



CETEM

Série Rochas e Minerais Industriais

Aproveitamento de Rejeito de Pedreiras de Santo Antônio de Pádua - RJ

**Salvador Luiz Matos de Almeida
Arthur Pinto Chaves**

Presidência da República

FERNANDO HENRIQUE CARDOSO

MARCO ANTÔNIO MACIEL

Vice-presidente

Ministério da Ciência e Tecnologia

RONALDO MOTA SARDENBERG

CARLOS AMÉRICO PACHECO

Secretário Executivo

JOÃO E. STEINER

Secretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

FERNANDO A. FREITAS LINS

Diretor

JULIANO PERES BARBOSA

Coordenação de Projetos Especiais (CPE)

ADÃO BENVINDO DA LUZ

Coordenação de Tratamento de Minérios (CTM)

RONALDO LUIZ C. DOS SANTOS

Coordenação de Metalurgia Extrativa (CME)

MARIA ALICE C. DE GÓES

Coordenação de Química Analítica (CQA)

CARLOS CÉSAR PEITER

Coordenação de Estudos e Desenvolvimento (CES)

COSME ANTÔNIO MORAES REGLY

Coordenação de Administração (CAD)

SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

ISSN

**Aproveitamento de rejeitos
de pedreiras de
Santo Antônio de Pádua – RJ**

SALVADOR LUIZ MATOS DE ALMEIDA

Eng. Metalurgista – UFRJ.

Doutor em Engenharia Mineral – USP.

Pesquisador Titular do CETEM/MCT.

Tem atuado ultimamente nas áreas de
minerais industriais e rochas ornamentais.

ARTHUR PINTO CHAVES

Eng. Metalurgista – EPUSP.

Doutor em Engenharia Mineral – USP.

Professor titular da Universidade de São
Paulo – USP.

CETEM / MCT
2002

SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

ADÃO BENVINDO DA LUZ

Editor

GILDO DE ARAÚJO SÁ CAVALCANTI DE ALBUQUERQUE

Subeditor

CONSELHO EDITORIAL

Adriano Caranassios, Antônio Rodrigues de Campos, Francisco Wilson Hollanda Vidal, Jurgen Schnellrath, Arthur Pinto Chaves (USP), Carlos Adolpho Magalhães Baltar (UFPE), Gladstone Motta Bustamante (Consultor), Hélio Antunes Carvalho de Azevedo (CBPM), José Carlos da Rocha (INT), Marsis Cabral Júnior (IPT), Pêrsio Souza Santos (USP), Renato Ciminelli (Consultor)

A Série Rochas e Minerais Industriais publica trabalhos que busquem divulgar tecnologias de aproveitamento e agregação de valor a rochas e minerais industriais

O conteúdo deste trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es)

Jackson de Figueiredo Neto **COORDENAÇÃO EDITORIAL**

Dayse Lima **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA**

Vera Ribeiro **CAPA**

Almeida, Salvador Luiz Matos de

Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de Santo Antonio de Pádua - RJ/Salvador Luiz Matos de Almeida. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002.

35 p. (Série Rochas e Minerais Industriais, 6)

1. Rochas Ornamentais. 2. Minerais Industriais. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Título. III. Série. IV. Série

ISBN 85-7227-166-X

ISSN 1518-9155

CDD 553

Sumário

Resumo	7
Abstract	9
1. Introdução	11
2. Objetivo	15
3. Revisão da literatura	16
4. Atividade mineira em Santo Antônio de Pádua	23
4.1. Lavra	23
4.2. Beneficiamento	25
4.3. Problemas associados ao beneficiamento, à lavra e ao meio ambiente	26
4.4. Solução proposta para o problema específico dos rejeitos de lavra e de serraria	28
5. Temas de interesse para a fabricação de agregados	29
5.1. Especificação e uso de agregados	29
5.2. Fabricação de pré-moldados	32
5.3. Distribuição granulométrica dos produtos de britagem .	33
5.4. Imperfeição e eficiência do peneiramento	33
6. Caracterização da rocha de Santo Antônio de Pádua	36
6.1. Amostragem	36
6.2. Descrição petrográfica	36
6.3. Caracterização mineralógica dos rejeitos de pedreira e sobras de serraria	37
6.4. Caracterização tecnológica do material	40
7. Ensaio de britagem e confecção de concretos	47
7.1. Ensaio de britagem	47
7.2. Índice de forma das partículas	50
7.3. Ensaio de desgaste por abrasão "Los Angeles"	50
7.4. Ensaio de compressão em concreto	51
8. Usina de brita a partir dos rejeitos de pedreira e serrarias de Santo Antônio de Pádua	53
8.1. Descrição do projeto e fluxograma da usina de brita....	53
8.2. Estudo da pré-viabilidade econômica de uma usina de brita	56
9. Conclusões	62
Referências bibliográficas	64

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.

Os resultados da caracterização de duas amostras de rocha da região mostraram que as mesmas são similares, constituídas principalmente por feldspato (62%), quartzo (25%), mica (7%) e hornblenda (5%).

Os resultados da caracterização tecnológica da rocha apresentaram índices, 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 restringe o seu uso a obras de pequeno e médio porte.

O estudo de pré-viabilidade econômica realizado para a operação de uma usina de brita, com capacidade de produção de 30.000 m³/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.

Palavras-chave: britagem, areia, rejeitos, agregados, pedreiras, rochas ornamentais.

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.

Both samples presented the same mineralogical composition: feldspar (62%), quartz (25%), mica (7%), hornblende (5%).

Technological characterization results presented usual indexes within the specifications required by ASTM. Otherwise, the wear Amsler tests 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 in 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 m³/year. This resulted in a total investment of R\$ 675,000.00 and annual revenue of R\$ 384,000.00. 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.

Key words: crushing, sand, refuses, aggregate, quarry, ornamental rock.

