

SALVADOR LUIZ MATOS DE ALMEIDA

**APROVEITAMENTO DE REJEITOS DE PEDREIRAS  
DE SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA – RJ  
PARA PRODUÇÃO DE BRITA E AREIA**

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção  
do título de Doutor em Engenharia.

São Paulo  
2000

SALVADOR LUIZ MATOS DE ALMEIDA

**APROVEITAMENTO DE REJEITOS DE PEDREIRAS  
DE SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA – RJ  
PARA PRODUÇÃO DE BRITA E AREIA**

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção  
do título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração:  
Engenharia Mineral

Orientador:  
Prof. Laurindo de Salles Leal Filho



São Paulo  
2000

FT-1500

Almeida, Salvador Luiz Matos de

Aproveitamento de rejeitos de pedreiras  
de Santo Antônio de Pádua – RJ para produção  
de brita e areia. São Paulo, 2000.

120 p.

Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo. Departamento  
de Engenharia de Minas.

1. Brita. 2. pedreiras. 3. rochas ornamentais  
4. recuperação de rejeitos. 5. tecnologia limpa  
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.  
Departamento de Engenharia de Minas. II. t

Aos meus pais:

Pedro Ferreira de Almeida e Maria Adelaide Matos de Almeida (in memoriam).

À minha esposa Glória e filhas Fernanda e Renata pela compreensão, incentivo e pelos muitas horas que tiveram que dividir com este trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Aos Profs. Drs. Laurindo Salles Leal Filho e Arthur Pinto Chaves pela orientação, incentivo e sugestões apresentadas no decorrer deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Roberto C. Villas Bôas, na época como Diretor do CETEM, pelo empenho para o êxito do Convênio e EPUSP/CETEM.

Ao Prof. Dr. Eduardo Camiller Damasceno, pelo grande empenho para o sucesso do Convênio EPUSP/CETEM.

Ao Dr. Fernando Antônio Freitas Lins, atual Diretor do CETEM, por ter dado continuidade aos objetivos do Convênio EPUSP/CETEM.

Aos Drs. Adão Benvindo da Luz e João Alves Sampaio, chefes do DTM e SEBM/CETEM, pelo apoio para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao técnicos Antônio Odilon da Silva pela cooperação na amostragem, Flávio Moreno Mendes e ao BIC Carlos Eduardo Engelke Lucas Rêgo, pela eficiência e colaboração na execução dos ensaios.

Aos geólogos do CETEM, Arnaldo Alcover Neto e Reiner Neumann pelos trabalhos de caracterização mineralógica.

Às bibliotecárias do CETEM, Ana Maria Sá de Oliveira, Sônia Maria Mamede Lourenço e Andréia Diogo Teixeira, pela colaboração na busca de artigos bibliográficos.

Ao Dr. Francisco W. Hollanda Vidal, pelas sugestões na área de rochas ornamentais.

Às geólogas Maria de Fátima Bessa e Maria Angélica Batista Lima, do NUTEC, ao Dr. José Carlos da Rocha, do INT, e ao tecnólogo Fábio Conrado de Queiroz, do IPT, pela colaboração na caracterização tecnológica da rocha.

À engenheira Ana Catarina Evangelista do Departamento de Engenharia Civil da UFRJ, pelo apoio nos ensaios de resistência do concreto.

Ao Sr. João Luiz Nacif da empresa Raio de Sol, pela cooperação na retirada das amostras.

À secretária Valéria Cristina de Souza, do CETEM, pela colaboração na editoração do texto.

À todos os colegas que direta ou indiretamente colaboraram na execução desta pesquisa.



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-900 São Paulo, SP  
Telefone: (011) 818-5322/818-5435 Fax: (011) 818-5721

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

## ERRATA

<b>Pág</b>	<b>Linha</b>	<b>Onde se lê:</b>	<b>Leia-se:</b>
9	penúltima	silicosa	silicatada
	15 <sup>a</sup>	WILKS e WILKS-1991	VIDAL-1999
42	a amostra cuja mineralogia é apresentada é de sobras de serraria, mas isto não faz diferença, uma vez que se provou que as duas amostras são iguais		
30	sexta	normas ABTN	normas ABNT e outras
60	legenda	Equipamento de ensaio	Equipamento de medição
12	21 <sup>a</sup>	Kg	kg
32	tabela 2	peneira ABNT	abertura da malha segundo ABNT
40	penúltima	as 4 t foram colocadas em 4 big bags, 1 t em cada um, identificadas individualmente por big bag	
46	2 <sup>a</sup> do último parágrafo	amostras 101 e 102	amostras 101(rejeitos de pedreira) e 102 (sobras de serraria)
54	1 <sup>a</sup> parágrafo	este parágrafo deve ser eliminado	
65	tabela 14	"gnaisse"	rocha de Santo Antonio de Pádua
76	último parágrafo	a amostra ensaiada foi o produto de britagem obtido dos ensaios com rejeitos de pedreira e sobras de serraria	

## SUMÁRIO

### RESUMO

### ABSTRACT

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO</b>	<b>6</b>
<b>3. REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>7</b>
<b>4. ATIVIDADE MINEIRA EM SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA</b>	<b>15</b>
4.1. Lavra	15
4.2. Beneficiamento	21
4.3. Problemas ambientais associados ao beneficiamento e lavra	24
4.4. Solução proposta para o problema específico dos rejeitos de lavra e serraria	26
<b>5. TEMAS DE INTERESSE À FABRICAÇÃO DE AGREGADOS</b>	<b>30</b>
5.1. Especificação de agregados	30
5.2. Fabricação de pré-moldados	35
5.3. Distribuição granulométrica dos produtos de britagem	35
5.4. Imperfeição e eficiência do peneiramento	36
<b>6. CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA</b>	<b>39</b>
6.1. Amostragem	39
6.2. Descrição petrográfica	42
6.3. Caracterização mineralógica dos rejeitos de pedreira e sobras de serraria	42
6.4. Caracterização tecnológica do material	52
6.4.1. Determinação de índices físicos	52



6.4.2. Determinação da dilatação térmica linear	53
6.4.3. Determinação da dureza "Knoop"	54
6.4.4. Ensaio de compressão uniaxial	56
6.4.5. Ensaio de flexão	58
6.4.6. Determinação da velocidade de propagação de ondas	58
6.4.7. Ensaio de desgaste "Amsler"	60
6.4.8. Ensaio de alterabilidade	61
6.4.9. Considerações sobre os ensaios tecnológicos	64
<b>7. ENSAIOS DE BRITAGEM E CONFECÇÃO DE CONCRETOS</b>	<b>66</b>
7.1. Ensaios de britagem	66
7.2. Índice de forma das partículas	74
7.3. Ensaio de desgaste por abrasão "Los Angeles"	75
7.4. Ensaios de compressão em concreto	77
<b>8. USINA DE BRITA A PARTIR DA BRITAGEM DOS REJEITOS DE PEDREIRA E SERRARIA</b>	<b>79</b>
8.1. Descrição do projeto	79
8.1.1. Fluxograma da usina de brita	79
8.2. Estudo de pré-viabilidade econômica de uma usina de brita	83
8.2.1. Investimentos	83
8.2.2. Receita do projeto e tributação	84
8.2.3. Custo operacional	84
8.2.4. Fluxo de caixa descontado	85
<b>9. CONCLUSÕES</b>	<b>88</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>91</b>

<b>ANEXO I - Resultados das análises granulométricas</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO II - Memória de cálculo da usina de brita</b>	<b>109</b>
<b>LISTA DE FOTOS</b>	<b>115</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>118</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>119</b>

## RESUMO

Estudos de britagem e peneiramento foram realizados com rejeitos de uma pedreira de Santo Antônio de Pádua – RJ, com a finalidade de produzir agregados para a construção civil. Foram amostradas cerca de 2 t de rejeitos de pedreira e 2 t de sobras de serrarias do material “olho de pombo”, que é um tipo de pedra bem representativa de região.

Para estabelecer as características da matéria-prima, foram feitos estudos de caracterização mineralógica/tecnológica das duas amostras. Os resultados das análises química/mineralógica das amostras mostraram que as mesmas são iguais, constituídas principalmente por feldspato (62%), quartzo (25%), mica (7%) e hornblenda (5%).

Na caracterização tecnológica foram feitas determinações na rocha de: dureza “Knoop”, índices físicos (densidade, porosidade e absorção d’água), dilatação térmica, velocidade de propagação de ondas, resistência à compressão, resistência à flexão e desgaste “Amsler”. Pelos resultados obtidos verificou-se que a rocha apresentou índices satisfatórios, dentro dos limites de especificação da ASTM, exceção feita ao desgaste “Amsler”, que deu um valor um pouco acima do recomendado para piso de alto tráfego.

Foram realizados estudos de britagem com as duas amostras, utilizando-se os britadores de mandíbula Faço modelos 2015 e 3020, variando-se as aberturas dos britadores na posição fechada, a fim de verificar o comportamento das curvas granulométricas dos produtos. Estes foram comparados com agregados típicos utilizados nas obras de construção civil no Rio de Janeiro, apresentando resultados bastante semelhantes.

Foram realizados ensaios para caracterização da brita produzida, tais como índice de forma, abrasão “Los Angeles” e de resistência à compressão em corpo de prova de concreto feito com esta brita. Os resultados identificaram uma brita de formato cúbico, o que é uma ótima característica para a construção civil. Entretanto a resistência à compressão apresentou um valor de 23 MPa, que a limita para utilização em obras de pequeno e médio porte.

Um estudo realizado de pré-viabilidade econômica para a operação de uma usina de brita, com capacidade de produção de 30.000 m<sup>3</sup>/ano, projetou um investimento total de R\$ 675.000,00 com uma receita anual de R\$ 384.000,00 e gerando uma taxa de retorno de 12% a.a.

O projeto tem um apelo ambiental indiscutível visto que promoverá o aproveitamento de rejeitos que hoje são gerados em quantidades muito significativas, e são dispostos de maneira desordenada, gerando enorme impacto ambiental.

## ABSTRACT

Crushing and sieving studies have been conducted on Santo Antônio de Pádua quarry's tailing rock in order to produce aggregates for civil construction. 2 metric tons of quarry's tailing and 2 metric tons of sawmills's tailing have been sampled. The chosen product is one kind of rock, regionally known as *Olho de Pombo*. This rock is quite representative of the Santo Antônio de Pádua region.

Mineralogical and technological characterization studies have been carried out on two samples aiming to determine the physical and chemical properties of the raw materials. These studies have shown that on chemical and mineralogical point of view, there is no difference between those two samples. Both samples presented the same mineralogical composition: feldspar (62%), quartz (25%), mica (7%), hornblende (5%).

A lot of tests has been done regarding to the rock technological characterization: Knoop hardness, physical indexes (apparent specific weight, apparent porosity, apparent absorption of water), thermal expansion, wave propagation speed, compression resistance, flexion resistance and Amsler wear. By evaluating the obtained results, it has been observed that the rock has presented usual indexes, within the specifications required by ASTM. Otherwise, the Amsler wear test have presented an index higher than the ASTM specification.

Crushing studies on the two samples have been conducted, by using jaw crushers FAÇO, 2015 and 3020 models. The crushing tests have been done by varying the jaw crusher aperture in the closed position aiming to check the size distribution of the products. The products obtained from Santo Antônio de Pádua's tailing rocks have been compared with those of the aggregates presently used in the civil construction at Rio de Janeiro city. The results are very close.

Characterization test works, such as shape index, Los Angeles abrasion and compression strength were carried out on concrete sample prepared with aggregates produced during the present study. The results have shown that Santo Antônio de Pádua's aggregates present cubic shape which is quite recommended to be used in civil construction. However the compression strength was of 23 MPa. A product with such characteristic could only be used in small and medium size civil construction.

An economic feasibility study has been conducted in order to implant an aggregate mill to produce 30,000 m<sup>3</sup>/year. This resulted in a total investment of R\$ 675.000,00 (US\$ 375,000.00) and annual revenue of R\$ 384.000,00 (US\$ 213,300.00). The Project's Cash Flow has shown an internal rate of return of 12% p.a.

This project will certainly contribute to minimize the environmental impact caused by Santo Antônio de Pádua's dimension stone industry. The tailing generated by this industry can be recovered in order to be used in the civil construction as aggregate material.

## 1. INTRODUÇÃO

O município de Santo Antônio de Pádua situa-se ao noroeste do Estado do Rio de Janeiro, distante cerca de 260 Km da capital. Possui área territorial de 757 Km<sup>2</sup>, altitude de 93 m na sede, população de cerca de 60 mil habitantes, distribuída nos seus 8 distritos, 2 vilas e 1 subdistrito.

Possui uma quantidade expressiva de pedreiras de rochas ornamentais, cujas aplicações principais são no revestimento de pisos e paredes.

As serras condicionam-se na direção NE-SW, destacando-se as serras Frecheiras, Catete, Santa Cândida, Bonfim e Pedra Bonita (CANINÉ-1992).

O município é drenado pelos rios Pomba, Paraíba do Sul e Pirapetinga.

A principal atividade econômica na região é a extração de pedra, gerando mais de 6.000 empregos, o que representa mais que a agricultura e pecuária, atividades tradicionais no local. Os trabalhadores desta atividade ganham proporcionalmente à produção diária e não têm contrato de trabalho. A remuneração é elevada (entre 300 e 700 reais por mês) se comparada à percebida pelos trabalhadores da agricultura.

A rocha existente na região e comercializada é um granulito milotinizado que deslaca com facilidade, tendo variedades locais conhecidas como “pedra olho de pombo”, “granito fino”, “granito pinta rosa” e “pedra madeira” (foto 1). Estas pedras são conhecidas como “paduana”, mas principalmente como “pedra Miracema”, tendo em vista que o início de exploração ocorreu neste município vizinho. A pedra madeira ocorre na Serra Catete, numa extensão de 15x1 km, enquanto as outras ocorrem na Serra do Bonfim, numa extensão de 27x3 km. As reservas de pedra madeira estão estimadas em 1x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, enquanto o da pedra Miracema em 8x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (CANINÉ-1992).

Na década de setenta, essa rocha era explorada como placa de revestimento de piso de currais. A partir de 1980 começou a ter uso mais nobre, quando passou a ser serrada para uso em construções, substituindo com melhores preços os granitos, pedra São Tomé e ardósias.

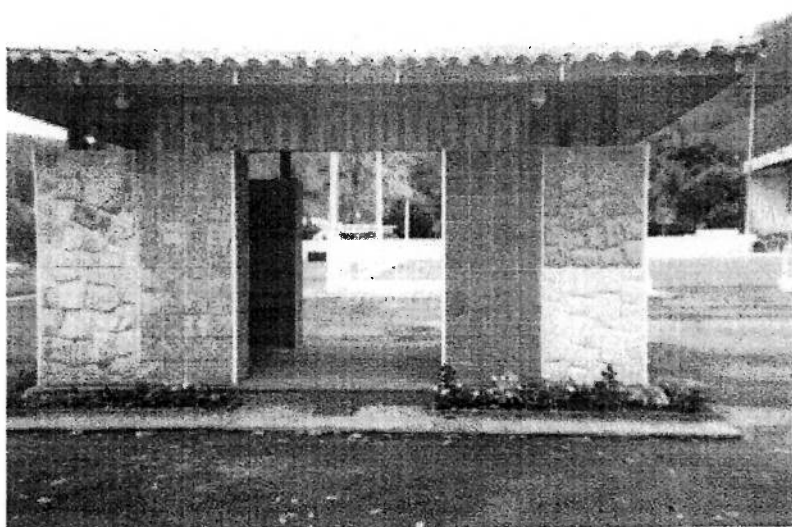


Foto 1 - Mostruário de diferentes tipos de rochas ornamentais de Pádua

Calcula-se que existam no município de Santo Antônio de Pádua cerca de 100 pedreiras registradas e 40 serrarias que fazem o acabamento final dos produtos para o mercado.

Após o beneficiamento, as pedras são utilizadas principalmente como:

- revestimento de paredes;
- revestimento de muros;
- piso de varandas, garagens, jardins, currais, etc;
- revestimento de pilastras/colunas;
- paralelepípedos.

Estima-se que a perda total na lavra e no beneficiamento seja de 70% (ALMEIDA et al.-1996), sendo 40% na lavra (desmonte de blocos) e o restante no beneficiamento (preparação dos blocos e lajes brutas nas pedreiras e dos produtos finais nas operações de serraria).

Estas perdas de 70% de material são muito elevadas, configuram uma exploração mineral predatória e dentro de pouco tempo poderão comprometer as reservas da maior riqueza do município.

O corte dos blocos nas serrarias, gera um volume considerável de pó que não é aproveitado, bem como um efluente contendo material fino, que normalmente causa o assoreamento dos córregos próximos às serrarias.

Os principais problemas ambientais na exploração das pedreiras de Pádua são:

- rejeitos de pedreiras;
- aparas de serrarias;
- pó de serragem;
- assoreamento dos cursos d'água.

O município de Santo Antônio de Pádua tinha como principal atividade, até a década de 70, a agropecuária, tendo sido um grande produtor de café, cana-de-açúcar e outros. Devido a uma estrutura fundiária arcaica, baseada no latifúndio-minifúndio, e à má utilização das terras e pecuária houve um êxodo rural na região, provocando uma diminuição nos efetivos populacionais da zona rural. Iniciou-se então na região uma migração da atividade agropecuária para a mineração, sem qualquer controle do Estado (PEITER -2000).

Embora esta nova atividade tenha gerado emprego e receita para o município, contribuindo para a fixação da população no interior do estado, trouxe também os problemas ambientais já citados anteriormente.

O Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE-RJ) e a Associação de Empresas de Pedras Decorativas (AEPD) firmaram um contrato com o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) para tentar solucionar os problemas locais.

A partir dos problemas diagnosticados, o CETEM desenvolveu trabalhos na região para melhoria da produção nas pedreiras (ALBUQUERQUE et al.- 1997). Estes trabalhos tiveram continuidade pelo projeto RETECMIN (Rede Cooperativa de Pesquisa sobre Exploração e Uso de Bens Minerais Empregados na Construção Civil e Mitigação de seus Impactos Ambientais), executados pelos órgãos CETEM, Departamento de Recursos Minerais do RJ (DRM), Instituto Nacional de Tecnologia (INT), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF).

Os principais resultados alcançados com a assistência técnica fornecida podem ser assim resumidos:

- orientação técnica fornecida a 42 microempresas locais, dando-lhes condições práticas e teóricas para manuseio, armazenamento, transporte e uso de explosivos;
- difusão de práticas corretas de exploração nas pedreiras;
- divulgação junto aos empresários de conceitos gerais sobre normas de higiene e segurança de trabalho, bem como de métodos de conservação de jazidas e recuperação de áreas degradadas;
- orientação para um uso mais racional de matéria-prima local;
- proposição de estudos para colocar os efluentes dentro da legislação ambiental vigente.

Na figura 1 é mostrada a localização do município de Santo Antônio de Pádua, no mapa do Estado do Rio de Janeiro.



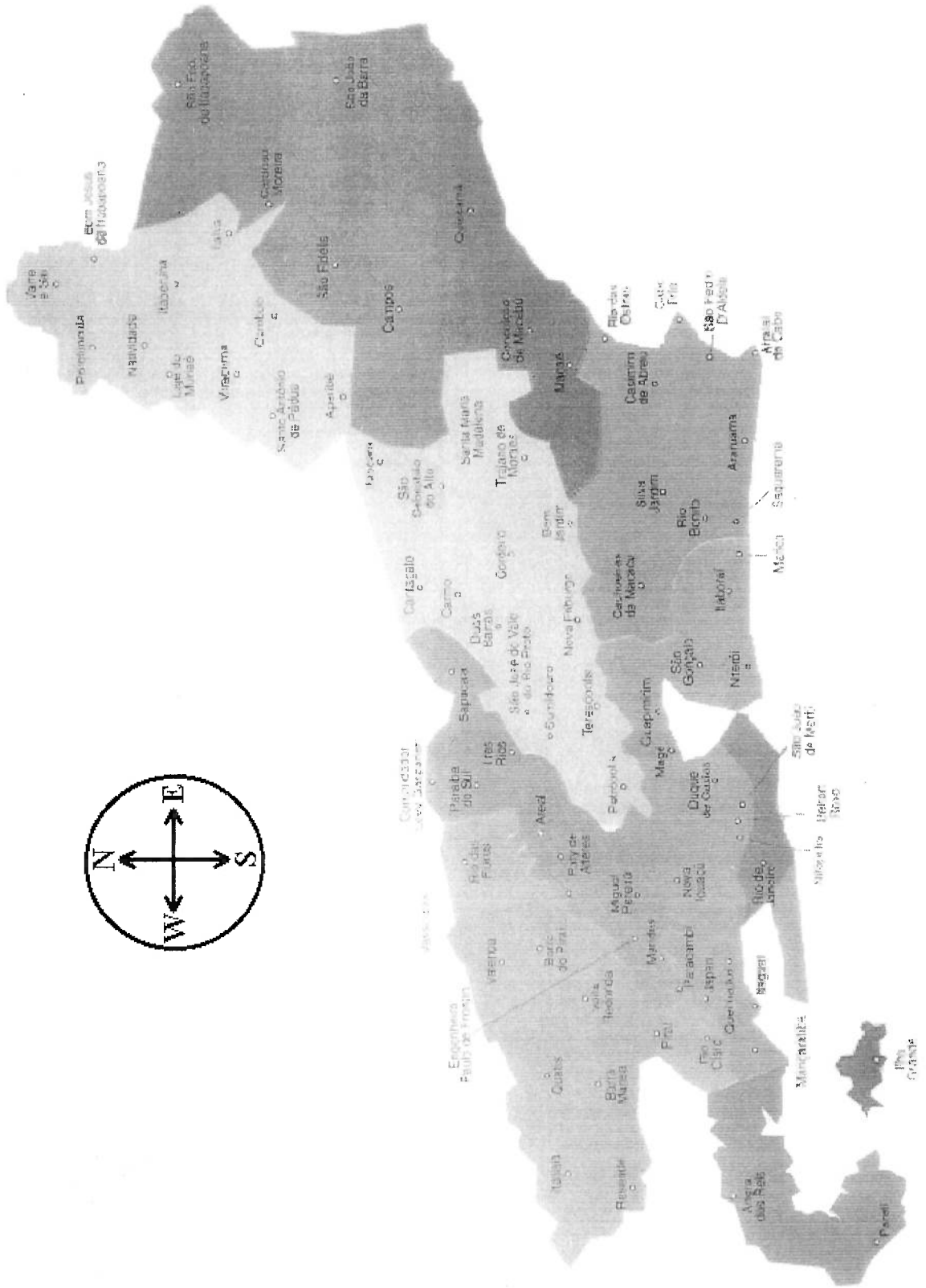


Figura 1 – Mapa de localização da região de Santo António de Pádua.

## 2. OBJETIVO

O presente trabalho propõe uma alternativa tecnicamente viável para o aproveitamento dos rejeitos da lavra e do beneficiamento das pedreiras de Santo Antônio de Pádua. Em princípio, propõe-se a fazer a britagem e peneiramento dos mesmos para produzir agregados para construção civil.

Este aproveitamento eliminaria o impacto ambiental dos rejeitos acumulados nas pedreiras, nas serrarias e nos cursos d'água.

O projeto torna-se economicamente viável porque os custos normais de produção de brita: decapeamento, perfuração, desmonte, transporte e britagem primária estão eliminados.

Do ponto de vista acadêmico, existe também interesse neste trabalho. Ao contrário de blocos naturais ou resultantes de desmonte por explosivo, o material disponível já está pré-formado, seja pela conformação dos blocos nas pedreiras, seja pela serragem das placas nas serrarias. Tem portanto, um formato pré-definido que, em princípio, poderia afetar o seu desempenho na britagem. O mesmo pode ser dito da sua elevada xistosidade. Há portanto, um interesse muito grande em conhecer como este material se comporta num britador.

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

Considera-se como rocha ornamental aquela produzida pela extração na forma de blocos, e que serão na maioria dos casos serrados em placas, visando aplicações na construção civil, decoração e urbanismo, etc.

As principais rochas ornamentais são: granitos, mármore, gnaisses, ardósias e quartzitos (ABREU - 1973).

De acordo com FARIAS e CALAES (1995), a exploração de rochas ornamentais existe em quase todos os estados do Brasil, concentrando-se em Minas Gerais e Espírito Santo (70% da produção nacional), além de São Paulo, Bahia e Ceará .

Em 1999, a produção mundial da indústria de rochas ornamentais foi cerca de 47,4 milhões t (SUMÁRIO MINERAL-2000), com o Brasil produzindo 2,1 milhões t, o que o coloca como um dos cinco maiores produtores. Outros grandes produtores: Itália (7,5 milhões t), China (6,1 milhões t), Espanha (4,1 milhões t), Grécia (2,1 milhões t), Índia (2,5 milhões t) e Portugal (2,1 milhões t). Da produção mundial, cerca de 60% são de mármore e 40% de granitos.

A indústria de rochas ornamentais no mundo encontra-se em plena ascensão como mostra o aumento da sua produção, de 1,5 milhões t em 1926 para 23 milhões t em 1985, e 47,4 milhões t em 1999 (SUMÁRIO MINERAL - 2000).

No consumo mundial, 80% da produção destina-se à construção civil, 15% a artes funerárias e o restante para decorações/urbanismo (CARUSO et al.-1978 e ARCOVERDE-1998).

Segundo o ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO (1998), as principais reservas brasileiras de rochas ornamentais são:

- granito –  $2,2 \times 10^9 \text{ m}^3$ ;
- mármore -  $521 \times 10^6 \text{ m}^3$ ;
- quartzito –  $472 \times 10^6 \text{ t}$ ;
- outras pedras naturais –  $23 \times 10^6 \text{ t}$ ;
- gnaisse -  $135 \times 10^6 \text{ m}^3$ ;
- ardósia –  $317 \times 10^6 \text{ t}$ .

No ano de 1997 a produção brasileira foi de:

- granito –  $586 \times 10^3 \text{ m}^3$ ;
- mármore –  $176 \times 10^3 \text{ m}^3$ ;
- gnaisse –  $19 \times 10^3 \text{ m}^3$ ;
- ardósia –  $145 \times 10^3 \text{ t}$ ;
- quartzito –  $168 \times 10^3 \text{ t}$ .

Dados estatísticos do Brasil sobre rochas ornamentais (SUMÁRIO MINERAL – 2000):

- Produção: blocos de granitos e mármore:  $2,45 \times 10^6 \text{ t}$ ;
- Importação: mármore em bruto (2.954 t), granito em bruto (1.282 t);
- Exportação: mármore em bruto (9.041 t), granito em bruto (790.000 t);
- Consumo aparente estimado: blocos de granito e mármore (1.670.000 t).

