

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E PETROGRÁFICA
DO "GRANITO ROSA ITUPEVA" AO LONGO DOS
ESTÁGIOS DE EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO

Pedro Pessoa Dib

Orientador: Prof. Dr. Jorge Silva Bettencourt

Co-Orientadora: Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá

Monografia de Trabalho de Formatura

SÃO PAULO
1998

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E PETROGRÁFICA
DO "GRANITO ROSA ITUPEVA" AO LONGO DOS
ESTÁGIOS DE EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO

DEDALUS - Acervo - IGC



30900002770

Pedro Pessoa Dib



Orientador: Prof. Dr. Jorge Silva Bettencourt
Co-Orientadora: Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá

Monografia de Trabalho de Formatura

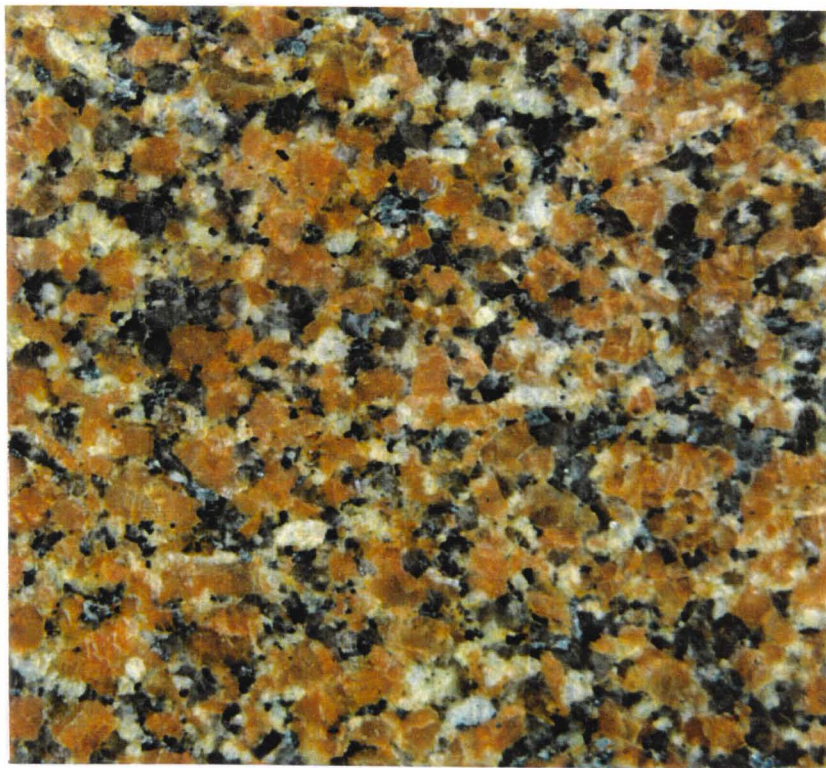
SÃO PAULO
1998

A educação pela pedra

Uma educação pela pedra: por lições;
para aprender da pedra, frequentá-la;
captar sua voz inenfática, impessoal
(pela de dicção ela começa as aulas).
A lição de moral, sua resistência fria
ao que flui e a fluir, a ser maleada;
a de poética, sua carnadura concreta;
a de economia, seu adensar-se compacta:
lições da pedra (de fora para dentro,
cartilha muda), para quem soletrá-la.

Outra educação pela pedra: no Sertão
(de dentro para fora, e pré-didática).
No Sertão a pedra não sabe lecionar,
e se lecionasse, não ensinaria nada;
lá não se aprende a pedra: lá a pedra,
uma pedra de nascença, entranha a alma.

João Cabral de Melo Neto



Dedico este trabalho a meus pais, que
sempre ofereceram a melhor
educação a seus filhos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Jorge Silva Bettencourt e Maria Heloísa Frascá, pelas sugestões ao longo da pesquisa e pela confiança em mim depositada.

À Silvio Vlach e Gergely Szabó, pela atenção e preocupação durante o decorrer do trabalho.

À Eduardo Brandau Quitete, pelas sugestões ao trabalho e pela orientação do meu estágio no Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

À Ely Borges Frazão e Mírian Cruxêm, também do IPT, pelo apoio e pelas sugestões à pesquisa.

Ao Prof. Coutinho, pela colaboração nas descrições petrográficas.

À Dogival, Nilson e Valentim, que prepararam e realizaram diversos ensaios no IPT.

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, que arcou com as despesas de todos os ensaios realizados durante a pesquisa.

À Fabiano Sambatti e Pedro Padilha, pela ajuda nos trabalhos de campo.

À Guilherme Gualda e Luciano Gobbo, pelas opiniões e pelo apoio.

À minha esposa e companheira, Luciana, pelo carinho e incentivo, pela paciência e pelo grande amor.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações Iniciais	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Justificativas	3
1.4 Área de Estudo	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Contexto Geológico	5
2.1.1 Geologia Regional.....	5
2.1.2 Geologia Local	7
2.2 Caracterização Tecnológica e Petrográfica de Rochas Ornamentais	12
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1 Trabalhos de Campo.....	17
3.2 Caracterização Petrográfica.....	21
3.3 Caracterização Tecnológica.....	21
4. CARACTERÍSTICAS DO “GRANITO ROSA ITUPEVA”.....	25
4.1 Propriedades Petrográficas.....	25
4.2 Propriedades Tecnológicas.....	31
4.2.1 Índices Físicos	32
4.2.2 Resistência à Compressão Uniaxial	33
4.2.3 Resistência à Tração na Flexão (Módulo de Ruptura).....	34
4.2.4 Resistência à Flexão	34
4.2.5 Coeficiente de Dilatação Térmica Linear	35
4.2.6 Desgaste Amsler	35
4.2.7 Alterabilidade.....	36
4.2.8 Lustro	36
4.2.9 Dureza Knoop	36
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	38
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

ANEXO

- Resultados de índices físicos do bloco
- Resultados de índices físicos da placa polida
- Resultados de índices físicos da placa polida “desgastada”
- Resultados da resistência à compressão uniaxial

- Resultados da resistência à tração na flexão (módulo de ruptura)
- Resultados de resistência à flexão (ASTM C 880)
- Resultados do coeficiente de dilatação térmica linear
- Resultados de desgaste Amsler
- Resultados de alterabilidade
- Resultados de lustro
- Resultados de dureza Knoop para o bloco
- Resultados de dureza Knoop para a placa polida

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Mapa de localização regional e acessos da área de estudo (Galembeck, 1997).....	4
Figura 1.2 - Mapa de detalhe da localização e acessos da área de estudo	5
Figura 2.1 - Mapa geológico regional da região de Itu-SP. (organizado a partir de Hasui, 1977; IPT, 1981; Galembeck, 1991; Oliveira <i>et al.</i> , 1992; Godoy <i>et al.</i> , 1994; Hackspacher, 1994; <i>apud</i> Galembeck, 1997).....	6
Figura 2.2 - Mapa de compartimentação geológica do Complexo Granitóide Itu (Galembeck, 1997).....	8
Figura 2.3 - Mapa faciológico da Intrusão Cabreúva (Galembeck, 1991, modificado, <i>apud</i> Galembeck, 1997) e localização da área da pedreira do “Granito Rosa Itupeva” (O), no extremo nordeste do mapa	11
Figura 4.1 - Composições modais determinadas em lâminas e fatias de rocha lançadas no diagrama Q-A-P (Streckeisen, 1976)	27
Figura 4.2 - Análise comparativa da absorção d'água do bloco, da placa polida e do limite máximo estipulado pela ASTM	32
Figura 4.3 - Análise comparativa da absorção d'água entre placa polida e placa com polimento desgastado	33
Figura 4.4- Valores de resistência à flexão (ASTM C-99 e ASTM C-880) comparados com seus respectivos valores mínimos estipulados pela ASTM C 615	34
Figura 4.5 - Curva de distribuição da dureza Knoop obtida em amostra do bloco	37
Figura 4.6 - Curva de distribuição da dureza Knoop obtida em amostra de placa polida	37

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 - Composição modal para amostras do “Granito Rosa Itupeva”	26
Tabela 4.2 - Simbologia para forma de apresentação dos resultados	31
Tabela 4.3 - Resultados de índices físicos para bloco e placa polida do “Granito Rosa Itupeva”	32
Tabela 4.4 - Resultados de índices físicos para placa polida e placa com polimento desgastado do “Granito Rosa Itupeva”	33
Tabela 4.5 - Resultados de desgaste Amsler para os respectivos percursos	35
Tabela 4.6 - Resultados de medidas de lustro antes e após o ensaio de alterabilidade	36
Tabela 4.7 - Valores de dureza Knoop expressos para o bloco e para placa polida	37

ÍNDICE DE FOTOS E FOTOMICROGRAFIAS

Foto 3.1 - Plano geral da pedreira do “Granito Rosa Itupeva”	18
Foto 3.2 - Bloco selecionado para o estudo, exibindo face amostrada.....	18
Foto 3.3 - Blocos no tear, após o processo de desdobramento em placas	19
Foto 3.4 - Placas serradas passando pelo processo de polimento	19
Foto 3.5 - Amostra bruta do “Granito Rosa Itupeva”	20
Foto 3.6 - Amostra polida do “Granito Rosa Itupeva”	20
Foto 4.1 - Aspecto macroscópico do “Granito Rosa Itupeva”	27
Fotomicrografia 4.1 - Textura hipidiomórfica da rocha (nicóis cruzados, objetiva: 2,5x)	28
Fotomicrografia 4.2 - Cristal de plagioclásio exibindo núcleo alterado para sericita (nicóis cruzados, objetiva: 10x)	28
Fotomicrografia 4.3 - Padrão incipiente do microfissuramento da rocha bruta (nicóis descruzados, com filtro azul, zoom: 4 - lupa binocular).....	29
Fotomicrografia 4.4 - Padrão de microfissuramento intenso observado paralelamente à superfície da placa de rocha polida (nicóis descruzados, com filtro azul, zoom: 4 - lupa binocular)	29
Fotomicrografia 4.5 - Padrão incipiente do microfissuramento da rocha bruta (nicóis descruzados, com filtro azul, zoom: 4 - lupa binocular)	30
Fotomicrografia 4.6 - Padrão de microfissuramento intenso observado paralelamente à superfície da placa de rocha polida (nicóis descruzados, com filtro azul, zoom: 3 - lupa binocular).....	30

RESUMO

Entre os diversos materiais naturais utilizados na construção civil, as rochas ornamentais destacam-se em função da durabilidade e dos variados padrões estéticos que apresentam.

Para atender as diversas solicitações que serão impostas às rochas, conforme seus campos de aplicação, é necessário caracterizar petrografica e tecnologicamente o material, indicando qualitativa e quantitativamente suas propriedades mineralógicas e físico-mecânicas.

O setor de rochas ornamentais ainda utiliza conhecimento bastante empírico na fase de exploração e realiza de forma insuficiente a qualificação do material em função de suas propriedades petrográficas e tecnológicas.

Este estudo propôs realizar a caracterização do “Granito Rosa Itupeva”, explorado no Município de Itupeva, Estado de São Paulo. Este material ainda não tem suas principais propriedades mineralógicas e físico-mecânicas conhecidas, apesar de ter boa aceitação no mercado consumidor. Também foi proposta a análise destas propriedades em função de seu estágio de beneficiamento, para verificar eventuais mudanças de comportamento do material.

O trabalho teve início com a realização de abrangente revisão bibliográfica, com ênfase na evolução do conhecimento sobre a caracterização petrográfica e tecnológica de rochas. Em seguida, foi feito o reconhecimento geológico do jazimento e foi selecionado um bloco representativo do material para amostragem.

Foram realizados vários ensaios para determinar as propriedades da rocha no estado bruto. O bloco selecionado seguiu para o processo de beneficiamento, onde foi serrado em placas que, posteriormente, foram polidas.

As placas polidas também foram amostradas e ensaiadas, para representar as características do material após o beneficiamento.

Verificou-se, após a comparação dos resultados obtidos para amostras do bloco e das placas, que o processo de beneficiamento adotado resultou em perda de qualidade do material. Entretanto, a análise das propriedades petrográficas e tecnológicas qualificam o “Granito Rosa Itupeva” para ser utilizado como rocha ornamental.

O estudo comprova a necessidade do conhecimento das características fundamentais da rocha, para proporcionar sua utilização adequada e resultar em uma maior valorização do material.

ABSTRACT

Dimension stones play an important role among natural materials because of its durability and diversity of aesthetic patterns.

In order to make a correct evaluation of dimension stones quality, depending on its different uses, it's necessary a technological and petrographic characterization to indicate the mineralogical and physical-mechanical properties.

The purpose of this study was the evaluation of the properties, not studied yet, of the "Rosa Itupeva Granite", exploited in Itupeva County, São Paulo State, Southeast of Brazil. Another objective was to analyse some properties in different processing stages, in order to observe eventual changes in the quality of the material.

This study began with the identification of the main geological aspects of the quarry, and the selection of a representative block. Several standard test methods were carried out, according to the proceedings of the Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) and the American Society for Testing and Materials (ASTM), to determinate the rock properties in the raw material. The selected block was processed, and some polished tiles were chosen to represent the finished product. New tests were carried out, and the results represented the properties of the finished product

After a comparative analysis, it was observed that the processing results in a loss of quality in the finished product. The most important results were the porosity and the water absorption, that presented an increase of 50% in the finished product in relation to the raw material. However, the complete analysis of the technological and petrographic properties qualify the "Rosa Itupeva Granite" to be used as a dimension stone.

This study also proves the importance of an adequate technological qualification of the dimension stones as a satisfactory guide that indicates the correct use and increases the commercial value of the material.

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As rochas tem sido utilizadas para os mais diversos fins desde os tempos pré-históricos. Existem registros arqueológicos de ferramentas de uso doméstico e agrícola, de armas para caça e guerra e de objetos religiosos confeccionados com rochas. Por volta de 4.000 anos a.C. as rochas começaram a ser usadas como elementos de edificações e defesas em cidades, que viriam a tornar-se importantes núcleos sócio-políticos na história humana. Rochas com função estética e ornamental viriam a ser utilizadas ao redor de 3.000 a.C. pelos mesopotâmios e egípcios e, posteriormente, pelos gregos, que tornaram público o uso de rochas ornamentais através da escultura e da arquitetura.

Até o final do século passado as indústrias de extração e de beneficiamento de rochas utilizavam técnicas extremamente rudimentares, que limitavam uma maior e melhor utilização das rochas ornamentais. No início deste século a indústria começou a se mecanizar, e dessa forma impulsionou o comércio de rochas ornamentais proporcionando uma maior diversificação de suas formas de utilização.

Desde então as rochas constituem um importante produto usado em diversas áreas, sendo as principais divididas em quatro grupos (Alencar *et al.*, 1996), a saber: *arquitetura e construção* (que engloba todos os tipos de edificações), *construção e revestimento de elementos urbanos* (pavimentação de vias para veículos e pedestres, de praças e parques etc.), *arte funerária* (ornamentação de túmulos e mausoléus) e *arte e decoração* (esculturas, estátuas, balcões, móveis etc.). As rochas ornamentais também podem ser divididas comercialmente em dois grupos principais, designados, de maneira genérica, de “granitos” e “mármore”.

Apesar da grande variedade de campos de aplicação exigir criteriosa distinção de características e especificações para cada tipo de rocha, os processos produtivos não se diferenciam tanto, e o ciclo completo de produção pode ser dividido em três etapas fundamentais: *extração*, onde o material útil é removido na forma de blocos a partir de maciços rochosos ou de matacões; *beneficiamento primário*, onde os blocos são cortados na forma de chapas, tiras ou espessores no processo denominado desdobramento; e *beneficiamento final*, onde é obtido o produto acabado depois de três sub-etapas: acabamento superficial, corte e acabamento final. Dentre diversas formas de acabamento final, as mais utilizadas atualmente são as placas polidas, apicoadas, levigadas, lustradas e flameadas.

Diante da necessidade de serem atendidas as mais diversas solicitações que serão impostas às rochas, conforme seus campos de aplicação, faz-se necessária uma caracterização petrográfica e tecnológica, que tem como finalidade indicar quantitativa e qualitativamente suas propriedades mineralógicas e físico-mecânicas. Estas propriedades

são obtidas pela análise de resultados de ensaios executados, segundo procedimentos rigorosos, normatizados por entidades reconhecidas nacional e internacionalmente, tais como: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); American Society for Testing and Materials (ASTM); Deutsch Institut für Normung (DIN); Association Française de Normalization (AFNOR), entre outras.

As propriedades de maior interesse são: petrografia, índices físicos, (massa específica, porosidade aparente e absorção d'água aparente), resistência ao desgaste Amsler, resistência à compressão uniaxial (ao natural e/ou após o congelamento), módulo de deformabilidade estático, resistência à flexão, coeficiente de dilatação térmica linear, resistência ao impacto, alterabilidade e dureza Knoop.

A despeito da necessidade de conhecimento das características petrográficas e tecnológicas fundamentais de rochas ornamentais, o setor ainda comercializa tipos sem as caracterizações apropriadas. Em adição a esse fato, as atividades de exploração e de beneficiamento primário ainda são praticadas com base em um conhecimento empírico, que normalmente resulta em sub-aproveitamento de jazidas, perda de qualidade do material explorado e alto índice de rejeito, com impacto prejudicial ao meio ambiente.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como finalidade determinar as propriedades mineralógicas e físico-mecânicas de uma rocha nos estados bruto e beneficiado, e observar as modificações destes parâmetros ao longo dos estágios de extração e beneficiamento.

Para isto foi estudada uma rocha granítica denominada comercialmente de "Granito Rosa Itupeva". Suas principais características petrográficas e tecnológicas são ainda desconhecidas, apesar da boa aceitação mercadológica desse produto. Com a finalidade de conhecer as referidas propriedades, estudar eventuais variações em função dos estágios de extração e de beneficiamento e demonstrar a importância da caracterização de rochas ornamentais, foram propostos os seguintes objetivos:

- reconhecimento geológico do jazimento;
- seleção de um bloco para amostragem;
- caracterização petrográfica e tecnológica do bloco selecionado;
- caracterização petrográfica e tecnológica de placas polidas obtidas a partir do bloco selecionado;
- análise dos resultados e identificação de eventuais mudanças petrográficas e/ou tecnológicas entre o bloco e as placas polidas;
- comprovar a importância da caracterização tecnológica e petrográfica como instrumento para indicar a utilização adequada de rochas ornamentais.

1.3 JUSTIFICATIVAS

As rochas ornamentais, além de garantir beleza e durabilidade às edificações onde são utilizadas, vêm tornando-se importante fonte de divisas. Em 1996 o Brasil foi o 5º maior exportador (790.000 toneladas) e produtor (1.900×10^3 toneladas), apresentando tendência crescente de demanda (Rochas de Qualidade, 1998).

O “Granito Rosa Itupeva”, cuja produção mensal varia entre 100 a 120 m³ é explotado, beneficiado e comercializado pela empresa Poli Mármores, proprietária da pedreira localizada no município de Itupeva e também da marmoria, localizada no município de Bom Jesus dos Perdões. A maior parte da produção destina-se ao consumo interno, sendo vendida como placas polidas, porém alguns blocos são exportados.

Esta rocha é relativamente recente no mercado, mas já apresenta expressivo aumento de demanda. No entanto, suas características petrográficas e tecnológicas ainda são desconhecidas. Tendo em vista a importância mercadológica que vem apresentando, faz-se necessária a caracterização petrográfica, assim como a quantificação das principais propriedades físico-mecânicas da rocha por meio da realização de diversos ensaios de caráter tecnológico. Para o estudo proposto, também entende-se de importante caráter a observação de eventuais modificações de propriedades físico-mecânicas em função do estágio de beneficiamento da rocha.

Existem diversas recomendações na bibliografia consultada no sentido de incentivar a utilização das técnicas conhecidas de quantificação das propriedades tecnológicas de rochas ornamentais, pois ainda hoje verifica-se que o tratamento empírico é de vasto uso nesse setor.

Chiodi Filho (1994) afirma, após realizar um histórico das condicionantes geológicas importantes em programas de pesquisa, que tanto em programas exploratórios regionais quanto em pesquisas de detalhe, os levantamentos geológicos são orientados para a definição de bons materiais, em condições físicas e quantidades apropriadas para a exploração.

Segundo Vidal *et al.* (1998), no Brasil, o processo de geração de novas jazidas comumente é executado de forma empírica e amadorística, eliminando-se as técnicas que a geologia oferece e os profissionais adequados para cada tipo de trabalho específico (pesquisa, lavra e beneficiamento).