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 Km², altitude de 93m 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 e comercializada na região é um gnaisse milonitizado que deslaca com facilidade, tendo variedades locais conhecidas como "pedra olho de pombo", "granito fino", "granito pinta rosa" e "pedra madeira". Estas pedras são conhecidas como "paduana", mas principalmente como "pedra Miracema", tendo em vista que o início da 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 27 x 3 km. As reservas de pedra madeira estão estimadas em 1x10⁶ m³, enquanto o da pedra Miracema em 8 x 10⁶ m³ (CANINÉ-1992).

Na década de setenta, essa rocha era explorada como placa de revestimento para 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.

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:

- 1) revestimento de paredes;
- 2) revestimento de muros;
- 3) piso de varandas, garagens, jardins, currais, etc;
- 4) revestimento de pilastras/colunas;
- 5) 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).

Essas perdas de 70% de material são muito elevadas e 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, resultando num 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 (ALMEIDA – 2001):

- 1) rejeitos de pedreiras;
- 2) aparas de serrarias;

- 3) pó de serragem;
- 4) 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, 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:

- 1) orientação técnica a 42 microempresas locais, dando-lhes condições práticas e teóricas para manuseio, armazenamento, transporte e uso de explosivos;
- 2) difusão de práticas corretas de exploração nas pedreiras;
- 3) 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;

4) orientação para um uso mais racional de matéria-prima local;

5) proposição de estudos para colocar os efluentes de acordo com a da legislação ambiental vigente;

6) desenvolvimento de tanques de decantação para limpeza dos efluentes das serrarias.

2. Objetivo

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

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

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, gnaiesses, ardósias e quartzitos (ABREU - 1973).

De acordo com FARIAS e CALAES (1995), a produção de rochas ornamentais existe em quase todos 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-DNPM, 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 para 47,4 milhões t em 1999 (SUMÁRIO MINERAL-DNPM, 2000).

Cerca de 80% da produção mundial 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 (2000), as principais reservas brasileiras de rochas ornamentais são:

- 1) granito – $67 \times 10^9 \text{ m}^3$;
- 2) mármore - $550 \times 10^6 \text{ m}^3$;

- 3) quartzito – 442 x 106 t;
- 4) outras pedras naturais – 40 x 106 m³;
- 5) gnaisse - 136 x 106 m³;
- 6) ardósia – 315 x 106 t.

No ano de 1999 a produção brasileira foi de:

- 1) granito – 1,2 x 106 m³;
- 2) mármore – 304 x 103 m³;
- 3) gnaisse – 42 x 103 m³;
- 4) ardósia – 70 x 103 t;
- 5) quartzito – 105 x 103 t.

Dados estatísticos do Brasil sobre rochas ornamentais mostram que (SUMÁRIO MINERAL-DNPM, 2000):

- 1) a produção de blocos de granitos e mármore é de 2,45 x 106 t;
- 2) a importação de mármore em bruto é de 2.954 t e a de granito em bruto é de 1.282 t;
- 3) a exportação de mármore em bruto é de 9.041 t e a de granito em bruto é de 790.000 t;

O consumo aparente estimado do mercado interno de blocos de granito e mármore é de 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 citadas, a seguir, as principais técnicas de lavra e de beneficiamento para rochas ornamentais:

1) métodos de lavra para rocha ornamental (VIDAL-1999): por bancadas, por painéis verticais, por desmoronamento, seletiva, de matações e subterrânea;

2) 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;

3) técnicas de lavra de corte contínuo (CHIODI FILHO e ONO-1995): fio helicoidal, "flame jet" e cortador a corrente;

4) técnicas modernas de lavra (CARANASSIOS-1991, CICCU-1993, CRESPO-1991, THOREAU-1994 e VIDAL-1999): fio diamantado, cortadora a corrente diamantada e jato d'água;

5) 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 silicatadas 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.

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, no Estado do Espírito Santo.

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.

Segundo ALENCAR et al.(1996), o beneficiamento do mármore brasileiro é 95% feito em teares convencionais que usam 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 que usam 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 m² 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 e análises para a 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). Os ensaios são realizados de acordo com normas específicas, a maioria editadas pela ABNT (FRAZÃO-1992):

- 1) análise petrográfica (NBR 12768) - avalia a composição mineralógica da rocha ornamental;
- 2) massa específica aparente (NBR 12766) - razão entre o peso da amostra seca e o seu volume;
- 3) porosidade aparente (NBR 12766) - mede a compactibilidade do material ensaiado;
- 4) absorção de água (NBR 12766) - mede a capacidade de absorção d' água;

5) resistência ao desgaste, desgaste AMSLER (NBR 12042) - mede a resistência do material à solicitação abrasiva;

6) 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;

7) resistência à flexão (NBR 12763) - fornece o valor máximo de tensão de flexão a que a rocha pode ser submetida antes de romper-se;

8) 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;

9) resistência ao impacto (NBR 12764) - determina a resistência que uma rocha oferece ao impacto de um peso que cai de uma certa altura;

10) alterabilidade (não normalizada) - pode ser entendida como a variação do estado de alteração em função do tempo;

11) 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 lavrados 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/m³/ano de granitos, 200 mil/m³/ano de mármore e 200 mil/m³/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 corte 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 a lavra dos maciços rochosos, melhorar a qualidade e a produtividade das máquinas e equipamentos de beneficiamento e, para os produtos, aperfeiçoar a técnica de fixação e colocação 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:

1) 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;

2) ação de fomento – importantes programas de promoção de investimento vêm sendo realizados por entidades de mineração e financeiras;

3) abertura de mercado – a redução de alíquota de importação e a simplificação de processos administrativos, significaram um importante estímulo a novos investimentos;

4) apoio governamental.

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 m²/ano (ALBUQUERQUE et al.-1997).

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

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

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

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

2) 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;

3) 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;

4) furação para a realização de “fogo de levante”, feita em planos horizontais na base dos blocos a serem extraídos;

5) 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.