Segundo MOYA (1995), as rochas ornamentais são utilizadas principalmente como material de revestimento na construção civil. Mundialmente a indústria é dominada pela Itália, que utiliza modernas técnicas de beneficiamento destas rochas, e se caracteriza como um grande importador de blocos de rocha em estado bruto e exportador de produtos acabados (VALE- 1997). Os granitos são mais utilizados em aplicações externas, devido à sua resistência ao

intemperismo químico e físico, enquanto os mármore, pelo motivo inverso, costumam ser restritos a aplicações interiores (SCHOBENHAUS et al. – 1991).

São citados a seguir os principais métodos de lavra, técnicas de lavra (cíclicas, corte contínuo e modernas) e técnicas de beneficiamento para rochas ornamentais:

- métodos de lavra para rocha ornamental (VIDAL-1999): por bancadas, por painéis verticais, por desmoronamento, seletiva, de matacões e subterrânea;
- técnicas de lavra cíclica (CARANASSIOS e CICCU-1992): desmonte por desmoronamento, corte através de perfuração e explosivo, perfuração contínua, divisão mecânica através de cunhas, divisão através de agentes expansivos;
- técnicas de lavra de corte contínuo (CHIODI FILHO e ONO-1995): fio helicoidal, “flame jet” e cortador a corrente;
- técnicas modernas de lavra (CARANASSIOS-1991, CICCU-1993, CRESPO-1991, THOREAU-1994 e WILKS e WILKS-1991): fio diamantado, cortadora a corrente diamantada e jato d’água;
- técnicas para beneficiamento primário (STELLIN JÚNIOR-1998 e DUARTE-1993): corte com tear de lâminas, corte com discos diamantados e corte com fio diamantado.

Segundo CHIODI FILHO (1995), as rochas ornamentais e de revestimento são basicamente “granitos” e “mármore”. Genericamente granitos são rochas silicatadas, enquanto que mármore são rochas carbonatadas (DANA e HURLBUT JR – 1976). Existem também os materiais sucedâneos dentro da classificação das rochas ornamentais que são os quartzitos, serpentinitos, travertinos, ardósias e gnaisses. As rochas silicosas ou granitos são sempre mais duras que as carbonáticas ou mármore (MELO JÚNIOR-1991).

VIDAL (1995) enfatiza que embora a utilização de rochas ornamentais seja muita antiga, no Brasil esta atividade só teve um crescimento significativo nos últimos 20 anos, sendo portanto uma atividade mineral recente, com técnicas de extração ainda em desenvolvimento .

Segundo STELLIN JÚNIOR (1990), o primeiro tear utilizado para rocha ornamental no Brasil foi importado durante o período da 1ª Guerra Mundial, entre 1914-1918.

AZAMBUJA e GONÇALVES DA SILVA (1977) comentam que as primeiras indústrias de beneficiamento de mármore no Brasil foram implantadas por imigrantes italianos e portugueses, no século XIX .

Segundo ALENCAR et al.(1996), o beneficiamento do mármore brasileiro é 95% feito em teares convencionais a granalha e o restante em teares diamantados e talha-blocos. Isto caracteriza um grande atraso tecnológico, visto que no mundo inteiro praticamente 100% do mármore é beneficiado em teares de lâminas diamantadas ou talha-blocos.

O beneficiamento do granito brasileiro é praticamente 100% feito em teares convencionais a granalha.

A maioria dos teares brasileiros tem mais de 15 anos de uso, não podendo incorporar avanços tecnológicos para aumentar a produtividade(ALENCAR et al.- 1996). Segundo estes autores, o número de teares no Brasil é estimado em 1.400, com capacidade instalada de desdobramento de rochas de 25 milhões de m<sup>2</sup> por ano, sendo que 50% desses teares estão instalados no estado do Espírito Santo.

Segundo FRAZÃO (1992), para minimizar problemas da falta de conhecimento do comportamento das rochas ornamentais frente às ações físico-químicas e mecânicas, ensaios de caracterização tecnológica vêm sendo feitos por vários países, através de procedimentos padronizados por órgãos normatizadores.

Os principais ensaios para caracterização tecnológica de rochas ornamentais são: petrografia, índices físicos (massa específica, porosidade e absorção de água), resistência à compressão uniaxial, módulo de deformação estático, resistência à flexão, coeficiente de dilatação térmica linear, resistência ao impacto e alterabilidade (FRAZÃO e FARJALLAT – 1996). Esses ensaios são realizados de acordo com normas específicas, a maioria editadas pela ABNT (FRAZÃO-1992):

- análise petrográfica (NBR 12768) - avalia a composição mineralógica da rocha ornamental;
- massa específica aparente (NBR 12766) - razão entre o peso da amostra seca e o seu volume;
- porosidade aparente (NBR 12766) - mede a compactibilidade do material ensaiado;
- absorção de água (NBR 12766) - mede a capacidade de absorção d' água;
- resistência ao desgaste, desgaste AMSLER (NBR 12042) - mede a resistência do material à solicitação abrasiva;
- resistência à compressão (NBR 12767) - reflete o esforço compressional máximo que o corpo rochoso é capaz de suportar, quando submetido à tensão. Revela a capacidade de resistir ao transporte e à estocagem;
- resistência à flexão (NBR 12763) - fornece o valor máximo de tensão de flexão a que a rocha pode ser submetida antes de romper-se;
- coeficiente de dilatação térmica linear (NBR 12765) - é a relação entre o aumento da temperatura e a dilatação linear do material. Serve para calcular as juntas de dilatação entre as placas de rochas instaladas;
- resistência ao impacto (NBR 12764) - determina a resistência que uma rocha oferece ao impacto de um peso que cai de uma certa altura;

- alterabilidade (não normalizada) - pode ser entendida como a variação do estado de alteração em função do tempo;
- módulo de deformação estático (NBR 10341) - este ensaio visa determinar a deformabilidade da rocha quando submetida a esforços compressivos uniaxiais.

Segundo FARIA (1992), os maciços rochosos são explorados inadequadamente, sem estudo técnico, resultando em grandes perdas nas recuperações, elevadas quantidades de rejeitos, bem como uma baixa lucratividade.

De acordo com CHIODI FILHO (1995), a lavra dos maciços rochosos embora seja mais onerosa que a dos matacões, oferece as vantagens de ter melhor controle de qualidade, melhores recuperações dos materiais, bem como menor degradação do meio ambiente.

CICCU (1994) afirma ser muito importante conhecer as características de formação de uma rocha, para selecionar o método de lavra a ser empregado, bem como refere a necessidade de conciliar as atividades de produção com as de recuperação do meio ambiente.

De acordo com CHIODI FILHO (1994), existem no Brasil cerca de mil lavras ativas de rochas ornamentais. Destas, produzem-se cerca de 500 mil/m<sup>3</sup>/ano de granitos, 200 mil/m<sup>3</sup>/ano de mármore e 200 mil/m<sup>3</sup>/ano de materiais sucedâneos. O consumo interno é de 7 a 8 Kg/ano "per capita", cerca de dez vezes inferior ao de alguns países europeus, explicado principalmente pelo baixo poder aquisitivo da população.

VIDAL (1995) afirma que existe no país uma carência de tecnologia desde a lavra até a comercialização dos produtos finais para rochas ornamentais. Quanto à



exploração desses materiais em relação ao meio ambiente, os maiores conflitos se referem à contaminação dos recursos hídricos da área, à deposição de rejeitos em locais não apropriado e a confrontos com a população vizinha do empreendimento.

Segundo ALENCAR et al. (1996), normalmente os métodos de lavra das rochas ornamentais são descendentes, estabelecendo-se através de construção de praças, contendo uma ou mais bancadas – método de lavra por bancadas.

De acordo com CHIODI FILHO (1995), um método de lavra utilizado para a iniciação de uma pedreira é o “flame jet”. Através de lança com bico de chama (oxigênio ou óleo diesel mais ar comprimido) executam-se cortes com 8 m de profundidade e 10 cm de espessura. Utiliza-se água na abertura do corte para resfriamento das paredes, evitando perdas laterais maiores (MACEDO -1998).

Segundo MOYA (1995), para a pesquisa de rochas ornamentais só é necessário definir seus índices físicos e o volume de rocha aproveitável. Assim sendo, sua lavra se inicia num período muito curto quando comparada com a de outros bens minerais. Sua utilização depende das tendências da construção civil. As jazidas só são explotadas quando o produto dela extraído é solicitado pelo mercado consumidor (CALAES -1999).

De acordo com CHIODI FILHO (1995), o Brasil, para desenvolver-se em rochas ornamentais, precisa aprimorar “know-how” para exploração dos maciços rochosos, melhorar a qualidade e a produtividade das máquinas e equipamentos de beneficiamento e, para os produtos, aperfeiçoar a fixação das placas.

Segundo FONSECA (1993), a agregação de valor nas transações com produtos acabados e semi-acabados de rochas ornamentais pode ser mais de cinco vezes superior ao custo de produção da matéria-prima, gerando portanto, margens de lucratividade muito atrativas.

Segundo FARIAS e CALAES (1995), um importante ciclo de desenvolvimento do setor de rochas ornamentais vem se realizando no Brasil ao longo dos últimos anos, associado aos seguintes principais fatores:

- mudanças tecnológicas – o avanço tecnológico tem propiciado ganhos de produtividade, com redução de custos e aumento de competitividade em relação a materiais de revestimento alternativos;
- ação de fomento – importantes programas de promoção de investimento vêm sendo realizados por entidades de mineração e financeiras;
- abertura de mercado – a redução de alíquota de importação e a simplificação de processos administrativos, significaram um importante estímulo a novos investimentos.

#### 4. ATIVIDADE MINEIRA EM SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA

##### 4.1. Lavra

A produção anual de rochas ornamentais de Santo Antônio de Pádua é estimada em 3,6 milhões m<sup>2</sup>/ano (ALBUQUERQUE et al.-1997).

Atualmente, a extração dos blocos ocorre em maciços rochosos, na maioria das vezes, nas partes altas das serras (foto 2), o que facilita o desmonte desses blocos (ALMEIDA e CAMPOS-1996).



Foto 2 - Extração dos blocos na parte alta da serra

Os métodos de lavra não sofreram grandes mudanças no decorrer dos anos.

O desenvolvimento da lavra é constituído das seguintes etapas (OLIVEIRA-1998):

- remoção do capeamento (vegetação e rochas alteradas), através de tratores, pá carregadeira ou retroescavadeira (foto 3);

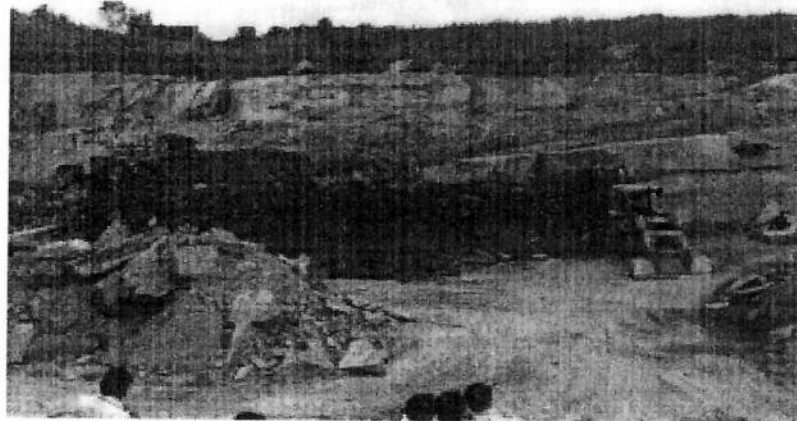


Foto 3 - Limpeza de uma pedreira para avanço da frente de lavra

- abertura dos canais laterais ou trincheiras com furos carregados com explosivos (pólvora negra, dinamite ou ANFO), sendo estes que liberam as faces laterais dos blocos, após a detonação (foto 4);

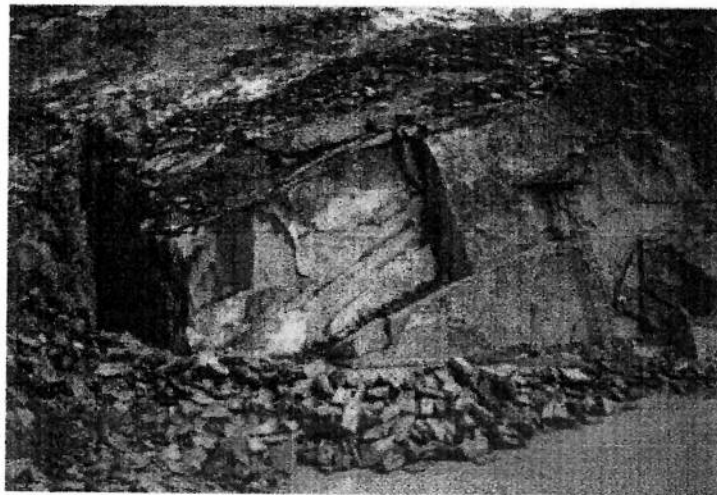


Foto 4 - Abertura de canais laterais ou trincheiras feita com explosivos

- furação do maciço, realizada manualmente com pontaletes de aço para furos rasos, ou com marteletes a ar comprimido para furos mais profundos. A seguir é feito o carregamento de explosivos nas perfurações e após sua detonação, a rocha é fraturada liberando os blocos (foto 5);

- furação para a realização de “fogo de levante”, feita em planos horizontais na base dos blocos a serem extraídos;
- furos de corrida”, que são furos verticais feitos no mesmo sentido ou paralelos à foliação da rocha que, depois de carregados e detonados, liberam a parte posterior do bloco.



Foto 5 - Realização de furos no bloco, para colocação de explosivos

Após a liberação do bloco com 2,5x0,5x0,5 m, este é lançado ao solo (foto 6), e em seguida são desmembrados em blocos menores de 0,5x0,5x0,5 m (fotos 7 e 8) através de pontaletes de aço.

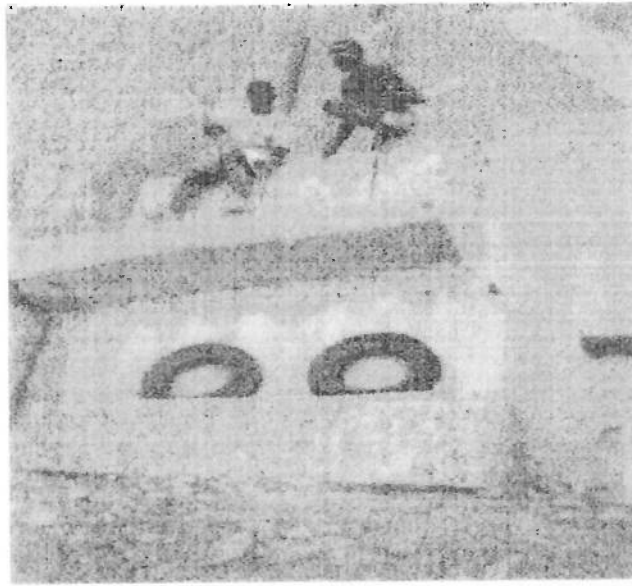


Foto 6 - Lançamento de blocos ao solo, com amortecimento da queda à base de pneus

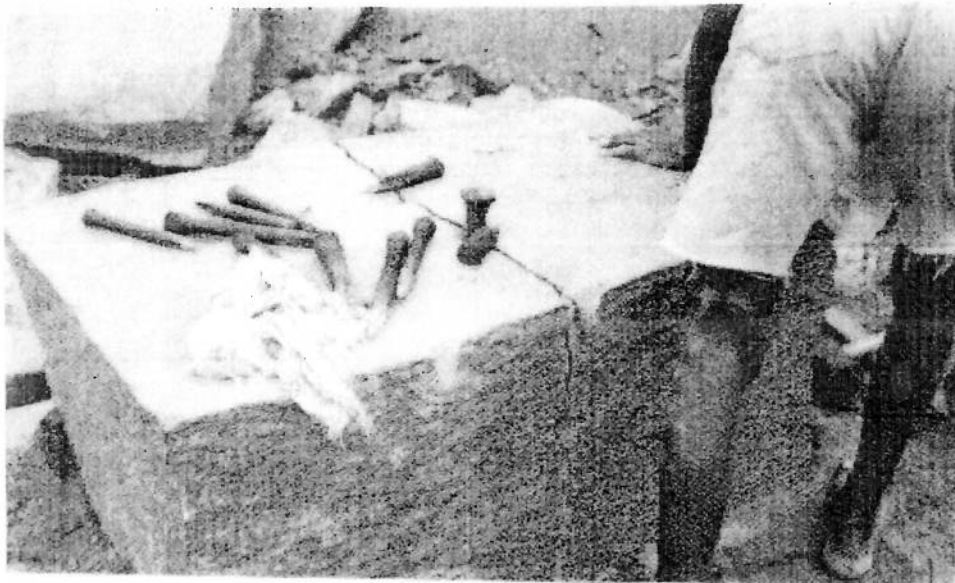


Foto 7- Divisão dos blocos, realizada na própria pedreira



Foto 8 - Vista geral do trabalho de divisão dos blocos, em pedreira de Pádua

Na própria pedreira é realizado o deslocamento desses blocos em lajes brutas ou “naturais”, de 50x50x8 cm (foto 9), através de macetas e talhadeiras tipo faca. Essas lajes são transportadas por caminhão para as serrarias, onde são beneficiadas (foto 10).



Foto 9 - Desdobramento dos blocos em placas naturais de 50x50x8cm

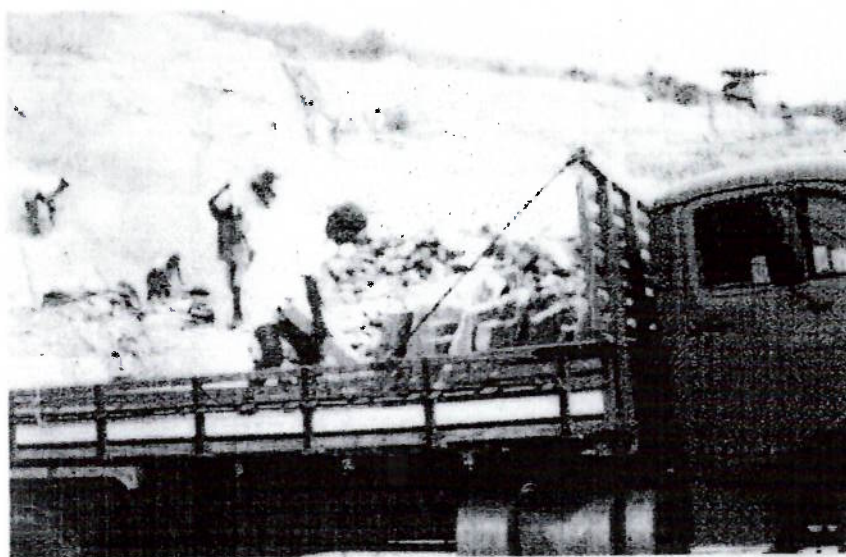


Foto 10 - Transporte das placas naturais para as serrarias

Em 1995, alguns mineradores adquiriram o "flame jet" (foto 11), para utilização na abertura de trincheiras ou canais (ALMEIDA et al.-1996). Com esta técnica foi possível diminuir os acidentes, bem como reduzir as perdas na lavra (foto 12).



Foto 11 - "Flame jet" fazendo abertura de canais em maciços rochosos



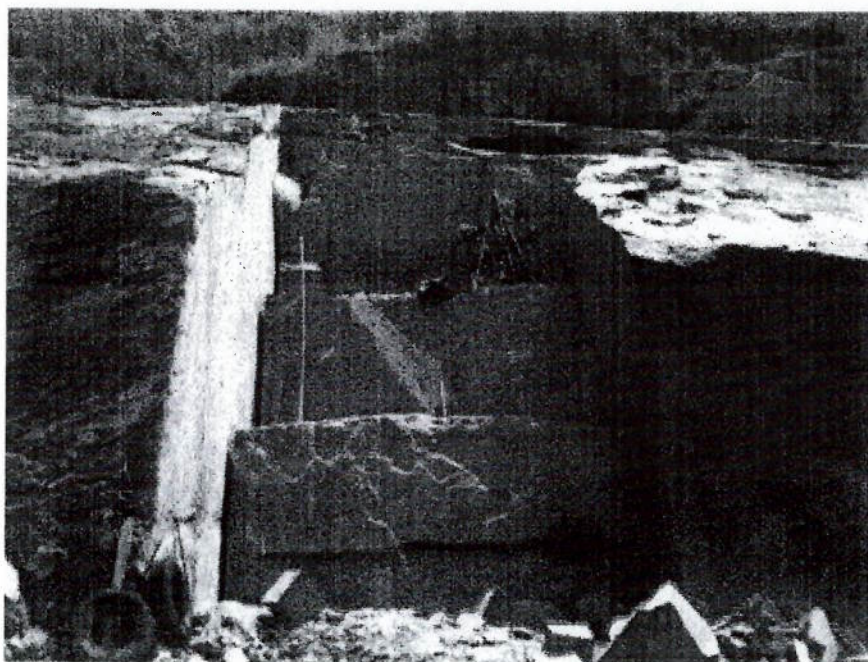


Foto 12 - Bancadas apresentando canais laterais formados com auxílio de duas técnicas: “flame jet” (lado esquerdo) e com explosivo (lado direito)

#### 4. 2. Beneficiamento

O beneficiamento consiste no desdobramento dos blocos nas pedreiras e das lajes brutas nas serrarias (SILVA – 1999).

As lajes brutas 50x50x8 cm vindas das pedreiras, após deslocamento em duas partes, têm suas faces laterais aparadas em máquinas de corte providas de disco diamantado (foto 13), resultando em placas com 47x47x4 cm (CAMPOS e ALMEIDA-1996).



Foto 13 - Serragem de laje bruta em placas de 47x47x4 cm

A seguir, as placas são serradas em bloquinhos de 23x11,5x4 cm (foto 14). Os bloquinhos são deslocados manualmente com uso de ferramentas, em "lajinha" de 23x11,5x1,5 cm (foto 15). Estas podem ser cortadas ao meio, originando "lajotinhas" de 11,5x11,5x1,5 cm.

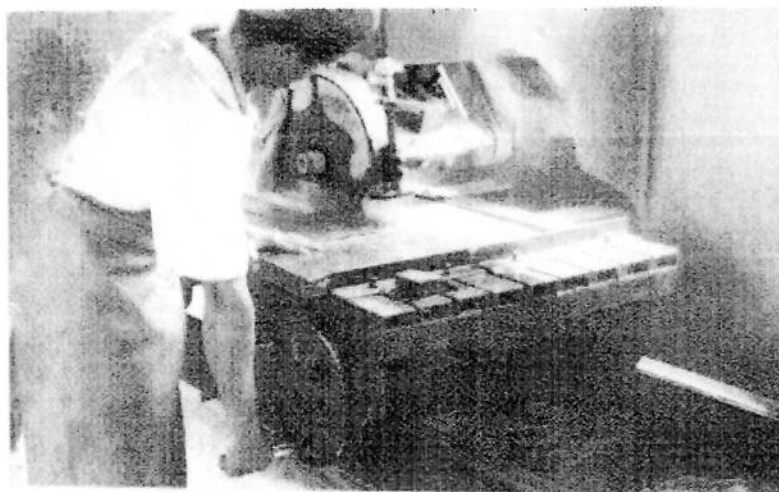


Foto 14 - Transformação das placas em bloquinhos, com disco diamantado, realizada em serraria local



Foto 15 - Desplacamento manual dos bloquinhos em lajinhas

Os produtos normalmente comercializados são:

- placa ou lajota, de 47x47x4 cm;
- bloquinho de 23x11,5x4 cm;
- lajinha ou lajotinha de 23x11,5x1,5 ou 11,5x11,5x1,5 cm.

Existem outros tipos de produtos, como a pedra almofadada e a chanfrada , cujos entalhes são feitos manualmente e têm grande aceitação no mercado (foto 16).

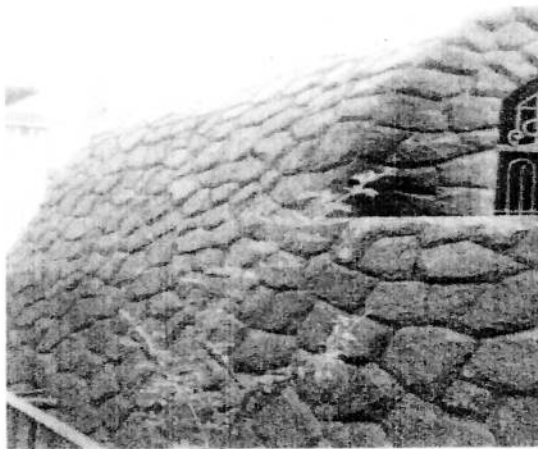


Foto 16 - Capela revestida com pedras almofadadas

Os preços FOB-Pádua, informados pelos produtores, são os seguintes:

a) granito Miracema

- bloco: R\$30,00/t;
- bruta, 50x50 cm: R\$ 8,25/m<sup>2</sup>;
- serrada, 47x47 cm: R\$ 3,40/unidade;
- serrada, 11,5x23 cm: R\$ 6,00/m<sup>2</sup>;
- serrada, 11,5x11,5 cm: R\$ 5,50/m<sup>2</sup>.

b) pedra madeira

- bloco: R\$ 60,00/t;
- serrada, 47x47 cm: R\$ 32,50/m<sup>2</sup>;
- bruta, 50x50 cm: R\$ 15,60/m<sup>2</sup>;
- serrada, 11,5x23 cm: R\$ 17,00/m<sup>2</sup>.

Devido à sua rusticidade, beleza e aplicabilidade estes produtos têm grande aceitação nos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro.

#### 4.3. Problemas ambientais associados ao beneficiamento e lavra

Constataram-se os seguintes problemas básicos referentes à lavra/beneficiamento (ALBUQUERQUE et al.-1997):

- falta de legalização da maioria das pedreiras junto aos órgãos competentes;
- manuseio, transporte, armazenamento e uso o de explosivos inadequados, causando perdas excessivas de matéria-prima e riscos de acidentes aos trabalhadores e terceiros;
- ausência de planos de lavra bem elaborados e falta de equipamentos adequados para extração de material;
- vias de acesso à pedreira e para escoamento do material muito precárias;

- perdas excessivas na lavra (40%) e no beneficiamento (30%) com lançamento desordenado dos rejeitos no meio ambiente ocupando solos e terrenos;
- bancadas muito estreitas, dificultando os trabalhos de desmonte dos blocos (foto 17);
- lançamento de fragmentos de rocha durante as detonações;
- explosões nas pedreiras sem horários fixos podendo causar acidentes;
- falta de uso de retardos nos planos de fogo, causando perdas do material extraído;
- malhas inadequadas na realização dos furos para aplicação de explosivos, bem como furos com profundidade insuficiente, diminuindo a produtividade da pedreira;
- inexistência de tratamento para o efluente gerado na serraria com assoreamento dos cursos d'água.