Alencar *et al.* (1996) são de opinião que o uso de normas técnicas é cada vez mais um sinal de evolução e maturidade de uma indústria, e que os benefícios obtidos pela utilização destas normas podem ser percebidos com relação a diversos aspectos, tais como na qualidade de produtos e serviços, no desempenho econômico e na comercialização.

1.4 ÁREA DE ESTUDO

A pedra do “Granito Rosa Itupeva” localiza-se aproximadamente entre $23^{\circ} 09' 00''$ e $23^{\circ} 10' 00''$ S e $47^{\circ} 04' 00''$ e $47^{\circ} 05' 00''$ W, a cerca de 65 km a noroeste da cidade de São Paulo, nas proximidades da cidade de Itupeva. O acesso pode ser feito, a partir da cidade de São Paulo, pelas rodovias Bandeirantes (SP-348) ou Anhaguera (SP-330) até aproximadamente o km 60, quando deve-se entrar na rodovia SP-300, em direção a Itu e Cabreúva e em seguida toma-se a entrada para a cidade de Itupeva. A pedra situa-se a cerca de 3 km de Itupeva, no bairro Monte Serrat, nas proximidades da estrada vicinal que liga Itupeva a Indaiatuba. A localização regional da área de estudo está ilustrada na Figura 1.1 e a localização em detalhe da área da pedra está ilustrada na Figura 1.2.

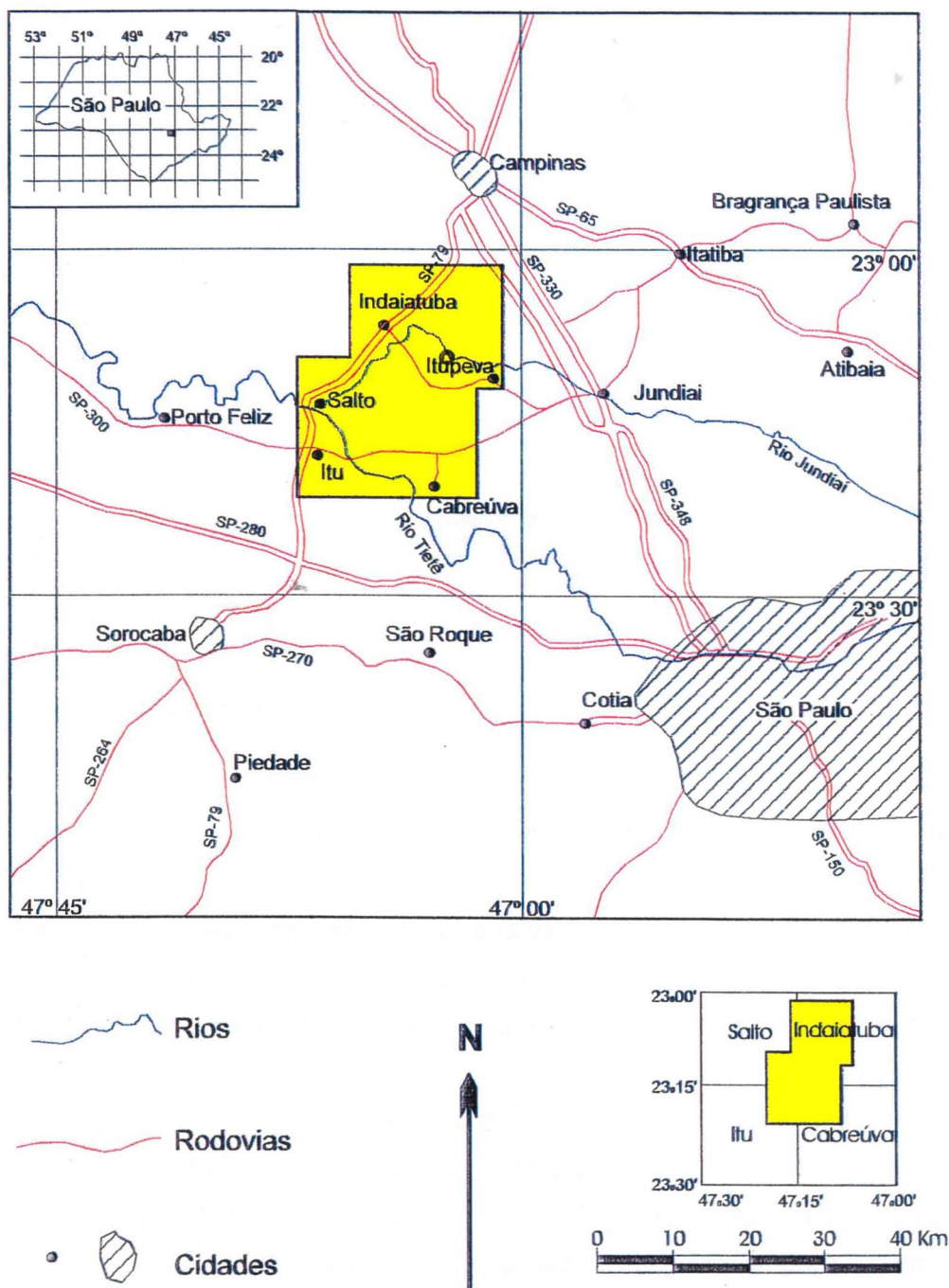


Figura 1.1 - Mapa de localização regional e acessos da área de estudo (Galembeck, 1997).

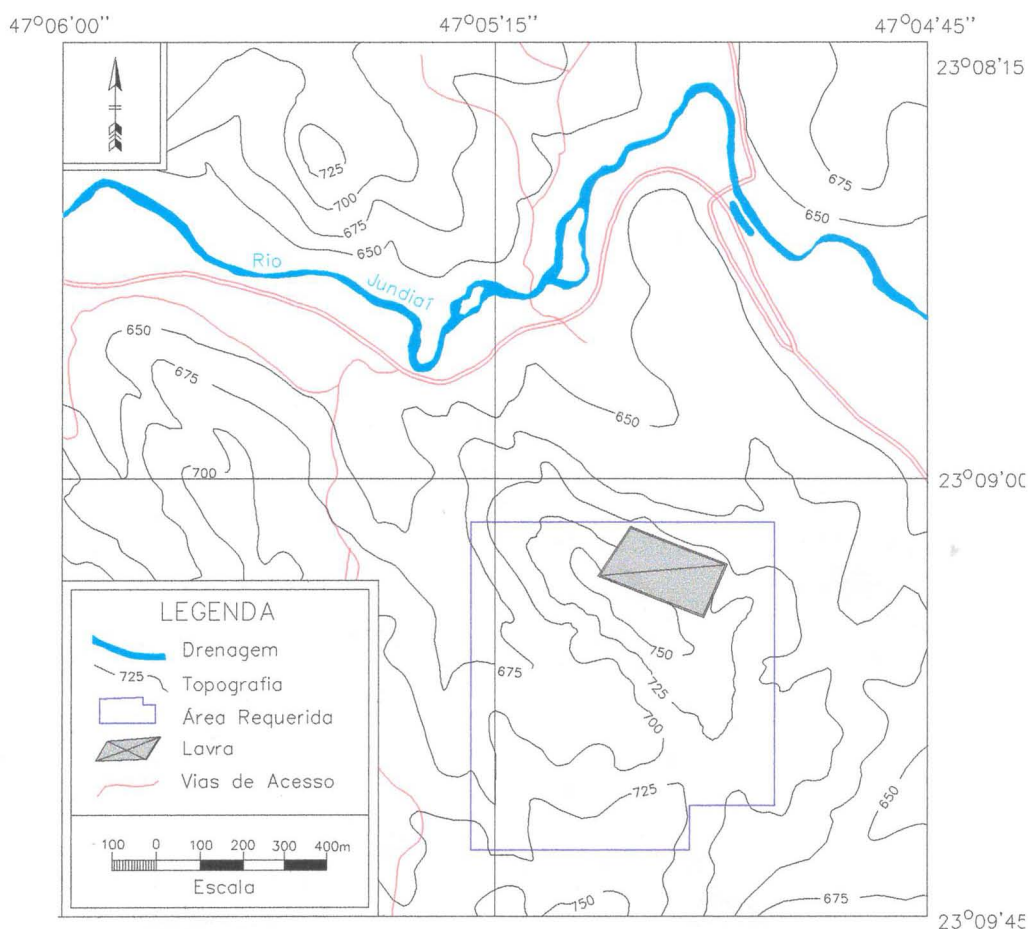


Figura 1.2 - Mapa de detalhe da localização e acessos da área de estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1.1 GEOLOGIA REGIONAL

No contexto regional a área está inserida no Complexo Granitóide Itu, que se localiza aproximadamente a 60 km da cidade de São Paulo e estende-se por uma área de cerca de 350 km². O Complexo Granitóide Itu, por sua vez, está inserido no Bloco Tectônico Jundiáí, (Hasui *et al.*, 1969, *apud* Galembeck, 1997), tendo como limites, ao sul a Zona de Cisalhamento Itu-Jundiuvira, a norte a Falha de Jacutinga e a oeste é recoberto pelos sedimentos da Bacia do Paraná (Figura 2.1).

A subdivisão litoestratigráfica do Bloco Tectônico Jundiáí é descrita por diversos autores desde o fim da década de 60. Entretanto, para os fins desse trabalho, serão descritas, resumidamente, apenas as duas unidades que estão relacionadas mais diretamente ao Complexo Granitóide Itu, que são o Complexo Amparo e o complexo Itapira, tendo como base bibliográfica as informações de Galembeck (1997).

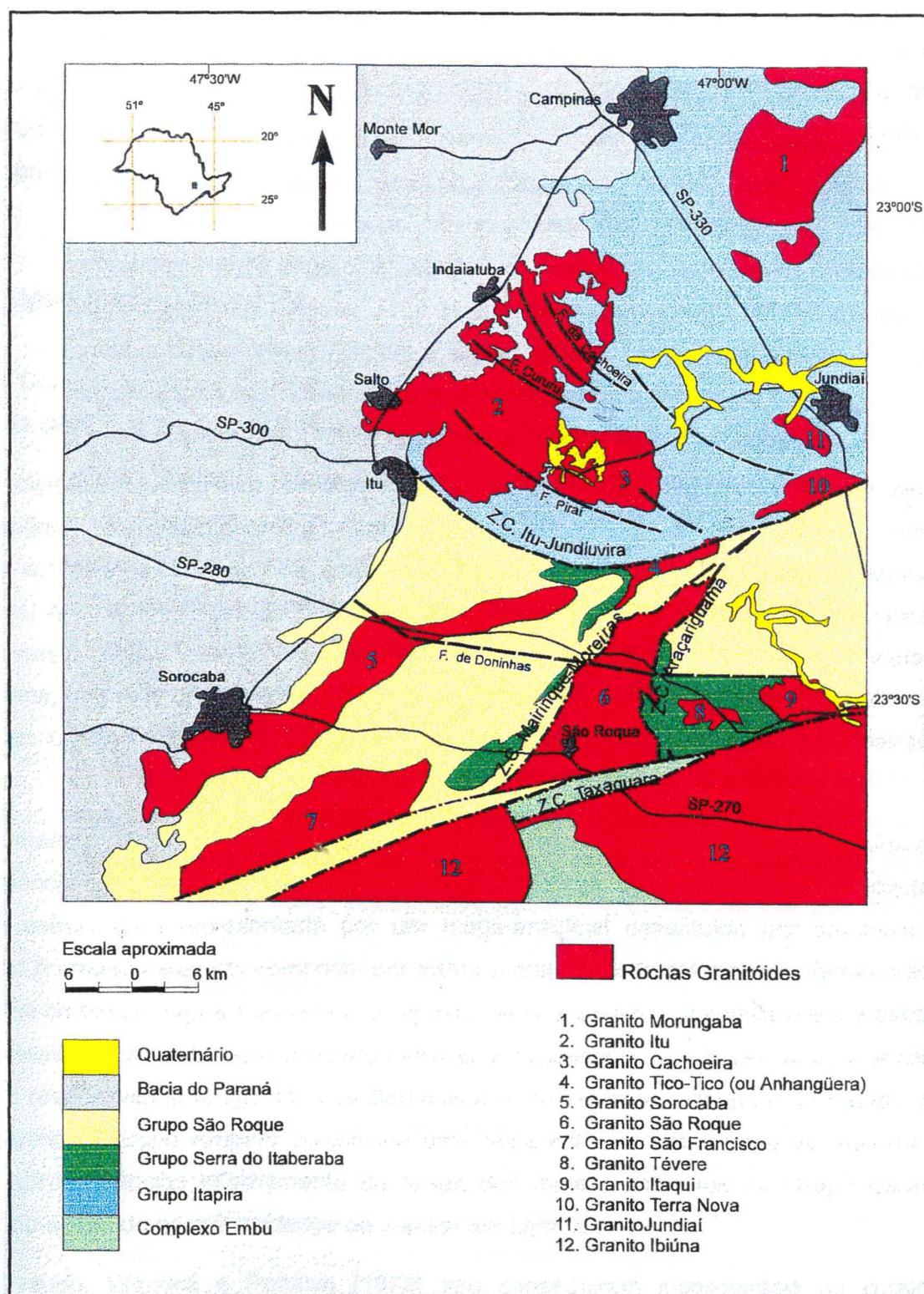


Figura 2.1 - Mapa geológico regional da região de Itu-SP. (organizado a partir de Hasui, 1977; IPT, 1981; Galembeck, 1991; Oliveira *et al.*, 1992; Godoy *et al.*, 1994; Hackspacher, 1994; *apud* Galembeck, 1997).

Wernick & Artur (1983), Artur & Wernick (1984) e Artur (1988) *apud* Galembeck (1997) consideram o Complexo Amparo como uma unidade constituída por terrenos arqueanos afetados predominantemente por acreções verticais e retrabalhamentos crustais do Ciclo Transamazônico. É composto essencialmente por rochas ortometamórficas que representam o embasamento do Complexo Itapira. As rochas originais seriam de natureza essencialmente cálcio-alcalina trondjemítica, com frequentes ocorrências de rochas granitóides e metabásicas/metaultrabásicas, que teriam sido migmatizadas e/ou remigmatizadas e transformadas em gnaisses embrechíticos, granulitos, milonitos e blastomilonitos, dando origem às sequências bandadas e listradas de composição variada, típicas do Complexo Amparo. Artur (1988) *apud* Galembeck (1997), redefine a área de abrangência do Complexo Amparo a alguns poucos núcleos e faixas ao sul da Falha de Jacutinga e a uma faixa contínua na porção mediana do Maciço de Guaxupé. Campos Neto (1991) *apud* Galembeck (1997) abandona a denominação Complexo Amparo e redefine a associação litológica composta por migmatitos de natureza granodiorítica-tonalítica, contendo estreitas faixas máfico-ultramáficas, além de granitóides cálcio-alcalinotonalíticos.

As rochas do Complexo Itapira, segundo Hackspacher (1996) *apud* Galembeck (1997) estão representadas na área de estudo pelas Formações Hermida, Japi e Jundiuvira, além de migmatitos, ortognaisses e alguns poucos anfíbolitos, e são intrudidas por rochas granitóides do Complexo Itu a norte e pelo Granito Cachoeira a leste. A Formação Hermida, nas proximidades de Cabreúva, constitui-se de granada-biotita gnaisses com intercalações de xistos, associados a ortognaisses e migmatitos. A Formação Japi ocorre sob a forma de uma estreita faixa ao longo da Serra de Guaxatuba, e é composta de quartzitos intensamente milonitizados. A Formação Jundiuvira é representada por biotita xistos e biotita gnaisses, ocorrendo na forma de uma extensa faixa ao longo da Zona de Cisalhamento Jundiuvira.

2.1.2 GEOLOGIA LOCAL

O Complexo Granitóide Itu (Figura 2.2) já foi alvo de inúmeros trabalhos, tanto em nível regional quanto em nível local, com enfoque na individualização das intrusões granitóides que o compõem. São expostos a seguir, alguns trabalhos de relevância para o entendimento do estado da arte do conhecimento do Complexo Granitóide Itu.

Geomorfologicamente a área insere-se no contexto da unidade morfoestrutural Planalto do Atlântico, uma vasta área subdividida em sub-unidades geomorfológicas distintas segundo características geotectônicas, litológicas e estruturais. A sub-unidade denominada Planalto de Jundiá, localizada a noroeste da cidade de São Paulo, abrange a região de Itupeva, localmente caracterizada pela predominância de formas de relevo denudacionais, compostas basicamente por colinas e morros baixos com topos convexos,

com altimetrias variando entre 700m e 800m e declividades predominantes entre 20% e 30% (Ross & Moroz, 1998).

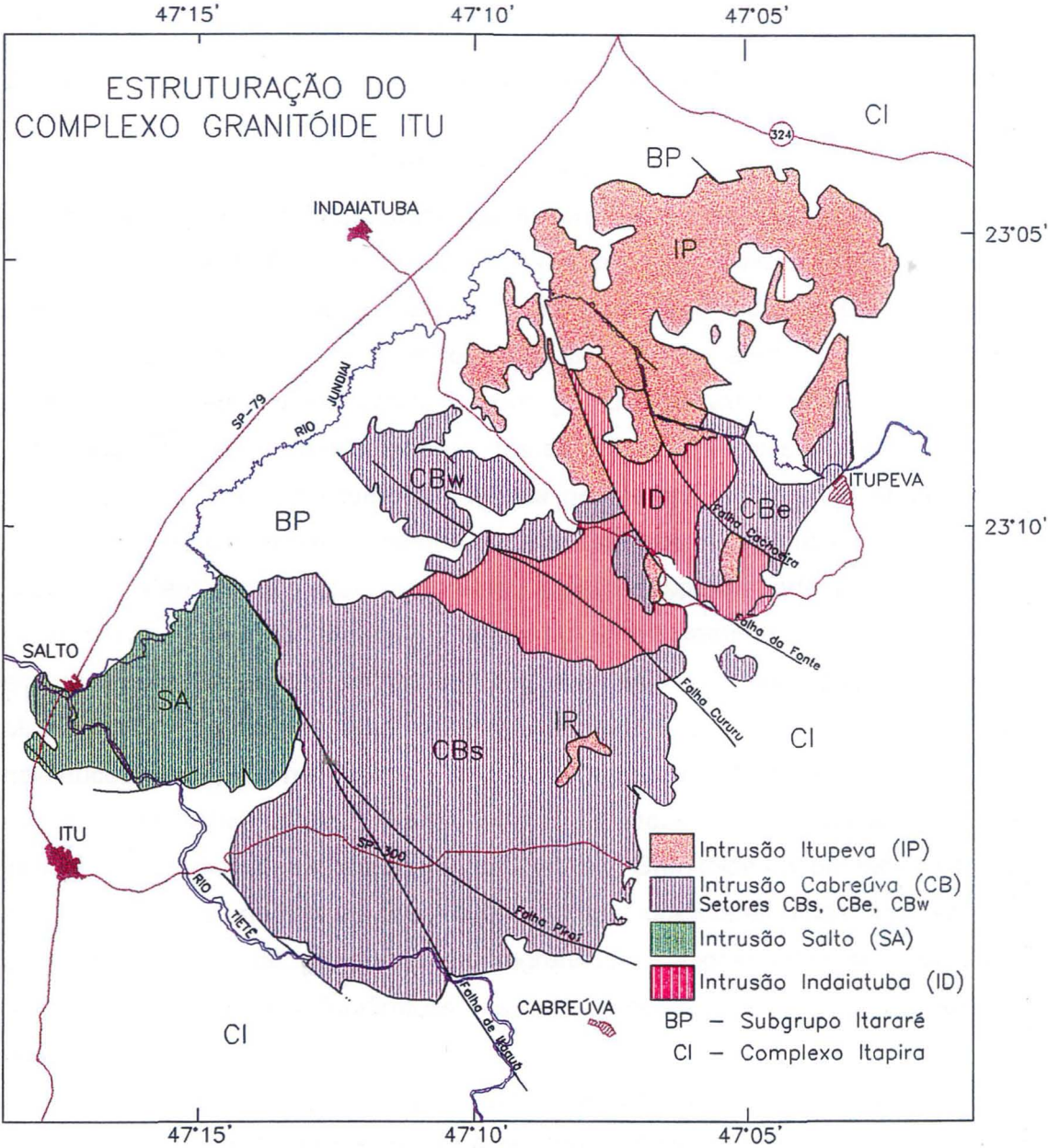


Figura 2.2 - Mapa de compartimentação geológica do Complexo Granitóide Itu (Galembeck, 1997).