Após a liberação do bloco com 2,5x0,5x0,5 m, este é lançado ao solo, e em seguida são desmembrados em blocos menores de 0,5x0,5x0,5m (Figura 1) através de pontaletes de aço.

Na própria pedreira é realizado o deslocamento desses blocos em lajes brutas ou "naturais", de 50x50x8cm (Figura 2), através de macetas e talhadeiras tipo faca. Essas lajes são transportadas por caminhão para as serrarias, onde são beneficiadas.

Em 1995, alguns mineradores adquiriram o "flame jet", 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.



Figura 1 – Vista geral do trabalho de divisão de blocos, em pedreira de Pádua



Figura 2 – Desdobramento dos blocos em placas naturais de 50 X 50 X 8 cm

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, resultando em placas com 47x47x4 cm (CAMPOS e ALMEIDA-1996).

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

Os produtos normalmente comercializados são:

- 1) placa ou lajota, de 47 x 47 x 4 cm;
- 2) bloquinho de 23 x 11,5 x 4 cm;
- 3) lajinha ou lajotinha de 23 x 11,5 x 1,5 cm ou 11,5 x 11,5 x 1,5 cm.

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

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

1) granito Miracema

- bloco: R\$30,00/t;
- bruta, 50x50 cm: R\$ 8,25/m²;
- serrada, 47x47 cm: R\$ 3,40/unidade;
- serrada, 11,5x23 cm: R\$ 6,00/m²;
- serrada, 11,5x11,5 cm: R\$ 5,50/m².

2) pedra madeira

- bloco: R\$ 60,00/t;
- serrada, 47x47 cm: R\$ 32,50/m²;
- bruta, 50x50 cm: R\$ 15,60/m²;
- serrada, 11,5x23 cm: R\$ 17,00/m².

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

4.3. Problemas associados ao beneficiamento, à lavra e ao meio ambiente

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

1) falta de legalização da maioria das pedreiras junto aos órgãos competentes;

2) manuseio, transporte, armazenamento e uso de explosivos inadequados, causando perdas excessivas de matéria-prima e riscos de acidentes aos trabalhadores e terceiros;

3) ausência de planos de lavra bem elaborados e falta de equipamentos adequados para extração de material;

4) vias de acesso à pedreira e para escoamento do material muito precárias;

5) perdas excessivas na lavra (40%) e no beneficiamento (30%) com lançamento desordenado dos rejeitos no meio ambiente, ocupando solos e terrenos;

6) bancadas muito estreitas, dificultando os trabalhos de desmonte dos blocos;

7) lançamento de fragmentos de rocha durante as detonações;

(*)US\$ 1,00 = R\$ 1,85 em fevereiro de 2001

8) explosões nas pedreiras sem horários fixos, podendo causar acidentes;

9) falta de uso de retardos nos planos de fogo, causando perdas do material extraído;

10) malhas inadequadas na realização dos furos para aplicação de explosivos, bem como furos com profundidade insuficiente, diminuindo a produtividade da pedreira;

11) inexistência de tratamento para o efluente gerado na serraria, com assoreamento dos cursos d'água.

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

1) deposição desordenada dos rejeitos de pedreira e sobras de serraria nos terrenos da região;

2) 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.

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 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.

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 agregados para a construção civil.

Em Santo Antônio de Pádua, poucas empresas fazem isto (MAIA-1996). Os materiais mais grossos, 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.

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.

5. Temas de interesse para a fabricação de agregados

5.1. Especificação e uso 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):

1) **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);

2) **agregado graúdo** – pedra britada ou brita ou pedregulho muito grosso, grosso e médio, de dimensões nominais entre 100,0 mm e 4,8 mm;

3) **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;

4) **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);

5) **areia grossa** – aquela compreendida entre 2,0 e 1,2 mm;

6) **areia média** – aquela compreendida entre 1,2 e 0,42 mm;

7) **areia fina** – aquela compreendida entre 0,42 e 0,075 mm;

8) **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);

9) **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);

10) **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;

11) **pedregulho muito grosso** – aquele compreendido entre 100 e 50 mm;

12) **pedregulho grosso** – aquele compreendido entre 50 e 25 mm;

13) **pedregulho médio** – aquele compreendido entre 25 e 4,8 mm;

14) **pedregulho fino** – aquele compreendido entre 4,8 e 2,0 mm;

15) **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;

16) **pedrisco grosso** – aquele compreendido entre 4,8 e 2,0 mm;

17) **pedrisco médio** – aquele compreendido entre 2,0 e 0,42 mm;

18) **pedrisco fino** – aquele compreendido entre 0,42 e 0,075 mm;

19) **pó-de-pedra** – material proveniente da britagem de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 0,075 mm.

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,

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

Número	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

basaltos, diabásios, migmatitos, calcários e dolomitos (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):

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

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

- 1) concreteiras – 30%;
- 2) pavimentadoras – 30%;
- 3) construtoras – 20%;
- 4) depósitos – 12%;
- 5) 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 (SUMÁRIO MINERAL-DNPM, 2000).

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 esses passam (undersize) ou ficam retidos (oversize).

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

1) partículas maiores que 1,5 vez a abertura da tela: estas partículas deslizam sobre a tela e são encaminhadas para o oversize. Se sua quantidade é excessiva, essas 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;

2) 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 regulagem da amplitude e frequência passa a ser crítica;

3) 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;

4) partículas menores que a metade da malha: atravessam a tela com facilidade e não interferem com o peneiramento;

5) partículas muito finas (poeiras e lamas): o seu comportamento deveria ser como o das partículas da classe acima, mas na prática, essas aderem às partículas maiores e as acompanham 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 conseqüência, se definem dois parâmetros de peneiramento:

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

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

6. Caracterização da rocha de Santo Antônio de Pádua

6.1. Amostragem

Foi feita amostragem na empresa Raio de Sol, localizada na rodovia Pádua – Paraquena, 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”.

