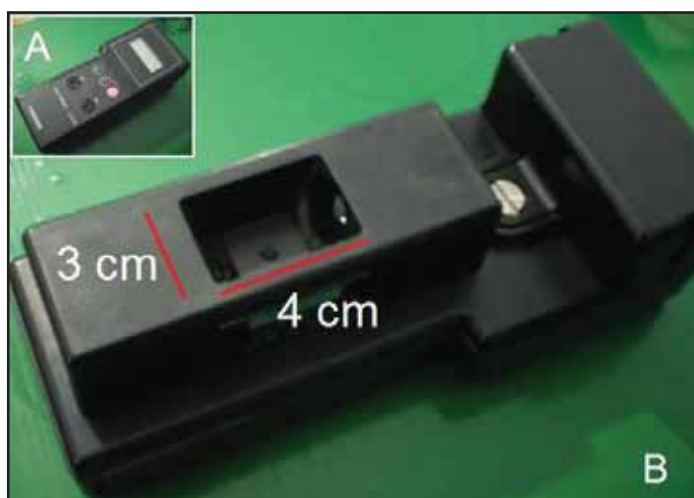
**Quadro 6.** Ensaio de resistência ao ataque químico corpos-de-prova, agentes químicos agressivos e tempo de exposição.

Amostras, agentes e tempo de exposição						
nº	Agente	Fórm.	Quant.	Ph	(h)	Produtos de Limpeza - Agentes Testados
1 e 2	Ácido Clorídrico	HCl	3 % vv	1	96	Ácido Muriático
3 e 4	Ácido Cítrico	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	100 g/l	1,2	24	Sucos de Frutas Cítricas, Vinagres e Refrigerantes
5 e 6	Cloreto de Amônia	NH <sub>4</sub> Cl	100 g/l	5	24	Detergentes e Sabões
7 e 8	Hidróxido de Potássio	KOH	30 g/l	14	96	Sabões em Geral
9 e 10	Hipoclorito de Sódio	NaClO	20 g/l	8	24	Tratamento de Piscina, Água Sanitária e Antimofo
11 e 12	Não Aplicado	-	-	-	-	-
<b>Legenda:</b>						
nº = identificação do corpo-de-prova			Quant. = Quantidade de agente utilizada			
(h) = tempo de exposição em horas			Form. = Fórmula			

- Medição da intensidade do brilho

Para o ensaio de ataque químico foi também utilizado um aparelho (Figura 15) para medição e definição da perda de brilho das placas. O sistema ótico do equipamento (*Gloss meter*) é formado por dois conjuntos de tubos, sendo que um deles encerra uma lâmpada de tungstênio que fornece um raio luminoso de intensidade controlada, e o outro contém um receptor com uma célula. O instrumento foi calibrado no valor absoluto de 91 (100% de brilho).

**Figura 15.** Aparelho de medição utilizado na análise de perda de brilho



**Legenda:** A) Parte frontal do aparelho; B) Parte traseira do aparelho; 3 cm e 4 cm) Medidas da "Janela de leitura" do aparelho. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

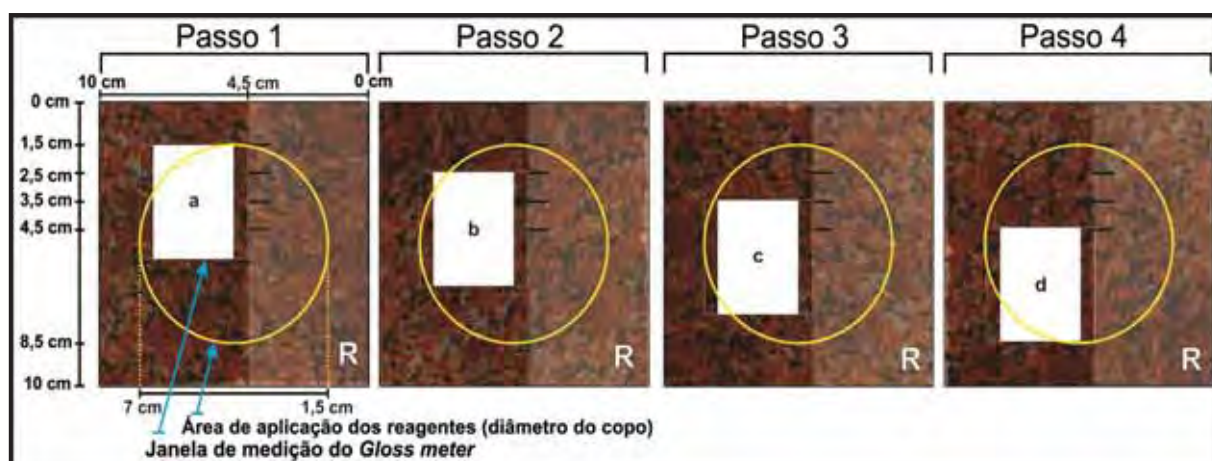
Todos os corpos-de-prova tiveram seus brilhos medidos antes e após o ataque químico e valores estatísticos das leituras (inicial, final e perda de brilho, total e média) calculados.

Antes da exposição ao ataque químico, foi efetuada a limpeza da superfície dos corpos-de-prova com um pano umedecido por álcool, seguida da leitura do lustro (brilho) realizada com o aparelho *Gloss meter*.

Após a exposição os corpos-de-prova foram lavados com água corrente, secados naturalmente e em seguida submetidos a uma avaliação visual acompanhada de uma nova leitura de lustro.

A perda de brilho foi determinada no espaço interno das placas, ocupado pelos copos descartáveis, onde os reagentes ficaram em contato direto com as rochas. A medida do brilho inicial ( $B_i$ ) e final ( $B_f$ ) é feita em cada corpo-de-prova utilizando 4 gabaritos/ régua seguindo, para cada uma delas (larguras: 4,5 cm; 3,5 cm; 2,5 cm e 1,5 cm), os passos demonstrados na figura 16.

**Figura 16.** Passos para medição do brilho



**Legenda:**R) ilustração do gabarito/régua utilizado para balizar a medição do brilho; a, b, c, d) representação da varredura da "janela de leitura" do *Gloss Meter* e ordem das medidas realizadas em cada régua. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Foram utilizadas quatro régua como gabarito para medição do brilho das amostras (4,5 cm; 3,5 cm; 2,5 cm e; 1,5 cm). Cada corpo-de-prova teve quatro medidas retiradas em cada régua (R - Figura 16) utilizada como gabarito totalizando 16 medidas. O resultado da medida de brilho para cada corpo-de-prova é, portanto, a média destas medidas.

Os cálculos efetuados para a determinação da porcentagem da perda de brilho seguem os seguintes passos:

1º Medição do brilho/lustro total inicial da área de exposição, soma das medidas e cálculo da média inicial ( $B_i$ ).

$$\frac{(CBT1 + \dots + CBT12)}{12} = \text{Média Inicial}(B_i)$$

2º Medição do brilho/lustro final (após o ataque químico) da área de exposição com a soma das medidas e cálculo da média final ( $B_f$ ).

$$\frac{(CBT1 + \dots + CBT12)}{12} = \text{Média Final}(B_f)$$

3º Cálculo da perda de brilho ( $P_b$ ):

Regra de três:

$B_i$ (brilho inicial) -----100%

$B_f$  (brilho final) ----- X%

$P_b$  (perda de brilho) = 100 – X%

O sistema ótico do equipamento (*Gloss meter*) é formado por dois conjuntos de tubos, sendo que um deles encerra uma lâmpada de tungstênio que fornece um raio luminoso de intensidade controlada, e o outro contém um receptor com uma célula. Os dois tubos, o de origem e o de recepção, são mantidos em alinhamento angular preciso ( $60^\circ$ ).

- AGENTES E MECANISMOS DE ALTERAÇÃO

As rochas expostas à ação integrada dos componentes químicos da atmosfera, às variações de temperatura, à atuação química e mecânica exercida pelos organismos têm seus componentes desintegrados e/ou decompostos, segundo o fenômeno denominado intemperismo que consiste em um conjunto de processos, através dos quais as rochas se desintegram e se decompõem na superfície da crosta e pode ser dividido em: intemperismo químico (minerais alterados

ou dissolvidos por reações químicas) e intemperismo físico (rocha se fragmenta sem modificação em sua composição química).

A alteração intempérica das inicia em rochas submetidas a condições ambientais diferentes daquelas onde se formaram. Silva (2009) diz que de modo geral, as causas que determinam o intemperismo pertencem a duas grandes categorias que normalmente operam em conjunto:

A primeira agrupa as causas ditas externas (processos físicos ligados às variações de temperatura e umidade)

A segunda compreende as causas ditas internas, inerentes à natureza do material que é intemperizado, como por exemplo, àqueles relacionados aos fatores geológicos mencionados no quadro 7.

**Quadro 7.** Principais agentes e mecanismos de alteração de rocha

<b>FÍSICO – MECÂNICOS</b>	<b>MECÂNICOS</b>	<b>GEOLÓGICOS</b>	<b>BIOLÓGICOS</b>
Temperatura, radiação solar, umidade relativa do ar; pressão (latitude, altitude, grau de confinamento)	Fraturamento, Formação de lascas, deslocamento de blocos e fragmentos finos (variações diárias ou sazonais de temperatura)	Mineralogia, textura, granulacão, Cristalinidade, grau de reatividade do mineral frente aos demais agentes (taxa de dissolução, dureza), porosidade e permeabilidade	Ação mecânica de microrganismos e plantas superiores; desenvolvimento de microrganismos (metabolismo orgânico)
Gases componentes atmosféricos	Ação eólica (correntes de ventos)		Ação química dos restos de organismos (produtos de decomposição orgânica, p. ex. fezes de pombos)
Hidrosfera (água, pH soluções aquosas superficiais)	Ação hidráulica como impactos de pingos de chuva e concentração de drenagem superficial em locais restritos)		Antropogênico (atividade humana)

**Fonte:** Modificado de Silva (2009).

Tais fatores, ligados às características intrínsecas das rochas é que determinam sua alterabilidade.

A alterabilidade de rochas define-se pela capacidade que a rocha possui em se alterar ao longo do tempo “humano” onde as reações ocorrem concomitan-

temente ao uso. Diferente da alteração intempérica, onde o tempo que se considera é o geológico (AIRES-BARROS, 1991, 2001).

Aires-Barros (op. cit.) descreve que a alteração ou grau de alteração de uma rocha que está exposta às ações intempéricas (meteóricas), depende fundamentalmente de fatores intrínsecos à sua natureza e das características, intensidade e tempo de atuação dos fatores extrínsecos. Silva (2009) acrescenta que as características inerentes à rocha podem ser profundamente modificadas desde as operações de extração do material nas pedreiras até seu beneficiamento nas marmorarias.

Para Frascá (2002), muitos fatores influenciam a susceptibilidade e taxa do intemperismo físico e químico em rochas e os mais importantes, tendo em vista as rochas de revestimento, são: tipo de rocha, presença de fraturas e/ou fissuras (“porosidade”) e o clima (temperatura e intensidade de chuvas). Adicionalmente, há a ação dos poluentes atmosféricos, nos ambientes urbanos, e o emprego de processos inadequados para o assentamento e manutenção de rochas. Em revestimentos, os processos de alteração dos materiais aplicados são decorrentes da ação de agentes físicos, químicos e biológicos sumarizados no quadro 8.

**Quadro 8.** Alteração em revestimentos.

AGENTES	FENÔMENOS	AÇÃO	CONSEQUÊNCIAS
<b>FÍSICOS</b>	Cristalização de sais	Preenchimento de vazios	Fissuração
	Variação de temperatura	Dilatação/Contração	Fissuração + Deslocamento
	Absorção d'água	Formação de manchas	Modificação das características estéticas
	Saturação / Secagem	Lixiviação	Desagregação/Corrosão
<b>QUÍMICOS</b>	Reação	Ácidos	Dissolução $\text{CO}_3$ / Recristalização
		Álcalis	Dissolução $\text{SiO}_2$ / Recristalização
		Produtos domésticos	Dissolução/Absorção
<b>BIOLÓGICOS</b>	Fixação de vegetais inferiores	Tensão de vazios	Fissuração
	Metabolismo	Dissolução $\text{CO}_3$ e $\text{SiO}_2$	Corrosão e manchas

**Fonte:** Modificado de Chiodi Filho (1995).

- FORMAS DE ALTERAÇÃO E PATOLOGIAS

Para Silva (2009), a degradação dos materiais rochosos utilizados nas edificações manifesta-se de diversas maneiras (cor, aspecto, textura, composição químico-mineralógica, etc.) dando origem a formas ou patologias características que, em geral, estão ligadas a diversos fatores como: especificação de materiais incompatíveis com as condições de utilização, desconhecimento das características e propriedades das rochas; emprego de técnicas inadequadas de execução (assentamento); ausência de projeto de construção e ausência de controle de qualidade nas etapas de produção.

Dentre as principais alterações produzidas pelos agentes e mecanismos anteriormente descritos, algumas podem ser destacadas e encontra-se discriminadas nos quadros 8 e 9 (SILVA, op. cit.).

**Quadro 9.** Algumas das principais formas de alteração (patologias) observadas nos materiais rochosos, produzidas pelos agentes de meteorização

<b>FORMAS DE ALTERAÇÃO/PATOLOGIA QUE SE DESENVOLVEM NOS MATERIAIS ROCHOSOS</b>
- Mudanças na tonalidade em função do envelhecimento natural ou artificial das rochas;
- Desagregação produzida por crioclastia, termoclastia ou pela presença de sais;
- Eflorescências causadas pela precipitação de sais na superfície, carreados por capilaridade e depositados por evaporação;
- Escamação, caracterizada por camadas que se desprendem de maneira paralela à superfície da rocha e independente da sua estrutura;
- Fraturamento - Superfícies de ruptura irregulares que separam as rochas em partes distintas;
- Fissuração - caso especial de fraturas onde não se verifica a abertura da superfície da rocha (Podem ser decorrentes de constrangimentos excessivos);
- Formação de crostas - camadas de composição químico-mineralógica e características físicas parcial ou totalmente diferentes da rocha;
- Alveolização - desagregação de origem físico-química, em forma de alvéolos. Também chamada de erosão alveolar ou tafonização.
- Desplacamento - placas que são destacadas ao longo dos planos de fraqueza mecânica da rocha;
- Acanaladura - escavações que proporcionam um aspecto ondulado à rocha e que são relacionadas às heterogeneidades mineralógicas.
- Picadura - erosão ou corrosão puntiforme que se traduz na formação de orifícios ou cavidades e que são originados a partir de núcleos mais alterados ou por dissolução;
- Concreções - depósitos gerados na superfície da rocha sem, contudo apresentarem uma ligação genética com a mesma;
- Incrustações - depósitos superficiais gerados a partir das suas transformações internas ou da acumulação de materiais estranhos à rocha;
- Pátina - o aspecto da pedra após o envelhecimento natural.

**Fonte:** Modificado de Silva (2009)



## CAPÍTULO III

### III.1. MÉTODOS E TECNOLOGIAS DE LAVRA

A proposta deste capítulo é apresentar uma sucinta revisão bibliográfica dos principais métodos utilizados na extração e lavra de rochas ornamentais em várias situações geológicas.

De acordo com Reis & Sousa (2003), os métodos de lavra consistem num conjunto específico dos trabalhos de planejamento, dimensionamento e execução de tarefas, devendo existir uma harmonia entre essas tarefas e os equipamentos dimensionados.

#### III.1.1. MÉTODOS DE LAVRA

De acordo com Menezes (2005), no Brasil, a maioria das lavras de rochas ornamentais realizadas em maciços rochosos principalmente de natureza granítica é a céu aberto.

## MATACÕES

Autores como Matta (2003) descrevem os matacões como corpos de rocha arredondados, que isolados dos maciços rochosos, por ação erosiva física, química e/ou biológica ocorrida durante a escala de tempo geológica, podem estar deslocados ou *in situ* na superfície (Figura 17).

**Figura 17.** Lavra de matacões.



**Fonte:** Autor desconhecido.

Os mármore e rochas carbonatadas não passam pelo principal processo erosivo de formação dos matacões, conhecidos como esfoliação esferoidal (processo gradativo de esfoliação das partes mais externas da rocha). A lavra através deste método é menos onerosa, por utilizar mão-de-obra pouco qualificada e reduzidos custos operacionais (REIS & SOUSA, 2003).

É normal que as jazidas em lavra de granito tenham início em matacões que ocorrem no colúvio da encosta dos morros de mesma composição. Isto se deve ao relevo, comum às rochas cristalinas no Brasil, ao clima e ao tipo de alteração superficial das rochas, condicionados pelo seu fraturamento e pelo intemperismo.

A primeira etapa da lavra consiste em selecionar tais matacões. Para isso dever-se-á considerar, a uniformidade da textura, da granulação e da coloração da rocha. Observe-se que direcionar a lavra para os matacões já é uma seleção em relação ao maciço, pois o matacão se forma, por intemperismo, nas partes mais homogêneas e não fraturadas do mesmo.

Em continuação, outros fatores a serem levados em conta referem-se à facilidade de se trabalhar o matacão: a existência de fendas, por exemplo, pode ser de utilidade, pois podem ser aproveitadas para faces dos blocos a serem retirados.

A acessibilidade geográfica ao matacão deve levar em conta as dificuldades que serão enfrentadas para preparar o acesso aos caminhões e para o carregamento dos blocos, operação geralmente efetuada na praça de cantaria preparada para esta finalidade.

#### MACIÇOS ROCHOSOS

Menezes (2005) concorda que dependendo da localização das frentes de retirada de material em relação a topografia do maciço, estas podem ser classificadas em pedreiras em flancos de encosta, em fossa e em poço, as duas últimas genericamente também chamadas de pedreiras em cava.

#### Lavra em Flanco de Encosta

As lavras em flancos de encosta (Figura 18) se desenvolvem em vertentes de maciços de rocha pouco ou fortemente inclinados, e apresentam como aspectos positivos em relação aos outros tipos a maior facilidade de aumento da área explotável e a possibilidade de progressivo rebaixamento da lavra.

O escoamento da produção de blocos se faz ao nível do terreno de base ou através de rampas descendentes (MENEZES, op. cit.).

**Figura 18.** Mina de granito ativa em flanco de encosta.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

### Lavra em Fossa

Para Reis & Sousa (2003) trata-se de um método de lavra que apresenta um impacto visual pequeno, pois a área explotada só pode ser vista de níveis mais elevados. Uma das desvantagens é que atinge facilmente o lençol freático e o bombeamento de água do interior da cava às vezes deve ser constante.

O acesso à frente de lavra é feito através de escadas (do tipo marinheiro) ou de guindastes. Seu uso depende, entre outros fatores, das condições geológicas da jazida.

Nas pedreiras em fossa (Figura 19) as frentes de lavra situam-se imediatamente abaixo do nível de base do terreno, com escoamento dos blocos mediante utilização de rampas ascendentes (MENEZES, 2005).

**Figura 19.** Pedreira em fossa do granito Branco Ceará. Granistone, município de Santa Quitéria – CE.



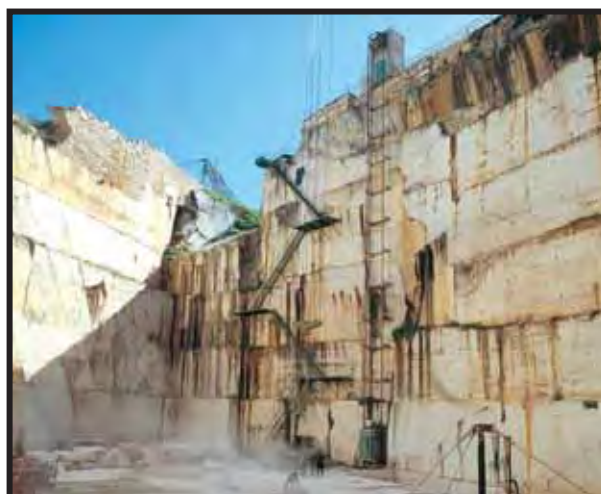
Fonte: [www.diariodonordeste.globo.com](http://www.diariodonordeste.globo.com)

### Lavra em Poço

A lavra em poço é uma evolução da lavra em fossa (Figura 20). As rampas laterais da mina se tornarão muito íngremes, muitas vezes verticais, criando forte risco de acidentes durante sua operacionalização. É um método geralmente utilizado em rochas de menor dureza como os mármore (MATTA, 2003).

Na pedreira em poço as frentes de desmonte de rochas ficam igualmente abaixo do nível de base do terreno, porém integralmente balizadas por paredes verticais. Inexistem rampas de acesso, sendo todo o escoamento de blocos assim como o descenso e ascenso de equipamentos e máquinas realizado através de guindastes. O deslocamento de pessoal é feito através de escadas (MENEZES, 2005).

**Figura 20.** Pedreira de mármore em poço.



**Fonte:** Autor desconhecido

### **Lavra por Bancadas**

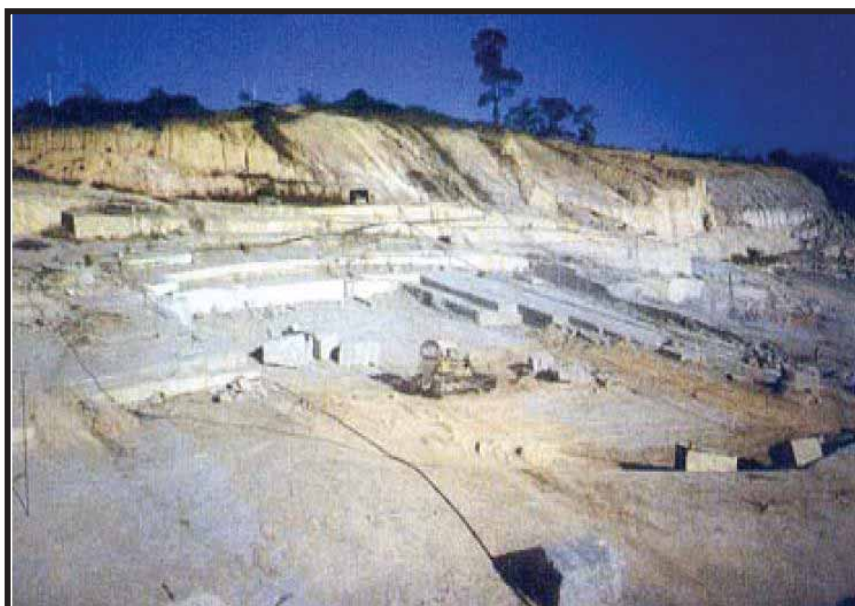
Segundo Ferreira (2004), é desenvolvida em maciços rochosos e seus componentes funcionais da exploração podem ser subdivididos em praças, degraus, pistas, rampas, frentes, bancadas e níveis.

A extração de volumes de rocha se dá através de um único ou de vários pavimentos, subparalelos, horizontais ou com baixa inclinação, suportados por faces verticais uniformes, os quais constituem as frentes de lavra, que evoluem lateralmente em forma de “L”. A altura (espessura) das bancadas é função direta das características da jazida, e, neste sentido, podem ser subdivididas em **bancadas baixas** e **bancadas altas**. (MENEZES, op. cit.).

#### ***Bancadas baixas***

De acordo com Matta (2003), esta configuração é utilizada para uma jazida dita homogênea. A altura da bancada corresponderá à dimensão de um bloco comercializável que é diretamente recuperado do maciço (Figura 21).

**Figura 21.** Lavra por bancadas baixas.



**Fonte:** Matta (2003)

Portanto, a extração dessa pedra é pouco seletiva. Esse método favorece geralmente uma melhor recuperação. O seu relevo é mais suave e suas frentes de lavra são extensas.

Menezes (2005) afirma ainda, que tem como característica sua altura (espessura) correspondente a uma das dimensões comerciais, ou seja, variável em geral entre 1,8 m e 3,0 m, obtendo-se blocos diretamente do maciço rochoso com dimensões próximas às usuais nos teares convencionais.

### ***Bancadas altas***

O método de bancadas altas é geralmente usado quando o maciço possui uma altura de 6,0 a 16,0 m. Consiste na abertura de bancadas variando de 3,0 a 6,0 m de largura e 40,0 m de comprimento, podendo-se utilizar diferentes tecnologias de corte, em especial o fio diamantado.

É caracterizado pela grande incidência de perfuração para fazer a subdivisão em blocos com dimensões adequadas à serragem. É mais oneroso que o método de lavra por bancadas baixas, uma vez que requer uma maior quantidade de mão de obra e equipamentos (Reis & Sousa, 2003).

Para Matta (op. cit.), esta configuração de pedra é utilizada normalmente nos maciços rochosos que apresentam heterogeneidade na qualidade e estrutura da jazida. A utilização de bancadas altas prevê a seleção de blocos finais. As bancadas

constituem grandes pranchas com altura variando entre 4 e 16 metros, como citado por Reis & Sousa (2003).

A altura da prancha corresponderá a um número múltiplo de uma das dimensões do bloco comercializável. Estas pranchas representam o bloco primário produzido, que se desdobrará em blocos secundários, para após serem esquadrejados em blocos terciários ou finais (Figura 22).

**Figura 22.** Lavra pelo método de bancadas altas. Barra de São Francisco – ES.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

### **Lavra por Painéis Verticais**

Para Menezes (2005) de acordo com a literatura, tal método (Figura 23) tem aplicação nas fases iniciais de desenvolvimento de uma jazida, sendo direcionados, a exemplo do método por bancadas altas, os maciços com grande variedade qualitativa e estrutural.

A obtenção dos volumes de rocha se processa pela delimitação, como o próprio nome indica, de grandes painéis rochosos verticais, cuja espessura das placas é coincidente com uma das dimensões de bloco comercial, sendo a altura dos painéis determinada pelo perfil do afloramento, esta estimada a partir da cota do plano horizontal da praça da lavra.

**Figura 23.** Lavra de painéis verticais. Barra de São Francisco – ES.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

### **Lavra por Desabamento (Capeados)**

Matta (2003) relata que a lavra por desabamento é aplicada em maciços bem fraturados e com relevo acidentado (acima de 45°). O desmonte é feito sobre grandes pranchas verticais (painéis verticais, mais altos que 12m).

Normalmente são desmontados volumes na ordem de 3000 a 5000 m<sup>3</sup> de rocha de uma só vez, com o uso de explosivos. Após o desmonte são selecionados os maiores blocos com as formas mais apropriadas para o esquadrejamento e a produção de blocos comercializáveis (Figura 24).

O método por desabamento é um método que exige pouco conhecimento técnico. Algumas das principais vantagens são os baixos custos de operação e o investimento inicial. Geralmente se utiliza um colchão de areia para amortecer a queda prancha com o objetivo de diminuir o impacto com o solo.

Esse método apresenta um custo semelhante ao custo da lavra por matacões, mas com o uso de equipamentos de maior porte para limpeza de praças. Já em topografias suaves, são isolados e tombados filões/pranchas diretamente na frente de lavra, não havendo o desabamento (REIS & SOUSA, 2003).



**Figura 24** Lavra de capeado, por desabamento, do Granito Giallo Esperança, da Rocha Branca Mineração, Boa Esperança-ES.



**Fonte:** Modificado de Menezes (2005).

### Lavra Seletiva

De acordo com Menezes (op. cit.), a lavra seletiva constitui uma metodologia aplicada a afloramentos caracterizados pela incidência de sistemas de juntas verticais/subverticais, preferencialmente ortogonais, cujos planos constituem faces naturais de fraqueza para separação e obtenção imediata de volumes primários de rochas. A geometria das frentes de lavra estará condicionada às atitudes das juntas, a direção e mergulho de seus planos, bem como a sua frequência (Figura 25).

**Figura 25.** Exemplo de lavra seletiva. Barra de São Francisco – ES



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

### Lavra Subterrânea

A metodologia é indicada principalmente para maciços rochosos que impliquem no decapeamento de grande volume de material estéril, seja pela inviabilidade econômica para a sua remoção, em função dos elevados custos, seja pelo potencial de riscos de acidentes para as operações nas frentes de trabalho.

A evolução da lavra se processa através da criação de amplos salões, sustentados por pilares formados em geral por materiais de qualidade inferior, aprofundando-se as frentes de extração para o interior do maciço conforme o plano de arranque dos blocos primários em relação à estruturação e a seletividade do material (MENEZES, 2005) (Figura 26).

**Figura 26.** Mina subterrânea. Quartzito “Azul Imperial”, BA.



Fonte: Menezes (op. cit.)

### III.1.2. CICLO DE PRODUÇÃO DA PEDREIRA

O principal motivo pelo qual funciona uma mina é a obtenção/produção de blocos como matéria prima para o beneficiamento, que atendam alguns requisitos de

volume, dimensão e estética, para que seja comercializado. Geralmente as operações de lavra seguem as seguintes etapas:

- Isolamento de volumes primários (Figura 27.1);
- Tombamento de painéis verticais: filões / pranchas (Figura 27.2);
- Esquadreamento de blocos (Figura 27.3);
- Movimentação;
- Carregamento.

**Figura 27.** Esquema de divisão dos volumes extraídos em uma pedreira



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

### III.1.2.1. DESMONTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Considera-se tecnologia de desmonte o complexo de máquinas, equipamentos e ferramentas utilizado nas atividades de mineração. Em outras palavras, “**com o que**” se realiza a extração.

#### III.1.2.1.1. Técnicas de Corte

##### **Isolamento de volumes primários**

Menezes (2005) afirma que a definição do tamanho do volume primário (quadrote) a ser isolado, quando possível, é norteadora pela existência de planos

naturais de descontinuidades (foliações, laminações ou fraturas) que constituem os chamados planos de “corrida” das rochas, facilitando a operação de corte.

As faces longitudinais principalmente associadas à base dos blocos, por sua vez, são comumente definidas como planos do “segundo” ou de “levante”, enquanto os planos pertinentes às faces transversais aos de corrida, relacionados à menor dimensão do bloco e considerado de maior dificuldade de corte, são denominados de “trincante”. Tal definição depende da geologia do maciço onde se extrai a rocha.

Matta (2003) concorda que existem, basicamente, dois tipos de tecnologias para o corte de rochas: Tecnologias cíclicas de corte e Tecnologias de corte contínuo.

As tecnologias de **cortes cíclicos** exigem a execução de furos na rocha para o desmonte alguns com utilização de explosivos de baixa velocidade de choque. Já as tecnologias de corte contínuo não realizam furação. As tecnologias de cortes cíclicos são divididas em:

**Perfuração e explosivo** - Realizam-se, com o auxílio de marteletes pneumáticos, furos coplanares e paralelos com espaçamento entre 8 e 20 vezes o diâmetro dos furos e dentro deles podem ser colocados explosivos como: pólvora negra, nitrato de amônia, cordel detonante e cartuchos explosivos de baixa velocidade de choque.

Os furos de diâmetros entre 3,2 cm e 3,4 cm devem ficar espaçados de 26 a 70 cm, e receber a carga explosiva adequada, para que o plano de fogo isole uma fatia de rocha sem que esta seja danificada. Os cálculos devem considerar as características físicas e mecânicas das rochas para evitar maiores perdas no fogo, podendo usar, inclusive, software específicos que simulem um desmonte eficaz.

**Perfuração contínua** - Consiste na realização de vários furos próximos ou adjacentes um do outro, por perfuratrizes de coluna, onde são acoplados um ou mais marteletes pneumáticos que executam a operação simultânea, ao deslocar-se sobre uma espécie de trilho. Esta técnica provoca menos perda de material que a anterior, mas é muito custosa por causa da grande quantidade de brocas utilizadas.

**Divisão mecânica por cunhas** - Consiste na perfuração da rocha em furos separados linearmente em espaços curtos e posterior divisão com aplicação de cunhas, que se posicionando entre palmetas (linguetas de metal), efetua-se percussão manualmente com a ajuda de uma marreta, até criar fissura e partir a rocha.

**Divisão por agentes expansivos** - O princípio é o mesmo da técnica anterior, exceto pela substituição das cunhas por um tipo de massa auto-expansiva (aplicadas nos furos) e no espaçamento que agora é ampliado (menos perfurações), resultando num melhor custo benefício durante a produção de blocos e menos rejeito.

Já as tecnologias de **corte contínuo** englobam:

**Fio diamantado** - Matta (2003) apresenta ainda as tecnologias de corte contínuo a partir do fio diamantado é tracionado por um motor, guiado por roldanas presentes no sistema e composto por um fio de aço de 5mm de diâmetro, sobre o qual estão fixadas pérolas diamantadas de mais ou menos 11mm de diâmetro responsáveis pelo corte da rocha (Figura 28).

**Figura 28.** Máquina de corte com fio diamantado.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Chama térmica (*Jet flame*)** - É uma técnica que utiliza um maçarico que suporta a injeção de uma chama de até 2500°C. O efeito do calor atinge principalmente o mineral de quartzo que possui 2 coeficientes distintos de dilatação.

Simultaneamente ao corte utiliza-se água para resfriar a rocha e reduzir maiores perdas do material lapídeo. Esse tipo de técnica provoca cortes na rocha com espessuras de até 10 cm, com profundidade de entre 6m e 8m (Figura 29). Contudo há um problema, pois as paredes laterais do corte são normalmente

danificadas por micro fraturas em até 30 cm de cada lado, em razão do forte calor produzido pela chama. Isso faz aumentar as perdas de material durante o processo de extração.

De acordo com Menezes (2005), seu alimentador consiste em uma câmara de combustão com o combustível (querosene ou diesel) e o carburante (ar ou oxigênio), pressurizados.

**Figura 29.** Corte com *Jet flame*.



**Fonte:** Menezes (op. cit.).

**Cortador a corrente** - A tecnologia usada com essa máquina consiste em efetuar cortes nas rochas estabelecendo uma sucessão de planos paralelos. Podem ser feitos planos de serragem verticais como também horizontais. Encontram-se dois tipos de equipamentos: os que operam sobre trilhos (pedreiras a céu aberto) e os que operam sobre colunas (lavras subterrâneas).

O campo de ação dessas máquinas se estende das pedras macias (carbonáticas) às pedras duras (silicáticas). Para as rochas macias as máquinas utilizam correntes providas de dentes de carbureto de tungstênio. Já para as rochas duras os dentes dessas correntes contêm plaquetas de diamante. A máquina possui um braço que permite atingir até 4 metros de profundidade. (Figura 30).