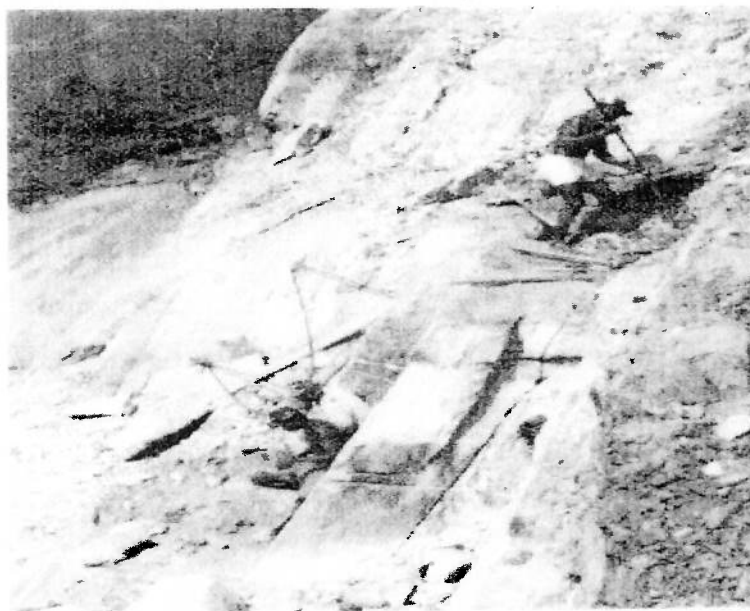


Foto 17- Operações em bancadas estreitas e com entulhos, com riscos de acidentes

Os principais problemas ambientais na extração de pedra em Pádua são:

- deposição dos rejeitos de pedreira e sobras de serraria nos terrenos da região;
- assoreamento dos cursos d'água gerado pelo pó de serraria.

A situação econômica e ambiental do município é portanto paradoxal. Se, por um lado, a atividade mineira de rochas ornamentais causa um extenso impacto ambiental, ela não pode ser simplesmente paralisada devido à sua importância econômica para a população.

É forçoso, portanto, encontrar uma solução para adequar a atividade mineral com o mínimo de problemas para o meio ambiente.

A deposição dos rejeitos, tanto de pedreira como de serraria, pode ser minimizada com a britagem dos mesmos para utilização dos produtos como agregados para a construção civil (tema desta tese).

Quanto ao assoreamento dos cursos d'água, o CETEM está desenvolvendo um projeto em parceria com uma serraria, na construção de tanques de decantação para clarificação do efluente. Assim, com o sucesso deste projeto, o procedimento deverá ser estendido para as outras serrarias, que poderão assim colocar seus efluentes dentro dos padrões aceitáveis para o meio ambiente.

#### 4.4. Solução proposta para o problema específico dos rejeitos de lavra e de serraria

Na lavra e no beneficiamento são produzidos grandes volumes de rejeitos que causam sérios problemas ambientais para as pedreiras (fotos 18 e 19).



Foto 18 - Sobras de aparas de serraria



Foto 19 - Rejeitos gerados na lavra de uma pedreira

A idéia é oferecer uma alternativa tecnicamente viável para o aproveitamento dos rejeitos das etapas de lavra e beneficiamento. A solução então proposta é britar e peneirar estes rejeitos, produzindo assim agregados para a construção civil.

Em Santo Antônio de Pádua, poucas empresas fazem isto (MAIA-1996). Os materiais mais grosseiros, tais como brita 2 (>23 mm) e brita 1 (9,5 a 23 mm), são usados na construção civil, enquanto que a brita zero (5,5 a 9,5 mm) e o pó de pedra (<5,5 mm) são usados na fabricação de pré-moldados. A mistura usada na confecção de pré-moldados é composta de: brita zero, pó de pedra, areia, cimento e água, sendo que a relação de brita zero para o pó de pedra é de 3:1 (CAMPOS e ALMEIDA-1997).

Em Pádua, a britagem dos rejeitos é feita muitas vezes de forma rudimentar, ou seja, manualmente, por moradores da região que encontram nesta atividade uma forma de sobrevivência (foto 20).



Foto 20 - Fragmentação manual de aparas de serraria, visando o aproveitamento dos finos gerados

Já existe uma indústria de pré-moldados de concreto, capaz de atender parcialmente à demanda do município (SILVA-1997). Os pré-moldados fabricados são blocos estruturais, blocos para pavimentos articulados (bloquetes), manilhas, mourões e outros (foto 21).





Foto 21 - Aproveitamento dos finos de pedreiras sob forma de bloquetes e blocos estruturais pré-moldados

## 5. TEMAS DE INTERESSE À FABRICAÇÃO DE AGREGADOS

### 5.1. Especificação de agregados

Para o aproveitamento dos rejeitos como agregado para construção civil, é interessante conhecer as especificações destes materiais. Por isto, são dadas, a seguir, as definições e especificações de agregados segundo as normas ABTN (NBR: 7225 e 7211):

- agregado – material natural de propriedades adequadas obtido por fragmentação artificial de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 100 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075 mm (TONSO-1994 e MASON-1994);
- agregado graúdo – pedra britada ou brita ou pedregulho muito grosso, grosso e médio, de dimensões nominais entre 100,0 mm e 4,8 mm;
- agregado miúdo – pedregulho fino, pedrisco grosso, médio e fino, areia grossa, média e fina, de dimensões nominais entre 4,8 mm e 0,075 mm;
- areia – material natural, de propriedades adequadas, de dimensão nominal máxima inferior a 2,0 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075 mm (HERMANN-1992);
- areia grossa – aquela compreendida entre 2,0 e 1,2 mm;
- areia média – aquela compreendida entre 1,2 e 0,42 mm;
- areia fina – aquela compreendida entre 0,42 e 0,075 mm;
- pedra britada – material proveniente da britagem de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 100 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 4,8 mm (McCARL-1994, RIBEIRO-1989 e PINHEIRO - 1989);

- pedra britada numerada – pedra de tamanho definido, obtida por peneiramento, tendo por limites as aberturas nominais de duas peneiras consecutivas, entre as quais se consideram calibrados os seus fragmentos (tabela 1);

Tabela 1 – Classificação das britas de acordo com as dimensões nominais

pedra britada numerada número	tamanho nominal	
	aberturas de peneiras de malhas quadradas (mm)	
	mínima	Máxima
1	4,8	12,5
2	12,5	25
3	25	50
4	50	76
5	76	100

Fonte: NBR 7225

- pedregulho – material natural inerte, de forma arredondada, de dimensão nominal máxima inferior a 100 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 2,0 mm;
- pedregulho muito grosso – aquele compreendido entre 100 e 50 mm;
- pedregulho grosso – aquele compreendido entre 50 e 25 mm;
- pedregulho médio – aquele compreendido entre 25 e 4,8 mm;
- pedregulho fino – aquele compreendido entre 4,8 e 2,0 mm;
- pedrisco – material proveniente da britagem de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 4,8 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075 mm;

- pedrisco grosso – aquele compreendido entre 4,8 e 2,0 mm;
- pedrisco médio – aquele compreendido entre 2,0 e 0,42 mm;
- pedrisco fino – aquele compreendido entre 0,42 e 0,075 mm;
- pó-de-pedra – material proveniente da britagem de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 0,075 mm.

Nas tabelas 2 e 3 são apresentados os limites granulométricos dos agregados miúdo e graúdo.

Tabela 2 – Limites granulométricos de agregado miúdo (areia)

peneira ABNT	porcentagem, em peso, retida acumulada na peneira ABNT			
	zona 1 (muita fina)	zona 2 (fina)	zona 3 (média)	zona 4 (grossa)
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8 mm	0 a 5	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4 mm	0 a 5	0 a 15	0 a 25	5 a 40
1,2 mm	0 a 10	0 a 25	10 a 45	30 a 70
0,6 mm	0 a 20	21 a 40	41 a 65	26 a 85
0,3 mm	50 a 85	60 a 88	70 a 92	80 a 95
0,15 mm	85 a 100	90 a 100	90 a 100	90 a 100

Fonte: NBR 7211

Tabela 3 – Limites granulométricos de agregado graúdo (brita)

pedra	porcentagem retida acumulada, em peso, nas peneiras de abertura nominal, em mm										
	64	50	38	32	25	19	12,5	9,5	6,3	4,8	2,4
0								0- 10		80- 100	95- 100
1					0	0 - 10		80- 100	92- 100	95- 100	
2				0	0 - 25	75- 100	90- 100	95- 100			
3			0 - 30	75-100	87-100	95-100					
4	0 - 30	75 - 100	90 -100	95 100							

Fonte: NBR 7211

As reservas brasileiras de pedra para brita são da ordem de  $6,3 \times 10^9 \text{ m}^3$ , com uma produção anual de  $83,7 \times 10^6 \text{ m}^3$  (SUMÁRIO MINERAL-2000). Os estados com maiores produção são São Paulo (32%), Minas Gerais (12%), Rio de Janeiro (9%) e Paraná (7%).

Existem no país cerca de 250 empresas que produzem brita, gerando mais de 15.000 empregos diretos.

A brita e a areia caracterizam-se pelo baixo valor e grandes volumes produzidos. O transporte é responsável por cerca de 70% do preço final do produto, o que impõe a necessidade de produzi-las o mais próximo possível do mercado consumidor, que são as regiões metropolitanas (BRAGA-1999).

A brita é um dos principais insumos da construção civil, chegando a representar mais de 40% da sua produção. É obtida através da cominuição de rochas do tipo: granitos, gnaisses, basaltos, diabásios, migmatitos, calcários e dolomititos (SCHALCH NETO et al.-1990). O principal setor consumidor de areia e brita é a indústria de construção civil, e o seu principal uso é em concreto (GONÇALVES-1996).

A brita, conforme a sua granulometria, tem diferentes aplicações. A brita 3 é utilizada como lastro ferroviário, a brita 2 como agregado em grandes volumes de concreto e como brita classificada na formação de base e sub-base de pavimentos. A brita 1 é o produto mais nobre, sendo aplicada em concretos esbeltos e bombeados. O pedrisco e o pó-de-pedra são utilizados basicamente como matérias-primas de massas asfálticas (MENDES-1999).

As características principais da brita são suas propriedades físicas, resistência mecânica, dureza e baixa porosidade. Outra característica importante é a forma dos fragmentos, preferencialmente arredondados (TONSO-1994).

A privatização das rodovias nacionais é um fator que tem impulsionado o aumento do consumo de agregados para a construção civil, especialmente nos estados de São Paulo, Paraná e Rio de Janeiro, pois os concessionários são obrigados tanto a melhorar as condições das estradas, quanto extendê-las ou duplicá-las.

Distribuição dos produtos de uma pedreira (CAVALCANTI-1990):

- pó-de-pedra – 20,6%;
- pedrisco – 16,4% ;
- pedra 1 – 50,5% ;
- pedra 2 – 9,9%;
- pedra 3 – 2,2%;
- pedra 4 – 0,4%.

Distribuição do consumo de britas de uma pedreira (CAVALCANTI-1990):

- concreteiras – 30%;
- pavimentadoras – 30%;
- construtoras – 20%;

- depósitos – 12%;
- fábricas de pré-moldados – 8%.

Em São Paulo, como as fontes de areia natural estão localizadas distante da região metropolitana, a areia artificial (finos de brita) tem 7% de participação na sua produção total.

## 5.2. Fabricação de pré-moldados

Os pré-moldados são constituídos de concreto, e usam uma mistura de brita, areia, cimento e água (CAVALCANTI-1990). As granulometrias destes agregados são brita entre 5,5 e 9,5 mm e areia < 5,5 mm. A areia pode ser natural ou artificial (FRAZÃO e PARAGUASSU-1998) e no concreto utilizam-se normalmente as proporções 3:3:1 (brita, areia, cimento).

Vários tipos de pré-moldados podem ser fabricados: blocos, manilhas, bloquetes, postes, lajes, etc. (RIBEIRO-1997). O concreto é alimentado a uma prensa (molde), e a seguir o pré-moldado é submetido a uma cura (alta temperatura) por 24 horas, estando pronto para ser utilizado. Os blocos são elementos construtivos que substituem os tijolos de barro. Têm as vantagens de menor peso, melhores isolantes térmicos e acústicos, e peças maiores, implicando portanto em menos trabalho para levantar uma obra.

## 5.3 Distribuição granulométrica dos produtos de britagem

O britador executa um processo de redução de tamanho de partículas sólidas mediante forças de compressão aplicadas por superfícies rígidas que se aproximam e se afastam (CHAVES e PERES - 1999). Enquanto as partículas

grossas são esmagadas, as partículas finas passam diretamente até ficarem presas entre as mandíbulas, quando então são, por sua vez, esmagadas. Em conseqüência, o tamanho máximo do produto está diretamente associado ao valor da abertura de saída na posição aberta (APA).

Em conseqüência ainda, o produto de britagem tem uma distribuição característica de tamanhos, independente do material que está sendo britado, e função apenas do tipo de equipamento (TRATAMENTO de minérios e hidrometalurgia – 1980).

Os fabricantes de equipamentos conseguiram estabelecer curvas generalizadas para as distribuições granulométricas dos produtos de britagem.

Os gráficos de distribuição granulométrica existentes nos manuais dos fabricantes representam, em ordenadas, as porcentagens passantes ou retidas e em abscissas, o tamanho dos grãos. Em cada gráfico são apresentadas várias curvas, cada uma representando a distribuição granulométrica própria para alguma abertura ou malha de fechamento do circuito (Fábrica de Aço Paulista S.A. – 1994).

#### 5.4. Imperfeição e eficiência do peneiramento

Peneiramento é a separação de partículas mediante a sua apresentação a um ou mais gabaritos de tamanhos fixos e pré-determinados, pelos quais eles passam (undersize) ou ficam retidos (oversize).

As partículas de tamanhos diferentes apresentam comportamento distinto ao peneiramento (LÜZ et al. – 1998):



- partículas maiores que 1,5 vez a abertura da tela: estas partículas escorrem sobre a tela e são encaminhadas para o oversize. Se sua quantidade é excessiva, elas podem acarretar um problema que é o peso elevado sobre a tela ou o desgaste da mesma. Neste caso, usa-se um deck de alívio sobre a tela de peneiramento;
- partículas menores que 1,5 vez a malha e maiores que a malha: estas partículas também vão para o oversize, mas como têm tamanho muito próximo ao da tela, fazem várias tentativas para passar e podem acabar alojando-se em alguma malha e não saindo mais de lá. Quando a sua quantidade é muito grande, pode haver perda substancial da capacidade de peneiramento e a regulação da amplitude e freqüência passa a ser crítica;
- partículas menores que a tela e maiores que a metade desta: estas partículas só atravessam a tela quando caem sobre a malha numa posição conveniente. Na prática, uma partícula desta classe só passa para o undersize após um número elevado de tentativas e ainda assim, grande número de partículas acaba sendo encaminhado ao oversize. Estas partículas são denominadas de “tamanho crítico” e são determinantes tanto da eficiência do peneiramento como de capacidade da peneira;
- partículas menores que a metade da malha: atravessam a tela com facilidade e não interferem com o peneiramento;
- partículas muito finas (poeiras e lamas): o seu comportamento deveria ser como o das partículas da classe acima, mas na prática, elas aderem às partículas maiores e acompanham-nas no peneiramento (a menos que este seja a úmido e muito enérgico). Ocorre que o filme de umidade se distribui sobre a superfície das partículas, e como a área de superfície cresce com a finura, as frações mais finas têm maior umidade superficial e portanto maior

capacidade de aderir às partículas maiores. Grosseiramente pode-se admitir que as partículas desta classe se repartem em oversize e undersize na proporção das respectivas quantidades de águas arrastadas.

Em consequência se definem dois parâmetros de peneiramento:

$$\text{eficiência do peneiramento} = \frac{\text{t/h undersize}}{\text{t/h finos presentes na alimentação}} \times 100$$

$$\text{imperfeição da malha} = \frac{\text{t/h oversize}}{\text{t/h presente na alimentação na fração granulométrica}} \times 100$$

## 6. CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA

### 6.1. Amostragem

Foi feita amostragem na empresa Raio de Sol, localizada na rodovia Pádua – Paraoquena, Km 4 – Fazenda Cachoeira Alegre, pertencente ao Sr. João Luiz Nacif. Retiraram-se amostras dos rejeitos de pedreira e das sobras de serraria do material olho de pombo (fotos 22 e 23).



Foto 22 - Vista geral de rejeitos de pedreira



Foto 23 - Vista geral de sobras de serraria

Procurou-se coletar amostras representativas, recolhendo-se material de diferentes pilhas de rejeitos de pedreira e de sobras de serraria (fotos 24 e 25).



Foto 24 - Pilhas de rejeitos de pedreira

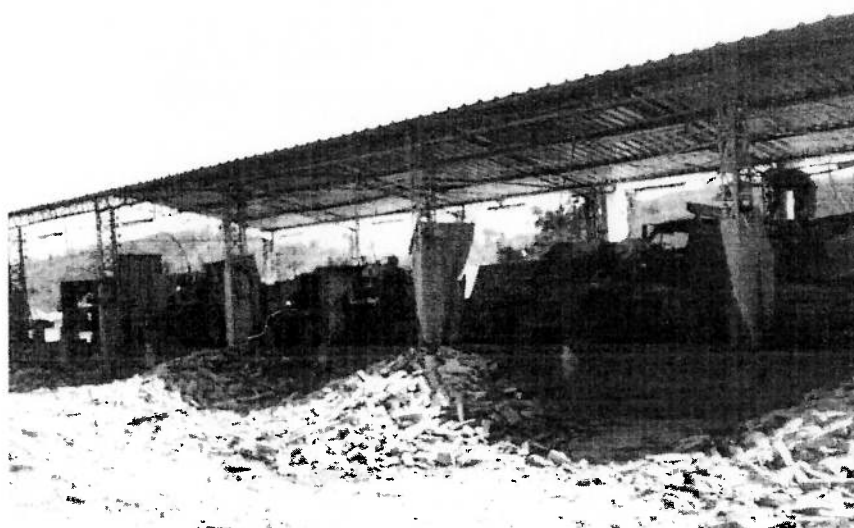


Foto 25 - Pilhas de sobras de serraria

Foram coletadas cerca de 2 t de cada material, que a seguir foram acondicionados em quatro big-bags e transportadas para o CETEM (fotos 26 e 27).



Foto 26 - Coleta de rejeitos de pedreira



Foto 27 - Coleta de sobras de serraria

## 6.2. Descrição petrográfica

O estudo foi realizado em lâmina delgada em microscópio de luz transmitida.

A mineralogia da rocha é a seguinte:

- 37% de plagioclásio;
- 25% de quartzo;
- 25% de feldspato potássico;
- 7% de biotita;
- 5% de hornblenda;
- 1% de apatita, titanita, zircão, carbonato, clorita e outros.

A rocha em questão foi classificada como uma hornblenda-biotita-gnaiss e apresenta composição granodiorítica. Nesta rocha observa-se a presença da textura porfiroblástica, e seus minerais encontram-se fortemente orientados. A granulometria dos minerais presentes é predominantemente média, com grãos até 4 mm.

## 6.3. Caracterização mineralógica dos rejeitos de pedreira e sobras de serraria

A partir de 50kg de amostra representativa foram feitas britagens/homogeneizações/quarteamentos, até serem obtidas 300 g de cada amostra moída a 100# para ser caracterizada. As amostras foram homogeneizadas, sendo uma alíquota de aproximadamente 40 g enviada para análise química (fluorescência de raios X). Outra alíquota foi separada a úmido em peneiras de 200 e 325 #, sendo as frações -100 +200 e -200 +325# fracionadas em líquido orgânico 2,89, em funil separador e centrífuga. Foram identificadas as amostras de nº 101 como rejeitos de pedreira e nº 102 como sobras de serraria.

Os produtos afundados nestas duas granulometrias foram separados em campos magnéticos de aproximadamente 500 G (imã de mão) e 15 kG (separador Frantz). Várias das frações obtidas neste processamento foram caracterizadas por difratometria de raios X (DRX) e todas elas foram observadas em lupa estereoscópica binocular. Todas as quatro frações obtidas com granulometria entre 200 e 325 malhas:  $d < 2,89$ ;  $d > 2,89$  magnética em imã de mão;  $d > 2,89$  magnética 15 kG e  $d > 2,89$  não magnética a 15 kG, foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), com analisador pontual por espectroscopia de dispersão de energia (EDS), após serem embutidas em resina epoxy, desbastadas e polidas com diamante com granulometria de até  $1 \mu\text{m}$  e recobertas com carbono condutor.

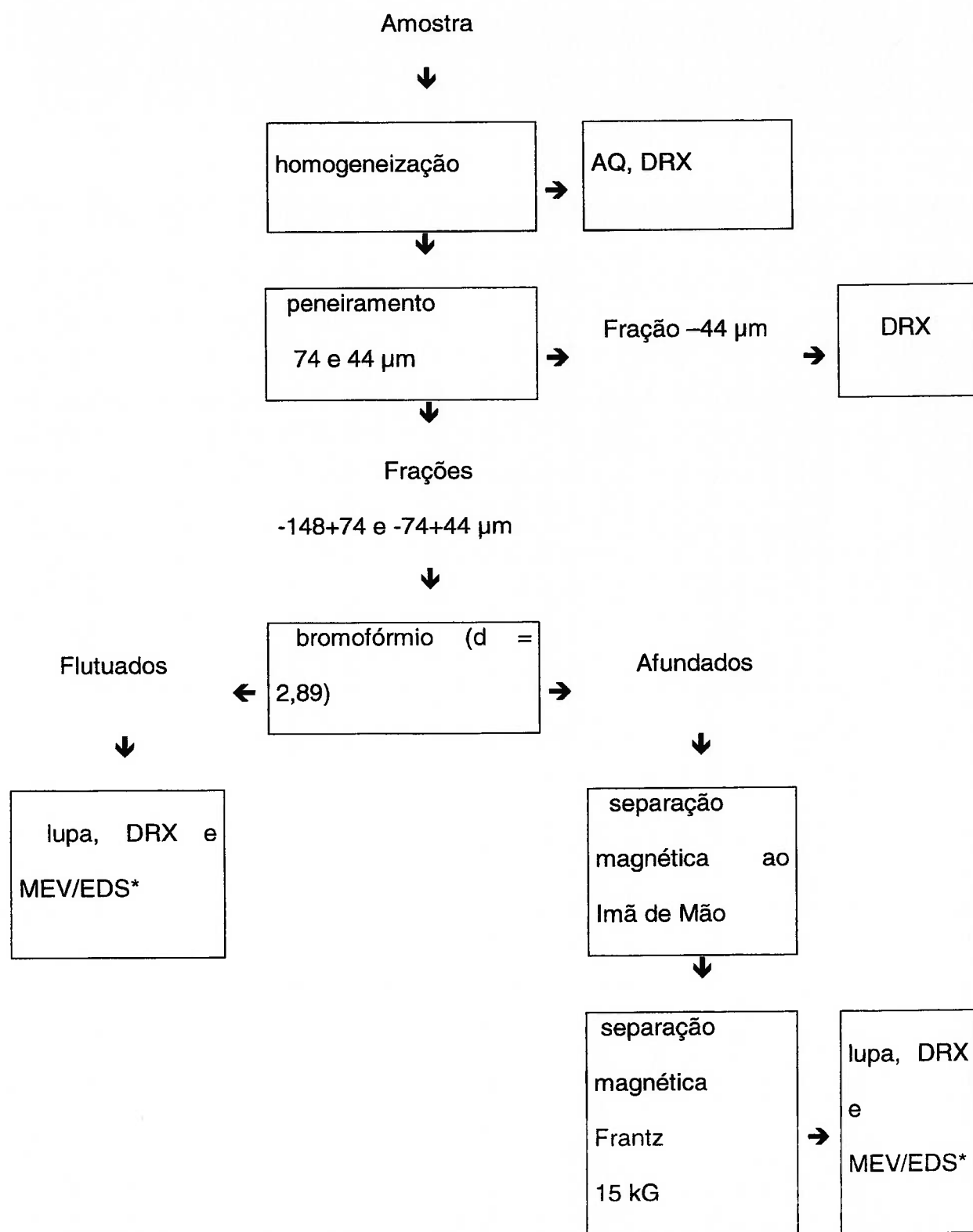
O microscópio eletrônico de varredura utilizado foi um LEO S440, equipado com sistema de microanálise por dispersão de energia LINK ISIS L300 (foto 28).



Foto 28 – Microscópio eletrônico de varredura

As caracterizações por DRX foram feitas em equipamento AXS-D5005 equipado com espelho Goebel.

O fluxograma mostrado na figura 2 esquematiza a seqüência de operações.



\* MEV/EDS somente das amostras -74+44  $\mu\text{m}$ .

Figura 2- Procedimento de caracterização das amostras rejeitos de pedra (101) e sobras de serraria (102)



As análises por difração de raios X mostraram a mesma mineralogia para as duas amostras estudadas (rejeitos de pedreira e sobras de serraria): quartzo, feldspato potássico, albita, anortita, biotita e anfibólio tipo hornblenda. Nas diferentes frações obtidas nas separações efetivadas durante a caracterização destaca-se a presença de biotita e alguma hornblenda na fração + 200 #, magnética em imã de mão, biotita na fração +200 #, magnética a 15 kG e apatita, além de plagioclásios, na fração + 200 #, não magnética a 15 kG.

Os resultados das análises químicas estão apresentados na tabela 4 e confirmam a semelhança entre as amostras, já observada por DRX.

Tabela 4 – Composição química (%) das amostras rejeitos de pedreira (101) e sobras de serraria (102)

Am	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZrO <sub>2</sub>	P.F.
101	65,07	14,00	6,55	1,10	2,68	2,95	4,85	0,13	1,22	0,42	0,11	0,68
102	65,41	13,36	6,49	1,10	2,17	2,87	4,60	0,15	1,27	0,42	0,10	0,41

A quantificação mineralógica calculada com base nas análises químicas da tabela 4, utilizando cálculos estequiométricos, é mostrada na tabela 5. Para tais cálculos foram feitas as seguintes suposições:

- todo o Na<sub>2</sub>O como pertencente à albita;
- todo o CaO como pertencente à anortita;
- toda a P.F. como pertencente à biotita;
- MgO não utilizado na biotita como pertencente à hornblenda;
- SiO<sub>2</sub> não consumido pelos minerais feldspáticos, biotita e hornblenda como pertencente ao quartzo;
- TiO<sub>2</sub> não pertencente à biotita como pertencente à ilmenita;

- todo o  $P_2O_5$  como pertencente à apatita;
- todo o  $ZrO_2$  como pertencente ao zircão.

