

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais –  
PPGEM.

**PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO DE GRANALHA NÃO ATIVA NO**  
**DESDOBRAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM TEARES**  
**MULTILÂMINAS**

Hamilcar Tavares Vieira Júnior  
Geólogo

Trabalho realizado no Departamento de Metalurgia da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Metalurgia Extrativa

Porto Alegre  
2001

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração Metalurgia Extrativa e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Hoffmann Sampaio

Banca Examinadora:

Dr. Rubens M. Kautzmann - DNPM

Dr. Gerson L. Miltzarek - UFRGS

Prof. Dr<sup>a</sup> Magda Galant François - UFRGS

Prof. Dr. Jair Carlos Koppe

Coordenador do PPGEM

Porto Alegre, agosto de 2001.

V658p Vieira Júnior, Hamilcar Tavares

Proposta de recuperação de granalha não ativa no desdobramento de rochas ornamentais em teares multilâminas / Hamilcar Tavares Vieira Júnior. – 2001.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Porto Alegre, BR-RS, 2001.

Orientação: Prof. Dr. Carlos Hoffmann Sampaio

1. Rochas ornamentais. 2. Tratamento de minérios. I. Sampaio, Carlos Hoffmann, orientador. II. Título.

CDU-622.7(043)

480

Confere com o original!

Em 14/07/2010.

Beatriz Maria Ferraz  
Secretaria/PPGEM/UFRGS

45

ATA DA COMISSÃO EXAMINADORA  
DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO  
GEÓLOGO

HAMILCAR TAVARES VIEIRA JÚNIOR ✓

DATA: 13.08.2001

LOCAL: AUDITÓRIO - CENTRO DE TECNOLOGIA

TÍTULO: PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO DA GRANALHA  
NÃO ATIVA NO DESDOBRAMENTO DE ROCHAS  
ORNAMENTAIS EM TEARES MULTILÂMINAS

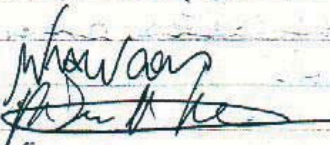
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TECNOLOGIA MINERAL

COMISSÃO EXAMINADORA:

Profa. Dra. MAGDA BEATRIZ GALANT FRANCOIS - ULBRA  
 Dr. RUBENS MÜLLER KAUFMANN - DNPM  
 Dr. GERSON LUIS MILTZAREK - CONSULTOR  
 Prof. Dr. CARLOS HOFFMANN SAMPAIO - PPGEM (ORIENTAD)

JULGAMENTO:

APROVADO COM CONCEITO "A" DESDE QUE SEJAM  
 FEITAS AS MODIFICAÇÕES SUGERIDAS PELA  
 COMISSÃO EXAMINADORA.

  
 Gerson Miltzarek  
 Carlos H. Sampaio

As modificações sugeridas  
 pela Comissão Examinadora  
 foram realizadas  
 Carlos H. Sampaio

*“ Uma exposição sobre uma pesquisa é, com efeito, o contrário de um show, de uma exibição na qual se procura ser visto e mostrar o que se vale. É um discurso em que a gente se expõe, no qual se correm riscos. Quanto mais a gente se expõe, mais possibilidades existem de tirar proveito da discussão e, estou certo, mais benevolente são as críticas ou os conselhos ”.*

*“Pierre Bourdieu” , O Poder Simbólico (1998)*

Este Trabalho é dedicado em especial a minha esposa e aos meus pais pelo constante apoio emocional e positivismo

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente gostaria de agradecer a meus pais pelo apoio emocional e carinho recebido e de maneira especial a minha esposa por sua cumplicidade, tolerância, em todas as etapas deste trabalho.

Como foco central de reconhecimento desejo expressar meu agradecimento ao Prof. Dr. Carlos Hoffmann Sampaio, meu orientador, pelo apoio, confiança e pelas sugestões enriquecedoras para o aprimoramento deste trabalho.

Agradeço também, de maneira especial, a todos os colegas de laboratório que estiveram presentes durante este período e participaram com sugestões, palpites, discussões, entre os quais Luis Carlos Bosi Tubino, Prof. Dr. Júlio Cesar de Souza, Gerson L. Miltzarek, Eduardo Santana, Giovani Dalpiaz, Sidney Sabedot, Fabio Larroyd, Edison Petter, Edison Thaddeu Pacheco, Vlândia Cristina Gonçalves de Souza, Prof. Dr. Carlos Otávio Petter, Lorenza Alberici, Roberto Gliese e Paulo Nunes Conceição.

Com o mesmo respaldo agradeço a Marcela Juliana Silva Costa pela sua cordialidade e em especial à bolsista de iniciação científica, Lisiane Silva Guimarães, por sua competência e responsabilidade na realização dos trabalhos laboratoriais, bem como, aos demais bolsistas que se dedicaram no auxílio das tarefas, dentre os quais Lécio Ritter e Karime Ribeiro.

Agradeço com satisfação, o ambiente de amizade e companheirismo gerado pelos colegas de sala Gerson L. Miltzarek, Edison Thaddeu Pacheco, Giovani Dalpiaz, Eduardo Santana e Fábio Larroyd.

Finalizando, gostaria de agradecer a CAPES pela bolsa de estudos concedida e ao PPGEM pelo apoio logístico e pessoal colocados à disposição em todos os momentos deste trabalho.

## SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	i
Lista de Tabelas.....	ii
Lista de Abreviaturas e Símbolos.....	iii
<b>RESUMO.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
1.1 Objetivos.....	02
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>04</b>
2.1 Panorama Mundial.....	04
2.2 Panorama Nacional.....	08
2.3 Panorama Regional.....	10
2.4 Diagnóstico do Setor.....	15
2.5 Aspecto Ambiental.....	21
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>29</b>
4.1 Estimativa de rejeito e Planta de beneficiamento.....	44
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>50</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>52</b>
<b>7 ANEXOS.....</b>	<b>55</b>

**LISTA DE FIGURAS**

01- Distribuição dos principais domínios geológico/geomorfológico no estado do Rio Grande do Sul .....	12
02- Tear G2 da MGM – Empresa CIGRAMAR mármore e Granitos – Soledade – RS.....	15
03- Blocos de rocha sendo encaminhados para o desdobramento CIGRAMAR.....	17
04- Tear em processo de corte (desdobramento) em 3 blocos rochas.....	18
05- Bacia de deposição do rejeito da empresa São Cristóvão.....	24
06- Hidrociclone Classificador.....	28
07- Distribuição percentual por classe granulométrica da fração magnética e mineral presentes no rejeito.....	37
08- Percentagem de sólidos e água em rejeito.....	38
09- Gráfico de distribuição das populações – fração magnética.....	40
10- Gráfico de distribuição das populações – fração mineral.....	40
11- Granelha na granulometria + 0,42 mm observada em lupa (20X).....	42
12- Fração mineral na granulometria + 0,42 mm observada em lupa (20X).....	43
13- Alternativas tecnológicas para processamento de rejeito.....	45
14- Esquema de coleta de processamento de lamas.....	46



**LISTA DE TABELAS**

01- Taxas de crescimento da produção mundial de rochas ornamentais entre 1976/1995.....	04
02- Produção mundial de blocos de mármore e granito.....	07
03- Substâncias ornamentais com Solicitação de Pesquisa e Lavra.....	13
04- Composição média da lama abrasiva.....	18
05- Impactos ambientais gerados no beneficiamento e polimento de rochas.....	25
06- Distribuição granulométrica do rejeito da empresa CIGRAMAR - % retida.....	30
07- Corte granulométrico na fração – 0,42 + 0,25 mm.....	31
08- Corte granulométrico na fração – 0,25 + 0,37 mm.....	32
09- Média granulométrica do rejeito de 23 granitos.....	32
10- Distribuição granulométrica do rejeito da empresa São Cristóvão.....	33
11- Distribuição granulométrica do rejeito da empresa São Cristóvão.....	34
12- Distribuição granulométrica do rejeito da empresa São Cristóvão.....	36

**LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

g	Gramma
l	Litro
g/l	grama por litro
pH	potencial de hidrogênio
$\mu\text{m}$	Micrômetro
t	Tonelada
t/ano	tonelada por ano
mm	Milímetro
$\text{g}/\text{cm}^3$	grama por centímetro cúbico
mm/s	milímetros por segundo
mm/h	milímetros por hora
m	Metro
$\text{m}^2$	metro quadrado
$\text{m}^3$	metro cúbico
kg	Kilo

## RESUMO

No processo de desdobramento dos blocos de granito e basalto, os teares utilizam granalha de ferro/aço como abrasivo gerando grandes quantidades de material fino a base dos minerais constituintes das rochas, da granalha cominuída e do desgaste das lâminas (lama abrasiva).

Este trabalho tem por objetivo caracterizar a lama abrasiva no estágio em que esta sai do processo de desdobramento das rochas (rejeito). Isto acontece quando a granalha atinge a fração  $< 0,42$  mm e perde suas propriedades abrasivas, dispensando, desta forma, sua presença no sistema. O equipamento utilizado para a retirada da lama não abrasiva é o hidrociclone, que através do overflow conduz o rejeito a uma bacia de decantação.

A caracterização do rejeito foi realizada tanto em amostras individuais, como em amostras coletadas diretamente nos tanques de decantação provenientes da serragem de diferentes tipos litológicos, enfatizando, principalmente, os aspectos físicos (morfológico e granulométrico) que caracterizam esta lama não abrasiva.

Este estudo busca, também, quantificar o volume produzido de rejeito pelas principais empresas de desdobramento do setor, bem como o provável aproveitamento econômico, através de métodos de separação mineral apropriados, de modo que se determine uma rota viável na ordem técnica e econômica.

Outro aspecto abordado foi o impacto ambiental gerado pela deposição destes rejeitos, uma vez que, poucas empresas do setor têm a preocupação efetiva de adequar suas bacias de decantação com as normas vigentes da legislação ambiental. Após o esgotamento dessas bacias, os rejeitos são descartados em aterros próximos às empresas ou nos “lixões” e aterros das prefeituras municipais. Observa-se, desta forma, que não há o devido tratamento, haja vista, o material apresentar elevado percentual de sólidos (ferro, quartzo, feldspato) e pH em torno de 12 (alcalino).

## ABSTRACT

The sawing process of granite and basalt blocks generates slurry that contains fine size particles. This material is composed by rock powder and iron/steel particles coming from the worn-out grit and blades.

This work aims to characterize this abrasive slurry in the moment that it leaves the sawing process. It happens when the particle size of slurry becomes lower than 0.42 mm then it loses its abrasives proprieties. Subsequently a hydro cyclone is used to remove the slurry from the system. The overflow goes to a flocculation tank.

The waste samples were separated in two groups: individual samples and samples collected from the flocculation tanks. The last one is originated from the sawing process of different ornamental stones. The physicals aspects (morphologic and particle size) that characterize this slurry were emphasized.

This research also aims:

- to determine the volume of waste produced in the main companies of this area and
- to evaluate the economic potential of this process using methods of mineral separation.

Other aspect studied was the environmental impact generated by the flocculation tanks. Few companies of this segment have adequate these tanks to the environmental regulations. After the exhaustion of these tanks, the wastes are deposited in lands close to the companies. It can be deposited also in rubbish dump and lands of the municipal city hall. This study shows that there isn't an appropriate treatment to the material that presents a high solids content (iron, quartz, feldspar) e pH (12).

## 1 - INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais, principalmente o granito, mármore e recentemente o basalto, são intensamente utilizadas em aplicações estéticas e decorativas na construção civil, consumindo-se uma gama extensa e variada de tipos lapídeos. Apenas no Brasil estima-se em cerca de 500 os tipos comerciais existentes, com produção na ordem de três milhões de toneladas anuais.

A potencialidade brasileira em rochas ornamentais, principalmente em relação aos granitos é extraordinária, devido às amplas regiões do território que compreendem afloramentos pré-cambrianos. A potencialidade geológica do país pode ser comparada, no nível mundial, somente às da China e da Índia.

A valorização da produção de rochas ornamentais se realiza através de diversas etapas de processamento, que iniciam com a extração de blocos dentro de condições estéticas e geométricas definidas, para um melhor rendimento técnico na etapa posterior de desdobramento. Nesta etapa realiza-se o desdobramento dos blocos para a obtenção de chapas com espessuras diversas em função da aplicação que se fará posteriormente. Por último, as chapas são processadas em marmorarias para a obtenção dos produtos finais de consumo decorativo ou na construção civil.

Consideram-se rochas ornamentais as mais diversas litologias, como mármore, granitos, gnaisses, calcários, dolomitos, quartzitos, gabros, serpentinitos, conglomerados, etc., passíveis de serragem e polimento.

O Estado do Rio Grande do Sul se caracteriza por possuir basicamente ocorrências de rochas ornamentais de origem ígnea intrusiva, localizadas na região do escudo sul-rio-grandense, onde predominam variedades de granitos. Além destas, encontra-se ocorrências de rochas ígneas extrusivas, localizadas na região do Planalto com predominância de rochas basálticas. Estas formações geológicas intrusivas incluem-se no Grupo Cambaí e são as mais antigas do embasamento cristalino. Os granitos existentes no Estado estão representados por três tipos principais: Granitos tipo Caçapava do Sul, Granitos tipo Canguçu e Granitos tipo Encruzilhada do Sul.

As áreas de ocorrência de rochas ornamentais no Estado do Rio Grande do Sul se concentram em cerca de 20 municípios do Estado, sendo que os basaltos são extraídos na

região da Serra, através de licenciamento junto ao DNPM e as rochas granitóides na região central e sul do Estado, através do regime de concessão de lavra.

Na etapa de desdobramento são utilizados dois tipos de equipamentos principais: os teares, equipamentos que utilizam um conjunto de lâminas de aço que desdobram os blocos atritando contra os mesmos uma mistura abrasiva a base de granalha de ferro ou aço; e os talha-blocos, que são equipamentos que desdobram os blocos em delgadas chapas através de um conjunto de serras circulares diamantadas com diâmetros diversos em função da largura da tira desejada.

A tecnologia utilizada é a tradicional, com teares multilâminas à granalha de ferro/aço, com poucas empresas utilizando inovações operacionais com tensores hidráulicos, controle automático de granalha, expurgo e cal, polimento automático com equipamentos multicabeças, decorrendo disso uma baixa produtividade e qualidade final das chapas com alto custo de produção (em função da imperfeição da serrada da chapa e equipamentos obsoletos para polimento).

### 1.1 - Objetivos

O estudo proposto está relacionado com o desdobramento dos blocos de granito e basalto em teares multilâminas à granalha, que durante o seu processamento descartam quantidades consideráveis de lama abrasiva, com elevados teores de ferro/aço e outros minerais.

Durante o desdobramento dos blocos de granito e basalto nos teares que utilizam granalha de ferro/aço como abrasivo, são produzidos finos de ferro/aço e concentração dos minerais presentes das rochas processadas, em função do atrito que ocorre entre as lâminas de aço, a mistura abrasiva e o bloco de rocha. Estes finos provocam uma alteração nas condições reológicas da mistura abrasiva diminuindo a produtividade. Assim, entre intervalos previamente calculados em função da metragem horária cortada pelo tear, são realizados expurgos (retirada) da mistura abrasiva em ciclones deslamadores, buscando um corte na fração  $< 0,42$  mm para a eliminação dos finos (pó de rocha + granalha não ativa) do processo. Estes são normalmente armazenados em pequenas bacias de deposição ao lado da serraria, para posteriormente serem descartados em algum aterro próprio, público ou algumas vezes diretamente nos mananciais vizinhos, provocando distúrbios ambientais cumulativos.

É importante analisar, também, o comportamento dos materiais presentes, tanto em seus parâmetros físico-químicos, como também, as composições químicas, mineralógicas e morfológicas dos materiais e minerais presentes na lama abrasiva. Esta lama é operada em circuito fechado, que com o constante atrito de corte acaba sofrendo um desgaste, sendo necessária sua constante reposição (granalha ativa) e descarte da fração não ativa < 0,42 mm, objeto deste trabalho. Este material apresenta em média 40% de água em peso e é armazenado em pequenas bacias de decantação, apresentando como características o alto teor de Fe e pH em torno de 11 – 12.