Procurou-se coletar amostras representativas, recolhendo-se material de diferentes pilhas de rejeitos de pedreira e de sobras de serraria.

Foram coletadas cerca de 2 t de cada material, que a seguir foram acondicionadas em quatro *big bags* e transportadas para o CETEM.

6.2. Descrição petrográfica

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

A mineralogia da rocha é a seguinte:

- 1) 37% de plagioclásio;
- 2) 25% de quartzo;
- 3) 25% de feldspato potássico;
- 4) 7% de biotita;
- 5) 5% de hornblenda;
- 6) 1% de apatita, titanita, zircão, carbonato, clorita e outros.

A rocha em questão foi classificada como um granulito milonitizado 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 50 kg de amostra representativa foram feitas britagens/homogeneizações/quarteamentos, até serem obtidas 300 g de cada amostra moída a 100 malhas 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 malhas, sendo as frações -100 +200 e -200 +325 malhas fracionadas em bromofórmio $d = 2,89$, 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 Gs (imã de mão) e 15 kGs (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 kGs e $d > 2,89$ não magnética a 15 kGs, 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 mm 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.

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

O fluxograma mostrado na figura 1 esquematiza a seqüência de operações.

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

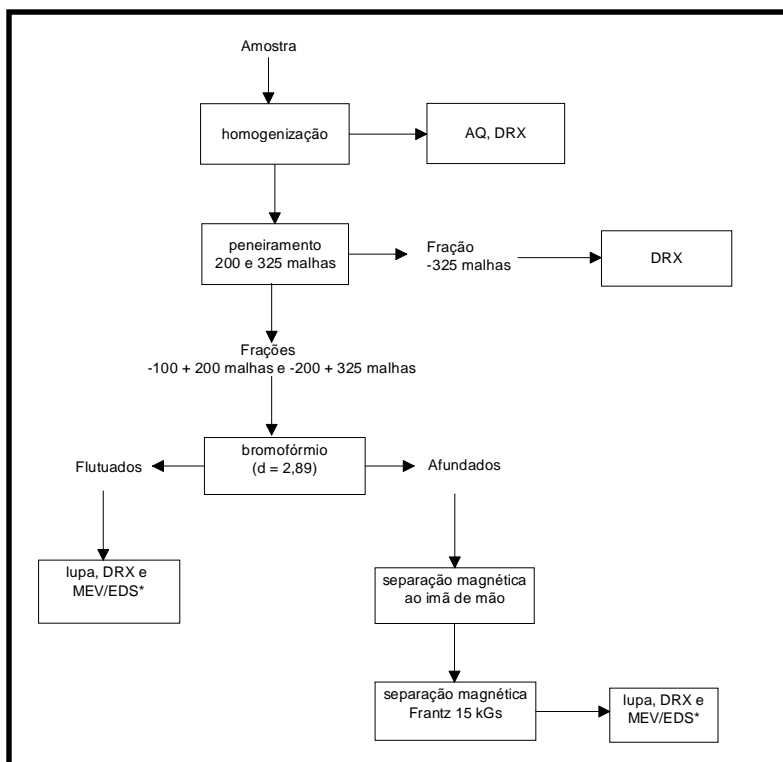


Figura 1 - Procedimento de caracterização das amostras rejeitos de pedra (101) e sobras de serraria (102)

*MEV/EDS somente das amostras -200 + 325 malhas
AQ – análise química

A quantificação mineralógica foi calculada com base nas análises químicas, utilizando cálculos estequiométricos e é mostrada na tabela 2. Para tais cálculos foram feitas as seguintes suposições:

- 1) todo o Na_2O como pertencente à albita;
- 2) todo o CaO como pertencente à anortita;
- 3) toda a P.F. como pertencente à biotita;
- 4) MgO não utilizado na biotita como pertencente à hornblenda;
- 5) SiO_2 não contido nos minerais feldspáticos, biotita e hornblenda como pertencente ao quartzo;
- 6) todo o P_2O_5 como pertencente à apatita;
- 7) todo o ZrO_2 como pertencente ao zircão.

Tabela 2 - 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

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

A boa liberação das partículas na faixa granulométrica – 200+325 malhas 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 kGs e plagioclásio, zircão e apatita predominam na fração com densidade superior a 2,89 não magnética em campos de até 15 kGs.

As duas amostras, rejeitos de pedreira e sobras de serraria, são similares. 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*, ensaios de compressão uniaxial, de flexão por carregamento em três pontos, desgaste *Amsler* e de alterabilidade, 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 diamantada e não por quebra manual.

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.

6.4.3 Determinação da dureza *Knoop*

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 200 g. Utilizou-se um microdurômetro modelo Durimet 2, fabricado pela Leitz, e as impressões foram feitas em superfície perpendicular à estruturação da rocha.

6.4.4. Ensaios 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.

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.

6.4.6. 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.

6.4.7. 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:

- 1) um balão de destilação;
- 2) uma coluna extratora;
- 3) um sifão;
- 4) uma unidade de condensação;
- 5) 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 (798,9 g).

Adicionaram-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 do ensaio, após 3.600 horas (1.800 ciclos) verificou-se que a amostra que inicialmente pesava 798,9 g passou a pesar 771,8 g, totalizando dessa forma uma perda de massa de 27,1 g. Deste total 17,5 g 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, 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 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 à 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.

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 microfaturamento 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.