Tabela 5 – Composição mineralógica (% massa) estimada das amostras 101 e 102

amostra	101	102
quartzo	22	25
feldspato potássico	26	25
albita	26	26
anortita	13	11
biotita	8	5
hornblenda	3	6
apatita	<1	<1
zircão	<1	<1
ilmenita	<1	<1

A tabela 6 mostra as distribuições (% massa) obtidas nos fracionamentos granulométricos, gravíticos e magnéticos efetuados nas amostras 101 e 102. Caracterizam amostras com mais de 50% de suas partículas com tamanhos inferiores a 325# e aproximadamente 80% de sua massa (nas frações -100# +200# e -200# +325#) com densidades inferiores a 2,89 formada predominantemente por quartzo e feldspato.

Tabela 6 – Distribuições (% massa) granulométricas, gravíticas magnéticas das amostras 101 e 102

fração	peso	flutuado	afundado			total
			imã de mão	mag. 1,5 A	não mag.	
amostra101						
-100+200#	13,4	83,3	0,5	13,1	3,1	100
-200+325#	17,1	78,0	0,5	20,2	1,3	100
-325#	69,5					
total	100					
amostra 102						
-100+200#	26,2	71,5	0,6	24,7	3,2	100
-200+325#	16,3	83,4	0,4	11,6	4,6	100
-325#	57,5					
total	100					

Ao MEV/EDS, as amostras 101 e 102 de granulometria entre 200# e 325# mostraram praticamente as mesmas características mineralógicas e texturais, e confirmaram também as identificações efetuadas por DRX.

As imagens das fotos 29 a 32 mostram os aspectos gerais das diferentes frações constituintes da faixa granulométrica -200+325#. A boa liberação das partículas nessa granulometria é evidente, exceção feita à fração magnética em imã de mão, rica em partículas mistas, tipo limonita. Quartzo e feldspato potássico predominam na fração com densidade menor que 2,89; magnetita, sulfeto de ferro e limonita predominam na fração com densidade maior que 2,89 magnética em imã de mão; biotita e ilmenita predominam na fração com densidade superior a 2,89 magnético em campo de 15 kG e plagioclásio, zircão e apatita predominam

na fração com densidade superior a 2,89 não magnética em campos de até 15 kG.

A foto 33 mostra um raro grão de feldspato potássico com textura característica de alteração que, apesar da aparência, não mostrou fase caolinítica associada. A foto 34 mostra um grão misto encontrado na fração afundada, magnético em 15 kG onde foram caracterizados sulfeto de ferro (provavelmente pirita) e carbonatos ricos em ferro e magnésio, raros na amostra. A imagem da foto 35 mostra um típico grão de limonita encontrado na fração magnética em imã de mão, onde cristais parcialmente dissolvidos dos minerais que compõem a amostra estão total ou parcialmente recobertos por óxidos/hidróxidos de ferro.

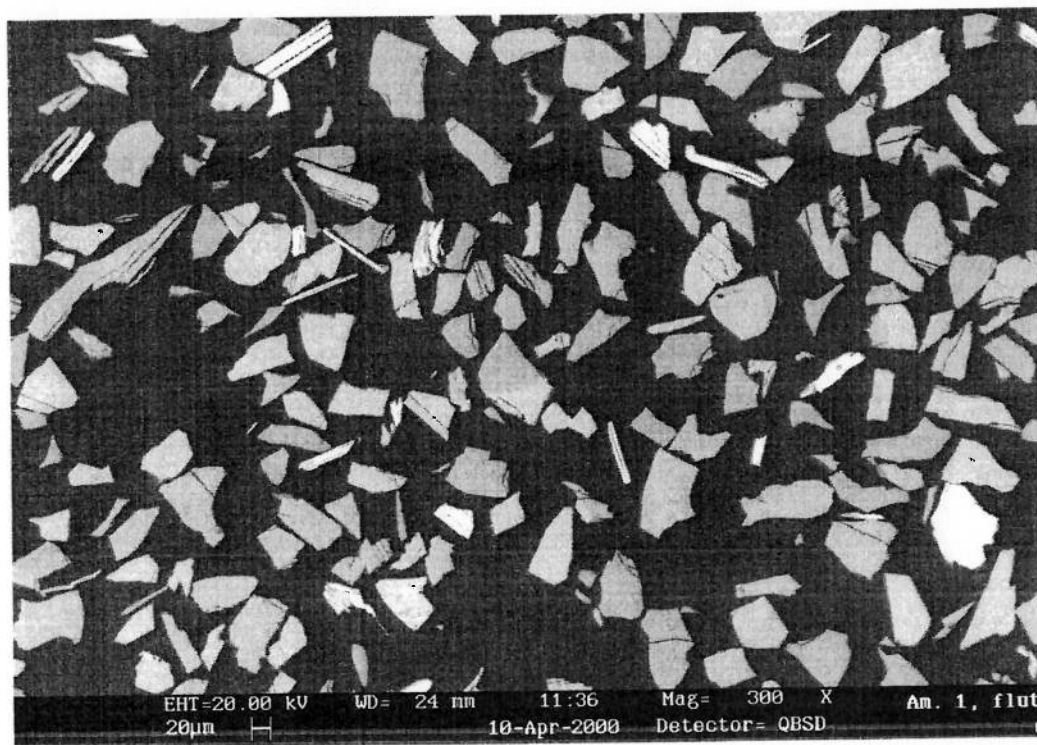


Foto 29 – Aspecto geral (BSD/MEV) de seção polida, fração  $-74+44 \mu\text{m}$ ,  $d < 2,89$

BSD = “back scattering detector”

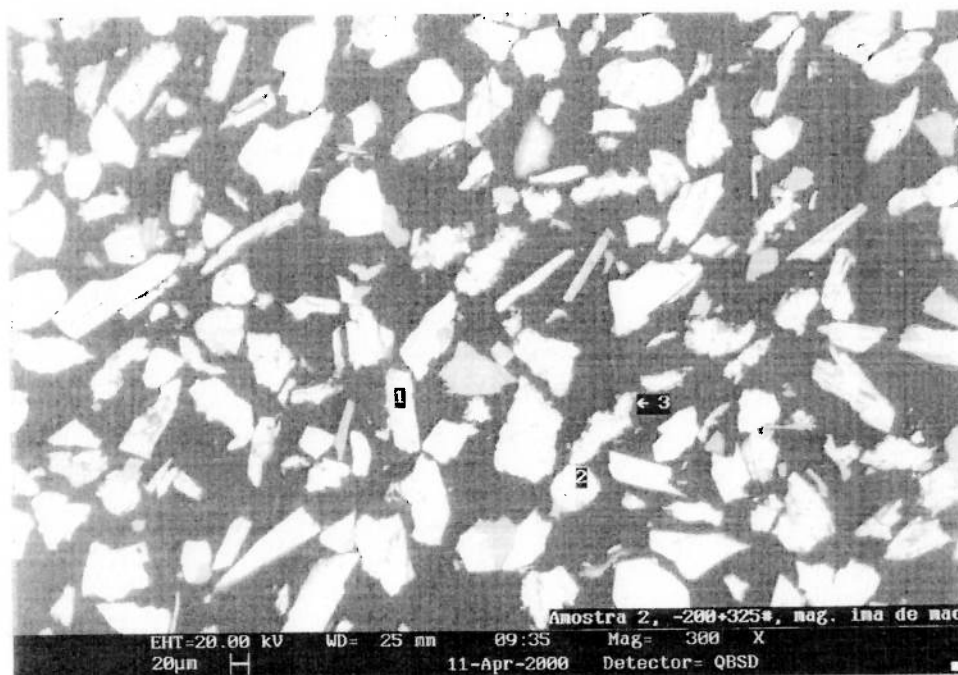


Foto 30 – Aspecto geral (BSD/MEV) de seção polida da fração  $-74+44 \mu\text{m}$ ,  $d > 2,89$ , magnético em campo de 500 G (imã de mão). Ponto 1 = magnetita, ponto 2 = sulfeto de ferro e ponto 3 = limonita

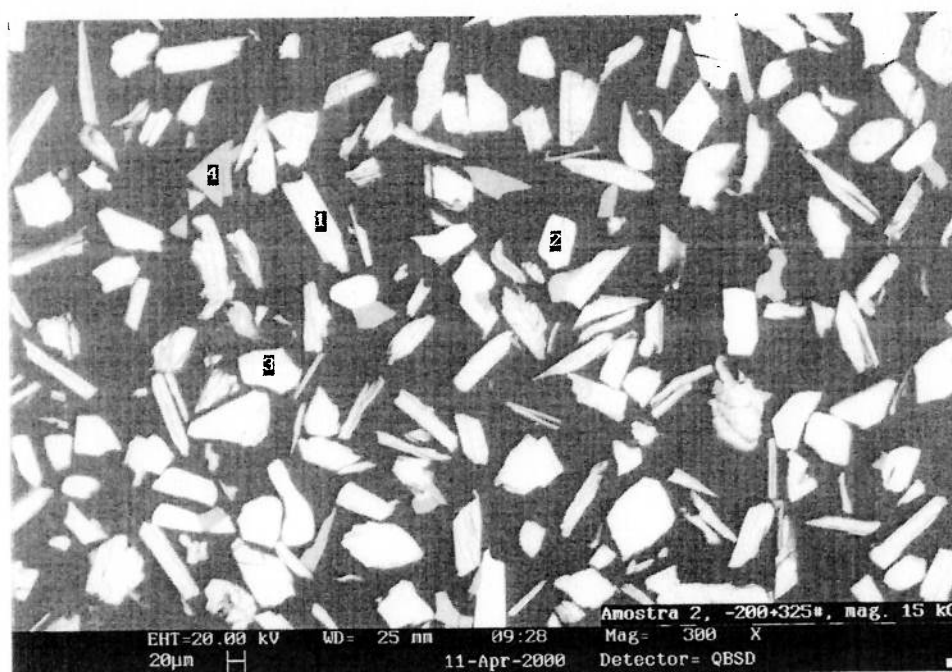


Foto 31 – Aspecto geral (BSD/MEV) de seção polida da fração  $-74+44 \mu\text{m}$ ,  $d > 2,89$ , magnético em campo de 15 kG. Ponto 1 = mica (tipo biotita), ponto 2 = ilmenita, ponto 3 = hornblenda e ponto 4 = quartzo

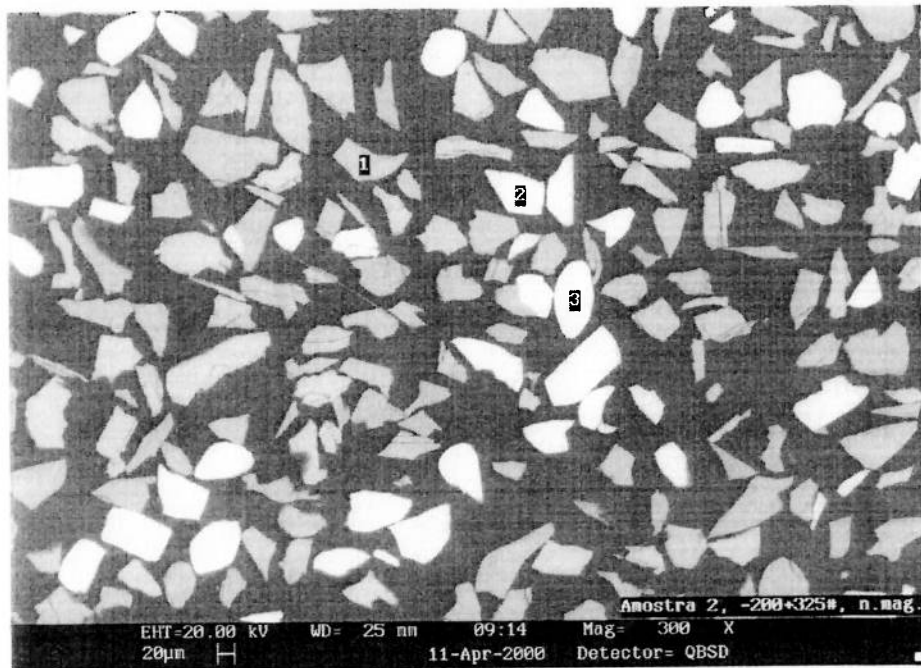


Foto 32 – Aspecto geral (BSD/MEV) de seção polida, fração  $-74+44 \mu\text{m}$ ,  $d > 2,89$ , não magnético em campo de 15 kG. Ponto 1 = plagioclásio, ponto 2 = apatita, ponto 3 = zircão

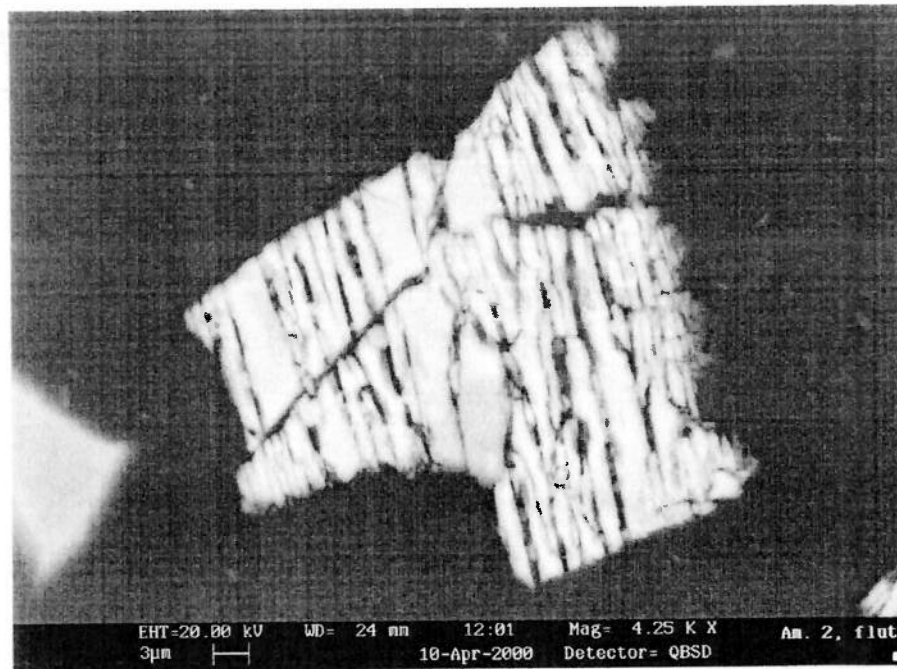


Foto 33 – Imagem (BSD/MEV) de grão de feldspato potássico com textura típica de alteração. Fração  $-74+44 \mu\text{m}$ ,  $d < 2,89$

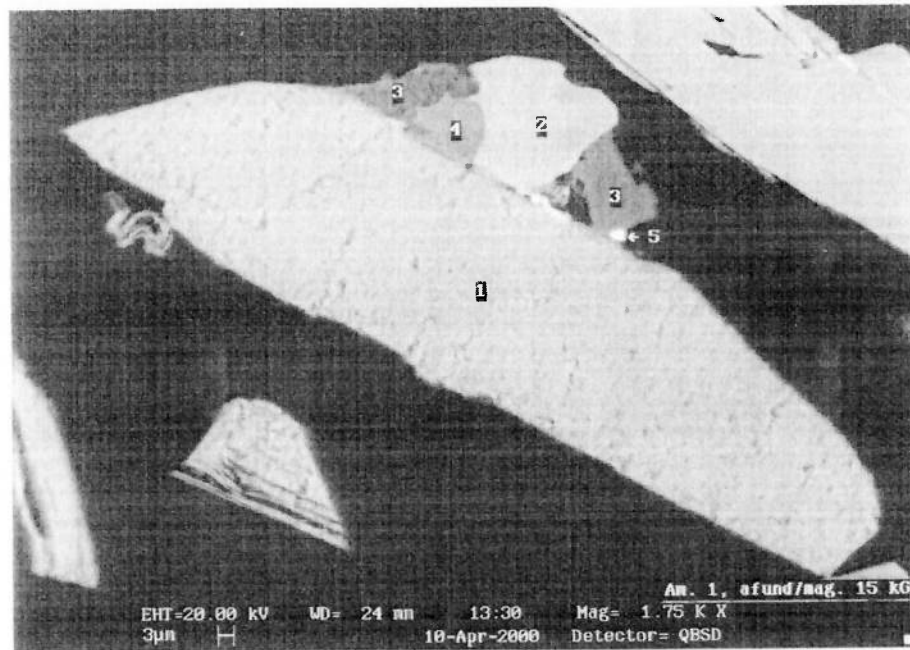


Foto 34 – Imagem (BSD/MEV) de grão misto com: 1) biotita; 2) carbonato de ferro; 3) feldspato potássico; 4) carbonato de cálcio e ferro e 5) sulfeto de ferro. Fração  $-74+44 \mu\text{m}$ ,  $d > 2,89$ , magnético em 15 kG

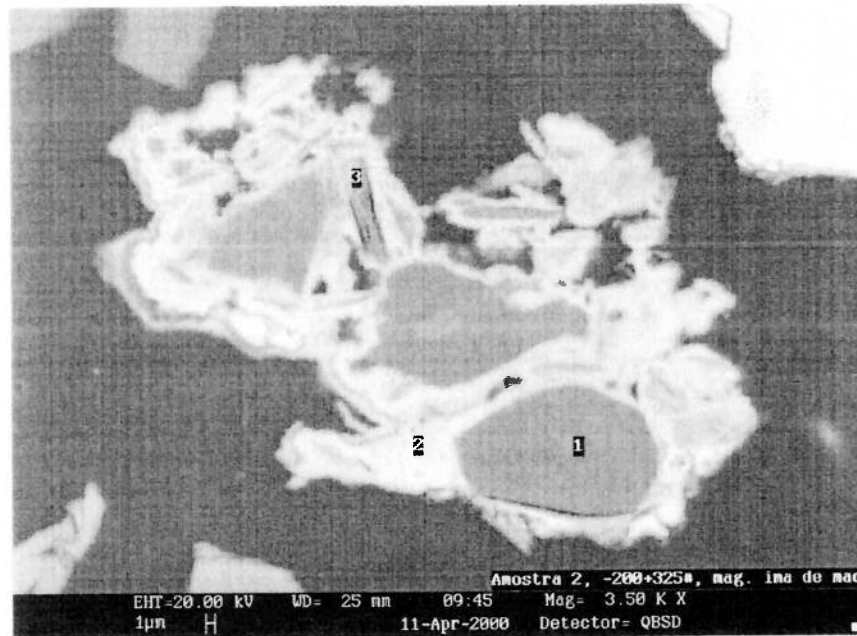


Foto 35 – Aspecto geral (BSD/MEV) de grão de limonita, fração  $-74+44 \mu\text{m}$ ,  $d > 2,89$ , magnético em campo de 500 G (ímã de mão). Ponto 1 = quartzo, ponto 2 = óxidos/hidróxidos de ferro e ponto 3 = mica alterada

As duas amostras, rejeitos de pedreira e sobras de serraria, são essencialmente iguais. Mineralogicamente são predominantemente compostas por quartzo, feldspato, biotita e hornblenda.

Os feldspatos potássicos (microclínio) e o sódico (albita) predominam sobre o cálcico (anortita).

Como minerais menos importantes foram identificados zircão, apatita e ilmenita. E como traços, foram observados magnetita, sulfeto de ferro (provavelmente pirita), aglomerados limoníticos e carbonatos ricos em ferro.

#### 6.4. Caracterização tecnológica do material

Os ensaios tecnológicos constaram de determinação de índices físicos, coeficiente de dilatação térmica linear, dureza *Knoop* e velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas, ensaios de compressão uniaxial, de flexão por carregamento em três pontos, e de desgaste *Amsler*, conforme descritos a seguir.

##### 6.4.1. Determinação de índices físicos

A massa específica é um parâmetro necessário para a correta utilização da rocha. Verifica-se que houve pequena variação entre a massa específica da rocha seca e dela saturada com água. Isto indica que absorção de água é pequena e está coerente com os valores de 0,24% de absorção d'água e de 0,65% de porosidade.

Os índices físicos foram determinados em 10 corpos-de-prova, com base na norma NBR 12766/92 - "Rochas para revestimento - Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente", da Associação Brasileira de Normas Técnicas- ABNT. Diferentemente do recomendado pela norma, os corpos-de-prova foram preparados em serra



Tabela 8 - Resultados do ensaio de dilatação térmica linear (NBR 12765/92)

corpo- de- prova (nº)	L <sub>o</sub> (10 <sup>-2</sup> m)	temperatura (°C)		coeficiente de dilatação térmica linear (10 <sup>-3</sup> mm/m °C)	
		faixa de variação	ΔT	no evento	valor médio
1 carregamento //	9,01	50,4 / 0,0	50,4	5,4	5,5
		0,0 / 50,4	50,4	5,7	
2 carregamento ⊥	9,01	50,4 / 0,0	50,4	7,6	7,6
		0,0 / 50,4	50,4	7,5	
				média	6,5

#### 6.4.3 Determinação da dureza *Knoop*

Este ensaio verifica a resistência ao esforço num ponto, como por exemplo a pisada de uma mulher calçando sapato de salto alto, ou o esforço de pregar um prego na rocha.

A dureza *Knoop* foi determinada em uma placa de rocha polida com 7x7 cm na qual foram feitas, e medidas, 40 impressões com ponta de diamante, sob carga de 200g. Utilizou-se um microdurômetro modelo Durimet 2, fabricado pela Leitz, e as impressões foram feitas em superfície perpendicular à estruturação da rocha. Os resultados obtidos são apresentados na figura 3 e tabela 9. Os resultados podem ser considerados satisfatórios.

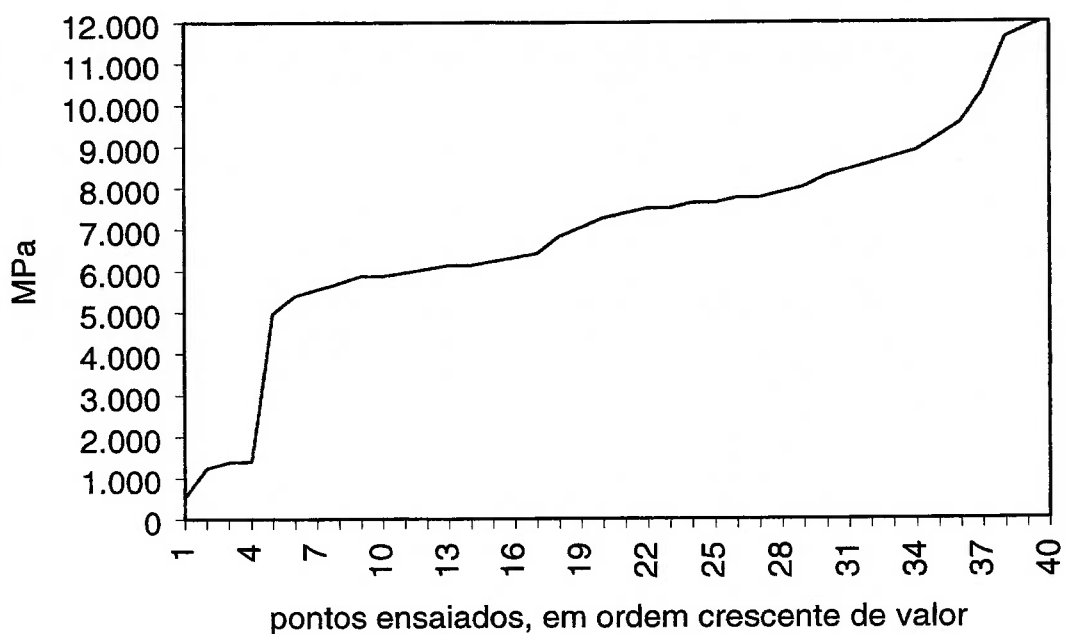


Figura 3 – Distribuição em ordem crescente dos valores da dureza Knoop

Tabela 9 - Valores da dureza *Knoop*

tipo de dureza	valor (MPa)
HK <sub>25</sub>	5.862
HK <sub>50</sub>	7.320
HK <sub>75</sub>	8.369
HK médio	6.971

#### 6.4.4. Ensaio de compressão uniaxial

O ensaio de compressão uniaxial foi executado em oito corpos-de-prova de formato cúbico, no estado seco, baseado na norma NBR 12767/92 - "Rochas para revestimento - Determinação da resistência à compressão uniaxial", da ABNT (foto 36). Os resultados obtidos são apresentados na tabela 10 podem ser considerados satisfatórios.

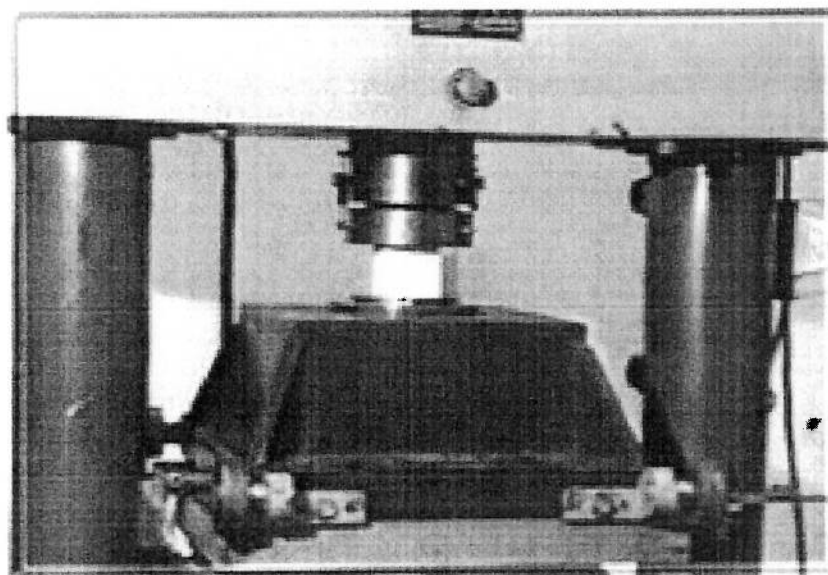


Foto 36 - Ensaio de compressão uniaxial mostrando o corpo-de-prova cúbico

Tabela 10- Resultados dos ensaios de compressão uniaxial (NBR 12767/92) e velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas (ASTM-D 2845)

Corpo de prova	altura (cm)	dimensões arestas		área de carga (cm <sup>2</sup> )	carga de ruptura (kgf)	tensão de ruptura $\sigma$		veloc. de propag. (m/s)
		A1 (cm)	A2 (cm)			(kgf/cm <sup>2</sup> )	(MPa)	
3 (*)	7,48	7,57	7,55	57,15	52.000	910	89,2	5.120
4 (*)	7,44	7,62	7,59	57,82	60.400	1.045	102,5	5.100
2 (*)	7,45	7,56	7,57	57,21	62.000	1.084	106,3	5.030
1 (*)	7,40	7,61	7,54	57,34	69.200	1.207	118,4	4.970
5 (*)	7,45	7,59	7,58	57,48	82.400	1.434	140,6	5.280
3 (**)	7,65	7,80	7,75	60,45	82.400	1.363	133,7	4.470
1 (**)	7,57	7,77	7,71	59,89	82.400	1.376	134,9	4.350
2 (**)	7,65	7,71	7,76	59,81	98.800	1.652	162,0	4.370
média (*)						1.136	111,4	5.100
média (**)						1.464	143,5	4.400

(\*) = Carregamento paralelo ao plano milonítico ("corrida") da rocha.