Os danos ambientais que freqüentemente estão associados aos efluentes gerados no desdobramento de blocos estão relacionados com o alto conteúdo de sólidos, alto teor de ferro e elevado pH do efluente. Desta forma, ocorrem contaminações do lençol freático pelo ferro, assoreamento dos rios em função dos resíduos sólidos presentes e alteração do pH das águas da região, tornando-as impróprias para o consumo humano e para diversas aplicações industriais.

No efluente descartado estão presentes as mais variadas granulometrias, em função do tempo entre expurgos e da eficiência do ciclone utilizado. Partículas minerais de quartzo, feldspato, mica, minerais máficos provenientes do granito/basalto, associadas a partículas de ferro provenientes da granalha e das lâminas de aço, se encontram praticamente liberadas e passíveis de serem concentradas quando submetidas a processos adequados de concentração.

Para o aproveitamento econômico deste rejeito, faz-se necessário então, um estudo minucioso, de modo que se possa avaliar as reais condições de utilização, avaliando e vislumbrando sua capacidade de armazenabilidade, resistência à intempérie, bem como sua demanda mercadológica.

Portanto, além da caracterização físico-química, morfológica-granulométrica, é importante quantificar o volume produzido de rejeito pelas principais empresas de desdobramento do setor, buscando viabilizar a geração de subprodutos, matérias-primas para serem utilizadas nos setores de metalurgia, cerâmica, vidraria, construção civil ou ainda, na própria empresa, como massa para argamassa de rejunte da carga de blocos, de modo que se determine uma rota viável na ordem técnica e econômica.

Este trabalho tem por objetivo então, analisar a viabilidade econômica da separação do material magnético (ferro) do mineral (pó de rocha), enfatizando, principalmente, os aspectos físicos (morfológico e granulométrico) que caracterizam este rejeito.

Em cima destes fatores, a pesquisa direcionada à otimização dos parâmetros operacionais do processo produtivo de desdobramento de blocos de rochas ornamentais, aliado ao beneficiamento do expurgo vem complementar as necessidades das empresas do setor de rochas ornamentais, seja equacionando os danos ambientais decorrentes do descarte direto desse expurgo, seja gerando subprodutos rentáveis.

Acredita-se, desta forma, que o reaproveitamento do material de rejeito (lama), pode se tornar viável se elaborada uma rota de beneficiamento compatível com o processo de desdobramento, bem como, a disponibilidade de recursos das empresas empreendedoras do setor no sentido de implantar a metodologia que será sugerida neste trabalho.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - Panorama Mundial

A expressão rocha ornamental é atribuída aos materiais rochosos utilizados para fim de ornamentação e revestimento. São considerados mais importantes economicamente aqueles materiais passíveis de polimento, tais como, mármore e granitos (MOYA & SUSLICK, 1992).

O crescimento do setor das rochas ornamentais e de revestimento apresenta um horizonte otimista para os negócios no setor mineral. A taxa média anual de crescimento da produção mundial entre 1976 e 1995 foi de 4,7% e quando se analisa o crescimento de 1990 a 1995 especificamente, observa-se um crescimento de 9,5% (FILHO & SABADINI, 2000).

Tabela 1 – Taxas de crescimento da produção mundial de rochas ornamentais entre 1976 / 1995 (fonte VALE, 1997).

Período	1976 / 1986	1976 / 1990	1986 / 1990	1986 / 1995	1990 / 1995
Taxa de Crescimento	2,0	3,1	5,6	7,5	9,5



Devido a isto, a década de 90 é considerada a “*nova idade da pedra*”, assumindo-se que as transações com blocos e produtos acabados já atingem cerca de US\$ 8 bilhões/ano no mercado internacional e US\$ 15 bilhões/ano nos mercados internos dos países produtores. Estima-se ainda que as transações com máquinas, equipamentos, insumos e serviços no setor, movimentam outros US\$ 6 bilhões/ano, totalizando-se assim negócios da ordem de US\$ 30 bilhões/ano

O desenvolvimento do setor pode ser avaliado, referindo-se que a produção mundial evoluiu de 1,5 milhões t/ano, na década de 20, para um patamar atual aproximado de 50 milhões t/ ano, apenas em mármore e granitos. Tal incremento foi determinado tanto por novos tipos de utilização das rochas ornamentais nas paisagens urbanas, principalmente no que se refere a obras de revestimento, quanto por novas tecnologias de extração, manuseio, transporte e beneficiamento de blocos e placas. Os avanços tecnológicos permitiram o aproveitamento e difusão de diversas rochas anteriormente não comercializadas, sobretudo graníticas, enquanto as novas utilizações viabilizaram soluções estéticas e funcionais muito interessantes e confiáveis na construção civil.

Segundo o DNPM – Departamento Nacional de Pesquisas Minerais - a produção mundial de rochas ornamentais atingiu o patamar de 40 milhões de ton/ano durante a década de 1990. Desse total, 12 milhões de toneladas foram exportadas; 61,5% de materiais brutos (50% de granitos e 11,5% de mármore) e 38,5% de rochas processadas (Filho e Rodrigues, 1996).

O estoque de capital imobilizado pelo segmento está estimado em US\$ 12 bilhões, demandando investimentos médios anuais de US\$ 1,2 bilhão, somente para reposição de máquinas e equipamentos. As estimativas indicam que estão em operação em todo o mundo 40.000 empresas – a maioria de pequeno e médio porte – empregando diretamente pelo menos 1,5 milhão de pessoas em extração e processamento de rochas ornamentais. No entanto, há uma tendência de estabelecimento de empresas de maior porte devido ao interesse de grandes empresas dos setores de mineração e construção civil em adquirir empresas menores e ao processo de fusão entre pequenas e médias empresas (VALE, 1997).

Cerca de 80% da produção mundial é transformada em chapas e ladrilhos para revestimentos, 15% desdobrada em peças para arte funerária, 5% para outros campos de aplicação. No que se refere a chapas e ladrilhos, estimativas indicaram consumo de 540 milhões m<sup>2</sup> em 1996 e apresentaram previsão de 680 milhões de m<sup>2</sup> para o ano 2000.

Os mármoreos representam na atualidade cerca de 55% da produção mundial de rochas ornamentais, sendo 40% atribuído aos granitos e 5% às ardósias. A participação dos granitos elevou-se de um patamar de 15%, no princípio dos anos 50, até os atuais 40%, incrementando a demanda global sem restringir a utilização dos mármoreos. Aproximadamente 30% da produção mundial de mármoreos e granitos, correspondente a 13,5 milhões t/ano, é colocada no mercado internacional.

O grupo dos países, principalmente produtores, no qual está incluído o Brasil, ainda exporta, sobretudo blocos, cumprindo uma trajetória de desenvolvimento já trilhada por países com maior tradição setorial. A mudança no sentido da exportação de produtos acabados, constitui o desdobramento natural desse primeiro estágio, demandando tempo e esforços consideráveis em investimentos humanos e financeiros.

Atentos à importância socioeconômica assumida pelas rochas ornamentais e de revestimento, países como a China Continental, África do Sul e Índia, que são os mais diretos concorrentes brasileiros no mercado internacional, desenvolvem diversas ações institucionais de fomento. Pela notória capacidade de geração de emprego e renda, além de ser considerado um vetor efetivo de interiorização de desenvolvimento, também no Brasil, o setor deveria ser credenciado como beneficiário de incentivos e políticas públicas.

Destaca-se que o mercado internacional mostra perfis específicos de demanda e é regido pela lei de oferta e procura, visto que, as rochas ornamentais não constituem *commodities* mineral. Alguns modismos e tendências de consumo são determinados principalmente no continente europeu, que concentra os países de mais tradição setorial e volume de negócios. Por exemplo, a Itália, Alemanha, Espanha, Grécia e França foram responsáveis por 40-45% do consumo mundial noticiado na última década.

Salienta-se, nesse caso, a posição da Itália como maior produtora de rochas e equipamentos, maior importadora de material bruto, maior exportadora de produtos acabados e serviços e maior consumidora *per capita*, controlando, assim, quase 50% do comércio internacional. O principal fator da distinção italiana está relacionado ao controle de tecnologias de lavra, beneficiamento e aplicação, absorvida e desenvolvida ao longo do tempo em base de sua própria cultura de extração e utilização de materiais. Somente do Brasil, a Itália absorve mais de 60% do volume físico das exportações (CHIODI, 2000).

A tabela 2 apresenta a produção mundial de blocos de mármore e granito nos anos de 1996 e 1997. Em 1997, os sete principais países produtores de blocos de mármore e granito produziram 57% da produção mundial. São eles: Itália (16,4%), China (13,1%), Espanha (9,85%), Índia (5,2%), Brasil (4,63%), Portugal (4,3%) e Grécia (4,3%). O Brasil, em destaque na tabela 2, ocupou a 5ª posição no cenário internacional tanto em 96 quanto em 97 (FILHO & SABADINI, 2000).

Tabela 2 - Produção mundial de blocos de mármore e granito (fonte: DNPM, 1999 in: Banco do Brasil, 2000).

País	Produção (em 1.000 ton.)		Participação s/ total (%)	
	1996	1997	1996	1997
Itália	7.500	7.500	17,48	16,41
China	5.800	6.000	13,52	13,13
Espanha	4.000	4.500	9,32	9,85
Índia	1.900	2.400	4,43	5,25
<b>Brasil</b>	<b>2.039</b>	<b>2.114</b>	<b>4,75</b>	<b>4,63</b>
Grécia	2.050	2.000	4,78	4,38
França	1.600	1.650	3,73	3,61
Portugal	1.500	2.000	3,50	4,38
EUA	1.450	1.400	3,38	3,06
Coréia do Sul	1.350	1.300	3,15	2,84
Turquia	1.200	1.400	2,80	3,06
Irã	-	1.100	-	2,41
África do Sul	900	900	2,10	1,97
Alemanha	600	600	1,40	1,31
Finlândia	450	500	1,05	1,09
Canadá	400	400	0,93	0,88
Taiwan	350	350	0,82	0,77
Noruega	300	300	0,70	0,66
Rússia	-	800	-	1,75
Filipinas	-	300	-	0,66
Outros	9.511	8.186	22,17	17,91
<b>Total</b>	<b>42.900</b>	<b>45.700</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Os principais países consumidores são a Alemanha, Espanha, EUA, França, Grécia, Itália e Japão, respondendo, conjuntamente, por cerca de 60% do consumo realizado nos anos 90. Pode-se destacar a Europa Central como a região de maior demanda, seguido pela América do Norte representada pelos EUA. É de se destacar que todos esses países são extremamente rigorosos e exigentes quanto à qualidade do produto.

De maneira simplificada, o mercado mundial de rochas ornamentais pode ser entendido classificando-se os países que desenvolvem atividades nesse segmento em três grupos:

- Grupo 1: países principalmente produtores (como Brasil, Índia, China);
- Grupo 2: países principalmente consumidores (como Japão, Estados Unidos, Alemanha, Arábia Saudita);
- Grupo 3: países produtores e consumidores (como Itália, Espanha, França, Grécia, Bélgica, Holanda, Finlândia)

Em geral, países desenvolvidos que estão envolvidos com a produção e consumo de rochas ornamentais, como a Itália, França, Espanha, Holanda, Bélgica, dentre outros, possuem tradição neste setor e estão historicamente envolvidos com a exportação, em sua maioria de produtos beneficiados. Esta orientação para a exportação de produtos beneficiados é devida, principalmente, ao efetivo controle da tecnologia de lavra e de beneficiamento (FILHO & SABADINI, 2000).

Atualmente a produção mundial está na faixa de 50 milhões de toneladas, representando um mercado da ordem de US\$ 9 bilhões (rocha bruta) ou US\$ 25 bilhões (rocha beneficiada). As previsões para 2005 são de que se alcance a produção de 75 milhões de toneladas de rocha bruta, projetando aproximadamente US\$ 14 bilhões (FIRJAN, 1999).

## 2.2 - Panorama Nacional

O Brasil ocupa posição de muito destaque no cenário internacional e está enquadrado no grupo dos grandes produtores e exportadores de rochas, sendo-lhe atribuída a maior geodiversidade mundial para granitos. Nesses termos, o Brasil responde por 5% da produção mundial e 5,5% do volume físico total de exportações, colocando-se como o 4º maior

exportador de blocos de granitos e já como 11º exportador de chapas e produtos acabados (CHIODI, 2000).

A produção brasileira de rochas ornamentais em 1998 atingiu o patamar de 2,8 milhões de toneladas, compreendendo 1,6 milhões de toneladas de granitos, 0,6 milhões de toneladas de mármore e 0,6 milhões de toneladas de outras rochas ornamentais. No período 1983 – 1998, a oferta total de mármore e granitos evoluiu à taxa de 5,4% a.a. Os granitos que participavam em 1983 com 51% da oferta global de rochas ornamentais ascenderam a participações de 57% em 1992 e 72% em 1998 (CONDET, 1999).

O setor brasileiro de mármore e granitos beneficiados apresentou expansão a taxa média de 3% a.a., no período 1983 – 1998, inferior ao ritmo de crescimento da produção de blocos (5,4% a.a.). Em 1998, o país produziu cerca de 1,4 milhões de toneladas de chapas (18 milhões de m<sup>2</sup>) e 1,2 milhões de toneladas de produtos acabados de rochas ornamentais. O país conta com uma estrutura de desdobramento de rochas ornamentais equivalente a uma capacidade instalada da ordem de 2,3 milhões t/ano.

A região sudeste detém cerca de 81% da capacidade instalada e a produtividade média dos teares em operação no país (cerca de 43 m<sup>3</sup>/tear.mês) apresenta-se inferior a do estado do Espírito Santo e, principalmente, a dos teares italianos (80 a 100 m<sup>3</sup>/tear.mês) (CONDET, 1999).

Apesar da posição de destaque do Brasil no cenário internacional – 5% da produção mundial - vale ressaltar que existem alguns problemas no quadro setorial brasileiro de rocha ornamental, tais como: predominância de micro/pequenas empresas com estrutura familiar e estrutura local; desconhecimento de técnicas de gestão como planejamento da produção, análise de custos, manutenção preventiva, controle de qualidade, sistemas informatizados; falta de acesso a informações técnicas e tecnológicas para expansão e sustentabilidade das operações das indústrias; etc.

Outro aspecto relevante é a existência de jazidas de alta qualidade não pesquisadas adequadamente, sendo que, para aumentar a variedade de produtos é necessário um maior conhecimento das rochas e suas reservas. Os blocos produzidos nas pedreiras têm dimensões e forma aceitáveis, mas não é dada atenção devida aos aspectos cromáticos e de desenho da rocha (padrão estético), resultando em qualidade irregular do produto. Com a ação de medidas relativamente simples nas pedreiras, sem implicar necessariamente em tecnologia

estrangeira, pode-se aumentar a produtividade em 20-30%, bastando, para tanto, a introdução de *know-how* em técnicas de extração através de treinamento regular de encarregados e operadores.

No beneficiamento, as indústrias carecem de metodologia para controle dos processos, conhecimento das propriedades (faixa aceitável de densidade e viscosidade) e composição da lama abrasiva, avaliação da qualidade dos insumos utilizados, *layout* adequado das instalações e tecnologia para colocar no mercado externo um produto competitivo.

As rochas ornamentais e de revestimento abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadreamento, polimento, lustro, etc. Seus principais campos de aplicação incluem peças isoladas, esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, dentre outros (CHIODI et alli, 1995).

### 2.3 - Panorama Regional

A maioria dos trabalhos de pesquisa mineral para granitos ornamentais verificados no Estado do Rio Grande do Sul é caracterizado pelo baixo aporte de investimento, resumindo-se a simples observação do maciço rochoso, com amostragens pontuais e ensaios tecnológicos insuficientes e inadequados para permitir uma avaliação consistente sobre as características do material e suas reservas. Uma das principais dificuldades advindas da falta de pesquisa nas ocorrências de rochas ornamentais no Estado é a carência de informações tecnológicas, essenciais ao efetivo incremento no aproveitamento dessas rochas na indústria da construção civil. Essa situação, por sua vez, tem acarretado no pequeno número de áreas prontas para aberturas de frentes de mineração (CORRÊA & KAUTZMANN, 1996).

A extração é realizada, muitas vezes, através de empreiteiros contratados pelas empresas proprietárias das áreas ou direitos de pesquisa/lavra, sem acompanhamento técnico adequado (engenheiro de minas, geólogo), gerando grandes problemas de planejamento de produção e reabilitação de áreas mineradas, principalmente no tocante a disposição dos rejeitos de lavra. O método de lavra é a céu aberto, através da extração de matacões “in situ” e em alguns casos do maciço rochoso.