6.4.8. Considerações sobre os ensaios tecnológicos

Os resultados obtidos acham-se sumariados na tabela 3, na qual também são apresentadas as especificações para granitos para uso ornamental segundo a 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.°C) e o valor na direção perpendicular a este plano ($7,6 \times 10^{-3}$ mm/m.°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 3 – Resultados obtidos para as amostras ensaiadas, especificações e valores sugeridos para qualificação tecnológica de rochas ornamentais

Propriedades	Rocha de Sto A. de Pádua	Especificações ASTM C615 - 92	Valores sugeridos*
Densidade(kg/m ³)	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 ⁻³ mm/m.°C)	6,5	n. e.	≥12
Dureza Knoop média (MPa)	6.971	n.e.	
Compressão uniaxial (MPa), carregamento//	111,4	≥131,0	≥100,0
Compressão uniaxial (MPa), carregamento//	143,5		
Flexão três pontos (MPa), carregamento //	7,66	≥10,34	≥10,0
Flexão três pontos (MPa), carregamento+	13,43		
Desgaste Amsler (mm)	1,47	n. e.	≥1

*(FRAZÃO & FARJALLAT 1996)

Nota: n.e. = 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 em pisos de baixo tráfego.

Os baixos valores comentados anteriormente 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. Ensaio de britagem e confecção de concretos

7.1. Ensaio de britagem

Foram realizados vários ensaios de britagem com amostras de Pádua utilizando-se os britadores de mandíbulas da Faço modelos 2015 e 3020. 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 pedra e sobras de serraria.

As análises granulométricas foram feitas a seco na série de peneiras quadradas modelo Manupen de 47 x 47cm.

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

Nas Figuras 2 e 3 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").

Passemos à análise dos resultados: a comparação feita nas figuras 2 e 3 mostra que os materiais estudados, rejeitos de pedra e sobras de serraria, têm o mesmo comportamento típico de um granito / gnaiss. Isto pode ser melhor constatado pela comparação feita nas curvas de britagens Pádua x Convém mostradas nas figuras 4 e 5.

As curvas da Pedra 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 à Convém.

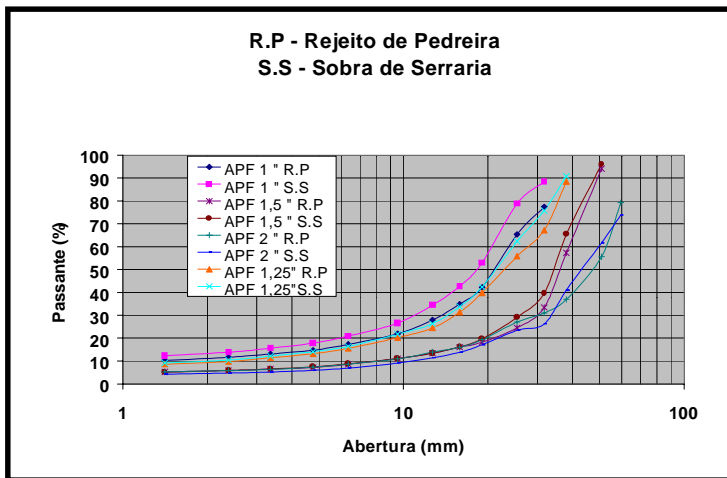


Figura 2 – Distribuições granulométricas dos produtos de britagem do britador 2015

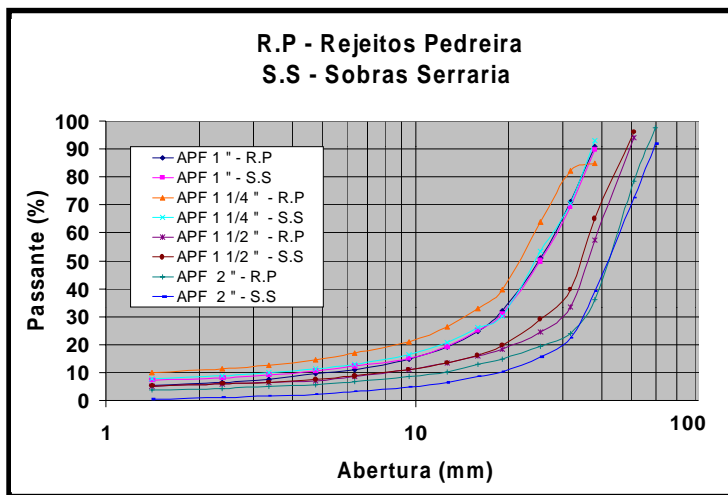


Figura 3 – Distribuição granulométrica dos produtos de britagem do britador 3020

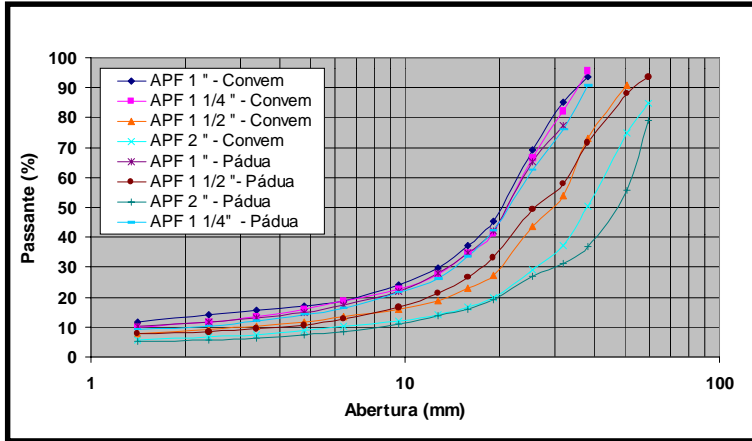


Figura 4 – Comparação entre as distribuições granulométricas obtidas no britador 2015 com os materiais das pedreiras Pádua X Convem

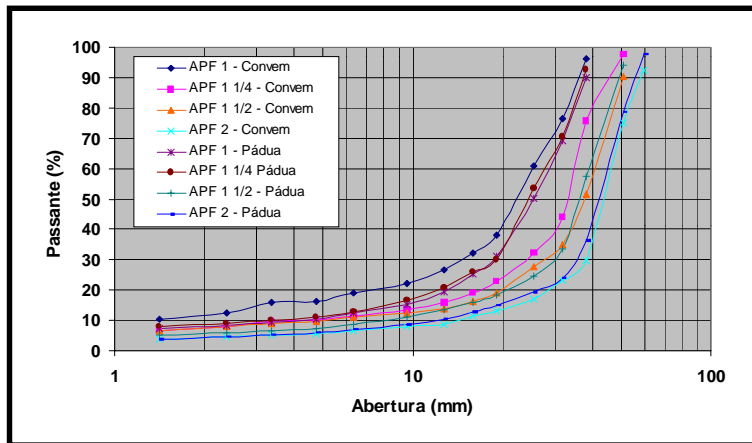


Figura 5 - Comparação entre as distribuições granulométricas obtidas no britador 3020 com os materiais das pedreiras Pádua X Convem

7.2. Índice de forma das partículas

Foi determinado também o índice de forma da brita seguindo a norma NBR – 7809/82, onde se concluiu que as partículas apresentam forma cúbica.