(\*\*) = Carregamento perpendicular ao plano milonítico ("corrida") da rocha

diamantada e não por quebra manual. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 7.

#### 6.4.2. Determinação da dilatação térmica linear

Este ensaio caracteriza a dilatação e a contração da rocha quando submetida a variações de temperatura. Os valores sendo baixos ( $< 12$ ) indicam que a rocha resiste muito bem ao aquecimento pelo sol seguido pelo resfriamento à noite e mesmo, do resfriamento súbito pela chuva.

A dilatação térmica linear foi determinada em dois corpos-de-prova, no formato cilíndrico, na proporção (base:altura) 1:3, retirados em direções ortogonais, baseado na norma NBR 12765/92 - "Rochas para revestimento - Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear", da ABNT. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 8.

Tabela 7 - Resultados da determinação dos índices físicos (NBR 12766/92)

corpo- de- prova (nº)	massa específica aparente		porosidade aparente (%)	absorção de água (%)
	seca (kg/m <sup>3</sup> )	saturada (kg/m <sup>3</sup> )		
1	2.737	2.743	0,64	0,24
2	2.732	2.739	0,64	0,23
3	2.741	2.747	0,66	0,24
4	2.739	2.745	0,62	0,23
5	2.727	2.734	0,66	0,24
6	2.736	2.743	0,65	0,24
7	2.727	2.734	0,65	0,24
8	2.729	2.735	0,65	0,24
9	2.727	2.734	0,66	0,24
10	2.728	2.734	0,66	0,24
média	2.732	2.739	0,65	0,24

#### 6.4.5. Ensaio de flexão

O ensaio de flexão foi executado em três corpos-de-prova de formato retangular, secos, baseado na norma NBR 12763/92 - "Rochas para revestimento - determinação da resistência à flexão", da ABNT (foto 37). Os resultados obtidos são apresentados na tabela 11 e também são considerados satisfatórios.

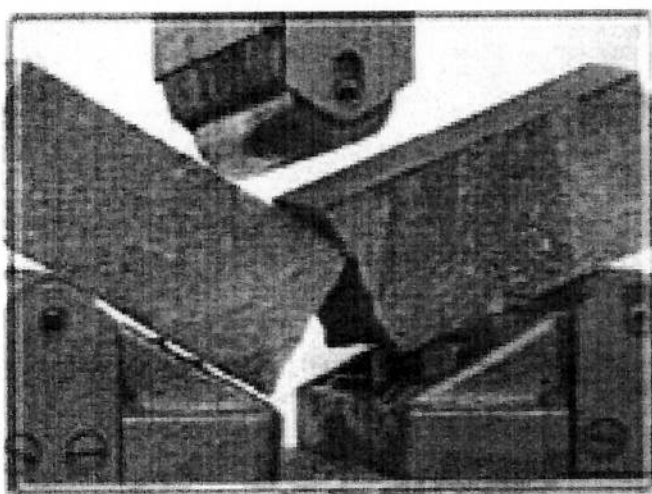


Foto 37 - Ensaio de resistência à flexão

#### 6.4.6 Determinação da velocidade de propagação de ondas

As velocidades de propagação de ondas ultra-sônicas foram determinadas baseado na norma D 2845/95 - "*Standard Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rocks*", da ASTM, em todos os corpos-de-prova destinados aos ensaios de compressão uniaxial e flexão por carregamento em três pontos (foto 38). Os resultados obtidos são apresentados nas tabelas 10 e 11 e estão relacionados à resistência mecânica da rocha e complementam o resultado dos ensaios de resistência à compressão e à flexão.

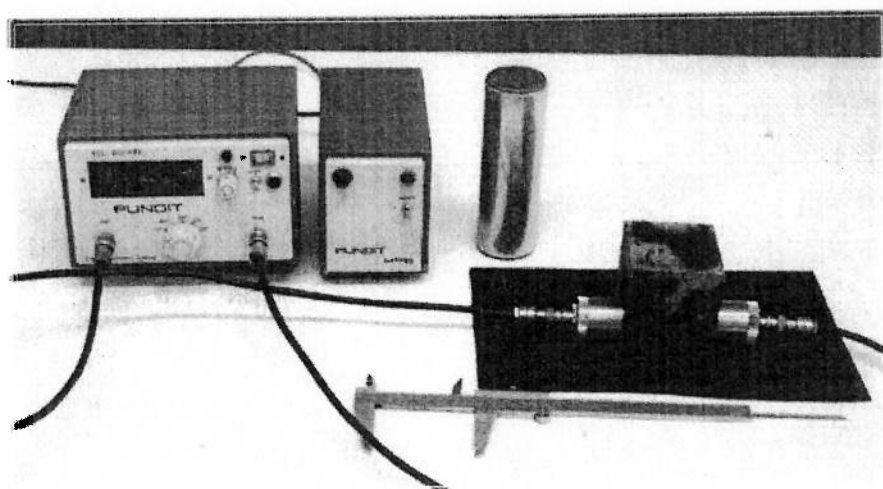


Foto 38 - Medida da velocidade de propagação de ondas

Tabela 11 - Resultados de ensaio de flexão (NBR 12763/92) e ensaios de velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas (ASTM-D 2845/95)

corpo-de-prova (nº)	dimensões (cm)		carga de ruptura P (kgf)	tensão de ruptura, R		velocidade de propagação (m/s)
	espessura, d	largura, b		(kgf/cm <sup>2</sup> )	(MPa)	
1	5,15	9,99	1380	140,7	13,80	4.070
2	5,10	10,01	1340	139,1	13,64	4.230
3	5,01	10,02	1220	131,0	12,85	4.080
Média				136,9	13,43	4.130

Nota:  $R = 3PL / 2bd^2$

L = Distância entre os pontos de aplicação da carga: 18 cm

Carregamento perpendicular ao plano milonítico ("corrida") da rocha.

#### 6.4.7. Ensaio de desgaste *Amsler*

Este é um ensaio tecnológico que avalia a resistência de um piso ao atrito devido ao tráfego intenso. Quanto maior o desgaste pior a qualidade do piso para uso em condições de tráfego intenso, o que não o exclui obrigatoriamente para uso em condições de tráfego baixo ou moderado.

O ensaio de desgaste *Amsler* foi executado em dois corpos-de-prova, de acordo com as diretrizes da norma NBR 12042/92 - "Materiais inorgânicos - Determinação do desgaste por abrasão", da ABNT. Os corpos-de-prova foram submetidos a desgaste em superfície perpendicular ao plano milonítico da rocha (foto 39), e os resultados obtidos são apresentados na tabela 12.

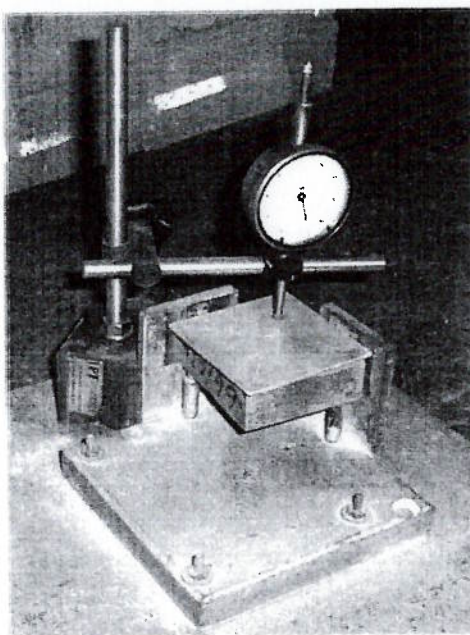


Foto 39 - Equipamento de ensaio de desgaste *Amsler*



Tabela 12- Resultados do desgaste *Amsler*

corpo-de-prova n <sup>o</sup>	dimensões da base (mm)	desgaste em mm correspondente ao percurso de:			
		500 m		1000 m	
		individual	média	individual	média
1	70,50 x 70,28	0,69	0,69	1,45	1,47
2	70,70 x 70,90	0,70		1,49	

#### 6.4.8. Ensaio de alterabilidade

Este ensaio visa especificamente avaliar a resistência da rocha à intempérie.

O extrator utilizado para o ensaio da rocha em questão consta essencialmente de:

- um balão de destilação;
- uma coluna extratora;
- um sifão;
- uma unidade de condensação;
- uma chapa aquecedora.

A preparação do sistema para a realização do ensaio teve início a partir da fragmentação da amostra do granito estudado seguida da colocação desse material na coluna de lixiviação do extrator (798,9g).

Adicionou-se 500 ml de água destilada (pH = 6,4) ao balão de fundo chato, e procedeu-se com o ajuste do aquecimento da chapa em cerca de 60°C e a liberação da água de resfriamento da unidade de condensação.

O material foi lixiviado durante 3.600 horas tendo completado 1.800 ciclos de aproximadamente 2 horas cada.

Depois do experimento foram realizados alguns ensaios químicos através do método de Titrimetria e de Espectroscopia de Absorção Atômica na água de percolação e ensaio físico-mecânico (NBR 12766) na amostra de rocha, tendo em vista a obtenção de parâmetros de avaliação dos materiais desprendidos pelo granito durante o processo de envelhecimento simulado.

Com cerca de 40 horas (20 ciclos) após o começo da lixiviação verificou-se o início da deposição de resíduo no fundo do balão, que representa uma bacia de acumulação na natureza, e tendo completado 72 horas (36 ciclos) observou-se a presença de materiais em suspensão e dissolução na água de lixiviação cuja coloração passou a ser levemente leitosa. À medida em que o tempo passava, maior quantidade de materiais se acumulava no fundo do balão e mais leitoso ficava o lixiviante.

No final da ensaio, após 3.600 horas (1.800 ciclos) verificou-se que a amostra que inicialmente pesava 798,9g passou a pesar 771,8g, totalizando dessa forma uma perda de massa de 27,1g. Deste total 17,5g corresponderam ao resíduo (material de coloração branca e granulometria relativamente fina ) que foi depositado no fundo do balão e que ficou em suspensão na água de lixiviação e o restante representa o material que foi dissolvido.

Tendo em vista que a rocha é constituída essencialmente de quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, biotita e hornblenda, optou-se por se determinar os teores de Na, K, Ca, Mg e Fe dissolvidos na água de lixiviação (tabela 13 ) uma vez que esses são os elementos com maiores possibilidades de se tornarem solúveis a partir destes silicatos. A percentagem de sólidos totais dissolvidos durante o ensaio (tabela 13) foi bastante elevada e os íons mais presentes foram o Na, Ca e K. O elevado teor desses íons na água de percolação pode estar relacionado ao caráter mais aberto das suas estruturas presentes nos feldspatos

constituintes da rocha. O elevado valor de condutividade da água, no final da pesquisa, concorda em linhas gerais com a perda de íons e conseqüente mobilidade química.

A rocha no seu estado natural apresenta uma porosidade equivalente a 0,51 % e absorção de água correspondente a 0,19 %, após o período de lixiviação esses valores passaram a ser 2,69 % e 0,99 % para porosidade e absorção, respectivamente. A diferença elevada destes valores em relação a rocha no seu estado natural confirma a facilidade com que esta rocha perde sua resistência mecânica mediante fortes condições de umidade e temperatura. A porosidade e absorção são propriedades bem correlacionadas com a resistência mecânica da rocha. Para um mesmo tipo litológico, os valores de resistência mecânica decrescem à medida que a porosidade e absorção de água aumentam.

Tabela 13 – Análise química de alguns elementos dissolvidos no lixiviante

elementos químicos	teores
K	6,0 ppm
Na	0,48 %
Ca	17,0 ppm
Mg	< 1,0 ppm
Fe	< 1,0 ppm
sólidos totais dissolvidos	1,85%
condutividade	24.642,6 $\mu\Omega/cm$

A água utilizada para a lixiviação, inicialmente incolor, exibindo um pH de 6,4 e com um certo grau de dissociação, com a evolução dos ciclos tornou-se branco-leitosa atingindo no final da análise um pH dentro da faixa da alcalinidade (8,5).

A grande quantidade de material depositada no fundo do balão e em suspensão na água de lixiviação, deve estar relacionada a um intenso microfraturamento dessa rocha ou até mesmo um processo de alteração natural já existente na rocha.

Os resultados obtidos através dessa pesquisa demonstram que a rocha em questão altera-se facilmente quando exposta em ambientes de clima quente onde a chuva é abundante e atmosfera muito úmida.

#### 6.4.9. Considerações sobre os ensaios tecnológicos

Os resultados obtidos acham-se sumariados na tabela 14, na qual também são apresentadas as especificações para granitos para uso ornamental da ASTM e os valores sugeridos para tais materiais rochosos por FRAZÃO & FARJALLAT (1996).

Os dados obtidos demonstram que a rocha em questão apresentou índice normal de dureza Knoop  $< 8.000$  MPa (valor este referenciado pelo IPT). Os índices físicos (densidade, porosidade, absorção d'água) e dilatação térmica são todos satisfatórios. Quanto a esta última, nota-se claramente a diferença entre o valor obtido da direção paralela ao plano milonítico ( $5,5 \times 10^{-3}$  mm/m. $^{\circ}$ C) e o valor na direção perpendicular a este plano ( $7,6 \times 10^{-3}$  mm/m. $^{\circ}$ C).

Os ensaios de compressão uniaxial e flexão executados com o carregamento perpendicular à marcante estrutura milonítica da rocha apresentaram valores acima dos índices recomendados pela ASTM, e dos sugeridos por FRAZÃO & FARJALLAT (1996).

Tabela 14 – Resultados obtidos para as amostras ensaiadas, especificações e valores sugeridos para qualificação tecnológica de rochas ornamentais

propriedades	“gnaisse”	especificações ASTM- C615-92	valores sugeridos (FRAZÃO & FARJALLAT 1996)
densidade ( kg/m <sup>3</sup> )	2.732	≥2.560	≥2.550
porosidade (%)	0,65	n. e.	≤1,0
absorção d'água (%)	0,24	≤0,40	≤0,40
dilatação térmica (10 <sup>-3</sup> mm/m.°C)	6,5	n. e.	≤12
dureza Knoop média (MPa)	6.971	n. e.	n. e.
velocidade de propagação de ondas P(m/s)	4.990	n. e.	≥4.000
compressão uniaxial (MPa), carregam. //	111,4	≥131,0	≥100,0
compressão uniaxial (MPa), carregam. ⊥	143,5		
flexão três pontos (MPa), carregamento //	7,66	≥10,34	≥10,0
flexão três pontos (MPa), carregamento ⊥	13,43		
desgaste <i>Amsler</i> (mm)	1,47	n. e.	≤1

Nota: ne. = não especificado;

O resultado encontrado no ensaio de desgaste *Amsler* demonstra que a rocha apresenta um valor acima do recomendado por FRAZÃO & FARJALLAT (1996), porém não restringe seu uso para piso de baixo tráfego.

Os baixos valores comentados acima exigem uso criterioso de placas cortadas perpendicularmente à estruturação da rocha. Cabe notar que a resistência à flexão é consideravelmente maior se a rocha for cortada paralelamente ao plano milonítico (“corrida”).

## 7. ENSAIOS DE BRITAGEM E CONFECÇÃO DE CONCRETOS

### 7.1. Ensaios de britagem

Foram realizados vários ensaios de britagem com amostras de Pádua utilizando-se os britadores de mandíbulas da Faço modelos 2015 e 3020 (fotos 40 e 41). Variaram-se as aberturas dos britadores na posição fechada (APF), afim de verificar o comportamento das distribuições granulométricas dos produtos. Utilizaram-se dois tipos de material para os ensaios de britagem, rejeitos de pedreira e sobras de serraria.



Foto 40 - Britador de mandíbulas 2015



Foto 41 - Britador de mandíbulas 3020

As análises granulométricas foram feitas a seco na série de peneiras quadradas modelo Manupen de 47x47 cm (foto 42) e os resultados são mostrados nas tabelas 15 a 18.

Para efeitos comparativos foram feitos também ensaios nos britadores 2015 e 3020 nas mesmas condições de abertura, com o material da pedreira Convém, que é um gnaisse típico do material utilizado como brita nas construções no Estado do Rio de Janeiro (tabelas 19 e 20).

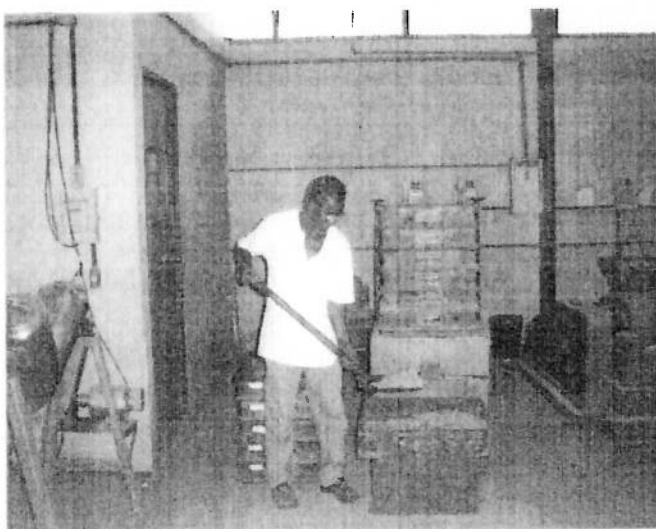


Foto 42 - Conjunto de peneiras quadradas

Tabela 15 – Análise granulométrica das sobras de serraria – britador 2015

(% passante)

tela (mm)	APF = 1 "	APF = 1,25 "	APF = 1,5 "	APF = 2 "
59,525	-	-	93,64	73,79
50,800	-	-	87,80	61,65
38,100	-	90,82	71,74	41,02
31,750	88,42	75,77	57,77	26,25
25,400	78,84	62,36	49,30	23,43
19,050	52,97	42,37	33,35	17,06
15,875	42,65	33,82	26,73	13,83
12,700	34,52	26,36	21,42	11,47
9,525	26,60	21,77	16,56	9,11
6,350	20,86	16,37	12,68	6,92
4,760	17,84	14,09	10,81	5,93
3,360	15,61	12,12	9,47	5,16
2,380	13,87	10,4	8,57	4,75
1,410	12,33	9,12	7,69	4,28

Tabela 16 – Análise granulométrica dos rejeitos de pedreira – britador 2015

(% passante)

tela (mm)	APF = 1 "	APF = 1,25 "	APF = 1,5 "	APF = 2 "
59,525	-	-	91,88	79,22
50,800	-	-	84,27	55,56
38,100	-	88,44	59,66	36,93
31,750	77,37	67,23	46,97	31,03
25,400	65,39	55,83	39,55	27,06
19,050	42,25	39,84	28,18	19,31
15,875	34,87	31,36	24,00	16,03
12,700	27,97	24,46	20,85	13,91
9,525	21,91	20,22	16,03	10,96
6,350	17,25	15,56	12,78	8,61
4,760	14,73	13,26	10,93	7,33
3,360	13,10	11,45	9,58	6,40
2,380	11,60	9,76	8,77	5,81
1,410	10,24	8,62	7,96	5,32



Tabela 17 – Análise granulométrica das sobras de serraria – britador 3020

(%passante)

tela (mm)	APF = 1 "	APF = 1,25 "	APF = 1,5 "	APF = 2 "
59,525	-	-	-	91,83
50,800	-	-	96,07	72,472
38,100	89,864	92,884	65,34	39,104
31,750	69,223	70,607	39,70	22,353
25,400	50,139	53,498	29,20	15,634
19,050	31,076	30,135	19,75	10,238
15,875	25,169	26,039	16,16	8,674
12,700	19,297	20,843	13,47	6,418
9,525	15,203	16,478	11,09	4,800
6,350	12,300	12,821	8,78	3,119
4,760	10,436	11,224	7,50	2,207
3,360	9,228	9,951	6,48	1,615
2,380	8,213	8,923	5,86	0,969
1,410	7,240	7,864	5,12	0,572

Tabela 18 – Análise granulométrica dos rejeitos de pedra – britador 3020

(% passante)

tela (mm)	APF = 1 "	APF = 1,25 "	APF = 1,5 "	APF = 2 "
59,525	-	-	-	97,547
50,800	-	-	94,078	78,383
38,100	90,702	84,925	57,311	36,237
31,750	71,208	82,230	33,423	24,036
25,400	51,028	63,811	24,531	19,461
19,050	32,033	39,726	18,218	14,738
15,875	24,853	32,882	16,026	12,944
12,700	19,249	26,518	13,488	10,373
9,525	14,862	21,044	11,060	8,626
6,350	11,049	16,884	8,601	6,785
4,760	9,816	14,578	7,138	5,711
3,360	7,553	12,576	6,504	5,032
2,380	6,444	11,242	5,867	4,441
1,410	5,310	10,091	5,251	3,904

Tabela 19 – Análise granulométrica ROM Convém – britador 2015 (% passante)

tela (mm)	APF = 1 "	APF = 1,25 "	APF = 1,5 "	APF = 2 "
59,525	-	-	-	84,880
50,800	-	-	90,678	74,994
38,100	93,517	95,902	73,120	50,351
31,750	85,258	82,392	53,997	37,351
25,400	69,034	66,592	43,468	29,015
19,050	45,467	41,658	27,270	19,914
15,875	37,231	34,591	22,991	16,602
12,700	29,723	27,533	18,854	14,255
9,525	24,067	22,730	15,805	11,947
6,350	18,863	18,687	13,452	10,158
4,760	17,193	16,087	11,632	8,706
3,360	15,500	13,554	10,243	7,601
2,380	14,041	11,759	9,087	6,590
1,410	11,726	10,061	7,862	5,566

Tabela 20 – Análise granulométrica ROM Convém – britador 3020 (% passante)

tela (mm)	APF = 1 "	APF = 1,25 "	APF = 1,5 "	APF = 2 "
59,525	-	-	-	92,504
50,800	-	97,71	90,20	75,209
38,100	96,06	75,75	51,60	29,929
31,750	76,48	43,84	34,78	23,324
25,400	60,78	32,34	27,52	16,889
19,050	38,20	22,84	19,11	13,240
15,875	32,32	19,20	16,21	11,248
12,700	26,51	15,96	14,00	8,771
9,525	22,18	13,42	12,42	7,944
6,350	18,91	11,42	10,92	6,561
4,760	16,42	10,13	9,74	5,676
3,360	15,84	9,82	9,13	5,126
2,380	12,50	7,89	7,88	4,386
1,410	10,36	6,47	6,69	3,775

Nas figuras 4 e 5 são mostrados os resultados obtidos nas britagens feitas com o material de Pádua no britador 2015 (APF= 1", 1 1/4", 1 1/2", 2") e no britador 3020 (APF= 1", 1 1/4", 1 1/2", 2").

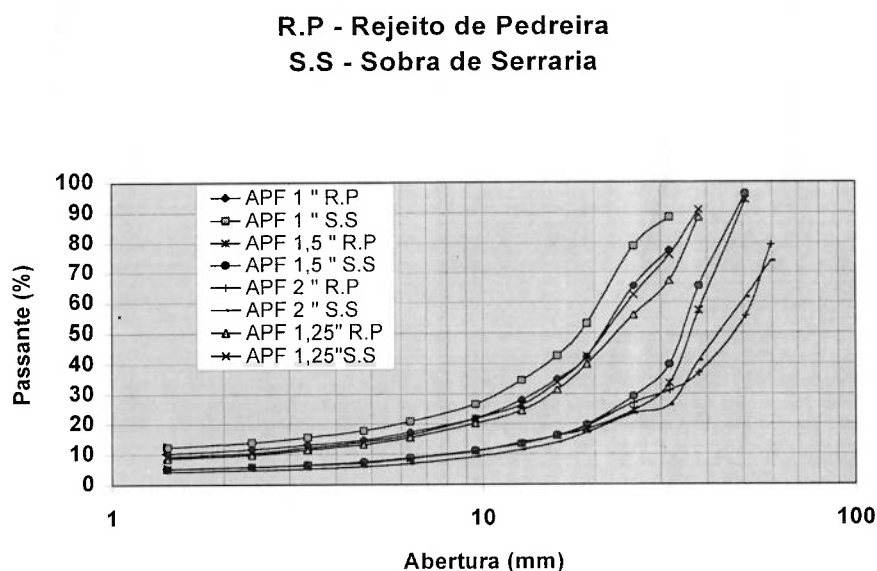


Figura 4 – Distribuições granulométricas dos produtos de britagem do britador 2015

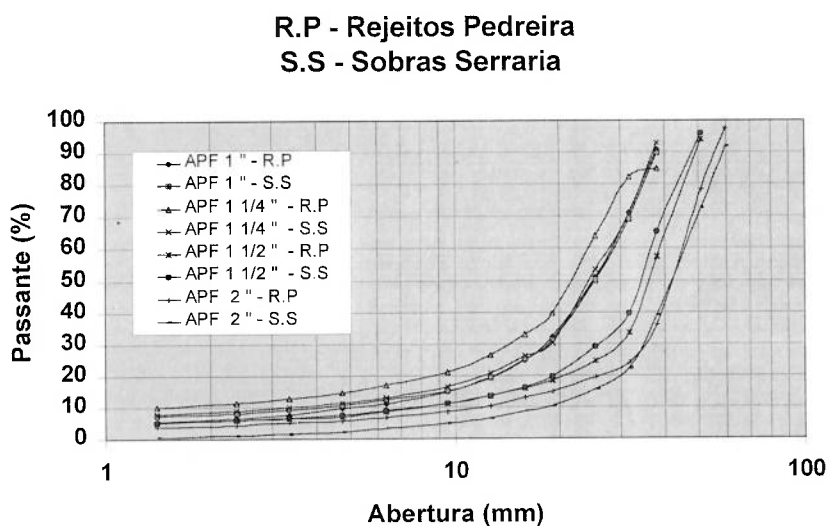


Figura 5 - Distribuições granulométricas dos produtos de britagem do britador 3020

Nas figuras 6 e 7 são comparados os resultados obtidos nos britadores 2015 e 3020, com os materiais de Pádua e da pedreira Convém.