**Figura 30.** Cortador a corrente



**Fonte:** Autor desconhecido.

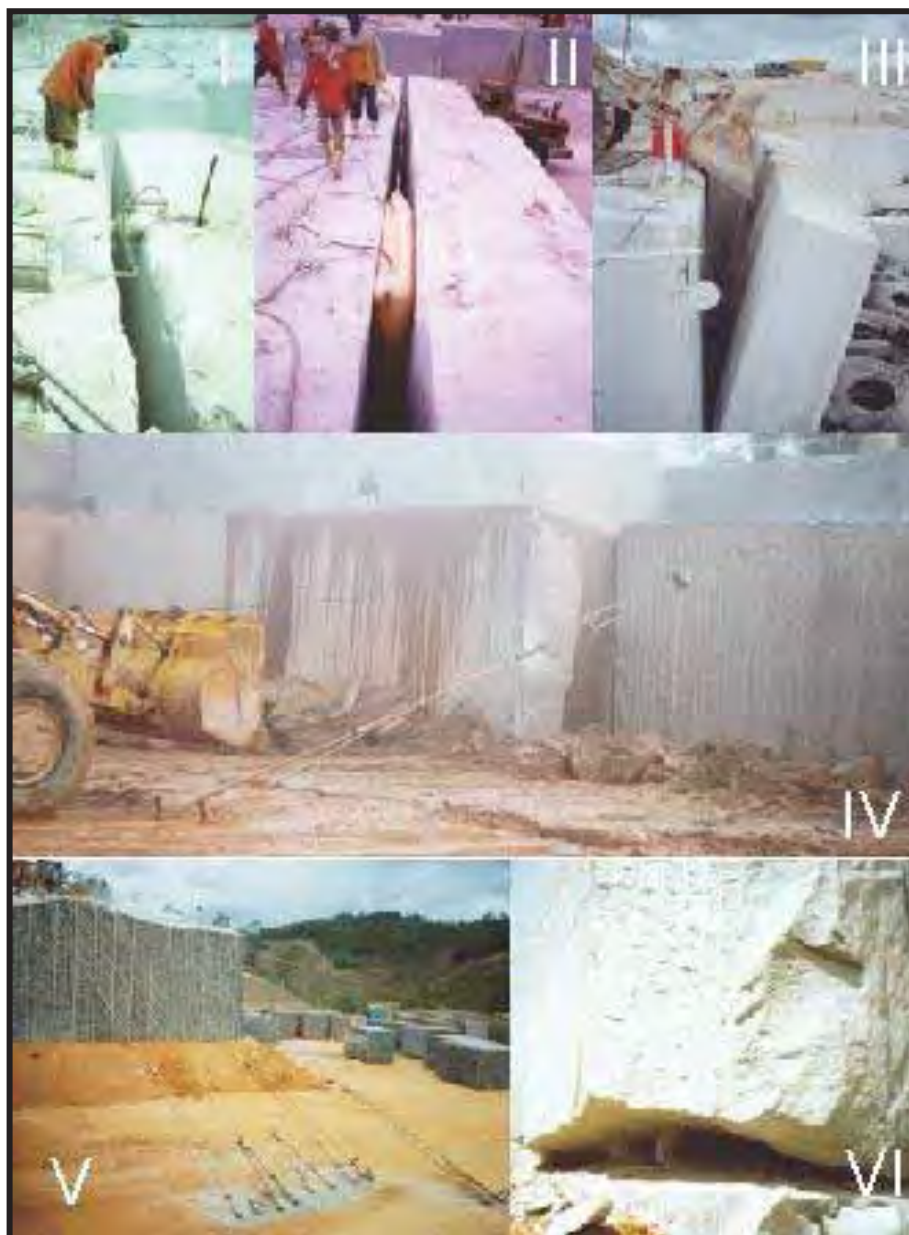
**Jato d'água (*Water jet*)** - Técnica que funciona por intermédio de um equipamento que através de uma bomba de alta pressão, ejeta um fio d'água a velocidades de 300m/s a 500m/s gerando pressões respectivas entre 150 MPa a até 300 MPa, superior à maioria das resistências das rochas a compressão uniaxial.

A erosão provocada pelo jato d'água está relacionada essencialmente às microdescontinuidades das rochas, a saber: a porosidade, o tamanho dos grãos dos minerais constituintes, a composição mineralógica e o grau de meteorização.

#### III.1.2.1.2. Técnicas de Desmonte

**Tombamento de painéis verticais** - Uma vez isolados, os filões ou pranchas são tombados em “camas” constituídas por solo e fragmentos de rocha, previamente montadas com o objetivo de amortecer o impacto de queda, para em seguida se processar o esquadreamento dos blocos comercializáveis (Figura 31).

**Figura 31.** Ferramentas utilizadas no tombamento de painéis verticais (filões)



**Legenda:** (I) Macaco hidráulico, (II) Colchão inflável, (III) Máquina robusta, (IV) Moitão, (V) Manobra e (VI) “Boca de Lobo”. **Fonte:** Autores desconhecidos.

### III.1.2.1.3. Técnicas de Dimensionamento dos Blocos

**Esquadrejamento de blocos** - Menezes (2005) também concorda que a operação utiliza a mesma tecnologia empregada nos cortes primários, excluindo o fio helicoidal, *flame-jet*, a perfuração contínua e a necessidade da perfuração preliminar.

O tamanho de um bloco obtido a partir do esquadrejamento de volumes primários ou secundários será determinado pelas características dos equipamentos



aos quais se destinam (teares), onde são desdobrados em placas com cerca de 2 cm a 3 cm de espessura. Normalmente, os teares convencionais utilizados no Brasil são dimensionados para blocos em média com cerca de 3,0 m de comprimento, 1,80 m de altura e 2,40 m de largura, referidos como comercialmente como blocos “G1”.

#### III.1.2.1.4. Técnicas de Movimentação dos Blocos

Após o esquadrejamento, a movimentação (Figura 32) dos blocos até o local de embarque é feita por arraste, através de cabos de aço tracionados por guincho ou através de zorra (prancha metálica sobre a qual se coloca o bloco) puxada por pá carregadeira; por tombos sucessivos, com emprego direto de pá carregadeira, retroescavadeira, ou mesmo trator de esteira adaptado para este fim; ou conduzidos por garfo, montado diretamente numa pá carregadeira de maior potência.

**Figura 32.** Blocos esquadrejados.



**Fonte:** Pinheiro (2006)

#### III.1.2.1.5. Técnicas de Carregamento dos blocos

Já o carregamento dos blocos acontece predominantemente com o emprego de “pau-de-carga” (Figura 33), auxiliado por guincho de arraste, pá carregadeira ou trator de esteiras.

**Figura 33.** Pau-de-carga



**Fonte:** Pinheiro (2006).

Podem também, ser empurrados diretamente para cima dos caminhões, através de rampa previamente construída para esta finalidade (Figura 34).

**Figura 34.** Rampa.



**Fonte:** Pinheiro (op. cit.).

O uso de *derrick* para içamento/carregamento de blocos, muito comum em pedreiras da Europa, quase não é observado no Brasil (Figura 35).

**Figura 35.** Grua "Derrick"



**Fonte:** Pinheiro (2006).

### III.1.3. A IMPORTÂNCIA DAS JUNTAS NA LAVRA.

Para Abílio (2006), a qualidade dos blocos de rocha ornamental obtidos no desenvolvimento das operações de lavra, entre outros aspectos, depende das superfícies de fraqueza da rocha, representadas pelas descontinuidades, e da distribuição de tensões no maciço rochoso. O conhecimento desses aspectos permite uma melhor definição do planejamento de lavra apropriado para cada jazida.

Leinz & Leonardos (1977) definem que as juntas são superfícies obtidas pela ruptura mineral em uma direção diferente da de clivagem. Magalhães & Cella (1998) publicaram seu significado relacionando-o a geotécnica, em que são definidas como descontinuidades que ocorrem de forma sistemática, segundo orientações preferenciais, compondo famílias ou sistemas, podendo ser tectônicas e atectônicas, sendo divididas em:

- Juntas de partição e distensão ou extensão - quando paralelas ao maior sentido de esforço e;
- Cisalhamento - quando oblíquas ao esforço.

Sabe-se então que o estudo pormenorizado do maciço, antes da instalação de uma pedreira, é extremamente importante, pois quanto mais afastada de uma zona fraturada ela estiver, maior é a possibilidade de o diaclasamento ser favorável a exploração.

As explorações de rocha ornamental necessitam, para serem viáveis, de permitir a obtenção de blocos de dimensão suficientemente elevada que sejam utilizáveis pela moderna indústria de transformação. Por outro lado, a densidade do fraturamento e a orientação das famílias de fraturas podem inviabilizar a exploração.

De acordo com Souza & Pires (1998), o fraturamento natural dos maciços graníticos controla, de maneira direta, sua capacidade de fornecer matéria-prima passível de ser utilizada como rocha ornamental, ou seja, quanto maior o grau de fraturamento de um maciço rochoso, menor é a recuperação de blocos, além da importância de definir-se como estão distribuídas as tensões no maciço rochoso.

O valor comercial do material extraído é fundamental para se considerar que uma determinada intensidade de fraturamento é ou não prejudicial. Quanto maior o valor comercial da rocha extraída, menores podem ser os blocos extraídos e/ou menor o rendimento da pedreira. Importa citar que o fraturamento deverá ser estudado em todas as escalas, desde falhas regionais até as microfissuras, assim como o estudo das respectivas características físicas: atitude, espaçamento, continuidade, rugosidade, abertura e enchimento.

Para Gama & Bastos (2002), a notável influência das descontinuidades dos maciços rochosos nos seus comportamentos mecânicos, designadamente na deformabilidade e na ruptura, exige o tratamento apropriado da informação existente sobre as características dessas descontinuidades.

Gonçalves et al. (2010) descrevem que a avaliação do fraturamento em maciços rochosos tem sido feita através de vários métodos que vão desde a simples medição, na qual é calculada a frequência de fraturas, até à utilização da informática que permitem obter o número, forma e volume dos blocos extraíveis.

O espaçamento médio das fraturas pode ser relacionado com outros índices de fraturamento, como descrito por Sousa (2007), e a sua determinação fornece informações valiosas numa fase preliminar da avaliação do potencial de um local/pedreira.

# CAPÍTULO IV

## IV.1. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A área insere-se na Província Mantiqueira Central (ALMEIDA, 1967; HASUI & OLIVEIRA, 1984), na região sul do Cinturão de Dobramentos Sudeste (CORDANI et al., 2000).

A Província Mantiqueira Central (HEILBRON et al., 2004) é subdividida em grandes compartimentos geotectônicos que são construídos e justapostos a partir da movimentação relativa horizontal e vertical ao longo das zonas de cisalhamento regionais de direção NE-SW.

A Província Mantiqueira Central segundo Heilbron et al. (op. cit.) pode ser subdividida em três compartimentos tectônicos (Figura 36), que são:

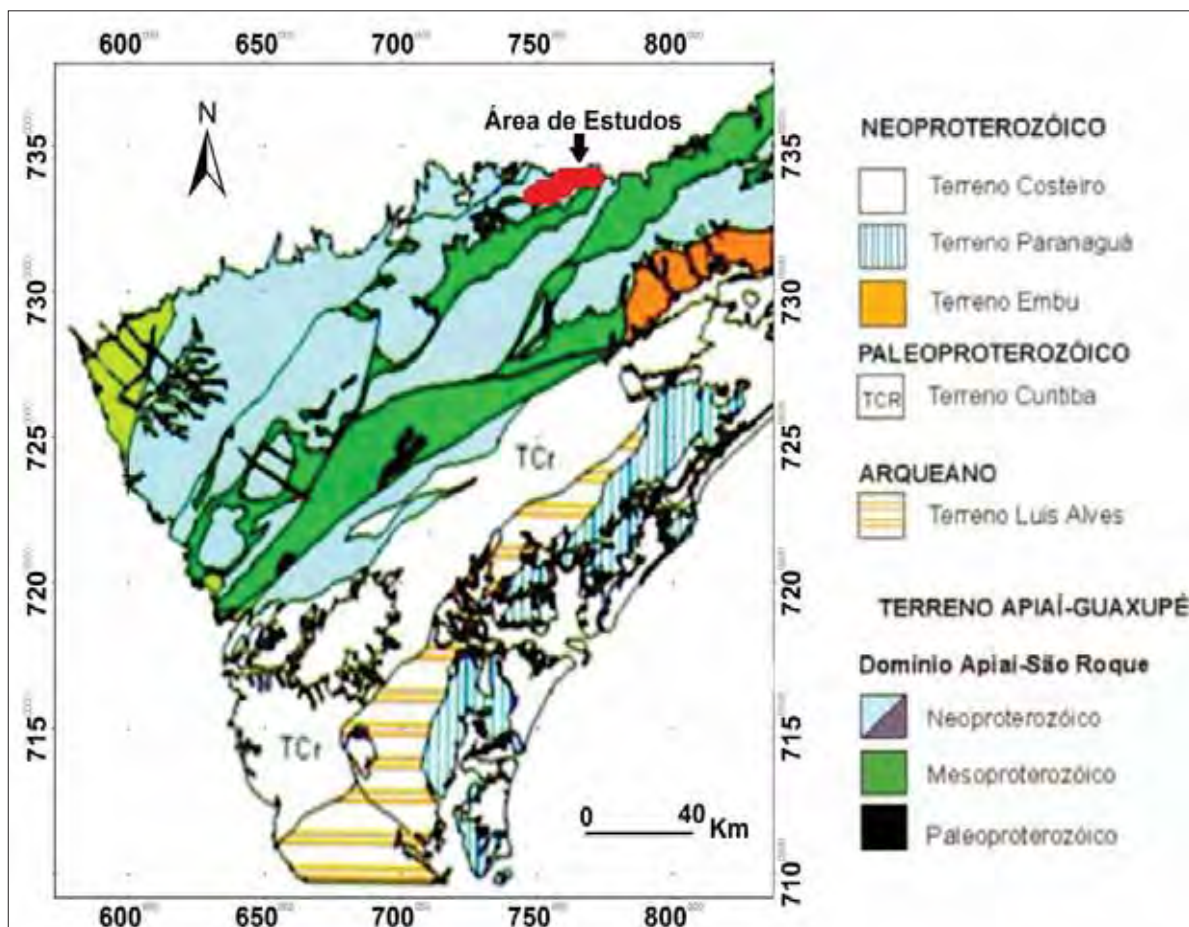
- Parte sul do Orógeno Brasília: com trend estrutural NNW-SSE, é formada de nappes com vergência de massas rumo ao Cráton São Francisco, se edificou pela colisão entre os crátons do São Francisco e do Paranapanema,

- Orógeno Ribeira: com trend NE-SW, se edificou pela interação entre o Cráton do São Francisco, outras placas/microplacas/arcos-de-ilhas e o Cráton do Congo. Esses terrenos foram gerados a partir de colisões frontais, os resultados são

o empilhamento desses terrenos de E para W-NW acompanhado de encurtamento nesse mesmo sentido e a instalação de zonas de componente transpressivo dextral.

- Terrenos Apiaí, São Roque e Embu: apresentam relações ainda confusas com os terrenos do sul do Orógeno Brasília.

**Figura 36.** Mapa tectônico (terrenos): Apiaí, Guaxupé, Curitiba, Embu e Luis Alves.



**Legenda:** Em vermelho área de estudo. **Fonte:** Modificado de Heilbron et al.(2004).

#### IV.1.1. TERRENO APIAÍ

O Terreno Apiaí pode-se ser subdividido este em três grandes segmentos de acordo com suas idades.

- o embasamento Paleoproterozóico/Arqueano, com raras exposições que é formado por ortognaisses migmatíticos-miloníticos que afloram no centro das antiformas abertas;

- as unidades metassedimentares mesoproterozóicas que compreendem rochas supracrustais metamorfisadas em condições de fácies xisto verde a anfibolito, sendo que na área mapeada é reconhecido apenas metamorfismo de baixo grau na fácies xisto-verde. Estas rochas são historicamente denominadas como pertencendo ao Grupo Açungui (FIORI, 1990) e posteriormente foram redefinidas como Supergrupo (CAMPANHA, 1991);

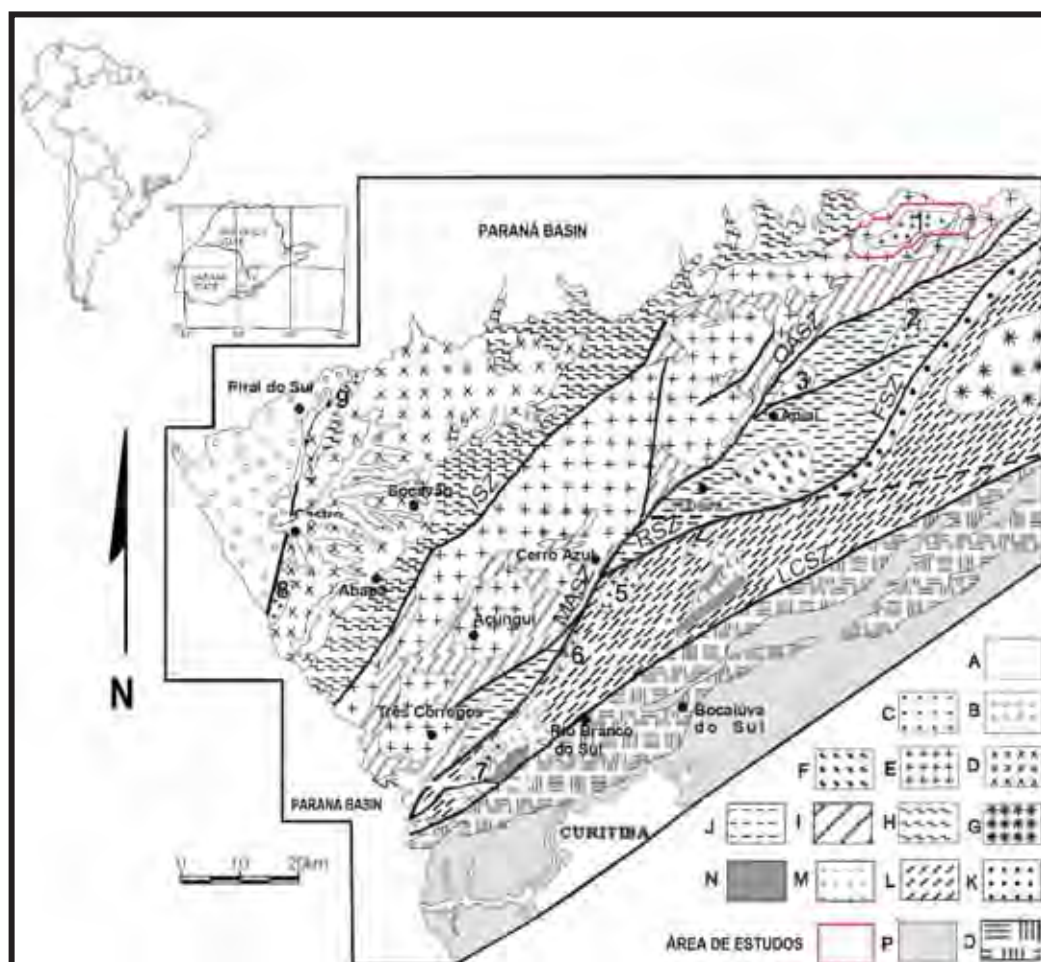
- as unidades metassedimentares Neoproterozóicas as unidades mesoproterozóicas que correspondem a um grande grupo litoestratigráfico que é constituído por três mega sequências estratigráficas distribuídas em faixas alternadas na direção NE/SW e encontram-se associadas com zonas de cisalhamento laterais.

Nesta geologia estão englobados granitos sin a pós-colisionais e uma dezena de corpos graníticos de dimensões variadas. Segundo Prazeres Filho (2000) e Prazeres Filho et al. (2003) o episódio intrusivo pós-colisional anorogênico é marcado pelas intrusões de plútons graníticos rasos do tipo Maciço Capão Bonito (Figura 37).

O Maciço Capão Bonito encontra-se intrusivo em rochas metassedimentares mesoproterozóicas do Grupo Açungui composto na base pela Formação Perau constituída por quartzitos, rochas cálcio-silicatadas, mármore, quartzo-mica xistos, xistos carbonosos, rochas metavulcânicas e formações ferríferas, seguida da Formação Água Clara constituída por rochas metamórficas com teor variável de carbonatos, predominando as rochas calcárias impuras. As litologias desta formação são representadas por mármore e dolomíticos, cálcio-filitos, cálcio-xistos, filitos e quartzitos (KOPS, 1994).

E no topo pela Formação Votuverava composta por três conjuntos litológicos distintos: a Unidade terrígena que se trata de uma extensa e espessa unidade turbidítica com metarritmitos, metassiltitos, metarenitos, filitos grafitosos, mármore e quartzitos; a Unidade metavulcano-sedimentar que é constituída por metarritmitos, rochas metavulcânicas, metavulcanoclásticas básicas, com intercalações de metabásicas, filitos, quartzitos, metacherts, metassiltitos e metarenitos finos ferruginosos ou manganésíferos.

**Figura 37.** Esboço Geológico de parte da Faixa Ribeira com a localização da área estudada.



**Legenda:** A) Coberturas Fanerozóicas, B) Neoproterozóico III / Bacia Eopaleozóica; faixa de dobramentos Apiaí: C) Neoproterozóico, Stocks graníticos: 1 -Capão Bonito, 2 -Espírito Santo, 3 -Apiaí, 4 -Varginha, 5 -Morro Grande, 6 -Piedade, 7 -Cerne, 8 -Serra do Carambeí, 9 -Joaquim Murtinho. Batólitos graníticos: D) Cunhaporanga ; E) Três Córregos; F) Itaoca; G) Agudos Grandes. Super Grupo Açungui: H) Grupo Itaiacoca, I) Formação Água Clara; J) Subgrupo Lageado; K) Formação Iporanga; L) Formação Votuverava; Perau M) / Formação Betara; N) Núcleos embasamento granítico. Curitiba Microplaca - O) Formação Capiru; P) Complexo Atuba. **Fonte:** Modificado de Prazeres Filho et al. (2003).

As rochas do maciço Capão Bonito encontram-se também intrusivas em rochas granitóides neoproterozóicas sin-colisionais do Complexo Três Córregos (GIMENEZ FILHO, 1993) constituído principalmente por monzogranitos porfíricos, granodioritos, quartzo monzonitos deformados e em menores proporções por sienogranitos (PRAZERES FILHO et al., op. cit.).

Na área observam-se rochas associadas à Bacia do Paraná constituída pela unidade sedimentar do Grupo Itararé, que é formado por uma sequência sedimentar de idade permo-carbonífera, constituída por arenitos, siltitos, folhelhos, diamictitos,



ritmitos e varvitos e por magmatismo básico da Formação Serra Geral que ocorre na área sob a forma de diques subverticais de diabásio com granulação fina a média, espessuras métricas e orientados segundo a direção NW/SE.

Um dos primeiros trabalhos publicados desta região voltado para atividades de prospecção ocorreu em 1934 para o DNPM. As atividades de mineração na região da área de estudo, que abrange partes dos municípios de Capão Bonito, Guapiara e Itapeva, tiveram seus primeiros indícios em 1974, quando surgiram os requerimentos de autorização de pesquisa.

Trabalhos de pesquisa mineral foram realizados em 1972 pelo convênio DNPM/CPRM em escala 1:10.000 que contemplou os municípios de Capão Bonito, Guapiara, Apiaí, Iporanga, Itapeva, Ribeirão Branco e Itararé.

O primeiro mapeamento da Folha Capão Bonito em escala 1:100.000 foi elaborado em 1968 e posteriormente foi feito por Chiodi Filho et al. (1983) em escala 1:50.000 que apresenta o Granito Capão Bonito delimitado a norte pela falha de Capão Bonito, ao sul pela falha do Bairro dos Alves e a leste por uma faixa de quartzitos do Grupo Açunguí.

Pequenas alterações na sua delimitação ocorrem nos mapas geológicos de integrações do estado de São Paulo em escala 1: 500.000 elaborado pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica -IPT (BISTRICHI et al., 1981; ALMEIDA et al., 1981) e em escala 1: 750.000 elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM.

Trabalhos específicos de geocronologia em rochas do maciço foram realizados por Leite (2003) que apresenta para o granito Capão Bonito, através do método U-Pb em zircão, idade de  $564 \pm 8$  Ma.

Trabalhos de cunho geofísico foram realizados por Souza Junior (2002), Souza Júnior & Porsani (2003) e Porsani et al. (2005) que permitiram subsidiar uma melhor cubagem da jazida, direcionar as frentes de lavras, definir as áreas densamente fraturadas e as continuidades físicas do fraturamento e as intrusões de rochas básicas presentes, além da espessura do capeamento na frente de lavra das pedreiras.

## CAPÍTULO V

### V.1. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

As rochas do Maciço Capão Bonito afloram junto à borda da Bacia do Paraná e encontram-se distribuídas homoganeamente em um corpo apresentando forma alongada cujo eixo maior apresenta direção geral NE-SW, segundo a direção das principais zonas de cisalhamento.

As rochas do Maciço Granítico Capão Bonito são intrusivas em rochas mesoproterozóicas do Grupo Açungui representado na área pela Formação Votuverava que é constituída predominantemente por filitos, muscovita xistos, quartzitos e anfibolitos e em biotita sieno- a sienogranitos porfiróides rico em fenocristais de feldspato potássio, podendo variar de tonalidades róseas a acinzentadas do Batólito Granítico Três Córregos.

O contato sul encontra-se delimitado por contatos tectônicos através da Falha do Bairro dos Alves (CHIODI FILHO et al., 1983) que compõem a Zona de Cisalhamento Quarenta Oitava (PRAZERES FILHO et al., 2003) e normais com as rochas metassedimentares.

Nos metassedimentos, quando preservadas as feições deformacionais impostas pela deformação milonítica, preservam-se texturas e mineralogias do metamorfismo de contato com desenvolvimento de minerais na fácies albíta-epidoto hornfels e hornblenda hornfels.

O contato oeste e noroeste ocorre com rochas graníticas do Complexo Três Córregos a partir da Falha de Capão Bonito (CHIODI FILHO et al., 1983) ou Zona de Cisalhamento Itapirapuã (PRAZERES FILHO et al., 2003), além de se apresentar também com as rochas metassedimentares da Formação Votuverava.

Os demais contatos da parte norte e nordeste encontram-se encobertos parcialmente por rochas sedimentares do Grupo Itararé da Bacia do Paraná e por sedimentos recentes expondo as rochas graníticas do Maciço Capão Bonito nas cabeceiras das principais drenagens.

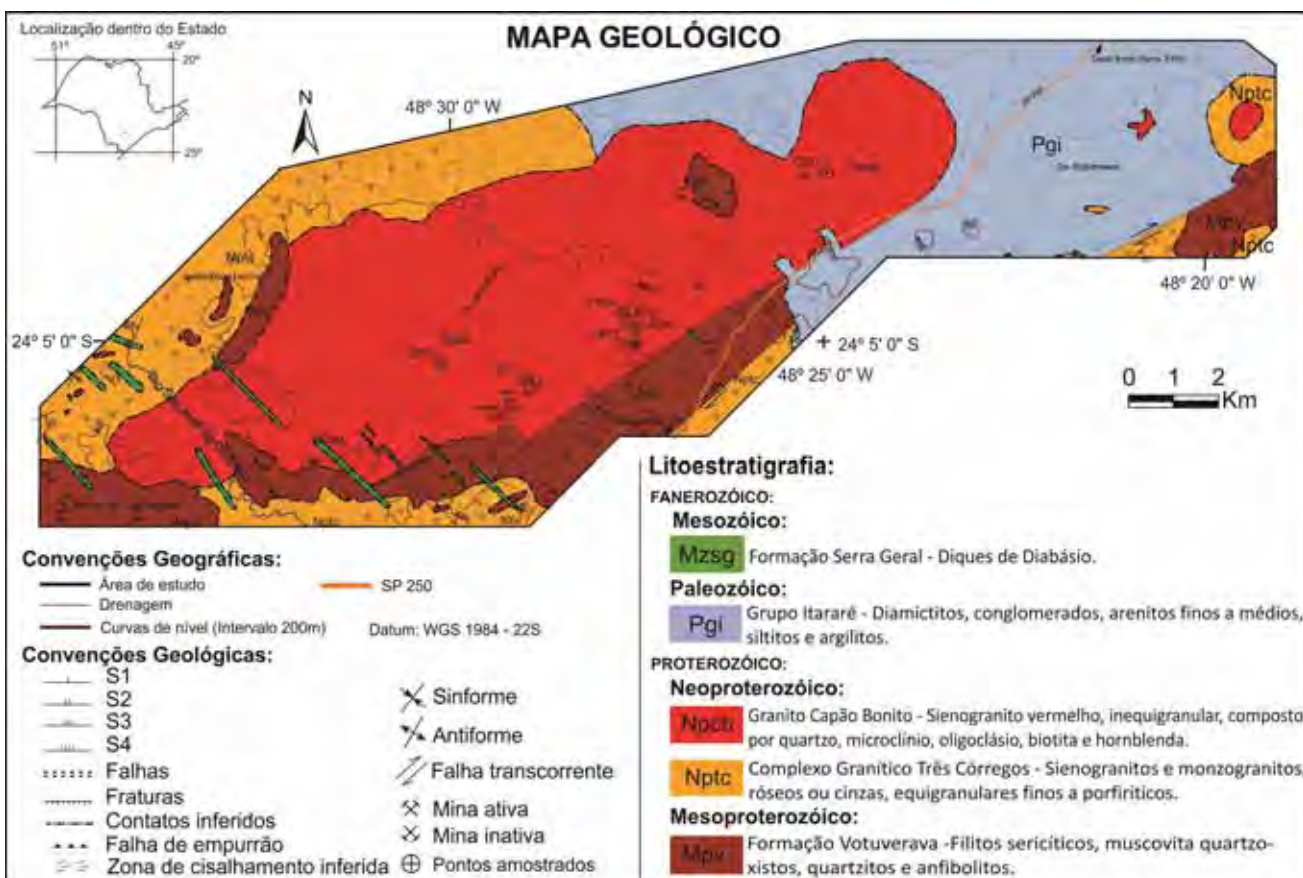
O Grupo Itararé, na área de estudo, está localizado principalmente na porção nordeste, com a presença de arenitos mal selecionados, intercalados com argilitos e conglomerados basais.

Associados ao magmatismo básico da Formação Serra Geral ocorrem na área, sob a forma de diques subverticais, diabásios de granulação fina a média, bem mais raramente de granulação grossa com espessuras métricas orientados segundo a direção NW/SE.

As coberturas sedimentares são constituídas por depósitos recentes formados a partir de diversas áreas-fontes, esses depósitos são de argilas, siltes, areias, cascalheiras, oriundos dos processos de erosão, transporte e posterior deposição em margens de rios, fundos de canal e planícies de inundação, além de sedimentos coluvionares expostos pouco expressivos.

No decorrer deste capítulo será apresentada uma síntese da geologia da área através das suas principais unidades aflorantes que se encontram representadas no mapa geológico da região de Capão Bonito (Figura 38).

Figura 38. Mapa Geológico da região do Maciço Granítico Capão Bonito



Fonte:Elaborada pelo autor.

### V.1.1. ROCHAS DO EMBASAMENTO

O Supergrupo Açungui é representado, na área, pelas unidades mesoproterozóicas da Formação Votuverava. Regionalmente, segundo Faleiros (2008), a formação consiste predominantemente de metapelitos rítmicos (ardósias, filitos e xistos finos) com intercalações de metabasitos e rochas metavulcânicas, juntamente com quartzito, rochas cálcio-silicáticas, mármore e metaconglomerados.

Na área estabelecida de estudo estas rochas ocorrem predominantemente no contato sul e noroeste com as rochas graníticas do Maciço Capão Bonito, além de pequenas exposições (tetos pendentes) remanescentes sobre o corpo ígneo, sendo que o maior ocorre no extremo nordeste do corpo (Figura 39).

Esta formação apresenta abrangência na área mapeada, sendo constituída por uma sequência metavulcano-sedimentar caracterizada por uma sucessão de litotipos predominantemente clásticos, raros químicos e intrusivas básicas metamorfisadas no mesoproterozóico. A Formação Votuverava é representada predominantemente por filitos, metarenitos e metassiltitos, metarritmitos e localmente evidencia-se a presença de xistos representados por uma granulação mais desenvolvida, além das rochas metabásicas.

Os filitos de coloração avermelhada a arroxeadas constituem o litotipo mais representativo da área (Figura 39), e são constituídos predominantemente por sericita (50-70%) e quartzo (50-30%) e gradam para metarritmitos a partir de estruturas rítmicas onde se alternam porções psamo-pelíticas (arenosas, siltosas e argilosas) com diferentes espessuras /ou colorações.

Os pacotes onde prevalecem metassedimentos argilosos ou silto-arenosos, cujas espessuras são destacadas foram descritos, respectivamente, como lentes de filitos, metassiltitos e metarenitos.

Os filitos são sericíticos e ocorrem sob a forma de um pacote com direção NE-SW, em contato gradacional com metassiltitos e metarenitos definido por um bandamento composicional primário e apresentando uma feição planar (clivagem ardósiana) bem proeminente nestas rochas, quando mais distante das zonas de contato com o granito.

Esta feição planar é vista ao longo de toda área, alternando-se apenas ao longo da zona de cisalhamento, nas extremidades norte e sul e proximidades do maciço granítico, onde passa para um bandamento tectônico verticalizado, sendo observado um bandamento composicional tectônico definido por lentes milimétricas a submilimétricas de diferentes composições.

No contato norte, estas feições se fazem presentes pelo contato tectônico da Falha de Capão Bonito, constituinte da Zona de Cisalhamento Itapirapuã e no contato sul estas feições são impostas pela Falha do Bairro dos Alves (CHIODI FILHO et al., 1983), parte da Zona de Cisalhamento Quarenta Oitava (PRAZERES FILHO et al., 2003).

**Figura 39.** Filito sericítico da Formação Votuverava



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

As lentes de metarenitos apresentam-se na forma de bancos ou de corpos geometricamente lenticulares de pequenas espessuras inseridos nos metarritmitos. São compostos basicamente por quartzo e pequenas quantidades de sericita, de granulometria fina e que se encontram paralelizadas à foliação. Quando a recristalização dos grãos é mais intensa são denominados de quartzitos, como evidenciado na Serra do Cantagalo.

As ocorrências são predominantemente sob duas formas, a primeira com frequência, ocorre em meio aos metarenitos, ou em contato entre camadas de filito e metarritmito, veios de quartzo leitoso sustentando as cristas de elevações, com direções NE-SW e E-W.

A segunda, de maior expressão, ocorre na Serra do Cantagalo constituída por quartzito de coloração branca e apresentando menores a raras ocorrências associadas de muscovita (Figura 40). Pode-se gradar para níveis mais feldspáticos.

**Figura 40.** Aspectos do quartzito exposto na Serra do Cantagalo.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Aflora na região noroeste da área fazendo contato entre as rochas graníticas do Capão Bonito e do Três Córregos, na forma de uma serra alongada na direção NE-SW, com aproximadamente 3 km de comprimento (Figura 41C). Encontram-se associados veios de quartzo leitoso sustentando as cristas mais elevadas da serra, dispostos com as mesmas direções.