Ross & Moroz (1998) definem também que a drenagem é do tipo dendrítica, sendo a Serra do Japi e a Serra dos Cocais as principais áreas dispersoras onde nascem os cursos d'água afluentes dos rios Jundiá e Atibaia. Os autores complementam que devido às formas de relevo muito dissecadas, com vales entalhados e alta densidade de drenagem a área está sujeita à ocorrência de movimentos de massa e desencadeamento de processos erosivos lineares vigorosos.

Para o estudo geológico dos corpos granitóides da região, enfocando estudos petrográficos e faciográficos, são destacados alguns trabalhos, resumidamente descritos a seguir.

Pascholati *et al.* (1987), utilizando produtos de sensoriamento remoto, individualizaram o Complexo Granitóide Itu em quatro corpos distintos, sendo um deles denominado Granito Salto e agrupando os outros três como corpos circunscritos, assim como também identificaram alguns corpos indiferenciados. Os mesmos autores reconheceram preliminarmente, os seguintes fácies petrográficas: a) fácies equigranular, de índice de cor holo a leucocrático, com granulação variando de média a grossa e ocasionalmente com termos mais seriados ou mesmo porfíroides; b) fácies com tendência mais inequigranular, constituído por rochas granitóides com textura seriada a porfírica, localmente porfíroide, notando-se que a matriz das rochas porfíricas varia de fina a média, subordinada em relação aos megacristais; c) granito rapakivi porfíroide, com textura normal (wiborgítica), além de algumas variedades mais restritas que incluem granitóides equigranulares de granulação fina a média, ocasionalmente com tendência mais porfírica. Microgranitos porfíricos ou com megacristais e granitos pórfiros, geralmente hololeucocráticos, ocorrem também em todo o Complexo Granitóide Itu.

Hackspacher *et al.* (1988) *apud* Galembeck (1997) identificaram três fácies petrográficas principais na porção sul do Complexo Granitóide Itu, um fácies dado por sieno-a monzogranitos inequigranulares médios a equigranulares finos, um segundo fácies caracterizado por sienogranitos a monzogranitos inequigranulares grossos e um terceiro fácies com sienogranitos porfíricos. Os dois primeiros fácies distinguem-se entre si em termos de granulação.

Posteriormente, Pascholati (1990), denominou os três corpos, anteriormente individualizados, de Granito Fazenda Alta, Granito Fazenda Japão e Granito Itupeva, além do já reconhecido Granito Salto. Os granitóides foram separados em dois conjuntos principais, segundo características texturais e petrográficas próprias. O primeiro grupo é constituído por sienogranito e álcali-feldspato granito, enquanto o segundo é formado por monzogranito, sienogranito e, subordinadamente, álcali-feldspato granito.

Ruf (1990) e Köhler (1990) *apud* Galembeck (1997), após a realização de mapeamento faciográfico, estudos petrográficos e geoquímicos em rochas da porção norte do Complexo Granitóide Itu, distinguiram sete fácies petrográficas, sendo quatro fácies

constituídos por sieno a monzogranitos e monzogranitos equigranulares e inequigranulares róseos de granulação média a grossa, às vezes porfíricos; monzogranitos porfíricos cinza-rosados; granitos porfíricos “rapakivi”; além de corpos de rochas intermediárias.

Galembeck (1991) determina que o Complexo Granitóide Itu constitui-se de quatro intrusões, denominando-as Intrusões Itupeva, Cabreúva, Salto e Indaiatuba. O detalhamento da Intrusão Cabreúva (Figura 2.3), onde está localizada a pedreira estudada, resulta na divisão desta intrusão em três setores, sul, oriental e ocidental, e na identificação e caracterização de dez fácies e duas associações de fácies, petrograficamente distintas. Os principais fácies são compostos por granitos equigranulares róseos de granulação grossa, média e fina a média, além de granitos porfíroides róseos com a presença de rara textura rapakivi; subordinadamente aparecem granitos equigranulares cinzas, porfíricos, avermelhados e acinzentados, às vezes com textura rapakivi, além de melagranitóides.

A área da pedreira estudada localiza-se no setor oriental da Intrusão Cabreúva, nas proximidades da cidade de Itupeva. Segundo Galembeck (1997), este setor apresenta formato irregular e constitui-se de faixas irregulares com disposição geral NE-SW, ocupando uma área aproximada de 13km². A autora realizou o seguinte detalhamento faciológico para o setor oriental da Intrusão Cabreúva: a extremidade leste constitui-se por uma faixa de quartzo-sienitos e sienogranitos equigranulares de granulação média, róseos, sendo agrupados no fácies denominado CB-7; o interior do setor apresenta sieno- a monzogranitos porfíroides róseos (fácies CB-5), com uma faixa menor de granodioritos porfíricos rapakivi cinzentos, com matriz de granulação fina (fácies CB-2), associados a rochas de uma fácies denominado IP-1, da Intrusão Itupeva, não passíveis de separação. Em seguida afloram quartzo-sienitos a sienogranitos equigranulares de granulação grossa e coloração rosa, sendo agrupados no fácies denominado CB-6, o qual abrange a área da pedreira onde é explorado o “Granito Rosa Itupeva”.

O mapa de detalhamento faciológico da Intrusão Cabreúva, assim como a localização da pedreira, podem ser observados na Figura 2.3, a seguir.

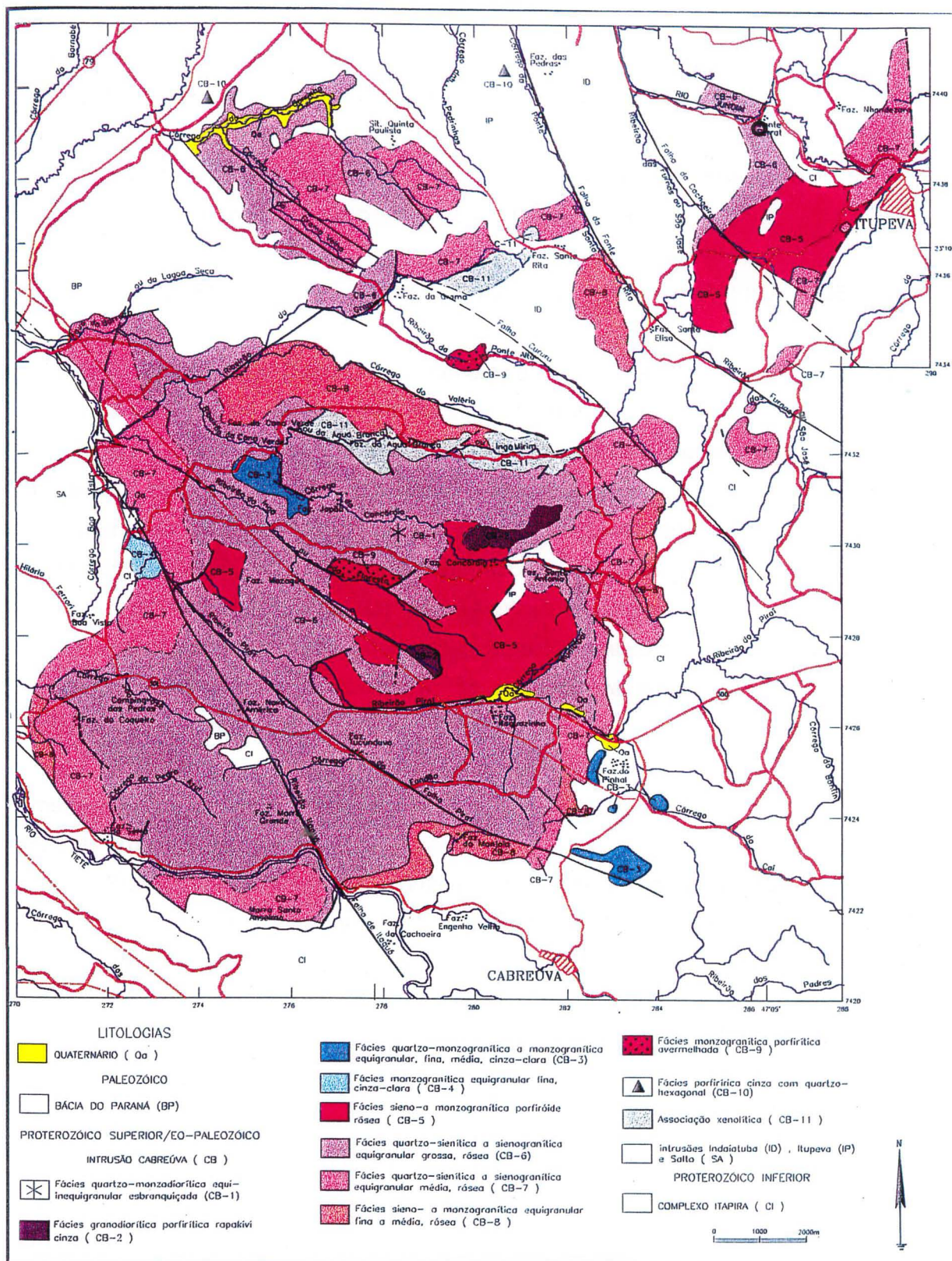


Figura 2.3 - Mapa faciológico da Intrusão Cabreúva (Galembeck, 1991, modificado, *apud* Galembeck, 1997) e localização da área da pedreira do "Granito Rosa Itupeva" (O), no extremo nordeste do mapa.

Galembeck (1997) confirma a constituição do Complexo Granitóide Itu pelo agrupamento de quatro intrusões com formas circulares a subcirculares, cada qual com características próprias, sejam elas petrográficas, mineralógicas, geoquímicas e de tipologia do zircão. Foram identificadas 25 fácies e/ou associações de fácies em todo o Complexo, sendo divididas da seguinte forma: seis fácies petrográficas e duas associações de fácies na Intrusão Itupeva, dez fácies e uma associação de fácies na Intrusão Cabreúva, um único fácies na Intrusão Indaiatuba e cinco fácies na Intrusão Salto.

2.2 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E PETROGRÁFICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

A despeito da importância econômica do mercado de rochas ornamentais, o conhecimento técnico da área, seja no setor de exploração e exploração, seja no setor de caracterização tecnológica, foi inicialmente derivado para um papel de menor importância. Parte do mercado de rochas ornamentais caracteriza-se, ainda hoje, pela utilização de um conhecimento essencialmente empírico. Os principais esforços para ampliação do uso de conhecimento técnico-científico neste setor são, via-de-regra, por iniciativas públicas, sejam de governos estaduais, institutos de pesquisas e universidades. Algumas publicações especializadas da área também contribuem para o incentivo de maior aplicação de métodos científicos normatizados com objetivo de melhoria da qualidade técnica dos produtos oferecidos ao mercado.

A seguir serão expostos alguns trabalhos considerados por este estudo como de maior relevância para o entendimento do estado da arte da caracterização tecnológica de rochas ornamentais.

Provavelmente uma das primeiras iniciativas de enumeração das propriedades fundamentais das rochas ornamentais empregadas em construção foi realizada por Rochas de Qualidade (1974), citando e descrevendo de forma bastante sucinta as seguintes características: "cor, textura, densidade, dureza, resistência (à compressão e transversal), porosidade, permeabilidade, resistência à congelação e resistência ao calor". Tais características foram exemplificadas em algumas rochas que ainda são exploradas atualmente, como por exemplo o "Granito Verde Ubatuba" e o "Mármore Travertino".

Petrucchi (1974) fez considerações a respeito da classificação genética das rochas e definiu que "as propriedades fundamentais das pedras devem referir-se aos requisitos de resistência mecânica, durabilidade, trabalhabilidade e estética". Para a resistência mecânica são consideradas as propriedades de resistência à compressão, tração na flexão, cisalhamento, desgaste e choque; para a durabilidade são consideradas a compactidade, porosidade, permeabilidade, higroscopicidade, gelividade e condutibilidade térmica; para a trabalhabilidade consideram-se as fraturas, a homogeneidade e o fraturamento da rocha; e para a estética os fatores de influência são a textura, estrutura e a coloração da pedra. O

mesmo autor apontou normas alemãs e americanas para direcionar características petrográficas e tecnológicas em função do tipo de rocha e apresentou tabela dos valores resultantes de ensaios para escolha e apreciação de pedras naturais segundo a norma alemã DIN-52.100, afirmando que “as normas da ABNT são muito pobres no referente a pedra como material de construção, existindo alguma coisa apenas no referente a agregados”.

Rochas de Qualidade (1976) ressaltou a importância do uso de normas técnicas para a especificação adequada das rochas ornamentais, sugerindo que as informações de maior interesse são a classificação da rocha quanto à origem, a composição química, dureza, resistência ao desgaste, resistência ao agente atmosférico e resistência à compressão, entretanto não são apresentadas nenhuma referência técnica normativa.

Caruso & Taioli (1978) apresentaram características tecnológicas de seis “granitos” do Estado de São Paulo, onde incluíam a constituição mineralógica e os resultados de índices físicos, desgaste Amsler, compressão axial simples, módulo de elasticidade na compressão, resistência à flexão e coeficiente de dilatação térmica linear. Os ensaios foram realizados com a utilização de normas técnicas da ASTM e da ABNT e de normas internas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

IPT (1978) propõem roteiro, baseado em normas e especificações internacionais, dos ensaios necessários à caracterização tecnológica de material de cantaria para a fase de extração e para a fase de beneficiamento, e os ensaios mais importantes visando a utilização adequada do material. Também foram apresentadas as principais características tecnológicas de vários “mármore” e “granitos” brasileiros.

Moço (1981) realizou abrangente reconhecimento geológico de jazida de “mármore” em Guixaba, localidade do Estado do Piauí, discutindo os condicionantes geológicos, petrológicos e geomorfológicos do jazimento e os critérios de caracterização tecnológica aplicados ao aproveitamento do material explorado. Afirmou que, “para efeito de aplicação na construção, as características físicas e químicas das rochas são designadas propriedades tecnológicas, sendo expressas por valores numéricos chamados especificações, que aprovam ou desaconselham o material para a finalidade desejada, em termos de sua trabalhabilidade e durabilidade”. Moço (*op. cit.*) citou como propriedades físico-mecânicas de interesse para a qualificação de rochas para cantaria a coesividade, a porosidade, o coeficiente de anisotropia mecânica, a resistência à compressão, à tração e à flexão, condicionadas pelo coeficiente de elasticidade; e como propriedades químicas a alterabilidade, a mineralogia e a cor.

Rochas de Qualidade (1990) ressaltou a importância das etapas de prospecção e caracterização geológica das jazidas durante o processo de produção das rochas ornamentais. São detalhadas as fases de pesquisa bibliográfica, levantamento topográfico, amostragem, estudos de mercado e estudos de viabilidade de lavra, com a finalidade de

demonstrar a importância do trabalho científico na descoberta e o aproveitamento de novas jazidas.

C7 Frazão (1992) defendeu a necessidade de conhecimento das características tecnológicas das rochas para revestimento como fator fundamental para permitir a previsão das formas de utilização mais adequadas. Incentivou a execução de ensaios segundo procedimentos normalizados, fazendo breve descrição da análise petrográfica, e da determinação de índices físicos, desgaste Amsler, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão, resistência ao impacto, módulo de deformabilidade estática e coeficiente de dilatação térmica linear a partir das normas existentes em vários países. Destaca-se o uso de normas brasileiras não específicas para rochas ornamentais, que, entretanto, supriam a falta de normas específicas.

C7 No mesmo ano de 1992, a ABNT publicou sete normas específicas para rochas de revestimento, normalizando os procedimentos de laboratório para determinação da resistência à flexão, resistência ao impacto de corpo duro, coeficiente de dilatação térmica linear, índices físicos, compressão uniaxial ao natural e associada ao congelamento e degelo e análise petrográfica.

C7 Entre o fim da década de 80 e metade da década de 90, a iniciativa pública foi de fundamental importância para o desenvolvimento do setor de rochas ornamentais. Os Governos Estaduais do Ceará (1989), Santa Catarina (1989), São Paulo (1990), Paraná (1991), Espírito Santo (1993), Bahia (1994) e Goiás (1995) produziram trabalhos com a finalidade principal de divulgar as rochas ornamentais. Devem ser destacados os catálogos de rochas ornamentais de São Paulo (1990) e do Espírito Santo (1993), produzidos pelo IPT, e o catálogo da Bahia (1994), que apresentam abrangente caracterização petrográfica e tecnológica dos "mármore" e "granitos" destes estados utilizando procedimentos normalizados segundo recomendações de normas brasileiras e internacionais.

E7 Vários tipos de lavras de rochas ornamentais e as principais técnicas de corte para desmonte de blocos foram detalhadas por Chiodi Filho & Ono (1995). Os autores afirmaram que a maior parte da produção brasileira é proveniente da lavra de matacões e a lavra de maciços é feita sem o rigor técnico necessário, salientando que os depósitos de matacões geralmente tem vida útil bastante limitada. Destacaram ainda que, devido ao fato de grande parte dos matacões não serem aflorantes, a previsão de produção é dificultada, levando ao planejamento de lavra a curto prazo.

E7 C7 Vidal (1995) realizou amplo levantamento do setor de rochas ornamentais do Estado do Ceará, enfocando os principais métodos de exploração, as tecnologias de extração, e os aspectos mercadológicos, e analisou o cenário de desenvolvimento do parque industrial. Também apresentou características tecnológicas e petrográficas das rochas ornamentais exploradas no Ceará e breves descrições da geologia das pedreiras em atividade.

Frazão & Farjallat (1995; 1996) realizaram amplo estudo das principais

CT características tecnológicas de 158 amostras de rochas silicáticas brasileiras. Foram considerados os valores de índices físicos, velocidade de propagação de ondas longitudinais, coeficiente de dilatação térmica linear, módulo de deformabilidade estático, resistência à compressão uniaxial, à flexão (módulo de ruptura), ao impacto de corpo duro e ao desgaste Amsler. Os ensaios foram realizados segundo as recomendações da ABNT. Os resultados, após passarem por tratamento estatístico, foram comparados com algumas especificações da norma ASTM C 615. Os valores sugeridos pelo estudo, em conjunto com os valores especificados pela norma americana, são utilizados atualmente como referência para a análise comparativa da qualidade de rochas ornamentais.

PG A importância da pesquisa de campo, com ênfase no mapeamento geológico, foi novamente abordada por Rochas de Qualidade (1996). Foi destacada a caracterização geomorfológica local e a descrição do maciço rochoso a fim de se conhecer a litoestratigrafia e o condicionamento estrutural, a partir da análise do padrão de fraturamento. O conhecimento dessas características, resulta, conforme Rochas de Qualidade (*op. cit.*) no planejamento de métodos mais eficientes de exploração.

CT Rodrigues *et. al.* (1996) destacaram a importância da análise petrográfica microscópica para a interpretação do comportamento físico-mecânico e químico das rochas ornamentais, ressaltando a ênfase na determinação da composição mineralógica, textura, grau e tipo de alteração e estado microfissural. Afirmam também a importância da análise petrográfica como instrumento de orientação para os trabalhos de beneficiamento e para a definição da alterabilidade potencial das rochas durante seu uso.

CT Importante análise comparativa de mámores e granitos, enfocando resistência ao desgaste Amsler, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão (módulo de ruptura) e, principalmente, alterabilidade, foi realizada por Chiodi Filho & Rodrigues (1997). Os autores estudaram o comportamento de duas amostras de rochas carbonáticas e uma amostra de rocha silicática frente à lixiviação contínua e estática por soluções aciduladas, concluindo que as carbonáticas são quimicamente mais reativas que as silicáticas, e que, do ponto de vista físico-mecânico, as rochas silicáticas são superiores às carbonáticas para revestimentos externos, pisos em geral e áreas de serviço.

CT Flain & Frazão (1998) descrevem e comentam prováveis causas de problemas comumente observados em placas de rochas ornamentais, tais como manchamentos, fissuramentos e descolamentos de placas. Dentre os principais agentes causadores dos problemas, destaca-se o fissuramento, devido ao intemperismo físico, ao processo de lavra ou ao processo de beneficiamento. Os autores afirmam que ao ser polida, promove-se uma sollicitação mecânica que pode causar danos à trama mineralógica da placa, manifestando-se posteriormente através do desprendimento de cristais ou de surgimento de porções ásperas na superfície. Outro fator relevante, segundo Flain & Frazão (*op. cit.*), é o índice de absorção d'água, que pode facilitar o surgimento de manchas no material, quando

apresentar valores acima de 0,4% (Frazão & Farjallat, 1996).