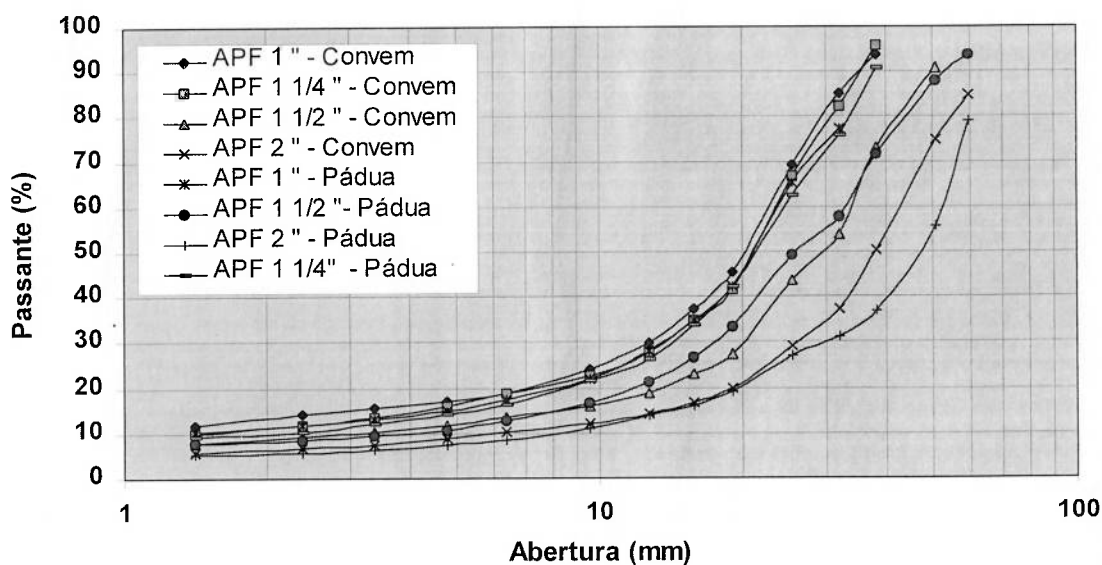


Figura 6 – Comparação entre a distribuições granulométricas obtidas no britador 2015 com os materiais das pedreiras Pádua x Convém

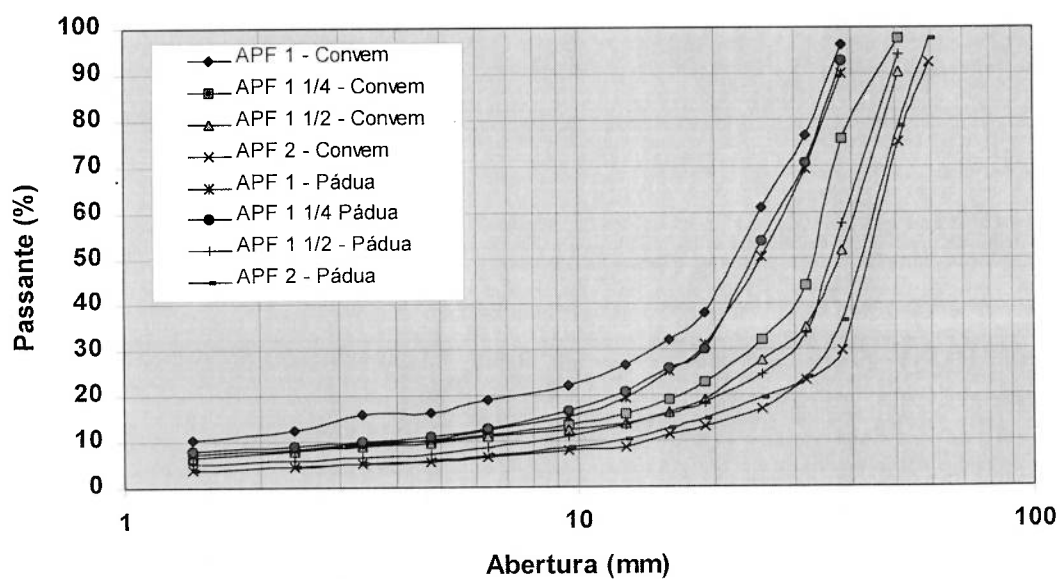


Figura 7 – Comparação entre a distribuições granulométricas obtidas no britador 3020 com os materiais das pedreiras Pádua x Convém

Passemos à análise dos resultados: a comparação feita nas figuras 4 e 5 mostra que os materiais estudados, rejeitos de pedreira e sobras de serraria, têm o mesmo comportamento típico de um granito / gnaíse. Isto pode ser melhor constatado pela comparação feita nas curvas de britagens Pádua x Convém mostradas nas figuras 6 e 7.

As curvas da Convém concordam muito bem com as de Pádua, apesar deste material ser milonítico e ter sofrido deslocamento e serragem nas serrarias, apresentando-se ao britador com uma forma pré-determinada e com a xistosidade orientada em relação às dimensões principais da partícula alimentada. Portanto, estas circunstâncias não afetaram a distribuição granulométrica, somente ocasionaram um pequeno aumento na quantidade de finos de Pádua em relação a Convém.

Foi estabelecido também uma curva de regressão ( $d/d_{50}$  x %passante) para as distribuições granulométricas dos produtos de britagem de Pádua, que é mostrada na figura 8.

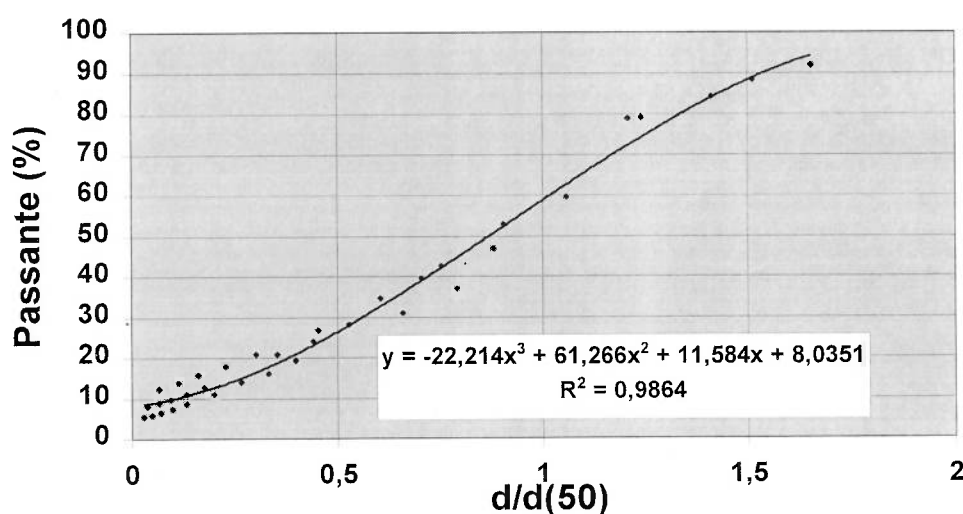


Figura 8 – Curva de regressão dos produtos de britagem de Pádua

Isto é importante como ferramenta para o projeto de instalações de britagem. A curva de regressão é especialmente interessante porque mostra que os resultados das 16 distribuições granulométricas obtidas nos ensaios (4 aberturas com cada matéria-prima, em cada britador) têm todas o mesmo comportamento, dentro de um coeficiente  $r^2$  de correlação igual a 98,64%.

## 7.2. Índice de forma das partículas

Foi determinado também o índice de forma da brita seguindo a norma NBR – 7809/82, e os dados obtidos são apresentados na tabela 21, onde se concluiu que as partículas apresentam forma cúbica.

Tabela 21 – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro (NBR – 7809/82)

fragmento	dimensões (mm)			relações	
	a	b	c	b/a	c/b
1	38,0	30,5	12,0	0,80	0,39
2	41,0	20,6	13,2	0,50	0,66
3	43,8	20,0	15,0	0,46	0,75
4	47,0	24,5	14,6	0,52	0,60
5	60,0	24,0	15,0	0,40	0,62
6	40,0	23,0	15,0	0,57	0,65
7	57,0	22,0	18,0	0,38	0,82
8	50,0	31,5	21,0	0,63	0,67
9	39,0	19,0	15,0	0,49	0,79
10	52,0	30,0	12,0	0,57	0,40
11	49,5	17,0	13,0	0,34	0,76
12	61,0	28,0	14,0	0,46	0,50
13	45,0	30,0	19,0	0,67	0,63
14	45,0	21,5	9,50	0,48	0,44
15	52,0	19,0	14,0	0,36	0,73
16	46,0	22,0	11,0	0,48	0,50
17	49,0	22,5	15,0	0,46	0,67
18	34,5	22,0	13,0	0,63	0,59
19	40,0	26,0	16,0	0,65	0,61
20	39,0	26,0	8,00	0,67	0,31
21	31,0	26,5	8,00	0,85	0,30
22	41,0	29,5	12,0	0,71	0,40
23	30,0	28,0	7,00	0,93	0,25
24	47,6	25,0	12,0	0,52	0,48
25	49,0	27,0	11,0	0,55	0,41
média				0,56	0,56

## RELAÇÕES MÉDIAS

 $b/a > 0,5$  e  $c/b > 0,5$  $b/a < 0,5$  e  $c/b > 0,5$  $b/a > 0,5$  e  $c/b < 0,5$  $b/a < 0,5$  e  $c/b < 0,5$ 

## CLASSIFICAÇÃO

CÚBICA

ALONGADA

LAMELAR

ALONGADA-LAMELAR

## 7.3 Ensaio de desgaste por abrasão "Los Angeles"

Prepararam-se 5.000g de amostra nas granulometrias apresentadas na tabela 22.

Tabela 22 - Granulometria da amostra para ensaio de "Los Angeles"

peneiras (#)		peso (g)
passante	retido	
38	25	1.250 ± 25
25	19	1.250 ± 25
19	12,5	1.250 ± 25
12,5	9,5	1.250 ± 25
Total		5.000 ± 100

Os agregados foram submetidos a 500 voltas do tambor de abrasão "Los Angeles" (foto 43), que consta de um cilindro de aço ( $\phi = 710$  mm e  $l = 510$  mm), com velocidade de 30 a 33 rpm. Dentro do cilindro são colocadas 12 esferas de ferro fundido de 47,6mm de diâmetro e peso entre 390 e 445g cada uma (a diferença de peso é proveniente do desgaste das esferas durante o período de uso).

Após a colocação das esferas de aço, fecha-se o tambor e aciona-se-o. Ao término do número especificado de rotações, o material é retirado, separando-se a carga e passando-se o material retirado do tambor na peneira 1,7mm. Descarta-se o material fino e o com granulometria superior a 1,7 mm é pesado. Calcula-se o desgaste “Los Angeles” do agregado, através da fórmula mostrada a seguir.

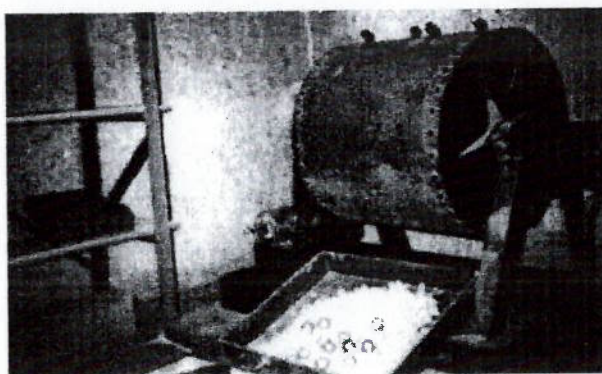


Foto 43 - Aparelho de ensaio “Los Angeles”

$$A_n = \frac{M_n - M'_n}{M_n} \times 100$$

$A_n$  – Desgaste do agregado, por abrasão, na graduação (n).

$M_n$  – Massa da amostra seca antes do ensaio = 5.000 g

$M'_n$  – Massa do material retido na peneira de 1,7mm após ensaio = 2.267 g

Logo:

$$A_n = \frac{(5.000 - 2.267) \times 100}{5.000} = 54,6\%$$

Sendo assim, conclui-se que a amostra ensaiada apresentou um valor de resistência “Los Angeles” maior que o valor recomendado pela norma NBR 6465, que é 50%. Isto significa que a brita tem uma resistência média, ou seja, sendo recomendada para obras de pequeno e médio porte.



#### 7.4. Ensaio de compressão em concreto

Misturou-se a brita com granulometria entre 25,4 a 4,76 mm com cimento, areia e água. Fez-se a mistura de modo a obter-se 1 m<sup>3</sup> de concreto. A seguir foram feitos corpos-de-prova de 15x30 cm e 10x20 cm.

- traço (1 m<sup>3</sup>) do concreto:

Cimento = 400 kg

Brita = 1.080 kg

Areia = 707 kg

Água = 200 l

Fator Água/Cimento = 0,50

Nas tabelas 23 e 24 são apresentados os resultados obtidos para a resistência à compressão em dois corpos-de-prova diferentes, de 15x30cm e 10x20cm, após 7 dias de cura.

Tabela 23 – Resistência à compressão após 7 dias em CP 15 x 30 cm

CP – 15X30 cm	carga (kgf)	Fc (MPa) – 7 dias
CP1	34.000	19,2
CP2	25.000	14,1
MÉDIA		16,5

Tabela 24 – Resistência à compressão após 7 dias em CP de 10 x 20 cm

CP – 10X20 cm	carga (kgf)	Fc (MPa) – 7 dias
CP1	13.000	16,5
CP2	13.500	17,1
MÉDIA		17,0

Na tabela 25 é mostrado o resultado obtido para resistência à tração por compressão diametral, após 7 dias de cura.

Tabela 25 - Resistência à tração por compressão diametral em CP de 10 x 20 cm

CP – 10X20 cm	carga (kgf)	ft (MPa) – 7 dias
CP1	6.000	1,9
CP2	8.000	2,5
MÉDIA		2,2

O concreto foi dosado empregando-se o cimento Portland do tipo CPII E32. Assim pode-se afirmar que a resistência à compressão do concreto obtida aos 7 dias é cerca de 73% da resistência que poderá ser alcançada aos 28 dias. Portanto, para os 28 dias a resistência à compressão deverá ser de aproximadamente 23 MPa. Esta resistência enquadra-se numa classificação de brita classe média, para ser usada em obras civis de pequeno e médio porte, o que é a demanda das obras da região.

## **8. USINA DE BRITA A PARTIR DA BRITAGEM DOS REJEITOS DE PEDREIRA E SERRARIA**

### **8.1. Descrição do projeto**

A perda total partindo-se do material retirado na pedreira até a obtenção dos produtos finais é em torno de 70%. Deste total, 40% são perdas na lavra e 30% no beneficiamento, ou seja, perdas na preparação dos blocos e das placas nas pedreiras e nas operações de serraria.

Estes rejeitos são lançados de maneira desordenada ao longo das estradas ou sobre os terrenos, constituindo um impacto ambiental significativo.

O que se propõe, é oferecer uma alternativa tecnicamente viável para o aproveitamento dos refugos das etapas de lavra e beneficiamento através da britagem dos rejeitos, de modo a produzir agregados para a construção civil: pedra britada e areia.

Um projeto de aproveitamento da brita/areia na região, além de gerar receita e emprego para o município, traz ainda dentre outros, os seguintes benefícios: custo zero de lavra com aproveitamento de material já extraído e estocado, saneamento ambiental, minimização dos índices de acidentes e do impacto ambiental da região.

#### **8.1.1. Fluxograma da usina de brita**

A usina de brita será instalada próximo à serraria da empresa Raio do Sol, na rodovia Pádua-Paraoquena, km 4, pertencente ao Sr. João Luiz Nacif.

A usina terá uma capacidade de produção de  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ , operando  $10 \text{ h/d}$  durante  $300 \text{ d/a}$ . Assim teremos:

$$\text{produção total} = 300 \times 10 \times 10 = 30.000 \text{ m}^3/\text{a}$$

– Descrição do fluxograma:

Na figura 9 é mostrado o fluxograma da usina de brita.

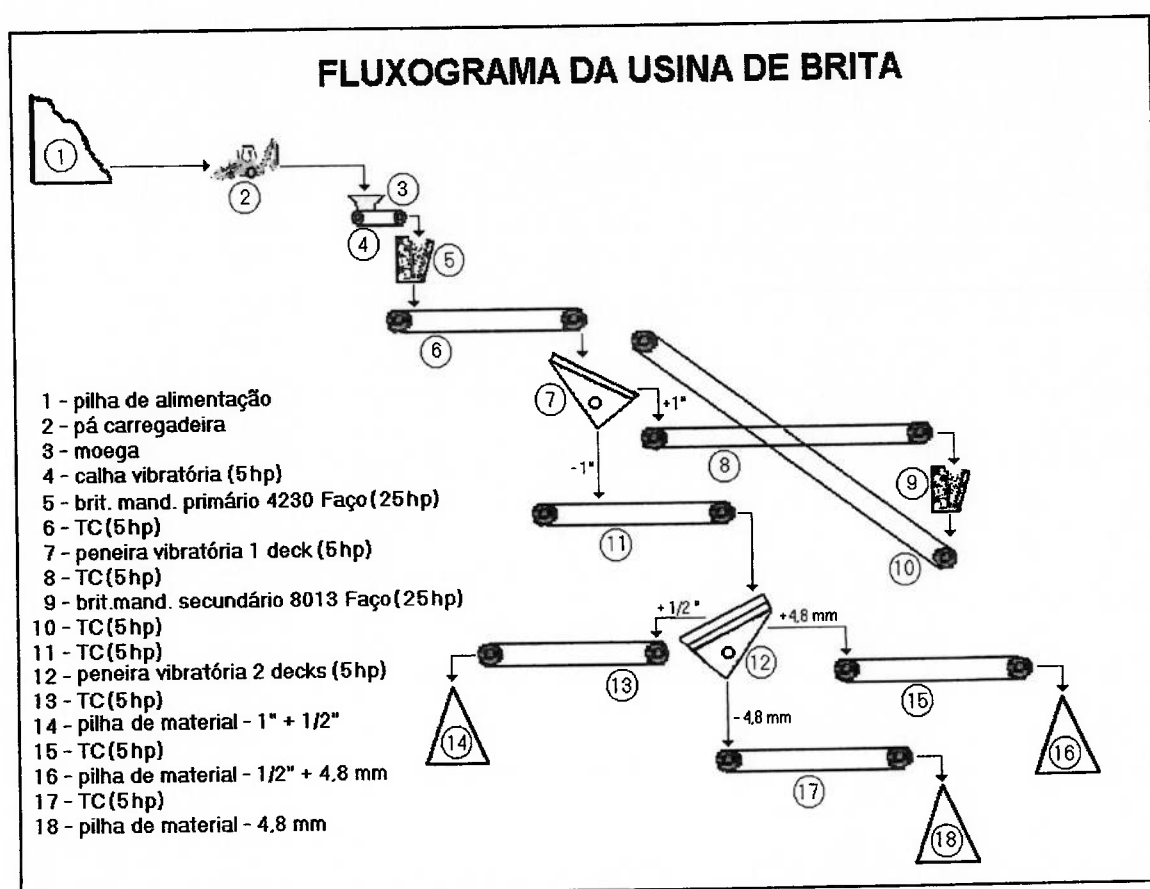


Figura 9 - Fluxograma da usina de brita

Os rejeitos provenientes da lavra/serraria são estocados numa pilha de alimentação. Uma pá carregadeira faz o transporte do material da pilha para a moega/calha vibratória. A seguir o material é alimentado num britador de mandíbulas Faço 4230. Após a britagem, o material cai num transportador de

correia (TC), que o leva a uma peneira vibratória com tela de 1". O material retido em 1" , através de um TC, alimenta um britador de mandíbulas Faço 8013. O material britado, através de um TC, retorna à peneira vibratória (tela de 1"), fechando o circuito de britagem secundária.

Todo o material abaixo de 1" cai num TC que alimenta uma peneira vibratória com duas telas, ½ " e 4,8 mm. Obtêm-se então três tipos de materiais de granulometrias diferentes:

- fração – 1" + ½ " (brita 2) – que é conduzida através de um TC para uma pilha de estoque (48%);
- fração – ½ " + 4,8 mm (brita 1) – que é conduzida através de um TC para uma pilha de estoque (29%);
- fração – 4,8 mm (pó-de-pedra) – que é conduzida através de um TC para uma pilha de estoque (23%).

A brita 2 é usada principalmente em concreto, a brita 1 em concreto e pré-moldados e o pó-de-pedra em pré-moldados.

O memorial de cálculo deste circuito (simulação das britagens e peneiramentos e dimensionamento dos equipamentos) é apresentado no Anexo II.

Como resultado, a lista de equipamentos principais, potências e preços é mostrada a seguir:

Equipamentos	Potência (HP)	Valor (R\$)
- Britador de mandíbulas primário (FAÇO) modelo 4230 com capacidade 14 m <sup>3</sup> /h	25	60.000,00
- Britador de mandíbulas secundário (FAÇO) modelo 8013 com capacidade 14 m <sup>3</sup> /h	25	64.000,00
- Peneira vibratória de 2 decks (TBM- PVA 90/2 área de cada deck: 0,9m <sup>2</sup> )	5	21.000,00
- Peneira vibratória de 1 deck (TBM – PVA 90/2 área do deck: 0,9 m <sup>2</sup> )	5	17.000,00
- Calha vibratória (FAÇO CV1005)	5	8.000,00
- 7 transportadoras de correias (FAÇO) com largura de 16" e comprimento de 10 m	35	105.000,00
- Pá carregadeira sobre pneus (Caterpillar)		75.000,00
Total	100	350.000,00

Obs.: Preços obtidos por consulta telefônica a fabricantes tradicionais.

## 8.2. Estudo da pré-viabilidade econômica de uma usina de brita

### 8.2.1. Investimentos

O montante de investimentos foi calculado pelo método da fatoração. Este método parte do investimento em equipamentos principais de processo e, através de fatores, conhecidos da experiência anterior com projetos semelhantes, avalia os demais itens.

Desta forma a estruturação dos investimentos fica :

1.	Equipamentos principais do projeto	R\$ 350.000,00
2.	Equipamentos auxiliares (30% de 1)	R\$ 105.000,00
3.	Montagem e instalações eletromecânicas (20% de 1)	R\$ 68.250,00
4.	Obras civis (10% de 1)	R\$ 35.000,00
5.	Serviços de engenharia , gerenciamento (13% de 1)	R\$ 44.660,00
6.	Impostos (6,5% de 1)	R\$ 22.750,00
7.	Transportes e seguros (3,9% de 1)	R\$13.650,00
8.	Móveis e utensílios (0,4% de 1)	R\$ 1.300,00
	Subtotal	R\$ 640.610,00
	Capital de giro	R\$ 32.030,00
	Total	R\$ 672.640,00
	Total aproximado	R\$ 675.000,00

O capital de giro considerou os recursos necessários para operar a usina durante 3 meses (item 8.2.3)

### 8.2.2. Receita do projeto e tributação

Sendo a produção da usina de 10 m<sup>3</sup>/h, operando 10 h/d, 300 d/ano, teremos:

$$\text{Produção total} = 300 \times 10 \times 10 = 30.000 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Sendo o preço do m<sup>3</sup> da brita de R\$ 16,00, aproveitando-se 80% material (> 4,8 mm) a receita total será de  $30.000 \times 16 \times 0,8 = \text{R\$ } 384.000,00/\text{ano}$

Incidirão sobre a renda do produto os seguintes tributos:

ICMS- Imposto sobre circulação de mercadorias (18%)

PIS- Programa de integração social (0,65%)

COFINS- Contribuição para financiamento da seguridade social (3%)

CFEM- Compensação financeira pela exploração dos recursos minerais (2%)

Totalizando 24% da receita bruta.

$$\text{Portanto, tributação} = 0,24 \times 384.000,00 = 92.160,00 \text{ R\$/ano}$$

### 8.2.3. Custo operacional

#### a) Custo de mão-de-obra

Adotaram-se salários compatíveis com os valores pagos na região, conforme informações de empresários locais. Os encargos sociais foram admitidos como sendo 90% do valor nominal dos salários.



	salário / mês	salário / ano
2 técnicos	1.400,00	18.200,00
1 operador pá carregadeira	600,00	7.800,00
2 auxiliares	600,00	7.800,00
2 seguranças	600,00	7.800,00
1 administrativo	600,00	7.800,00
1 secretária	400,00	5.200,00
Total		54.600,00
encargos sociais		49.140,00
custo total de mão-de-obra		103.740,00 R\$/ano

Custo aproximado = R\$ 105.000,00/ano

#### b) Custo de insumos anuais

Energia elétrica:  $75\text{kW} \times 300\text{d/a} \times 10\text{h/d} \times 0,07 \text{ R\$/kWh} = 15.750,00 \text{ R\$/ano}$

Energia elétrica (aproximado) 16.000,00 R\$/ano

Combustíveis (estimado) 8.000,00 R\$/ano

Soma 24.000,00 R\$/ano

Matéria-prima não considerada

Custo operacional anual 129.000,00 R\$/ano

#### 8.2.4. Fluxo de caixa descontado

Na página seguinte é apresentado fluxo de caixa para este empreendimento. Adotou-se uma taxa de descontos de 15% a.a. Adotou-se também a convenção de fluxo anual, todos os investimentos correndo no ano zero e considerou-se plena operação a partir do ano 1. A vida útil do empreendimento foi fixada em 10 anos.

Para o cálculo da tributação adotou-se depreciação linear durante 10 anos, com valor residual nulo.



A análise do fluxo de caixa mostra que:

- valor presente do projeto é de R\$ 338.303,00;
- a taxa interna de retorno (descontada) é de 12,1% a. a.;
- tempo de recuperação de investimento é de 4 anos.

## 9. CONCLUSÕES

- Pela descrição petrográfica, a rocha em questão foi classificada como uma hornblenda-biotita-gnaiss, e seus minerais encontram-se fortemente orientados.
- Pelos resultados de difração de raios x e análises mineralógicas, concluiu-se que as amostras rejeitos de pedreira e sobras de serraria, têm a mesma composição química/mineralógica, sendo portanto iguais, constituídas principalmente por feldspato (62%), quartzo (25%), biotita (7%) e hornblenda (5%). Entre os feldspatos predominam o potássico (microclínio) e o sódico (albita) sobre o cálcico (anortita). Como minerais menos importantes foram caracterizados zircão, apatita e ilmenita.
- Na caracterização tecnológica, a rocha em questão apresentou índices normais de dureza *Knoop*, assim como os índices físicos (densidade, porosidade e absorção d'água), dilatação térmica e velocidade de propagação de ondas. Os ensaios de compressão uniaxial e flexão executados com o carregamento perpendicular à estrutura milolítica da rocha, apresentaram valores dentro dos limites recomendados pela ASTM e aqueles sugeridos por FRAZÃO & FARJALLAT (1996). O resultado encontrado no ensaio de desgaste de *Amsler*, demonstra que a rocha apresenta um valor acima do recomendado por estes autores, que porém não restringe seu uso para pisos de baixo tráfego.
- Pelos resultados dos ensaios de britagem concluiu-se que os materiais rejeitos de pedreira e sobras de serraria têm o mesmo comportamento granulométrico, típico de um granito/gnaiss. Isto pode ser melhor constatado pela comparação com uma brita utilizada industrialmente no Rio de Janeiro (Pedreira Convém), porém o material de Pádua produz mais finos em todas as frações

granulométricas.