As rochas quartzíticas evidenciam um caráter deformacional imposto por uma deformação subvertical associada à de Falha de Capão Bonito (NE-SW) que faz parte da Zona de Cisalhamento Itapirapuã e pelo intenso fraturamento visualizado na mina abandonada (Figura 41B).

Os metassiltitos restringem-se a pequenas lentes em contato transicional com os metarritmitos finos. Constituem uma transição lateral da unidade metarenítica aflorante e são compostos predominantemente por quartzo e porcentagens menores de sericita.

O muscovita xisto e muscovita-biotita xisto ocorrem na forma de lentes ou na forma de camadas geometricamente lenticulares de pequenas espessuras, numa faixa de direção NE-SW, constituindo graduações das rochas filíticas que são dominantes na área. A rocha é marcada por uma foliação principal dada pela

intercalação de bandas mais quartzosas e outras mais micáceas compostas por muscovita e biotita com granulações médias e de coloração esbranquiçada, constituída por quartzo e muscovita, às vezes avermelhada pela presença, também de biotita (Figura 42), com variações composicionais dadas por porções mais quartzosas e outras mais micáceas. Apresentam composição estimada de 50% de quartzo, < 30% de muscovita, 5 a 30% de biotita e quantidades menos significativas de feldspato potássico, opacos e zircão.

**Figura 41.** Ilustração da ocorrência dos quartzitos da Serra do Cantagalo.



**Legenda:** **A)** Quartzito que limita, à oeste da área de estudo, a ocorrência do “Granito Vermelho Capão Bonito”; **B)** Mina desativada com extração para pavimentação de estradas vicinais; **C)** Os quartzito na Serra do Cantagalo. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 42.** Muscovita-biotita xisto da Formação Votuverava



**Fonte:** Elaborada pelo autor.



As metabásicas são raras e ocorrem na forma de pequenos corpos alongados com direção geral NE-SW, concordantes com a direção das camadas dos metassedimentos encaixantes e localizam-se na porção centro-oeste da área, próximo ao Córrego Santana em meios aos filitos sericíticos. Apresentam textura granonematoblástica fina a média e um bandamento composicional incipiente formado pela maior concentração de plagioclásio em camadas milimétricas descontínuas, alternadas com camadas ricas em anfibólio. Compõem-se predominantemente por actinolita, clorita e plagioclásio e menor porcentagem de quartzo, epidoto e carbonatos (Figura 43).

**Figura 43.** Ilustração da ocorrência das rochas metabásicas da Formação Votuverava



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

A sequência química é representada por rochas cálcio-silicatadas que gradam para cálcio-filitos ou cálcio-metarenitos, dispostas em pequenas lentes, não diferenciadas composicionalmente neste trabalho.

O metamorfismo de contato associado às zonas marginais do Granito Capão Bonito é observado principalmente nos metassedimentos do contato sul em paragênese nas fácies albita-epidoto e hornblenda hornfels. Quando superpostas as deformações miloníticas a estas rochas encaixantes estas feições metamórficas não são observadas.

### V.1.2. COMPLEXO GRANÍTICO TRÊS CÓRREGOS

O Complexo Granítico Três Córregos aflora em contato com o Granito Capão Bonito no extremo leste da área e nos contatos noroeste e sudeste do corpo, disposto segundo a direção NE-SW.

O contato norte do Granito Capão Bonito com estes granitóides se faz por meio de contato tectônico através da Falha de Capão Bonito - Zona de Cisalhamento Itapirapuã, impondo uma deformação milonítica subvertical em rochas granitóides que apresentam uma foliação de baixo ângulo associada às falhas de empurrão. A mesma situação deformacional é encontrada no contato sul imposta pela Falha do Bairro dos Alves - Zona de Cisalhamento Quarenta Oitava. Distando destas zonas de cisalhamento somente é observada a deformação de baixo ângulo de intensidade fraca a moderada.

A análise foto litológica remete a uma área de colinas com topos arredondados e encostas convexas com declive moderado (relevo de meia laranja), apresentando geralmente rico em matacões de tamanhos diversos (Figura 44).

**Figura 44.** Afloramento das rochas do Complexo Granítico Três Córregos.



**Legenda:** Afloramento na porção oeste da área do monzogranito porfírico Três Córregos nas proximidades do contato com o “Granito Capão Bonito”. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Na área de estudo as rochas deste batólito podem ser caracterizadas predominantemente em fácies porfírica e fácies equigranular de composições sieno- a monzograníticas podendo variar de tonalidades róseas a acinzentadas.

Os monzogranitos porfiróides apresentam matriz equigranular de granulação média a grossa onde estão dispostos fenocristais de feldspato potássico rosado, numa proporção de 10 a 20% do total da rocha, com diâmetro de 1 a 3 cm, podendo atingir em alguns casos a mais de 30% (Figura 45).

O índice de coloração destes litotipos é basicamente leucocrático com variedades desde holo até melagranitóides. A mineralogia básica compreende microclínio perítico, oligoclásio e/ou andesina, quartzo, biotita e hornblenda, ao lado de zircão, apatita, titanita, allanita, turmalina e minerais opacos.

**Figura 45.** Ilustração de ocorrências do monzogranito Três Córregos.



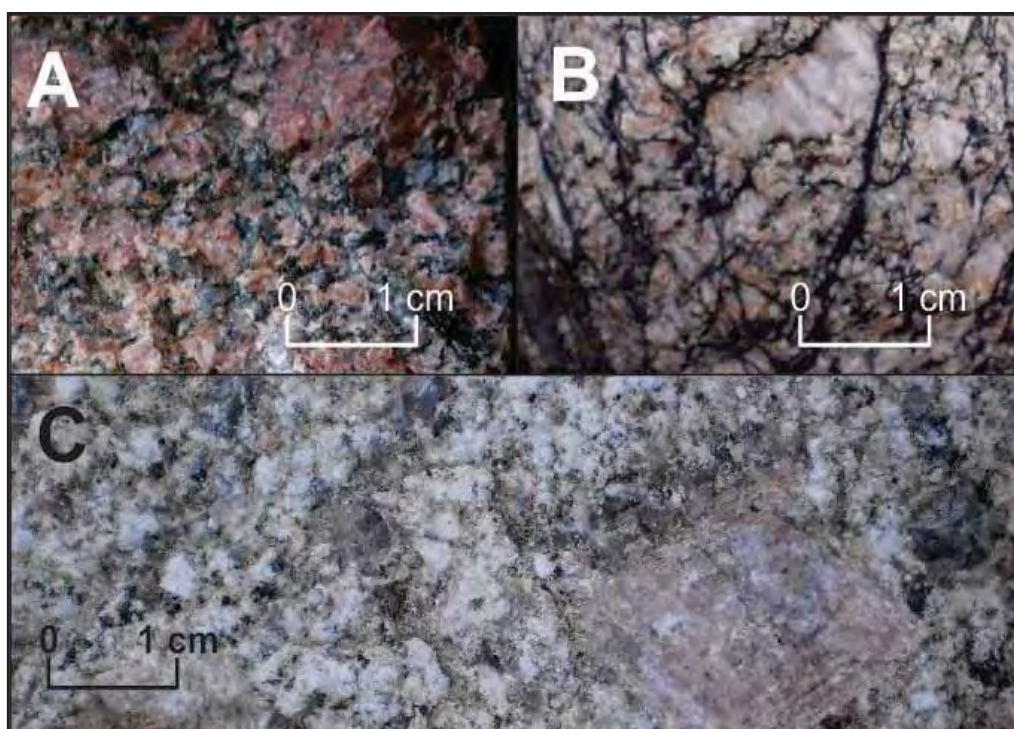
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Em alguns blocos ou afloramentos é notável a presença de uma leve foliação de baixo ângulo, além da deformação milonítica que define os cristais de quartzo estirados com formato sigmoidal em meio a uma matriz mais escura de granulação fina a média de fenocristais também estirados, ou estas zonas atuando em estado mais rúptil, impõem uma forte textura cataclástica com a presença de

pseudotaquilitos (Figura 46A e B). A figura 46C apresenta em detalhe os monzogranitos porfiróides sem deformação proeminente.

Os sieno- a monzogranitos equigranulares róseos ocorrem localmente e com pequena expressão apresentando coloração rósea a branco intrusivos nas fácies porfíricas e apresentando mineralogias semelhantes, somente mais enriquecidos em feldspato potássico.

**Figura 46.** Ilustração da ocorrência do monzogranito Três Córregos.



**Legenda:** A e B) Monzogranito porfíricos apresentando feições cataclásticas e C) Monzogranito porfírico sem presença da forte deformação. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

### V.1.3. MACIÇO GRANÍTICO CAPÃO BONITO

As rochas do Maciço Capão Bonito afloram junto à borda da Bacia do Paraná em um corpo com forma alongada cujo eixo maior apresenta comprimento de 20km segundo a direção geral NE-SW das principais zonas de cisalhamento e uma largura média de 5,5km, perfazendo uma área aproximada de 110km<sup>2</sup>. No extremo NE da área estudada ocorrem pequenos corpos destes granitos aflorantes, e se encontram parcialmente encobertos por sedimentos recentes (Figura 38).

Os falhamentos identificados delimitam contatos tectônicos com as rochas encaixantes, no sul encontra-se delimitado por contatos tectônicos através da Falha do Bairro dos Alves - Zona de Cisalhamento Quarenta Oitava, além de contatos normais com as rochas metassedimentares.

O contato oeste e noroeste se faz a partir da Falha de Capão Bonito - Zona de Cisalhamento Itapirapuã. Os demais contatos da parte norte e nordeste encontram-se encobertos parcialmente por rochas sedimentares do Grupo Itararé da Bacia do Paraná e por sedimentos recentes.

A região central e norte caracterizam-se por uma área arrasada constituindo um planalto entre os fortes da serra com poucos afloramentos na forma de matacões expostos.

No contato norte as rochas do maciço encontram-se pequenas lavras ou exposições de rochas associadas principalmente nas cabeceiras das drenagens.

O contato sul e extremo NW do corpo apresentam-se mais íngremes e encontram-se mais dissecados e erodidos apresentando inúmeras exposições das litologias do maciço demonstrando uma riqueza significativa de grandes matacões e lajedos expostos ou com coberturas de solo menos espessas, contribuindo, portanto, para o direcionamento das frentes de lava.

Na interpretação fotolitológica sua ocorrência reflete, uma área colinosa ou de morrotes, dominada por drenagens dendríticas com maior intensidade na porção oeste.

Seus afloramentos ocorrem, tipicamente, sob a forma de matacões ora em topos de morros arredondados com vertentes convexas e baixas declividades, ora nos vales entalhados, e também no sopé das encostas geralmente côncavas e de topos angulosos das serras de quartzito, com blocos de 2 a 15 metros de eixo maior, em média, apresentando forma predominantemente tabular de arestas arredondadas, exibindo superfície rugosa e discretamente ondulada devido a diferenças de resistência dos minerais ao intemperismo.

Tais localidades, onde aflora o sienogranito, foram denominadas zonas de afloramento em forma de matacões, com suas ocorrências demarcadas na figura 47.

Figura 47. Localização das principais zonas de afloramento do Granito "Vermelho Capão Bonito" (Matacões)

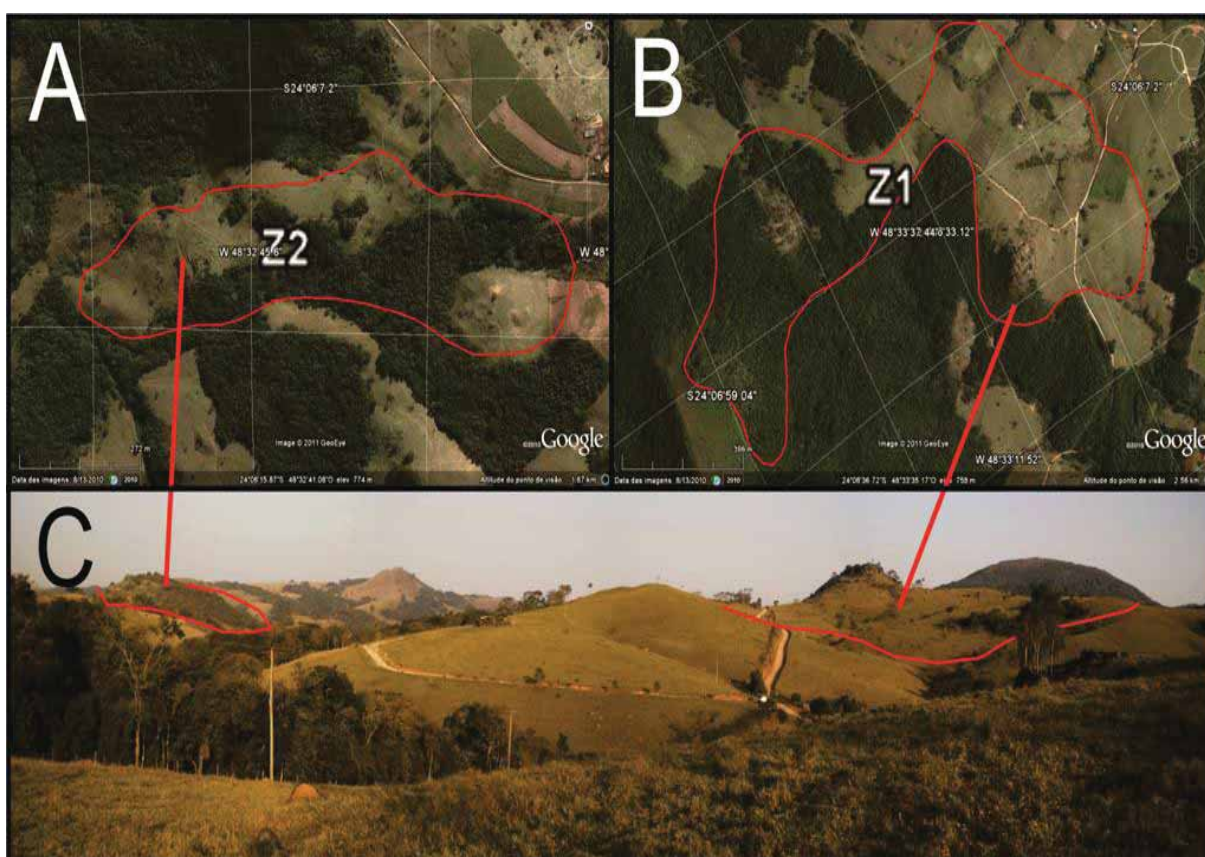


Legenda: Z) Zona de afloramento em forma de matacões; ( ) Área de estudo.

Com relação a estas zonas de matações encontram-se demarcadas nas figuras (Figuras 48 a 52) os limites das principais zonas, ou seja, as zonas onde a incidência de matações com medidas atrativas à exploração é relativamente maior.

As zonas de afloramento 1 e 2 (Figura 48) mostram bem o contraste marcante entre os topos de morros arredondados, de vertentes convexas, típicos das ocorrências de granitos com os topos angulosos e de estruturação bem marcada, de vertentes côncavo-retilíneas das serras formadas pela ocorrência de quartzitos.

**Figura 48** – Zonas de matações 1 e 2.



**Legenda:** **A)** Vista aérea da Zona de matações 2 –Z2; **B)** Vista aérea da Zona de matações 1 – Z1; **C)** Imagem panorâmica ilustrando em campo as Zonas de afloramento Z1 e Z2.  
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

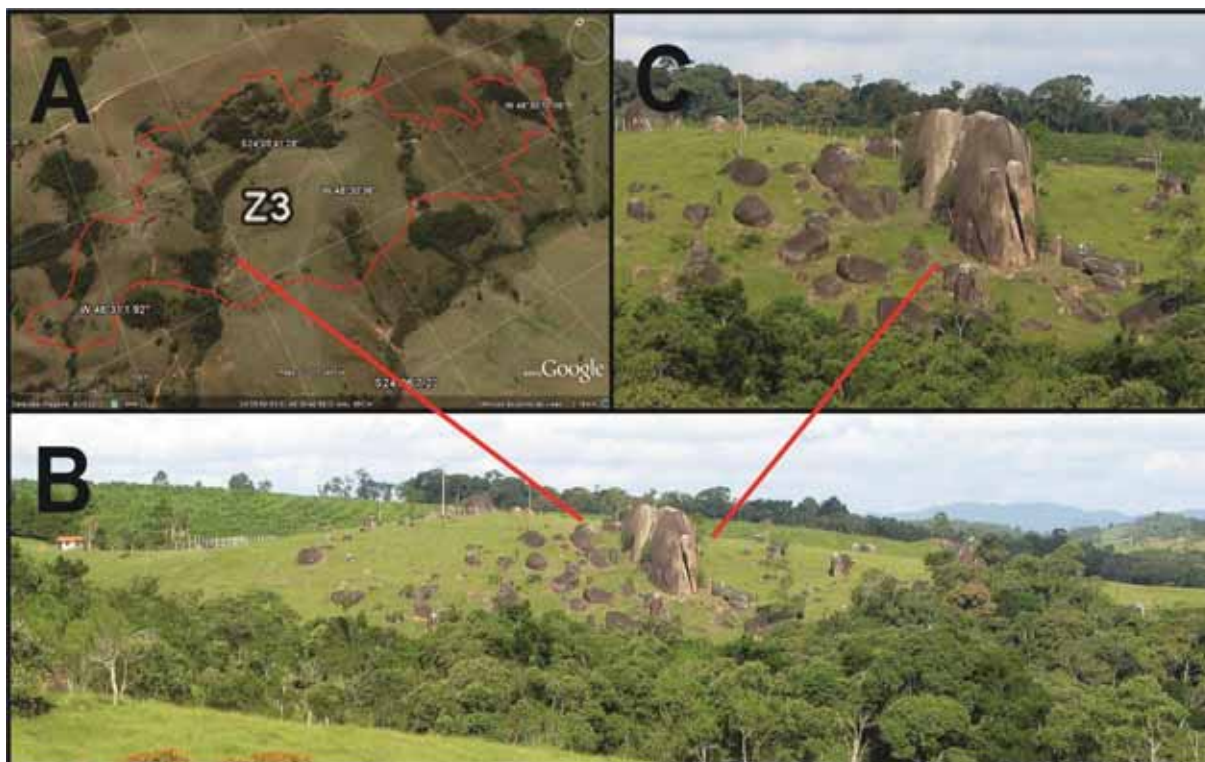
Entre estas as zonas de afloramento com matações 1 e 2 (Figura 48), a que se destaca, em termos de potencial é a Zona 1 (Figura 48 B) por possuir áreas aflorantes com menor cobertura de solo, fácil acesso e volume expressivo de rocha exposta, a exemplo da figura 49.

**Figura 49.** Rochas expostas na zona de matacões 1 (Z1).



A Zona de matacões 3 (Z3) da (Figura 50A) revela também um volume exposto significativo da rocha granítica em estudo, apresentando área com o acesso facilitado pela pouca presença de vegetação e baixa declividade das vertentes, o que facilitaria o escoamento da produção (Figura 50B e C).

**Figura 50.** Zona de afloramento 3 (Z3)



**Legenda:** **A)** Vista aérea da zona de afloramento; **B)** Vista panorâmica de um dos afloramentos da Zona 3; **C)** Detalhe do afloramento. **Fonte:** Elaborada pelo autor.



A zona de afloramentos 4 (Z4), além de possuir uma das duas minas que extraem o “Granito Vermelho Capão Bonito” (Figura 51), expõe outras áreas com potencial para exploração e corrobora a facilidade de acesso encontrada nos demais afloramentos, por seu relevo pouco acidentado com vertentes convexas e topos de morros arredondados.

Na mina dos Granitos Pires pertencente à zona de matacões 4, onde foi recolhido o segundo conjunto de amostras para caracterização (CBT2), a produção de blocos é inexpressiva, pois a empresa produz unicamente para o beneficiamento realizado em uma mini indústria (Figura 52) situada próxima à mina.

A empresa conta para o beneficiamento dos blocos, com um tear multi-lâminas (Figura 52.1), um pau-de-carga do tipo bandeira (Figura 52.2) e uma politriz semi-automática (Figura 52.3).

**Figura 51.** Zona de afloramento 4 (Z4)



**Legenda:** **A)** Vista aérea da zona de afloramento; **B)** Vista panorâmica de um ponto de exposição dentro da zona 4; **C)** Mina parcialmente ativa existente na zona 4. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 52.** Mini indústria de beneficiamento (Granitos Pires)



**Legenda:** 1) Tear Multi-lâminas utilizado para serragem dos blocos; 2) Pau-de-carga do tipo bandeira utilizado para dispor o bloco, recém tirado da mina, sobre o carrinho do tear; 3) Politriz semi-automática com três satélites. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Dentre todas as zonas de afloramento, que ocorrem tipicamente sob a forma de matacões, normalmente associados a uma cobertura de solo bastante espessa entre eles e o maciço de rocha sã, foi dada maior importância às zonas de matacões 4(Z4) e 5 (Z5) vistas nas figuras (figuras 51 e 53).

Nestas zonas de afloramento, estão localizadas as duas únicas minas ativas que exploram o “Vermelho Capão Bonito” como rocha para revestimento, a mina da Granitos Pires (Figura 51C) e a mina da Somibras (Figuras 53B e C).

Nelas foi possível a observação de feições mais detalhadas dos aspectos texturais e estruturais, que não seriam visíveis nos afloramentos inexplorados devido à ação do intemperismo.

Percebe-se, nas figuras 53B e C que a extração realizada na mina da zona 5 encontra-se em um estágio avançado, seus matacões já foram esquadrejados e a mina avança agora sobre o maciço rochoso, com martelos pneumáticos, máquina de corte a fio diamantado e o auxílio de uma pá carregadeira para transporte de rejeito e limpeza das frentes de lavra.

A produção na mina, a mais antiga de exploração do Vermelho Capão Bonito, ainda que em pequena escala, se mantém ininterrupta por se tratar de uma rocha tida como clássica, de acordo com os especialistas do setor, para o mercado consumidor de rochas ornamentais e de revestimento. Neste caso os blocos são transportados e manufaturados em São Paulo.

**Figura 53.** Zona de matacões 5 (Z5)



**Legenda:** A) Vista aérea; B) Visão panorâmica da mina ativa; C) Detalhe da Mina. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Na zona de afloramentos 6 (Figura 54), onde há uma mina inativa, foi coletada a última amostra destinada à análise geoquímica (CBT7).

**Figura 54.** Zona de matacões 6.(Z6)



**Legenda:** A) Vista aérea da Zona de matacões; B) Foto da mina inativa onde foi coletado o conjunto de amostras CBT7. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

A rocha denominada comercialmente como “Granito Vermelho Capão Bonito” é amplamente utilizada como rocha ornamental e muito apreciada pelo mercado por seus aspectos visuais, granulação de média a grossa e isotropia.

A coloração avermelhada confere ao granito um padrão estético apreciado internacionalmente, sendo exportado com o nome *Rubi Red Granite* para a Itália e Japão, fato esse que favoreceu o desenvolvimento das atividades de lavra.

Apresentam aspectos mineralógicos, petrográficos, estruturais e texturais bastante homogêneos para todo o maciço, sendo constituído predominantemente por sienogranitos.

As rochas dominantes são constituídas por sienogranitos vermelhos, holo- a leucocráticas, isotrópicas a levemente miloníticas e/ou cataclásticas nas regiões marginais do maciço ou zona de fraturamento interno do maciço, e evidenciam uma grande homogeneidade textural e composicional.

A maioria dos litotipos é constituída por variedades inequigranulares (Figura 55), apresentando granulação de média à grossa entre 0,2 cm a 1,5 cm a levemente porfiróide (Figura 56), com predominância de fenocristais de feldspato potássico variando entre 0,5 e 4,5 cm, além de corpos apresentando feições equigranulares de menores expressões.

**Figura 55.** Ilustração do sienogranito inequigranular do Capão Bonito.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

As fácies inequigranulares a levemente porfiróides ocupam quase que a totalidade do corpo magmático e apresentam estrutura isotrópica, com distribuição caótica dos fenocristais e da matriz.

**Figura 56.** Detalhe da fácies de sienogranito porfiróide do Capão Bonito.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

A fácies equigranular de granulação média apresenta composição semelhante a da anterior, porém, ocorre nas porções mais próximas ao contato com as rochas encaixantes na região centro-sul da área estudada e sugere-se a suas feições texturais devido a uma cristalização mais rápida na borda do maciço.

Quanto ao microfissuramento, a rocha apresentou, no conjunto de amostras CBT1, uma família de microfissuras transgranulares (Figura 57) coincidentes com um dos planos de corte (levante - corte horizontal) para isolamento de volumes primários (quadrotes) realizados em uma das minas da região, observação esta, que justifica a realização dos ensaios de caracterização tecnológica.

Estas microfissuras não foram identificadas com tanta expressão nos demais conjuntos de amostras e uma das justificativas para tal constatação pode ser o volume de rocha extraído na mina onde o conjunto de amostras CBT1 foi coletado, ou seja, uma vez que a pressão incidente sobre o maciço foi diminuída (com a retirada de blocos e rejeito) o alívio das tensões confinantes foi instalado sob a forma de microfissuras de expansão (Figura 57).

**Figura 57.** Detalhe para microfissuras transgranulares



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Sua ocorrência na mina da Somibras apresenta aspecto homogêneo na maior parte da área aflorante, contudo apresentam feições geológicas localizadas que desvalorizam ou por consequência inutilizam a rocha e implicam em uma perda maior dos blocos explorados.

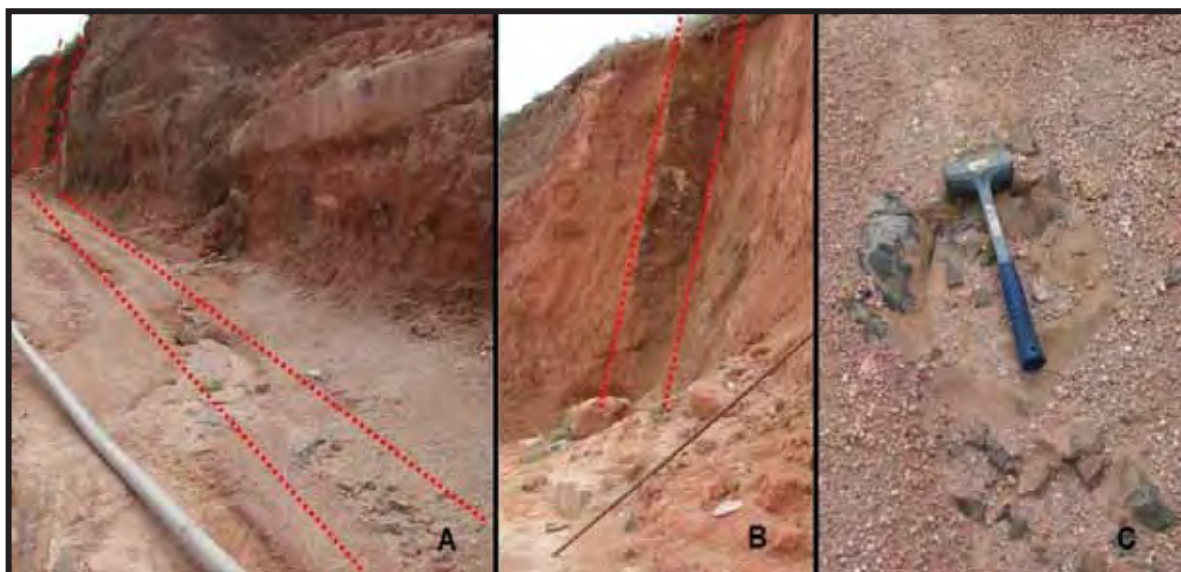
Pode observar pela presença de planos de falhas (Figura 58), diques de diabásio intrudidos com direção NE/SW (Figura 59), veios de quartzo e veios pegmatóides (Figura 60), estruturas de *schlieren* definida pela concentração de minerais máficos centimétricas ou localizadas (Figura 61) ou pela concentração de megacristais de feldspato potássico, mistura e consumo de magmas mais ricos em máficos (Figura 62) e raramente pequenos enclaves (Figura 63) e xenólitos de granitos distintos (Figura 64). Estas feições encontram-se realçadas em blocos do granito "Vermelho Capão Bonito" em mina ativa na zona de matações 5

**Figura 58.** Planos de falhas e juntas nas rochas do Maciço Capão Bonito.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 59.** Dique de diabásio intrusivo nas rochas do Capão Bonito.



**Legenda:** **A)** Foto do afloramento; **B)** foto do dique exposto no talude e; **C)** detalhe do dique. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 60.** Veio pegmatóide no Maciço Granítico Capão Bonito



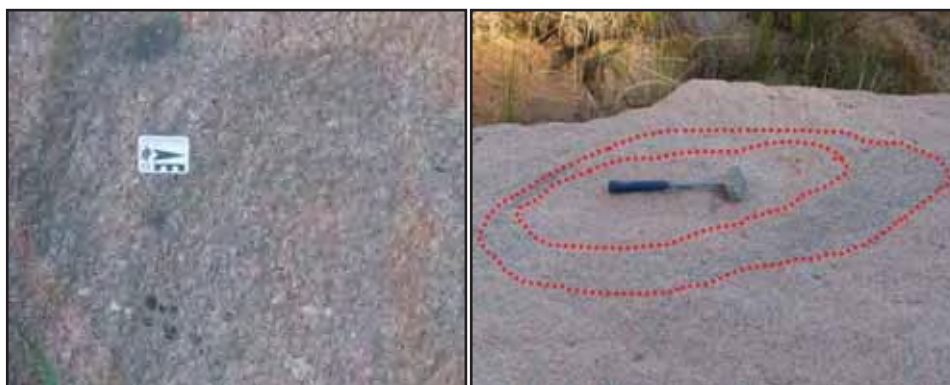
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 61.** Estruturas *schlieren* definidas pelas concentrações de minerais máficos em bloco do granito “Vermelho Capão Bonito”



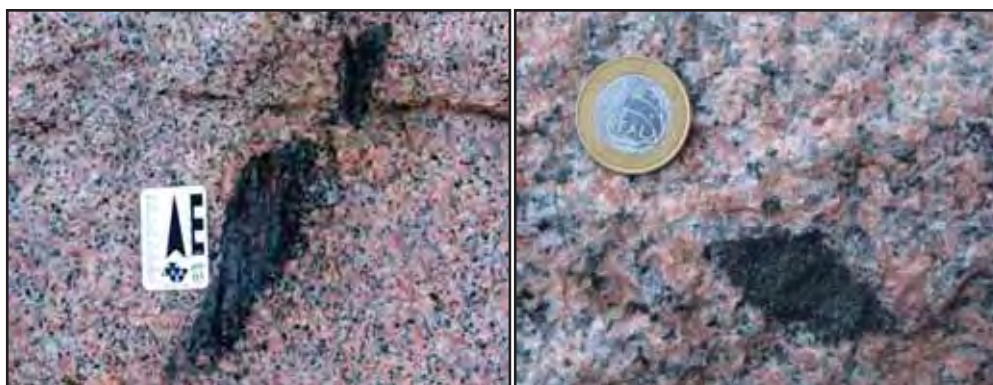
Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 62.** Mistura e consumo de magmas mais ricos em máficos em bloco do granito "Vermelho Capão Bonito"



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 63.** Presença de pequenos enclaves micáceos em bloco do granito Capão Bonito



Fonte: Elaborada pelo autor.



**Figura 64.** Xenólitos de granitos distintos em bloco do granito Capão Bonito



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

#### V.1.4. ROCHAS DA BACIA DO PARANÁ.

##### V.1.4.1. ROCHAS SEDIMENTARES - GRUPO ITARARÉ

O Grupo Itararé ocorre com maior expressão na região, principalmente na porção norte e nordeste em contato erosivo com o as rochas do Maciço Granítico Capão Bonito, e esporadicamente nas áreas limítrofes, como morros testemunhos. São arenitos mal selecionados, intercalados com argilitos e conglomerados na base (Figura 65).

**Figura 65.** Grupo Itararé (arenito mal selecionado com seixos de quartzo)



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

### V.1.5. ROCHAS MAGMÁTICAS – F. SERRA GERAL

O magmatismo da Formação Serra Geral ocorre na área na forma de diques de diabásio, que superpõem toda área, com espessura de metros a dezenas de metros e com mergulhos sub-verticais (Figura 66), controlados por um *trend* de direção principal NW-SE, que são correlatos aos diques que se encaixam na direção das juntas e enxames de diques do Lineamento Guapiara (NW-SE).

Os diques, assim como as outras estruturas do lineamento, são responsáveis por largo controle geomorfológico da área sustentando morrotes, principalmente em faixas de ocorrências de metassedimentos.

O controle citado é expresso tanto pelas disposições de drenagens assim como o alinhamento do topo dos morros, que são alongados e arredondados, na direções NW-SE.

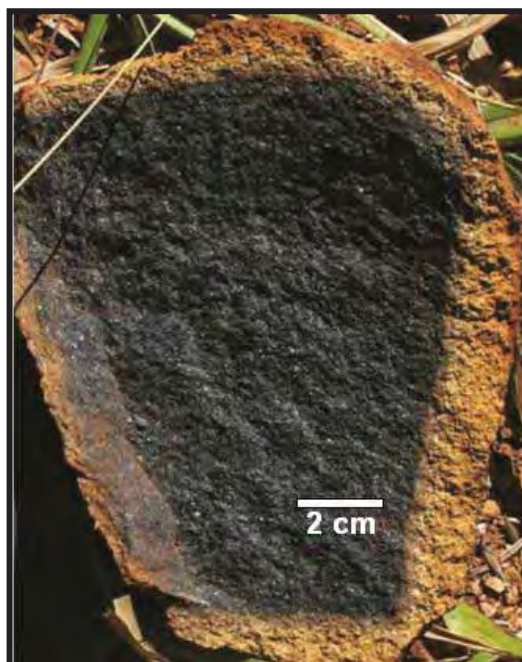
**Figura 66.** Intrusão de diabásio no corte da estrada



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Na grande maioria das vezes são encontrados na forma de blocos com tamanhos que variam desde alguns centímetros até poucos metros, quase sempre arredondados em encostas de morros ou dentro de drenagens. Sua característica mais marcante é apresentar esfoliação esferoidal (Figura 67), e estarem imersos em solo argiloso de cor vermelha.

**Figura 67.** Diabásio pertencente à Formação Serra Geral com esfoliação esferoidal.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os diabásios são rochas isotrópicas, equigranulares, de granulação fina a média, podendo ocorrer textura gabróide onde os cristais de plagioclásio aparecem envolvendo os de piroxênio. Apresentam composição média de labradorita (50%), augita (40%), clorita, (5%), opacos, (5%), e traços de olivina, biotita e cloritas.

#### V.1.6. COBERTURAS SEDIMENTARES

São depósitos recentes de sedimentos de idade Quaternária, sendo observadas as coberturas aluvionares sempre nos entornos de drenagens, principalmente nas de baixa energia ou então em drenagens com o vale bem desenvolvido em planícies de inundação, ou na forma do entorno das serras da área são observados depósitos coluvionares pouco expressivos, com blocos de rocha de tamanhos diversos associados (Figuras 68).