O método de lavra tradicional está fundamentado na utilização intensiva de explosivos lentos (pólvora negra ou pólvora mostarda detonada em furo raiado único) e velozes (nitroaromático detonado em uma cortina de furação sem tamponamento – *pré-splitting*) para os cortes primário e secundário e utilização de cunhas mecânicas e/ou cordel detonante tipo NP-5 no esquadrejamento final do bloco. Não é utilizada a tecnologia diamantada para corte dos painéis e pranchas, nem qualquer outro tipo de tecnologia moderna. Utiliza-se o *flame jet* para abertura do canal de entrada nos painéis e pranchas dentro do maciço rochoso ou grandes matacões, sendo os cortes secundários realizados através de detonação com pólvora ou nitroaromáticos (peteca) (SOUZA, 1997).

Os tipos de rochas ornamentais mais procurados na solicitação de pesquisa ou lavra no Estado do Rio Grande do Sul e suas respectivas áreas de concentração, estão relacionadas na tabela 3, conforme o DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral.

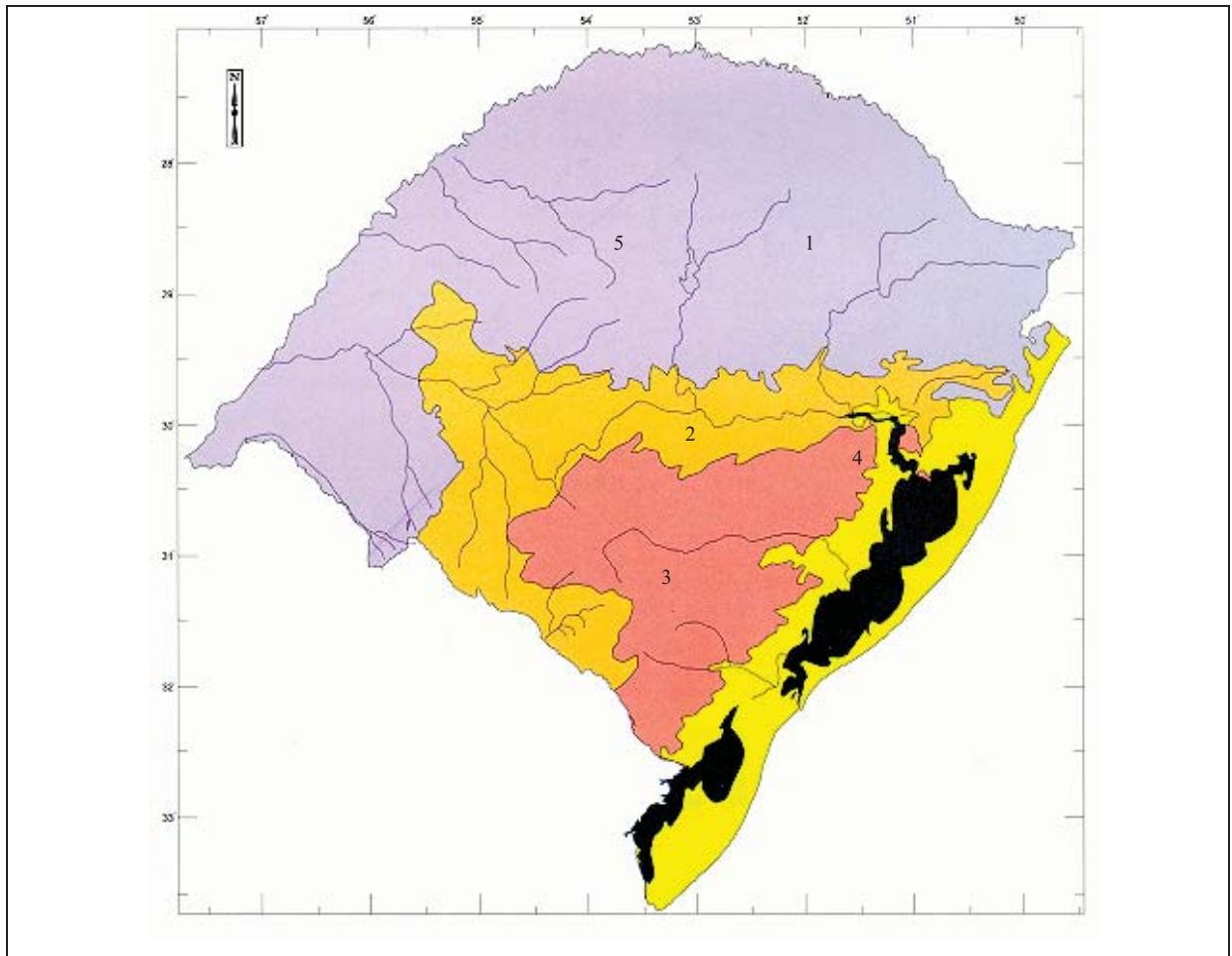
Segundo GROSS et alli (1997) as principais regiões produtoras de rocha ornamental no estado do Rio Grande do Sul são: Cachoeira do Sul (Granito Marrom Guaíba), Pinheiro Machado (Granito Royal Red), Cerro Grande do Sul (Granitos Ouro Gaúcho e Prata Gaúcha), (Viamão Granito Colorado Gaúcho), localizados principalmente no Escudo Sulriograndense e na região do planalto da Serra Geral, nos municípios de Nova Prata e Paraí, onde se encontra uma grande produção de basaltos beneficiados, representando o segmento que mais se desenvolveu nas últimas décadas (Figura 01).

A aplicação de materiais ornamentais como peças decorativas bem como na construção civil como material de revestimento, vem sendo empregada há mais de 2000 anos. No Rio Grande do Sul esse processo teve início no ano de 1909 com a instalação da primeira unidade (GROSS et alli, 1997).

Existem cerca de 13 tipos comerciais de granitos tradicionais no Rio Grande do Sul, tais como; Marrom Guaíba, Colorado Gaúcho, Royal Red, Ouro Gaúcho, Prata Gaúcho, Pampas Grey, Arroio Grande, Austral Red, Bordô Cristal, Rosa Pampeano, Vermelho Capão do Leão, Cinza Canguçu e o Basalto Flor de Camomila; sendo que desse, cinco ocupam posição de destaque: Marrom Guaíba, Colorado Gaúcho, Ouro Gaúcho, Prata Gaúcho e Royal Red.

Os basaltos concentram-se na região da Serra Gaúcha – basalto flor de camomila - notadamente nos municípios de Paraí e Nova Prata, sendo explorados depósitos de basalto

em camadas horizontais (lajes) e matacões “in situ” para obtenção de blocos de volume entre 2 e 5 m<sup>3</sup>. A industrialização dos basaltos é realizada através de teares, talha-blocos, politrizes manuais e semi-automáticas, freza ponte e serras convencionais. Além dessas rochas ornamentais o Rio Grande do Sul é o maior produtor e comercializador nacional de basaltos em placas brutas ou beneficiadas, oriundos da Formação Serra Geral, que é uma sucessão de derrames basálticos da Bacia do Paraná (SOUZA, 1997).



LEGENDA

0 22 44





	Planalto da Serra Geral	1 – Nova Prata	5 - Soledade
	Depressão central	2 – Cachoeira do Sul	
	Escudo Sulriograndense	3 – Pinheiro Machado	4 - Cerro Largo
	Planície costeira		

Figura 01 – Distribuição dos principais domínios geológico/geomorfológicos no Estado do Rio Grande do Sul (fonte: MÁRMORES, 1998).



A tabela 3 expõe os principais tipos rochosos requisitados para pesquisa e os respectivos municípios onde estes se encontram. Esta tabela evidencia a dinâmica de mercado em que o setor de rochas ornamentais está inserido.

Tabela 3 - Substâncias Ornamentais com Solicitação de Pesquisa ou Lavra, fonte: DNPM (1996).

Rocha	Hectares	Situação Legal	Municípios
Anfibolito	2.000,00	2 pedidos de pesquisa	Santana da Boa Vista
Anortosito	2.344,25	1 alvará de pesquisa 2 pedidos de pesquisa	Rio Pardo, Pantano Grande
Basalto	5.893,72	162 licenciamentos	Nova Prata, Paraí, Casca, Nova Bassano
Gnaisse	8.917,00	9 pedidos de pesquisa	São Gabriel, São Sepé, Bonfim
Migmatito	862,50	1 alvará de pesquisa	Encruzilhada do Sul
Monzonito	7.714,30	5 alvarás de pesquisa 4 pedidos de pesquisa	São Jerônimo, Viamão, Canguçu, Piratini
Quartzito	2.460,41	4 pedidos de pesquisa 1 alvará de pesquisa 1 licenciamento	Pinheiro Machado, Caçapava do Sul, Bonfim, Arroio do Meio,
Sienito	19.975,44	15 alvarás de pesquisa 12 pedidos de pesquisa 5 concessões de lavra	Cachoeira do Sul, Encruzilhada do Sul, Dom Pedrito
Filito	6.593,25	8 pedidos de pesquisa	Caçapava do Sul, Santana da Boa Vista, Rio Pardo
Gabro	1.220,00	2 pedidos de pesquisa	Caçapava do Sul, Pinheiro Machado
TOTAL	57.680,87	43 pedidos de pesquisa 23 alvarás de pesquisa 5 concessões de lavra 163 licenciamentos	20 municípios

Observa-se na tabela 3 que as áreas de ocorrência de rochas ornamentais do Rio Grande do Sul se concentram em cerca de 20 municípios, sendo que, os basaltos são extraídos na Região da Serra e as rochas granitóides da Região Central e Sul do Estado.

São poucas as empresas que utilizam inovações operacionais, tais como: tensores hidráulicos, controle automático de granalha, velocidade de corte, expurgo e polimento automático com equipamentos multi-cabeças. A ausência desta tecnologia incorporada nos teares acarreta queda na produtividade e baixa qualidade nas chapas serradas, além de elevar o custo de produção final. Em 1996, foi introduzida a tecnologia de corte de ladrilhos de basalto, utilizando talha-blocos, na região de Paraí-RS, o que significou um grande salto

tecnológico na exploração do basalto gaúcho. Há cerca de 12 empresas de desdobramento de blocos de rochas ornamentais operando no Estado do Rio Grande do Sul. São aproximadamente 60 teares em atividade, colocando o Estado como o 3º maior parque industrial de transformação de blocos de rochas ornamentais, sendo superado apenas pelos Estados de Espírito Santo e São Paulo.

Segundo TUBINO et alli.(2000), os teares em operação no Estado do Rio Grande do Sul são modelos antigos G2 e G4 (figura 02) da MGM e beka2 e beka3 da CIMEF (Teares multilâminas a granalha - fabricação nacional), sendo que, em alguns, há tensionadores hidráulicos, controle automático de granalha e velocidade de cala. Na maioria das empresas observa-se alta ociosidade na utilização desses equipamentos.

O Estado do Rio Grande do Sul possui a segunda maior empresa de exportação de blocos em bruto (GRANISUL), com um volume total de aproximadamente 9.000 m<sup>3</sup>/ano, principalmente nas cores vermelho, cinza e marrom. O mercado principal para esses materiais é o Oriente, cujas importações geram divisas para o Estado da ordem de US\$ 5 milhões/ano, com um potencial de incremento de 300%, caso existam condições de aumento da produtividade e qualidade dos produtos finais, incremento nas exportações de chapas polidas e lustradas e redução dos preços de venda, podendo alcançar valores da ordem de US\$ 20 milhões/ano em curto espaço de tempo.

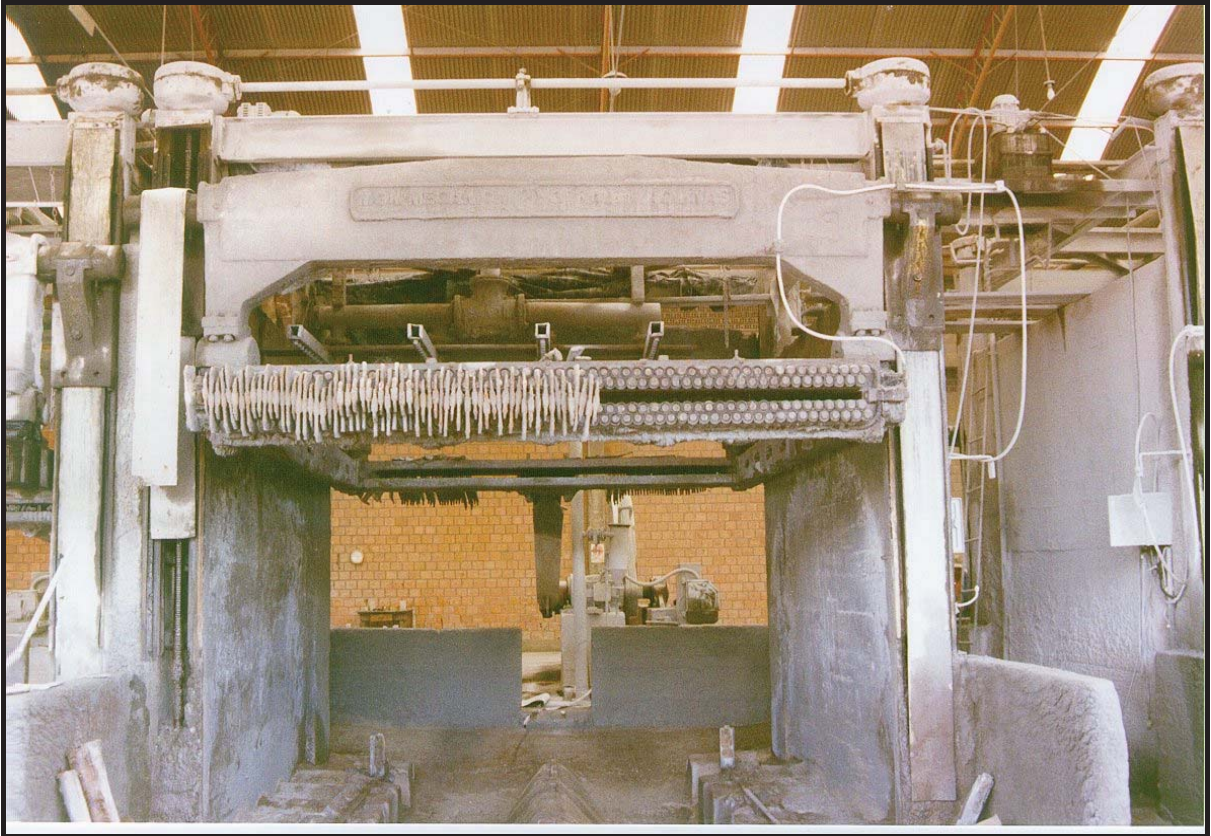


Figura 02 –Tear G2 da MGM – Empresa CIGRAMAR Mármore e Granitos – Soledade - RS

#### 2.4 - Diagnóstico do Setor

Estudos para a melhoria do processo de desdobramento de rochas ornamentais, através da otimização da etapa de corte, caracterização tecnológica da lama abrasiva e a recuperação da granalha ativa descartada, são necessários para o desenvolvimento do setor, haja vista a seguinte situação diagnosticada, observada a seguir (TUBINO et alli, 2000):

- falta de conhecimento técnico no desdobramento de blocos de rochas ornamentais, bem como condições ideais de operação dos teares e controle da dosagem de insumos de corte (granalha, cal, abrasivos, etc); desconhecimento dos parâmetros operacionais de regulagem do equipamento e finalidade do expurgo da lama e recuperação da granalha;
- baixa qualidade dos blocos processados (principalmente no caso de blocos de basalto); gerando problemas operacionais inadequados na ocupação do tear e em decorrência, aumento do custo unitário de serragem (US\$/m<sup>2</sup>); a quantidade de granalha ativa na lama abrasiva coletada nos chuveiros dos teares está abaixo dos padrões ótimos estabelecidos (60 a 100 g/l), encontrando-se na faixa de 20 a 30 g/l; dentre outras;

- algumas empresas param os teares nos finais de semana, ocasionando a sedimentação da lama no poço e a secagem da mesma sobre os blocos montados no tear. Esse procedimento pode conduzir ao entupimento da grelha, fixação de granalha nas paredes do tear e alteração nas condições de densidade e viscosidade da lama abrasiva, bem como, o esgotamento da bomba quando da retomada da serrada;
- aproveitamento apenas razoável dos ciclones, devido principalmente ao desconhecimento técnico/operacional dos operadores e da geometria inadequada dos ciclones, ocasionando assim, um corte pouco satisfatório, dentre outros.