- Numa britagem de material abaixo de 1" em britador de mandíbulas (circuito fechado), obtêm-se as seguintes proporções de brita:
  - 25 x 12,7 mm – 48% (brita 2);
  - 12,7 x 4,8 mm – 29% (brita 1);
  - <4,8 mm – 23% (pó-de-pedra).
  
- Foi determinado o índice de forma da brita pelo método do paquímetro (NBR – 7809/82), e a mesma apresentou um formato cúbico, que é uma boa característica para construção civil.
- O resultado da abrasão "Los Angeles" da brita é de 54%, valor este um pouco maior que o recomendado (<50%).
- O resultado da resistência à compressão do concreto feito com a brita de Pádua (23 MPa) a enquadra como uma brita de média resistência, sendo recomendável na utilização em obras civis de pequeno e médio porte.
- A proposta desta tese, é oferecer uma alternativa tecnicamente viável para o aproveitamento dos rejeitos das etapas de lavra e beneficiamento. A idéia é britá-los de modo a produzir agregados para a construção civil: pedra britada e areia. A usina de brita constará principalmente das seguintes etapas: alimentação, britagem em 1" e classificação em 1", ½" e 4,8 mm. Serão obtidos três produtos:
  - 25 x 12,7 mm (brita 2) – para uso em concretos;
  - 12,7 x 4,8 mm (brita 1) – para uso em concretos e em pré-moldados;
  - < 4,8 mm (pó-de-pedra) – para uso em pré-moldados.

- Um estudo de pré-viabilidade econômica para a operação de uma usina de brita de 30.000 m<sup>3</sup>/ano de capacidade, projetou um investimento total de R\$ 675.000,00 com uma receita anual de R\$ 384.000,00 e gerando uma taxa de retorno de 12% a.a., já considerada a taxa de desconto de 15% a.a., valor presente líquido (após 10 anos) de R\$ 338.303,00 e período de recuperação do investimento no prazo de 4 anos.
- Um projeto de aproveitamento de brita/areia em Santo Antônio de Pádua é auto-sustentável, pois além de gerar receita e emprego para o município, traz ainda, dentre outros, os seguintes benefícios: não-utilização de explosivos e fogacho, custo zero de lavra, aproveitamento de material já extraído e estocado, saneamento ambiental, minimização dos índices de acidente e do impacto ambiental da região.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREU, S. F. L. **Recursos minerais do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro, Edgard Blucher/Instituto Nacional de Tecnologia, 1973. 2v.
2. ALBUQUERQUE, G.A.S.C.; CAMPOS, A. R.; ALMEIDA, S.L.M. **Projeto de assistência técnica a pedra em Santo Antônio de Pádua-RJ: relatório final**. Rio de Janeiro, Convênio SEBRAE/CETEM, 1997.
3. ALENCAR, C.R.A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D.L.C. **Estudo econômico sobre rochas ornamentais, tecnologias de lavra e beneficiamento**. Fortaleza, IEL/FIEC, 1996. v. 3.
4. ALMEIDA, S.L.M.; ALBUQUERQUE, G.A.S.C.; CAMPOS, A. R. **Relatório de viagem a Santo Antônio de Pádua – RJ**. Rio de Janeiro, CETEM/CNPq, 1996. (RV-18/96)
5. ALMEIDA, S.L.M.; CAMPOS, A. R. **Relatório de viagem a Santo Antônio de Pádua-RJ**. Rio de Janeiro, CETEM/CNPq, 1996. (RV-17/96)
6. ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO. Brasília, 1998.
7. ARCOVERDE, W. L. Panorama nacional e internacional do mercado de rochas ornamentais e de revestimento. In: SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 1., Olinda, 1998. **Anais**. s.L., s.n., 1998. p. 110-23.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas para revestimento. Determinação do módulo de deformação estático - NBR 10341**. Rio de Janeiro, 1992. 3 p.
9. \_\_\_\_\_ **Rochas para revestimento. Determinação do desgaste por abrasão - NBR 12042**. Rio de Janeiro, 1992. 3 p.
10. \_\_\_\_\_ **Rochas para revestimento. Determinação da resistência à flexão - NBR 12763**. Rio de Janeiro, 1992. 3 p.
11. \_\_\_\_\_ **Rochas para revestimento. Determinação da resistência ao impacto de corpo duro - NBR 12764**. Rio de Janeiro, 1992. 2 p.
12. \_\_\_\_\_ **Rochas para revestimento. Determinação do coeficiente de dilatação técnica linear - NBR 12765**. Rio de Janeiro, 1992. 3 p.
13. \_\_\_\_\_ **Rochas para revestimento. Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água - NBR 12766**. Rio de Janeiro, 1992. 2 p.
14. \_\_\_\_\_ **Rochas para revestimento. Determinação da resistência à compressão uniaxial - NBR 12767**. Rio de Janeiro, 1992. 2p.

15. \_\_\_\_\_ Rochas para revestimento. Análise petrográfica - NBR 12768. Rio de Janeiro, 1992. 2p.
16. \_\_\_\_\_ Agregado para concreto - NBR 7211. Rio de Janeiro, 1993. 4 p.
17. \_\_\_\_\_ Materiais de pedra e agregados naturais - NBR 7225. Rio de Janeiro, 1993. 4p.
18. AZAMBUJA, J.C.; GONÇALVES DA SILVA, Z. C. Perfil analítico dos mármore e granitos. São Paulo, DNPM, 1977. v.1. (Boletim, n. 38)
19. BRAGA, P. F. A. Desenvolvimento do processo para aproveitamento de feldspato contido em finos de pedreira de nefelina sienito. São Paulo, 1999. 112p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Minas, Universidade de São Paulo.
20. CALAES, A. D. Estudo setorial de rochas ornamentais do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, CONDET, FIRJAN, 1999. v.2.
21. CAMPOS, A.R.; ALMEIDA, S.L.M. Relatório de atividades no âmbito do projeto Santo Antônio de Pádua-RJ. Rio de Janeiro, CETEM/CNPq, 1997. (RV-05/97)
22. CAMPOS, A.R.; ALMEIDA, S.L.M. Relatório de visita técnica as pedreiras de São Paulo. Rio de Janeiro, CETEM/CNPq, 1996. (RV-19/96)
23. CANINÉ, J.M. Pedra Miracema, a rocha ornamental de Santo Antônio de Pádua. Niterói, Departamento de Recursos Minerais, 1992.
24. CARANASSIOS, A. Utilização do fio diamantado como tecnologia avançada para extração de granitos para fins ornamentais. Rochas de Qualidade, São Paulo, n. 106, p. 79-85, 1991.
25. CARANASSIOS, A.; CICCUCI, R. Tecnologia de extração e valorização das rochas ornamentais. Rochas de Qualidade, São Paulo, n. 109, p. 58-77, 1992.
26. CARUSO, L. G.; FARJALLAT, J.E.S.; TAIOLI, F. Os mármore e granitos brasileiros – seu uso e suas características tecnológicas. Rochas de Qualidade, São Paulo, n. 47, p. 69-74, 1978.
27. CAVALCANTI, R. N. Caracterização da oferta e demanda de agregados minerais em Campinas. Campinas, 1990. 171p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
28. CHAVES, A. P.; PERES, A. C. Teoria e prática do tratamento de minérios: britagem, peneiramento e moagem. São Paulo, Signus, 1999. v.3.



29. CHIODI FILHO, C. **Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais.** Rio de Janeiro, CETEM/CNPq, 1995. 75p. (Série Estudos e Documentos)
30. CHIODI FILHO, C. Situação e perspectivas brasileiras no mercado internacional de rochas ornamentais. **Rochas de Qualidade**, São Paulo, n. 118, p. 39-48, 1994.
31. CHIODI FILHO, C.; ONO, P. A. Tipos de lavra e técnicas de corte para desmonte de blocos. **Rochas de Qualidade**, São Paulo, n. 120, p. 93-106, 1995.
32. CICCUCI, R. Processo de alterazione e rimedi al degrado del manufatti lapidei. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 3., Verona, 1994. Atti. Parma, PEI, 1994. p. 294-7.
33. CICCUCI, R. Waterjet in ornamental stone engineering. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 2., São Paulo, 1993. **Anais.** São Paulo, EPUSP, 1993. p. 407-24.
34. CRESPO, A. Novas tecnologias para extração de rochas ornamentais. **Rochas & Equipamentos**, Lisboa, n. 24, p. 122-36, 1991.
35. DANA, J. D.; HURLBUT JUNIOR, C.S. **Manual de mineralogia**; trad. de Rui Ribeiro Franco. Rio de Janeiro, Livro Técnico/EPUSP, 1976. 2 v.
36. DUARTE, G. W. Uso e desempenho do fio diamantado em maciço rochoso. **Rochas de Qualidade**, São Paulo, n. 115, p. 93-7, 1993.
37. Fabrica de Aço Paulista S.A.. **Manual de britagem.** 5. ed. São Paulo, Faço, 1994.
38. FARIA, W.S. Sondagens rotativas e mapeamento geológico-estrutural. **Rochas de Qualidade**, São Paulo, n. 109, p. 44-5, 1992.
39. FARIAS, C. E. G.; CALAES, A. D. **Mercado nacional: estudo econômico sobre rochas ornamentais.** Fortaleza, IEL, 1995. v. 2.
40. FONSECA, R. S. O setor de mármore e granito na Europa. **Rochas de Qualidade**, São Paulo, n. 112, p. 86-90, 1993.
41. FRAZÃO, E. B. Caracterização tecnológica de rochas de revestimento. **Rochas de Qualidade**, São Paulo, n. 110, p. 111-3, 1992.
42. FRAZÃO, E. B.; PARAGUASSU, E. F. Materiais rochosos para construção. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A., eds. **Geologia de engenharia.** São Paulo, ABGE, 1998. Cap. 20, p. 331-42.

43. FRAZÃO, E. B.; FARJALLAT, J. E.S. Proposta de especificação para rochas silicáticas de revestimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA E ENGENHARIA, 8., Rio de Janeiro, 1996. **Anais**. São Paulo, ABGE, 1996. v. 1, p. 369-80.
44. GONÇALVES, J. R. A. **Caracterização dos agregados graúdos da cidade do Rio de Janeiro e na utilização nos concretos de alta resistência**. Rio de Janeiro, 1996. 135p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
45. HERMANN, H. **Política de aproveitamento de areia do Estado de São Paulo: dos conflitos existentes às compatibilizações possíveis**. Rio de Janeiro, CETEM/CNPq, 1992. 186 p.
46. LUZ, A. B.; POSSA, M. V.; ALMEIDA, S. L. M., eds. **Tratamento de minérios**. 2.ed. Rio de Janeiro, CETEM/CNPq, 1998. 676 p.
47. MACEDO, A. J. B. **Análise específica de maciços rochosos para rochas ornamentais**. Campina Grande, 1998. 217p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal da Paraíba.
48. MAIA, M.S. **Relatório do projeto Pedreiras de Santo Antônio de Pádua**. Recife, s.n., 1996.
49. MASON, B. H. Lightweight aggregates. In: INDUSTRIAL minerals and rocks. 6.ed. New York, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, 1994. p. 343-50.
50. McCARL, H. N. Aggregates: markets and uses. In: INDUSTRIAL minerals and rocks. 6.ed. New York, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, 1994. p. 287-93.
51. MELO JÚNIOR, L.A. **Panorama da indústria de rochas ornamentais e oportunidades para o Ceará**. Campinas, 1991. 152p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
52. MENDES, K. S. **Viabilidade do emprego de finos de basalto em concretos compactado de rolo**. São Paulo, 1999. 109p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
53. MOYA, M.M. **A indústria de rochas ornamentais: estudo de caso na região de Bragança Paulista, SP**. Campinas, 1995. 116p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
54. OLIVEIRA, T.M.A. **Avaliação técnica e econômica da extração de rochas ornamentais no município de Santo Antônio de Pádua-RJ**. Rio de Janeiro, 1998. 157 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

55. PEITER, C. C. **Abordagem participativa na gestão de recursos minerais.** São Paulo, 2000. 135p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
56. PINHEIRO, T.T. **Necessidades e importância dos agregados para a indústria da construção civil no Brasil.** In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE MINERAÇÃO EM ÁREAS URBANAS, 1., São Paulo, 1989. **Anais.** São Paulo, PRÓ-MINÉRIO, 1989. p. 61-70.
57. RIBEIRO, E. M. **Adequação de agregados utilizados em concreto arquitetônico de alto desempenho.** Rio de Janeiro, 1997. 283 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
58. RIBEIRO, I. A. **Agregados: demanda desaquecida.** **Brasil Mineral**, São Paulo, n. 69, p. 44-55, ago. 1989.
59. SCHALCH NETO, J. A. ; AZEVEDO, R. M. B. ; RUIZ, M. S. ; FIORILLO, C. M. **Perfil 5 – Brita.** In: MERCADO produtor mineral do estado de São Paulo. São Paulo, PRÓ-MINÉRIO/IPT, 1990. p. 87-98.
60. SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E. T.; COELHO, C. E. S., eds. **Principais depósitos minerais do Brasil.** Brasília, DNPM, 1991. v. 4, p. A: Gemas e rochas ornamentais.
61. SILVA, M.A.R. **Relatório do projeto SEBRAE/Santo Antônio de Pádua.** São Paulo, Iudice Mineração Ltda, 1997.
62. SILVA, R. E. C. **Estudo geológico-técnico-ambiental de uma pedreira de rocha ornamental no município de Santo Antônio de Pádua, RJ.** Rio de Janeiro, 1999. 140p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
63. STELLIN JÚNIOR, A. **Mármore e granitos brasileiros.** In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 1., Cagliari, 1990. **Atti.** Cagliari : Universita Degli Studi Di Cagliari, 1990. p. 293-306.
64. STELLIN JÚNIOR, A. **Serragens de granitos para fins ornamentais.** São Paulo, EPUSP, 1998. 37 p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Minas, BT / PMI/085)
65. SUMÁRIO MINERAL. Brasília. v.20, 2000.
66. THOREAU, B. **L'utilizzazione del filo diamantato nelle cave de granito.** s.L., s.n., 1994. /Apresentado ao 1. Congresso Internacional de Arquitetura, Rochas Ornamentais e Tecnologia, Salvador, 1994/

67. TONSO, S. **As pedreiras no espaço urbano: perspectivas construtivas.** Campinas, 1994. 131p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
68. TRATAMENTO de minérios e hidrometalurgia: in memoriam Professor Paulo Abib Andery. Recife, Fundação Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco, 1980.
69. VALE, E. **Mercado internacional de rochas ornamentais.** Fortaleza, IEL/FIEC, 1997. v.4.
70. VIDAL, F. W. H.; BESSA, . F.; LIMA, M. A. B. **Avaliação de rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas.** Rio de Janeiro, CETEM/CNPq, 1999. 30p. (Série Tecnologia Mineral)
71. VIDAL, F.W.H. **A indústria extrativa de rochas ornamentais no Ceará.** São Paulo, 1995. 190p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
72. VIDAL, F.W.H. **Estudos dos elementos abrasivos de fios diamantados para a lavra de granitos do Ceará.** São Paulo, 1999. 173p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
73. WILKS, J.; WILKS, E. **Properties and applications of diamond.** Oxford, Butterworth-Heinemann, 1991. 525p.

## ANEXO I

## Resultado das análises granulométricas

Tabela 26 – Análise granulométrica das sobras de serraria – britador 2015 APF 1<sup>1/4</sup>".

malha	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
1 1/2 "	38,100	9,18	9,18	90,82
1 1/4 "	31,750	15,05	24,23	75,77
1 "	25,400	13,41	37,64	62,36
3/4 "	19,050	19,99	57,63	42,37
5/8 "	15,875	8,55	66,18	33,82
1/2 "	12,700	7,46	73,64	26,36
3/8 "	9,525	4,59	78,23	21,77
1/4 "	6,350	5,40	83,63	16,37
4 #	4,760	2,28	85,91	14,09
6 #	3,360	1,97	87,88	12,12
8 #	2,380	1,72	89,60	10,4
12 #	1,410	1,28	90,88	9,12
- 12 #	-----	9,13	100	-----
Total	-----	100	-----	-----

Tabela 27 – Análise granulométrica dos rejeitos de pedreira – britador 2015 APF 1<sup>1/4</sup>".

malha	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
1 1/2 "	38,100	11,56	11,56	88,44
1 1/4 "	31,750	21,21	32,77	67,23
1 "	25,400	11,40	44,17	55,83
3/4 "	19,050	15,99	60,16	39,84
5/8 "	15,875	8,48	68,64	31,36
1/2 "	12,700	6,90	75,54	24,46
3/8 "	9,525	4,24	79,78	20,22
1/4 "	6,350	4,66	84,44	15,56
4 #	4,760	2,30	86,74	13,26
6 #	3,360	1,81	88,55	11,45
8 #	2,380	1,69	90,24	9,76
12 #	1,410	1,14	91,38	8,62
- 12 #	-----	8,61	100	-----
Total	-----	100	-----	-----

Tabela 28 – Análise granulométrica das sobras de serraria – britador 2015 APF 1”.

malha	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
1 ¼ "	31,750	11,58	11,58	88,42
1 "	25,400	9,58	21,16	78,84
¾ "	19,050	25,87	47,03	52,97
5/8 "	15,875	10,32	57,35	42,65
½ "	12,700	8,13	65,48	34,52
3/8 "	9,525	7,95	73,40	26,60
¼ "	6,350	5,74	79,14	20,86
4 #	4,760	3,01	82,15	17,84
6 #	3,360	2,24	84,39	15,61
8 #	2,380	1,74	86,13	13,87
12 #	1,410	1,54	87,67	12,33
- 12 #	-----	12,33	100	-----
Total	-----	100	-----	-----

Tabela 29 – Análise granulométrica dos rejeitos de pedreira – britador 2015 APF 1”.

malha	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
1 ¼ "	31,750	22,63	22,63	77,37
1 "	25,400	11,98	34,61	65,39
¾ "	19,050	23,14	57,75	42,25
5/8 "	15,875	7,38	65,13	34,87
½ "	12,700	6,90	72,03	27,97
3/8 "	9,525	6,06	78,09	21,91
¼ "	6,350	4,66	82,75	17,25
4 #	4,760	2,52	85,27	14,73
6 #	3,360	1,63	86,90	13,10
8 #	2,380	1,50	88,40	11,60
12 #	1,410	1,36	89,76	10,24
- 12 #	-----	10,24	100	-----
Total	-----	100	-----	-----

Tabela 30 – Análise granulométrica das sobras de serraria – britador 2015 APF 1<sup>1/2</sup>".

malha	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
2 3/8 "	59,525	6,36	6,36	93,64
2 "	50,800	5,84	12,20	87,80
1 1/2 "	38,100	16,05	28,25	71,74
1 1/4 "	31,750	13,97	42,22	57,77
1 "	25,400	8,46	50,70	49,30
3/4 "	19,050	15,95	66,65	33,35
5/8 "	15,875	6,62	73,27	26,73
1/2 "	12,700	5,31	78,58	21,42
3/8 "	9,525	4,86	83,44	16,56
1/4 "	6,350	3,88	87,32	12,68
4 #	4,760	1,87	89,19	10,81
6 #	3,360	1,34	90,53	9,47
8 #	2,380	0,90	91,43	8,57
12 #	1,410	0,88	92,31	7,69
- 12 #	-----	7,69	100	-----
Total	-----	100	-----	-----

Tabela 31 – Análise granulométrica dos rejeitos de pedraira – britador 2015 APF1<sup>1/2</sup>".

malha	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
2 3/8 "	59,525	8,11	8,11	91,88
2 "	50,800	7,61	15,72	84,27
1 1/2 "	38,100	24,61	40,33	59,66
1 1/4 "	31,750	12,70	53,03	46,97
1 "	25,400	7,40	60,45	39,55
3/4 "	19,050	11,37	71,82	28,18
5/8 "	15,875	4,18	76,00	24,00
1/2 "	12,700	3,15	79,15	20,85
3/8 "	9,525	4,82	83,97	16,03
1/4 "	6,350	3,25	87,22	12,78
4 #	4,760	1,85	89,07	10,93
6 #	3,360	1,35	90,42	9,58
8 #	2,380	0,81	91,23	8,77
12 #	1,410	0,81	92,04	7,96
- 12 #	-----	7,96	100	-----
Total	-----	100	-----	-----

Tabela 32 – Análise granulométrica das sobras de serraria – britador 2015 APF 2”.

malha	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
2 3/8 "	59,525	26,60	26,60	73,79
2 "	50,800	11,84	38,44	61,65
1 1/2 "	38,100	20,53	58,97	41,02
1 1/4 "	31,750	14,48	73,75	26,25
1 "	25,400	3,11	76,57	23,43
3/4 "	19,050	6,37	82,94	17,06
5/8 "	15,875	3,23	86,17	13,83
1/2 "	12,700	2,36	88,53	11,47
3/8 "	9,525	2,36	90,89	9,11
1/4 "	6,350	2,19	93,08	6,92
4 #	4,760	0,99	94,07	5,93
6 #	3,360	0,77	94,84	5,16
8 #	2,380	0,41	95,25	4,75
12 #	1,410	0,47	95,72	4,28
- 12 #	-----	4,28	100	-----
Total	-----	100	-----	-----

Tabela 33 – Análise granulométrica dos rejeitos de pedreira – britador 2015 APF 2”.

malha	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
2 3/8 "	59,525	20,77	20,77	79,22
2 "	50,800	23,66	44,43	55,56
1 1/2 "	38,100	18,63	63,07	36,93
1 1/4 "	31,750	68,97	68,97	31,03
1 "	25,400	3,97	72,94	27,06
3/4 "	19,050	7,75	80,69	19,31
5/8 "	15,875	3,28	83,97	16,03
1/2 "	12,700	2,12	86,09	13,91
3/8 "	9,525	2,95	89,04	10,96
1/4 "	6,350	2,35	91,39	8,61
4 #	4,760	1,28	92,67	7,33
6 #	3,360	0,93	93,60	6,40
8 #	2,380	0,59	94,19	5,81
12 #	1,410	0,49	94,68	5,32
- 12 #	-----	5,32	100	-----
Total	-----	100	-----	-----



Tabela 34 – Análise granulométrica dos rejeitos de pedra- britador 3020 APF 1<sup>1/4</sup>".

malha +	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
1 1/2 "	38,100	15,075	15,075	84,925
1 1/4 "	31,750	2,695	17,770	82,230
1 "	25,400	18,419	36,189	63,811
3/4 "	19,050	24,085	60,274	39,726
5/8 "	15,875	6,844	67,118	32,882
1/2 "	12,700	6,364	73,482	26,518
3/8 "	9,525	5,474	78,956	21,044
1/4 "	6,350	4,160	83,116	16,884
4 #	4,762	2,326	85,442	14,578
6 #	3,360	1,982	87,424	12,576
8 #	2,380	1,334	88,758	11,242
12 #	1,410	1,151	89,909	10,091
- 12 #	-	10,090	100	-
Total	-	100	-	-

Tabela 35 – Análise granulométrica das sobras de serraria – britador 3020 APF 1<sup>1/4</sup>".

malha +	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
1 1/2 "	38,100	7,116	7,116	92,884
1 1/4 "	31,750	22,277	29,393	70,607
1 "	25,400	17,109	46,502	53,498
3/4 "	19,050	23,363	69,865	30,135
5/8 "	15,875	4,096	73,961	26,039
1/2 "	12,700	5,196	79,157	20,843
3/8 "	9,525	4,365	83,522	16,478
1/4 "	6,350	3,657	87,179	12,821
4 #	4,762	1,597	88,776	11,224
6 #	3,360	1,273	90,049	9,951
8 #	2,380	1,028	91,077	8,923
12 #	1,410	1,059	92,136	7,864
- 12 #	-	7,865	100	-
Total	-	100	-	-

Tabela 36 – Análise granulométrica dos rejeitos de pedra – britador 3020 APF 1<sup>1/2</sup>".

malha +	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
2 "	50,800	5,922	5,922	94,078
1 1/2 "	38,100	36,767	42,689	57,311
1 1/4 "	31,750	23,888	66,577	33,423
1 "	25,400	8,892	75,469	24,531
3/4 "	19,050	6,313	81,782	18,218
5/8 "	15,875	2,192	83,974	16,026
1/2 "	12,700	2,538	86,512	13,488
3/8 "	9,525	2,428	88,940	11,060
1/4 "	6,350	2,459	91,399	8,601
4 #	4,762	1,463	92,862	7,138
6 #	3,360	0,634	93,496	6,504
8 #	2,380	0,637	94,133	5,867
12 #	1,410	0,616	94,749	5,251
- 12 #	-	5,251	100	-
Total	-	100	-	-

Tabela 37 – Análise granulométrica das sobras de serraria – britador 3020 APF 1<sup>1/2</sup>".

malha +	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
2 "	50,800	3,93	3,93	96,07
1 1/2 "	38,100	30,73	34,66	65,34
1 1/4 "	31,750	25,64	60,30	39,70
1 "	25,400	10,50	70,80	29,20
3/4 "	19,050	9,45	80,25	19,75
5/8 "	15,875	3,59	83,84	16,16
1/2 "	12,700	2,69	86,53	13,47
3/8 "	9,525	2,38	88,91	11,09
1/4 "	6,350	2,30	91,22	8,78
4 #	4,762	1,28	92,50	7,50
6 #	3,360	1,02	93,52	6,48
8 #	2,380	0,62	94,14	5,86
12 #	1,410	0,74	94,88	5,12
- 12 #	-	5,12	100	-
Total	-	100	-	-

Tabela 38 – Análise granulométrica dos rejeitos de pedraira – britador 3020 APF 1”.

malha +	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
1 ½ "	38,100	9,298	9,298	90,702
1 ¼ "	31,750	19,494	28,792	71,208
1 "	25,400	20,180	48,972	51,028
¾ "	19,050	18,995	67,967	32,033
5/8 "	15,875	7,180	75,147	24,853
½ "	12,700	5,604	80,751	19,249
3/8 "	9,525	4,387	85,138	14,862
¼ "	6,350	3,813	88,951	11,049
4 #	4,762	1,863	90,184	9,816
6 #	3,360	1,633	92,447	7,553
8 #	2,380	1,109	93,556	6,444
12 #	1,410	1,134	94,690	5,310
- 12 #	-	5,306	100	-
Total	-	100	-	-