São constituídos predominantemente por depósitos finos, como argilas e areias finas, com grande presença de matéria orgânica e depósitos areno-argilosos e algumas cascalheiras com seixos subangulares milimétricos (Figuras 69).

**Figura 68.** Sedimentos recentes de abandono de canal e meandro de córrego com extração de areia oriunda da erosão da pedreira Somibras (Maciço Capão Bonito).



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 69.** Nível de cascalheira com sedimentos angulosos



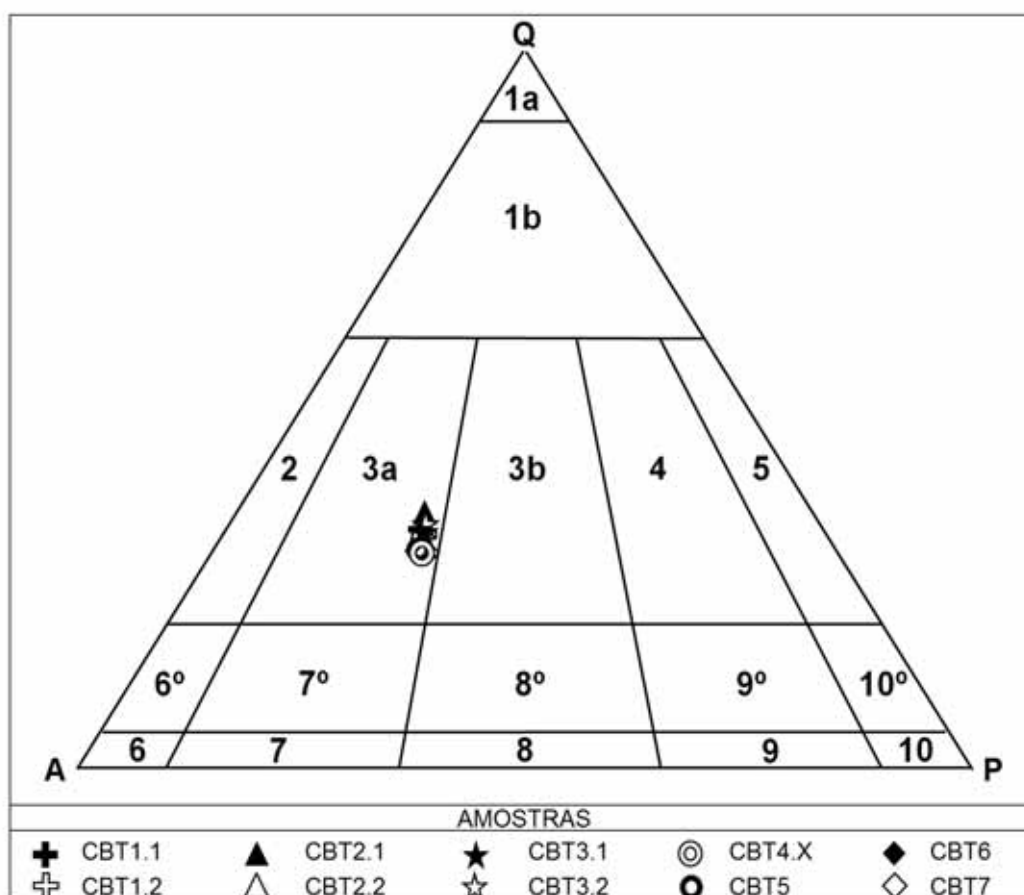
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

## V.2. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

A análise petrográfica foi realizada para caracterização microscópica das amostras estudadas e as informações adquiridas a partir dela foram confrontadas aos resultados da caracterização tecnológica, na tentativa de explicá-los de modo a auxiliar, com caráter preventivo, na tomada de medidas direcionadas às patologias e fadigas as quais tais rochas são expostas quando aplicadas.

Os dados oriundos da contagem modal foram lançados no diagrama QAP de Streckeisen (1976) (Figura 70) e a tabela 3 reúne as principais características petrográficas das amostras ensaiadas e uma definição breve dos litotipos que não foram utilizados pelos testes de caracterização tecnológica.

**Figura 70.** Classificação modal das rochas do Maciço Granítico Capão Bonito



**Legenda:** Classificação de rochas (M<90); 3a) Sienogranito. **Fonte:** Elaborada pelo autor com base em Streckeisen (op. cit.).

Tabela 3. Resumo petrográfico das lâminas de amostras coletadas em campo

Composição mineralógica (%)		Vermelho Capão Bonito - Lâminas CBT												
		1.1 (p)	1.2 (n)	2.1 (p)	2.2 (n)	3.1 (p)	3.2 (n)	4x*	5	6	7			
Quartzo		31	31	33	31	30	31	27	28	28	28			
Microclínio		41	41	40	39	42	41	41	43	44	42			
Plagioclásio		20	22	21	22	21	22	22	22	21	23			
Biotita		6	4	4	6	5	4	7	5	6	5			
Hornblenda		1	1	1	1	1	1	2	1	-	1			
Acessórios (Epidoto, Apatita, Zircão e Minerais Opacos)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Classificação petrográfica (QAP)		Sienogranito												
Gran. (mm)	Variação	2 a 40			2 a 45			2 a 35			<1	2 a 45	2 a 35	2 a 40
	Predominância	5 a 15			5 a 10			5 a 15			<1	5 a 15	5 a 15	5 a 15
Estrutura		Maciça												
Textura		Fanerítica Inequigranular							Fanerítica Equigranular		Fanerítica Inequigranular			
Índice de minerais escuros (M)		M<90												
Índice de microfissuras (mf/mm <sup>2</sup> )	Tipo	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	
	Inter P	1,250	0,010	1,240	0,001	1,800	0,020	1,640	0,004	1,340	0,007	1,290	0,013	
	Inter nP	0,540	0,017	1,290	0,006	1,010	0,010	1,830	0,024	0,770	0,004	1,190	0,014	
	Intra P	0,750	0,042	1,550	0,031	0,680	0,230	0,670	0,028	0,750	0,006	1,220	0,038	
	Intra nP	0,460	0,297	0,640	0,064	0,980	0,030	0,880	0,173	1,120	0,176	0,770	0,248	
	Trans P	3,000	0,000	6,000	0,016	0,000	0,000	5,000	0,003	24,000	0,002	0,000	0,000	
	Trans Np	0,000	0,001	3,000	0,001	1,500	0,000	0,000	0,000	6,050	0,002	0,000	0,000	
	Total	1,000	0,367	2,287	0,119	0,995	0,290	1,670	0,232	5,672	0,197	0,745	0,313	
	Média total	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	
		1,64	0,243	1,33	0,261	3,21	0,255							
Classificação -média por lâmina		Alto***		Moderado****		Alto***		Moderado****		Moderado****		Alto***		
Contato (%)	Côncavo	23	19	26	30	10	12							
	Convexo	30	19	22	28	10	12							
	Serrilhado	16	25	24	7	35	43							
	Lobulado	0	0	0	0	0	0							
	Esgarçado	20	5	7	0	0	0							
	Sinuoso	0	0	0	0	0	0							
	Engrenado	0	10	4	14	10	20							
Retilíneo	11	22	17	21	35	13								
Processo de transformação mineral:		Incipiente *****												
Legenda:														
Gran. (mm)	=	Granulação expressa em milímetros				4x * =Xenólito de monzogranito fino a médio								
Tm	=	Tamanho				Alto*** = Alto, índice de microfissuramento (> que 0,25 mf/mm <sup>2</sup> )								
Qtd	=	Quantidade				Moderado **** = Índice de microfissuramento entre 0,1 e 0,25 mf/mm <sup>2</sup>								
mf/mm <sup>2</sup>	=	Microfissuras por milímetro quadrado				Incipiente***** = Processo de transformação mineral (>10 a 30%)								
N/A**	=	Não Analisados				(p) e (n) = relacionados ao palno de microfissuramento: (p) paralelo; (n) normal.								

### Vermelho Capão Bonito CBT1 (Sienogranito)

Rocha de cor vermelha (Figura 71) definida pela dominância de microclínio, estrutura maciça isotrópica, com uma branda estruturação causada, provavelmente, pelo fluxo magmático, marcado pela leve orientação preferencial dos agregados de quartzo lenticulares. Exibe ainda, uma textura fanerítica com granulação que vai de média a grossa, marcadamente inequigranular, hipidiomórfica (presença de cristais anedrais e subedrais).

Os contatos minerais identificados são, em sua maioria, côncavo-convexos (entre 38% e 53%), com ocorrência de contatos serrilhados, esgarçados e retilíneos em menores proporções evidenciando um bom imbricamento mineral.

A granulação varia de 0,2 cm a 4,0 cm, com predominância de cristais entre 0,5 e 1,5 cm. O mineral que detém os cristais de maiores dimensões é o microclínio, que responde por cerca de 34% do volume da rocha e se apresenta em suas formas subédrica (com seções basais chegando a dimensões de 1,0 cm x 1,0 cm) a anédrica (com dimensões variando entre 0,2 x 0,2 x 1,0 cm e 1,0 cm x 1,0 cm x 4,0 cm) o que permite constatar um bom imbricamento mineral.

**Figura 71.** Sienogranito “Vermelho Capão Bonito”



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Quanto ao microfissuramento percebe-se que a rocha apresenta uma família de microfissuras em sua maioria transgranulares. As microfissuras intergranulares

parecem, nesta escala, coincidir com os planos de clivagem (principalmente dos cristais de microclínio, que são os maiores), o que torna difícil sua distinção.

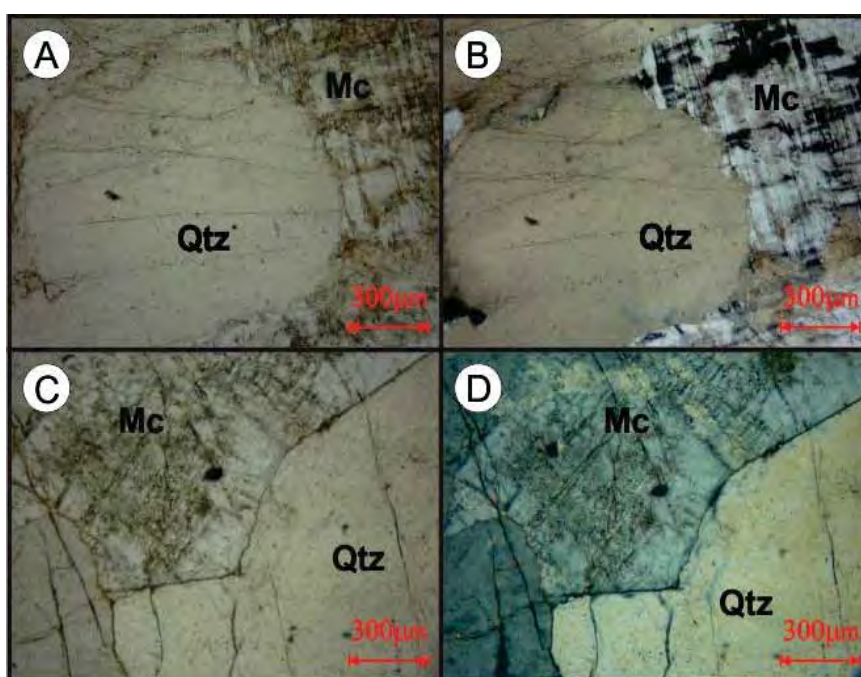
A composição modal dos minerais presentes nas lâminas CBT1.1 e CBT1.2 determinada, em escala microscópica, encontra-se sumarizada na tabela 4.

**Tabela 4.** Composição mineralógica modal CBT1 (%)

Composição Mineralógica Sigla das lâminas: CBT1.1/CBT1.2	(% modal contada)		
	CBT1.1	CBT1.2	Média
Quartzo	31	31	31
Microclínio	41	41	41
Plagioclásio (oligoclásio)	20	22	21
Biotita	6	4	5
Hornblenda	1	1	1
Minerais Acessórios (opacos, zircão e apatita)	1	1	1

A presença de cristais de microclínio pertíticos apresentando típica geminação em grade (Figura 72), com pertitas dos tipos filmes, veios e manchas em CBT1.1 e CBT1.2.

**Figura 72.** Fotomicrografias de cristais de quartzo com leve extinção ondulante, em contato com cristais de microclínio.



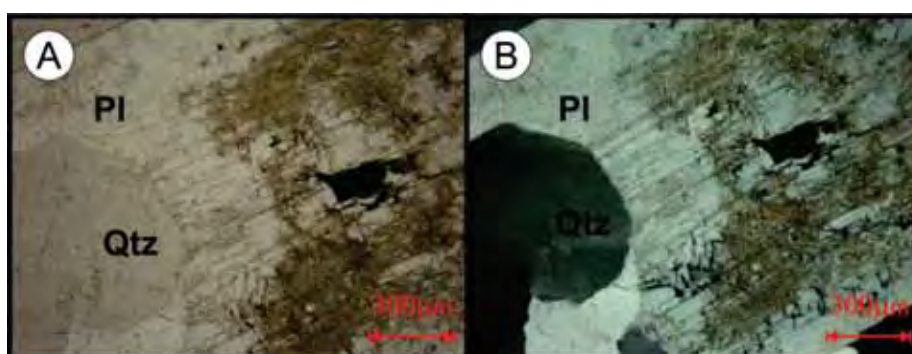
**Legenda:** Qtz) Quartzo; Mc) Microclínio; (A,C) Nicóis paralelos; (B,D) Nicóis cruzados.  
**Fonte:** Elaborada pelo autor.



Os cristais subedrais de plagioclásio detêm cerca de 28% do volume da rocha com cristais prismáticos de dimensões médias entre 0,2 cm e 0,4 cm.

O plagioclásio está representado pelo oligoclásio, com geminação polissintética (Figura 73), forma subédrica, localmente zonados, com núcleos mais cálcicos e bordas mais sódicas, vistas por processos de saussuritização.

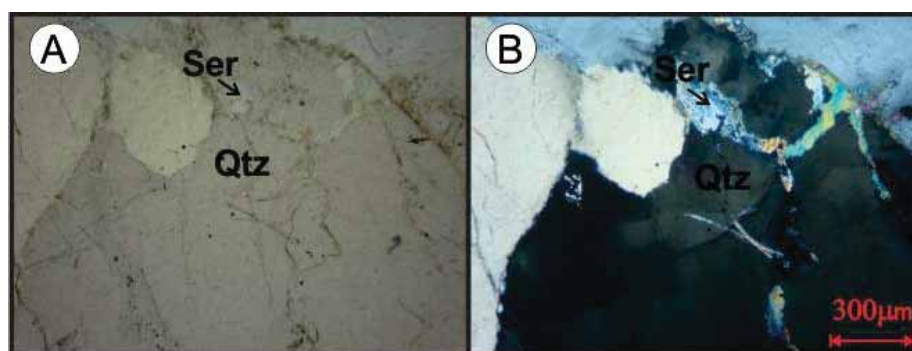
**Figura 73.** Fotomicrografias de cristais de quartzo anedrais com extinção ondulante e subgrãos em contato com oligoclásio anedral com geminação polissintética apresentado-se saussuritizado.



**Legenda:** Qtz) Quartzo; PI) Plagioclásio (Oligoclásio); (A) Nicóis paralelos; (B) Nicóis cruzados. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

O quartzo anedral (Figura 74) intersticial com leve extinção ondulante, apresenta formas irregulares alongadas e lenticulares e é responsável por cerca de 31% do volume da rocha proporcionando um bom engrenamento mineral para a rocha por estar imerso por cristais de microclínio e plagioclásio.

**Figura 74.** Fotomicrografias de cristais de quartzo anedrais apresentando microfissuras com preenchimento geralmente feito por sericita.



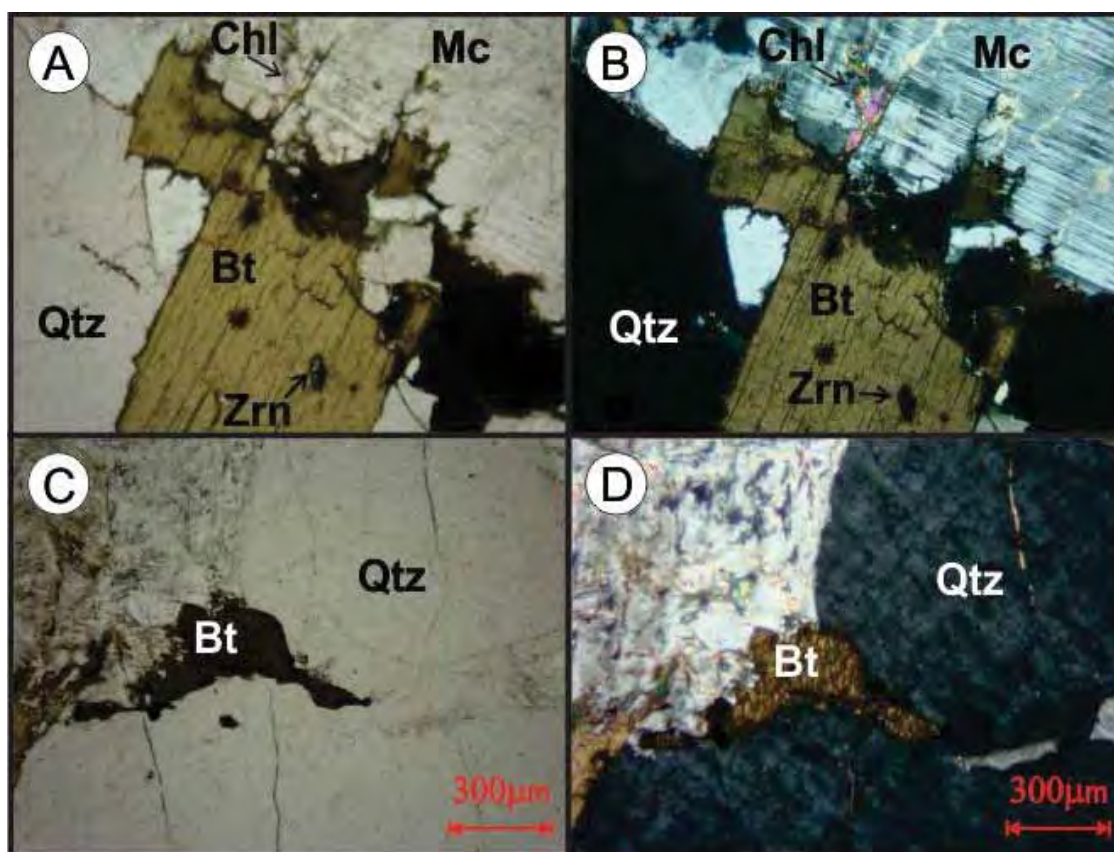
**Legenda:** Qtz) Quartzo; Ser) Sericita; (A) Nicóis paralelos; (B) Nicóis cruzados. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Seus cristais apresentam dimensões médias entre 0,2 cm e 0,5 cm, mas podem chegar até 2 cm. Sua observação em escala macroscópica permite dizer que possui moderado grau de microfissuramento intragrãos e baixo grau de microfissuramento intergrãos.

A porcentagem de minerais máficos é representada pela biotita e hornblenda em torno de 7%. A biotita (Figura 75) ocorre como lamelas geralmente isoladas ou constituindo pequenos agregados irregularmente distribuídos pela lâmina. Exibe porções fracamente cloritizadas. Pode-se verificar certa instabilidade, confirmada pela liberação de óxido de ferro caracterizado pela existência de minerais opacos secundários disseminados e concentrados ao longo de seus planos de clivagem.

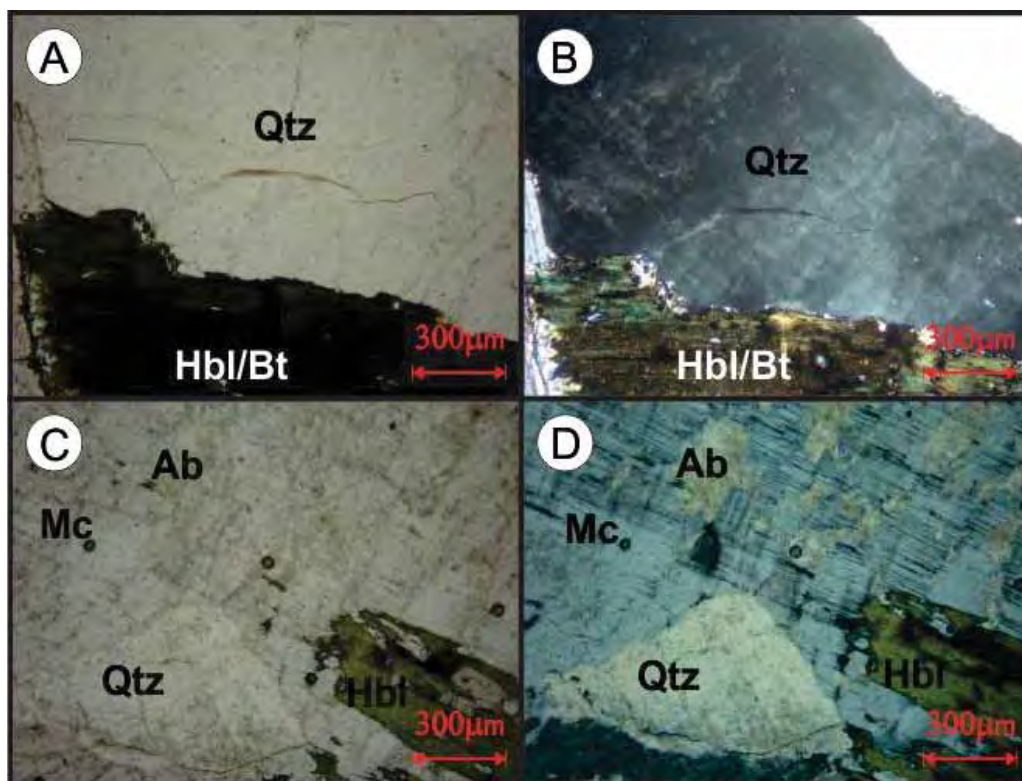
A hornblenda ocorre localmente apresentando transformações parciais em biotita e clorita (Figura 76).

**Figura 75.** Fotomicrografias de cristais de biotita com início de cloritização e minerais opacos secundários, microfissuras com preenchimento por sericitas em contato com cristais de quartzo e microclínio.



**Legenda:** Qtz) Quartzo; Bt) Biotita; Chl) Clorita; Mc) Microclínio; Zrn) Zircão; (A,C) Nicóis paralelos; (B,D) Nicóis cruzados. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 76.** Fotomicrografias mostrando a hornblenda cloritizada, presença de cristal de hornblenda pouco alterado em contato com cristal de microclínio pertítico e quartzo.



**Legenda:** Ab) Albite; Qtz) Quartzo; Hbl/Bt) Transição Hornblenda/Biotita; Mc) Microclínio; (A,C) Nicóis paralelos; (B,D) Nicóis cruzados. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Com relação ao estado microfissural, se analisarmos a amostra CBT1 como um todo, ela apresenta moderado índice de microfissuramento mineral ( $\geq 0,25$  mf/mm<sup>2</sup>) com cerca de 0,24 mf/mm<sup>2</sup> e comprimento médio total de 1,64 mm. De maneira predominante ocorrem as microfissuras intragranulares (com maior representatividade em CBT1.1, cerca 0,34 mf/mm<sup>2</sup> e tamanho médio de 0,61 mm). Cerca de 0,297 mf/mm<sup>2</sup> das microfissuras (de maior representatividade) evidenciadas em CBT1.1 são microfissuras não preenchidas (nP) e 0,042 mf/mm<sup>2</sup>, são as preenchidas (P) geralmente por sericita e raramente por quartzo.

As microfissuras intergranulares ocorrem, como pode ser visto no Resumo Petrográfico, com tamanho médio próximo a 0,89 mm.

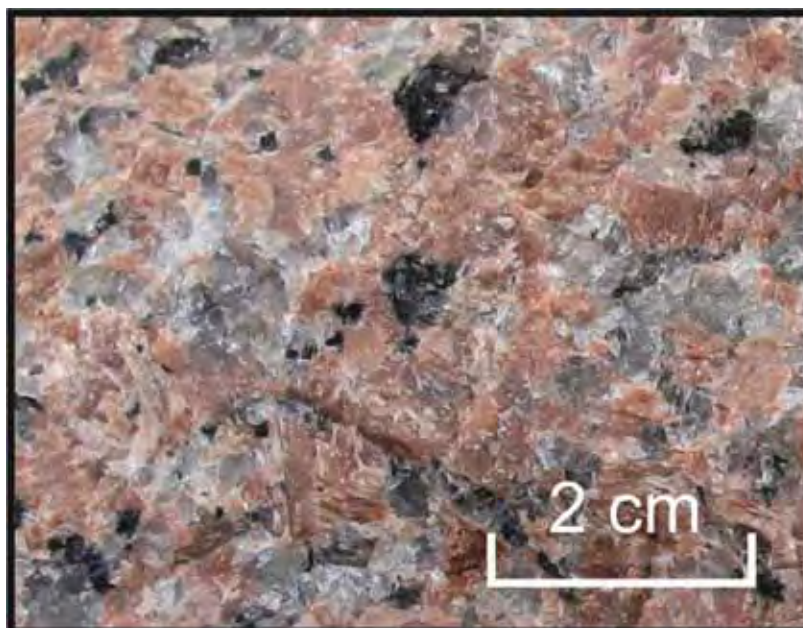
As microfissuras tidas como transgranulares não têm muita expressão nestas lâminas, apresentando-se apenas em CBT1.1, com 0,001 mf/mm<sup>2</sup>, preenchidas por sericita e tamanho médio de 1,5 mm.

Em relação às alterações minerais, foi identificado um grau moderado de alteração caracterizado pela biotitização e cloritização das hornblendas modificando-as em biotitas e cloritas, pela fraca saussuritização dos cristais de plagioclásio (ocorrência de epidoto e sericita) e por discreta sericitização normalmente nos interstícios e microfissuras dos minerais, além de pequenas transformações do feldspato em argilo minerais em CBT1.1.

### **Vermelho Capão Bonito CBT2 (Sienogranito)**

Trata-se de uma amostra de rocha de cor vermelha, estrutura maciça, textura fanerítica, inequigranular com granulação que vai de média a grossa a porfírica (Figura 77). A granulação varia de 0,2 cm a 4,5 cm, com predominância de cristais entre 0,5 cm e 1 cm.

**Figura 77.** Sienogranito Vermelho Capão Bonito



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

O mineral que detém os cristais de maiores dimensões é o microclínio, que responde por cerca de 34% do volume da rocha e se apresenta sob formas subédricas (com seções basais chegando a dimensões de 1,0 cm x 1,0 cm x 4,5 cm) a anédricas (com dimensões variando entre 0,2 cm x 0,2 cm x 0,5 e 1,0 cm x 1,0 cm x 4,5 cm) o que permite constatar um bom imbricamento mineral.

O microfissuramento não é tão evidente nesta amostra, que parece ter poucas microfissuras intragranulares. As microfissuras intergranulares aparecem localmente geralmente associadas aos contatos entre cristais de quartzo e microclínio.

A composição modal dos minerais presentes nas lâminas CBT2.1 e CBT2.2 determinada, em escala microscópica, encontra-se sumarizada na tabela 5.

**Tabela 5.** Composição mineralógica modal CBT2 (%)

Composição Mineralógica Sigla das lâminas: CBT 2.1/CBT2.2	(% modal contada)		
	CBT2.1	CBT2.2	Média
Quartzo	33	31	32
Microclínio	40	39	39,5
Plagioclásio (oligoclásio)	21	22	21,5
Biotita	4	6	5
Hornblenda	1	1	1
Minerais Acessórios (opacos, zircão e apatita)	1	1	1

A presença de cristais de microclínio vermelho em CBT2.1 (seção normal às microfissuras) e CBT2.2 (seção paralela às microfissuras), é o que define a coloração vermelha do granito.

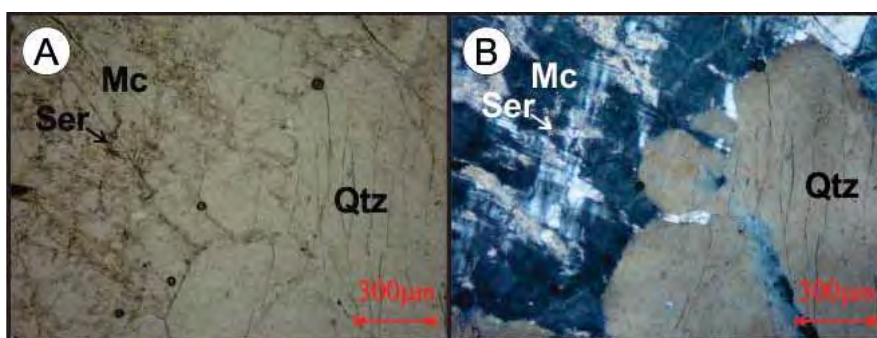
Estes cristais se apresentam com típica geminação em grade e intensa pertitização (Figura 78), com pertitas dos tipos filmes, veios e manchas.

Os cristais subedrais de plagioclásio detêm cerca de 27% do volume da rocha com cristais de dimensões entre 0,5 cm e 1 cm.

O plagioclásio está representado pelo oligoclásio, com geminação polissintética (Figura 79), formas que vão de anédricas a subédricas e localmente zonados.

O quartzo anedral (Figura 80) apresenta-se em agredados levemente lenticulares nesta amostra mantendo formas irregulares alongadas (contatos de côncavo-convexos a irregulares), compondo cerca de 32% de seu volume, com leve extinção ondulante, sendo responsável pela matriz que envolve os cristais de microclínio, plagioclásio e biotita. A porcentagem de minerais máficos, representados pela biotita, hornblenda e opacos fica em torno de 7%. A biotita (Figura 80), com sua forma lamelar, ocorre geralmente isolada ou constituindo pequenos agregados irregularmente distribuídos pela lâmina.

**Figura 78.** Fotomicrografias de cristal de quartzo anedral com extinção ondulante, em contato com cristal de microclínio anedral, pertítico e com geminação em grade.



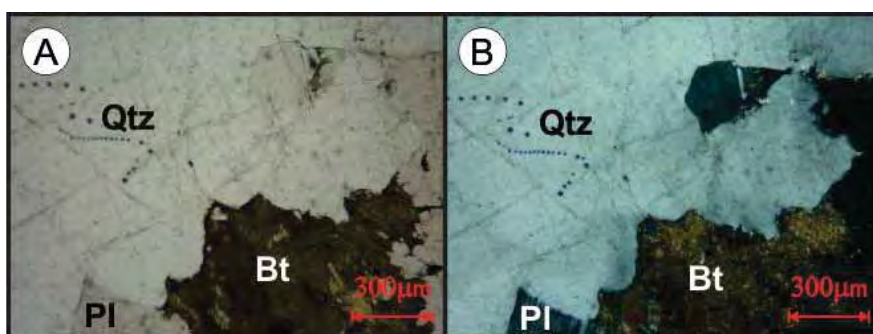
**Legenda:** Qtz) Quartzo; Mc) Microclínio; Ser) Sericita; (A) Nicóis paralelos; (B) Nicóis cruzados. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 79.** Fotomicrografias de cristal de quartzo anedral em contato com oligoclásio subhedral com geminação polissintética e leve saussuritização.



**Legenda:** Qtz) Quartzo; Pl) Plagioclásio (Oligoclásio); (A) Nicóis paralelos; (B) Nicóis cruzados. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

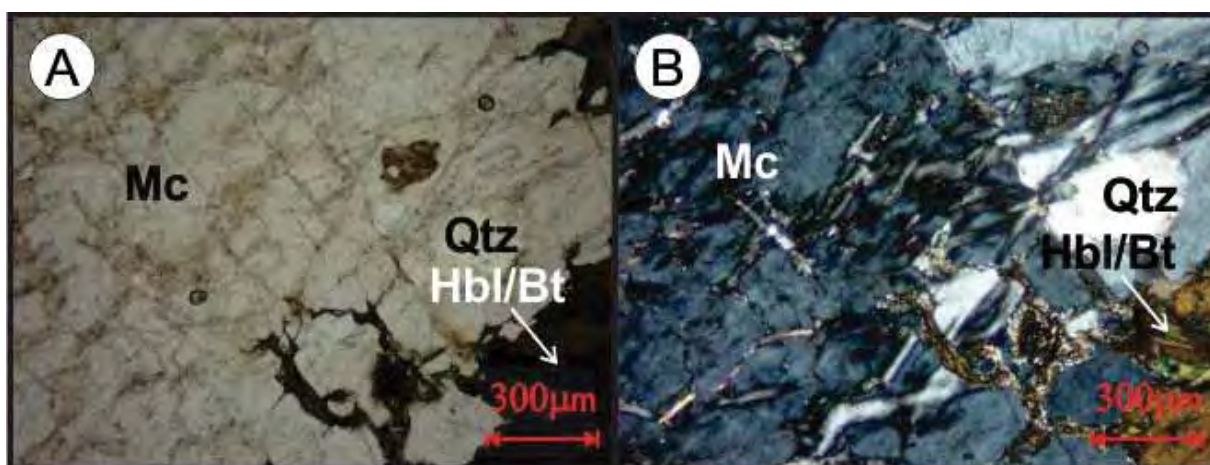
**Figura 80.** Fotomicrografias de cristal de biotita em contato com cristais de quartzo e plagioclásio.



**Legenda:** Qtz) Quartzo; Bt) Biotita; Pl) Plagioclásio; (A) Nicóis paralelos; (B) Nicóis cruzados. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

A hornblenda é menos evidente nestas lâminas (CBT2.1 e CBT2.2) pois nelas o processo de biotitização está em um estágio mais avançado, restando poucos pontos onde este mineral pode ser visualizado (Figura 81).

**Figura 81.** Fotomicrografias mostrando hornblenda com transformações para biotita e clorita em contato com cristais de microclínio.



**Legenda:** Qtz) Quartzo; Mc) Microclínio; Hbl/Bt) Transição Hornblenda/Biotita; (A) Nicóis paralelos; (B) Nicóis cruzados. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os contatos minerais identificados são, em sua maioria, côncavo e convexos (somados eles detêm em CBT2.1 - 48% e em CBT2.2 - 58% dos contatos presentes), há ainda a ocorrência de contatos serrilhados (CBT2.1 - 24% e CBT2.2 - 7%), retilíneos (CBT2.1 - 17% e CBT2.2 - 21%), engrenados (CBT2.1 - 4% e CBT2.2 - 14%) e esgarçados (CBT2.1 - 7%) evidenciando um bom imbricamento mineral.