Em virtude dos aspectos supracitados, TUBINO et alli, (2000), sugerem que:

- os blocos adquiridos (estado bruto), devem ser melhor selecionados, principalmente no que tange sua geometria (figura 03); periodicamente se realize o controle operacional da lama abrasiva, através da verificação da densidade, viscosidade e quantidade de granalha ativa/inativa; ocorra a implantação de planilhas para controle diário destes parâmetros, proporcionando, assim, maior rendimento por  $m^3$  serrado; se monitore a quantidade de granalha ativa na lama abrasiva (60 a 100 g/l), através do alimentador de granalha nova (200 e 300 g/l) e controle granulométrico do *overflow* (sempre  $< 0,420$  mm) quando realizado o expurgo periodicamente de acordo com a metragem cortada;
- se efetue a manutenção e limpeza dos chuveiros, ciclone e do próprio tear, sempre antes do início de uma nova serrada, garantindo assim, que a lama abrasiva chegará a todo ponto do bloco que estão sendo serrados;
- se elabore estudo da geometria ideal dos ciclones, visando otimizar o processo de corte granulométrico, buscando assim, uma deslamagem efetiva, com maior recuperação da granalha ativa.



Figura 03 – Blocos de rocha sendo encaminhados para o desdobramento - CIGRAMAR

O processo de corte em teares multilâminas à granalha envolve várias atividades ou grupos de atividades que vão desde a chegada do bloco na serraria até a estocagem das chapas recém cortadas. Os aspectos mais relevantes quando se busca a otimização deste processo pode ser dividido nas etapas especificadas a seguir:

- **Preparação da carga e carregamento do tear** – são as atividades de fixação do bloco no carro porta bloco e posicionamento do carro no interior do tear. Esta atividade engloba a correta seleção do bloco, posicionamento e a sua cimentação.
- **Preparação do tear** – Atividades de ajuste, regulagem e lubrificação para o início da operação de corte. Nesta etapa a principal atividade é a laminação e a preparação da lama abrasiva.
- **Operação de corte** – É o desdobramento do bloco. Envolve o acompanhamento e controle dos parâmetros de processo (figura 04).

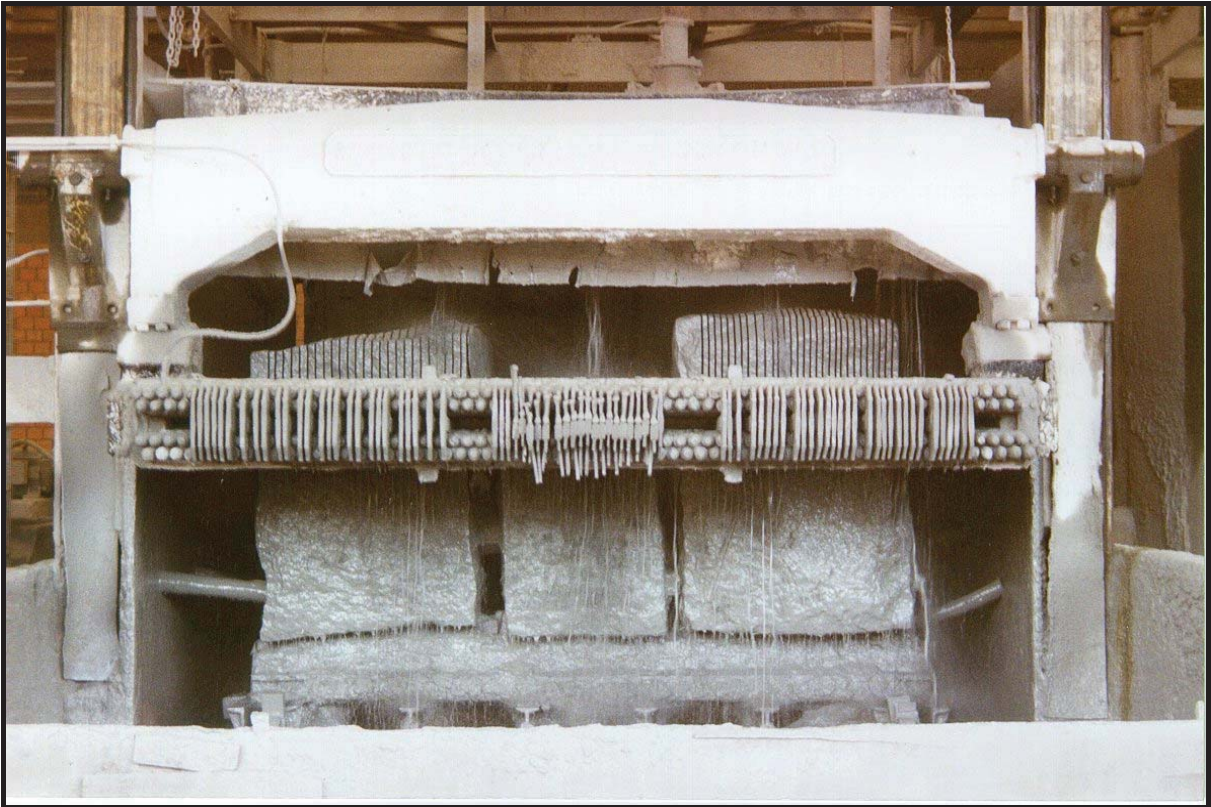


Figura 04 - Tear em processo de corte (desdobramento) em 3 blocos de rochas.

- **Descarregamento do tear** – São as operações de retirada e armazenagem das chapas.

Segundo TUBINO et alli (2000), o parâmetro mais importante a ser observado é o controle da lama abrasiva no tear. Os dados industriais relativos à composição mássica da lama na serragem de granito, que são considerados padrões para a otimização do processo de desdobramento, estão discriminados na tabela 4.

Tabela 4 – Composição média da lama abrasiva

Elementos	Valores	Percentual em peso dos constituintes
Densidade – g/cm <sup>3</sup>	1,5 – 2,0	-
Conteúdo de granalha – g/l	100 - 450	13,1%
Cal – g/l	10 - 50	1,2%
Água – g/l	500 - 700	38,4%
Pó de rocha – g/l	400 – 700	47,3%

Outros aspectos que podem ser relevantes para o adequado controle de serragem dos blocos, dizem respeito às características inerentes à lama abrasiva, tais como:

- **Viscosidade** – esta deve estar dentro de um intervalo ótimo de modo que não seja viscosa demais dificultando o escoamento ao longo do circuito do tear e a penetração e distribuição do abrasivo. Também não deve ser fluida a ponto de desestabilizar a suspensão. A viscosidade é ajustada principalmente pela cal que é periodicamente adicionada à lama, mas também é influenciada pelo expurgo, o qual ajusta o percentual de sólidos da lama. Maiores quantidades de cal fazem com que a lama se torne menos viscosa (MANCA, 1992).
- **Percentual de sólidos** – diz respeito a tudo que não seja água e esteja presente na lama. Este parâmetro é importante principalmente para a regulação do escoamento da lama no tear e a perfeita dispersão da granalha abrasiva nesta lama.
- **Percentual de granalha ativa** – o consumo de granalha na operação de corte é sem dúvida a maior fonte de custo do processo. Portanto, o percentual de granalha ativa deve ser bem controlado de modo que não exceda 30%. Normalmente os teares trabalham com valores por volta de 13% em peso na lama de granalha ativa. A granalha é alimentada continuamente através de um dispositivo alimentador que coloca a mesma diretamente no poço. A proporção de granalha ativa na lama é diretamente proporcional a velocidade da cala. Para uma dada composição da lama existe uma máxima velocidade de cala a ser otimizada em função do percentual de granalha ativa.
- **pH da lama** – Este parâmetro é ajustado pela quantidade de cal na lama. Deve ser mantido em torno de 12,5 para evitar a oxidação da granalha e das lâminas do tear. O pH regula também a viscosidade da lama abrasiva.
- **Densidade** – a densidade deve estar entre 1,5 e 2,0 g/cm<sup>3</sup>.
- **Expurgo** – chama-se de expurgo a retirada periódica de uma certa quantidade de lama abrasiva do circuito fechado do tear objetivando o ajuste desta lama. À medida que o bloco é serrado a lama vai incorporando pó de rocha na sua composição além da granalha ir reduzindo a sua granulometria. Esta matéria mineral mais a granalha fina vai alterando as características da lama e por isso devemos realizar expurgos periódicos para retirar estes constituintes e novamente ajustar as características da lama através da adição de cal, porém sem perder quantidades significativas de granalha ativa. Para tanto, o expurgo é realizado através de um hidrociclone que faz um corte granulométrico na granalha.

TUBINO et alli (2000) também sugerem uma metodologia de controle do processo de serragem, onde uma série de procedimentos deve ser observada para servirem como parâmetros no desdobraimento de rochas em teares multilâminas à granalha, os quais são:

- Lavagem completa do tear, poço e sistema do chuveiro antes do início de nova serrada. A lavagem deverá ser detalhada e completa, principalmente nos chuveiros.
- Usar a lama antiga depositada no reservatório do tear, pois a mesma já apresenta aproximadamente as características necessárias, bastando apenas um ajuste final.

**Obs:** Nunca adicionar água nova (mangueira) no interior do tear; se for necessário (após expurgo por exemplo) a mesma deverá ser adicionada diretamente no poço junto com a quantidade necessária de cal. A granalha nova, de alimentação, somente poderá ser adicionada ao sistema após a entrada completa de todas as lâminas no bloco.

- No início da serrada a cala inicial é de 4 a 6 mm/h até a entrada de todas as lâminas no bloco. Durante o andamento da serrada realiza-se o controle a cada duas horas da densidade, nível de granalha ativa na lama e viscosidade. Após a entrada de todas as lâminas no bloco aumentar a cala para 16 mm/s, dependendo da resposta do tear (evitar a batida do mesmo). Após estabilização do tear – cerca de 25mm de descida – aumentar a cala para 18 a 25 mm/h, dependendo da resposta do tear.
- Na laminação é importante verificar e controlar, antes de iniciar a serrada:
  - Prumo vertical – verticalidade e paralelismo dos blocos em relação às paredes laterais do tear, procurando o maior aproveitamento em termos de número de chapas cortadas.
  - Espaçadores – verificar se todos possuem a mesma medida e se estão em boas condições de uso.
  - Tensionamento – observar se as lâminas estão bem tensionadas e alinhadas
- A mistura da granalha nova para o padrão de operação dos teares indica uma proporção aproximada de 90 –92% de granalha angular para 8- 10 % de granalha redonda e sempre que possível granalha de aço. Essa mistura normalmente já é encontrada pronta nos produtos disponíveis no mercado (granalha mista, por exemplo). Para facilitar o movimento das lâminas dentro dos blocos e tornar a lama mais móvel pode-se utilizar



um pouco mais de granalha redonda, nas seguintes proporções: 2 partes de granalha mista (G-25) para uma parte de granalha redonda(G-40).

- O expurgo deve ser realizado preferivelmente a cada 2 - 4 m<sup>2</sup> de chapas cortadas no tear, de acordo com os parâmetros abaixo indicados:
  - expurgar 35 – 40 l de lama a cada 2 m<sup>2</sup> de corte ou 60 – 70 l de lama a cada 4m<sup>2</sup>;
  - após cada expurgo coletar parte do material que está sendo descartado para a realização do controle operacional da eficiência do ciclone;
  - o material expurgado não deve conter mais de 1g/l de granalha ativa
- Para definir o tempo de expurgo pode-se utilizar a seguinte metodologia: cronometrar o tempo de expurgo e coletar todo o material descartado pelo ciclone, medindo assim o volume expurgado. Repetindo-se de três a quatro vezes o procedimento podemos estimar o tempo de expurgo para tirar 50 a 70 litros de lama.
- A adição de cal na forma líquida e em quantidades conhecidas (mesmo volume descartado no expurgo), diretamente no poço do tear, na concentração de duas partes em volume de cal para uma parte de água ou 0,8 a 1 kg de cal/m<sup>2</sup> cortado (para um expurgo a cada 4 m<sup>2</sup> cortado deve-se adicionar cerca de 3 – 4 kg de cal).
- Por fim, todo o processo de corte deve ser registrado através de planilhas que constam de todos os parâmetros instantâneos do processo, bem como das paradas. Fazer análise da quantidade de chapas obtidas e realizar uma avaliação da altura em que ocorreram possíveis defeitos de serragem para verificar junto à planilha de acompanhamento da serragem quais os motivos e condições da lama que ocasionaram esses defeitos.

#### 2.4 - Aspecto Ambiental

Nas últimas décadas uma nova consciência ambiental tem gerado uma série de exigências sobre atividade econômica e também sobre o manejo de resíduos sólidos de competência municipal. Nas indústrias os setores que sofrem maiores restrições ambientais são lavra e tratamento de minérios, metalúrgicos, siderúrgicos e petroquímicos, enquanto na

área municipal a questão dos lixões e aterros sanitários ocupa especial atenção dos órgãos de fiscalização.

A fim de enquadrar a maior parte das atividades econômicas, nos cada vez mais rígidos códigos ambientais, foram incentivados os programas de gestão das emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos, reunidos por sua vez em sistemas de gestão ambiental incorporados em todas as fases do ciclo produtivo (FONSECA & PERES, 1998).

A pesada exigência que recai sobre a atividade econômica atualmente, pode ser definida pelo conceito de desenvolvimento harmônico e sustentável onde, respeitando o meio ambiente, as empresas são incentivadas a usar racionalmente os recursos naturais e investir em tecnologias que permitam reciclar, cada vez mais, os materiais utilizados na produção dos bens de consumo (CHIAVERINI, 1994).

Em relação à legislação as normas de Sistema de Gestão de Qualidade Total ISO 9000 e as normas de Sistema de Gestão Ambiental ISO 14000 empurram as empresas para modernidade, permitindo àquelas que se enquadrem competir melhor alicerçadas no disputado mercado internacional de produtos e serviços (SILVA, 1998).

Qualquer atividade industrial provoca alterações no ambiente original onde o empreendimento está localizado. Tais alterações são conhecidas como impactos ambientais e, se caracterizam por modificar as propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causadas por qualquer forma de matéria ou energia resultantes das atividades humanas que afetem, direta ou indiretamente, a qualidade ambiental (CONAMA, 1986).

A lei considera o meio ambiente como patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, privilegiando e enfatizando o aspecto preventivo de controle ambiental. Isto é constatado no exame da listagem de instrumentos da política nacional do meio ambiente, que inclui, entre outros:

- O estabelecimento de padrões de qualidade ambiental;
- O zoneamento ambiental;
- Avaliação de impactos ambientais (AIA);
- O licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras.

A partir da Resolução CONAMA 1 /1986, tornou-se obrigatória à apresentação de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), para determinadas atividades (VERDUM & MEDEIROS, 1995).

O estudo de Impacto Ambiental (EIA) constitui um conjunto de atividades científicas e técnicas que incluem o diagnóstico ambiental, a identificação, previsão e medição dos impactos, a interpretação e a valoração dos impactos, a definição das medidas mitigadoras e programas de monitorização. O Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) constitui-se em um documento do processo de Avaliação do Impacto Ambiental (AIA) e deve esclarecer em linguagem corrente, todos os elementos da proposta e do estudo. O RIMA consubstancia as conclusões do EIA devendo conter a discussão dos impactos positivos e negativos considerados relevantes (ROHDE in VERDUM & MEDEIROS, 1995).

No Estado do Rio Grande do sul, especificamente, o órgão responsável pelo meio ambiente é a SEMA (Secretaria do Meio Ambiente), onde estão inseridos a FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental), Departamento de Recursos Naturais Renováveis, Departamento de Recursos Hídricos e a Fundação Zoobotânica.

No caso específico deste estudo, no processo de desdobramento de rochas ornamentais em teares multilâminas à granalha, gera-se uma quantidade significativa de rejeito na forma de lama, constituído à base de água, granalha, cal e rocha moída. Esse rejeito é depositado na maioria das vezes em bacias de decantação própria ou em aterros estabelecidos pelas prefeituras (figura 05).