7.3 Ensaio de desgaste por abrasão “Los Angeles”

Os agregados foram submetidos a 500 voltas do tambor de abrasão “Los Angeles”, que consta de um cilindro de aço ($f = 710$ mm e $l = 510$ mm), com velocidade de 30 a 33 rpm. Dentro do cilindro são colocadas 12 esferas de ferro fundido de 47,6 mm de diâmetro e peso entre 390 e 445 g 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 1,7 mm. 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.

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

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 1,7 mm após ensaio = 2.267 g

Logo:

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

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 m³ de concreto. A seguir foram feitos corpos-de-prova de 15 x 30 cm e 10 x 20 cm.

- traço (1 m³) do concreto:

Cimento = 400 kg

Brita = 1.080 kg

Areia = 707 kg

Água = 200 L

Fator Água/Cimento = 0,50

Nas tabelas 4 e 5 são apresentados os resultados obtidos para a resistência à compressão em dois corpos-de-prova diferentes, de 15 x 30 cm e 10 x 20 cm, após 7 dias de cura.

Tabela 4 - 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

CP – corpo de prova

Fc – força de compressão

Tabela 5 – 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

CP – corpo de prova

Fc – força de compressão

8. Usina de brita a partir dos rejeitos de pedreira e serrarias de Sto. Antônio de Pádua

8.1. Descrição do projeto e fluxograma da usina de brita

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 produção de brita/areia a partir de rejeitos 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.

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

A usina terá uma capacidade de produção de 10 m³/h, operando 10 h/d durante 300 d/a. Assim teremos:

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

- Descrição do fluxograma:

Na figura 6 é mostrado o fluxograma da usina de brita.

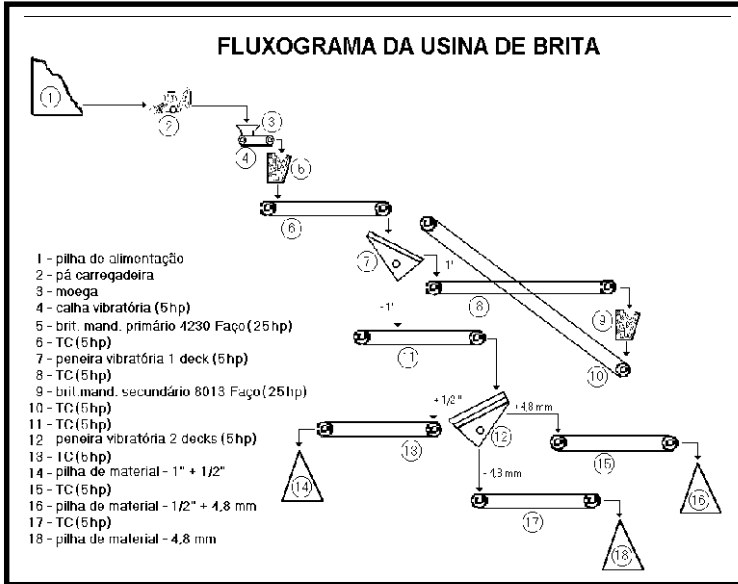


Figura 6 - Fluxograma da usina de brita

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, 1/2 " e 4,8 mm. Obtêm-se então três tipos de materiais de granulometrias diferentes:

1) fração - 1" + 1/2 " (brita 2) – que é conduzida através de um TC para uma pilha de estoque (48%);

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

3) 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.

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

Equipamentos	Potência (HP)	Preço (R\$)
Britador de mandíbulas primário (FAÇO) modelo 4230 com capacidade 14m ³ /h	25	60.000,00
Britador de mandíbulas secundário (FAÇO) modelo 8013 com capacidade 14 m ³ /h	25	64.000,00
Peneira vibratória de 2 decks (TBM- PVA 90/2 área de cada deck: 0,9m ²)	5	221.000,00
Peneira vibratória de 1 deck (TBM – PVA 90/2 área do deck: 0,9 m ²)	5	17.000,00
Calha vibratória 9FAÇO CV1005)	5	8.000,00
7 transportadoras de correias (FAÇO) largura 16" x comprimento 10 m	35	105.000,00
Pá carregadeira sobre pneus (Caterpillar)		75.000,00
Total	100	350.000,00

Nota: Preços obtidos por consulta telefônica a fabricantes tradicionais. (US\$ 1.00 = R\$ 1,85 em fevereiro de 2001)

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 tem como ponto de partida o investimento nos 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:

Equipamentos principais do projeto (1)	R\$ 350.000,00
Equipamentos auxiliares (30% de 1)	R\$ 105.000,00
Montagem e instalações eletromecânicas (20% de 1)	R\$ 68.250,00
Obras civis (10% de 1)	R\$ 35.000,00
Serviço de engenharia, gerenciamento (13% de 1)	R\$ 44.660,00
Impostos (6,5% de 1)	R\$ 22.750,00
Transportes e seguros (3,9% de 1)	R\$ 13.650,00
Móveis e utensílios (0,4% de 1)	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

US\$ 1.00 = R\$ 1,85 em fevereiro de 2001

Para o capital de giro, consideraram-se 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 m³/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 m³ da brita de R\$ 16,00 e aproveitando-se 80% do material produzido (> 4,8 mm) a receita anual será de 30.000 x 16 x 0,8 = R\$ 384.000,00/ano.