Com relação ao estado microfissural, a média total de mf/mm<sup>2</sup> para a amostra CBT2 mostra que ela apresenta moderado índice de microfissuramento mineral ( $\geq 0,1 \leq 0,25$  mf/mm<sup>2</sup>) com cerca de 0,26 mf/mm<sup>2</sup> e comprimento médio total de 1,33 mm.

De maneira predominante ocorrem as microfissuras intragranulares preenchidas (P) em CBT2.1 (geralmente preenchidas por sericita, com cerca de 0,23 mf/mm<sup>2</sup> e tamanho médio de 0,68 mm) e não preenchidas (nP) em CBT2.2 (com cerca de 0,137 mf/mm<sup>2</sup> e tamanho médio de 0,88 mm).

As microfissuras intergranulares que aparecem com mais frequência são as preenchidas (P) em CBT2.1 (0,020 mf/mm<sup>2</sup> e tamanho médio de 1,8 mm) e não preenchidas (nP) em CBT2.2 (0,024 mf/mm<sup>2</sup> e tamanho médio de 1,83 mm).

As microfissuras tidas como transgranulares não têm muita expressão nestas lâminas, apresentando-se apenas em CBT2.2, com 0,003 mf/mm<sup>2</sup>, preenchidas por sericita e tamanho médio de 5 mm.

Em relação às alterações minerais, foi identificado um grau moderado de alteração caracterizado pela biotitização e cloritização das hornblendas e pela fraca saussuritização dos cristais de plagioclásio (epidoto e sericita).

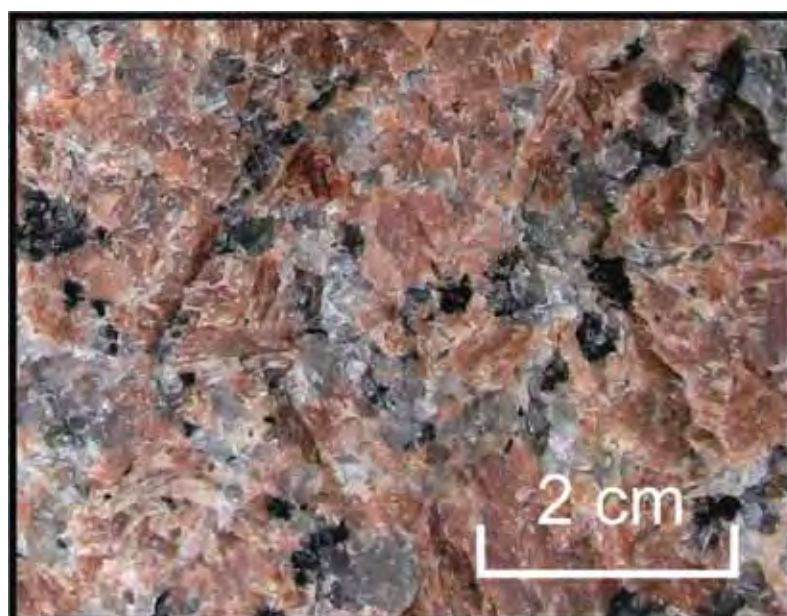
### **Vermelho Capão Bonito - CBT3 (Sienogranito)**

Trata-se de uma amostra de rocha de cor vermelha (cor caracterizada pelo microclínio), estrutura maciça, textura fanerítica, inequigranular com granulação que vai de média a grossa.

A granulação varia de 0,2 cm a 3,5 cm, com predominância de cristais entre 0,5 cm e 1,5 cm. O mineral que detém os cristais de maiores dimensões é o microclínio de coloração avermelhada e que responde por cerca de 35% do volume da rocha (Figura 82).

O microclínio apresenta-se sob formas subédricas (com seções basais chegando a dimensões de 1 cm x 1 cm x 4 cm) a anédrica (com dimensões variando entre 0,2 cm x 0,2 cm x 0,5 e 1 cm x 1 cm x 4 cm). O microfissuramento, nesta escala, não é tão evidente.

**Figura 82.** Sienogranito Vermelho Capão Bonito



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

As microfissuras ditas intragranulares não são visíveis e as intergranulares aparecem localmente, geralmente associadas aos contatos entre cristais de quartzo



e microclínio. Os cristais subedrais de plagioclásio detém, nesta amostra, cerca de 29% do volume da rocha com cristais de dimensões entre 0,5 cm e 1 cm.

O quartzo anedral apresenta-se em agredados levemente lenticulares nesta amostra mantendo formas irregulares alongadas, compondo cerca de 31% de seu volume e sendo responsável pela matriz que envolve os cristais de microclínio, plagioclásio e biotita. A porcentagem de minerais máficos, representados pela biotita e hornblenda fica em torno de 5%. A composição modal dos minerais presentes encontra-se sumarizada na tabela 6.

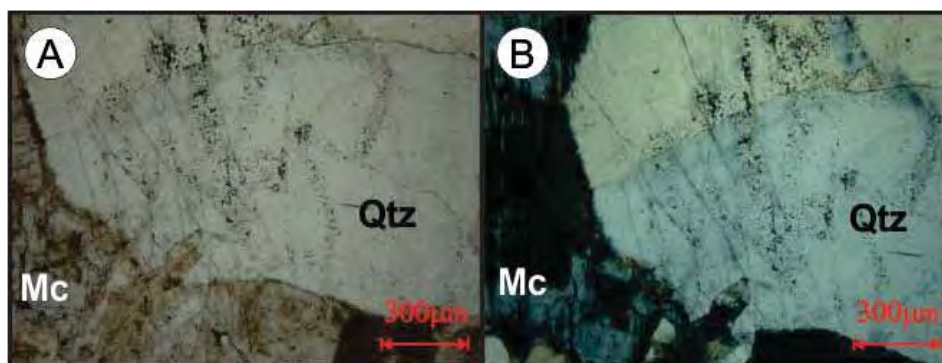
Cristais de microclínio em CBT3.1 e CBT3.2, definem a coloração geral vermelha do granito. Tais cristais ocorrem, a exemplo das lâminas anteriores, com típica geminação em grade (Figura 83).

O plagioclásio está representado pelo oligoclásio, com geminação polissintética (Figura 84), formas subédricas, localmente zonados, com núcleos mais cálcicos e bordas mais sódicas.

**Tabela 6.** Composição mineralógica modal CBT3 (%)

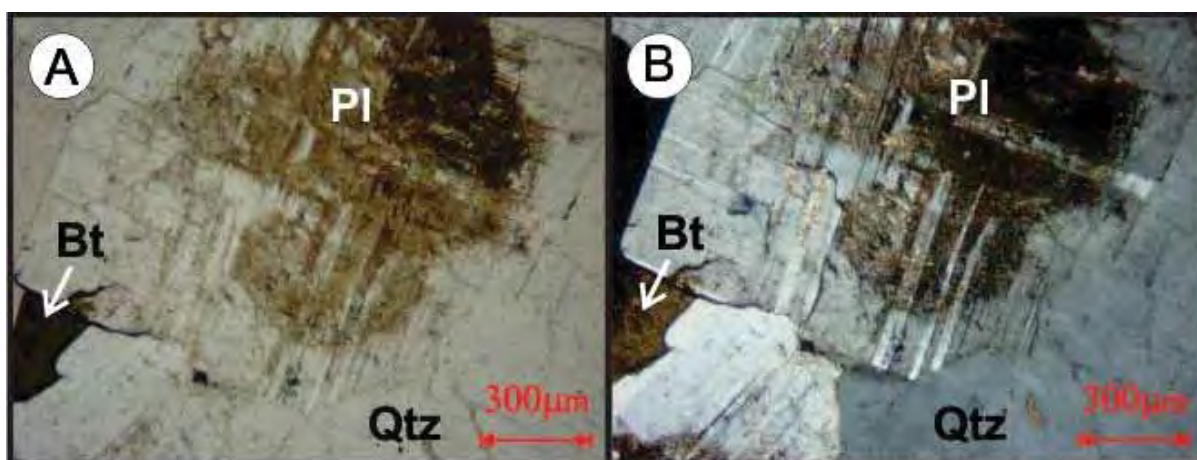
Composição Mineralógica Sigla das lâminas: CBT 3.1/CBT3.2	(% modal contada)		
	CBT3.1	CBT3.2	Média
Quartzo	30	31	30,5
Microclínio	42	41	41,5
Plagioclásio (oligoclásio)	21	22	21,5
Biotita	5	4	4,5
Hornblenda	1	1	1
Minerais Acessórios (opacos, zircão e apatita)	1	1	1

**Figura 83.** Fotomicrografias de cristal de quartzo anedral com extinção ondulante, em contato com cristal de microclínio com geminação em grade.



**Legenda:** Qtz) Quartzo; Mc) Microclínio; A) Nicóis paralelos; B) Nicóis cruzados. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 84.** Fotomicrografias de cristais de oligoclásio sericitizado em contato com quartzo anedral e biotita.

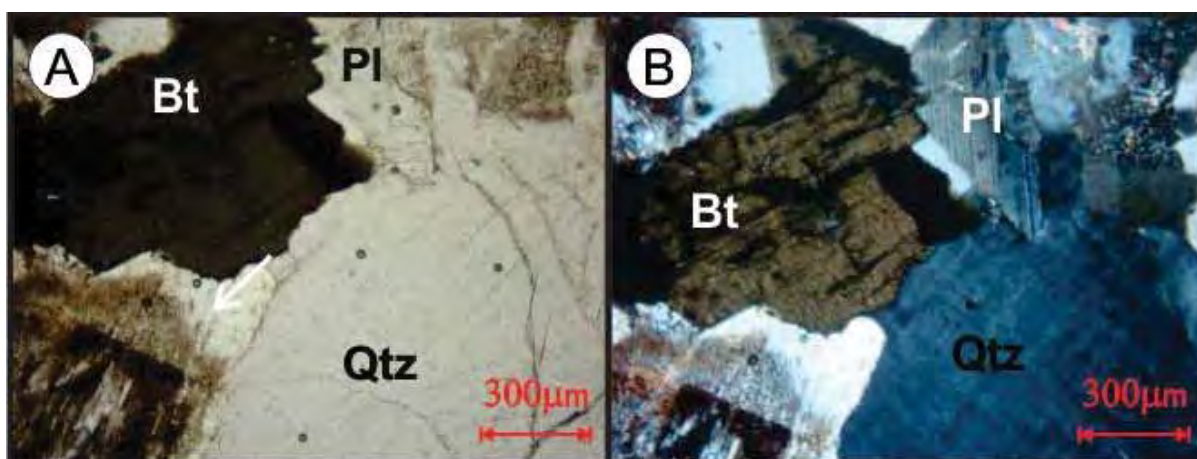


**Legenda:** Qtz) Quartzo; PI) Plagioclásio (Oligoclásio); Bt) Biotita; A) Nicóis paralelos; B) Nicóis cruzados. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os cristais de quartzo anedrais com extinção ondulante formam agregados monominerálicos que exibem contornos que vão de côncavo-convexos a irregulares proporcionando um bom engrenamento com os cristais de microclínio e oligoclásio.

A biotita (Figura 85) ocorre como lamelas geralmente isoladas ou constituindo pequenos agregados irregularmente distribuídos pela lâmina. Apresenta-se com processo de transformação (uralitização) parcialmente concluído o que dificulta a percepção da hornblenda reliquiar.

**Figura 85.** Fotomicrografias de cristais de biotita em contato com cristais de quartzo e plagioclásio.



**Legenda:** Qtz) Quartzo; Bt) Biotita; PI) Plagioclásio; A) Nicóis paralelos; B) Nicóis cruzados. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

A hornblenda não tem representatividade nestas lâminas, pois o processo de uralitização está em um estágio mais avançado, com quase sua totalidade já transformada em biotita.

A rocha apresenta estrutura isotrópica, textura fanerítica com granulação que varia de média a grossa, com tendência a porfirítica a inequigranular. Os contatos minerais identificados são, em sua maioria, serrilhados (CBT3.1 - 35% e em CBT3.2 - 43% dos contatos presentes), há ainda a ocorrência de contatos retilíneos (CBT3.1 - 35% e CBT3.2 - 13%), engrenados (CBT3.1 - 10% e CBT3.2 - 20%), além de côncavos (CBT3.1 - 10% e CBT3.2 - 12%) e convexos (CBT3.1 - 10% e CBT3.2 - 12%) evidenciando um bom imbricamento mineral.

Com relação ao estado microfissural, a média total de mf/mm<sup>2</sup> para a amostra CBT3 mostra que ela se apresenta no limite do moderado para o alto índice de microfissuramento mineral ( $\geq 0,25$  mf/mm<sup>2</sup>) com cerca de 0,255 mf/mm<sup>2</sup> e comprimento médio total de 3,21 mm.

De maneira predominante ocorrem as microfissuras intragranulares preenchidas (P) em CBT3.1 (geralmente preenchidas por sericita, com cerca de 0,176 mf/mm<sup>2</sup> e tamanho médio de 1,12 mm) e não preenchidas (nP) em CBT3.2 (com cerca de 0,248 mf/mm<sup>2</sup> e tamanho médio de 0,77 mm).

As microfissuras intergranulares não têm muita expressão nestas lâminas, pois não atingem mais do que 0,03 mf/mm<sup>2</sup> com medidas que vão de 0,77 mm a 1,34 mm. As microfissuras tidas como transgranulares também não ocorrem com muita frequência (0,002 mf/mm<sup>2</sup> em CBT3.1) contudo seu tamanho médio de 24 mm deve ser levado em consideração em ensaios de resistência físico-mecânica.

Em relação às alterações minerais, foi identificado um grau incipiente de alteração para estas lâminas, caracterizado pela uralitização das hornblendas concretizando sua transformação em biotitas, pela fraca saussuritização dos cristais de plagioclásio (ocorrência de epidoto) e por discreta sericitização normalmente nos interstícios dos cristais de quartzo e microclínio.

Todos dados adquiridos a partir da análise petrográfica das amostras foram reunidos na tabela 8, para facilitar as associações com os índices de resistência determinados nos testes e análises laboratoriais.

### V.3. CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL

O arranjo deformacional da área é identificado principalmente nas rochas epimetamórficas do Grupo Açungui e encontra-se definido por quatro deformações principais.

As estruturas primárias, devido aos intensos processos de transposição das foliações a sua manutenção ocorrem de forma escassa, predominando somente o acamamento gradacional reliquiar ( $S_0$ ) nas áreas menos deformadas, passando a um bandamento tectônico nas zonas de cisalhamentos.

A fase deformacional  $D_1$  encontra-se associada ao início do processo colisional associada a formações de dobras isoclinais a recumbentes com foliação plano-axial  $S_1$ , com o desenvolvimento de uma clivagem ardosiana paralela a subparalela a  $S_0$  de atitude média de N100/20SW e metamorfismo regional em fácies xisto verde alcançando a zona da biotita.

A fase  $D_2$  é definida por redobramentos assimétricos gerando uma clivagem ardosiana ou de crenulação  $S_2$ , com atitude média de N51/35SE. Constitui a fase mais penetrativa e preservada nos afloramentos, sendo responsável pelo desenho dos dobramentos regionais, que invariavelmente são inversos ou recumbentes e associam-se às zonas de cavalgamento.

Localmente ocorrem as duas foliações  $S_{1/2}$ , mas no geral a foliação  $S_2$  é preservada. A estas fases associa-se a granitogênese sin-colisional constituída na área pelo Complexo Granítico Três Córregos impondo nas suas rochas estas deformações, vistas principalmente por uma tênue foliação, ou às vezes realçadas, pela orientação de minerais máficos.

Em nível crustal mais raso, em regime transcorrente/transpressivo ( $D_3$ ) ocorre à ascensão magmática de corpos tardios, associada à formação de dobras normais com foliação milonítica vertical  $S_3$  de direção N60/Subvertical.

Esta fase foi responsável pela compartimentação geotectônica atual da área com a estruturação em blocos delimitados pelas principais zonas de cisalhamento, o *emplacement* e a atual estruturação alongada do Maciço Capão Bonito. A partir de rejuvenescimentos tardios das zonas de cisalhamentos, superpõem-se feições deformacionais cataclásticas (NE-SW), principalmente nas bordas do corpo

magmático. Esta tectônica transcorrente neoproterozóica na área seria responsável pela colocação, estruturação e geometria final do magmatismo tardi a pós-colisional do Maciço Capão Bonito é definida no contato sul pela Falha do Bairro dos Alves e que compõem a Zona de Cisalhamento Quarenta Oitava e a norte pela Falha de Capão Bonito compondo a Zona de Cisalhamento Itapirapuã.

Esta deformação é pouco penetrativa, com significativa atuação apenas nas zonas de cisalhamento de alto ângulo e, secundariamente, na charneira das dobras. Esta deformação milonítica é responsável pela fragmentação, recristalização e reorientação dos cristais e no geral oblitera as demais feições, com geração de filonitos com acamamento tectônico de alto angulo a vertical, visto principalmente nos metassedimentos.

Distanciando-se das zonas de cisalhamento esta fase assume um caráter regional dúctil, com esforço transpressivo devido à acomodação das rochas granitóides, gerando ondulações suaves abertas (sinformais e antiformais) com desenvolvimento de uma tênue clivagem sub-vertical, com plano axial de atitude N60/V, que evolui gradativamente e localmente para falhas direcionais, com foliação milonítica e/ou cataclásticas  $S_3$  afetando principalmente às bordas do corpo magmático.

A esta fase com *emplacement* das rochas graníticas do Capão Bonito, impõe-se nas rochas metassedimentares encaixantes, localmente a superposição de processos metamórficos de contato com paragênese em fácies albita-epidoto e hornblenda hornfels.

A fase  $D_4$  de direção N140/75SW é marcada por uma tênue foliação ou clivagem de fratura e tardiamente, observam-se diques básicos intrusivos nesta mesma direção NW-SE que se encaixam na direção das juntas e enxames de diques do Lineamento Guapiara.

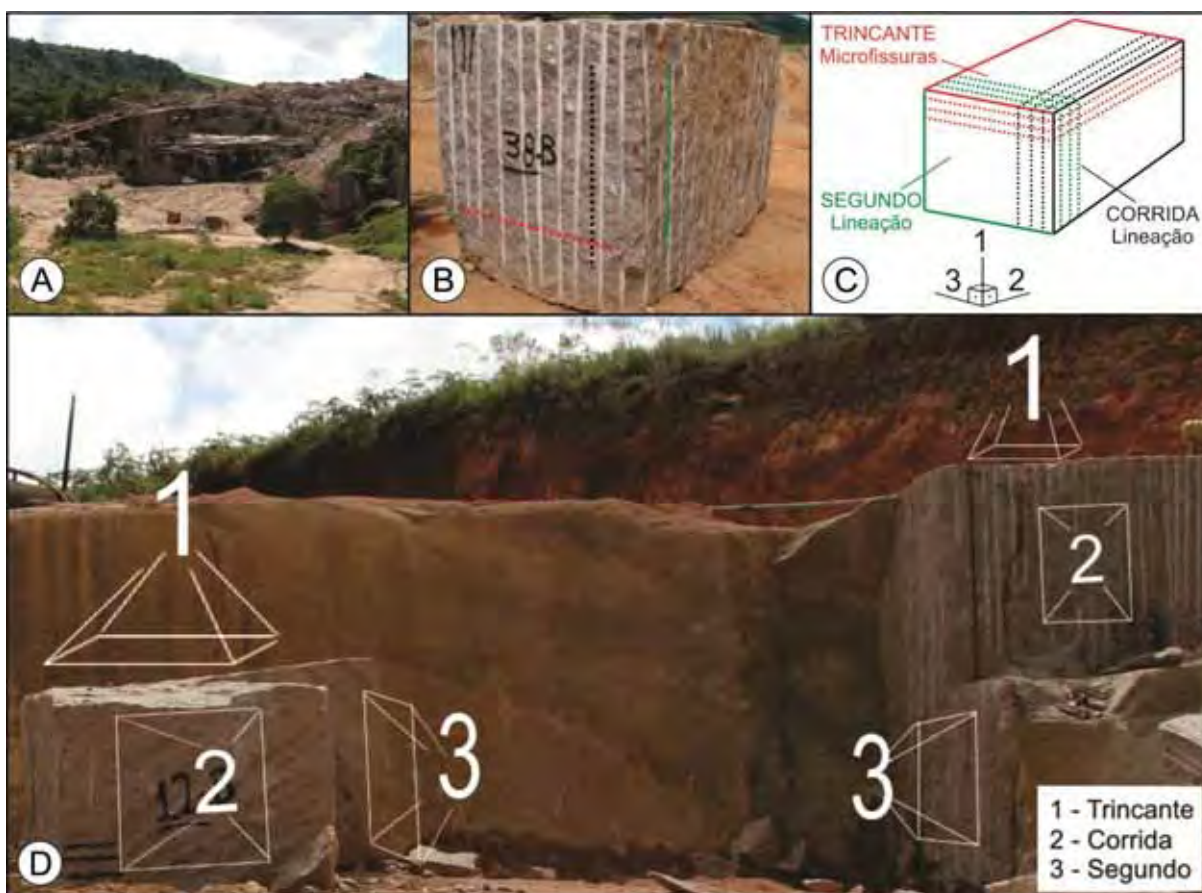
O metamorfismo dinamo-termal regional que atua sobre as rochas do Grupo Açungui indica condições brandas de metamorfismo, fácies xisto-verde, zona da biotita, concomitante com as fases deformacionais  $D_{1/2}$ , com ápice metamórfico provavelmente durante a fase  $D_2$  pelo desenvolvimento da biotita e muscovita nas rochas aluminosas.

As fases  $D_{3/4}$  são responsáveis pelo desenvolvimento de foliações de caráter retrometamórfico, visto no desenvolvimento de sericita e clorita em rochas aluminosas e actinolita-tremolita+clorita+epidoto nas rochas metabásicas.

O quadro estrutural em detalhe estudado na Pedreira Somibras (Figura 86A) para o melhor aproveitamento de blocos (Figura 86B) é caracterizada pelos planos de cortes dos blocos (Figura 86C).

A exploração é dada pelos cortes em torno de N60/85SE, definidos por uma lineação mineral associada provavelmente à deformação  $S_3$  é denominada de Corrida, a ortogonal N148/85SW, definido por uma clivagem de fratura provavelmente associada à deformação  $S_4$  é denominada de Segundo e um terceiro corte subhorizontal associada às fraturas de alívio de tensão é denominada de Trincante (Figura 86D).

**Figura 86.** Ilustração dos planos de corte nas rochas do Maciço Capão Bonito associados ao quadro estrutural da área.



**Legenda:** A) Pedreira Somibras; B) Característica petrográfica do Sienogranito Capão Bonito; C) Esquema de extração de blocos. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

## CAPÍTULO VI

### VI.1. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

As análises geoquímicas foram realizadas no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista DPM/IGCE/UNESP.

As análises serão discutidas quanto ao padrão de distribuição dos elementos maiores, com vista à caracterização dos litotipos rochosos do Granito Vermelho Capão Bonito, para correlacioná-las à distribuição mineralógica e aos parâmetros físico-mecânicos das rochas com o objetivo de aferir sua homogeneidade frente as amostras coletadas em diferentes pontos ao longo da extensão de sua ocorrência. Na tabela 7 encontram-se as análises geoquímicas dos principais litotipos utilizados na definição do intervalo ou padrão de variação dos elementos maiores e menores.

Na figura 86 encontram-se as representações gráficas da distribuição dos elementos. Os três primeiros litotipos (CBT1, CBT2 e CBT3) correspondem às amostras analisadas nos ensaios de caracterização tecnológica.

**Tabela 7.** Valores das análises geoquímicas de elementos maiores e menores dos sienogranitos do Maciço Granítico Capão Bonito

	CBT1	CBT2	CBT3	CBT4	CBT4x	CBT5	CBT6	CBT7
<b>SiO<sub>2</sub></b>	73,38	74,39	73,81	72,41	72,66	72,56	73,59	72,59
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,2	0,22	0,23	0,3	0,3	0,29	0,25	0,29
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	13,77	12,9	13,1	13,75	13,38	13,29	13,25	13,57
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,95	1,9	2,07	2,65	2,72	2,69	2,12	2,61
<b>MnO</b>	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>MgO</b>	0,16	0,2	0,2	0,27	0,28	0,27	0,17	0,29
<b>CaO</b>	0,82	0,95	1,1	1	1,08	1,12	1,02	1,1
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	3,1	3,25	3,42	3,33	3,35	3,39	3,33	3,32
<b>K<sub>2</sub>O</b>	5,98	5,47	5,38	5,49	5,52	5,66	5,73	5,61
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,03	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	0,03	0,08
<b>LOI</b>	0,59	0,63	0,6	0,7	0,62	0,62	0,47	0,51
<b>Cr</b>	14	17	35	23	102	37	22	44
<b>Cu</b>	8	6	6	5	5	6	7	6
<b>Ni</b>	1	1	1	1	1	2	1	4
<b>Zn</b>	21	22	16	23	55	25	19	24
<b>Ba</b>	394	346	367	407	406	383	515	472
<b>Rb</b>	330	317	347	369	359	356	313	341
<b>Sr</b>	46	64	62	68	90	72	56	84
<b>La</b>	99	51	57	53	86	49	145	66
<b>Ce</b>	141	88	69	92	124	60	212	97
<b>Zr</b>	204	217	205	238	402	233	264	224
<b>Y</b>	61	60	62	61	83	53	74	60
<b>Nb</b>	37	35	37	38	48	38	37	36

O comportamento dos valores de SiO<sub>2</sub> para os granitos vermelhos Maciço Granítico Capão Bonito mostram-se elevados, no intervalo de 72 a 74% (Figura 87A), sendo que as três variedades analisadas nos ensaios apresentam valores mais altos em relação aos outros.

O ocorrência de valores mais altos de SiO<sub>2</sub> 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 que na análise petrográfica mostram-se em grande número, mas com pouca variação entre as amostras, como mostrado no resumo petrográfico (Tabela 3).



As mínimas diferenças constatadas definem certa homogeneidade às amostras.

A porcentagem  $\text{TiO}_2$  apresenta-se com valores baixos principalmente para os três tipos estudados evidenciando a presença inexpressiva de minerais como a titanita e o rutilo. O que conseqüentemente colabora para a manutenção da qualidade estética da rocha, mediante possíveis manchamentos ou pontuais mudanças de coloração causadas pela alteração desses minerais em placas de revestimento.(Figura 87B).

Os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se apresentam no intervalo de 12,9% e 13,7% (Figura 87C), que também é corroborado pela mínima diferença, em termos e composição mineralógica, entre as variedades leucocráticas estudadas.

Os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Figura 87D) são bastante semelhantes para as amostras e estão diretamente correlacionados com as presenças de biotita e/ou hornblenda e minerais opacos (magnetita e ilmenita) que a exemplo do  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ocorrem em menor proporção que os demais (< 1%).

A presença de minerais constituídos em parte por  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pode acarretar em alterações de minerais de Fe, propiciando a geração de hidróxidos de Fe quando em ambientes úmidos ou manchamento avermelhado quando sujeito ao ataque de líquidos agressivos.

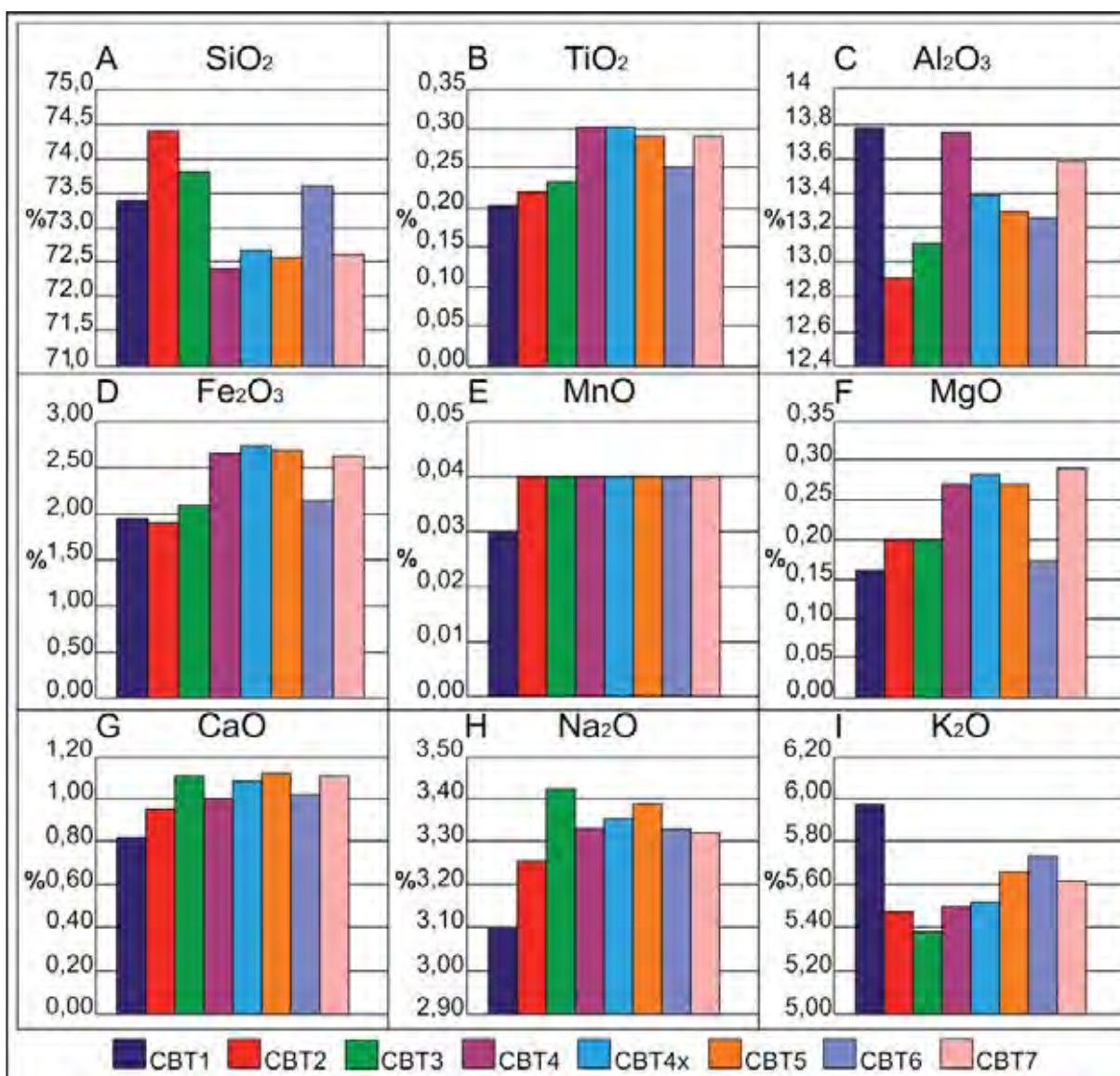
As variações, em teor, também são inexpressivas (<0,1%) e bastante semelhantes entre as amostras quando tratamos do MnO (Figura 87E).

A exemplo dos teores de MnO, os teores de MgO nas três amostras são pouco expressivos (Figura 87F), mas apresentando para os tipos CBT2 e CBT3 um ligeiro (<0,2%) incremento dos teores.

Também foi percebido um incremento (<1%) em CaO (Figura 87G) que se reflete, na composição mineralógica, pela presença de hornblenda.

Os teores de  $\text{Na}_2\text{O}$  (Figura 87H) e de  $\text{K}_2\text{O}$  (Figura 87I) são altos e típicos de rochas evoluídas, apresentando pequenas diferenças entre os vários litotipos estudados. Para a amostra CBT1 ocorre um ligeiro aumento no valor de  $\text{K}_2\text{O}$ , fato que explicaria uma maior presença de microclínio. Contudo tal incremento não é percebido na contagem modal (tabela 3) podendo se tratar de um erro analítico.

**Figura 87.** Distribuição dos elementos maiores das rochas sienograníticas do Maciço Granítico Capão Bonito



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em termos gerais, os resultados apresentam-se bastante regulares, com diferenças mínimas entre si. Tal constatação permite afirmar que existe uma homogeneidade entre rochas amostradas, uma vez que as diferenças tanto petrográficas quanto químicas não representaram fortes discordância em relação aos diferentes pontos de amostragem nos afloramentos do maciço estudado.

## CAPÍTULO VII

### VII.1. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

O estudo das propriedades físico-mecânicas das rochas ornamentais permite avaliar e até prever o comportamento destes materiais frente às solicitações a que são submetidos em seus locais de aplicação, seja como simples peças de ornamento ou como partes constituintes de estruturas e/ou de revestimentos em ambientes domésticos e/ou comerciais. Serão apresentados e discutidos os resultados referentes aos testes laboratoriais do “Granito Vermelho Capão Bonito” (Tabela 8) comparando-os com uma média dos resultados de estudos publicados por Navarro (2006) e com os parâmetros fixados pela ABNT 15844 (ABNT, 2010a) e pela ASTM C615 (ASTM, 1992). As planilhas com os resultados dos ensaios encontram-se no anexo1.

Para a execução dos ensaios mecânicos foi considerado, como citado anteriormente, o posicionamento das direções de esforço em relação aos planos de microfissuras (paralelo e perpendicular aos mesmos) resultantes da “expansão” do maciço. A figura 88 ilustra os resultados dos testes realizados.

**Tabela 8.** Resultados de caracterização tecnológica para as amostras CBT1, CBT2 e CBT3 e valores limítrofes da ASTM (1992), ABNT (2010a) e, para uma amostra do referido granito, médias dos resultados de Navarro (2006).