Figura 05 – Bacia de deposição do rejeito da empresa São Cristóvão

Os blocos de rocha submetidos à serragem em teares geram de 20 a 25 % de pó e rocha, resultando um volume total de rejeito bastante significativo e, conseqüentemente, seu manuseio e disposição final acarretam problemas técnicos, ambientais e econômicos para as serrarias (FREIRE & MOTTA, 1995).

Nas serrarias, o planejamento e o gerenciamento ambiental são diretrizes que devem ser traçadas para diminuir custos de produção e minimizar os efeitos nocivos ao meio ambiente. É necessário realizar a classificação ambiental do resíduo gerado e através deste, adequar a bacia de deposição em todos seus aspectos estruturais.

A tabela 5 relaciona os impactos gerados no processo de beneficiamento no que diz respeito à causa e ao parâmetro gerador.

Tabela 5 – Impactos ambientais gerados no beneficiamento e polimento de rochas (Fonte IBRAM, 1984 - adaptada)

<b>Beneficiamento</b>		
Tipo	Causa do Impacto	Parâmetro Gerador
Serragem de blocos	Lançamento de rejeitos sob a forma de polpa em tanques de decantação ou nos cursos d'água	Incremento de turbidez e sólidos sedimentáveis. Pode ocorrer solubilização de metais pelo tempo de contato com a água
Polimento e corte	Lançamento de rejeitos sob a forma de polpa em tanques de deposição ou nos cursos d'água, podendo conter insumos químicos incorporados	Incremento de turbidez e sólidos sedimentáveis. Pode ocorrer presença de substâncias orgânicas

Os impactos ambientais gerados durante o beneficiamento das rochas, no que tange a serragem dos blocos, polimento e corte, é bastante significativo. Os resíduos e rejeitos gerados, na maioria das vezes, são lançados direto nos ecossistemas sem serem submetidos a nenhum tratamento prévio para eliminar ou reduzir os constituintes presentes que se encontrem acima do nível tolerável.

Quando se trata de resíduos sólidos é necessário adotar sistemas de controle ambiental, através de melhorias nas operações de manuseio, acondicionamento e armazenamento temporário dos resíduos gerados e facilitar o processo de tratamento, recuperação e reciclagem dos mesmos, evitando a adoção de métodos de disposição de aterros controlados (FONSECA & PERES, 1998).

Segundo ABNT (1987) resíduos sólidos são resíduos no estado sólido ou semi-sólido que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes das mais diversas áreas da indústria em geral.

Ainda de acordo com ABNT (1987) os resíduos sólidos estão divididos nas seguintes classes:

- resíduos classe I – perigosos; aqueles que apresentam características além das já citadas anteriormente, como: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, que estão definidas na norma em discussão;

- resíduos classe II – não-inertes; segundo a norma, são aqueles que não se enquadram como resíduo classe I ou de classe III. Estes resíduos podem ter como propriedades a combustibilidade, a biodegradabilidade ou a solubilidade em água;
- resíduos classe III – inertes, são aqueles que, quando submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, segundo a norma NBR 10006 (1987), não tiver nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos de potabilidade de água.

No Estado do Rio Grande do Sul a legislação apresenta um regulamento (1998) da Lei 9.921/1993, que discorre sobre gestão de resíduos sólidos em todas suas nuances. O Art. 1º diz que a gestão dos resíduos sólidos é responsabilidade de toda a sociedade e deverá ter como meta prioritária a sua não geração de resíduos, devendo o sistema de gerenciamento destes resíduos buscar a minimização, reutilização, reciclagem, tratamento ou destinação adequada dos mesmos.

O Art. 3º deste Regulamento considera resíduos sólidos, dentre outros, aqueles provenientes das atividades industriais, urbanas (domésticas e de limpeza urbana), comerciais, de serviços de saúde, rurais, de prestação de serviço e de extração mineral. A extração mineral é a fonte da matéria-prima objeto deste estudo, sendo uma grande geradora de resíduos sólidos.

CAIADO & MENDONÇA (1995), elaboraram estudos de avaliação das alterações da qualidade das águas em bacias de rios, situadas em regiões de parques industriais de extração e desdobramento de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo. Os estudos foram comparados com bacias não impactadas e constatou-se que, as atividades de mineração e beneficiamento de rochas ornamentais causam alterações significativas na qualidade dos recursos hídricos regionais, com incremento de quase todos os parâmetros analisados.

Desta forma, o planejamento adequado das bacias de decantação é princípio fundamental para possibilitar o equilíbrio dos recursos naturais e permitir a recuperação do rejeito produzido. O aproveitamento econômico do rejeito pode se tornar viável quando se procura desenvolver tecnologias de reciclagem associadas à harmonização do meio ambiente. A segregação de resíduos sólidos na origem, visando seu reaproveitamento otimizado, é

relevante para o desenvolvimento harmônico e sustentável no setor de desdobramento de rochas em teares multilâminas à granalha.

### 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

No processo de desdobramento dos blocos de granito e basalto, os teares utilizam granalha de ferro/aço como abrasivo gerando grandes quantidades de material fino a base dos minerais constituintes das rochas serradas, junto com granalha cominuída, em função do atrito que ocorre entre as lâminas de aço, a mistura abrasiva e o bloco de rocha. A densidade do material descartado varia de acordo com a composição da rocha serrada, sendo de 1500 a 1700 g/l para as rochas graníticas e 1300 a 1500 para basaltos. Outros fatores que também exercem influência na densidade do rejeito são a quantidade de água, granalha e cal adicionada ao processo de desdobramento, bem como o intervalo entre os expurgos.

A granalha não abrasiva associada ao pó de rocha, cal e água formam o que se chama de lama na literatura. Esta lama apresenta a mais variada granulometria e não sofre nenhum tipo de tratamento antes de ser lançada nas bacias de decantação, apresentando altas concentrações de material sólido em suspensão e pH em torno de 12.

O procedimento de amostragem do material de rejeito foi realizado segundo normas da ABNT 10007 (1987), para título de amostragem, preservação e estocagem, procurando sempre amostras representativas do processo de expurgo do tear. Foram coletadas amostras das empresas CIGRAMAR e São Cristóvão localizadas ambas, no Estado do Rio Grande do Sul.

As amostras coletadas para análise são provenientes do rejeito de serragem de blocos de rochas graníticas e basálticas. A amostragem foi realizada no *overflow* (escape do particulado mais fino) do hidrociclone, que tem a função de classificação (separação) da fração abrasiva, da fração considerada não abrasiva e objeto de descarte (figura 06).



Figura 06 – Hidrociclone classificador

Na empresa CIGRAMAR Granitos e Mármore Ltda., situada no Município de Soledade, foram coletados 9,5 l de rejeito oriundo do corte de uma rocha granítica, o qual foi submetido à análise granulométrica e separação magnética nas aberturas de peneiras 0,42 mm, 0,25 mm, 0,149 mm, 0,074 mm, 0,037 mm e - 0,037 mm. A separação granulométrica foi realizada por peneiramento via úmida, enquanto a separação magnética foi realizada manualmente com a utilização de um imã. O separador eletromagnético não foi utilizado nesta empresa, pois o rejeito da rocha analisada é de rocha granítica, que apresenta uma textura da granulometria grosseira e composição a base de quartzo feldspato, acreditando-se que ocorra uma boa separação até a fração - 0,037 mm utilizando apenas o imã de mão.

Na empresa São Cristóvão, situada no município de Nova Prata, foram coletados 30 l de rejeito de rocha basáltica, o qual também foi submetido à análise granulométrica e separação magnética. Porém, nesta empresa, devido a maior abundância de material coletado, o procedimento experimental teve sua rota alterada. A separação granulométrica foi realizada por peneiramento via úmida nas aberturas: 0,84 mm, 0,71 mm, 0,42 mm, 0,25 mm e 0,149 mm, onde a fração - 0,149 mm foi submetida ao processo de filtragem a vácuo.



A separação magnética foi realizada com a utilização de um imã até a fração 0,149 mm e na fração abaixo desta, com o separador magnético até 12000 Gauss do modelo L-4 da IMBRAS. Na fração - 0,149 foi efetuado um quarteamento das amostras, devido a grande quantidade de material presente nesta granulometria, sempre buscando a melhor representatividade da amostra. Depois de efetuada a separação magnética, tanto a porção magnética como também a não magnética foram analisadas no Granulômetro CILAS 1064 a fim de se obter a curva de distribuição granulométrica.

Cabe ressaltar que, em todas as etapas deste processo e nas amostras de ambas as empresas, ocorreram à pesagem das frações. Os pesos retidos em cada peneira foram secos em estufa e resfriados até a temperatura ambiente, buscando quantificar a presença da fase mineral e magnética.

Foi realizada também, uma análise morfológica e mineralógica das partículas magnéticas e não magnéticas nas frações: 0,84 mm, 0,42 mm e 0,149 mm. Esta etapa teve o auxílio de uma lupa da *Metrimpex Hungary* com aumento de 12 até 50 vezes, de acordo com a granulometria analisada, onde foram enfatizados os aspectos de cor, grau de esfericidade e arredondamento.

Baseado no comportamento deste rejeito (expurgo), foi elaborado uma rota de beneficiamento na tentativa de viabilizar a separação do material magnético do mineral (pó de rocha), foi também elaborada uma proposta de coleta e processamento com alternativas tecnológicas, bem como sugestões para minimizar os impactos ambientais nas bacias de decantação.

Com os resultados obtidos nas duas empresas foi elaborada uma projeção quantitativa e qualitativa do rejeito gerado durante o processo de desdobramento nos teares multilâminas, com estimativa de recuperação do material expurgado em seus elementos constituintes. Os parâmetros utilizados para tal quantificação, basearam-se na capacidade média de corte dos teares ( $m^3$ ), na espessura das chapas cortadas e no tempo que um bloco leva para ser beneficiado.

#### **4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A amostragem para análise da distribuição granulométrica foi realizada em duas empresas atuantes no setor de desdobramento de rochas ornamentais no Estado do Rio Grande do Sul, onde foram coletados 9,5 l de rejeito de rocha granítica e 30 l de rejeito de rocha basáltica.

Na empresa CIGRAMAR, situada no município de Soledade, foram amostrados 9,5 l de material oriundo de uma rocha granítica. A coleta foi realizada junto ao *overflow* do hidrociclone e apresentou a seguinte característica:

- massa bruta da amostra = 16,934 g;

- massa do recipiente = 442 g

- peso líquido = 16,492 g

- volume amostrado = 9,5 l

- densidade da polpa =  $\frac{16.492g}{9,5l} = 1.736g/l$

As principais tendências granulométricas das frações obtidas a partir do peneiramento a úmido nas aberturas de 0,42 mm, 0,25 mm, 0,149 mm, 0,074 mm e 0,037 mm, podem ser visualizadas na tabela 6 abaixo:

Tabela 6 – Distribuição granulométrica do rejeito da empresa CIGRAMAR - % retida

Abertura (mm)	fração magnética (g)	fração magnética (%)	fração mineral (g)	fração mineral (%)	Peso total (g)
0,42	66,13	98,18	0,21	1,82	66,34
0,25	47,04	90,99	4,66	9,01	51,70
0,150	91,92	77,38	26,87	22,62	118,79
0,075	670,50	76,06	210,99	23,94	881,49
0,037	812,82	68,99	265,43	31,01	1.178,25
subtotal	1.688,41	73,52	608,16	26,48	2.296,57
- 0,037	1.081,65	15,00	6.129,35	85,00	7.211,00
Total	2.770,06	29,14	6.737,51	70,86	9.507,57

Com a análise dos resultados obtidos pôde-se fazer os seguintes balanços entre os constituintes do rejeito:

- percentagem de sólidos em massa =  $\frac{9.507,57 \text{ g}}{16.492 \text{ g}} = 57,65\%$

- água representa  $100\% - 57,65\% = 42,35\%$

- percentagem de minerais em massa =  $\frac{6.737,51 \text{ g}}{16.492 \text{ g}} = 41\%$

- percentagem de ferro em massa =  $\frac{2.770,06 \text{ g}}{16.492} = 16,6\%$

Através da análise das frações pode-se observar uma quantidade considerável de sólidos presentes, representando quase 60% do peso da amostra (mistura não abrasiva), ao contrário do que geralmente ocorre na mistura abrasiva que apresenta 60% de água. Para as frações até 0,0371 mm constata-se um predomínio do material de natureza magnética, enquanto que, nas frações - 0,037 mm ocorre à dominância do material mineral (pó de rocha). Este aspecto pode ser melhor observado quando se separa o corte granulométrico + 0,25 mm e - 0,25 mm + 0,037 mm, conforme tabelas 7 e 8 abaixo:

Tabela 7 – corte granulométrico na fração – 0,42 + 0,25 mm

Abertura (mm)	Fração Magnética (%)	Fração Mineral (%)
+ 0,42	99,68	0,32
- 0,42 + 0,25	90,99	9,01
Média	95,87	4,13

A interpretação da tabela 7 não deixa dúvida que a fração dominante é a fração magnética com 95,87% , enquanto a fração mineral é de apenas 4,13%.

Tabela 8 – Corte granulométrico na fração – 0,25 mm + 0,037

<b>Abertura (mm)</b>	<b>Magnética (%)</b>	<b>Mineral (%)</b>	<b>Total (%)</b>
+ 0,149	77,38	22,62	100
- 0,149 + 0,074	76,06	23,94	100
- 0,074 + 0,037	68,98	31,01	100
Total	72,31	27,69	100

A tabela 8 continua a demonstrar a tendência da fração magnética sobre a mineral, ainda que em menor proporção, com 72,31% para o material magnético e 27,69% para o mineral.

Analisando as tabelas 6, 7 e 8 se constata o predomínio do material magnético sobre o mineral para as frações mais grosseiras, observando-se o decréscimo nesta relação na medida em que a granulometria vai diminuindo, concluindo-se que:

- nas partículas (+ 0,037 mm), há dominância da fração magnética no rejeito na proporção 73,52% em relação a 26,48% da fração não magnética (mineral);
- nas partículas (- 0,037 mm), há dominância da fração não magnética no rejeito na proporção de 70,86% em relação a 29,14% da fração magnética;

Estas análises vêm a corroborar os resultados obtidos por SILVA (1998), que fez análise granulométrica de 23 tipos de granitos diferentes no estado do Espírito Santo onde, apesar das aberturas de peneiras utilizadas por este autor não serem exatamente as mesmas, as tendências granulométricas entre as fases magnética e mineral são bastante similares (tabela 9).

Tabela 9 - média granulométrica de rejeito de 23 granitos (fonte SILVA, 1998 - adaptada).

<b>Abertura (mm)</b>	<b>fração magnética (%)</b>	<b>Fração mineral (%)</b>
+ 0,600	4,47	0,43
- 0,600 + 0,300	12,73	2,62
- 0,300 + 0,150	22,77	9,29
- 0,150 + 0,075	20,37	10,67
- 0,075 + 0,043	17,70	41,70
- 0,043	21,95	35,29

A amostragem para análise granulométrica da lama coletada na empresa São Cristóvão, localizada no município de Nova Prata, foi distribuída em 3 recipientes de 10 l, perfazendo um total de 30 l amostrados. A coleta realizou-se junto à saída do *overflow* do hidrociclone e apresentou a seguinte característica:

- **Recipiente 1 - 10 l:**

- massa bruta da amostra = 13.658 g

- massa do recipiente = 385 g

- massa líquida = 13.273 g

- volume = 10 l

- densidade da polpa =  $\frac{13.273g}{10l} = 1327,3g/l$

As principais tendências granulométricas das frações obtidas a partir do peneiramento a úmido nas aberturas 0,84 mm, 0,71 mm, 0,42 mm, 0,25 mm e + 0,149 mm podem ser visualizadas na tabela 10 abaixo:

Tabela 10 - Distribuição granulométrica do rejeito da empresa São Cristóvão

Abertura (mm)	Fração Magnética (%)	Fração Mineral (%)
+ 0,84	96,9	3,1
- 0,84 + 0,71	92,4	7,6
- 0,71 + 0,42	81,25	18,75
- 0,42 + 0,25	76,9	23,1
+ 0,149	74,0	26,0
Média	84,3	15,7

Observa-se que amostra apresenta uma tendência dominante da porção magnética com 84,3% em relação a 15,7% da porção mineral.