Incidirão sobre a renda do produto os seguinte tributos, totalizando 24% da receita bruta:

1) ICMS - Imposto sobre circulação de mercadorias (18% - RJ)

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

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

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

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

8.2.3. Custo operacional

1) 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 (R\$/mês)	Salário (R\$/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	4.550,00	54.600,00
encargos sociais	4.095,00	49.140,00
custo total de mão-de-obra	8.645,00	103.740, 00

Custo aproximado = R\$ 105.000,00/ano

2) Custo de insumos anuais

Energia elétrica:

75kW x 300d/a x 10h/d x 0,07 R\$/kWh = 15.750,00 R\$/ano

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

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

US\$ 1.00 = R\$ 1,85 em fevereiro de 2001

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

A seguir 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:

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

Taxa de descontos: 15,0% aa.						
Item	0	1	2	3	4	5
Investimento	(640.000,00)					
Capital de giro	(35.000,00)					
RECEITA	384.000,00	384.000,00	384.000,00	384.000,00	384.000,00	384.000,00
Tributação	(92.160,00)	(92.160,00)	(92.160,00)	(92.160,00)	(92.160,00)	(92.160,00)
Mão-de-obra	(105.000,00)	(105.000,00)	(105.000,00)	(105.000,00)	(105.000,00)	(105.000,00)
Insumos	(24.000,00)	(24.000,00)	(24.000,00)	(24.000,00)	(24.000,00)	(24.000,00)
Matéria-prima	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C. PRODUÇÃO	(221.160,00)	(221.160,00)	(221.160,00)	(221.160,00)	(221.160,00)	(221.160,00)
Depreciação	64.000,00	64.000,00	64.000,00	64.000,00	64.000,00	64.000,00
L. TRIBUTÁVEL	98.840,00	98.840,00	98.840,00	98.840,00	98.840,00	98.840,00
I. de Renda	(14.826,00)	(14.826,00)	(14.826,00)	(14.826,00)	(14.826,00)	(14.826,00)
LUCRO APÓS						
I. RENDA	148.014,00	148.014,00	148.014,00	148.014,00	148.014,00	148.014,00
Fluxo de caixa	(675.000,00)	212.014,00	212.014,00	212.014,00	212.014,00	212.014,00
Fluxo de caixa descontado	(675.000,00)	184.360,00	160.313,04	139.402,65	121.219,69	105.408,43
Id. acumulado	(675.000,00)	(490.640,00)	(330.326,96)	(190.924,31)	(69.704,62)	35.703,81
Valor presente líquido	338.303,66					
Taxa interna de retorno	12,1%					

Item	Taxa de descontos: =15,0% aa.				
	6	7	8	9	10
Investimento					
Capital de giro					
RECEITA	384.000,00	384.000,00	384.000,00	384.000,00	384.000,00
Tributação	(92.160,00)	(92.160,00)	(92.160,00)	(92.160,00)	(92.160,00)
Mão-de-obra	(105.000,00)	(105.000,00)	(105.000,00)	(105.000,00)	(105.000,00)
Insumos	(24.000,00)	(24.000,00)	(24.000,00)	(24.000,00)	(24.000,00)
Matéria-prima	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C. PRODUÇÃO	(221.160,00)	(221.160,00)	(221.160,00)	(221.160,00)	(221.160,00)
Depreciação	64.000,00	64.000,00	64.000,00	64.000,00	64.000,00
L. TRIBUTAVEL	98.840,00	98.840,00	98.840,00	98.840,00	98.840,00
I. de Renda	(14.826,00)	(14.826,00)	(14.826,00)	(14.826,00)	(14.826,00)
LUCRO APÓS	148.014,00	148.014,00	148.014,00	148.014,00	148.014,00
I. RENDA	148.014,00	148.014,00	148.014,00	148.014,00	148.014,00
Fluxo de caixa	212.014,00	212.014,00	212.014,00	212.014,00	212.014,00
Fluxo de caixa descontado	91.659,50	79.703,92	69.307,75	60.267,61	52.406,62
Id. acumulado	127.363,31	207.067,23	276.374,98	336.642,59	389.049,21
Valor presente líquido	338.303,66				
Taxa interna de retorno	12,1%				

9. Conclusões

1) Pela descrição petrográfica, a rocha em questão foi classificada como um granulito milonitizado, e seus minerais encontram-se fortemente orientados.

2) 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 similares, sendo 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 acessórios foram caracterizados zircão, apatita e ilmenita.

3) 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 máximo recomendado por estes autores, que porém não restringe seu uso para pisos de baixo tráfego.

4) 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.

5) 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).

6) 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.

7) Resultado da abrasão “Los Angeles” da brita é de 54%, valor este um pouco maior que o recomendado (<50%).

8) A usina de brita constará principalmente das seguintes etapas: alimentação, britagem em 1" e classificação em 1", 1/2" 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.

9) Um estudo de pré-viabilidade econômica para a operação de uma usina de brita de 30.000 m³/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.

10) 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

- ABREU, S. F. L. Recursos minerais do Brasil. 2 ed. Rio de Janeiro, Edgard Blucher/Instituto Nacional de Tecnologia, 1973. 2v.
- ALBUQUERQUE, G.A.S.C.; CAMPOS, A. R.; ALMEIDA, S.L.M. Projeto de assistência técnica a pedreira em Santo Antônio de Pádua-RJ: relatório final. Rio de Janeiro, Convênio SEBRAE/CETEM, 1997.
- 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.
- ALMEIDA, S.L.M. Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de Santo Antônio de Pádua – RJ para produção de brita e areia. São Paulo, 2001. 118p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- 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)
- 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)
- ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO: DNPM, Brasília, 2000.
- 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.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para revestimento. Determinação do módulo de deformação estático - NBR 10341. Rio de Janeiro, 1992. 3 p.
- _____ Rochas para revestimento. Determinação do desgaste por abrasão - NBR 12042. Rio de Janeiro, 1992. 3 p.
- _____ Rochas para revestimento. Determinação da resistência à flexão - NBR 12763. Rio de Janeiro, 1992. 3 p.
- _____ Rochas para revestimento. Determinação da resistência ao impacto de corpo duro - NBR 12764. Rio de Janeiro, 1992. 2 p.
- _____ Rochas para revestimento. Determinação do coeficiente de dilatação técnica linear - NBR 12765. Rio de Janeiro, 1992. 3 p.