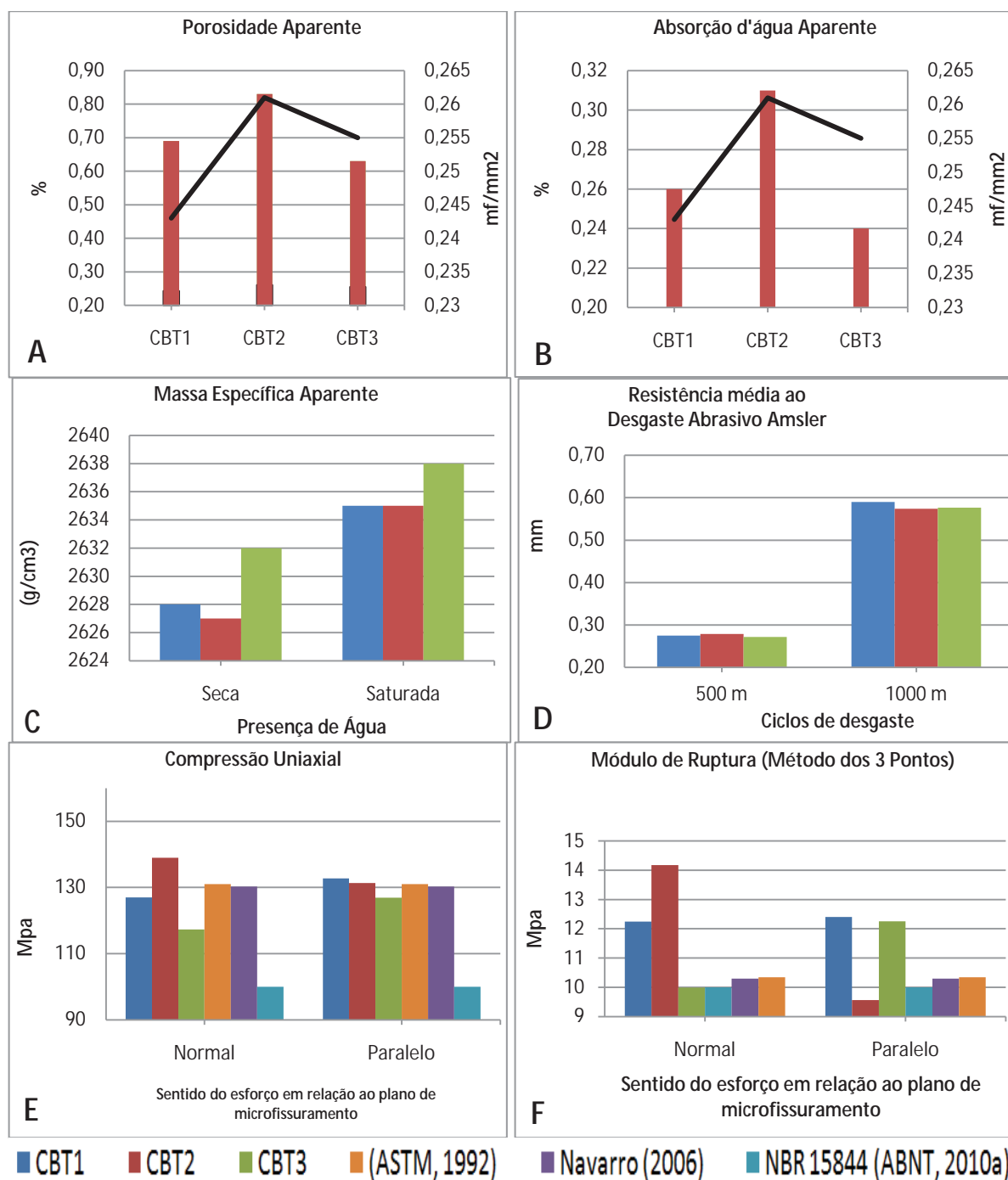
ANÁLISES E ENSAIOS			AMOSTRAS						ASTM (1992)	Navarro (2006)	ABNT (2010a)
			CBT1		CBT2		CBT3				
Índices Físicos	Massa específica aparente	Seca (kg/m <sup>3</sup> )	2628,000		2267,000		2632,000		≥ 2560	2617,000	≥ 2550
		Saturada (kg/m <sup>3</sup> )	2635,000		2635,000		2638,000		-	-	-
	Porosidade Aparente (%)		0,690		0,830		0,630		-	0,490	≤ 1,000
	Absorção d'água aparente (%)		0,260		0,310		0,240		≤ 0,400	0,190	≤ 0,400
Desgaste abrasivo AMSLER (mm)	Ciclo 500 m	cdp 1	0,260	Média	0,307	Média	0,245	Média	-	-	≤ 1,000
		cdp 2	0,290	0,275	0,250	0,329	0,298	0,272	-	-	
	Ciclo 1000 m	cdp 1	0,630	Média	0,600	Média	0,580	Média	-	-	
		cdp 2	0,550	0,590	0,584	0,592	0,573	0,577	-	-	
Resistência à compressão Uniaxial	Tensão (Mpa)	normal	127,000		139,000		117,300		≥131,000	130,300	≥ 100,000
		paralelo	132,700		131,300		127,000		-	-	-
	V.P.U (m/s)	normal	4823,100		5139,300		5371,900		-	4677,900	-
		paralelo	4555,000		5125,600		5108,600		-	-	-
Módulo de ruptura (3 pontos)	Tensão (Mpa)	normal	12,200		14,200		10,000		≥10,340	10,340	≥ 10,000
		paralelo	12,400		9,600		12,300		-	-	-
	V.P.U (m/s)	normal	4519,100		4554,700		4851,500		-	-	-
		paralelo	4513,140		4730,700		4965,300		-	-	-
Resistência a flexão por 4 pontos	Seca (Mpa)		-		13,880		-		-	-	≥ 8,000
	V.P.U (m/s)		-		5192,000		-		-	-	-
	Saturada (Mpa)		-		13,840		-		-	-	≥ 8,000
	V.P.U (m/s)		-		5642,000		-		-	-	-
Resistência ao Impacto de Corpo Duro	Altura média para fissura (m)		-		0,500		-		-	-	≥ 0,300
	Altura média para ruptura (m)		-		0,580		-		-	-	-

**Legenda:**

**Normal/Paralelo** = Sentido do esforço aplicado em relação à família de microfissuras

**V. P. U.** = Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas; **Cdp** = Corpo-de-prova.

**Figura 88.** Resultados dos ensaios de caracterização físico-mecânica



Fonte: Elaborada pelo autor.

O estado microfissural das rochas influi, de maneira direta, na susceptibilidade à ruptura e à percolação de fluidos justificando a relação entre os parâmetros estruturais (estado microfissural) e os resultados dos ensaios de caracterização tecnológica. O resumo petrográfico do estudo de microfissuras na análise petrográfica (Tabela 9) encontra-se ilustrado graficamente nas figuras 89 e 90.

**Tabela 9.** Resumo petrográfico da contagem de microfissuras e relações de contato intergrãos.

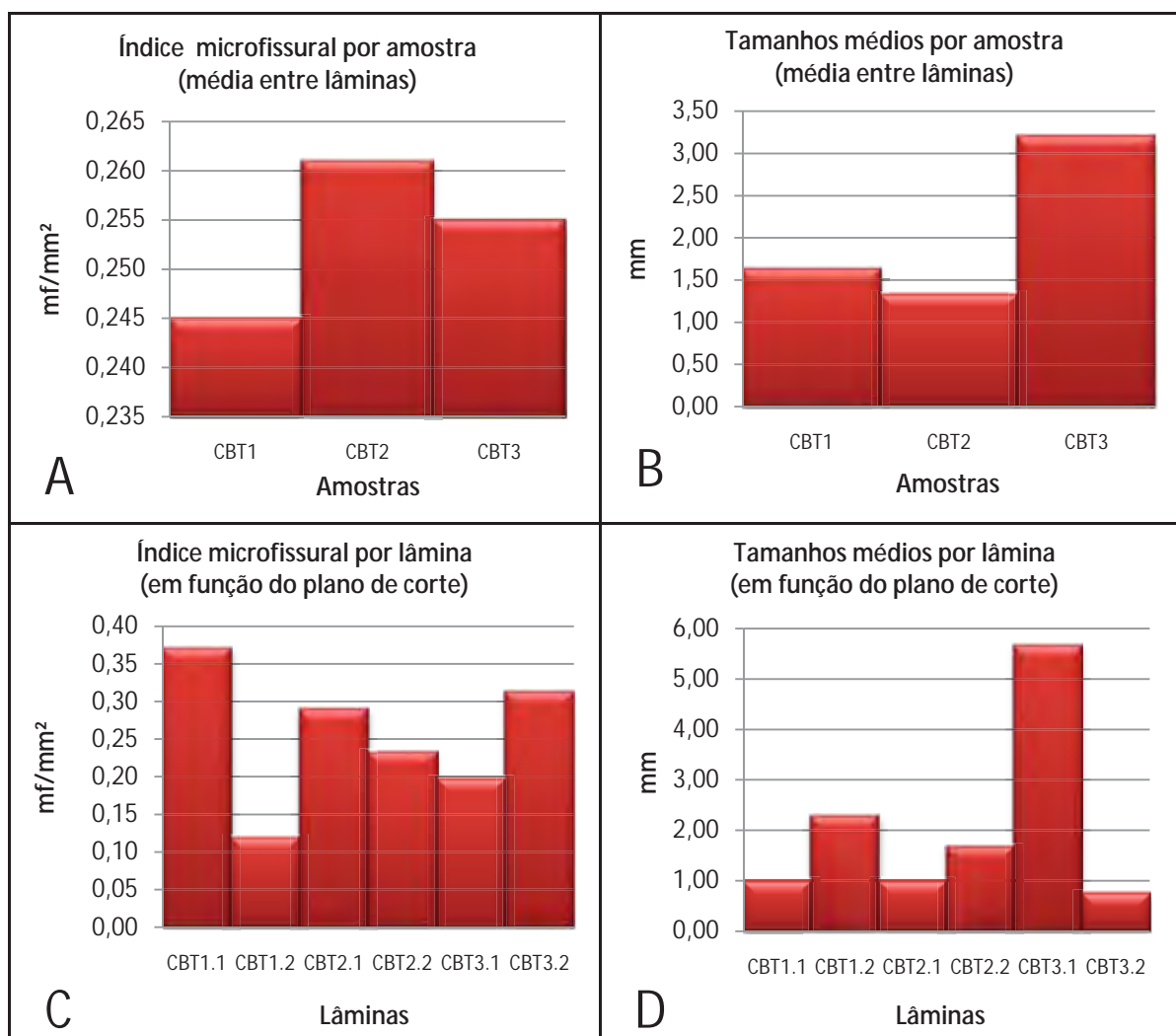
		Vermelho Capão Bonito - Lâminas CBT											
		1.1		1.2		2.1		2.2		3.1		3.2	
Índice de microfissuras (mf/mm <sup>2</sup> )	Tipo	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>
		Inter P	1,250	0,010	1,240	0,001	1,800	0,020	1,640	0,004	1,340	0,007	1,290
	Inter Np	0,540	0,017	1,290	0,006	1,010	0,010	1,830	0,024	0,770	0,004	1,190	0,014
	Intra P	0,750	0,042	1,550	0,031	0,680	0,230	0,670	0,028	0,750	0,006	1,220	0,038
	Intra nP	0,460	0,297	0,640	0,064	0,980	0,030	0,880	0,173	1,120	0,176	0,770	0,248
	Trans P	3,000	0,000	6,000	0,016	0,000	0,000	5,000	0,003	24,000	0,002	0,000	0,000
	Trans Np	0,000	0,001	3,000	0,001	1,500	0,000	0,000	0,000	6,050	0,002	0,000	0,000
	Total	1,000	0,367	2,287	0,119	0,995	0,290	1,670	0,232	5,672	0,197	0,745	0,313
Índice de microfissuras (mf/mm <sup>2</sup> )	Média total	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>	Tm	mf/mm <sup>2</sup>
		1,64	0,243	1,33	0,261	3,21	0,255						
Índice de microfissuras (média por lâmina)	Índice de microfissuras (média por lâmina)	Alto***	Moderado****	Alto***	Moderado****	Moderado****	Moderado****	Moderado****	Moderado****	Moderado****	Moderado****	Alto***	Alto***
Contato (%)	Côncavo	23	19	26	30	10	12						
	Convexo	30	19	22	28	10	12						
	Serrilhado	16	25	24	7	35	43						
	Lobulado	0	0	0	0	0	0						
	Esgarçado	20	5	7	0	0	0						
	Sinuoso	0	0	0	0	0	0						
	Engrenado	0	10	4	14	10	20						
	Retilíneo	11	22	17	21	35	13						

**Legenda :** **Alto\*\*\*** = Alto, índice de microfissuramento (> que 0,25 mf/mm<sup>2</sup>); **Moderado\*\*\*\*** = Índice de microfissuramento entre 0,1 e 0,25 mf/mm<sup>2</sup>; **Incipiente\*\*\*\*\*** = Processo de transformação mineral (>10 a 30%); **Tm** = Tamanho médio de microfissuras; **Inter** = Microfissuras intergranulares; **Intra** = Microfissuras intragranulares; **Trans** = Microfissuras transgranulares; **P** = Microfissuras Preenchidas; **nP** = Microfissuras não preenchidas.

Com relação aos índices físicos as figuras 88A, B e C revelam uma maior incidência de microfissuras em CBT2 (0,261 mf/mm<sup>2</sup>), justificando sua menor massa específica (Figura 88C) e, por consequência, o fato de seus resultados de porosidade e absorção d'água (Figura 88A e B) maiores que os das outras duas amostras.

Ao comparar os resultados do sienogranito Capão Bonito para os índices físicos com os valores publicados na NBR 15844 (ABNT, 2010a) e ASTM C615 (1992), pode-se verificar que, assim como a média dos resultados de Navarro (2006), as amostras de rocha aqui estudadas apresentam-se com valores, em geral, dentro dos padrões exigidos por tais normas, exceto pela pequena variação em CBT2 (2267 kg/m<sup>3</sup> para massa específica seca).

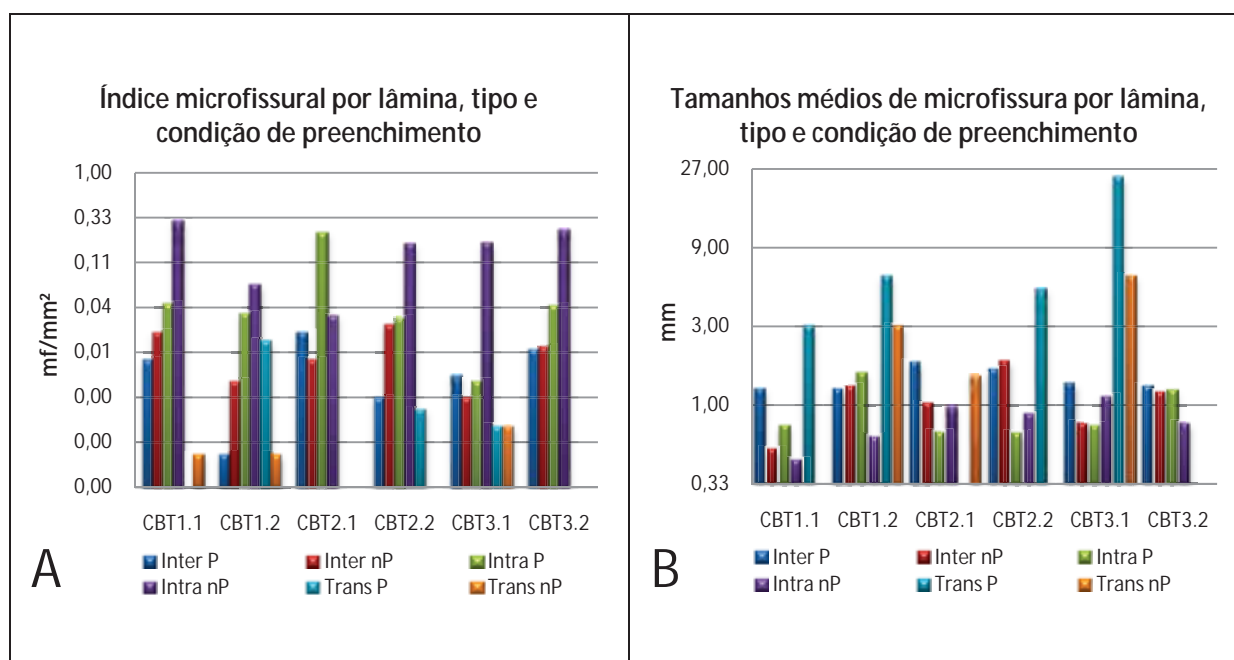
**Figura 89.** Índice microfissural e tamanho médio de microfissuras por amostra e lâmina (em função do sentido de corte relativo ao plano de microfissuras)



**Legenda:** mf/mm<sup>2</sup> = microfissuras por milímetro quadrado. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

A figura 89B mostra, sobretudo, que a amostra CBT2 é a que possui menor tamanho médio de microfissuras e a amostra CBT3 a que possui o maior, e que isso pode justificar a diferença nas resistências aos esforços compressivos e fletores dos ensaios de resistência à compressão uniaxial e flexão por 3 e 4 pontos exibidas pelos referidos materiais.

Na tentativa de definir qual o tipo de microfissura exerce maior influência no comportamento físico-mecânico das rochas do Maciço Capão Bonito, fez-se necessária uma contagem mais detalhada de modo a definir inclusive suas condições de preenchimento. Tal contagem encontra-se reunida no resumo petrográfico ilustrado na figura 90.

**Figura 90.** Índice microfissural por lâmina e tipo de microfissura

**Legenda:** (Inter) Intergranular; (Intra) Intragranular; (Trans) transgranular; (P) Preenchida e; (nP) Não Preenchida. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Ao analisar a contagem de microfissuras mais detalhadamente, buscando definir como cada uma delas contribuiu para os resultados dos ensaios, percebeu-se que existe uma diferença significativa entre as contagens de microfissuras em lâminas provenientes de uma mesma amostra (figura 89C), sobretudo para as microfissuras do tipo intragranular (figura 90A), e que o tamanho relativo destas é muito pequeno em relação, por exemplo, ao tipo transgranular que se apresenta em menor número e possui as maiores medidas de tamanho médio (Figura 89B).

A diferença de  $\text{mf}/\text{mm}^2$  entre CBT1.1 e CBT1.2, na figura 89C por exemplo, é definida pelas posições dos cortes realizados nas amostras para confecção das lâminas (CBT1.1 paralelo e CBT1.2 normal ao plano de microfissuras) marcando a presença maior de microfissuras em uma posição do que na outra e dando força à hipótese de que existe um plano da rocha que oferece maior e outro que oferece menor resistência físico-mecânica.

As figuras 90A e 90B, permitem explicar de forma concreta a razão pela qual a amostra CBT2 apresenta os maiores índices de porosidade e absorção d'água. Analisando-os conclui-se que as diferenças entre índices microfissurais e tamanhos médios são definidas principalmente por microfissuras do tipo intergranular não preenchida, o que exerceu grande influência nos resultados dos ensaios de



caracterização no que diz respeito à determinação da resistência ao desgaste abrasivo AMSLER (figura 88D), à compressão uniaxial (figura 88E) e à flexão por 3 pontos (figura 88E).

Na amostra CBT3 (lâminas CBT3.1 e CBT 3.2) ocorre uma inversão na quantidade de mf/mm<sup>2</sup> (figura 89C) em função do sentido de corte realizado para confecção das lâminas, ou seja, houve um aumento no número de mf/mm<sup>2</sup> na lâmina cujo corte foi realizado no sentido normal ao plano principal de microfissuras (lâmina CBT3.2).

Tal aumento se deve principalmente à soma das microfissuras inter- e intragranulares e revelam que a soma destas microfissuras coincide com ligeiro aumento na resistência no sentido de corte que apresenta maior quantidade de mf/mm<sup>2</sup> o que pode ser explicado pela menor incidência de microfissuras na lâmina paralela ao plano principal de microfissuramento e pelo fato de as microfissuras presentes no corte normal ao mesmo plano principal de microfissuras estarem em sua maioria preenchidas, ocasionando um ligeiro aumento de sua resistência em relação ao plano ortogonal a ele.

O mesmo parece acontecer para as amostras CBT1 e CBT2, só que com sentidos de corte contrários.

As microfissuras tidas como transgranulares, ocorrem com tamanho médio relativamente elevado em CBT3.1 (Figura 88D). Contudo, apresentam-se preenchidas, em sua maioria por sericita, dificultando a infiltração da água em seus interstícios. Sua presença parece não exercer maior influência nos resultados dos ensaios de resistência mecânica devido à frequência com que ocorre (Tabela 9).

O ensaio de resistência a abrasão AMSLER (Figura 88C) mostra resultados satisfatórios, sem apresentar diferenças marcantes entre as amostras com valores abaixo dos propostos pela ABNT (2010a) e ASTM (1992), como mostrado na tabela 3, tanto para o ciclo de 500m quanto para o de 1000m.

O bom imbricamento mineral (observado pela existência de contatos, em sua maioria, côncavo-convexos, serrilhados e em menores proporções os contatos engrenados e retilíneos) e a mínima variação da composição mineralógica modal, com destaque para o quartzo, contribuem fortemente para uma boa resistência a tal solicitação (Tabela 3).

Contudo este resultado não afirma que a rocha manterá sua função estética (representada neste caso, pelo brilho) sob tráfego intenso por um período longo, pois é composta em grande parte por feldspatos, que têm baixa capacidade de manter essa propriedade como explicado por Silva (2009).

No ensaio de resistência à compressão uniaxial (figura 88D) para o sienogranito estudado, os resultados (tabela 3) se apresentam regulares, com poucas variações relativas à mudança do plano de corte para as amostras CBT1 e CBT3. Apenas quando analisamos a amostra CBT2 é que se pode notar uma variação anômala causada, como externada anteriormente, por uma variação também no número de microfissuras intergranulares.

No ensaio que determina a resistência à flexão por 3 pontos, cujo o resultado é demonstrado na figura 88F, é possível verificar que a rocha estudada possui valores de resistência, em geral, pouco maiores que o valor médio apresentado por Navarro (2006) e que os valores tidos como requisitos para granitos pela NBR 15844 (ABNT, 2010a) e pela ASTM C615 (1992).

A direção relativa ao plano de microfissuras da amostra CBT2 influenciou uma drástica queda de resistência que já foi explicada pela presença da maior quantidade de microfissuras intergranulares, que conectam minerais e se conectam entre si.

Quando analisamos o ensaio que determina a resistência à flexão por 4 pontos, perde-se a possibilidade de comparação com os resultados das demais amostras, pois não foram conseguidas chapas oriundas das minas onde fora recolhidas, restando apenas a amostra CBT2 para a análise conseguida em uma mina da região que possuía, junto a frente de lavra, uma mini indústria de beneficiamento. Além disso é possível constatar apenas que a resistência oferecida pelos corpos-de-prova em espessura de uso (2 cm) foi bem superior ao sugerido pela ABNT (2010a) não sendo possível compará-la com os demais resultados por que, como citado anteriormente, não foram realizados.

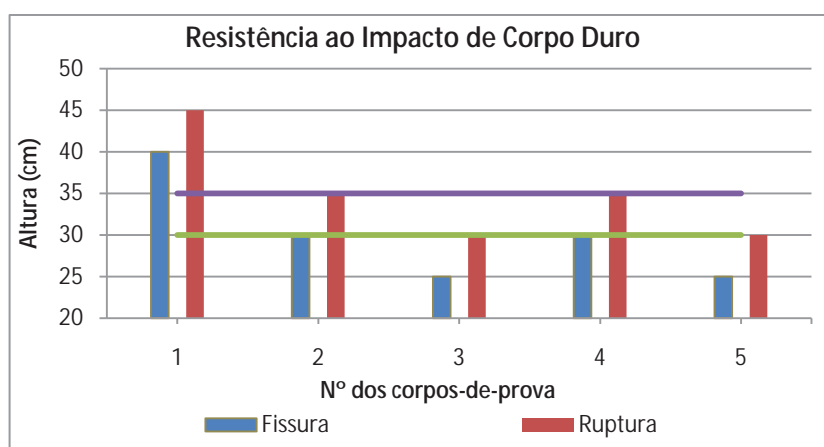
O ensaio que determina a resistência ao impacto de corpo duro possui o mesmo problema para comparação que o ensaio de flexão por 4 pontos e como só possui uma direção de corte, todos os corpos de prova utilizados no ensaio foram colocados na figura 91 de modo a caracterizar a evolução do comportamento rúptil

do “Granito Capão Bonito” em função do aumento da altura de queda da esfera metálica.

A figura 91 revela que, a partir da fissura, a ruptura ocorre em intervalos regulares de 5 cm no seis corpos-de-prova testados. Há também uma variação nas alturas de fissura e ruptura de um corpo-de-prova em relação ao outro, o que pode ser explicado por variações texturais em cada placa ensaiada, onde a esfera impacta ora sobre porções com mais quartzo, ora com mais microclínio e oligoclásio.

No geral a amostra CBT2 apresenta valor satisfatório de resistência quando comparado ao valor tido como requisito mínimo para granitos pela NBR 15844 (ABNT, 2010a). É importante destacar que a estrutura isotrópica do granito influi muito em sua resistência ao fraturamento. O que pode de forma subjetiva ocasionar uma preocupação é o pequeno intervalo de 5 cm entre a fissura e a ruptura.

**Figura 91.** Resistência ao impacto de corpo duro



**Legenda:** Fissura) Ocorrem as primeiras trincas; Ruptura) Quebra com isolamento total das partes do corpo de prova. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Além disso, outras propriedades petrográficas como a composição mineralógica, tamanho médio predominante dos grãos (entre 5 mm e 15 mm) e as relações de contato entre minerais, exercem controle na resistência impacto apresentada pela amostra.

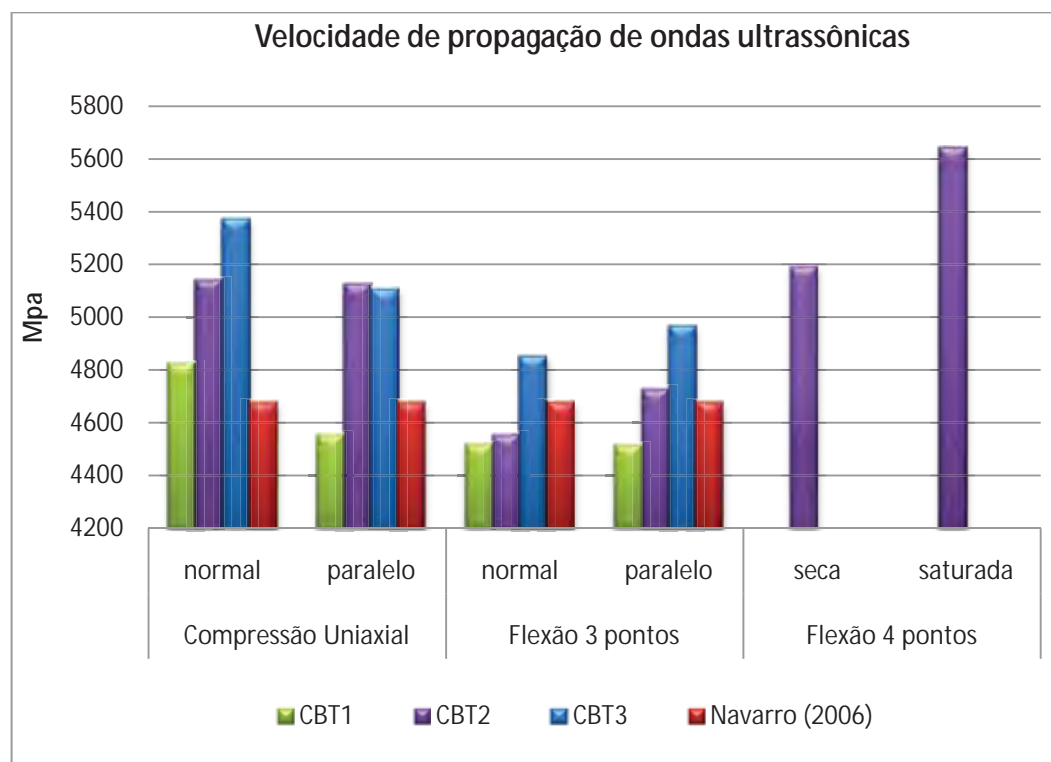
Na análise da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas conjugada, como controle de qualidade, aos ensaios de resistência à compressão uniaxial, à flexão por 3 pontos e flexão por 4 pontos tanto nos corpos-de-prova cortados no sentido paralelo ao plano principal de microfissuramento quanto no normal a ele,

percebe-se em termos gerais que ela está diretamente relacionada com a presença ou não de anisotropia, com o grau de sanidade e coesão dos materiais, representando assim importante índice para qualificação e avaliação dos comportamentos físicos e mecânicos das rochas. Os valores médios das velocidades de propagação ( $V_p$ ) de ondas ultra-sônicas podem ser visualizados na figura 92.

Cabe, inicialmente, ressaltar que a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas ( $V_p$ ) está na dependência de vários fatores inerentes aos materiais rochosos tais como massa específica, compactidade, teor de minerais máficos, sanidade, anisotropia estrutural, grau de porosidade/vazios, etc.

Os resultados das medidas médias realizadas nos corpos-de-prova utilizados nos ensaios citados anteriormente não revelaram grandes diferenças entre as amostras, por se tratarem do mesmo tipo litológico e não possuírem anisotropia. Tal proximidade entre os resultados, inclusive da média dos resultados obtidos por Navarro (2006), indica certa homogeneidade litológica ao longo da área onde foram coletadas as amostras.

**Figura 92.** Velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas ( $V_p$ )



**Legenda:** Normal e paralelo) em relação ao plano principal de microfissuras; Seca e saturada) presença ou não de água. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

A água exerceu o papel de preencher os vazios (poros) existentes na rocha resultando em um expressivo aumento da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, o que implica em uma sugestão de estudo por exemplo relacionado ao impacto de corpo duro aplicado na verificação do comportamento de corpos-de-prova saturados. Onde se verificaria se a velocidade das ondas de choque também se propagariam de forma mais rápida no corpo-de-prova saturado (simulando um banheiro) facilitando a ruptura da rocha. Ressalta-se que a água com o passar do tempo pode gerar complicações as rochas relacionadas à susceptibilidade à alteração.

As pequenas variações das quantidades de microfissuras (vide resumo petrográfico) presentes corroboram esta afirmação, não sendo necessária a indicação de uma amostra com melhores condições técnicas de aplicação do que outra, pois todas elas estão acima da média de valor tida como referência para velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (> 4000) publicada por Frazão e Farjallat (1995).

No geral, os índices alcançados pelo sienogranito “Capão Bonito” nos ensaios e análises laboratoriais, quando comparados com os requisitos publicados na NBR 15844 (ABNT, 2010a), os resultados médio publicados por Navarro (2006) e os fixados pela ASTM C615 (1992), foram satisfatórios.

Tal fato se deve a característica que a rocha tem de não possuir diferenças marcantes no tocante à: textura (relações de contato entre minerais em geral bem próximas); estrutura (o estado microfissural também apresenta baixa variação) Assim o bom entrelaçamento mineral e também baixo microfissuramento constituem materiais com maiores resistências.

No caso do sienogranito estudado, a diferença entre as médias de resistência das amostras coletadas em locais distintos do corpo magmático não é expressiva permitindo afirmar, também por não apresentar anisotropia, que se trata de uma rocha relativamente homogênea em grande parte da extensão de sua ocorrência.

## CAPÍTULO VIII

### VIII.1. ATAQUE QUÍMICO

A determinação da resistência ao ataque químico, como descrito anteriormente, foi realizada através de uma adaptação da NBR 13818, anexo H (ABNT, 1997) utilizada na determinação da resistência de placas cerâmicas esmaltadas.

O ensaio consiste na aplicação, sobre a superfície polida da rocha, de soluções químicas que representam produtos domésticos de limpeza e simula, em velocidade acelerada, a ação destes reagentes sobre a superfície da rocha.

Os resultados oriundos das medições de brilho e as respectivas perdas de tal propriedade após o ataque das substâncias agressivas, para a amostra CBT2 do “Granito Capão Bonito”, encontram-se reunidos na tabela 10 e serão discutidos apenas os resultados que implicarem alterações bruscas (mudanças no padrão estético como, por exemplo, alterações cromáticas) perceptíveis, a olho nu, nas superfícies das placas polidas.

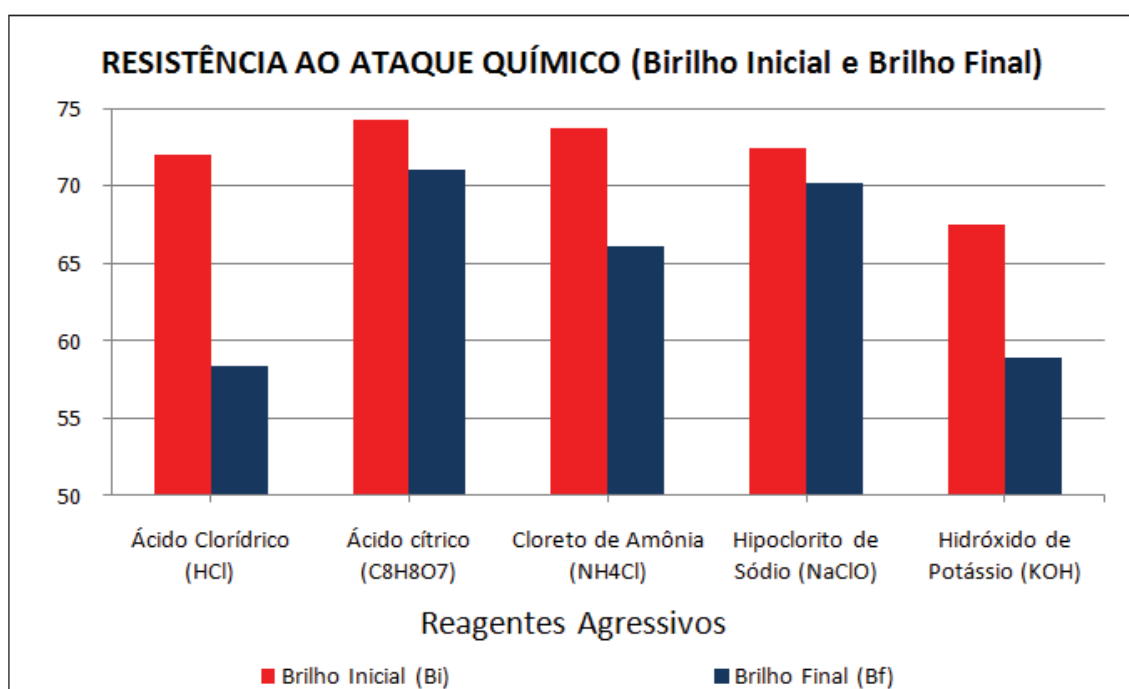
**Tabela 10.** Resumo dos resultados relativos ao brilho dos corpos-de-prova testados.

Reagente Agressivo	Estimativa de brilho		
	Bi	Bf	Pb (%)
Ácido Clorídrico (HCl)	71,97	58,41	19
Ácido cítrico (C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> )	74,29	71,03	4,5
Cloreto de Amônia (NH <sub>4</sub> Cl)	73,72	66,1	10
Hipoclorito de Sódio (NaClO)	72,44	70,22	5
Hidróxido de Potássio (KOH)	67,5	58,94	12,5

**Legenda:** Bi) Brilho Inicial; Bf) Brilho final e; Pb) Perda de brilho.

Com base na análise do comportamento do sienogranito “Vermelho Capão Bonito” (Figura 93) é possível afirmar que todas as substâncias agressivas causaram uma redução do brilho inicial (Bi) medido (Tabela 10).

**Figura 93.** Representação das medidas de brilho inicial e final para a amostra CBT2 do Sienogranito Vermelho Capão Bonito.