Tabela 39 – Análise granulométrica das sobras de serraria – britador 3020 APF 1”.

malha +	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
1 ½ "	38,100	10,136	10,136	89,864
1 ¼ "	31,750	20,641	30,777	69,223
1 "	25,400	19,084	49,861	50,139
¾ "	19,050	19,063	68,924	31,076
5/8 "	15,875	5,907	74,831	25,169
½ "	12,700	5,872	80,703	19,297
3/8 "	9,525	4,094	84,797	15,203
¼ "	6,350	2,903	87,700	12,300
4 #	4,762	1,864	89,564	10,436
6 #	3,360	1,208	90,772	9,228
8 #	2,380	1,015	91,787	8,213
12 #	1,410	0,973	92,760	7,240
- 12 #	-	7 239	100	-
Total	-	100	-	-

Tabela 40 – Análise granulométrica das sobras de serraria – britador 3020 APF 2”.

malha +	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
2 3/8"	59,525	8,17	8,17	91,83
2 "	50,800	27,528	27,528	72,472
1 1/2 "	38,100	33,368	60,896	39,104
1 1/4 "	31,750	16,751	77,647	22,353
1 "	25,400	6,719	84,366	15,634
3/4 "	19,050	5,396	89,762	10,238
5/8 "	15,875	1,564	91,326	8,674
1/2 "	12,700	2,256	93,582	6,418
3/8 "	9,525	1,618	95,200	4,800
1/4 "	6,350	1,681	96,881	3,119
4 #	4,762	0,912	97,793	2,207
6 #	3,360	0,592	98,385	1,615
8 #	2,380	0,646	99,031	0,969
12 #	1,410	0,397	99,428	0,572
- 12 #	-	0,571	100	-
Total	-	100	-	-

Tabela 41 – Análise granulométrica dos rejeitos de pedra – britador 3020 APF 2”.

malha +	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
2 3/8"	59,525	2,453	2,453	97,547
2 "	50,800	19,157	21,617	78,383
1 1/2 "	38,100	42,146	63,763	36,237
1 1/4 "	31,750	12,201	75,964	24,036
1 "	25,400	4,575	80,539	19,461
3/4 "	19,050	4,723	85,262	14,738
5/8 "	15,875	1,794	87,056	12,944
1/2 "	12,700	2,571	89,627	10,373
3/8 "	9,525	1,747	91,374	8,626
1/4 "	6,350	1,841	93,215	6,785
4 #	4,762	1,074	94,289	5,711
6 #	3,360	0,679	94,968	5,032
8 #	2,380	0,591	95,559	4,441
12 #	1,410	0,537	96,096	3,904
- 12 #	-	3,899	100	-
Total	-	100	-	-

Tabela 42 – Análise granulométrica ROM Convém – britador 2015 APF 1”.

malha +	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
1 ½ "	38,100	6,493	6,483	93,517
1 ¼ "	31,750	8,259	14,742	85,258
1 "	25,400	16,224	30,966	69,034
¾ "	19,050	23,567	54,533	45,467
5/8 "	15,875	8,236	62,769	37,231
½ "	12,700	7,508	70,277	29,723
3/8 "	9,525	5,656	75,933	24,067
¼ "	6,350	5,024	81,137	18,863
4 #	4,762	1,607	82,807	17,193
6 #	3,360	1,693	84,500	15,500
8 #	2,380	1,459	85,959	14,041
12 #	1,410	2,315	88,274	11,726
- 12 #	-	11,904	100	-
Total	-	100	-	-

Tabela 43 – Análise granulométrica ROM Convém – britador 2015 APF 1½”.

malha +	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
2 "	50,800	9,322	9,322	90,678
1 ½ "	38,100	17,558	26,880	73,120
1 ¼ "	31,750	19,123	46,003	53,997
1 "	25,400	10,529	56,532	43,468
¾ "	19,050	16,198	72,730	27,270
5/8 "	15,875	4,279	77,009	22,991
½ "	12,700	4,137	81,146	18,854
3/8 "	9,525	3,049	84,195	15,805
¼ "	6,350	1,353	86,548	13,452
4 #	4,762	1,820	88,368	11,632
6 #	3,360	1,389	89,757	10,243
8 #	2,380	1,156	90,913	9,087
12 #	1,410	1,261	92,174	7,862
- 12 #	-	7,828	100	--
Total	-	100	-	-

Tabela 44 – Análise granulométrica ROM Convém – britador 2015 APF 1<sup>1/4</sup>".

malha +	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
1 1/2 "	38,100	4,098	4,098	95,902
1 1/4 "	31,750	13,510	17,608	82,392
1 "	25,400	15,800	33,408	66,592
3/4 "	19,050	24,934	58,342	41,658
5/8 "	15,875	7,067	65,409	34,591
1/2 "	12,700	7,058	72,467	27,533
3/8 "	9,525	4,803	77,270	22,730
1/4 "	6,350	4,043	81,313	18,687
4 #	4,762	2,600	83,913	16,087
6 #	3,360	2,533	86,446	13,554
8 #	2,380	1,795	88,241	11,759
12 #	1,410	1,698	89,939	10,061
- 12 #	-	10,059	100	-
Total	-	100	-	-

Tabela 45 – Análise granulométrica ROM Convém – britador 2015 APF 2 "

malha +	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
2 3/8 "	59,525	15,120	15,120	84,880
2 "	50,800	9,885	25,006	74,994
1 1/2 "	38,100	24,643	49,649	50,351
1 1/4 "	31,750	13,000	62,649	37,351
1 "	25,400	8,336	70,985	29,015
3/4 "	19,050	9,101	80,086	19,914
5/8 "	15,875	3,312	83,398	16,602
1/2 "	12,700	2,347	85,745	14,255
3/8 "	9,525	2,308	88,053	11,947
1/4 "	6,350	1,789	89,842	10,158
4 #	4,762	1,452	91,294	8,706
6 #	3,360	1,105	92,399	7,601
8 #	2,380	1,011	93,410	6,590
12 #	1,410	1,024	94,434	5,566
- 12 #	-	5,565	100	-
Total	-	100	-	-

Tabela 46 – Análise granulométrica ROM Convém – britador 3020 APF 2".

malha +	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
2 3/8"	59,525	7,496	7,496	92,504
2"	50,800	17,295	24,791	75,209
1 1/2"	38,100	45,280	70,071	29,929
1 1/4"	31,750	6,605	76,676	23,324
1"	25,400	6,435	83,111	16,889
3/4"	19,050	3,649	86,760	13,240
5/8"	15,875	1,992	88,752	11,248
1/2"	12,700	2,477	91,229	8,771
3/8"	9,525	0,827	92,056	7,944
1/4"	6,350	1,383	93,439	6,561
4 #	4,762	0,885	94,324	5,676
6 #	3,360	0,550	94,874	5,126
8 #	2,380	0,740	95,614	4,386
12 #	1,410	0,611	96,225	3,775
- 12 #	-	3,774	100	-
Total	-	100	-	-

Tabela 47 – Análise granulométrica ROM Convém – britador 3020 APF 1 1/2".

malha +	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
2"	50,800	9,80	9,80	90,20
1 1/2"	38,100	38,60	48,40	51,60
1 1/4"	31,750	16,82	65,22	34,78
1"	25,400	7,26	72,48	27,52
3/4"	19,050	8,41	80,89	19,11
5/8"	15,875	2,90	83,79	16,21
1/2"	12,700	2,21	86,00	14,00
3/8"	9,525	1,58	87,58	12,42
1/4"	6,350	1,50	89,08	10,92
4 #	4,762	1,18	90,26	9,74
6 #	3,360	0,61	90,87	9,13
8 #	2,380	1,25	92,12	7,88
12 #	1,410	1,19	93,31	6,69
- 12 #	-	6,69	100	-
Total	-	100	-	-

Tabela 48 – Análise granulométrica ROM Convém – britador 3020 APF 1<sup>1/4</sup>".

malha +	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
2 "	50,800	2,29	2,29	97,71
1 1/2 "	38,100	21,96	24,25	75,75
1 1/4 "	31,750	31,91	56,16	43,84
1 "	25,400	11,50	67,66	32,34
3/4 "	19,050	9,50	77,16	22,84
5/8 "	15,875	3,64	80,80	19,20
1/2 "	12,700	3,24	84,04	15,96
3/8 "	9,525	2,54	86,58	13,42
1/4 "	6,350	2,00	88,58	11,42
4 #	4,762	1,29	89,87	10,13
6 #	3,360	0,31	90,18	9,82
8 #	2,380	1,93	92,11	7,89
12 #	1,410	1,42	93,52	6,47
- 12 #	-	6,47	100	-
Total	-	100	-	-

Tabela 49 – Análise granulométrica ROM Convém – britador 3020 APF 1".

malha +	mm	peso (%)	retido (%)	passante (%)
1 1/2 "	38,100	3,94	3,94	96,06
1 1/4 "	31,750	19,58	23,52	76,48
1 "	25,400	15,70	39,22	60,78
3/4 "	19,050	22,58	61,79	38,20
5/8 "	15,875	5,88	67,62	32,32
1/2 "	12,700	5,81	73,43	26,51
3/8 "	9,525	4,33	77,76	22,18
1/4 "	6,350	3,27	81,03	18,91
4 #	4,762	2,49	83,52	16,42
6 #	3,360	0,58	84,10	15,84
8 #	2,380	3,34	87,44	12,50
12 #	1,410	2,14	89,58	10,36
- 12 #	-	10,36	100	-
Total	-	100	-	-



## Anexo II

- Memória de cálculo da usina de brita

## 1. Dimensionamento dos britadores

capacidade da usina =  $10 \text{ m}^3/\text{h} = 16 \text{ t/h}$

## 1.1. Seleção do britador secundário

APA =  $1 \frac{1}{2}''$  dá "top size"  $2 \frac{1}{4}''$

APF =  $1 \frac{1}{2}'' - \frac{1}{2}'' = 1''$  { 12 a  $16 \text{ m}^3/\text{h}$

Britador de mandíbula 8013

Curva granulométrica com APA =  $1 \frac{1}{2}''$

	2''	1''	$\frac{1}{2}''$	$\frac{1}{4}''$	$\frac{1}{8}''$	$-\frac{1}{8}''$
%passante	97	60	33	18	11	---
%retido	3	37	27	15	7	11

## 1.2. Seleção do britador primário

"Top size" do produto = alimentação do britador secundário

$A = \rightarrow 13\text{cm} \rightarrow 0,8A = 0,8 \times 13 = 10,4\text{cm} = 4''$

Para "top size"  $4'' \rightarrow \text{APA} = 3''$

APF =  $3'' - \frac{3}{4}'' = \frac{9}{4}'' = 2 \frac{1}{4}''$  - britador de mandíbulas 4230

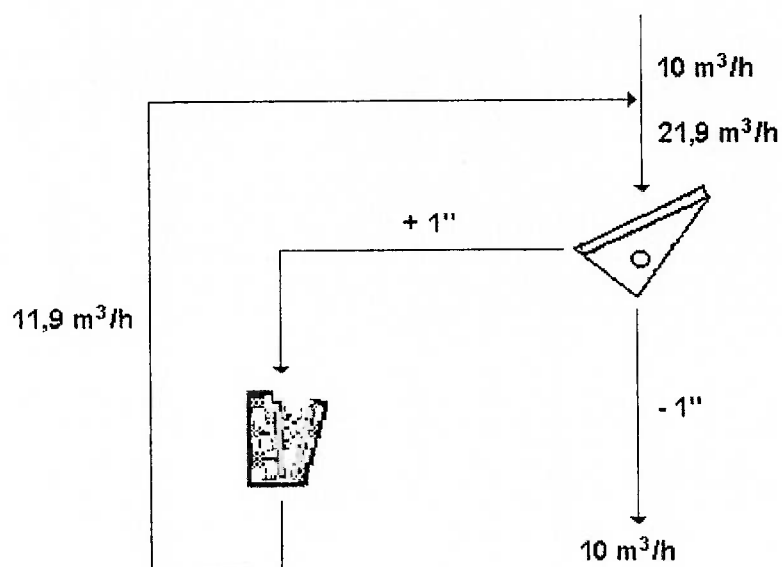
Capacidade:  $12 - 15 \text{ m}^3/\text{h}$

Curva granulométrica com APA =  $3''$ :

	4''	2''	1''	$\frac{1}{2}''$	$\frac{1}{4}''$	$\frac{1}{8}''$
%passante	100	60	33	19	12	6

2. Cálculo da carga circulante no peneiramento em circuito fechado com britador secundário.

É mostrado a seguir o circuito de peneiramento / britagem em circuito fechado. Utilizou-se o circuito reverso em vez do normal devido à característica do material apresentar significativa quantidade de finos.



Peneiramento e britagem em circuito fechado

$$S = \frac{100(100 - a)}{y(100 - s)} \times 100$$

S = carga circulante

a = % 1" na alimentação nova = 33%

y = % 1" no produto do britador = 60%

$s = \% 1''$  no OS da peneira  $\rightarrow 10\%$  de 60 = 6%

$$S = \frac{100(100 - 33)}{60(100 - 6)} \times 100$$

$$S = \frac{6700}{5640} \times 100 \rightarrow \boxed{S = 119 \%}$$

$$S = 1,19 \times 10 = 11,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 3. Simulação dos peneiramentos

#### 3.1. Peneiramento em 1"

Malhas	4 "	2 "	1 "	½ "	¼ "	1/8 "	- 1/8 "	Σ
Alimentação (%)		3	37	27	15	7	11	100
Alimentação(m <sup>3</sup> /h )		0,7	8,1	5,9	3,3	1,5	2,4	21,9
Imperfeição	100	100	100	30	30	0	12	
Oversize (m <sup>3</sup> /h )		0,7	8,1	1,8	1	0	0,3	11,9
Undersize (m <sup>3</sup> /h )		0	0	4,1	2,3	1,5	2,1	10

#### 3.2. Peneiramento em ½ "

Malhas	½ "	¼ "	1/8 "	- 1/8 "	Σ
Alimentação(m <sup>3</sup> /h )	4,1	2,3	1,5	2,1	10
Imperfeição	100	20	0	10	
Oversize (m <sup>3</sup> /h )	4,1	0,5	0	0,2	4,8
Undersize (m <sup>3</sup> /h )	0	1,8	1,5	1,9	5,2

## 3.3. Peneiramento em 4,8 mm

Malhas	¼ "	4,8 mm	1/8 "	- 1/8 "	Σ
Alimentação(m <sup>3</sup> /h )	1,8	0,8	0,7	1,9	5,2
Imperfeição	100	100	20	10	
Oversize (m <sup>3</sup> /h )	1,8	0,8	0,1	0,2	2,9
Undersize (m <sup>3</sup> /h )	0	0	0,6	1,7	2,3

## 4. Dimensionamento das peneiras

$$A = \frac{T}{C \times M \times K \times Q_1 \times Q_2 \times Q_3 \times Q_4 \times Q_5 \times Q_6}$$

## 4.1. peneira primária - tela de 1"

$$T = 21,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C (1" ) = 33$$

$$M (40\% > 1" ) = 1,09$$

$$K (33\% < 1/2" ) = 0,88$$

$$\text{Malha quadrada} \rightarrow Q_1 = 1$$

$$\text{Partícula cúbica} \rightarrow Q_2 = 1$$

$$\text{Peneiramento à seco} \rightarrow Q_3 = 1$$

$$\text{Umidade 6\%} \rightarrow Q_4 = 0,75$$

$$\text{Deck superior} \rightarrow Q_5 = 1$$

$$\text{Tela 1" standard} \rightarrow 64\% \text{ abertura livre} \rightarrow Q_6 = 1,30$$

$$A = \frac{21,9}{33 \times 1,09 \times 0,88 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,75 \times 1 \times 1,30} = 0,71 \text{ m}^2$$

Escolhe-se preliminarmente uma peneira TBM (PVA 90/2) que tem deck de 0,6 x 1,5 m.

Verificação de altura do leito de tela de 1":

$$D = \frac{100 \times T_f}{6 \times S(W - 0,15)}$$

$$T_f = 11,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$S = 30$$

$$W = 0,6$$

$$D = \frac{100 \times 11,9}{6 \times 30(0,6 - 0,15)} = 14,7 \text{ mm é menor que } 3 \times 1" \rightarrow \text{satisfaz}$$

4.2. peneira secundária, deck superior, tela de ½ "

$$T = 10 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C ( \frac{1}{2} " ) = 23$$

$$M (67\% > \frac{1}{2} " ) = 1,48$$

$$K (18\% < \frac{1}{4} " ) = 0,6$$

$$\text{Malha quadrada} \rightarrow Q_1 = 1$$

$$\text{Partícula cúbica} \rightarrow Q_2 = 1$$

$$\text{Peneiramento à seco} \rightarrow Q_3 = 1$$

$$\text{Umidade 6\%} \rightarrow Q_4 = 0,75$$

$$\text{Deck superior} \rightarrow Q_5 = 1$$

$$\text{Tela 1" standard} \rightarrow 54\% \text{ abertura livre} \rightarrow Q_6 = 1,1$$

$$A = \frac{10}{23 \times 1,48 \times 0,6 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,75 \times 1 \times 1,10} = 0,60 \text{ m}^2$$

Escolhe-se preliminarmente peneira TBM (PVA 90/2) de 0,9 m<sup>2</sup>.

Verificação de altura do leito de tela de ½ ":

$$D = \frac{100 \times 4,8}{6 \times 30(0,6 - 0,15)} = 5,9 \text{ mm é menor que } 3 \times \frac{1}{2} \text{ " } \rightarrow \text{ satisfaz}$$

4.3. peneira secundária, deck inferior, tela de 4,8 mm

$$T = 5,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C (4,8 \text{ mm}) = 13$$

$$M (82\% > 4,8 \text{ mm}) = 2,1$$

$$K (11\% < \frac{1}{8} \text{ "}) = 0,5$$

$$\text{Malha quadrada} \rightarrow Q_1 = 1$$

$$\text{Partícula cúbica} \rightarrow Q_2 = 1$$

$$\text{Peneiramento à seco} \rightarrow Q_3 = 1$$

$$\text{Umidade 6\%} \rightarrow Q_4 = 0,75$$

$$\text{Deck inferior} \rightarrow Q_5 = 0,9$$

$$40\% \text{ abertura livre} \rightarrow Q_6 = 0,80$$

$$A = \frac{5,2}{13 \times 2,1 \times 0,5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,75 \times 0,9 \times 0,80} = 0,70 \text{ m}^2$$

Escolhe-se preliminarmente peneira TBM (PVA 90/2) de 0,9 m<sup>2</sup>.

Verificação da altura do leito de tela de 4,8 mm:

$$D = \frac{100 \times 2,9}{6 \times 30(0,6-0,15)} = 3,6 \text{ mm é menor que } 3 \times 4,8 \text{ mm } \rightarrow \text{ satisfaz}$$

Deste modo adota-se a peneira TBM-PVA 90/2 para as 3 peneiras.

**LISTA DE FOTOS**

Foto 1 – Mostruário de diferentes tipos de rochas ornamentais de Pádua	2
Foto 2 – Extração dos blocos na parte alta da serra	15
Foto 3 – Limpeza de uma pedreira para avanço de frente de lavra	16
Foto 4 – Abertura de canais laterais ou trincheiras feita com explosivos	16
Foto 5 – Realização de furos no bloco, para a colocação de explosivos	17
Foto 6 – Lançamento de blocos ao solo, com amortecimento na queda à base de pneus	18
Foto 7 – Divisão dos blocos, realizada na própria pedreira	18
Foto 8 – Vista geral do trabalho de divisão dos blocos, em pedreira de Pádua	19
Foto 9 – Desdobramento dos blocos em placas naturais de 50X50X8 cm	19
Foto 10 – Transporte das placas naturais para as serrarias	20
Foto 11 – “Flame jet” fazendo abertura de canais em maciços rochosos	20
Foto 12 – Bancadas apresentando canais laterais formados com auxílio de duas técnicas: “flame jet” (lado esquerdo) e com explosivos (lado direito)	21
Foto 13 – Serragem de laje bruta em placas de 47x47x4 cm	22

Foto 14 – Transformação das placas em bloquinhos, com disco diamantado, realizada em serraria local	22
Foto 15 – Deslocamento manual dos bloquinhos em lajinhas	23
Foto 16 – Capela revestida com pedras almofadadas	23
Foto 17 – Operações em bancadas estreitas e com entulhos, com riscos de acidentes	25
Foto 18 – Sobras de aparas de serraria	27
Foto 19 – Rejeitos gerados na lavra de uma pedreira	27
Foto 20 – Fragmentação manual de aparas de serraria, visando o aproveitamento dos finos gerados	28
Foto 21 – Aproveitamento dos finos de pedreiras sob forma de bloquetes e blocos estruturais pré-moldados	29
Foto 22 – Vista geral de rejeitos de pedreira	39
Foto 23 – Vista geral de sobras de serraria	39
Foto 24 – Pilhas de rejeitos de pedreira	40
Foto 25 – Pilhas de sobras de serraria	40
Foto 26 – Coleta de rejeitos de pedreira	41
Foto 27 – Coleta de sobras de serraria	41
Foto 28 – Microscópio eletrônico de varredura	43
Foto 29 – Aspecto geral (BSD/MEV) de seção polida, fração – 74 + 44 $\mu\text{m}$ , $d < 2,89$	48
Foto 30 – Aspecto geral (BSD/MEV) de seção polida, fração – 74 + 44 $\mu\text{m}$ , $d > 2,89$ magnético em campo de 500 G (imã de mão). Ponto 1 = magnetita, ponto 2 = sulfeto de ferro e ponto 3 = limonita	49



- Foto 31 – Aspecto geral (BSD/MEV) de seção polida, fração  
– 74 + 44  $\mu\text{m}$ ,  $d > 2,89$  magnético em campo de  
15 kG. Ponto 1 = mica (tipo biotita), ponto 2 = ilmenita, ponto  
3 = hornblenda e ponto 4 = quartzo 49
- Foto 32 – Aspecto geral (BSD/MEV) de seção polida, fração  
–74 + 44  $\mu\text{m}$ ,  $d > 2,89$  não magnético em campo de 15 kG.  
Ponto 1 = plagioclásio, ponto 2 = apatita e ponto 3 = zircão 50
- Foto 33 – Imagem (BSD/MEV) de grão de feldspato potássico com  
textura típica de alteração. Fração - 74 + 44  $\mu\text{m}$ ,  $d < 2,89$  50
- Foto 34 - Imagem (BSD/MEV) de grão misto com :1) biotita;  
2) carbonato de ferro; 3) feldspato potássico; 4) carbonato  
de cálcio e ferro; 5) sulfeto de ferro. Fração – 74 + 44  $\mu\text{m}$ ,  
 $d > 2,89$  magnético em 15 kG 51
- Foto 35 – Aspecto geral (BSD/MEV) de grão de limonita,  
fração – 74 + 44  $\mu\text{m}$ ,  $d > 2,89$  magnético em campo  
de 500 G (imã de mão). Ponto 1 = quartzo, ponto 2 =  
óxidos/hidróxidos de ferro e ponto 3 = mica alterada 51
- Foto 36 – Ensaio de compressão uniaxial mostrando o  
corpo-de-prova cúbico 56
- Foto 37 – Ensaio de resistência à flexão 58
- Foto 38 – Medida da velocidade de propagação de ondas 59
- Foto 39 – Equipamento de ensaio de desgaste *Amsler* 60
- Foto 40 – Britador de mandíbulas 2015 66
- Foto 41 – Britador de mandíbulas 3020 67
- Foto 42 – Conjunto de peneiras quadradas 67
- Foto 43 – Aparelho de ensaio “Los Angeles” 76

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Mapa de localização da região de Santo Antônio de Pádua	5
Figura 2 – Procedimento de caracterização das amostras rejeitos de pedreira (101) e sobras de serraria (102)	44
Figura 3 – Distribuição acumulada dos valores da dureza Knoop	55
Figura 4 – Distribuições granulométricas dos produtos de britagem do britador 2015	71
Figura 5 – Distribuições granulométricas dos produtos de britagem do britador 3020	71
Figura 6 – Comparação entre as distribuições granulométricas obtidas no britador 2015 com os materiais das pedreiras Pádua x Convém	72
Figura 7 – Comparação entre as distribuições granulométricas obtidas no britador 3020 com os materiais das pedreiras Pádua x Convém	72
Figura 8 – Curva de regressão dos produtos de britagem de Pádua	73
Figura 9 – Fluxograma da usina de brita	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das britas de acordo com as dimensões nominais	31
Tabela 2 – Limites granulométricos de agregado miúdo (areia)	32
Tabela 3 – Limites granulométricos de agregado graúdo (brita)	33
Tabela 4 – Composição química (%) das amostras rejeitos de pedra 101 e sobras de serraria 102	45
Tabela 5 – Composição mineralógica (% massa) estimada das amostras 101 e 102	46
Tabela 6 – Distribuições (% massa) granulométricas, gravíticas e magnéticas das amostras 101 e 102	47
Tabela 7 - Resultados da determinação dos índices físicos (NBR 12766/92)	53
Tabela 8 - Resultados do ensaio de dilatação térmica linear (NBR12765/92)	54
Tabela 9 - Valores da dureza Knoop	55
Tabela 10- Resultados dos ensaios de compressão uniaxial (NBR 12767/92) e velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas (ASTM-D 2845)	57
Tabela 11 - Resultados de ensaio de flexão (NBR 12763/92) e ensaios de velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas (ASTM-D 2845/95)	59
Tabela 12- Resultados do desgaste <i>Amsler</i>	61
Tabela 13 – Análise química de alguns elementos dissolvidos no lixiviante	63
Tabela 14 – Resultados obtidos para a amostras ensaiadas, especificações e valores sugeridos para qualificação tecnológica de rochas ornamentais	65

Tabela 15 – Análise granulométrica das sobras de serraria – britador 2015 (% passante)	68
Tabela 16 – Análise granulométrica dos rejeitos de pedreira – britador 2015 (% passante)	68
Tabela 17 – Análise granulométrica das sobras de serraria – britador 3020 (%passante)	69
Tabela 18 – Análise granulométrica dos rejeitos de pedreira – britador 3020 (% passante)	69
Tabela 19 – Análise granulométrica ROM Convém – britador 2015 (% passante)	70
Tabela 20 – Análise granulométrica ROM Convém – britador 3020 (% passante)	70
Tabela 21 – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro (NBR 7809/82)	74
Tabela 22 – Granulometrias amostra para ensaio de “Los Angeles”	75
Tabela 23 – Resistência à compressão após 7 dias em CP 15 x 30 cm	77
Tabela 24 – Resistência à compressão após 7 dias em CP de 10 x 20 cm	78
Tabela 25 - Resistência à tração por compressão diametral em CP de 10 x 20 cm	78