C7 Frazão & Quitete (1998) propõem a utilização de índices de qualidade tecnológica visando qualificar rochas ornamentais. O índice geral é obtido pela média das razões entre o valor de determinada propriedade tecnológica e o valor especificado em normas para essa mesma propriedade. O índice específico leva em consideração as diferentes características das rochas ornamentais em função do uso ao qual serão destinadas. Os autores afirmam que os índices poderão ser úteis na qualificação de rochas ainda em fase inicial de exploração e na seleção das rochas mais apropriadas conforme a utilização desejada.

C7 Frascá *et al.* (1998) relacionam a alteração de placas polidas de rocha a dois fatores básicos: as propriedades físico-químicas intrínsecas à natureza da rocha, tais como mineralogia, microfissurações e alterações pré-existentes, e os defeitos gerados nos processos de beneficiamento, principalmente durante o corte do bloco e o polimento das placas.

C7 Quitete & Rodrigues (1998) apresentam método de determinação da dureza de rochas ornamentais com a microindentação da ponta Knoop. Descrevem o método de forma sucinta, apresentam resultados e sugerem a aplicação do valor de dureza Knoop como parâmetro de avaliação do desgaste abrasivo, na previsão da serrabilidade do material e no desmonte de rochas na fase de exploração.

C7 Moura *et al.* (1998) e Fernandes *et al.* (1998) realizam caracterização petrográfica e tecnológica de rochas ornamentais, em diferentes cidades do Estado de Minas Gerais, correlacionando propriedades mineralógicas com resultados físico-mecânicos, e qualificam o material estudado com base em valores normatizados pela ASTM e valores sugeridos por Frazão e Farjallat (1996).

C7 Bezerra *et al.* (1998) propõem modificações na norma ABNT NBR 12766 que trata do ensaio de determinação de índices físicos, como a preparação dos corpos de prova por corte em serra diamantada, visando diminuir o fraturamento resultante da quebra manual, e a padronização da forma dos corpos de prova, com dimensões aproximadas de 7 x 7 x 2cm, para uniformizar a área e as condições de absorção.

C7 Estudos de correlação entre minerais alterados de granitos e problemas como aumento da porosidade e absorção d'água, manchas e perdas de cor e brilho foram feitos por Oliveira *et al.* (1998). Segundo os autores, a alteração está relacionada aos agentes intempéricos, à forma como os minerais estão associados nas rochas, ao tamanho dos cristais e às frequências com que os mesmos ocorrem e ressaltam a importância de conhecer o conteúdo mineralógico para estabelecer o uso adequado das rochas.

96 Artur *et al.* (1998a) apresentam mapa provisional de granitos ornamentais do Estado de São Paulo elaborado com base no método de tipologia do zircão, que classifica os granitos em seis linhagens e dez variedades. Os autores afirmam que cada linhagem e variedade caracteriza-se por aspectos mineralógicos, geoquímicos, texturais e estruturais,

entre outros, bastante específicos, e que estas informações contribuem para a avaliação da potencialidade e da qualidade de corpos graníticos para utilização como rocha ornamental.

26 Artur *et al.* (1998b) realizam detalhamento das seis linhagens básicas de granitóides baseadas na tipologia do zircão, ressaltando a composição mineralógica, texturas e estruturas de cada linhagem e relacionam estas características com as propriedades físico-mecânicas de interesse para o uso dos granitos como rocha para revestimento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 TRABALHOS DE CAMPO

Foram utilizadas, para fins de localização da área da pedreira, as seguintes bases cartográficas: folha topográfica plani-altimétrica Indaiatuba (SF-23-Y-C-II-2) na escala 1:50.000, editada em 1973 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e folha topográfica plani-altimétrica Bairro Monte Serrat (SF-23-Y-C-II-2-SE-A) na escala 1:10.000, editada em 1979 pelo Instituto Cartográfico de São Paulo (IGC). Para a identificação do posicionamento geológico e faciológico da área da pedreira foi utilizado o mapa faciológico do Complexo Granitóide Itu, SP, na escala 1:50.000 de Galembeck (1997), e o mapa faciológico da Intrusão Cabreúva na escala aproximada 1:100.000 de Galembeck (1991), modificado por Galembeck (1997).

Inicialmente foi realizado um reconhecimento geológico do jazimento (Foto 3.1), com descrições macroscópicas da rocha e coleta de amostras para a confecção e descrição de seções delgadas. Após o reconhecimento, iniciou-se a seleção de blocos.

A seleção de blocos foi feita em função da representatividade do tipo litológico explorado, ou seja, daquele que representa com maior fidelidade o tipo explorado (Foto 3.2). A amostragem de material do bloco, representando a rocha "*in natura*" foi feita na fase final de entalhe manual, com a coleta de porções das faces que estavam sendo regularizadas. As amostras foram retiradas de uma das faces que não foram entalhadas por detonação, pois deverão ser mais representativas em relação ao estado microfissural original.

A amostragem de placas polidas foi feita na serraria para a qual foi destinado o bloco amostrado. Foram selecionadas, para a realização dos ensaios petrográficos e tecnológicos, quatro placas de dimensões 30 x 30 x 1cm e uma placa de dimensões 40 x 40 x 2cm. Também foram observados alguns itens considerados relevantes para este estudo, como por exemplo, a duração do processo de desdobramento dos blocos do "Granito Rosa Itupeva", que em média levava 4 dias até o término do processo de serragem (Foto 3.3), o tipo de abrasivo utilizado durante o corte no tear (granalha de aço) e o processo de polimento das placas serradas (Foto 3.4). As Fotos 3.5 e 3.6 exibem respectivamente, amostra bruta e amostra polida do "Granito Rosa Itupeva".



Foto 3.1 - Plano geral da pedreira do "Granito Rosa Itupeva".

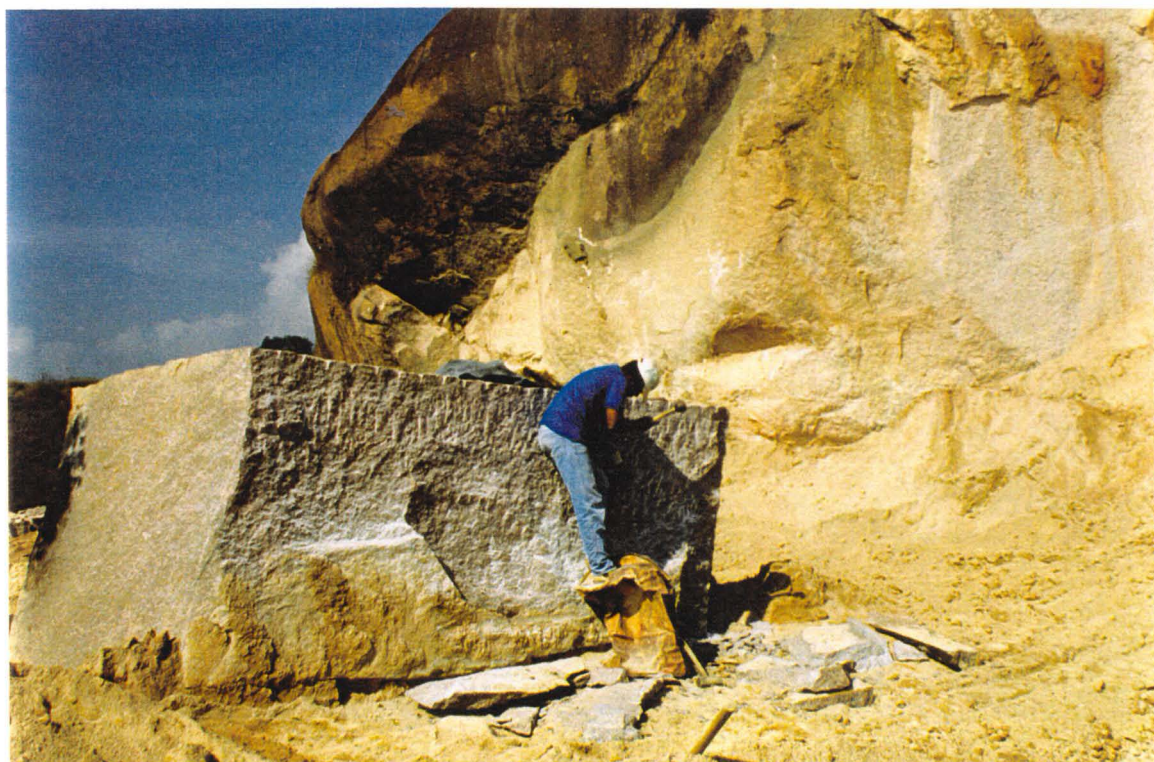


Foto 3.2 - Bloco selecionado para o estudo, exibindo face amostrada.

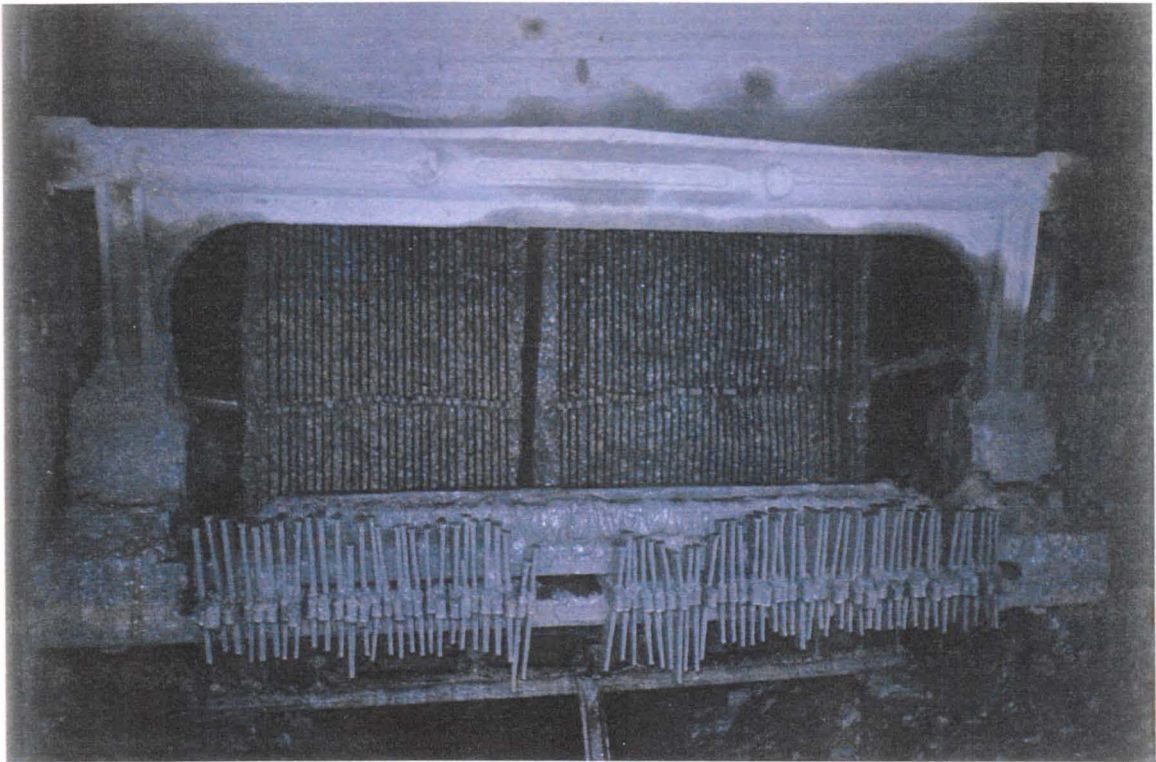


Foto 3.3 - Blocos no tear, após o processo de desdobramento em placas.



Foto 3.4 - Placas serradas passando pelo processo de polimento.

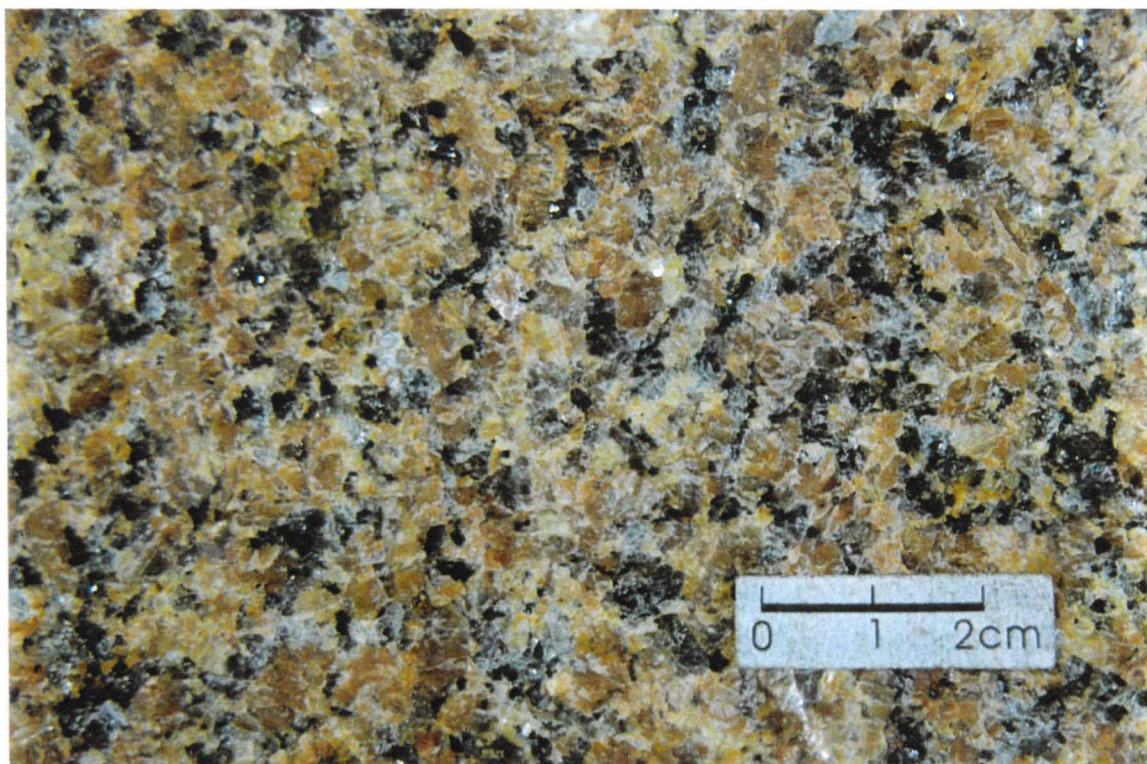


Foto 3.5 - Amostra bruta do "Granito Rosa Itupeva".

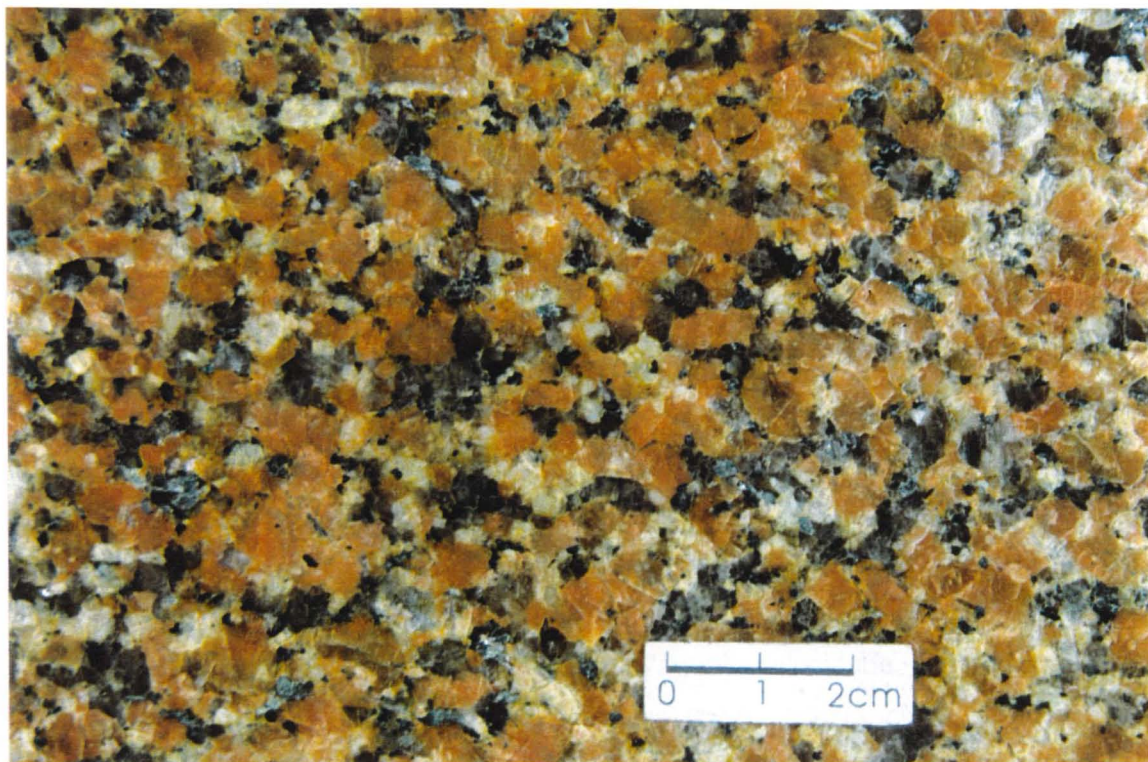


Foto 3.6 - Amostra polida do "Granito Rosa Itupeva".

3.2 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

A caracterização petrográfica foi realizada inicialmente através de exame macroscópico e com o auxílio de lupa binocular. Posteriormente foram confeccionadas cinco seções delgadas para análise do bloco e cinco seções delgadas para análise das placas polidas. Para a análise microscópica foram seguidas algumas recomendações da norma ABNT NBR 12.768.

Foram identificadas e descritas as espécies minerais com ênfase na determinação das formas e dimensões dos cristais, seu estado de alteração, suas relações de contato e o modo de distribuição pela rocha. Foi realizada análise qualitativa do microfissuramento mineral e, através de fotomicrografias em microscópio e em lupa binocular, foi feita a análise comparativa em seções delgadas de amostras do bloco e das placas polidas, que foram impregnadas com corante azul para ressaltar as microfissuras da rocha.

A quantificação mineralógica foi realizada através de análises modais com contagens macro e microscópicas. As quantificações macroscópicas das porcentagens relativas das fases minerais foram realizadas em três fatias de rocha, pelo método de coloração seletiva de feldspatos, adaptado por Moraes & Rodrigues (1978). Foram contados, em média, 450 pontos por fatia, utilizando-se uma malha com espaçamentos de 5 x 5mm.

As quantificações microscópicas foram efetuadas em três seções delgadas segundo o método Jung & Brousse (1959), adaptado para este trabalho. Em função da granulação média, foram contados, aproximadamente, 300 pontos por seção, distribuídos em uma área de aproximadamente 6cm² em cada lâmina, utilizando-se uma malha com espaçamentos de 1 x 2mm, conforme comunicação pessoal (Coutinho, 1998).

As determinações quantitativas de feldspato alcalino, plagioclásio e quartzo foram normatizadas para 100% e lançadas no diagrama Q-A-P (Streckeisen, 1976) para a obtenção da classificação modal do "Granito Rosa Itupeva".

3.3 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Após a seleção e amostragem realizada tanto em campo como na serraria, teve início a etapa de caracterização petrográfica e tecnológica, que forneceu quantitativamente as propriedades físico-mecânicas da rocha, tanto "in natura" como beneficiada.

Para a caracterização tecnológica da rocha "in natura", foram realizados, em laboratório, os seguintes ensaios: índices físicos (massas específicas aparentes seca e saturada, porosidade aparente e absorção d'água), velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, coeficiente de dilatação térmica linear, resistência à compressão uniaxial, dureza Knoop e resistência à flexão (ABNT).

A caracterização das placas de rocha polida, obtidas após o beneficiamento do bloco selecionado, compreendeu a execução dos seguintes ensaios: índices físicos, dureza Knoop, resistência à flexão (ASTM), velocidade de propagação de ondas ultrassônicas,

alterabilidade e medidas de lustro.

As amostras foram devidamente preparadas segundo normas da ABNT e normas da ASTM. Os ensaios realizados para a caracterização tecnológica são resumidamente descritos a seguir:

- *Índices físicos*

Denominam-se índices físicos da rocha as propriedades: massa específica aparente seca e saturada, a porosidade aparente e a absorção d'água. Utilizam-se 10 fragmentos de rocha com 5 a 7cm de diâmetro, que são pesados ao ar, após saturação em água e após secagem em estufa, e na condição submersa. Os ensaios foram realizados segundo as diretrizes da norma ABNT NBR 12.766. Apesar da norma recomendar a preparação dos corpos de prova por quebra manual, para este estudo foram preparados por corte na serra diamantada.