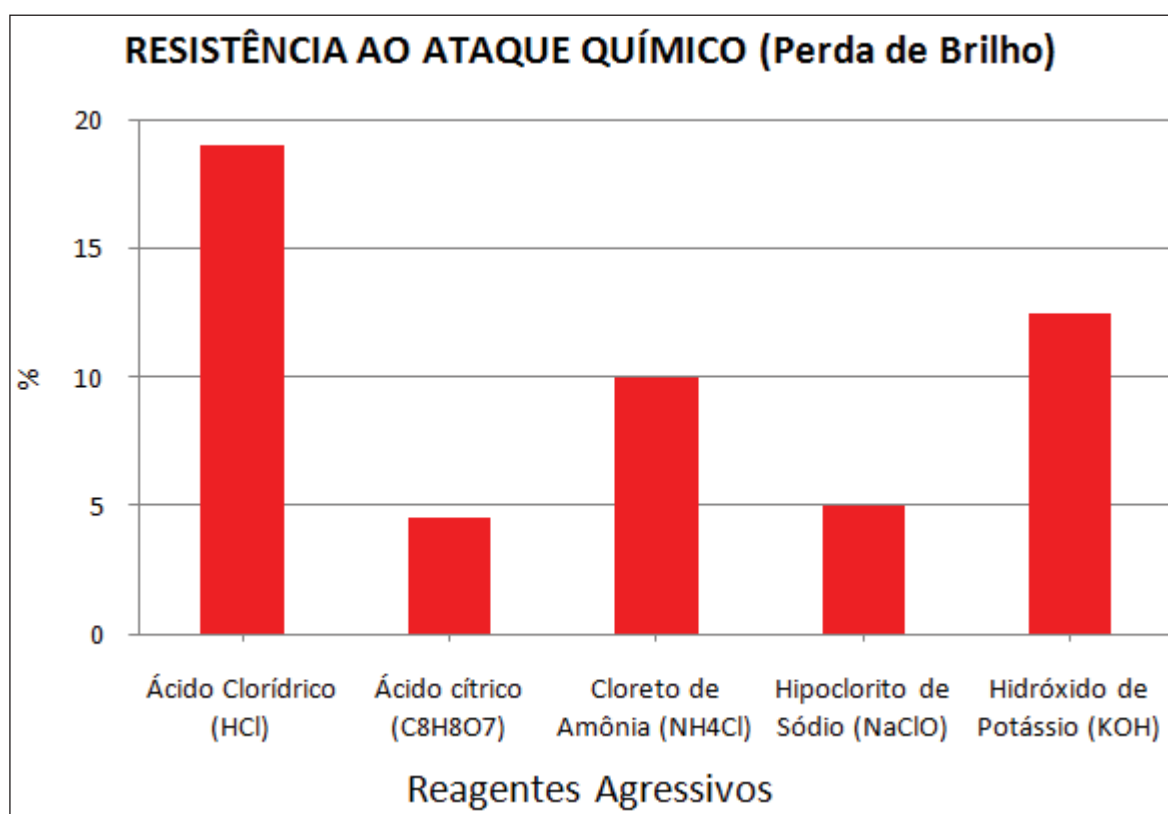
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

A figura 93 mostra também, que os corpos-de-prova que tiveram menores valores de brilho final foram os que na verdade já possuíam um brilho inicial relativamente menor. Isto pode ser justificado por uma deficiência no polimento, uma

vez que as rochas apresentavam micro-imperfeições relacionadas ao fechamento das microfissuras e planos de contato entre minerais facilitando a infiltração do fluido.

Os maiores resultados de resistência ou os menores de perda de brilho (Figura 94) estão associados ao ácido cítrico (Figura 95) e ao hipoclorito de sódio (Figura 96) não apresentando, em análise visual, qualquer mudança no padrão estético da rocha.

**Figura 94.** Estimativa da perda de brilho para o Sienogranito Vermelho Capão Bonito.



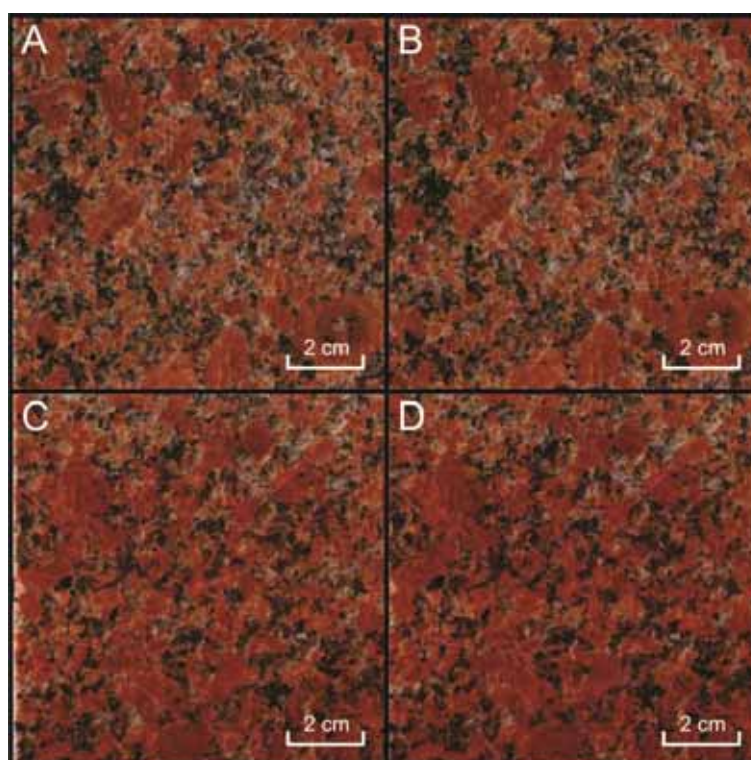
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

O cloreto de amônia (Figura 97) resultou em uma perda de brilho média (Figura 93) quando comparado aos demais reagentes. Contudo, não apresentou em análise visual qualquer alteração no padrão estético da rocha.

Os reagentes que mais provocaram alterações estéticas à rocha foram o ácido clorídrico (Figura 98) e o hidróxido de potássio (Figura 99). A análise visual revela que apenas o hidróxido de potássio gerou uma mudança drástica de cor (para branco) associada geralmente aos plagioclásios.

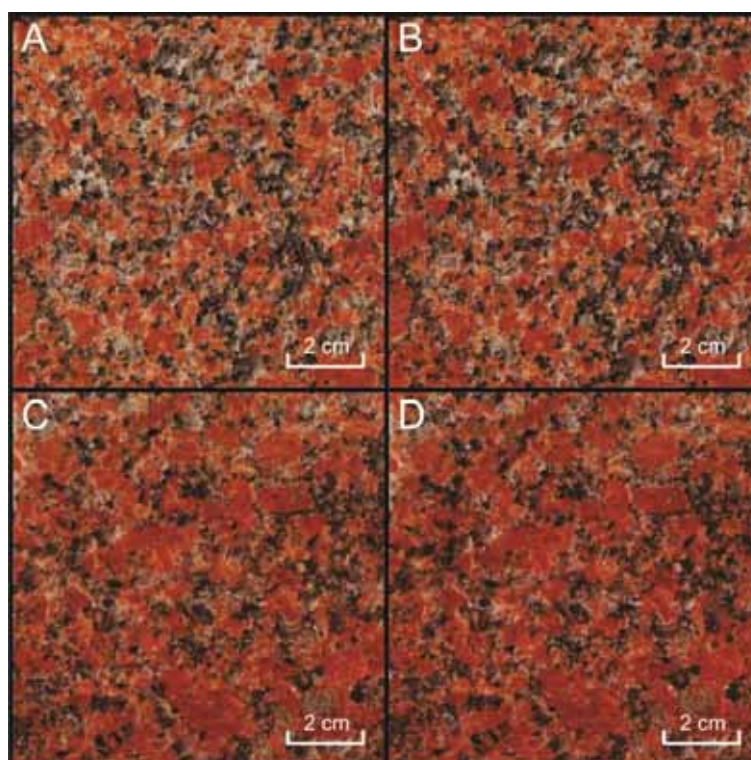


**Figura 95.** Corpos-de-prova atacados pelo ácido cítrico ( $C_8H_8O_7$ )



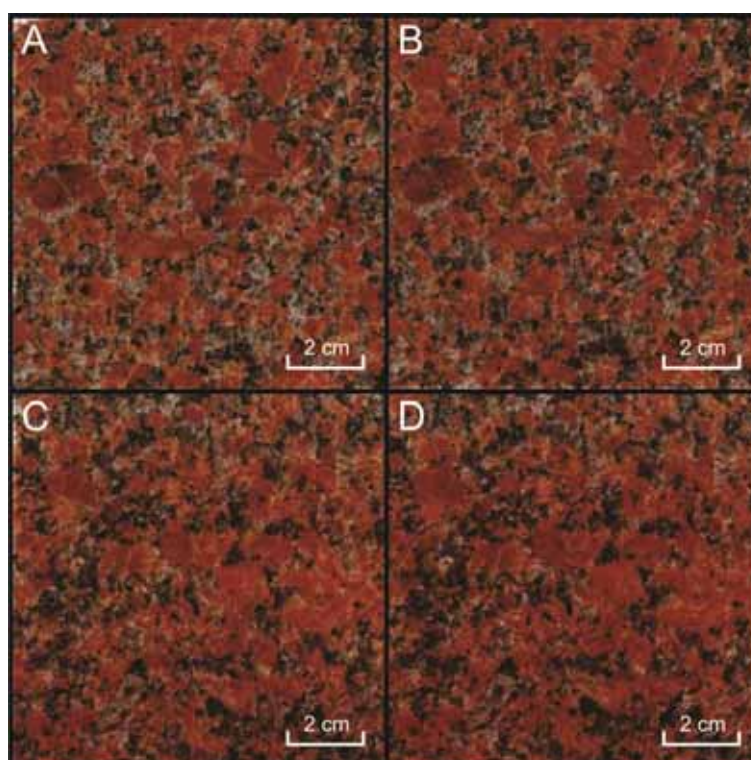
**Legenda:** A,C) antes do ataque; B,D) após o ataque. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 96.** Corpos-de-prova atacados pelo hipoclorito de sódio ( $NaClO$ )



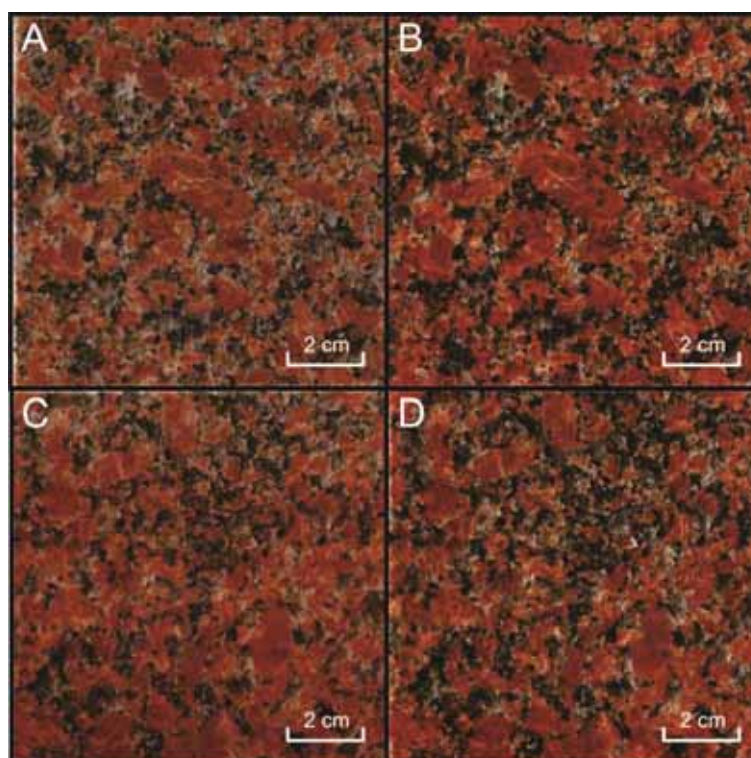
**Legenda:** A,C) antes do ataque; B,D) após o ataque. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 97.** Corpos-de-prova atacados pelo cloreto de amônia ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )



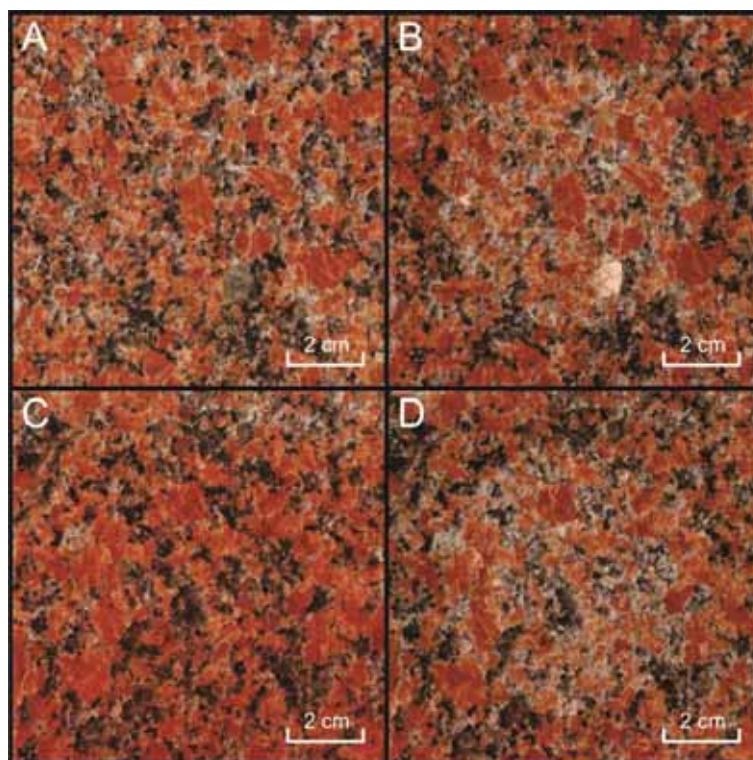
**Legenda:** A,C) antes do ataque; B,D) após o ataque. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 98.** Corpos-de-prova atacados pelo ácido clorídrico (HCl)



**Legenda:** A,C) antes do ataque; B,D) após o ataque. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 99.** Corpos-de-prova atacados pelo hidróxido de potássio (KOH)



**Legenda:** A,C) antes do ataque; B,D) após o ataque. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

## CAPÍTULO IX

### IX.1. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Maciço Granítico Capão Bonito está localizado, em sua maior parte, no município de Capão Bonito, mas também ocorre nos municípios de Itapeva, Guapiara e Ribeirão Branco no SW do Estado de São Paulo.

As rochas são intrusivas em rochas Neoproterozóicas do Complexo Granítico Três Córregos nas rochas epimetamórficas mesoproterozóicas da Formação Votuverava além de apresentar algumas porções encobertas por rochas sedimentares do Grupo Itararé e sedimentos recentes. Ocorrem ainda diques máficos associados ao magmatismo básico da Formação Serra Geral, de direção predominantemente NW-SE.

A área apresenta grande potencial para exploração das rochas do Maciço Capão Bonito com volume suficiente para a extração de blocos nos afloramentos que ocorrem tipicamente sob a forma de matacões com grande potencial de evolução para lavras em flanco descendentes onde a morfologia demonstra declives moderados, permitindo assim a instalação e o desenvolvimento das atividades de extração.

Contudo, para melhor definição da viabilidade econômica da implantação de um empreendimento minerário na região, seriam necessários estudos mais aprofundados (sondagens) nas zonas de afloramento para determinação da espessura da camada de solo que recobre as rochas caracterizadas.

As amostras estudadas das variedades de rochas ornamentais comercialmente designadas para o mercado nacional como Vermelho Capão Bonito e para o internacional como *Rubi Red Granite* apresentam aspectos composicionais, texturais e estéticos favoráveis à utilização como rocha ornamental e para revestimento.

Tais amostras foram classificadas petrograficamente como sienogranitos inequigranulares de granulação média a grossa a porfiróides, isotrópicos a levemente miloníticos e/ou cataclásticos nas rochas das regiões marginais do maciço e evidenciam uma grande homogeneidade composicional, textural e estrutural.

De modo geral todos os granitos analisados demonstraram boa resistência mecânica quando comparados aos valores médios sugeridos pelas instituições normatizadoras, o que permite qualificá-los como adequados para o uso contribuindo significativamente para a valorização comercial e industrial da jazida.

As feições texturais que os distinguem entre si, são caracterizadas por texturas porfiróides, definidas por pequenas variações em razão do tamanho de matriz, tamanho de fenocristais e porcentagem dos feldspatos potássicos. Esta homogeneidade textural com granulação predominantemente porfiróide, provoca, com ressalvas, o desgaste diferenciado em relação à resistência apresentada entre os feldspatos potássicos e a matriz dos minerais da rocha.

O desgaste apresenta-se, normalmente, mais acentuado nos tipos megaporfiríticos e com maiores porcentagens de fenocristais, merecendo, portanto cuidados em áreas de alto tráfego e estudos de resistência mais cautelosos na utilização como revestimento de fachadas, pois provoca uma diminuição nas propriedades de resistência físico-mecânica da rocha.

Diferenças no grau de entrelaçamento, imbricamento e tamanho entre os cristais podem ser responsáveis por diferenças na resistência à abrasão e a escarificação de placas rochosas. As diferenças granulométricas apresentadas pelas

rochas estudadas (porfiróides) podem corresponder também, às diferenças na alterabilidade potencial diante de líquidos agressivos.

Os índices físicos no tocante aos valores de massa específica apresentam uma diferença interna ocasionada, em sua maioria por microfissuras intergranulares aliadas às propriedades estruturais.

Contudo, tal diferença não representa um impedimento para utilização em ambientes úmidos internos ou externos, por possuir bons índices em relação limites aceitáveis sugeridos pelas instituições normatizadoras. O mesmo ocorre para os índices de porosidade e absorção d'água, onde os tipos ensaiados apresentam variações, que refletem, de modo geral, a forma dos contatos dos minerais, a granulação das amostras e a presença de microfissuras.

Os valores de massa específica aparente seca encontram-se acima dos valores normativos, sendo muito próximos e refletindo a similaridade composicional entre as amostras analisadas.

A análise da influência das microfissuras nos índices físicos revela que as tidas como intragranulares não implicam em um aumento da porosidade e consequente absorção d'água por não se intercomunicarem, diferentemente das inter e transgranulares que apresentam certa conectividade influenciando, quando não preenchidas no aumento ou na diminuição dos índices físicos.

No geral as rochas apresentam baixa a moderada absorção d'água e porosidade contribuindo também, junto às propriedades texturais de entrelaçamento mineral, com capacidade que a rocha possui de resistir a esforços mecânicos.

A fraca anisotropia definida por um lineação mineral e clivagem de fratura apresentadas por estas rochas é um fator relevante na diversificação da resistência que a rocha oferece em diferentes planos de corte aos esforços a que é submetida. Neste caso, a dependência direcional (anisotropia) da resistência a aplicações de esforços mecânicos não ocasiona ressalvas na utilização em função da redução da resistência à flexão, quanto ao emprego dessa rocha em revestimentos verticais externos por exemplo.

Os principais aspectos negativos associados a estas rochas são definidos pela presença de estruturas localizadas: de fluxo magmático, definidas orientações de fenocristais potássicos que tendem a delinear uma anisotropia planar para a

rocha; presença de planos de falhas, fraturas e juntas, diques de diabásio, veios de quartzo e veios pegmatóides; estruturas de *schlieren* definidas pela concentração de minerais máficos centimétricas ou pela concentração de megacristais de feldspato potássico, mistura e consumo de magmas mais ricos em máficos e raramente pequenos enclaves e xenólitos de granitos distintos.

Estas estruturas refletem, através de seu padrão estético, na desvalorização dos blocos pela perda de homogeneidade, aumento de volume de rejeitos e custos, conseqüentemente diminuindo a recuperação de blocos explorados.

Apesar destes aspectos estruturais localizados não impossibilitarem o desenvolvimento da lavra, exigem cuidadoso planejamento no avanço das frentes de exploração, sendo que algumas destas estruturas podem ser utilizadas a favor da exploração das rochas, como visto nos estudos das foliações e lineações minerais que impõem um controle estrutural para a lavra, influenciando nas dimensões, na ruptura dos blocos e por conseqüência na valorização do produto.

Estas feições estruturais em especial a foliação, quando mais penetrativa e distribuída de maneira homogênea, constituem um forte controle do corte dos blocos.

O arranjo deformacional na área foi identificado por uma foliação  $S_1$  de atitude N100/20SW, uma  $S_2$  com atitude média de N51/35SE, e as que afetam o Maciço Granítico Capão Bonito definidas pela foliação  $S_3$  de atitude N60/V e  $S_4$  de direção N140/75SW.

Para um melhor aproveitamento e dimensões de blocos, os planos de corte são caracterizados a partir da lineação mineral  $S_3$  (Corrida), da ortogonal definida por uma clivagem de fratura ou lineação mineral associada à deformação  $S_4$  (Segundo) e de um terceiro corte subhorizontal associado às fraturas de alívio de tensão (Trincante).

Em relação ao microfissuramento, as amostras se apresentaram nos limites entre o moderado e o alto, devido à quantidade de microfissuras intragranulares não intercomunicadas. Tal tipo de microfissura em algumas contagens aumenta o índice microfissural médio das amostras. Contudo, pelo fato de não se conectarem umas às outras, não representaram grande influência nos resultados finais.

Com relação à resistência ao desgaste abrasivo, as rochas graníticas apresentam valores altos de resistência, fato este atribuído ao maior ou menor % em

quartzo e também ao bom imbricamento mineral evidenciado pelas relações de contato entre os grãos minerais, o que permite indicar a aplicação dessas rochas em ambientes de alto tráfego.

As amostras de sienogranito estudadas apresentam no ensaio de resistência à compressão uniaxial resultados regulares, com poucas variações relativas à mudança do plano de corte.

No ensaio que determina a resistência à flexão por 3 pontos verifica-se que as rochas estudadas possuem valores de resistência, em geral, pouco maiores que os limites propostos pelas instituições normatizadoras.

Quando analisamos o ensaio que determina a resistência à flexão por 4 pontos é possível constatar apenas que a resistência oferecida pelos corpos-de-prova em espessura de uso (2 cm) foi bem superior ao sugerido pela ABNT (2010a).

O ensaio que determina a resistência ao impacto de corpo duro revela que, a partir da fissura, a ruptura ocorre em intervalos regulares de 5 cm no seis corpos-de-prova testados. Há também uma variação nas alturas de fissura e ruptura de um corpo-de-prova em relação ao outro, o que pode ser explicado por variações texturais em cada placa ensaiada, onde a esfera impacta ora sobre porções com mais quartzo, ora com mais microclínio e oligoclásio.

É importante destacar que a estrutura isotrópica do granito influi muito em sua resistência ao fraturamento. O que pode ocasionar uma preocupação é o pequeno intervalo de 5 cm entre a fissura e a ruptura.

Em relação à análise da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, os resultados que avaliam cada um destes índices, não revelaram grandes diferenças entre as amostras, por se tratarem do mesmo tipo litológico e praticamente não possuírem anisotropia. Tal proximidade entre os resultados indica certa homogeneidade litológica ao longo da área onde foram coletadas as amostras.

A presença de minerais máficos alteráveis (biotita e hornblenda) expostos a condições ambientais naturais ou impostas por produtos industriais de limpeza (principalmente, neste estudo, para o ácido clorídrico e o hidróxido de potássio) pode afetar as características estéticas iniciais das rochas, bem como reduzir sua vida útil como revestimento. Através da alteração destes minerais, propicia-se uma maior capacidade de absorção d'água e uma conseqüente diminuição da resistência mecânica da rocha.



Para os tipos graníticos o ataque químico mostrou que eles reagem de forma muito semelhante, sem variações cromáticas abruptas e alterações minerais (exceto para o hidróxido de sódio) indicando que estes granitos, de modo geral, podem ser considerados como rochas medianamente resistentes ao ataque químico.

Entretanto, diante dos resultados obtidos neste ensaio para o hidróxido de sódio recomenda-se que os cuidados quanto à limpeza e a manutenção devam ser realizados utilizando-se apenas um pano úmido com sabão neutro diluído.

A geoquímica de elementos maiores e menores revelou, assim como os resultados de caracterização físico-mecânica, corroborada pela petrográfica, que as rochas estudadas possuem grande homogeneidade composicional (química) permitindo afirmar que as rochas contidas nos afloramentos ou zonas de matacões além da similaridade morfológica, de ocorrência e tecnológica, possuem similaridade química.

Do ponto de vista tecnológico os materiais graníticos analisados apresentam bom desempenho físico-mecânico e químico, sugerindo que o tipo litológico denominado comercialmente como Vermelho Capão Bonito é perfeitamente aplicável como rocha ornamental e de revestimento em obras civis, em ambientes internos e externos seja como elemento de revestimento de pisos ou de fachadas.

# CAPÍTULO X

## X.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABÍLIO, G.S. **Análise do Padrão de Fraturamento do Granito Preto Piracaia e seu Entorno**. Rio Claro. 2006. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geologia). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- AIRES-BARROS, L. Alteração e alterabilidade de rochas. Imprensa Nacional, Casa da Moeda, Lisboa, 1991.
- AIRES-BARROS, L. As rochas dos monumentos portugueses. Tipologias e patologias. Ministério da Cultura. Instituto Português do Patrimônio Arquitetônico. Lisboa, v. 2, p. 535, 2001.
- ALMEIDA, F.F.M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. In: Geologia do Estado de São Paulo, Universidade de São Paulo. Boletim IGG (41). São Paulo, p.167-263. 1964.
- ALMEIDA, F.F.M. de. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. **Boletim da Divisão de Geologia e Mineração**, Rio de Janeiro, p. 241, 36, 1967.
- ALMEIDA, F.F.M. de, HASUI, Y., PONÇANO, W.L., DANTAS, A.S.L., CARNEIRO, C.D.R., MELO, M.S. de, BISTRICH, C.A.. Mapa geológico do Estado de São

Paulo, escala 1: 500.000, nota explicativa. São Paulo, IPT, Monografias 6, v. 1, 126 p. 1981.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). C 880. Norma para método de teste para resistência à flexão de rochas ornamentais. Filadélfia, Estados Unidos: 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard C – 615. Sloudart especification for granite dimension stone. Estados Unidos:1992. 2p.

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: 1990. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento no 1º semestre de 2010. São Paulo, 2010a. Disp.: [http://www.ivolution.com.br/news/upload\\_pdf/7059/exporta\\_junho2010.pdf](http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/7059/exporta_junho2010.pdf).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). Rochas do Século XXI - Cenário internacional. São Paulo, 2010b. Disponível em: [http://www.abirochas.com.br/livro\\_01.php](http://www.abirochas.com.br/livro_01.php).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). Síntese das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento em 2010. São Paulo, 2010c. Disp.: [http://www.ivolution.com.br/news/upload\\_pdf/9576/Exporta\\_2010.pdf](http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/9576/Exporta_2010.pdf).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento no 1º quadrimestre de 2011. Disp.: [http://www.ivolution.com.br/news/upload\\_pdf/9908/Balanco\\_1Quadrimestre\\_2011.pdf](http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/9908/Balanco_1Quadrimestre_2011.pdf).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12042: Materiais inorgânicos. Determinação do desgaste por abrasão. Rio de Janeiro, 1992a. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12763: Rochas Para Revestimento. Determinação da resistência à flexão. Rio de Janeiro, 1992b. 3p.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12766: Rochas para revestimento – Determinação da Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção de água Aparente. Rio de Janeiro, 1992c. 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12767: Rochas para revestimento. Determinação da resistência à compressão uniaxial. Rio de Janeiro, 1992d. 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13818 (Anexo H) Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio: Determinação da resistência ao ataque químico, Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15844. Rochas para revestimento – Requisitos para granitos. Rio de Janeiro, 2010. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15845 (Anexo A) Análise petrográfica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010a. 4p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15845 (Anexo H) Resistência ao impacto de corpo duro – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010b. 3p.
- BAÊTA, R.M. **Caracterização petrográfica, faciológica, e tecnológica das rochas ornamentais do Complexo Alcalino de Tunas/PR**. 2004, 197p. Curitiba. Dissertação (Mestrado em Geologia Exploratória). Universidade Federal do Paraná.
- BISTRICH, C.A., CARNEIRO, C.D.R., DANTAS, A.S.L., PONÇANO, W.L., CAMPANHA, G.A. da C., NAGATA, N., ALMEIDA, M.A. de, STEIN, D.P., MELO, M.S. de, CREMINI, O.A. Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1 : 500.000. IPT/ Pró-Minério, São Paulo, v. 2, 1981
- CAMPANHA, G.A.C. **Tectônica proterozóica no Alto e Médio Vale do Ribeira, estados de São Paulo e Paraná**. 1991. 296 p., São Paulo. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica). Instituto de Geociências da Universidade São Paulo.
- CHIODI FILHO, C. **Aspectos Técnicos e Econômicos do Setor de Rochas Ornamentais**. CNPq/CETEM. Série Estudos e Documentos, 28. Rio de Janeiro, 1995. 75 p., il.

- CHIODI FILHO, C., TAKAHASHI, A.T., SILVA, C.R. da, FERREIRA, J.C.G. Projeto Capão Bonito. Relatório Final – CPRM. v. I, Rio de Janeiro, 1983.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Geologia e Recursos Minerais do Estado de São Paulo: Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Brasília: MME, Programa Geologia do Brasil: Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Mapas Geológicos Estaduais. Escala 1:750000, CD-ROM, 2006.
- CORDANI, U.G.; SATO, K.; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; BASEI, M.A.S. Crustal evolution of the South American platform. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (Eds.) **Tectonic evolution of South America**, Rio de Janeiro: p. 19- 40, 2000.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). Projeto Calcário para Cimento. Convênio DNPM-CPRM. Vol. I. Agência de São Paulo. São Paulo, 1972.
- ESBERT, R.M.; ORDAZ, J.; ALONSO, F.J.; MONTOLO, M. **Manual de Diagnosis y tratamiento de materiales pétreos e cerámicos**. Barcelona. 140 p., 1997. Col. legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona.
- FALEIROS, F.M. **Evolução de terrenos tectono-metamórficos da Serrana do Ribeira e Planalto Alto Turvo**. São Paulo, 2008. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- FERREIRA, S.N. **Geologia estrutural aplicada às rochas ornamentais na pedreira Knawa, Cláudio (MG)**. Rio Claro. 2004. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional). Universidade Estadual Paulista
- FIORI, A. P. **Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui a norte de Curitiba**. Tese (Livre Docência). São Paulo. 1990. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo
- FRASCÁ, M.H.B. de O. Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises e das patologias associadas ao uso. In: III Simpósio sobre Rochas Ornamentais do Nordeste, Anais... Recife, PE, 2002.
- FRAZÃO, E.B. & FARJALLAT, J.E.S. Características tecnológicas das principais

- rochas silicáticas brasileiras usadas como pedra de revestimento. In: Congresso Nacional da Pedra Natural. **Anais...** Lisboa: Cimpor, 1995.
- GAMA, C.D. da & BASTOS, M.J.N.A. Quantificação da compartimentação de maciços rochosos e suas aplicações a nível de projecto. 8º Congresso Nacional de Geotecnia. Lisboa, 2002.
- GIMENEZ FILHO, A. **Evolução do Complexo Granítico Três Córregos a Noroeste de Apiaí, SP.** São Paulo, 1993. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica). Instituto de Geociências da Universidade São Paulo.
- GODOY, A.M., ARRAIS, J.C.P., GALEMBECK, T.M.B. MORALES N., ARTUR, A.C. A importância dos aspectos geológicos, petrográficos e estruturais na lavra do “Granito Preto Piracaia” – SP, para Rocha Ornamental. **Geociências**, São Paulo, v. 21 n. (1/2), p. 57-66, 2002.
- GONÇALVES, B.; SOUSA, L.; OLIVEIRA, A. Comparação da fracturação em pedreiras de granito ornamental. GEOTIC – Sociedade Geológica de Portugal, In: Congresso Nacional de Geologia, VIII. Portugal, 2010. Disp.: <http://metododirecto.pt/CNG2010/index.php/vol/article/view/157>.
- HASUI, Y. & OLIVEIRA, M.A.F. de. Província Mantiqueira. Setor Central. In: Almeida, F.F. de, Hasui, Y. (Eds). **O Pre-Cambriano do Brasil.** São Paulo, p. 308-344, 1984
- HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; CAMPOS NETO, M.C.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.J.; JANASI, V.A. Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito-Neves, B. B. (Org). **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.** São Paulo: Editora Beca, p. 203-234, 2004.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Carta topográfica, em escala 1:50.000, do município de Capão Bonito – SP. 2005a. Disp.: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/topograficos/topo50/tif/Capao\\_Bonito28111/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/topograficos/topo50/tif/Capao_Bonito28111/). Acesso em: 10 de Março 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Carta topográfica, em escala 1:50.000, do município de Guapiara – SP. 2005b. Disp.: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/topograficos/topo50/tif/Guapiara28102/>. Acesso em: 10 de Março 2010.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mesorregião de Itapetininga. Mapa de divisões territoriais, Messorregiões. 2005c. Disp. <http://mapas.ibge.gov.br/divisao/viwer.htm>. Acesso em: 10 de Março 2010.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Catálogo de Rochas Ornamentais do Estado de São Paulo. São Paulo, 1990.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Catálogo de imagens. 2011. Disp.: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.
- KÖPPEN, W.P. & GEIGER, R. Das geographische system der klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Handbuch der klimatologie. Berlin: Borntrager,. v.1, 1936.
- KOPS, P. de T. **Geologia das Formações Antinha, Votuverava e Água Clara a sudeste do Complexo Granítico Três Córregos**. Rio Claro. 1994. 132 p. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- LEINZ, V. & LEONARDOS, O.H. **Glossário Geológico**. Iniciação científica, vol. 33,. 88 p. 1977.
- LEITE, R.J. **Petrogênese e geocronologia U-Pb do magmatismo granítico tardi a pós-orogênico no Batólito Agudos Grandes–SP**. São Paulo, 2003, 218 p. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- LORENZI, A.; CAETANO, L. F.; DRUNN, M.T.; SILVA FILHO, L.C.P. Utilização de Ultrassom para o monitoramento de estruturas de concreto. III Pan-Americas Conference for Nondestructive testing. Rio de Janeiro, 2003. Disp.: <http://www.aaende.org.ar/sitio/biblioteca/material/T-020.pdf>.
- MAGALHÃES, F.S. & CELLA, P.R.C. Estruturas dos maciços rochosos. In: Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998. 42p.
- MATTA, P.M. da. Indústria de Rochas Ornamentais Rejeitos X Produção Limpa. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Salvador, BA, 2003.
- MATTOS, I.C. **Geologia, petrografia, geoquímica, comportamento físico-mecânico e alterabilidade das rochas ornamentais do Stock granítico Serra do Barriga, Sobral (CE)**. Rio Claro. 2005. 147p. Tese (Doutorado em Geologia Regional). Universidade Estadual Paulista