A distribuição granulométrica analisada na tabela 10 representa 8,73% do total amostrado, com massa de 434,6g. A fração - 0,149 mm apresenta massa de 4.550 g e corresponde a 91,27%, gerando uma massa total de sólidos de 4.984,6 g. Através destes dados foi possível elaborar alguns balanços entre os constituintes do rejeito, tais como:

- percentagem de sólidos em massa =  $\frac{4.984,6 \text{ g}}{13.273 \text{ g}} = 38\%$
- a água presente é  $100\% - 38\% = 62\%$

Constata-se nesta amostragem que a concentração de sólidos em polpa e conseqüentemente sua densidade apresentam valores relativamente baixos quando comparados com o rejeito analisado da empresa CIGRAMAR, ainda que, os resíduos amostrados sejam provenientes de rochas diferentes. Entenda-se por polpa o rejeito ou expurgo oriundo dos teares onde há basicamente a presença de água + pó de rocha + granalha + cal.

- **Recipiente 2 - 10 l :**

- massa bruta da amostra = 14.485 g

- massa do recipiente = 385 g

- massa líquida = 14.100 g

- volume = 10 l

- densidade da polpa =  $\frac{14.100 \text{ g}}{10 \text{ l}} = 1410,0 \text{ g/l}$

As principais tendências granulométricas das frações obtidas a partir do peneiramento a úmido nas aberturas 0,84 mm, 0,71 mm, 0,42 mm, 0,25 mm e + 0,149 mm podem ser visualizadas na tabela 11, abaixo:

Tabela 11 - Distribuição granulométrica do rejeito da empresa São Cristóvão

Abertura (mm)	Fração Magnética (%)	Fração Mineral (%)
+ 0,84	84,1	15,9
- 0,84 + 0,71	86,6	13,4
- 0,71 + 0,42	86,2	13,8
- 0,42 + 0,25	83,8	16,2
+ 0,149	71,72	18,28
Média	82,5	17,5

Os resultados obtidos nesta análise são bastante similares aos apresentados na amostra anterior, onde se observa a forte tendência da fração magnética sobre a mineral. A distribuição granulométrica analisada na tabela 11 representa 12,52% do total amostrado com massa de 787 g. A fração - 0,149 mm apresenta massa de 5.500 g, gerando uma massa total de sólidos de 6.287 g. Através destes dados foi possível elaborar também, alguns balanços entre os constituintes do rejeito, tais como:

- percentagem de sólidos em massa =  $\frac{6.287,1 \text{ g}}{14.100 \text{ g}} = 44,6\%$
- a água presente é  $100\% - 44,6\% = 55,4\%$

Observa-se que ocorreu um aumento da densidade e da percentagem de sólidos em polpa em relação à amostra anterior, mas ainda se mostrando inferior a amostra da empresa CIGRAMAR, onde a proporção de sólidos em polpa foi de 57,65%.

### **Recipiente 3:**

- massa bruta da amostra = 14.735 g
- massa do recipiente = 385 g
- massa líquida = 14.350 g
- volume = 10 l
- densidade da polpa =  $\frac{14.350 \text{ g}}{10 \text{ l}} = 1435 \text{ g/l}$

As principais tendências granulométricas das frações obtidas a partir do peneiramento a úmido nas aberturas 0,84 mm, 0,71 mm, 0,42 mm, 0,25 mm e + 0,149 mm, podem ser visualizadas na tabela 12 abaixo:

Tabela12 - Distribuição granulométrica do rejeito da empresa São Cristóvão

Abertura (mm)	Fração Magnética (%)	Fração Mineral (%)
+ 0,84	84,5	15,5
- 0,84 + 0,71	92,7	7,3
- 0,71 + 0,42	86,1	13,9
- 0,42 + 0,25	78,3	21,7
+ 0,149	73,5	26,5
Média	83,0	17,0

Pode-se observar que os resultados obtidos nesta análise têm o mesmo comportamento dos apresentados nas tabelas anteriores, onde se observa a predominância da fração magnética sobre a mineral. A distribuição granulométrica analisada na tabela 12 representa 12,39% do total amostrado com massa de 798,67 g. A fração - 0,149 mm apresenta massa de 5.650 g, gerando uma massa total de sólidos de 6.448,67 g. Os balanços elaborados entre os constituintes do rejeito, são os seguintes:

- percentagem de sólidos em massa =  $\frac{6.448,67 \text{ g}}{14.350 \text{ g}} = 44,9\%$
- percentagem de água presente é  $100\% - 44,9\% = 55,1\%$

A tendência desta análise vem a corroborar aos dados abordados anteriormente, ainda que apresente uma densidade de polpa mais elevada em relação às outras amostras e, por conseguinte um aumento também na percentagem de sólidos em massa.

A distribuição granulométrica das frações magnética e mineral é melhor evidenciada na figura 07 com os valores médios amostrados nas respectivas classes:



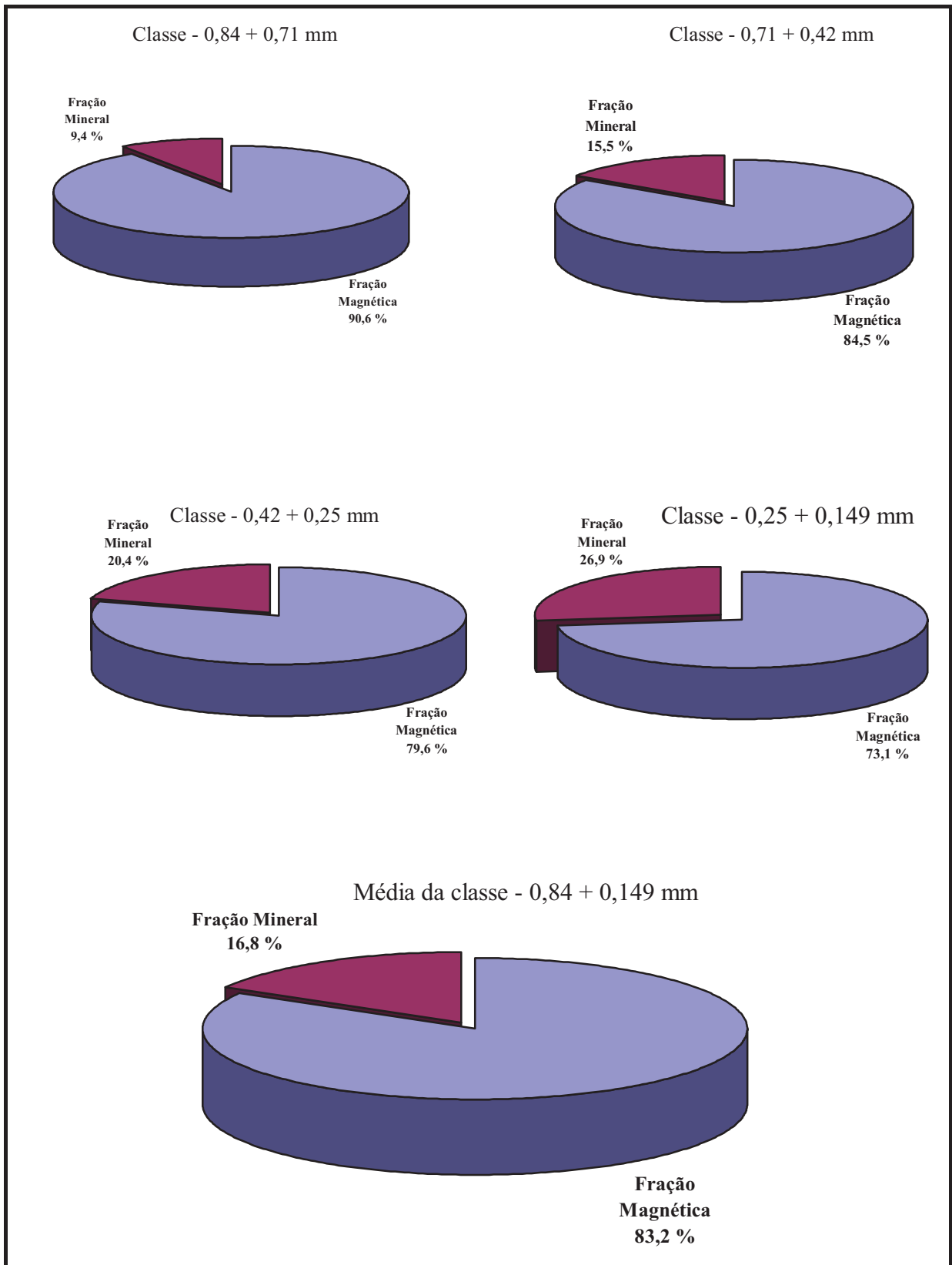


Figura 07 – Distribuição percentual por classe granulométrica da fração magnética e mineral presentes no rejeito da Empresa São Cristóvão.

A densidade média obtida nos 30 l amostrados na empresa São Cristóvão para granulometrias  $+ 0,149$  mm foi de aproximadamente 1.400g/l, com 42,5% de sólidos em polpa e 57,5% de água. A figura 08 representa a percentagem de sólidos e água presente, evidenciando que nesta empresa a presença de água no rejeito é fator dominante.

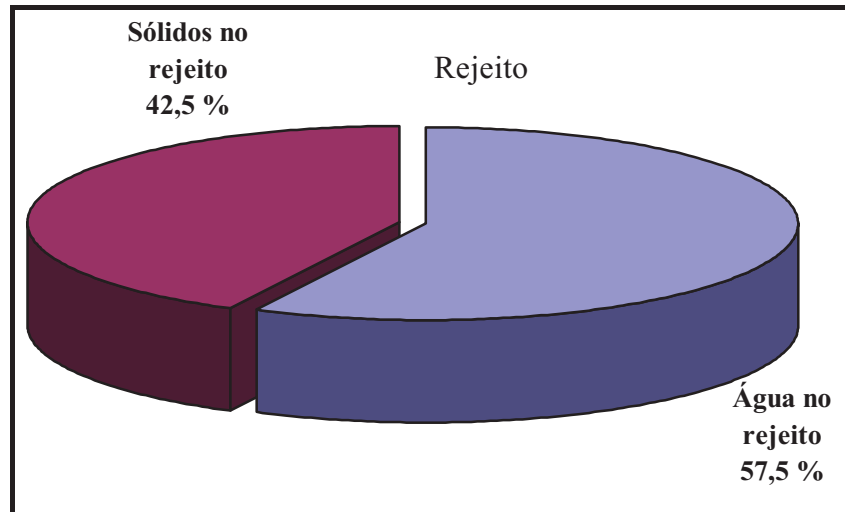


Figura 08 – Percentagem de sólidos e água em rejeito

É interessante lembrar que a quantidade de material analisado até a granulometria  $+ 0,149$  mm é de aproximadamente 12% do total de sólidos, constatando-se que o maior aporte de rejeito encontra-se em granulometrias  $- 0,149$  mm, uma vez que o intervalo granulométrico  $- 0,149 + 0,037$  mm representa 19% e a fração  $- 0,037$  mm está presente com 69% do material.

Devido a maior quantidade de material estar presente na fração  $- 0,149$  mm, foi realizado um quarteamento e separação magnética no separador até 12000 Gauss do modelo L-4 da IMBRAS. A proporção magnética / mineral observada para o material  $- 0,149$  mm  $+ 0,037$  mm foi de 76% a 24%, respectivamente, evidenciando assim, um predomínio da fração magnética.

O predomínio da fração magnética sobre a mineral até a granulometria  $+ 0,037$  mm vai ao encontro da análise realizada junto a empresa CIGRAMAR, onde os resultados são oriundos do beneficiamento de uma rocha granítica em vez de basalto.

Para as frações  $- 0,037$  mm, que representa 69% do material analisado, o resultado obtido foi de 58% para a fração magnética e 42% para fração mineral, identificando um aumento significativo da fração não magnética (mineral). Este aspecto demonstra uma tendência efetiva do predomínio da fração mineral em granulometrias mais finas, ainda que,

esta transição não seja tão pronunciada quanto no rejeito oriundo do beneficiamento de rochas graníticas.

Foi realizada também, na intenção de comparar os resultados, a separação manual utilizando um imã, a qual apresentou resultados diferenciados em relação a separação realizada pelo separador eletromagnético. Na faixa granulométrica - 0,149 + 0,074 mm a fração magnética foi de 36% e a fração mineral representou 64%. Na granulometria de - 0,074 + 0,037 mm a fração magnética representou 44% enquanto a fração mineral representou 56%. A média destes intervalos granulométricos foi de 39% para fração magnética e 61% para fração mineral, sendo absolutamente opostos ao obtido no separador magnético.

Como se pode observar, a separação da fração magnética quando realizada utilizando um imã é menos eficaz, uma vez que diminui consideravelmente a percentagem do material magnético, evidenciando desta forma, que para frações - 0,149 mm a precisão do imã manual não é das mais satisfatórias. Isto ocorre, provavelmente, devido à intensidade do campo eletromagnético gerado no separador da IMBRAS, que capta de maneira muito mais significativa a suscetibilidade magnética dos constituintes do rejeito.

Outro aspecto que se deve levar em consideração na separação magnética é a composição mineralógica e a textura da rocha. O basalto apresenta em sua composição mineralógica, cristais de plagioclásio, piroxênio, olivina e magnetita, que representam minerais a base de alumínio; ferro; cálcio e magnésio; perfazendo em média 43% da composição química da rocha, enquanto a sílica tem aproximadamente 49%. No que diz respeito à textura, o basalto tem uma matriz fina com os minerais pouco visíveis macroscopicamente, fazendo com que a quantidade de partículas finas seja fator dominante no rejeito. Isto gera provavelmente a adsorção física dos grãos minerais na fração magnética, dificultando, desta maneira, a separação magnética utilizando um imã manual.

Cabe lembrar, que a separação magnética realizada no rejeito granítico da empresa CIGRAMAR foi feita com um imã. Os resultados obtidos nestas análises foram bastante satisfatórios, haja vista a comparação com outros experimentos, os quais apresentam um comportamento bastante similar no que diz respeito ao predomínio da fração magnética sobre a mineral.

Após a separação magnética foram realizadas análises no Granulômetro CILAS 1064 demonstrando que a fração magnética apresenta uma dispersão granulométrica mais acentuada que a fração mineral, como pode ser observado no gráfico de distribuição das populações, na figura 09 para o material magnético e figura 10 para o mineral.