Para uma maior representatividade, foram ensaiados um total de 60 corpos de prova, 20 dos quais representaram o material do bloco, 20 as placas polidas e 20 o material beneficiado, porém com o polimento desgastado na serra. Posteriormente foram realizadas duas análises comparativas, a primeira entre o bloco e a placa polida, e a segunda entre a placa polida e a placa com o polimento desgastado.

- *Coefficiente de dilatação térmica linear*

Este ensaio determina o coeficiente de dilatação térmica linear de rochas em um dado intervalo de temperatura. Os ensaios são realizados em dois corpos de prova por amostra de 3cm de diâmetro e 9cm de comprimento. A dilatação manifesta-se em função da composição mineralógica da rocha, dependendo também da textura, estrutura e porosidade. Os ensaios seguiram as recomendações da norma ABNT NBR 12.765.

- *Alterabilidade*

A norma utilizada para esse ensaio visa a determinação da resistência ao ataque químico de pisos cerâmicos vidrados, sendo adaptada para aplicação em rochas ornamentais. Consiste em aplicar sobre uma placa de rocha polida, em seis áreas circulares de aproximadamente 50mm de diâmetro, isoladas por segmentos de tubos de PVC rígidos, cinco soluções químicas: ácido clorídrico (com concentração de 3% em massa), hidróxido de potássio (com concentração de 10% em massa), ácido cítrico (com concentração de 3% em massa), cloro ativo (com concentração de 5% em massa) e hidróxido de amônia (com concentração de 10% em massa), e também água pura deionizada, com a duração do tempo de ataque variando entre 6 e 168 horas. Antes do ataque químico, mediu-se o lustro em cada uma das áreas selecionadas. Posteriormente foram feitas novas medidas de lustro e uma avaliação visual de eventuais alterações de cor e brilho. O ensaio de alterabilidade é baseado nas recomendações da norma ABNT NBR 9446, modificada.

- *Lustro*

A medição de lustro verifica o grau de brilho das placas polidas de rocha ornamental. Este ensaio foi realizado segundo recomendações de procedimento interno IPT. Foram feitas cerca de 200 medidas de lustro em uma placa polida, espaçadas de aproximadamente 3cm. A placa escolhida para o ensaio tinha formato quadrado com 40cm de lado. As medidas de lustro foram feitas com o auxílio de um aparelho denominado "Glosschecker", marca Horiba.

- *Resistência à compressão*

O ensaio de resistência à compressão permite a determinação da tensão que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos. Os corpos de prova possuem forma cúbica com arestas de aproximadamente 7cm. A compressão depende das seguintes características: porosidade, estrutura e granulação. Os ensaios foram executados segundo as diretrizes da norma ABNT NBR 12.767.

- *Resistência à flexão*

O ensaio de flexão visa a determinação da tensão que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços fletores. Os ensaios realizados para as amostras dos blocos seguiram as recomendações da norma ABNT NBR 12.763, equivalente à norma ASTM C 99. Para cada amostra são utilizados cinco corpos de prova retangulares, no estado seco, com dimensões de 20 x 10 x 5cm. A carga de apoio é aplicada em três pontos do corpo de prova.

As placas polidas foram ensaiadas segundo as recomendações da norma ASTM C 880. Foram utilizados dez corpos de prova com as seguintes dimensões: espessura mínima de 2,0 cm, largura igual a 1,5 vezes a espessura e comprimento igual a 10 vezes a espessura. A carga de apoio é aplicada em quatro pontos do corpo de prova.

- *Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas*

Este ensaio determina o grau de isotropia da rocha. Os materiais rochosos são passíveis de permitir a propagação de ondas ultrassônicas (≈ 24 Khz). A propagação das ondas ocorre em diferentes velocidades conforme a isotropia do material, pois é influenciada pelas estruturas, pelo grau de alteração, pela porosidade e pela presença ou não de água nos poros. Os ensaios foram realizados segundo a norma ASTM D 2845. Os resultados deste ensaio são ferramenta auxiliar para o entendimento dos resultados dos ensaios de compressão uniaxial e de flexão.

Desgaste Amsler

Este ensaio verifica a resistência à abrasão da rocha estudada em um aparelho denominado Amsler. São utilizados duas placas de rocha de dimensões 7,5 x 7,5 x 2,5cm como corpos de prova, que sofrem um desgaste abrasivo, por atrito com areia quartzosa, ao longo de dois percursos, um de 500 metros e outro de 1.000 metros. Os resultados são expressos pela redução, em milímetros, da altura do corpo de prova, e correspondem à média aritmética dos valores de desgaste dos dois corpos de prova (Frazão & Paraguassu).

O ensaio de desgaste Amsler é realizado segundo as diretrizes da norma ABNT NBR 12.042.

- *Dureza Knoop*

O ensaio de dureza Knoop permite a obtenção do resultado quantitativo da microdureza da rocha, ao nível de sua composição mineralógica. É utilizado um corpo de prova com dimensões de 5 x 5 x 1cm, onde são feitas 40 indentações ao longo de uma reta com uma ponta de diamante em formato losangular. A carga para produzir a indentação é de 200g, que atua sobre a placa durante cerca de 35 segundos. Os resultados estão expostos na forma de diagramas de distribuição dos valores de dureza para determinada rocha. Os ensaios foram realizados segundo as recomendações de Mancini & Frisa (1982).

4. CARACTERÍSTICAS DO “GRANITO ROSA ITUPEVA”

4.1 PROPRIEDADES PETROGRÁFICAS

Macroscopicamente a rocha apresenta índice de cor leucocrático, textura equigranular média e estrutura maciça (Foto 4.1). Caracteriza-se por apresentar coloração bastante homogênea variando de rosa claro a rosa médio. Observam-se cristais milimétricos a centimétricos de feldspato alcalino e cristais de plagioclásio e quartzo sub-centimétricos distribuídos homogeneamente pela rocha. O teor total de minerais máficos não ultrapassa 5%.

Microscopicamente a rocha apresenta textura granular hipidiomórfica média (Fotomicrografia 4.1), com a trama mineral caracterizada pela disposição homogênea de todas as espécies minerais. Mineralogicamente é constituída principalmente por feldspato potássico pertítico, e quartzo e plagioclásio em menor quantidade. Biotita aparece como principal mineral máfico. Os principais minerais acessórios são titanita, zircão e opacos (provavelmente magnetita); allanita é menos frequentemente observada.

Os cristais de feldspato potássico são xenomórficos, com contatos entre si bastante irregulares, por vezes denteados, caracterizando-se pela abundante presença de pertita. Localmente apresentam geminação em grade típica de microclínio e são circundados por cordões descontínuos, microgranulares, de quartzo e plagioclásio. A granulação predominante do feldspato alcalino varia entre 2 e 8mm.

Os cristais de plagioclásio são hipidiomórficos, apresentam variação composicional entre albita e oligoclásio e caracterizam-se por contatos intergranulares retilíneos. Geralmente apresentam zoneamento, com núcleos turvos, alterados principalmente para sericita (Fotomicrografia 4.2) e por vezes para carbonato e epídoto, e bordas mais límpidas, livres de alteração. Exibem geminações segundo as leis da Albita e *Carslbád* e, localmente, apresentam as lamelas ligeiramente curvadas. A granulação predominante dos grãos de plagioclásio varia entre 2 e 5mm.

Os cristais de quartzo são xenomórficos, exibem fraca extinção ondulante e apresentam contatos intergranulares irregulares, por vezes denteados. Geralmente constituem aglomerados poligranulares distribuídos homogeneamente pela rocha e, localmente exibem cordões descontínuos de granulação muito fina variando entre 0,2 e 0,5mm. A granulação predominante dos grãos de quartzo varia entre 2 e 5mm.

A biotita representa o principal constituinte máfico. Geralmente é hipidiomórfica, apresentando contatos intergranulares retilíneos e exibe pleocroísmo castanho claro a castanho médio. A granulação predominante varia entre 1 e 3mm.

A titanita ocorre como cristais euédricos a subédricos, geralmente losangulares, muito dispersos pela rocha. Sua granulação predominante varia entre 0,5 e 2mm.

O microfissuramento observado nas lâminas do bloco (Fotomicrografias 4.3 e 4.5) é,

em geral, incipiente e descontínuo, caracterizando-se pela predominância de microfissuras intra e intergranulares, normalmente abertas, com preenchimento por sericita, carbonato e óxidos e/ou hidróxidos de ferro.

A análise das fotomicrografias das lâminas delgadas de placas polidas (Fotomicrografias 4.4 e 4.6) indica um aumento do grau de microfissuramento, tanto paralelamente à superfície polida como perpendicularmente à mesma superfície. Nas placas polidas há predominância de microfissuras transgranulares, ora acompanhando o contato entre os grãos ora cortando vários grãos aleatoriamente. Geralmente são abertas e sem preenchimento, ocorrendo paralelamente à superfície polida. Localmente observam-se microfissuras intragranulares afetando praticamente todos os minerais constituintes da rocha.

A classificação modal da rocha, indica uma variação composicional entre sienogranito e monzogranito, para cinco amostras e uma variação composicional entre monzogranito e monzonito (amostra “lâmina RI-05”). Em função da granulação da rocha, média, considera-se que as contagens modais realizadas em fatias de rocha sejam mais representativas do que as contagens em lâmina (Tabela 4.1). Adicionalmente, observa-se maior homogeneidade dos resultados nas contagens modais em fatias do que em lâminas, evidenciada pela maior proximidade dos pontos representando as fatias, quando lançados no diagrama Q-A-P (Figura 4.1). Considerando estes dois fatores, conclui-se que o “Granito Rosa Itupeva” classifica-se, segundo a composição modal, como sienogranito, na região de transição entre sieno- e monzogranito.

Tabela 4.1 - Composição modal para amostras do “Granito Rosa Itupeva”.

Amostra	Minerais (normalizados para 100%)		
	Feldspato potássico (%)	Plagioclásio (%)	Quartzo (%)
Lâmina RI-01	40,9	30,2	28,9
Lâmina RI-04	45,4	29,4	25,2
Lâmina RI-05	44,3	35,6	20,1
Fatia RI-01	47,1	22,8	30,1
Fatia RI-04	45,3	23,1	31,6
Fatia RI-05	48,3	21,9	29,8

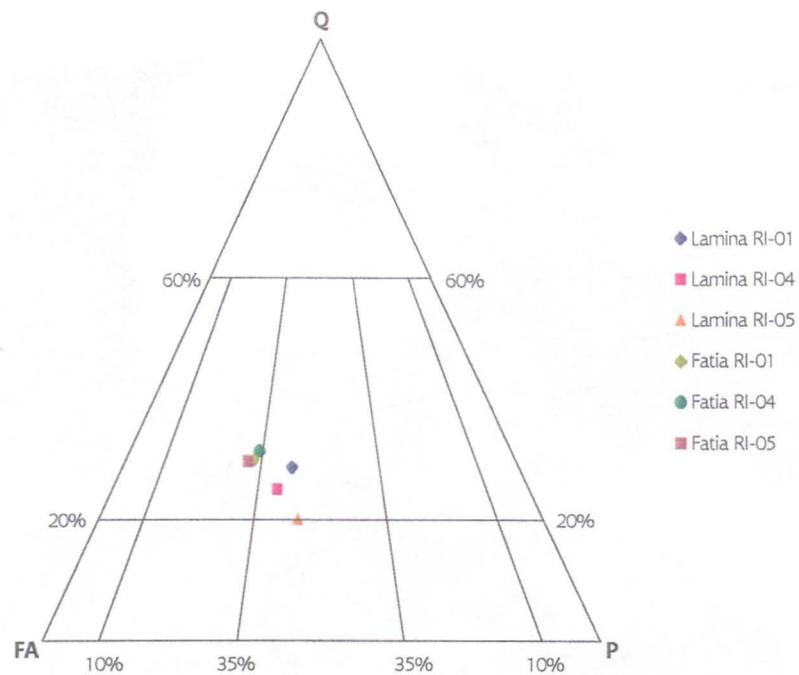


Figura 4.1 - Composições modais determinadas em lâminas e fatias de rocha lançadas no diagrama Q-A-P (Streckeisen, 1976).

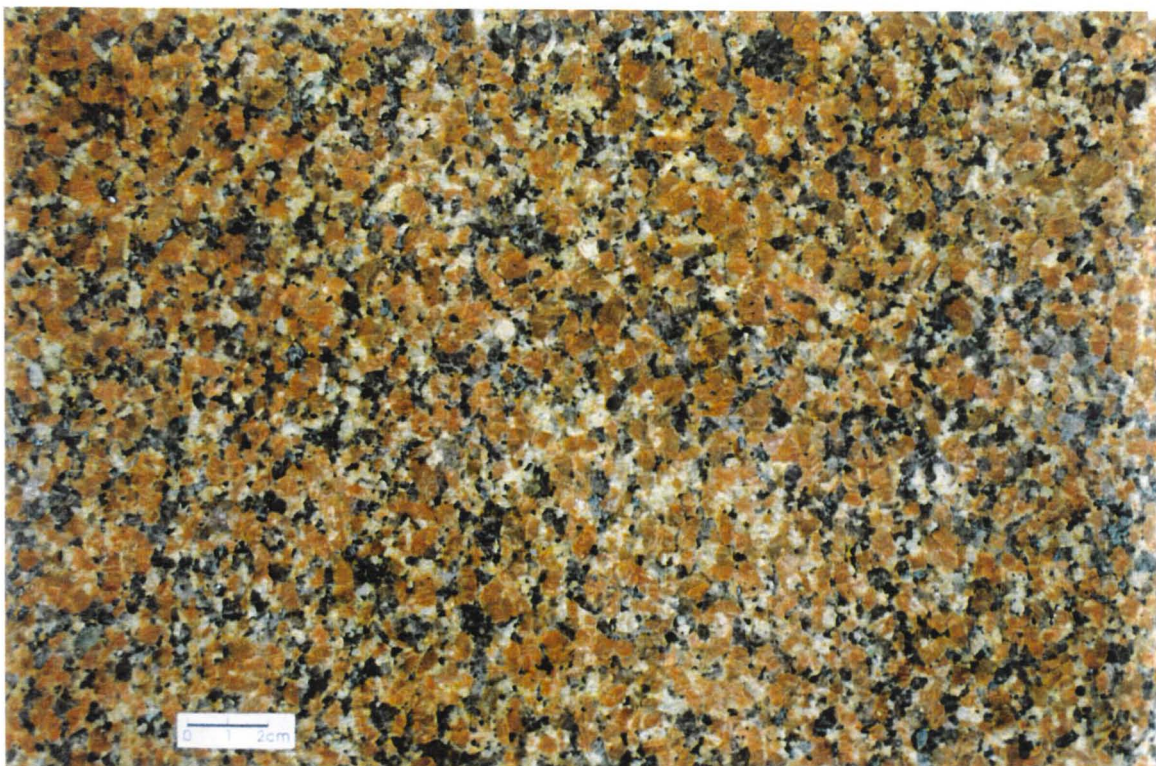
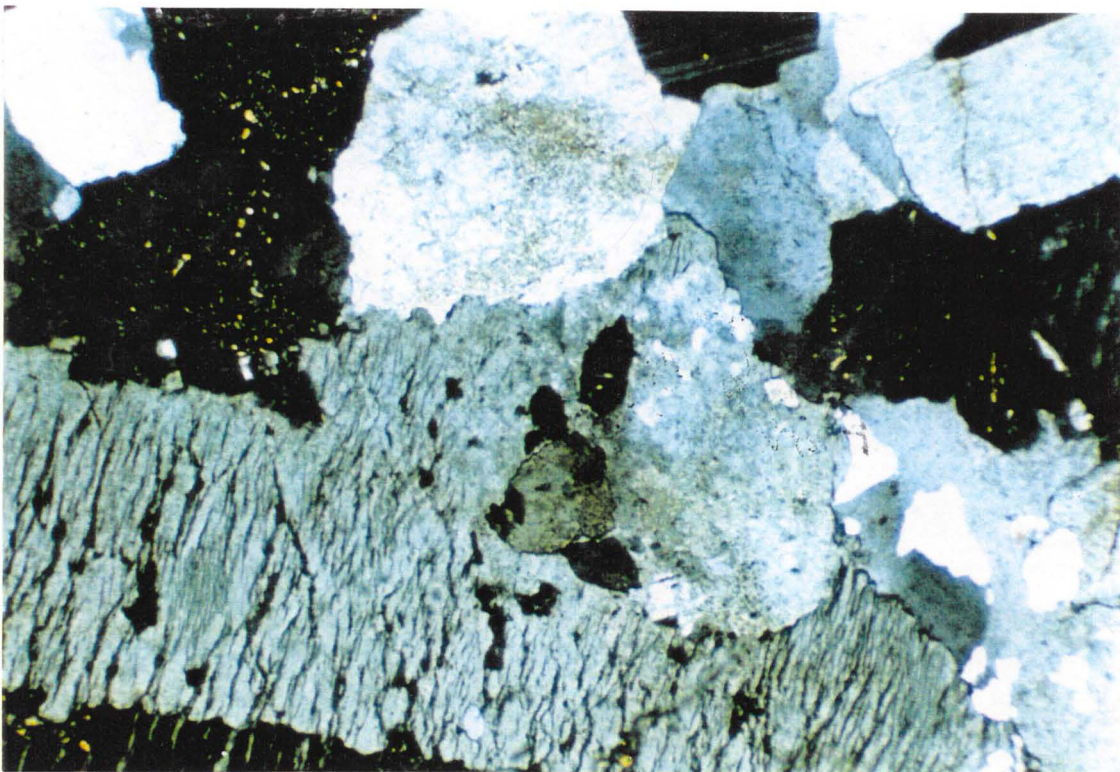
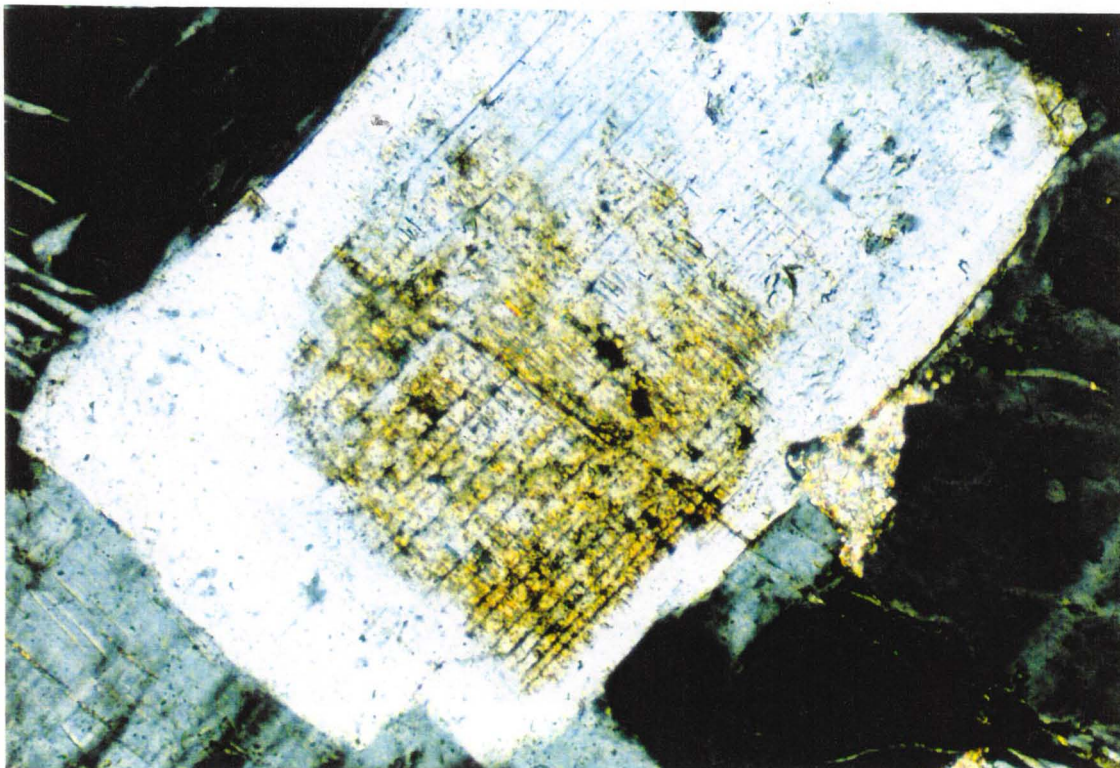


Foto 4.1 - Aspecto macroscópico do "Granito Rosa Itupeva".