- MELLO, I.S. de C. Indicadores do mercado nacional e internacional de rochas ornamentais e para revestimento. In: A Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais e para Revestimento no Estado de São Paulo, São Paulo, 2004.
- MENEZES, R.G. de. **Tecnologias de lavra em maciços rochosos**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Especialização em Tecnologia e Valorização em Rochas Ornamentais) Departamento de Geologia da UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, (2005). Disp.: [http://www.cprm.gov.br/publique/media/mono\\_ricardo\\_menezes.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/mono_ricardo_menezes.pdf).
- MESQUITA, M.P.S. de. **Composição, Estruturas, Propriedades Tecnológicas e Alterabilidade dos Granitos Ornamentais do Stock Morrinho, Santa Quitéria (CE)**. Rio Claro. 2002. 171 p. Tese (Doutorado em Geologia Regional). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- MEYER, A.P. **A influência da petrografia no comportamento tecnológico de rochas ornamentais do Complexo Socorro (SP) e maciço Pedra Branca (MG)**. Rio Claro. 2003. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional). Universidade Estadual Paulista.
- MORAES, M.C. & RODRIGUES, E.P. Exemplo de Aplicação de Coloração Seletiva de Feldspato Potássicos e Cálcicos, como Técnica Auxiliar no Estudo de Rochas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 21. 1978. Blumenau, **Anais...** Blumenau: v. 24, n. 97, p. 32-35, 1978
- MOTOKI, A. Petrologia I: Descrição Petrográfica de Rochas Ígneas. Departamento de Mineralogia e Petrologia Ígena, Universidade do Estado do UERJ. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: [http://motoki5.tripod.com/lgn/lgn2004\\_3.pdf](http://motoki5.tripod.com/lgn/lgn2004_3.pdf). Acesso em: 20 de outubro de 2010.
- MIRANDA, E.E. de. **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 19 maio 2011.
- NAVARRO, F.C. **Caracterização petrográfica como técnica para previsão do comportamento físico e mecânico de “granitos” ornamentais**. Rio Claro. 2002. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional). Universidade Estadual Paulista.
- NAVARRO, F.C. **Influência da petrografia sobre a anisotropia à tensão de compressão e dilatação térmica de rochas ornamentais**. Rio Claro, 2006, 230



- p. Tese (Doutorado em Geologia Regional). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista
- PONÇANO, W.L. As coberturas Cenozóicas. In: Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000. São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia/PROMOCET. v. 1, p. 82-96, 1981.
- PORSANI, J.L.; SAUCK, W.A.; SOUZA JUNIOR, A.O. GPR for mapping fractures and as guide for the extraction ornamental granite from a quarry: A case study from southern Brazil. **Journal of Applied Geophysics**. 177-187p., 2005
- PRAZERES FILHO, H.J. **Litogeoquímica, geocronologia (U-Pb) e geologia isotópica dos complexos graníticos Cunhaporanga e Três Córregos, Estado do Paraná**. São Paulo, 2000, 181 p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica). Instituto de Geociências, Universidade São Paulo.
- PRAZERES FILHO, H.J.; HARARA, O.M.; BASEI, M.A.S.; PASSARELLI, C.R.; SIGA JR, O. Litoquímica, geocronologia U-Pb e geologia isotópica (Sr-Nd-Pb) das rochas graníticas dos batólitos Cunhaporanga e Três Córregos na porção sul do Cinturão Ribeira, Estado do Paraná. **Série Científica**, São Paulo, v. 3, p. 51-70, 2003.
- QUEIROZ, J.P.C.; RIBEIRO, R.C. da C.; CORREIA, J.C.G. CARANASSIOS, A. Estudo petrográfico e caracterização tecnológica do granito Santa Cecília-ES. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/ES) Rio de Janeiro – RJ, 10p, 2007,
- REIS, R.C. & SOUSA, W.T. de. Métodos de lavra de rochas ornamentais. REM - Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 2003. Disp.: <http://www.scielo.br/pdf/rem/v56n3/v56n3a11.pdf>.
- SANTOS, E.S. dos. Ensaio de Caracterização Tecnológica e Alterabilidade de um granito denominado comercialmente Tycoon Blue. I Jornada do Programa de Capacitação Interna – CETEM. Rio de Janeiro, 2007. Disp.: [http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie\\_anais\\_I\\_jpci\\_2007/Elton\\_Santos.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_I_jpci_2007/Elton_Santos.pdf).
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. CPRM. A Geologia do Brasil no Contexto da Plataforma Sul-mericana. Brasília, 2003.
- SILVA, J.A. **Caracterização geológica e tecnológica de unidades gnáissicas e graníticas do sudoeste de Mato Grosso para fins de exploração como rochas ornamentais e para revestimento**. Rio Claro. 2009. Tese (Doutorado em

- Geologia Regional). Universidade Estadual Paulista.
- SOUSA, L.M.O. **O granito de Pedras Salgadas como recurso. Contribuição para a sua valorização e gestão integrada.** Lisboa, 1995. Tese (Mestrado em Geologia). Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra.
- SOUSA, L.M.O.; PIRES, C.C.A. **A influência da fracturação na exploração de rochas ornamentais: o caso do granito de Pedras Salgadas (Vila Real, Norte de Portugal).** Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe. Coruña, Espanha, 1998. Vol. 23, 59-69p.
- SOUZA JUNIOR, A.O. Investigações Geofísicas na pedreira de granito ornamental, no município de Capão Bonito – SP, utilizando-se os métodos GPR e eletrorresistividade. **Revista Brasileira de Geofísica**, Resumos de teses e dissertações, São Paulo, v. 22, 2002.
- SOUZA JUNIOR, A.O. & PORSANI, J.L. Localização de fraturas em rochas graníticas, no município de Capão Bonito-SP, Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 20, p. 123-128, 2003.
- STRECKEISEN, A.L. Plutonic rocks: classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommittee on the systematics of igneous rocks. **Geotimes**, n. 18, p. 26–30, 1976.
- TORQUATO, M. de F.B. **Rochas Ornamentais do Noroeste do Ceará (Brasil). Propriedades Tecnológicas, Alteração e Alterabilidade dos Granitos Vermelho Filomena, Meruoca Clássico e Verde Ceará.** Lisboa, 2004. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Disciplina Trabalho de Campo II, 2009.
- UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Disciplina Trabalho de Campo II, 2010.
- VIDAL, F.W.H.; BESSA, M.F.; LIMA, M.A.B. Avaliação de rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas. CETEM/MCT, **Série Tecnologia Mineral**, Rio de Janeiro, v. 76, 30p, 1999.
- WERNICK, E. Rochas magmáticas: conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica. São Paulo: Ed. UNESP, 655 p., 2003.
- ZÉ GERALDO. Música: Como diria Dylan. 1890. Disponível em: <http://zegeraldouol.com.br/#>. Acesso em: 30 de maio de 2011.

ANEXO 1

RESULTADOS DOS

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766/1992								
Amostra:		CBT 01			Data:		24/05/2010	
Procedência:		CAPÃO BONITO			Interessado:		THIAGO MOTTA BOLONINI	
CP	PESO (g)			Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )		Porosidade %	Abs. d'água %	
num.	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada			
1	212,61	342,50	341,48	2,629	2,637	0,79	0,30	
2	230,78	371,46	370,42	2,633	2,640	0,74	0,28	
3	234,13	377,08	376,09	2,631	2,638	0,69	0,26	
4	228,84	368,79	367,83	2,628	2,635	0,69	0,26	
5	219,84	354,25	353,48	2,630	2,636	0,57	0,22	
6	231,52	373,44	372,48	2,625	2,631	0,68	0,26	
7	219,12	353,19	352,25	2,627	2,634	0,70	0,27	
8	231,92	373,99	373,02	2,626	2,632	0,68	0,26	
9	226,13	364,57	363,62	2,627	2,633	0,69	0,26	
10	224,03	361,28	360,40	2,626	2,632	0,64	0,24	
<b>Valores Médios:</b>				2,628	2,635	0,69	0,26	
<b>Desvio Padrão:</b>				0,003	0,003	0,056	0,021	

Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766/1992								
Amostra:		CBT 2			Data:		19/05/2010 A 21/05/2010	
Procedência:		CAPAO BONITO			Interessado:		THIAGO MOTTA BOLONINI	
CP	PESO (g)			Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )		Porosidade %	Abs. d'água %	
num.	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada			
1	240,04	386,47	385,33	2,631	2,639	0,78	0,30	
2	229,74	369,99	368,90	2,630	2,638	0,78	0,30	
3	235,35	379,24	378,10	2,628	2,636	0,79	0,30	
4	234,66	378,72	377,20	2,618	2,629	1,06	0,40	
5	220,70	355,70	354,71	2,627	2,635	0,73	0,28	
6	201,74	325,11	324,14	2,627	2,635	0,79	0,30	
7	225,31	363,04	362,01	2,628	2,636	0,75	0,28	
8	237,43	382,49	381,30	2,629	2,637	0,82	0,31	
9	229,28	369,79	368,33	2,621	2,632	1,04	0,40	
10	229,93	370,58	369,55	2,627	2,635	0,73	0,28	
<b>Valores Médios:</b>				2,627	2,635	0,83	0,31	
<b>Desvio Padrão:</b>				0,004	0,003	0,120	0,046	

Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766/1992								
Amostra:		CBT 3			Data:		19/05/2010 A 21/05/2010	
Procedência:		CAPAO BONITO			Interessado:		THIAGO MOTTA BOLONINI	
CP	PESO (g)			Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )		Porosidade %	Abs. d'água %	
num.	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada			
1	240,82	387,80	386,99	2,633	2,638	0,55	0,21	
2	249,91	402,32	401,49	2,634	2,640	0,54	0,21	
3	234,39	377,54	376,52	2,630	2,637	0,71	0,27	
4	224,09	361,11	360,17	2,629	2,635	0,69	0,26	
5	238,74	384,43	383,45	2,632	2,639	0,67	0,26	
6	249,85	402,52	401,61	2,631	2,637	0,60	0,23	
7	235,39	379,18	378,26	2,631	2,637	0,64	0,24	
8	224,04	360,78	359,91	2,632	2,638	0,64	0,24	
9	226,82	364,75	363,96	2,639	2,644	0,57	0,22	
10	224,15	361,16	360,21	2,629	2,636	0,69	0,26	
<b>Valores Médios:</b>				2,632	2,638	0,63	0,24	
<b>Desvio Padrão:</b>				0,003	0,003	0,061	0,023	
<b>Fórmulas utilizadas:</b> m.e.seca = C / (B - A) m.e.satur. = B / (B - A) porosidade = (B-C) / (B-A) x 100 abs. d'água = (B-C) / C x 100								

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 12.767/1992													
Amostra:		CBT 01					Data:		26/05/2010				
Procedência:		CAPÃO BONITO					Interessado:		THIAGO MOTTA BOLONINI				
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	73,10	70,35	70,76	72,19	71,76	71,27	73,66	74,22	73,95	73,34	73,79	693,7	131,9
2	74,25	70,58	70,32	70,58	71,76	70,81	70,93	71,07	71,82	71,88	71,43	600,9	118,8
3	73,45	72,49	72,22	72,67	72,58	72,49	73,61	72,85	73,31	73,83	73,40	693,8	130,4
4	72,21	75,26	74,83	73,51	74,11	74,43	73,36	73,61	72,92	72,70	73,15	715,2	131,4
5	72,45	72,65	72,19	72,06	72,86	72,44	73,71	73,49	73,76	74,16	73,78	714,0	133,6
6	74,11	73,52	73,81	73,97	73,46	73,69	75,14	74,94	75,25	74,90	75,06	737,2	133,3
<b>Média:</b>						<b>72,52</b>					<b>73,43</b>	<b>692,455</b>	<b>129,9</b>
<b>Desvio Padrão:</b>						<b>1,379</b>					<b>1,183</b>	<b>47,68</b>	<b>5,56</b>
<b>OBS.: CORPOS-DE-PROVA 1, 2 E 3 NORMAIS AO MICROFISSURAMENTO. 4, 5 E 6 PARALELOS</b>													
<b>VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO</b>													
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)										
1	14,9	73,10	4906										
2	15,2	74,25	4885										
3	15,7	73,45	4678										
4	16,8	72,21	4298										
5	15,8	72,45	4585										
6	15,5	74,11	4781										
<b>Média:</b>			<b>4689</b>										
<b>Desvio Padrão:</b>			<b>226,95</b>										
<b>CONVERSÕES:</b>													
1kN = 101,971 kgf													
1kgf = 9,80665 N													
<b>FÓRMULA:</b>													
Tensão = $\frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$													
<b>TAXA DE CARREGAMENTO</b>													
205,5 kN/min.													
Com congelamento/de-gelo													
Sem congelamento/de-gelo					X								
Seca em estufa à 110° C										X			
Saturado em água													

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 12.767/1992													
Amostra:		CBT 02					Data:		26/05/2010				
Procedência:		CAPÃO BONITO					Interessado:		THIAGO MOTTA BOLONINI				
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	73,15	71,90	72,18	71,71	71,09	71,72	74,14	73,73	73,68	74,34	73,97	741,35	139,7
2	72,57	71,98	71,91	71,87	71,86	71,91	69,91	70,21	70,73	70,30	70,29	697,50	138,0
3	73,77	71,74	71,91	72,00	71,51	71,79	70,57	70,81	70,88	70,66	70,73	706,95	139,2
4	72,70	69,39	69,13	69,61	69,67	69,45	70,71	71,91	71,93	70,84	71,35	659,90	133,2
5	74,34	72,71	73,45	73,31	72,43	72,98	71,99	71,85	71,51	72,09	71,86	660,50	126,0
6	72,82	72,65	72,25	71,97	72,55	72,36	71,82	71,09	71,51	71,98	71,60	698,80	134,9
<b>Média:</b>						<b>71,70</b>					<b>71,63</b>	<b>694,1667</b>	<b>135,2</b>
<b>Desvio Padrão:</b>						<b>1,197</b>					<b>1,283</b>	<b>30,76</b>	<b>5,18</b>
<b>OBS.: CORPOS-DE-PROVA 1, 2 E 3 NORMAIS AO MICROFISSURAMENTO. 4, 5 E 6 PARALELOS</b>													
<b>VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO</b>													
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)										
1	15,2	73,15	4813										
2	13,9	72,57	5221										
3	13,7	73,77	5385										
4	14,0	72,70	5193										
5	14,5	74,34	5127										
6	14,4	72,82	5057										
<b>Média:</b>			<b>5132</b>										
<b>Desvio Padrão:</b>			<b>191,41</b>										
<b>CONVERSÕES:</b>													
1kN = 101,971 kgf													
1kgf = 9,80665 N													
<b>FÓRMULA:</b>													
Tensão = $\frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$													
<b>TAXA DE CARREGAMENTO</b>													
205,5 kN/min.													
Sem congelamento/degelo					X								
Seca em estufa à 110° C										X			

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 12.767/1992																																																					
Amostra:		CBT 03					Data:		26/05/2010																																												
Procedência:		CAPÃO BONITO					Interessado:		THIAGO MOTTA BOLONINI																																												
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão																																								
num	h	b				média	d				média	kN	MPa																																								
		1	2	3	4		1	2	3	4																																											
1	71,86	72,06	73,29	73,26	72,48	72,77	71,03	71,18	70,91	70,29	70,85	625,05	121,2																																								
2	71,00	70,82	70,44	69,13	69,27	69,92	72,50	73,21	73,35	72,48	72,89	605,00	118,7																																								
3	73,04	70,88	70,69	69,15	69,62	70,09	71,68	71,33	71,47	71,84	71,58	561,95	112,0																																								
4	72,91	72,06	72,56	72,21	71,81	72,16	73,24	72,78	74,27	74,57	73,72	710,10	133,5																																								
5	73,91	71,76	72,92	74,01	73,03	72,93	71,32	71,28	71,28	71,53	71,35	674,95	129,7																																								
6	74,28	70,11	70,35	70,77	70,64	70,47	72,65	72,98	72,98	73,06	72,92	604,60	117,7																																								
Média:						71,39					72,22	630,275	122,1																																								
Desvio Padrão:						1,386					1,113	53,59	8,01																																								
OBS.: CORPOS-DE-PROVA 1, 2 E 3 NORMAIS AO MICROFISSURAMENTO. 4, 5 E 6 PARALELOS																																																					
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="4">VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO</th> </tr> <tr> <th>CP</th> <th>tempo (ms)</th> <th>dist. (mm)</th> <th>veloc. (m/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>13,3</td><td>71,86</td><td>5403</td></tr> <tr><td>2</td><td>13,1</td><td>71,00</td><td>5420</td></tr> <tr><td>3</td><td>13,8</td><td>73,04</td><td>5293</td></tr> <tr><td>4</td><td>14,1</td><td>72,91</td><td>5171</td></tr> <tr><td>5</td><td>14,9</td><td>73,91</td><td>4960</td></tr> <tr><td>6</td><td>14,3</td><td>74,28</td><td>5194</td></tr> <tr><td colspan="3">Média:</td><td>5240</td></tr> <tr><td colspan="3">Desvio Padrão:</td><td>171,30</td></tr> </tbody> </table>														VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO				CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)	1	13,3	71,86	5403	2	13,1	71,00	5420	3	13,8	73,04	5293	4	14,1	72,91	5171	5	14,9	73,91	4960	6	14,3	74,28	5194	Média:			5240	Desvio Padrão:			171,30
VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO																																																					
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)																																																		
1	13,3	71,86	5403																																																		
2	13,1	71,00	5420																																																		
3	13,8	73,04	5293																																																		
4	14,1	72,91	5171																																																		
5	14,9	73,91	4960																																																		
6	14,3	74,28	5194																																																		
Média:			5240																																																		
Desvio Padrão:			171,30																																																		
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">CONVERSÕES:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td colspan="2">1kN = 101,971 kgf</td></tr> <tr><td colspan="2">1kgf = 9,80665 N</td></tr> </tbody> </table>														CONVERSÕES:		1kN = 101,971 kgf		1kgf = 9,80665 N																																			
CONVERSÕES:																																																					
1kN = 101,971 kgf																																																					
1kgf = 9,80665 N																																																					
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">FÓRMULA:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tensão =</td> <td><math>\frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}</math></td> </tr> </tbody> </table>														FÓRMULA:		Tensão =	$\frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$																																				
FÓRMULA:																																																					
Tensão =	$\frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$																																																				
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAXA DE CARREGAMENTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td colspan="2">205,5 kN/min.</td></tr> </tbody> </table>														TAXA DE CARREGAMENTO		205,5 kN/min.																																					
TAXA DE CARREGAMENTO																																																					
205,5 kN/min.																																																					
<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr> <td>Sem congelamento/degelo</td> <td>X</td> <td>Seca em estufa à 110° C</td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>														Sem congelamento/degelo	X	Seca em estufa à 110° C	X																																				
Sem congelamento/degelo	X	Seca em estufa à 110° C	X																																																		

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - NORMA NBR - 12763/1992																																																					
Amostra:		CBT 01					Data:		25/05/2010																																												
Procedência:		CAPÃO BONITO					Interessado:		THIAGO MOTTA BOLONINI																																												
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força	Tensão																																								
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b		N	MPa																																								
	1	2	3	4		1	2	3	4																																												
1	49,05	50,39	50,88	50,70	50,26	104,99	105,33	105,81	106,23	105,59	180	11042	11,2																																								
2	51,17	51,22	50,62	50,51	50,88	105,05	105,79	104,24	104,84	104,98	180	13392	13,3																																								
3	51,01	51,24	50,69	51,10	51,01	108,03	104,81	109,61	106,68	107,28	180	12676	12,3																																								
4	50,73	50,44	50,51	50,34	50,51	103,59	102,64	103,05	101,18	102,62	180	11788	12,2																																								
5	50,85	50,85	51,19	50,15	50,76	105,93	107,16	103,90	104,94	105,48	180	12490	12,4																																								
6	50,60	50,89	49,95	50,39	50,46	101,71	101,45	101,49	101,46	101,53	180	12110	12,6																																								
Média:					50,64					104,58		12249,67	12,3																																								
Desvio Padrão:					0,286					2,120		804,43	0,70																																								
OBS.: CORPOS-DE-PROVA 1, 2 E 3 NORMAIS AO MICROFISSURAMENTO. 4, 5 E 6 PARALELOS																																																					
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="4">VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO</th> </tr> <tr> <th>CP</th> <th>tempo (µs)</th> <th>dist. (mm)</th> <th>veloc. (m/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>44,0</td><td>199,24</td><td>4528</td></tr> <tr><td>2</td><td>43,7</td><td>198,37</td><td>4539</td></tr> <tr><td>3</td><td>44,2</td><td>198,45</td><td>4490</td></tr> <tr><td>4</td><td>44,6</td><td>200,98</td><td>4506</td></tr> <tr><td>5</td><td>44,4</td><td>200,23</td><td>4510</td></tr> <tr><td>6</td><td>44,3</td><td>200,43</td><td>4524</td></tr> <tr><td colspan="3">Média:</td><td>4516</td></tr> <tr><td colspan="3">Desvio Padrão:</td><td>17,797</td></tr> </tbody> </table>														VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO				CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)	1	44,0	199,24	4528	2	43,7	198,37	4539	3	44,2	198,45	4490	4	44,6	200,98	4506	5	44,4	200,23	4510	6	44,3	200,43	4524	Média:			4516	Desvio Padrão:			17,797
VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO																																																					
CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)																																																		
1	44,0	199,24	4528																																																		
2	43,7	198,37	4539																																																		
3	44,2	198,45	4490																																																		
4	44,6	200,98	4506																																																		
5	44,4	200,23	4510																																																		
6	44,3	200,43	4524																																																		
Média:			4516																																																		
Desvio Padrão:			17,797																																																		
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">FÓRMULA:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tensão =</td> <td><math>\frac{(3.F.L)}{(2.b.d^2)}</math></td> </tr> </tbody> </table>														FÓRMULA:		Tensão =	$\frac{(3.F.L)}{(2.b.d^2)}$																																				
FÓRMULA:																																																					
Tensão =	$\frac{(3.F.L)}{(2.b.d^2)}$																																																				
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAXA DE CARREGAMENTO:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td colspan="2">4450 N/min</td></tr> </tbody> </table>														TAXA DE CARREGAMENTO:		4450 N/min																																					
TAXA DE CARREGAMENTO:																																																					
4450 N/min																																																					
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">CONVERSÕES:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td colspan="2">1kN = 101,971 kgf</td></tr> <tr><td colspan="2">1kgf = 9,80665 N</td></tr> </tbody> </table>														CONVERSÕES:		1kN = 101,971 kgf		1kgf = 9,80665 N																																			
CONVERSÕES:																																																					
1kN = 101,971 kgf																																																					
1kgf = 9,80665 N																																																					
OBS.: <table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr> <td>seca em estufa à 110° C</td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table>														seca em estufa à 110° C	x																																						
seca em estufa à 110° C	x																																																				

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - NORMA NBR - 12763/1992													
Amostra:	CBT02				Data:	25/05/2010							
Procedência:	CAPÃO BONITO				Interessado:	THIAGO MOTTA BOLONINI							
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b			
	1	2	3	4		1	2	3	4				
1	49,36	50,85	49,79	50,75	50,19	99,12	100,70	99,45	100,83	100,03	180	11098,00	11,9
2	50,14	49,35	50,18	49,72	49,85	99,75	99,51	99,73	99,25	99,56	180	13730,00	15,0
3	50,28	49,22	50,14	49,04	49,67	100,48	100,36	100,58	100,09	100,38	180	14358,00	15,7
4	49,48	49,96	49,95	49,96	49,84	101,31	101,18	101,46	101,88	101,46	180	8286,00	8,9
5	50,70	50,87	50,62	50,83	50,76	99,34	100,20	99,63	100,05	99,81	180	8634,00	9,1
6	50,38	51,06	50,18	50,81	50,61	100,25	100,15	100,02	100,30	100,18	180	10208,00	10,7
<b>Média:</b>					<b>50,15</b>					<b>100,23</b>		<b>11052,33</b>	<b>11,9</b>
<b>Desvio Padrão:</b>					<b>0,446</b>					<b>0,664</b>		<b>2542,17</b>	<b>2,90</b>

**OBS.:** CORPOS-DE-PROVA 1, 2 E 3 NORMAIS AO MICROFISSURAMENTO. 4, 5 E 6 PARALELOS

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	45,2	199,13	4406
2	43,1	199,52	4629
3	43,1	199,52	4629
4	42,0	198,97	4737
5	42,2	199,39	4725
6	42,1	199,13	4730
<b>Média:</b>			4643
<b>Desvio Padrão:</b>			126,443

**OBS.:**

Seca em estufa à 110° C	x
-------------------------	---

FÓRMULA:	
Tensão=	$\frac{(3.F.L)}{(2.b.d^2)}$

TAXA DE CARREGAMENTO:	
4450 N/min	

CONVERSÕES:	
1kN = 101,971 kgf	
1kgf = 9,80665 N	

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - NORMA NBR - 12763													
Amostra:	CBT3				Data:	25/05/2010							
Procedência:	CAPÃO BONITO				Interessado:	THIAGO MOTTA BOLONINI							
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b			
	1	2	3	4		1	2	3	4				
1	50,48	50,74	50,62	50,73	50,64	100,44	99,74	99,17	99,76	99,78	180	11164,00	11,8
2	50,74	50,65	50,75	50,48	50,66	98,84	97,35	98,60	97,61	98,10	180	7498,00	8,0
3	50,87	50,37	50,67	50,29	50,55	100,21	100,17	100,17	101,23	100,45	180	9634,00	10,1
4	50,69	50,32	51,00	51,04	50,76	100,83	101,01	101,01	101,22	101,02	180	11316,00	11,7
5	50,22	50,76	50,42	50,72	50,53	102,01	101,58	101,58	101,79	101,74	180	13214,00	13,7
6	50,32	50,23	50,05	49,94	50,14	100,87	101,84	101,84	101,59	101,54	180	10670,00	11,3
<b>Média:</b>					<b>50,55</b>					<b>100,44</b>		<b>10582,67</b>	<b>11,1</b>
<b>Desvio Padrão:</b>					<b>0,218</b>					<b>1,352</b>		<b>1909,05</b>	<b>1,90</b>

**OBS.:** CORPOS-DE-PROVA 1, 2 E 3 NORMAIS AO MICROFISSURAMENTO. 4, 5 E 6 PARALELOS

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	40,8	200,21	4907
2	41,4	199,03	4807
3	41,4	200,37	4840
4	39,8	198,27	4982
5	41,2	201,31	4886
6	39,7	199,61	5028
<b>Média:</b>			<b>4908</b>
<b>Desvio Padrão:</b>			<b>83,713</b>

**OBS.:**

seca em estufa à 110° C	x
-------------------------	---

FÓRMULA:	
Tensão =	$\frac{(3.F.L)}{(2.b.d^2)}$

TAXA DE CARREGAMENTO:	
4450 N/min	

CONVERSÕES:	
1kN = 101,971 kgf	
1kgf = 9,80665 N	

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042										
Amostra:		CBT1				Data:		24/05/2010		
Procedência:		CAPÃO BONITO				Interessado:		THIAGO MOTTA BOLONINI		
Corpo de Prova	Leit. Iniciais	Leit. 500m		Leit. 1000m		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)	Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)	Média (500m)	Média (1000m)	
	canto	(mm)	canto	(mm)	canto					(mm)
1	1	9,48	1	9,20	1	8,92	0,28	0,56	0,26	0,63
	2	9,66	2	9,42	2	8,83	0,24	0,83		
	3	9,54	3	9,33	3	8,91	0,21	0,63		
	4	9,44	4	9,12	4	8,94	0,32	0,50		
2	1	9,69	1	9,37	1	9,17	0,32	0,52	0,29	0,55
	2	9,79	2	9,55	2	9,22	0,24	0,57		
	3	9,86	3	9,59	3	9,29	0,27	0,57		
	4	9,78	4	9,43	4	9,23	0,35	0,55		
Obs:	CORPO DE PROVA 01 (MEDIDAS LATERAIS 71,37 X 71,66mm)						média entre os corpos de prova		0,28	0,59
	CORPO DE PROVA 02 (MEDIDAS LATERAIS 71,69 X 72,15mm)						desvio padrão		0,02	0,05

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042										
Amostra:		CBT2				Data:		24/05/2010		
Procedência:		CAPÃO BONITO				Interessado:		THIAGO MOTTA BOLONINI		
Corpo de Prova	Leit. Iniciais	Leit. 500m		Leit. 1000m		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)	Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)	Média (500m)	Média (1000m)	
	canto	(mm)	canto	(mm)	canto					(mm)
1	1	9,37	1	8,92	1	8,70	0,45	0,67	0,307	0,600
	2	9,40	2	9,13	2	8,75	0,27	0,65		
	3	9,39	3	9,21	3	8,92	0,18	0,47		
	4	9,29	4	8,96	4	8,68	0,33	0,61		
2	1	9,64	1	9,38	1	8,99	0,26	0,65	0,250	0,548
	2	9,55	2	9,31	2	8,94	0,24	0,61		
	3	9,61	3	9,35	3	9,14	0,26	0,47		
	4	9,66	4	9,42	4	9,20	0,24	0,46		
						média entre os corpos de prova		0,279	0,574	
						desvio padrão		0,041	0,037	

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042										
Amostra:		CBT 03				Data:		24/05/2010		
Procedência:		CAPÃO BONITO				Interessado:		THIAGO MOTTA BOLONINI		
Corpo de Prova	Leit. Iniciais	Leit. 500m		Leit. 1000m		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)	Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)	Média (500m)	Média (1000m)	
	canto	(mm)	canto	(mm)	canto					(mm)
1	1	9,62	1	9,42	1	9,06	0,20	0,56	0,245	0,580
	2	9,73	2	9,51	2	9,21	0,22	0,52		
	3	9,77	3	9,49	3	9,16	0,28	0,61		
	4	9,65	4	9,37	4	9,02	0,28	0,63		
2	1	9,58	1	9,33	1	9,06	0,25	0,52	0,298	0,573
	2	9,67	2	9,47	2	9,24	0,20	0,43		
	3	9,74	3	9,35	3	9,03	0,39	0,71		
	4	9,65	4	9,30	4	9,02	0,35	0,63		
						média entre os corpos de prova		0,271	0,576	
						desvio padrão		0,037	0,005	



Ensaio de Resistência à Flexão na Tração (Método dos 4 pontos) - NORMA ASTM C880/1998													
Amostra:		CBT2				Data:		04/11/2010					
Procedência:		CAPÃO BONITO				Interessado:		THIAGO MOTTA BOLONINI					
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
num	espessura (d)				média d	largura (b)				média b			
	1	2	3	4	d	1	2	3	4	b			
1	20,11	20,64	20,59	20,73	20,52	49,17	50,53	49,90	50,95	50,14	270	1616	15,50
2	20,76	20,74	20,64	20,60	20,69	49,63	48,05	49,25	48,87	48,95	270	1452	14,04
3	20,06	19,88	19,82	20,06	19,96	48,83	49,32	48,71	50,36	49,31	270	1252	12,91
4	20,47	20,52	20,47	20,55	20,50	49,98	51,19	50,29	51,13	50,65	270	1474	14,02
5	20,19	19,88	20,09	19,95	20,03	49,86	50,20	49,89	50,03	50,00	270	1520	15,35
6	19,95	20,23	19,93	20,29	20,10	50,24	49,68	50,17	49,78	49,97	270	1144	11,48
<b>Média:</b>					20,34						49,81		13,88
<b>Desvio Padrão:</b>					0,3251						0,678		1,07
VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO				CONVERSÕES:									
CP	tempo (μs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)	1kN = 101,971 kgf 1kgf = 9,80665 N									
1	57,7	300,90	5215	FÓRMULA:									
2	59,6	301,00	5050	Tensão = $\frac{(3.F.L.)}{(4.b.d^2)}$									
3	57,5	297,90	5181	TAXA DE CARREGAMENTO									
4	57,5	299,10	5202	535 N/min									
5	56,2	298,50	5311	OBS.:									
6	56,7	297,50	5247	Seca em estufa à 75° C									
<b>Média:</b>			5192										
<b>Desvio Padrão:</b>			93,629										

Ensaio de Resistência à Flexão na Tração (Método dos 4 pontos) - NORMA ASTM C880/1998													
Amostra:		CBT2				Data:		04/11/2010					
Procedência:		CAPÃO BONITO				Interessado:		THIAGO MOTTA BOLONINI					
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
num	espessura (d)				média d	largura (b)				média b			
	1	2	3	4	d	1	2	3	4	b			
1	21,00	21,36	20,97	21,13	21,12	50,30	50,75	50,17	51,23	50,61	270	1616	14,50
2	20,89	20,81	20,46	20,58	20,69	49,71	48,72	49,45	49,46	49,34	270	1452	13,93
3	19,75	20,27	19,10	20,09	19,80	50,24	48,87	50,29	49,84	49,81	270	1252	12,98
4	20,01	19,84	19,87	19,86	19,90	50,20	50,10	50,04	50,40	50,19	270	1474	15,03
5	20,02	19,67	19,80	19,79	19,82	49,68	50,49	49,75	50,45	50,09	270	1520	15,64
6	20,46	20,20	20,35	20,43	20,36	50,72	50,67	50,79	51,38	50,89	270	1144	10,98
<b>Média:</b>					20,26						50,01		13,84
<b>Desvio Padrão:</b>					0,6016						0,473		1,02
VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO				CONVERSÕES:									
CP	tempo (μs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)	1kN = 101,971 kgf 1kgf = 9,80665 N									
1	53,7	301,10	5607	FÓRMULA:									
2	53,8	298,00	5539	Tensão = $\frac{(3.F.L.)}{(4.b.d^2)}$									
3	51,9	298,90	5759	TAXA DE CARREGAMENTO									
4	53,5	299,00	5589	535 N/min									
5	52,2	298,50	5718	OBS.:									
6	52,1	298,30	5726	Saturada em água									
<b>Média:</b>			5642										
<b>Desvio Padrão:</b>			92,48										

Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro - NORMA NBR 12.764/1992																
Amostra:		CBT2					Data:		25/10/2010							
Procedência:		Capão Bonito - SP					Interessado:		THIAGO MOTTA BOLONINI							
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				x				x			
25	x				x					x			x			x
30	x					x					x					x
35	x						x							x		
40			x													
45				x												
50																
Espessura	e1	20,40		e1	20,43		e1	20,56		e1	20,25		e1	20,56		
	e2	20,92		e2	20,44		e2	20,53		e2	21,21		e2	20,4		
	e3	20,43		e3	20,72		e3	20,93		e3	20,97		e3	20,45		
	e4	20,49		e4	20,55		e4	20,87		e4	20,49		e4	20,34		
<b>média</b>	20,56			20,54			20,72			20,73			20,44			
Média das alturas de queda correspondentes à fissura da rocha (m):															0,50	
Média das alturas de queda correspondentes à ruptura da rocha (m):															0,58	