- _____ Rochas para revestimento. Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água - NBR 12766. Rio de Janeiro, 1992. 2 p.
- _____ Rochas para revestimento. Determinação da resistência à compressão uniaxial - NBR 12767. Rio de Janeiro, 1992. 2p.
- _____ Rochas para revestimento. Análise petrográfica - NBR 12768. Rio de Janeiro, 1992. 2p.
- _____ Agregado para concreto - NBR 7211. Rio de Janeiro, 1993. 4 p.
- _____ Materiais de pedra e agregados naturais - NBR 7225. Rio de Janeiro, 1993. 4p.
- AZAMBUJA, J.C.; GONÇALVES DA SILVA, Z. C. Perfil analítico dos mármore e granitos. São Paulo, DNPM, 1977. v.1. (Boletim, n. 38)
- 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.
- CALAES, A. D. Estudo setorial de rochas ornamentais do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, CONDET, FIRJAN, 1999. v.2.
- 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)
- 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)
- CANINÉ, J.M. Pedra Miracema, a rocha ornamental de Santo Antônio de Pádua. Niterói, Departamento de Recursos Minerais, 1992.
- 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.
- CARANASSIOS, A.; CICCUCI, R. Tecnologia de extração e valorização das rochas ornamentais. Rochas de Qualidade, São Paulo, n. 109, p. 58-77, 1992.
- 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.
- 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.
- CHAVES, A. P.; PERES, A. C. Teoria e prática do tratamento de minérios: britagem, peneiramento e moagem. São Paulo, Signus, 1999. v.3.
- CHIODI FILHO, C. Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais. Rio de Janeiro, CETEM/CNPq, 1995. 75p. (Série Estudos e Documentos)
- CHIODI FILHO, C. Situação e perspectivas brasileiras no mercado internacional de rochas ornamentais. Rochas de Qualidade, São Paulo, n. 118, p. 39-48, 1994.
- 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.
- CICCU, 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.
- CICCU, 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.
- CRESPO, A. Novas tecnologias para extração de rochas ornamentais. Rochas & Equipamentos, Lisboa, n. 24, p. 122-36, 1991.
- DANA, J. D.; HURLBUT JUNIOR, C.S. Manual de mineralogia; trad. de Rui Ribeiro Franco. Rio de Janeiro, Livro Técnico/EPUSP, 1976. 2 v.
- DUARTE, G. W. Uso e desempenho do fio diamantado em maciço rochoso. Rochas de Qualidade, São Paulo, n. 115, p. 93-7, 1993.
- Fabrica de Aço Paulista S.A.. Manual de britagem. 5. ed. São Paulo, Faço, 1994.
- FARIA, W.S. Sondagens rotativas e mapeamento geológico-estrutural. Rochas de Qualidade, São Paulo, n. 109, p. 44-5, 1992.
- FARIAS, C. E. G.; CALAES, A. D. Mercado nacional: estudo econômico sobre rochas ornamentais. Fortaleza, IEL, 1995. v. 2.
- FONSECA, R. S. O setor de mármore e granito na Europa. Rochas de Qualidade, São Paulo, n. 112, p. 86-90, 1993.
- FRAZÃO, E. B. Caracterização tecnológica de rochas de

- revestimento. Rochas de Qualidade, São Paulo, n. 110, p. 111-3, 1992.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- LUZ, A. B.; POSSA, M. V.; ALMEIDA, S. L. M., eds. Tratamento de minérios. 2.ed. Rio de Janeiro, CETEM/CNPq, 1998. 676 p.
- 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.
- MAIA, M.S. Relatório do projeto Pedreiras de Santo Antônio de Pádua. Recife, s.n., 1996.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

- 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.
- 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.
- PEITER, C. C. Abordagem participativa na gestão de recursos minerais. São Paulo, 2000. 135p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- 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.
- 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.
- RIBEIRO, I. A. Agregados: demanda desaquecida. Brasil Mineral, São Paulo, n. 69, p. 44-55, ago. 1989.
- 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.
- 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.
- SILVA, M.A.R. Relatório do projeto SEBRAE/Santo Antônio de Pádua. São Paulo, Iudice Mineração Ltda, 1997.
- 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.
- STELLIN JÚNIOR, A. Mármore e granitos brasileiros. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 1., Cagliari, 1990. Atti. Cagliari : Università Degli Studi Di Cagliari, 1990. p. 293-306.
- 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)
- SUMÁRIO MINERAL: DNPM, Brasília, v.20, 2000.
- THOREAU, B. L'utilizzazione del fio diamantato nelle cave de granito. s.l., s.n., 1994. /Apresentado ao 1. Congresso Internacional de Arquitetura, Rochas Ornamentais e Tecnologia, Salvador, 1994/
- TONSO, S. As pedreiras no espaço urbano: perspectivas construtivas. Campinas, 1994. 131p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- TRATAMENTO de minérios e hidrometalurgia: in memoriam Professor Paulo Abib Andery. Recife, Fundação Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco, 1980.
- VALE, E. Mercado internacional de rochas ornamentais. Fortaleza, IEL/FIEC, 1997. v.4.
- 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)
- VIDAL, F.W.H. A indústria extrativa de rochas ornamentais no Ceará. São Paulo, 1995. 190p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- 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.