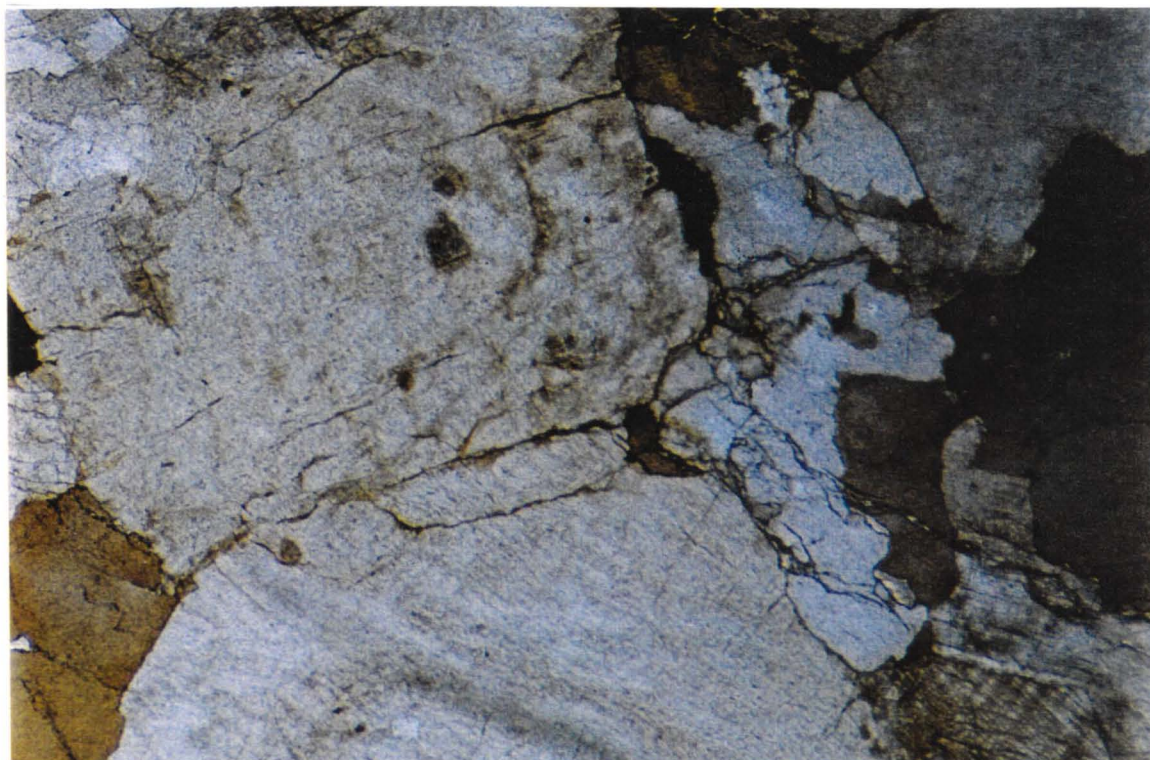
Fotomicrografia 4.1 - Textura hipidiomórfica da rocha (nicóis cruzados, objetiva: 2,5x).



Fotomicrografia 4.2 - Cristal de plagioclásio exibindo núcleo alterado para sericita (nicóis cruzados, objetiva: 10x).



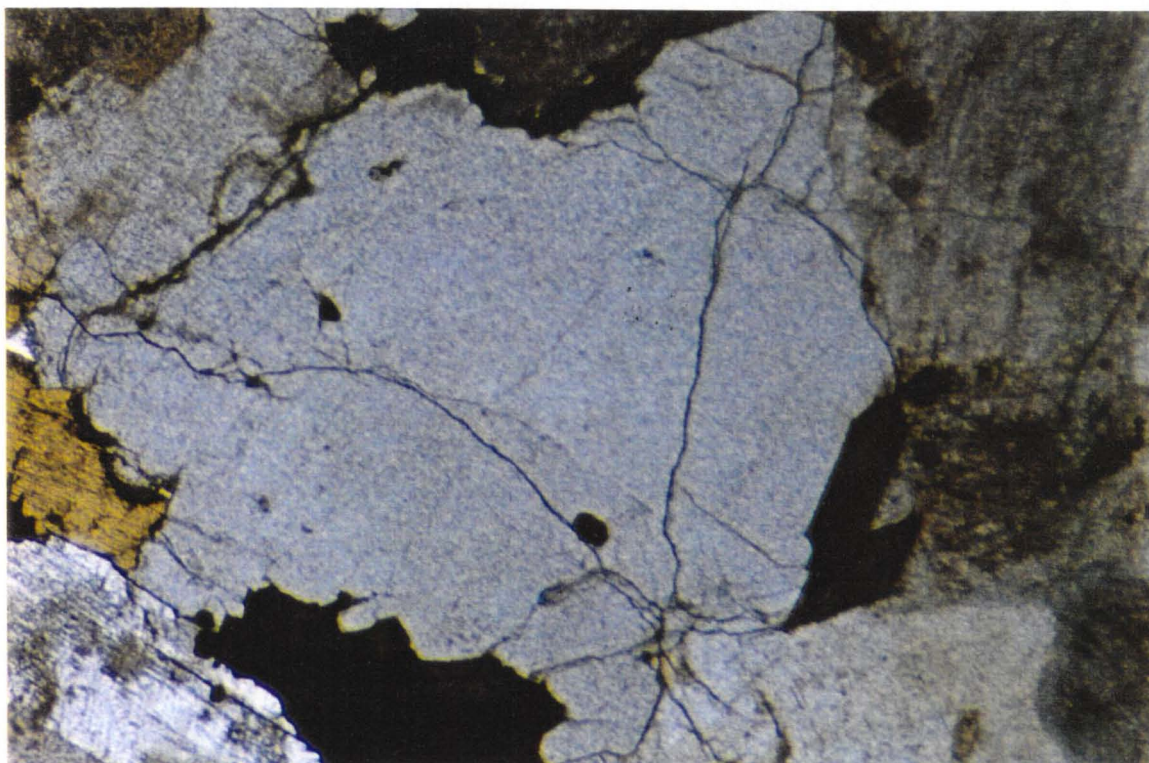
Fotomicrografia 4.3 - Padrão incipiente do microfissuramento da rocha bruta (nicóis descruzados, com filtro azul, zoom: 4 - lupa binocular).



Fotomicrografia 4.4 - Padrão de microfissuramento intenso observado paralelamente à superfície da placa de rocha polida (nicóis descruzados, com filtro azul, zoom: 4 - lupa binocular).



Fotomicrografia 4.5 - Padrão incipiente do microfissuramento da rocha bruta (nicóis descruzados, com filtro azul, zoom: 4 - lupa binocular).



Fotomicrografia 4.6 - Padrão de microfissuramento intenso observado paralelamente à superfície da placa de rocha polida (nicóis descruzados, com filtro azul, zoom: 3 - lupa binocular).

4.2 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

Os dados apresentados a seguir estão na forma resumida, e são resultantes dos ensaios de caracterização tecnológica realizados no bloco e nas placas polidas. Os resultados detalhados para cada ensaio realizado estão apresentados em Anexo.

As interpretações dos resultados para os ensaios de índices físicos, compressão uniaxial, resistência à flexão (módulo de ruptura, pelo método ASTM C 99) e resistência à flexão (pelo método ASTM C 880) baseiam-se na análise comparativa com os valores sugeridos pela norma ASTM C 615. Os resultados dos ensaios de desgaste Amsler e coeficiente de dilatação térmica linear foram interpretados a partir da análise comparativa com os valores sugeridos por Frazão & Farjallat (1996).

Para o estudo da variabilidade das características tecnológicas em função dos estágios de beneficiamento, foi realizada análise comparativa entre os índices de absorção d'água e de dureza Knoop obtidos tanto do bloco quanto das placas polidas. O resultado do ensaio de flexão pelo método ASTM C 99, obtido na análise de amostras do bloco, não pode ser diretamente comparado com o resultado do ensaio de flexão pelo método ASTM C 880, obtido na análise de amostras de placas polidas pois, apesar de ambos determinarem a resistência a esforços fletores, são ensaios com métodos diferentes, utilizando corpos de prova com características completamente distintas. Entretanto, pode-se realizar uma análise comparativa indireta, a partir da correlação dos resultados obtidos com os respectivos limites mínimos estipulados pela norma ASTM C 615, observando-se, dessa forma, a variabilidade da resistência a esforços fletores em função dos estágios de beneficiamento.

Os resultados estão apresentados na seguinte forma (Tabela 4.2):

$X \pm S$ (CV); sendo:

Tabela 4.2 - Simbologia para forma de apresentação dos resultados.

Símbolo	Significado
X	média
S	desvio padrão
CV	coeficiente de variação (em porcentagem)

Em função dos resultados de alguns ensaios serem obtidos a partir de um número relativamente pequeno de medidas, o desvio padrão e o coeficiente de variação nem sempre serão expressos.

4.2.1 ÍNDICES FÍSICOS

Tabela 4.3 - Resultados de índices físicos para bloco e placa polida do “Granito Rosa Itupeva”.

Propriedade	Bloco	Placa polida
Massa específica aparente seca (kg/m³)	2.633 ± 3 (0,10)	2.627 ± 2 (0,09)
Massa específica aparente saturada (kg/m³)	2.639 ± 2 (0,09)	2.636 ± 2 (0,08)
Porosidade aparente (%)	0,60 ± 0,02 (3,8)	0,95 ± 0,04 (3,7)
Absorção d'água (%)	0,23 ± 0,01 (3,8)	0,36 ± 0,01 (3,8)

Os resultados obtidos para absorção d'água (Tabela 4.3) foram comparados entre si e também com o limite máximo estipulado pela ASTM. Verificou-se um aumento da absorção d'água para a placa polida da ordem de 50% em relação ao índice obtido para o bloco. Apesar deste aumento no valor da absorção, tanto a placa como o bloco apresentam valores dentro do limite da ASTM (Figura 4.2) .

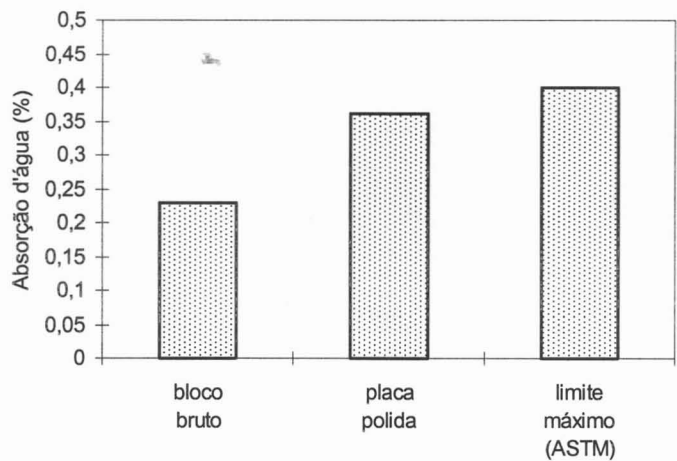


Figura 4.2 - Análise comparativa da absorção d'água do bloco, da placa polida e do limite máximo estipulado pela ASTM.

Posteriormente, com a finalidade de estudar o efeito do polimento na variação do índice de absorção d'água, foi realizado o ensaio de índices físicos em placas polidas, porém com o polimento desgastado pela serra (Tabela 4.4). Observou-se que o índice de absorção d'água entre placas polidas e placas com o polimento desgastado varia apenas

dentro do desvio padrão obtido, não havendo portanto, variação significativa (Figura 4.3).

O material beneficiado, tanto polido quanto sem polimento, apresenta valores de absorção d'água cerca de 50% superiores em relação ao bloco. A partir desses dados infere-se que provavelmente o beneficiamento do material produziu um aumento da quantidade de microfissuras, que por sua vez reflete-se no aumento da absorção d'água.

Tabela 4.4 - Resultados de índices físicos para placa polida e placa com polimento desgastado do "Granito Rosa Itupeva".

Propriedade	Placa polida	Placa com polimento desgastado
Massa específica aparente seca (kg/m ³)	2.627 ± 2 (0,09)	2.626 ± 3 (0,10)
Massa específica aparente saturada (kg/m ³)	2.636 ± 2 (0,08)	2.636 ± 2 (0,09)
Porosidade aparente (%)	0,95 ± 0,04 (3,7)	0,96 ± 0,04 (4,1)
Absorção d'água (%)	0,36 ± 0,01 (3,8)	0,37 ± 0,01 (4,1)

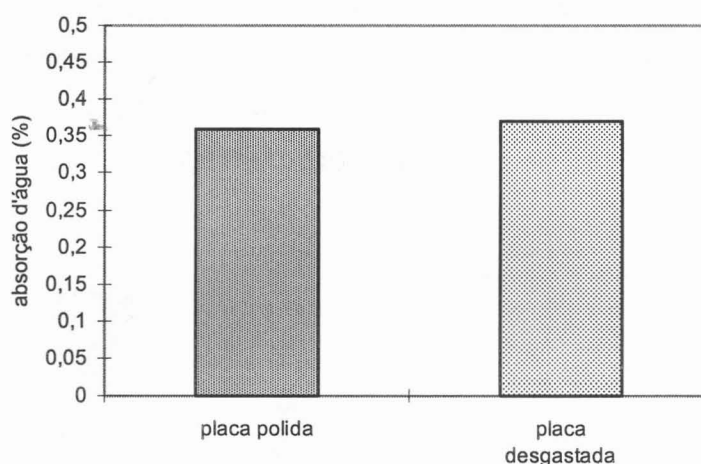


Figura 4.3 - Análise comparativa da absorção d'água entre placa polida e placa com polimento desgastado.

4.2.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL

O valor obtido para o ensaio de resistência à compressão uniaxial, expresso em MPa é:

$$143,8 \pm 10,0 (6,9)$$

Quando comparado com o valor mínimo estipulado pela ASTM (131,0 MPa), observa-se que o valor obtido ultrapassa o limite mínimo em cerca de 10%.

4.2.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (MÓDULO DE RUPTURA)

O valor obtido para o ensaio de resistência à tração na flexão ou módulo de ruptura (pelo método de ensaio ASTM C 99), expresso em MPa é:

$$15,27 \pm 0,44 (2,9)$$

Quando comparado com o valor mínimo estipulado pela ASTM (10,34 MPa), observa-se que o valor obtido ultrapassa o limite mínimo em cerca de 48%.

4.2.4 RESISTÊNCIA À FLEXÃO

O valor obtido para o ensaio de resistência à tração na flexão (pelo método de ensaio ASTM C 880), expresso em MPa é:

$$8,22 \pm 1,30 (15,8)$$

Quando comparado com o valor mínimo estipulado pela ASTM (8,27 MPa), observa-se que o valor obtido é cerca de 0,6% inferior ao limite mínimo.

Não é possível comparar diretamente os valores obtidos a partir dos dois ensaios de resistência à flexão (ASTM C 99 e ASTM C 880). Entretanto, algumas considerações podem ser feitas a partir da análise comparativa entre os valores obtidos e seus respectivos valores mínimos estipulados pela norma ASTM C 615 (Figura 4.4).

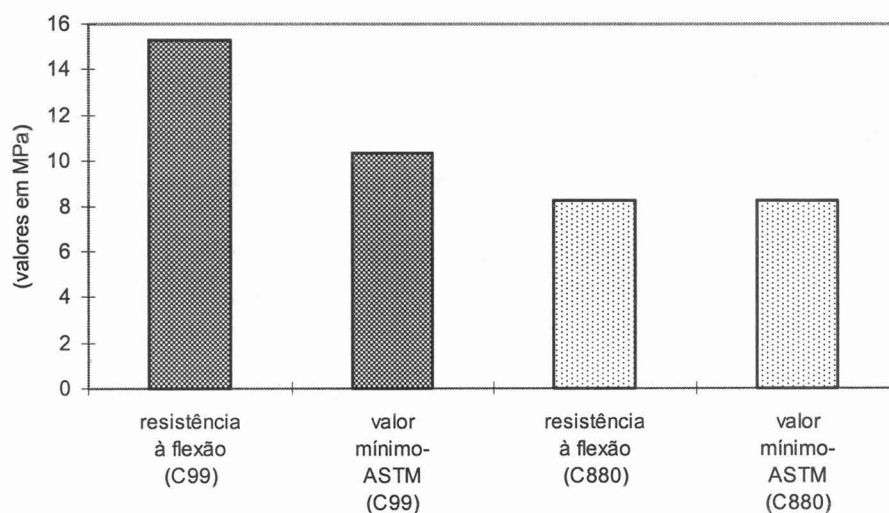


Figura 4.4- Valores de resistência à flexão (ASTM C-99 e ASTM C-880) comparados com seus respectivos valores mínimos estipulados pela ASTM C 615.

A despeito das diferenças entre cada um dos métodos de ensaio para a determinação da resistência à flexão, os resultados obtidos para cada um dos métodos deveriam apresentar comportamentos relativamente semelhantes quando comparados aos seus respectivos valores mínimos estabelecidos pela norma ASTM C 615. Observa-se, entretanto, que enquanto o valor de resistência à flexão calculado pelo método ASTM C 99 ultrapassa o limite mínimo estabelecido em aproximadamente 50%, o valor de resistência à flexão calculado pelo método ASTM C 880 é cerca de 0,5% inferior ao limite mínimo da ASTM C 615. Esta diferença deve-se, possivelmente, a dois fatores principais. O primeiro fator seria a influência da granulação média no resultado do ensaio pelo método ASTM C 880, pois a espessura utilizada no corpo de prova foi de 2cm. Para esta espessura, pode-se esperar a influência, por exemplo, de planos de clivagem dos cristais de feldspato potássico (com dimensões de cerca de 1cm), que causariam uma diminuição da resistência mecânica, facilitando o rompimento do corpo de prova. O segundo fator seria a influência do processo de beneficiamento adotado, que possivelmente causou maior microfissuramento do material e a consequente diminuição da resistência à flexão.

4.2.5 COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR

O valor resultante do ensaio de determinação do coeficiente de dilatação térmica linear, expresso em mm/m°C, é:

$$6,8 \times 10^{-3}$$

Quando comparado com o valor máximo sugerido por Frazão & Farjallat (1996) para o coeficiente de dilatação térmica linear, que é de 12,0 mm/m°C, observa-se que o valor obtido é cerca de 43% inferior ao limite máximo.

4.2.6 DESGASTE AMSLER

São obtidos dois valores como resultados do ensaio de desgaste Amsler, um valor equivalente ao desgaste por abrasão em um percurso de 500m e outro equivalente ao desgaste por abrasão em um percurso de 1.000m. Os resultados estão expostos abaixo:

Tabela 4.5 - Resultados de desgaste Amsler para os respectivos percursos.

Percurso (m)	Desgaste (mm)
500	0,30
1.000	0,55

O valor máximo sugerido por Frazão & Farjallat (1996) para o desgaste Amsler no percurso de 1.000 metros é de 1,0mm, portanto o valor obtido de 0,55mm é 45% inferior ao limite sugerido.

4.2.7 ALTERABILIDADE

O resultado do ensaio de alterabilidade é exposto na forma das medidas do grau de lustro antes e após o ataque de cada uma das substâncias químicas utilizadas (Tabela 4.6). Também são descritas as observações macroscópicas de eventuais alterações de cor e de textura que possam ocorrer após o ensaio.

Tabela 4.6 - Resultados de medidas de lustro antes e após o ensaio de alterabilidade.

		Substância ativa					
		H ₂ O (deionizada)	HCl (3%)	KOH (10%)	Ác. cítrico (3%)	Cloro ativo (5%)	NH ₄ OH (10%)
Lustro	Antes	71 ± 4 (5,6)	54 ± 5 (9,3)	70 ± 4 (5,7)	62 ± 5 (8,1)	63 ± 6 (9,5)	61 ± 3 (4,9)
	Após	71 ± 2 (2,8)	51 ± 5 (9,8)	64 ± 3 (4,8)	58 ± 6 (10,3)	59 ± 6 (10,2)	55 ± 14 (25,4)

Com exceção da água deionizada, todas as outras substâncias químicas produziram pequena perda de brilho, evidenciada pela diminuição do grau de lustro.