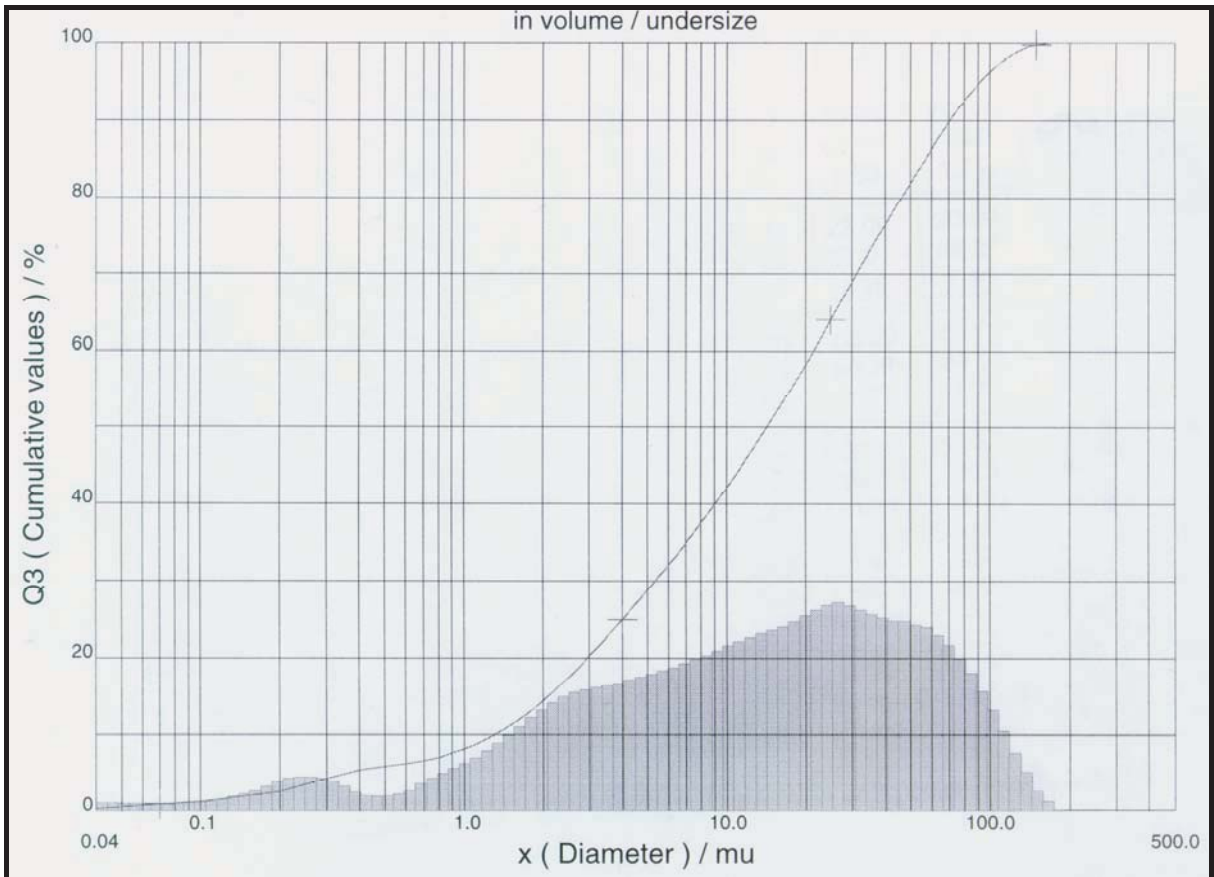


Figura 09 - Gráfico de distribuição das populações – granalha - Granulômetro CILAS

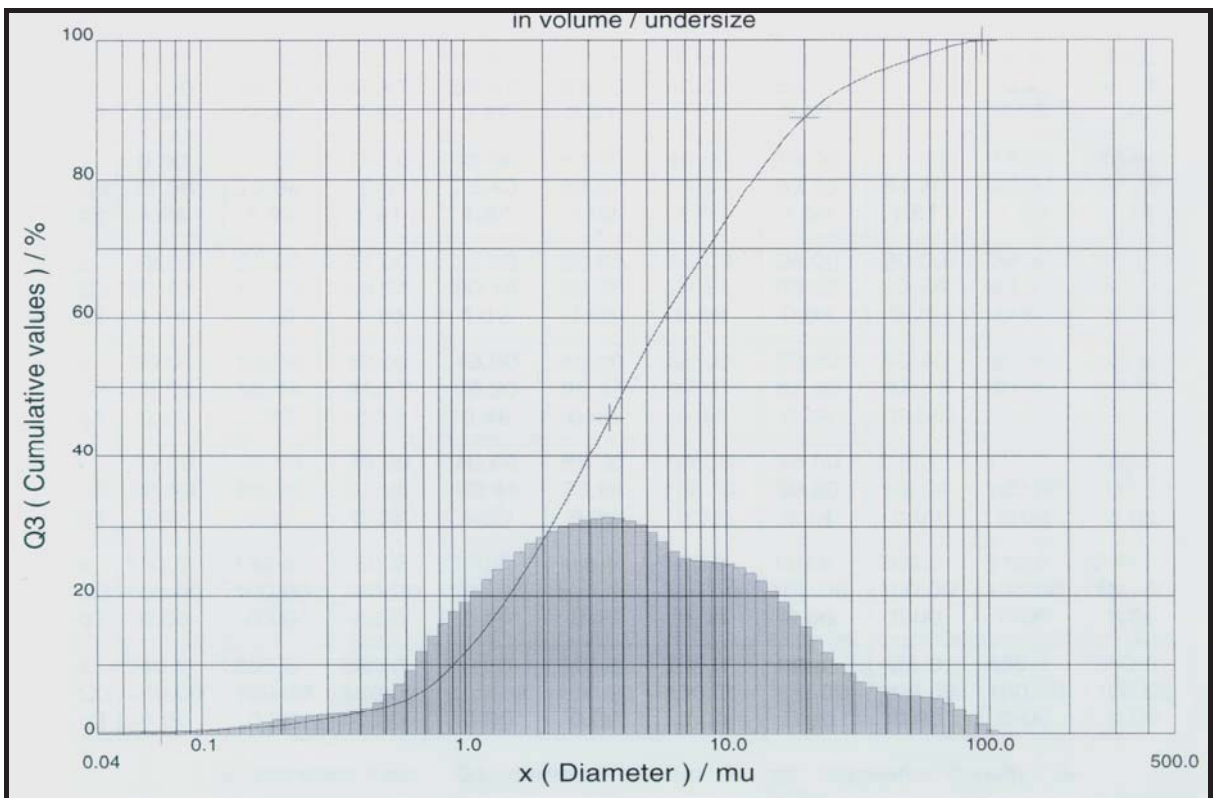


Figura 10 - Gráfico de distribuição das populações – fração mineral – Granulômetro CILAS

Observa-se também, quando se analisa a distribuição por classes, que a fração mineral apresenta maior concentração em materiais mais finos, encontrando-se 90% de sua população no tamanho de até 21  $\mu\text{m}$  enquanto a fração magnética encontra-se situada em 70  $\mu\text{m}$ . Este aspecto é melhor evidenciado quando se analisa a densidade da população que está localizada no intervalo de 3.4 – 4  $\mu\text{m}$  para a fração mineral e 25 – 32  $\mu\text{m}$  para a fração magnética. Estes resultados vem a corroborar com os resultados obtidos no separador magnético, que demonstra a predominância significativa da fração magnética até a granulometria + 0,037 mm, enquanto que, para a granulometria - 0,037 mm esta tendência não demonstre ser tão proeminente. Informações mais detalhadas no que tange a distribuição granulométrica e suas respectivas densidade de população, podem ser encontradas nas tabelas do Granulômetro CILAS 1064 em anexo.

De uma maneira geral os resultados obtidos com as amostras de rejeito da empresa CIGRAMAR de rocha granítica e da empresa São Cristóvão de rocha basáltica, apresentam comportamento similar até a granulometria + 0,037mm. Na granulometria - 0,037 mm não se constata de imediato uma similaridade entre as percentagens das frações magnética e mineral, ainda que a tendência das frações conduza a este caminho. Credita-se este fator provavelmente, a composição mineralógica e a textura diferenciada entre rochas que geram estes rejeitos.

O fato da densidade de polpa das amostras coletadas junto à empresa CIGRAMAR ser maior se justifica pelo aporte de granalha que é injetado nestes teares. Vale lembrar que as rochas graníticas apresentam uma elevada coesão mineral e de difícil desagregação, exigindo uma alimentação de granalha muito mais intensa quando comparada a que ocorre para outros tipos de rocha.

Outro aspecto relevante que deve se levar em consideração quando se fala na densidade do rejeito, é que não existe uma padronização dos hidrociclones deslamadores, nem uma metodologia adequada no intervalo entre os expurgos (descarte do material < 0,42 mm) e a quantidade de água injetada no processo. Generalizando, pode-se dizer que todos estes fatores associados implicam em uma maior densidade dos rejeitos graníticos em relação aos basálticos.

Buscando aprimorar a caracterização do material foi realizado nas amostras de rejeito da empresa São Cristóvão, uma descrição macroscópica da fração magnética e mineral com o auxílio de uma lupa nas granulometrias; + 0,84 mm, + 0,42 mm e + 0,149 mm. Os principais critérios considerados para a descrição das partículas foram a cor, grau de esfericidade e arredondamento.

Antes de tudo é importante conhecer os conceitos de esfericidade e arredondamento. Segundo BLAT, H. (1982), o arredondamento é produzido no grão por meio de impacto com outros grãos durante o movimento, resultando na perda das arestas, poucas arestas indicam bom arredondamento. Já a esfericidade é definida pela equidimensionalidade relativa dos três eixos perpendiculares através do grão. Se os eixos são aproximadamente iguais o grão é considerado esférico. Os resultados obtidos foram:

- granulometria + **0,84 mm - fração magnética** - no que diz respeito a cor, os grãos apresentam uma tonalidade predominante prateada proveniente da granalha com alguns tons de cinza provavelmente de minerais ferro magnesianos. O grau de esfericidade apresentado pela granalha é alto, enquanto que dos minerais ferro magnesianos é de moderado a baixo. Quanto ao arredondamento a granalha apresenta formas que vão de sub-arredondadas a bem arredondadas, enquanto os minerais ferro magnesianos são de forma angular a sub-arredondada.

- granulometria + **0,42 mm - fração magnética** - os grãos apresentam duas tonalidades predominantes, sendo a grande maioria prateados (granalha) e o restante cinza claro opaco (minerais ferro magnesianos). A esfericidade dos grãos de granalha é em geral alta e a dos minerais ferro magnesianos é moderada. O arredondamento da granalha apresenta formas que vão de sub-arredondadas a bem arredondadas e os minerais ferro magnesianos de forma angular a sub-arredondada.(figura 11)



Figura 11 – Granalha na granulometria + 0,42 mm observada em lupa (20X)

- granulometria + **0,149 mm - fração magnética** - os grãos apresentam uma tonalidade predominante prateada proveniente da granalha com alguns tons de cinza opaco provavelmente de minerais ferro magnesianos. O grau de esfericidade apresentado pela granalha é moderado enquanto a dos minerais ferro magnesianos é alto. O grau de arredondamento da granalha varia de sub-arredondado a arredondado e nos minerais ferro magnesianos é sub-angular

- granulometria + **0,84 mm - fração mineral** - os grãos apresentam tonalidades variadas, com partículas brancas e amarelas (translúcidas); cinzas e castanhas (opacas). A esfericidade dos grãos é moderada e o arredondamento varia de formas angulares a arredondadas.

- granulometria + **0,42 mm - fração mineral** - os grãos apresentam tonalidades variadas, com partículas brancas e amarelas (translúcidas); cinzas e castanhas (opacas) predominantes. A esfericidade dos grãos é moderada e o arredondamento varia de formas sub-arredondadas a bem arredondadas.(figura 12)



Figura 12 – Fração mineral na granulometria + 0,42 mm observada em lupa (20X)

- granulometria + **0,149 mm - fração mineral** - os grãos apresentam tonalidades brancas e amarelas (translúcidas); cinzas e castanhas (opacas) predominantes. A esfericidade dos grãos é de moderada a alta e o arredondamento de sub-angular a arredondado.

Através da análise macroscópica acima descrita pode-se constatar que a esfericidade da granalha é alta e o arredondamento apresenta formas que vai do sub-arredondadas a bem arredondadas até a granulometria + 0,42 mm, fase em que a granalha ainda é considerada ativa no processo de desdobramento. Na granulometria - 0,42 mm + 0,149 mm a esfericidade da granalha é moderada e o arredondamento varia de sub-arredondado a arredondado, evidenciando que neste intervalo granulométrico ocorrem modificações na geometria deste abrasivo.

Quanto aos minerais (pó de rocha) desagregados no processo de serragem dos blocos, observa-se que a esfericidade aumenta e as partículas vão se tornando mais arredondadas a medida que estas diminuem a granulometria. Estes aspectos são perfeitamente compreensíveis, uma vez que os grãos minerais são muito mais suscetíveis de desagregação que as partículas de granalha constituídas de ferro e aço.

#### 4.1 - Estimativa de Rejeito e Planta de Beneficiamento

Buscando entender como ocorre a separação da granalha não ativa (- 0,42 mm) no processo de serragem dos blocos nos teares, é importante discorrer sobre o meio responsável por esta segregação, o hidrociclone.

A grande maioria das empresas de desdobramento de rochas ornamental utiliza um ciclone classificador como separador das partículas finas (granalha cominuída e pó de rocha), uma vez que estas diminuem a eficiência no processo de serragem.

O hidrociclone classificador é composto por uma parte cilíndrica e outra cônica com ângulo variável de 10 a 20° e promove a separação das partículas pela ação da força centrífuga. A polpa é injetada tangencialmente e sob pressão na parte cilíndrica, criando no centro do hidrociclone uma região de baixa pressão que segrega as partículas mais finas, conduzindo este material a um regime de contra fluxo que segue para parte superior do equipamento (*overflow*), sendo assim retirado do sistema e conduzido à bacia de decantação. O material grosseiro (granalha ativa) é depositado em um tanque localizado embaixo do tear, retornando ao processo de serragem por bombeamento.

Entretanto, o hidrociclone apresenta alguns problemas quando atuante na separação das partículas mais finas da mistura abrasiva, haja vista a existência de pelo menos três tipos sólidos presentes (fragmentos de rocha, granalha e cal), cada qual com tamanho, forma e peso específico diferente. Todos estes aspectos associados conduzem a um aumento da



viscosidade do meio, fazendo com que ocorra a diminuição de rendimento e a precisão de corte (+ 0,42 mm) do hidrociclone, sendo portanto comum, granalha ativa ser descartada do sistema.

Portanto, tendo em vista a grande quantidade de rejeito produzida pelos teares multilâminas e ciente que o desperdício de granalha ativa efetivamente ocorre, algumas alternativas tecnológicas são sugeridas neste trabalho (figura 13).

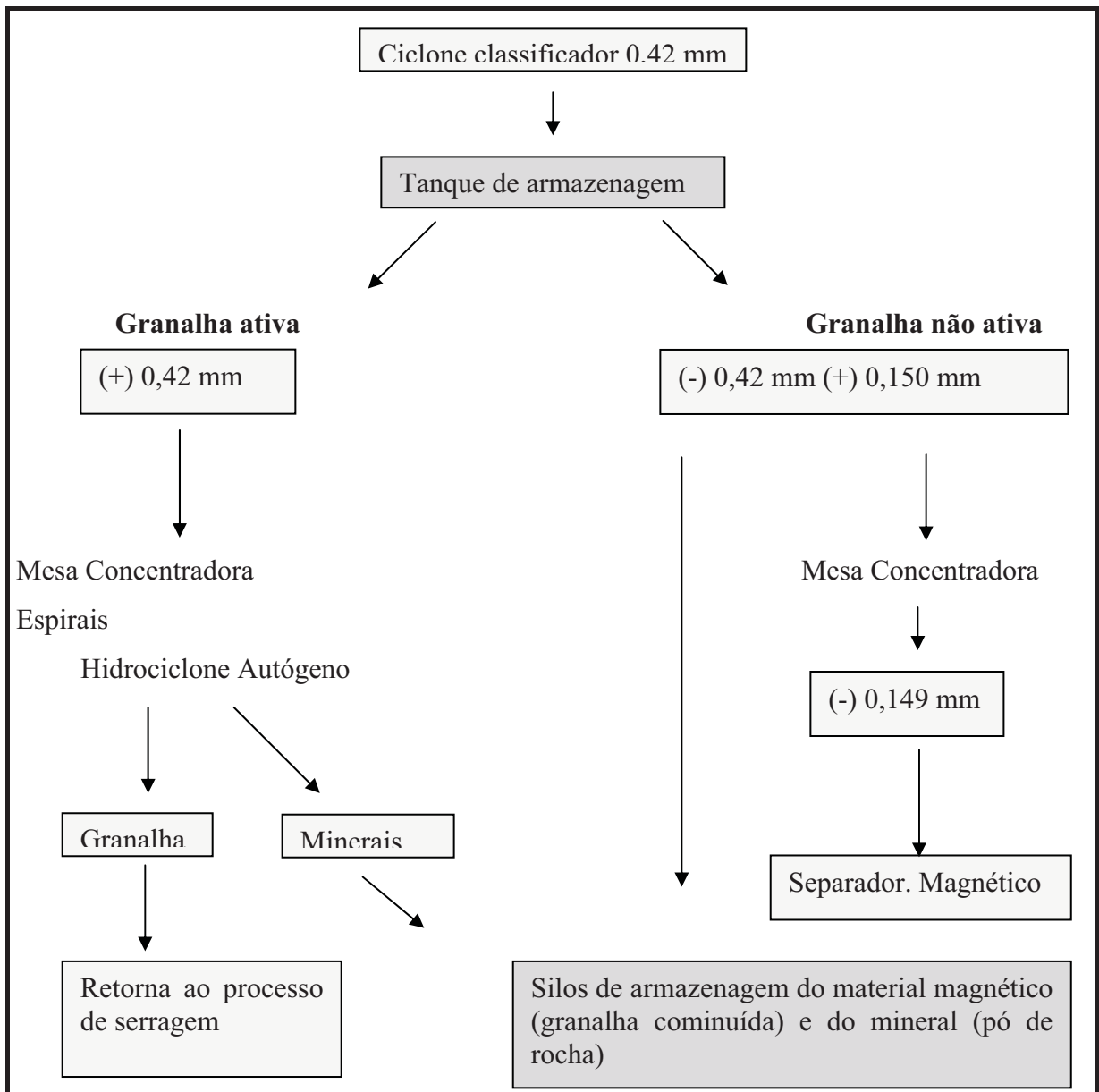


Figura 13 - Alternativas tecnológicas para processamento do rejeito

Aventa-se também, a possibilidade de uma indústria de processamento ser desenvolvida para o aproveitamento econômico deste material (figura 14), uma vez que existem aproximadamente 12 empresas renomadas atuantes no mercado e ávidas por retorno financeiro, que não aquele oriundo de seu processo produtivo. Outro ponto a se considerar é que as implicações ambientais seriam consideravelmente contornadas, amenizadas perante a

sociedade e os órgãos ambientais competentes, tornando as empresas no rumo certo do desenvolvimento harmônico e sustentável.