O ataque químico com HCl produziu, além da perda de brilho, um leve esbranquiçamento em todos os minerais e uma acentuada corrosão nos grãos de biotita. O ataque através de hidróxido de potássio (KOH) e ácido cítrico resultou em um esbranquiçamento bastante incipiente enquanto que o hidróxido de amônia (NH₄OH) e o cloro ativo não causaram nenhuma alteração macroscópica na rocha.

4.2.8 LUSTRO

A medida de lustro expressa o brilho refletido pela superfície polida da rocha. Para o “Granito Rosa Itupeva” o valor medido foi:

$$82 \pm 3 (3,8)$$

Apesar do ensaio de lustro ainda não possuir normalização, o valor obtido pode ser considerado satisfatório em relação aos resultados observados em outras placas de rocha polida já ensaiadas pelo IPT.

4.2.9 DUREZA KNOOP

Os valores obtidos a partir dos ensaios de dureza Knoop executados no bloco e na placa polida foram expressos por curvas de distribuição dos valores de dureza em ordem crescente (Figuras 4.5 e 4.6), pelo valor de HK médio (“Hardness Knoop” médio) e pelos valores de HK 25, HK 50 e HK 75 relativos à dureza obtida para os primeiros 25%, 50% e 75% da curva de distribuição. Para expressar o “coeficiente de heterogeneidade” da rocha, também é destacado o valor de HK 75/HK 25, que determina a homogeneidade dos valores de dureza obtidos na execução do ensaio (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 - Valores de dureza Knoop expressos para o bloco e para placa polida.

	Bloco	Placa polida
HK 25 (MPa)	5.311	5.167
HK 50 (MPa)	5.949	5.696
HK 75 (MPa)	7.627	6.933
HK médio (MPa)	6.372	6.129
HK 75/HK 25	1,44	1,34

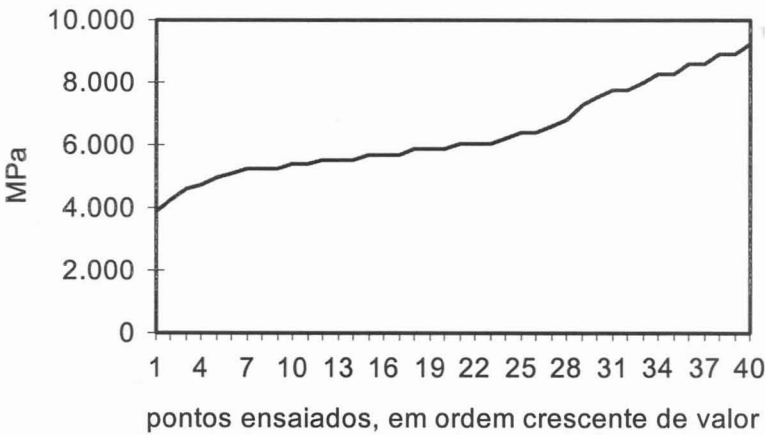


Figura 4.5 - Curva de distribuição da dureza Knoop obtida em amostra do bloco.

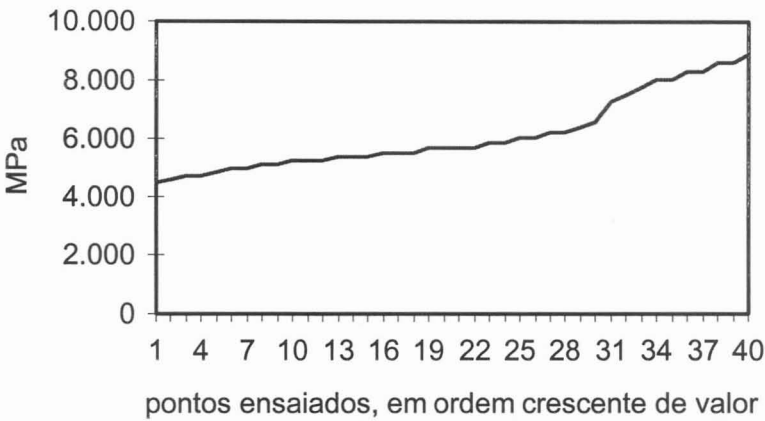


Figura 4.6 - Curva de distribuição da dureza Knoop obtida em amostra de placa polida.

A análise dos resultados demonstra que os valores de dureza Knoop obtidos para o bloco, em todas as classes, são cerca de 5% superiores aos valores obtidos para a placa polida. A diferença entre os valores é significativa, apesar de relativamente pequena, pois as curvas de distribuição dos valores de dureza são semelhantes. Essa diferença pode ser interpretada como resultado do beneficiamento do material, que pode ter sofrido um incremento no grau de microfissuramento devido ao desdobramento em placas e ao polimento. O aumento do microfissuramento possivelmente causou uma diminuição da resistência dos minerais à microindentação da ponta Knoop, determinando a diminuição dos valores de dureza para o HK 25, o HK 50, o HK 75 e, conseqüentemente, para o HK médio.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

O reconhecimento geológico do jazimento e os ensaios de caracterização tecnológica e petrográfica do “Granito Rosa Itupeva” foram realizados conforme a proposta inicial deste trabalho. Foram descritas as principais propriedades tecnológicas e petrográficas da rocha. A partir da apresentação dos resultados foi possível tecer considerações a respeito da qualificação do material e analisar comparativamente os parâmetros petrográficos e as propriedades físico-mecânicas consideradas relevantes para a pesquisa.

Para o estudo da variação das propriedades do material em função dos estágios de extração e beneficiamento foram analisados o grau de microfissuramento, os valores de absorção d’água, resistência à flexão e dureza Knoop.

Os resultados petrográficos obtidos permitiram relacionar o “Granito Rosa Itupeva” ao contexto geológico local descrito por Galembeck (1997). A rocha estudada faz parte de um corpo ovalado de pequenas dimensões, incluído no fácies quartzo-sienítica a sienogranítica equigranular grossa, rósea (CB-6), que constitui um dos doze fácies que formam a Intrusão Cabreúva. Correlacionando os dados petrográficos obtidos com as conclusões de Galembeck (1997), que apresenta características de granitos do tipo A - rapakivi para as rochas da Intrusão Cabreúva, pode-se afirmar que a rocha estudada pertence à linhagem de rochas graníticas subalcalinas potássicas, conforme Artur *et al.* (1998b).

As variedades dos granitóides subalcalinos potássicos comumente apresentam texturas porfiróides ou inequigranulares grossas, que podem desqualificar a rocha quanto à resistência físico-mecânica a esforços flexores (Artur *et al.*, 1998b). O “Granito Rosa Itupeva”, de textura granular hipidiomórfica média foi qualificado quanto a resistência a esforços fletores, porém a resistência à flexão, determinada pelo método ASTM C 880, apresentou um resultado praticamente igual ao limite mínimo especificado, evidenciando uma provável influência negativa da granulação média na resistência à flexão de placas polidas de pequena espessura.

Dentre os resultados obtidos com o desenvolvimento deste trabalho, devem ser ressaltados:

- ⇒ o “Granito Rosa Itupeva” é classificado petrograficamente como sienogranito. Apresenta textura granular hipidiomórfica, granulação média e coloração rosa, que conferem agradável aspecto estético à rocha;
- ⇒ a análise comparativa dos valores de absorção d’água, resistência à flexão e dureza Knoop obtidos para o bloco e para placas polidas do mesmo bloco evidencia uma queda de qualidade entre o material bruto e o material beneficiado, provavelmente resultante do processo de beneficiamento que incluiu o desdobramento do bloco e o polimento das placas. A perda de qualidade estaria relacionada ao aumento do grau de microfissuramento durante o beneficiamento, como verificado na análise petrográfica;
- ⇒ a análise dos resultados tecnológicos obtidos permite considerar o “Granito Rosa Itupeva” apropriado como rocha ornamental, podendo ser utilizado em revestimentos verticais e horizontais, internos e externos.

As conclusões apresentadas por este trabalho comprovam a importância da aplicação do conhecimento técnico-científico no campo das rochas ornamentais. O conhecimento das características geológicas do jazimento em conjunto com a análise das principais propriedades tecnológicas e mineralógicas proporcionam a qualificação criteriosa e a utilização adequada do material. O trabalho também enfatiza que o uso de normas técnicas para a caracterização e qualificação das rochas ornamentais é de fundamental importância para maior valorização comercial do produto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 14521
- ALENCAR, C. R. A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. (1996). Tecnologias de Lavra e Beneficiamento de Rochas Ornamentais. Série Estudos Econômicos sobre Rochas Ornamentais. Volume 3. Fortaleza. Federação das Indústrias do Estado do Ceará. Instituto Euvaldo Lodi. 225p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. (1989). (C 880). Standard test method for flexural strenght of dimensional stone. 2p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. (1990). (ASTM D 2845). Standard method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock. 8p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. (1992). (ASTM C 615). Standard specification for granite dimension stone. 3p.
- ARTUR, A. C.; WERNICK, E.; RODRIGUES, E. P. (1998). Mapa provisional de granitos ornamentais no Estado de São Paulo. *In*: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. *Anais...* Belo Horizonte. pp 318.
- ARTUR, A. C.; WERNICK, E.; RODRIGUES, E. P. (1998). Séries granitóides e suas implicações como rochas ornamentais. *In*: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. *Anais...* Belo Horizonte. pp 325.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (1992). (NBR 12763). Rochas para revestimento. Determinação da resistência à flexão. 3p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (1992). (NBR 12764). Rochas para revestimento. Determinação da resistência ao impacto de corpo duro. 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (1992). (NBR 12765). Rochas para revestimento. Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear. 3p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (1992). (NBR 12766). Rochas para revestimento. Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (1992). (NBR 12767). Rochas para revestimento. Determinação da resistência à compressão uniaxial. 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (1992). (NBR 12768). Rochas para revestimento. Análise petrográfica. 2p.

- BAHIA. Secretaria da Indústria, Comércio e Turismo. Superintendência de Geologia e Recursos Minerais. (1994). Catálogo de Rochas Ornamentais da Bahia - Brasil. Salvador. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 148p.
- BEZERRA, F. N. M.; COSTA, A. G.; ARANHA, P. A. R. (1998). Ensaio físico em rochas ornamentais: uma proposta de adequação da norma NBR 12766/1992 (ABNT). In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. *Anais...* Belo Horizonte. pp 315.
- CARUSO, L. G. & TAIOLI, F. (1978). Pedras Ornamentais do Estado de São Paulo. Revista Rochas de Qualidade. 46: 3-8.
- CEARÁ. Companhia Cearense de Mineração - CEMINAS (1989). Avaliação econômica dos granitos do Estado do Ceará. Secretaria da Indústria e Comércio. CEMINAS. 114p.
- CHIODI FILHO, C. (1994). Pesquisa Geológica: o primeiro passo. Revista Rochas de Qualidade. 117: 58-71. São Paulo.
- CHIODI FILHO, C. (1995). Aspectos Técnicos e Econômicos do Setor de Rochas Ornamentais. Série Estudos e Documentos. Nº 28, 75p. Rio de Janeiro. MCT/CNPq/CETEM.
- CHIODI FILHO, C. & ONO, A. (1995). Tipos de lavra e técnicas de corte para desmonte de blocos. Revista Rochas de Qualidade. 120: 93-106. São Paulo.
- CHIODI FILHO, C. & RODRIGUES, E. P. (1997). Análise comparativa de mármore e granitos para revestimento de edificações. Revista Rochas de Qualidade. 137: 70-86. São Paulo.
- ESPÍRITO SANTO. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico. (1993). Catálogo das Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo. Vitória. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 79p.
- FERNANDES, M. L. S.; OLIVEIRA, S. F.; LEMOS, E. E. (1998). Rochas ornamentais entre Guanhães e Dolores de Guanhães, MG. In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. *Anais...* Belo Horizonte. pp 324.
- FLAINE, E. P. & FRAZÃO, E. B. (1998). Considerações sobre algumas patologias em revestimentos com placas pétreas. Revista Rochas de Qualidade. 140: 86-92. São Paulo.
- FRASCÁ, M. H. B. O.; QUITETE, E. B.; MANO, E. S. (1998) Aspectos petrográficos da deterioração de rochas ornamentais utilizadas em revestimento. In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. *Anais...* Belo Horizonte. pp 305.
- FRAZÃO, E. B. (1992). Caracterização tecnológica de rochas de revestimento. Revista Rochas de Qualidade. 110: 110-113. São Paulo.

- FRAZÃO, E. B. & FARJALLAT, J. E. S. (1995). Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento. *In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DA PEDRA NATURAL*. Lisboa, Portugal. pp 49-58.
- FRAZÃO, E. B. & FARJALLAT, J. E. S. (1996). Proposta de especificação para rochas silicáticas de revestimento. *In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA*. Vol. 1. pp 369-381. Rio de Janeiro.
- FRAZÃO, E. B. & PARAGUASSU, A. B. (1998). Materiais Rochosos para Construção. *In: Geologia de Engenharia*. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE; CNPq / FAPESP. pp 331-342.
- FRAZÃO, E. B. & QUITETE, E. B. (1998). Technological quality index: A proposal for qualification of dimension stones. *In: VIII INTERNACIONAL IAEG CONGRESS*. Vol. 4. pp 2919-2922. Vancouver, Canadá.
- GALEMBECK, T. M. B. (1997). O Complexo múltiplo, centrado e pluriserial Itu - SP. Tese (Doutorado). Rio Claro. Instituto de Geociências e Ciências Exatas/ Universidade Estadual Paulista. 374p.
- GALEMBECK, T. M. B. (1991). Aspectos geológicos e geoquímicos da Intrusão Cabreúva - Complexo Granitóide Itu (SP). (Dissertação de Mestrado). Rio Claro. Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista. 195p.
- GOIÁS. Secretaria da Indústria, Comércio e Turismo. (1995). Pedras Ornamentais: Catálogo dos Granitos do Oeste Goiano. Goiânia. 34p.
- JUNG, J. & BROUSSE, R. (1959). Classification modale des roches éruptives. Paris. Masson. 122p.
- MANCINI, R. & FRISA, A. M. (1982). Applications of Micro-Hardness Tests to the Technical Evaluation of Dimension Stones. *In: IV CONGRESS INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY - PROCEEDINGS*. V.3, 321-331. New Delhi.
- MOÇO, M. F. (1981). Prospecção de mármore para cantaria em Guixaba, Município de Pio IX, PI. (Dissertação de Mestrado). São Paulo. Instituto de Geociências/ Universidade de São Paulo. 144p.
- MORAES, M. C. & RODRIGUES, E. P. (1978). Exemplo de aplicação de coloração seletiva de feldspatos potássicos e cálcicos, como técnica auxiliar no estudo de rochas. Cerâmica, 24 (97), pp. 32-35.
- MOURA, C.L.; ARTUR, A.C.; RODRIGUES, E.P.; VIDEIRA, F.C.P. (1998). Caracterização petrográfico-tecnológica das rochas da jazida do Formoso (Município de Formiga - MG), para uso ornamental. *In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. Anais...* Belo Horizonte. pp 308.

- OLIVEIRA, S. F. & COSTA, A. G. (1998). Alterações de minerais e outros problemas relacionados aos materiais com aplicação no setor das rochas ornamentais. *In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. Anais...* Belo Horizonte. pp 301.
- PARANÁ. Minerais do Paraná S/A. - MINEROPAR. (1991). Perfil do Setor de Granitos e Mármore do Estado do Paraná. Curitiba. Secretaria do Estado da Indústria e do Comércio. 32p.
- PASCHOLATI, E. M. (1990). Caracterização Geofísica da Suíte Intrusiva de Itu. Tese (Doutorado). Instituto Astronômico e Geofísico/ Universidade de São Paulo. São Paulo. 135p.
- PASCHOLATI, E. M.; VLACH, S. R. F.; AMARAL, G. (1987). Contribuição ao conhecimento da Suíte Intrusiva Itu. *In: VI SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA. Atas...* v.1, p. 47-62. Rio Claro, SP. SBG.
- PETRUCCI, E. G. R. (1974). Utilização de materiais naturais na construção. Revista Rochas de Qualidade. 3: 17-27. São Paulo.
- QUITETE, E. B. & RODRIGUES, E. P. (1998). Dureza Knoop aplicada a rochas ornamentais. *In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. Anais...* Belo Horizonte. pp 314.
- ROBERTO, F. A. C. (1998) Rochas Ornamentais do Ceará: Geologia, Pesquisa, Lavra, Beneficiamento e Mercado. (Dissertação de Mestrado). Fortaleza. Centro de Ciências / Universidade Federal do Ceará. 229p.
- ROCHAS DE QUALIDADE, Revista (1974). Rochas de Qualidade. 1: 27-32. São Paulo.
- ROCHAS DE QUALIDADE, Revista (1976). Normas técnicas para utilização dos mármore e granitos. 12: 15-17. São Paulo.
- ROCHAS DE QUALIDADE, Revista (1990). A pesquisa geológica na caracterização e viabilização de jazidas. 102: 62-65. São Paulo.
- ROCHAS DE QUALIDADE, Revista (1996). Pesquisa de campo demonstra método eficaz de exploração. 126: 96-108. São Paulo.
- ROCHAS DE QUALIDADE, Revista (1998). Feiras internacionais asiáticas movimentam o setor. 138: 33-37. São Paulo.
- RODRIGUES, E. P.; COUTINHO, J. M. V.; CHIODI FILHO, C. (1996). Petrografia microscópica: uma visão do passado, presente e futuro das rochas. Revista Rochas de Qualidade. 127: 80-84. São Paulo.

- ROSS, J. L. S. & MOROZ, I. C. (1998). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. (escala 1:500.000) Vol. 1. Laboratório de Geomorfologia/ FFLCH/ Universidade de São Paulo; Laboratório de Cartografia Geotécnica/ Geologia Aplicada/ IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; FAPESP- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.
- SANTA CATARINA. Secretaria do Estado da Ciência e Tecnologia, das Minas e Energia; Coordenadoria de Recursos Minerais. (1989). Rochas Ornamentais de Santa Catarina. Florianópolis.
- SÃO PAULO. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1978). Materiais de Cantaria. (roteiro). São Paulo. IPT - Divisão de Minas e Geologia Aplicada. 2p.
- SÃO PAULO. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1990). Catálogo das Rochas Ornamentais do Estado de São Paulo. IPT. 122p.
- STRECKEISEN, A. (1976). To each rock its proper name. *Earth Science Review*, 12: 1-33.
- VIDAL, F. W. H. & STELLIN JÚNIOR, A. (no prelo). Estado D'arte da Extração de Rochas Ornamentais. Série Estudos e Documentos. Rio de Janeiro. MCT / CNPq / CETEM.
- VIDAL, F. W. H. (1995) A indústria extrativa de rochas ornamentais no Ceará. (Dissertação de Mestrado). São Paulo. Escola Politécnica/ Universidade de São Paulo. 178p.

ANEXO

DETERMINAÇÃO DE ÍNDICES FÍSICOS - NORMA NBR 12.766

Rosa Itupeva - bloco bruto

CP Nº	PESO SUB- MERSO (g)	PESO SATU- RADO (g)	PESO SECO (g)	M. ESP. AP. SECA (kg/m ³)	M. ESP. AP. SAT. (kg/m ³)	POROSID. AP. (%)	ABS. DE ÁGUA (%)
1	146,76	236,11	235,57	2.636	2.643	0,60	0,23
2	145,37	234,24	233,71	2.630	2.636	0,60	0,23
3	146,56	235,87	235,30	2.635	2.641	0,64	0,24
4	147,67	237,69	237,14	2.634	2.640	0,61	0,23
5	147,16	236,96	236,44	2.633	2.639	0,58	0,22
6	147,43	237,34	236,81	2.634	2.640	0,59	0,22
7	147,89	238,18	237,65	2.632	2.638	0,59	0,22
8	144,78	233,23	232,72	2.631	2.637	0,58	0,22
9	143,41	230,87	230,36	2.634	2.640	0,58	0,22
10	143,07	230,41	229,87	2.632	2.638	0,62	0,23
11	159,21	256,28	255,68	2.634	2.640	0,62	0,23
12	151,00	243,27	242,71	2.630	2.637	0,61	0,23
13	152,68	246,01	245,42	2.630	2.636	0,63	0,24
14	154,64	249,13	248,58	2.631	2.637	0,58	0,22
15	161,82	260,39	259,83	2.636	2.642	0,57	0,22
16	162,97	262,38	261,82	2.634	2.639	0,56	0,21
17	160,28	257,88	257,31	2.636	2.642	0,58	0,22
18	159,62	256,72	256,17	2.638	2.644	0,57	0,21
19	158,65	255,55	254,94	2.631	2.637	0,63	0,24
20	161,16	259,70	259,10	2.629	2.635	0,61	0,23
MÉDIA :				2.633	2.639	0,60	0,23
DESVIO PADRÃO :				3	2	0,02	0,01
COEF. VARIAÇÃO (%):				0,10	0,09	3,8	3,8

DETERMINAÇÃO DE ÍNDICES FÍSICOS - NORMA NBR 12.766

Rosa Itupeva - placa polida

CP Nº	PESO SUB- MERSO (g)	PESO SATU- RADO (g)	PESO SECO (g)	M. ESP. AP. SECA (kg/m ³)	M. ESP. AP. SAT. (kg/m ³)	POROSID. AP. (%)	ABS. DE ÁGUA (%)
1	170,57	274,98	273,94	2.624	2.634	1,00	0,38
2	163,52	263,66	262,66	2.623	2.633	1,00	0,38
3	167,62	270,05	269,07	2.627	2.636	0,96	0,36
4	169,78	273,67	272,66	2.625	2.634	0,97	0,37
5	144,22	232,36	231,55	2.627	2.636	0,92	0,35
6	162,16	261,37	260,41	2.625	2.635	0,97	0,37
7	163,32	263,23	262,27	2.625	2.635	0,96	0,37
8	139,34	224,43	223,62	2.628	2.638	0,95	0,36
9	169,75	273,60	272,61	2.625	2.635	0,95	0,36
10	169,74	273,38	272,38	2.628	2.638	0,96	0,37
11	166,69	268,54	267,57	2.627	2.637	0,95	0,36
12	167,39	269,87	268,91	2.624	2.633	0,94	0,36
13	167,67	270,11	269,17	2.628	2.637	0,92	0,35
14	165,55	266,69	265,69	2.627	2.637	0,99	0,38
15	169,39	272,67	271,74	2.631	2.640	0,90	0,34
16	166,78	268,48	267,56	2.631	2.640	0,90	0,34
17	167,10	269,45	268,57	2.624	2.633	0,86	0,33
18	168,96	272,20	271,20	2.627	2.637	0,97	0,37
19	167,89	270,47	269,51	2.627	2.637	0,94	0,36
20	168,34	271,04	270,10	2.630	2.639	0,92	0,35
MÉDIA :				2.627	2.636	0,95	0,36
DESVIO PADRÃO :				2	2	0,04	0,01
COEF. VARIAÇÃO (%) :				0,09	0,08	3,7	3,8

DETERMINAÇÃO DE ÍNDICES FÍSICOS - NORMA NBR 12.766

Rosa Itupeva - placa polida desgastada

CP Nº	PESO SUB- MERSO (g)	PESO SATU- RADO (g)	PESO SECO (g)	M. ESP. AP. SECA (kg/m ³)	M. ESP. AP. SAT. (kg/m ³)	POROSID. AP. (%)	ABS. DE ÁGUA (%)
1	142,47	229,38	228,57	2.630	2.639	0,93	0,35
2	165,05	266,00	265,08	2.626	2.635	0,91	0,35
3	167,62	269,98	268,95	2.627	2.638	1,01	0,38
4	167,40	269,82	268,81	2.625	2.634	0,99	0,38
5	164,34	264,85	263,90	2.626	2.635	0,95	0,36
6	169,16	272,39	271,38	2.629	2.639	0,98	0,37
7	168,21	271,37	270,34	2.621	2.631	1,00	0,38
8	169,06	272,55	271,55	2.624	2.634	0,97	0,37
9	140,41	226,12	225,24	2.628	2.638	1,03	0,39
10	166,57	268,23	267,20	2.628	2.639	1,01	0,39
11	164,59	265,07	264,05	2.628	2.638	1,02	0,39
12	165,46	266,84	265,84	2.622	2.632	0,99	0,38
13	159,44	257,04	256,09	2.624	2.634	0,97	0,37
14	134,96	217,57	216,77	2.624	2.634	0,97	0,37
15	162,81	262,26	261,35	2.628	2.637	0,92	0,35
16	165,52	266,74	265,82	2.626	2.635	0,91	0,35
17	167,05	269,00	268,06	2.629	2.639	0,92	0,35
18	166,35	268,06	267,12	2.626	2.636	0,92	0,35
19	165,13	265,95	265,03	2.629	2.638	0,91	0,35
20	160,78	259,08	258,12	2.626	2.636	0,98	0,37
MÉDIA :				2.626	2.636	0,96	0,37
DESVIO PADRÃO :				3	2	0,04	0,01
COEF. VARIAÇÃO (%) :				0,10	0,09	4,1	4,1

CÁLCULO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL

(ABNT NBR 12.767)

C. P. nº	altura h (cm)	aresta A1 (cm)					aresta A2 (cm)				
		d1	d2	d3	d4	Média	d1	d2	d3	d4	Média
1	7,52	7,74	7,74	7,73	7,74	7,74	7,70	7,69	7,76	7,78	7,73
2	7,52	7,73	7,71	7,76	7,78	7,75	7,77	7,77	7,80	7,84	7,80
3	7,52	7,63	7,59	7,60	7,64	7,62	7,64	7,69	7,66	7,62	7,65
4	7,52	7,73	7,71	7,80	7,83	7,77	7,78	7,67	7,77	7,78	7,75
5	7,52	7,72	7,74	7,73	7,71	7,73	7,79	7,85	7,80	7,78	7,81

C. P. nº	área A1 x A2	carga de ruptura (kgf)	tensão de ruptura		distância (10 ⁻² cm)	tempo (10 ⁻⁶ s)	V.P.O. (m/s)
			(kgf/cm²)	(MPa)			
1	59,83	87.600	1.464	143,6	7,52	15,1	4.980
2	60,37	80.000	1.325	130,0	7,52	14,4	5.222
3	58,27	82.600	1.417	139,0	7,52	14,0	5.371
4	60,20	94.000	1.562	153,1	7,52	14,3	5.259
5	60,29	94.400	1.566	153,5	7,52	14,2	5.296
		Média:	1.467	143,8			5.226
		desv. pad.:	102	10,0			148

CÁLCULO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MÓDULO DE RUPTURA)

(ABNT NBR 12.763)

C. P. nº	espessura, d (cm)					largura b, (cm)				
	d1	d2	d3	d4	média	b1	b2	b3	b4	média
1	5,13	5,18	5,11	5,12	5,14	9,91	9,91	10,02	10,06	9,98
2	5,10	5,08	5,15	5,11	5,11	10,17	10,19	10,04	10,08	10,12
3	5,32	5,37	5,17	5,18	5,26	10,23	10,24	10,10	10,04	10,15
4	5,26	5,22	5,51	5,45	5,36	10,23	10,28	10,10	10,13	10,19
5	5,07	5,21	5,17	5,25	5,18	10,25	10,23	10,22	10,17	10,22

C. P. nº	Área (d²b)	carga de ruptura (kgf)	tensão de ruptura		distância (10 ⁻² cm)	tempo (10 ⁻⁶ s)	V.P.O (m/s)	
			(kgf/cm²)	(MPa)				
1	263,02	1.500	154,0	15,10	10,07	20,5	4.910	
2	264,25	1.580	161,4	15,83	10,15	20,6	4.930	
3	280,90	1.620	155,7	15,27	10,23	18,2	5.620	
4	292,61	1.620	149,5	14,66	10,25	18,3	5.600	
5	273,63	1.600	157,9	15,48	10,25	18,7	5.480	
		Média:	155,7	15,27			Média:	5.310
		desv. pad.:	4,5	0,44			desv. pad.:	360

CÁLCULO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO - ASTM C880

C. P.	espessura, d (cm)					largura b, (cm)					d ² b	LIMITE	carga de ruptura (kgf)	tensão de ruptura		comprimento (10 ⁻² m)	tempo (10 ⁻⁶ s)	VP m/s
	d1	d2	d3	d4	média	b1	b2	b3	b4	média				(kgf/cm ²)	(MPa)			
1	1,93	1,93	1,96	1,96	1,95	3,02	3,01	2,95	2,95	2,98	11,28	240,02	61,59	110,5	10,84	22,30	47,6	4.680
3	1,91	1,92	1,94	1,93	1,93	3,04	3,04	3,01	3,00	3,02	11,20	241,79	51,55	93,2	9,14	22,30	47,5	4.690
6	1,91	1,91	1,95	1,94	1,93	2,96	2,97	2,96	2,97	2,97	11,02	245,84	37,44	68,8	6,75	22,30	48,5	4.600
4	1,94	1,94	1,92	1,92	1,93	3,07	3,07	3,15	3,15	3,11	11,58	233,77	34,18	59,8	5,86	22,30	48,2	4.630
5	1,95	1,95	1,92	1,93	1,94	2,97	2,97	2,98	2,98	2,98	11,17	242,49	49,04	88,9	8,72	22,30	48,7	4.580
8	1,92	1,92	1,93	1,93	1,93	3,09	3,09	3,07	3,06	3,08	11,40	237,47	43,70	77,6	7,61	22,30	48,3	4.620
2	1,92	1,92	1,93	1,93	1,93	3,07	3,07	3,08	3,05	3,07	11,37	238,24	55,92	99,6	9,77	22,30	48,5	4.600
7	1,97	1,97	1,94	1,93	1,95	2,96	2,97	3,00	3,01	2,99	11,38	237,96	55,59	98,9	9,70	22,30	48,2	4.630
9	1,92	1,92	1,95	1,95	1,94	3,01	3,01	2,98	3,00	3,00	11,23	241,09	36,77	66,3	6,50	22,30	48,3	4.620
10	1,95	1,94	1,91	1,90	1,93	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01	11,15	242,80	42,69	77,5	7,60	22,30	47,6	4.680
L(cm)= 19,3 Espaçamento dos cutelos inferiores													Média:	84,1	8,22			4.633
Observação: foram desprezados os corpos de prova 1 e 4 pois a tensão de ruptura ultrapassou a diferença de 25% da média													desv. pad.:	16,6	1,29			40

COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR

(ABNT NBR 12.765)

C. P. Nº	L ₀ (10 ⁻² m)	ΔL (10 ⁻⁶ m)	Temperaturas		ΔT (°C = K)	CDTL 10 ⁻³ mm/m°C	média do C.P.
1	9,04	33,0	51,6	0,0	51,6	7,1	7,3
		35,1	0,0	51,6	51,6	7,5	
2	9,04	29,3	51,8	0,0	51,8	6,3	6,2
		28,9	0,0	51,8	51,8	6,2	
					média	6,8	6,8

DESGASTE POR ABRASÃO AMSLER (ABNT NBR 12.042)

		Desgaste em mm correspondente ao percurso de:			
C.P. Nº	Dimensões da base (mm)	500 m		1.000 m	
		Individual	Média	Individual	Média
1	70,90 x 70,20	0,28	0,3	0,50	0,55
2	70,60 x 70,20	0,31		0,59	

ENSAIO DE ALTERABILIDADE
(ABNT NBR 9446, ADAPTADA)
MEDIDAS DE GRAU DE LUSTRO ANTES E APÓS O ATAQUE QUÍMICO

MEDIDA EM PLACA 10 X 15	PLACA 1 (H ₂ O PURA)		PLACA 2 (HCl)		PLACA 3 (KOH)		PLACA 4 (ÁC. CÍTRICO)		PLACA 5 (Cl ativo)		PLACA 6 (NH ₄ OH)	
	ANTES	DEPOIS	ANTES	DEPOIS	ANTES	DEPOIS	ANTES	DEPOIS	ANTES	DEPOIS	ANTES	DEPOIS
1	73	72	52	49	70	63	68	65	73	69	60	61
2	70	69	51	54	70	66	59	54	59	62	61	52
3	75	69	60	57	68	65	67	54	66	58	65	61
4	71	70	52	58	75	64	59	65	57	57	58	55
5	72	73	64	51	68	69	73	70	71	65	64	57
6	74	71	58	50	74	67	59	56	71	67	62	61
7	73	68	48	52	72	63	59	47	63	65	61	8
8	70	69	49	51	68	67	63	59	63	55	64	64
9	73	73	58	43	74	62	50	47	64	57	60	61
10	59	71	51	55	63	60	59	57	61	57	60	59
11	70	69	54	54	72	64	55	53	55	45	54	55
12	71	71	52	50	68	61	56	65	55	64	60	58
13	74	71	55	58	70	62	58	65	64	62	61	58
14	74	72	55	53	70	61	62	61	64	66	68	59
15			54	54	62	70	65	59	74	69		
16			40	47	70	67	66	56	53	55		
17			58	53	67	62	66	64	67	60		
18			49	38	76	60	56	57	61	60		
19			50	50	67	63	64	48	53	55		
20			55	49	68	59	60	51	62	47		
21			57	51	73	60	66	62	64	55		
22			61	49	75	63	68	62	58	55		
MÉDIAS	71	71	54	51	70	64	62	58	63	59	61	55
DESV. PAD.	4	2	5	5	4	3	5	6	6	6	3	14
VARIAÇÃO (%)	-	99	-	95	-	91	-	94	-	95	-	90

Concentrações:

HCl (3%)

KOH (10%)

ÁC. CÍTRICO (3%)

Cl (5%)

 NH₄OH (10%)

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO LUSTRO (PROCEDIMENTO INTERNO IPT)

85	87	81	80	87	80	85	78	80
85	79	81	85	84	79	87	83	84
82	82	81	84	84	86	87	83	
82	85	82	83	82	84	83	80	
83	79	84	84	82	81	78	78	
85	83	85	80	85	84	84	78	
82	77	85	82	79	84	86	77	
83	79	85	73	78	83	80	83	
86	81	77	83	80	84	83	85	
84	83	81	85	76	81	85	83	
85	73	77	81	80	86	82	74	
82	83	84	81	85	79	87	81	
87	83	82	81	82	83	81	83	
87	87	83	87	85	78	84	85	
86	86	83	79	86	86	84	79	
87	85	82	77	84	81	81	83	
82	84	80	85	86	84	84	79	
71	83	82	81	84	88	85	81	
84	82	85	78	88	86	74	82	
77	86	79	86	83	87	80	84	
79	86	79	79	78	82	84	79	
82	80	81	76	84	82	82	83	
87	82	83	80	85	82	81	77	
84	83	81	83	85	86	80	82	
85	80	80	79	82	85	80	81	
83	84	78	74	81	82	85	80	

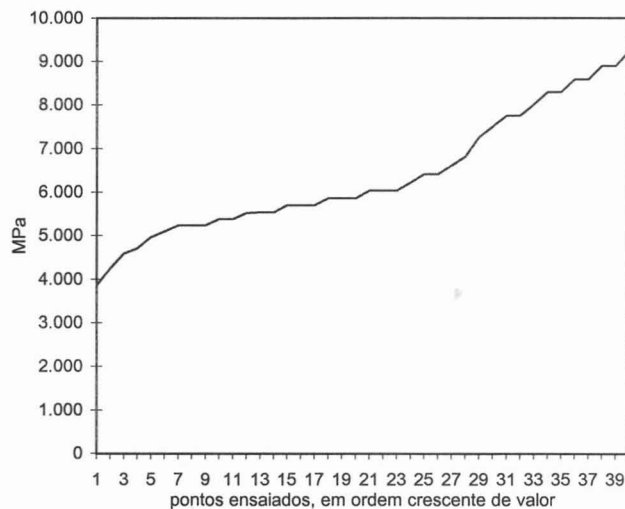
MÉDIA:	82
DESV. PAD:	3
C.V:	3,7

MICRODUREZA KNOOP

AMOSTRA DE BLOCO

MEDIDA	DIAGONAL	DUREZA		DUREZA EM
Nº	(10 ⁻³ mm)	(kg/mm ²)	MPa	ORDEM CRES. (MPa)
1	71	563	5.521	3.863
2	69	598	5.862	4.254
3	65	674	6.606	4.588
4	64	695	6.814	4.707
5	60	791	7.753	4.962
6	85	394	3.863	5.097
7	62	740	7.261	5.238
8	74	520	5.097	5.238
9	56	908	8.900	5.238
10	70	581	5.696	5.384
11	78	468	4.588	5.384
12	57	876	8.591	5.521
13	58	846	8.297	5.537
14	59	818	8.018	5.537
15	77	480	4.707	5.696
16	69	598	5.862	5.696
17	72	549	5.384	5.696
18	70	581	5.696	5.862
19	75	506	4.962	5.862
20	66	653	6.407	5.862
21	66	653	6.407	6.036
22	58	846	8.297	6.036
23	57	876	8.591	6.036
24	56	908	8.900	6.218
25	68	615	6.036	6.407
26	81	434	4.254	6.407
27	73	534	5.238	6.606
28	55	941	9.227	6.814
29	61	765	7.501	7.261
30	70	581	5.696	7.501
31	71	565	5.537	7.753
32	72	549	5.384	7.753
33	69	598	5.862	8.018
34	60	791	7.753	8.297
35	73	534	5.238	8.297
36	73	534	5.238	8.591
37	68	615	6.036	8.591
38	68	615	6.036	8.900
39	71	565	5.537	8.900
40	67	634	6.218	9.227

Curva de distribuição da microdureza Knoop para a amostra "Rosa Itupeva"



carga:	200 g	1,961 N	HK25=	5.311	542
tempo de carga :		aprox. 35 s.	HK50 =	5.949	607
Constante Knoop (C):		0,07048	HK 75 =	7.627	778
			HKmédio=	6.372	650
			HK75/HK25=	1,44	

LEITZ MINILOAD 2

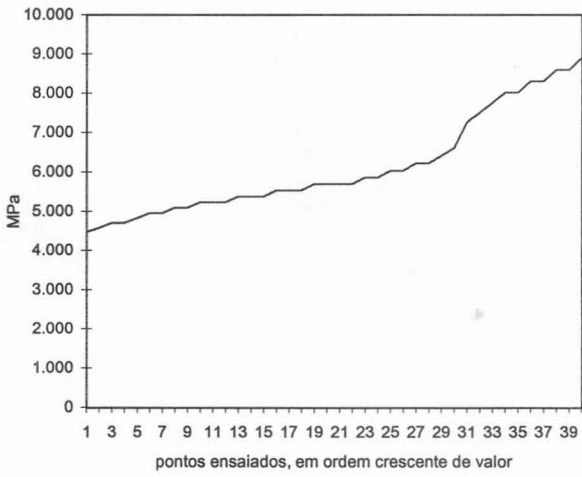
DESPAD: 1.352
C.V.: 18

MICRODUREZA KNOOP

AMOSTRA DE PLACA

MEDIDA	DIAGONAL	DUREZA		DUREZA EM
		(10 ⁻³ mm)	(kg/mm ²) MPa	
1	78	466	4.575	4.472
2	77	480	4.707	4.575
3	56	908	8.900	4.707
4	57	876	8.591	4.707
5	70	581	5.696	4.832
6	72	549	5.384	4.962
7	71	565	5.537	4.962
8	70	581	5.696	5.097
9	73	534	5.238	5.097
10	68	615	6.036	5.238
11	76	493	4.832	5.238
12	79	456	4.472	5.238
13	69	598	5.862	5.384
14	73	534	5.238	5.384
15	57	876	8.591	5.384
16	58	846	8.297	5.537
17	59	818	8.018	5.537
18	71	565	5.537	5.537
19	69	598	5.862	5.696
20	68	615	6.036	5.696
21	66	653	6.407	5.696
22	75	506	4.962	5.696
23	67	634	6.218	5.862
24	60	791	7.753	5.862
25	61	765	7.501	6.036
26	62	740	7.261	6.036
27	67	634	6.218	6.218
28	65	674	6.606	6.218
29	74	520	5.097	6.407
30	74	520	5.097	6.606
31	70	581	5.696	7.261
32	72	549	5.384	7.501
33	72	549	5.384	7.753
34	70	581	5.696	8.018
35	77	480	4.707	8.018
36	75	506	4.962	8.297
37	71	565	5.537	8.297
38	73	534	5.238	8.591
39	58	846	8.297	8.591
40	59	818	8.018	8.900

Curva de distribuição da microdureza Knoop para a amostra "Rosa Itupeva"



carga:	200 g	1,961 N	MPa	kg/mm ²
tempo de carga :		aprox. 35 s.	HK25=	5.167 527
Constante Knoop (C):	0,07048		HK50 =	5.696 581
			HK 75 =	6.933 707
			HKmédio=	6.129 625
			HK75/HK25=	1,34

LEITZ MINILOAD 2

DESVPAD: 1.283
C.V.: 21