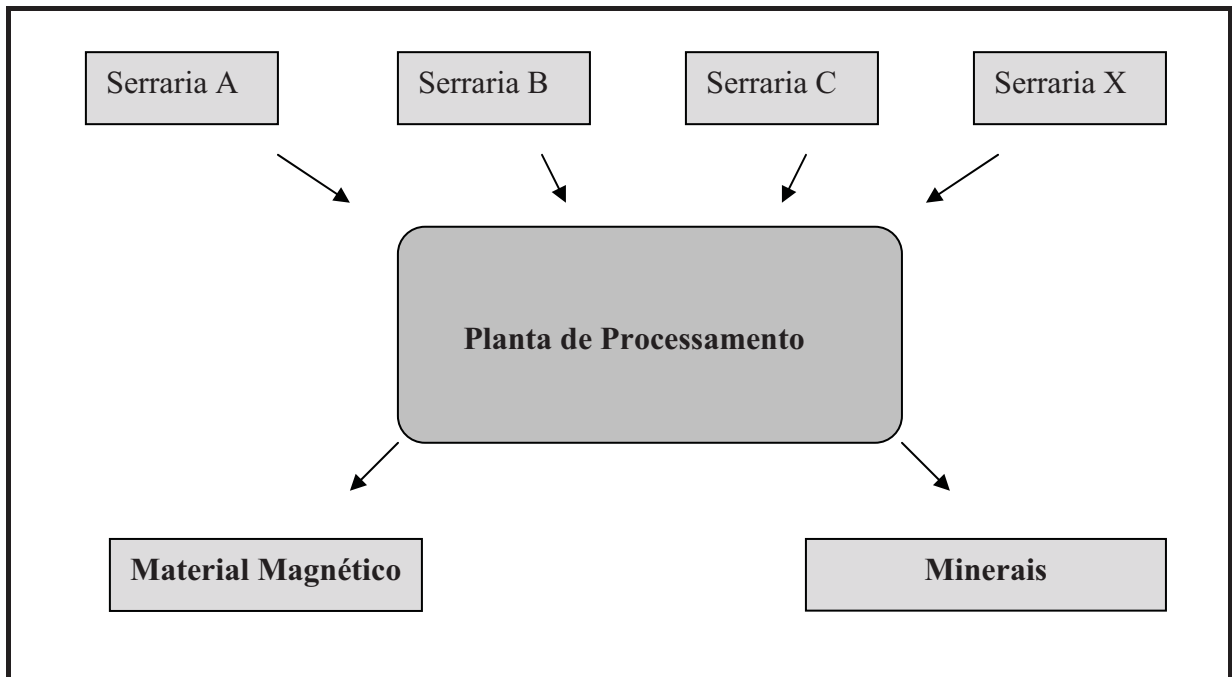


Figura.14 - Esquema de coleta e processamento de lamas

Buscando explicitar melhor a quantidade de rejeito gerado e em cima de dados, parâmetros, observados e pesquisados junto às empresas, foram feitas algumas estimativas de rejeito gerado pelos teares, conforme a seqüência abaixo discriminada:

- Cada serrada de bloco em tear multilâminas padrão no Brasil (tear tipo G2, com capacidade de desdobramento de aproximadamente  $9 \text{ m}^3$  com obtenção de chapas de 2 cm de espessura) gera:

- $9 \text{ m}^3$  de bloco X  $33 \text{ m}^2/\text{m}^3$  de chapa  $\cong 300 \text{ m}^2$  de chapas produzidas.

- A geração de pó de rocha é de aproximadamente 30% do volume do bloco, logo;

- $9 \text{ m}^3$  X 30% =  $2,7 \text{ m}^3$  de desgaste de rocha.

- $2,7 \text{ m}^3$  X 2,7 (densidade dos minerais)  $\text{t}/\text{m}^3 = 7,29 \text{ t}$  de minerais.

- **Consumo de granalha e lâminas:**

- Granalha:  $2,5 \text{ kg}/\text{m}^2$  X  $300 \text{ m}^2 = 750 \text{ kg}/\text{m}^2 = 0,75 \text{ t}$

- Lâminas:  $1,2 \text{ kg/m}^2 \times 300 \text{ m}^2 = 360 \text{ kg/m}^2 = 0,36 \text{ t}$

- Total = **1,11 t** de ferro/aço

• **Resumo:** 1 serrada produz **7,29 t** de minerais e **1,11 t** de ferro/aço da lama abrasiva.

Verificando uma produção média de 2,5 serradas/mês no estado Rio Grande do Sul e sabendo que: as 3 principais empresas de desdobramento possuem aproximadamente 20 teares em atividade, tem-se:

• 20 teares X 2,5 serradas/mês = 50 serradas/mês X 11 meses = 550 serradas/ano.

• Geração de minerais: 550 serradas/ano X **7,29 t** de minerais = 4.010 t/ano

• Geração de granalha: 550 serradas / ano X **1,11 t** de granalha = 611 t/ano

• Granalha: **611 t/ano**

• Minerais: **4.010 t/ano**

Como se pode observar é bastante significativa a produção de rejeito dos teares, chegando a aproximadamente 4.600 t/ano de materiais sólidos. Vale ressaltar também que, atualmente o rejeito do processo de desdobramento de blocos de rocha é acumulado em pequenas bacias de decantação, sem controle operacional ou ambiental efetivo. Após o esgotamento dessas bacias são descartados em aterros próximos às empresas ou nos “lixões” e aterros das prefeituras municipais, sem o devido tratamento e gerando uma agressão ao meio ambiente, uma vez que se trata de material com elevado percentual de sólidos, pH em torno de 12 e basicamente formado por ferro/aço e minerais como quartzo, feldspatos e opacos.

Estimando os preços de venda para os subprodutos de ferro/aço, possíveis de serem recuperados de efluente da serraria, tem-se os valores potenciais de venda desses como segue:

Partindo-se do pressuposto que a quantidade de granalha  $> 0,1 \text{ mm}$  representa (30 a 35%) do total, temos que:  $35\% \times 611 \text{ t} = 214 \text{ t/ano} \times \text{R\$ } 150,00/\text{t}$  (preço estimado) = **R\$ 32.100,00/ano.**

Da mesma forma,  $< 0,1 \text{ mm}$  (65 a 70%) = 397 t/ano X R\$ 1.000,00/t = R\$ 397.000,00/ano.

**Total: R\$ 429.100,00/ano.**

O resultado esperado para 20 teares - Valor potencial total de ferro/aço: R\$ 429.100,00 + VA

Entende-se por VA = valor a ser agregado pela fração mineral a ser obtido em função da quantidade e qualidade das características dos minerais separados (principalmente quartzo e feldspato), que dependerá da aplicação (venda ou reaproveitamento pelas empresas).

Estimando 1500 teares atualmente em atividade no Brasil, este subproduto de ferro/aço poderá atingir valores recuperáveis da ordem de **R\$ 32.180.000,00 + VA.**

Na empresa São Cristóvão especificamente, foi realizada uma estimativa da geração de rejeito baseada nas dimensões da bacia de decantação e o tempo que esta leva para ser totalmente preenchida. A bacia de decantação apresenta as seguintes dimensões: 37 m de comprimento; 9 m de largura e 3 m de profundidade; comportando 999 m<sup>3</sup> de rejeito. Segundo informações do encarregado no controle de serragem esta bacia leva em torno de 1,5 ano para ter toda sua capacidade ocupada. Observou-se também, que esta bacia não apresenta nenhum tipo de revestimento, sendo o material depositado diretamente no solo e não sofrendo nenhum tipo de tratamento. A retirada do material é realizada com retroescavadeiras que fazem o traslado através de caminhões e posteriormente são depositados em aterros criados pelas prefeituras.

Buscando-se fazer uma estimativa na quantidade de toneladas de material (polpa) que pode ser depositada nos 999 m<sup>3</sup> de capacidade de armazenamento desta bacia, tem-se que fazer as seguintes considerações:

- a densidade média dos minerais constituintes das rochas é 2,7;
- a densidade média da granalha e do resíduo de ferro das lâminas é 7,0;
- a concentração do material magnético na polpa é de aproximadamente 30%, enquanto a dos minerais é de 70%.

Com base na densidade média e na concentração dos constituintes da polpa, pode-se dizer que a densidade média da polpa é de aproximadamente 3,9. Com a densidade da polpa e um fator de empolamento estimado de 50%, foi feita uma projeção da quantidade de material depositado na bacia de decantação da empresa São Cristóvão:

- massa = densidade X volume, logo;  $3,9 \times 999 \text{ t} = 3.896$  toneladas de polpa sem contar o fator de empolamento de 50%. O resultado final estimado é, portanto, de 1.948 toneladas depositadas no período de 1,5 ano, representando 1.298,6 toneladas ao ano de material depositado na bacia de decantação.

Partindo-se do pressuposto que esta empresa tem em média 6 teares em atividade plena durante o ano, a produção de rejeito vem a confirmar as estimativas discutidas neste trabalho, que são de aproximadamente 4.600 t/ano para 20 teares.

## 5 - CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com a análise dos rejeitos no processo de desdobramento de rochas ornamentais demonstraram que a separação do material magnético (granalha) do material mineral (pó de rocha) é uma rota econômica viável quando se procura desenvolver tecnologias de reciclagem associadas à harmonização do meio ambiente.

Desta forma, o planejamento adequado das bacias de decantação é princípio fundamental para possibilitar o equilíbrio dos recursos naturais e permitir a recuperação do rejeito produzido. A segregação de resíduos sólidos na origem, visando seu reaproveitamento otimizado, é relevante para o desenvolvimento harmônico e sustentável no setor de desdobramento de rochas em teares multilâminas à granalha.

A estimativa do rejeito gerado pelo setor confirma o grande aporte do material que é depositado nas bacias de decantação ou aterros, muitas vezes sem controle e planejamento ambiental prévio, principalmente no que diz respeito à contaminação de rios, lençol freático e aterros – pH básico; assoreamento dos rios e córregos com material ultrafino (granalha e minerais); oxidação dos aterros (granalha de aço/ferro) e a quantidade de efluente a ser depositada.

Faz-se necessário então, incutir nas empresas do setor de desdobramento uma cultura de operação sem poluição dentro da filosofia de tecnologia limpa com o aproveitamento de todos os produtos e subprodutos possíveis de serem obtidos.

Diversas são as sugestões para o aproveitamento econômico deste rejeito, dentre as quais, estão: a obtenção de concentrado de granalha fina visando sua utilização no polimento de aços planos ou reutilizados na fabricação de granalha de corte; na sinterização, pelotização e utilização de finos na aciaria.

Por outro lado, os concentrados minerais poderiam ser destinados para utilização como argamassa de assentamento de rochas ornamentais ou no rejunte de pisos, podendo substituir a areia nessas aplicações; os concentrado de quartzo/feldspato para utilização na indústria de vidro ou de cerâmica de revestimento; os concentrados de quartzo na siderurgia, como fonte de sílica na fabricação de ferro ligas e de sinter; como abrasivos em jateamento e polimento de superfícies, dentre outras tantas aplicações.

A situação diagnosticada neste trabalho conclui que, o setor de desdobramento de rochas ornamentais no Estado do Rio Grande do Sul encontra-se num estágio de franco crescimento, ainda que, necessite de maior aporte de investimento nos setores de pesquisa, incremento tecnológico e consciência ambiental.

A falta de investimentos no setor acarretou em algumas empresas um sucateamento tecnológico, principalmente no que se refere à reposição e aquisição de teares mais modernos, capazes de atender a demanda mercadológica de qualidade.

O treinamento dos operadores no controle da serragem e outro aspecto a ser considerado, pois os mesmos desconhecem os parâmetros que influenciam a otimização do processo de desdobramento de blocos, não havendo padronização de procedimentos durante o processo de corte.

Cabe ressaltar então, que o aprofundamento dos estudos visando o desenvolvimento de tecnologias no beneficiamento do rejeito, associado a uma padronização no controle da serragem, são relevantes para diminuir os custos de produção das empresas, bem como, podem incrementar com uma fonte de receita alternativa o setor de desdobramento de rochas ornamentais em teares multilâminas a granalha.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduo Sólido - Amostragem de Resíduos: NBR 10007. Rio de Janeiro, 1987. 14p.
- BANCO DO BRASIL. Sinopse Setorial – Rochas Ornamentais – Mármore e Granitos. Brasília, nº 44, fevereiro de 2000.
- BLATT, H. Sedimentary Petrology, 1982. Capítulo 4 e 5.
- CAIADO, M. A. C.; MENDONÇA, A. S. F. Impactos de atividades de exploração de mármore e granito sobre a qualidade da água de bacias hidrográficas. in 18º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Coletânea de trabalhos do Espírito Santo. Salvador, 1995. p.11-19
- CHIAVERINI, V. Desenvolvimento Sustentado. Metalurgia e Materiais. ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. São Paulo. V. 50. n. 435. p. 1066, novembro de 1994.
- CHIODI, C. C. Realidade e perspectivas do setor de rochas no Espírito Santo – Panorama Internacional. Revista Rocha de Qualidade. Edição 150, jan/fev – 2000. p128-145.
- CHIODI, C. Panorama sobre o Mercado Nacional e Internacional de rochas Ornamentais. Ministério de Minas e energia. Secretaria Nacional de Minas e metalurgia. Grupo Temático de Rochas Ornamentais. Plano Plurianual para o Desenvolvimento da Mineração. Vitória, agosto de 1995. 18p
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Artigo 1º, Inciso I ao V da Resolução 001 de 23/01/1986.
- CONDET, Consultoria de Empreendimentos Ltda. Estudo setorial de rochas ornamentais do Estado do Rio de Janeiro, 1999.
- CORRÊA, T. E.; KAUTZMANN, R. M. Aspectos Técnicos-Econômicos da Mineração de Granitos Ornamentais no Rio Grande do Sul In: IV Congresso Ítalo-Brasileiro de Engenharia de Minas. Canela-RS, novembro de 1996.



- DECRETO ESTADUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS - Regulamentação da lei nº 9.921, que dispôs sobre a gestão dos resíduos sólidos no Estado do Rio Grande do Sul, autorizado por Antonio Brito – Governador do Estado. Porto Alegre, 01 de abril de 1998.
- FILHO, C. C.; RODRIGUES, E. P. Panorama sobre o mercado nacional e internacional de rochas ornamentais. A terra em revista, 2 , 1996. pp.40-49
- FILHO. A. V; SABADINI. M de S. Arranjo Produtivo de Rochas Ornamentais (Mármore e Granito) no Estado do espírito Santo. Estudos Empíricos. Nota técnica 15. Contrato BNDES/FINEP/FUJB. Instituto de Economia da universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000. 78p.
- FIRJAN/CIRJ/SESI/SENAI/IEL. Estudo setorial de rochas ornamentais do Estado do Rio de Janeiro – Sumário Executivo – novembro de 1999.
- FONSECA D. C.; PERES A. E. C. Reaproveitamento de resíduos industriais – Estudo de Caso – XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa e I Seminário de Química de Colóides Aplicada Tecnologia Mineral, 23 a 26 de agosto de 1998.
- FREIRE, A. S.; MOTTA, J. F. Potencialidades para o aproveitamento econômico de rejeito de serragem de granito. Revista Rochas de Qualidade. Granitos, Mármore e Pedras Ornamentais. Edição 123, jul/ago, 1995. p98-108
- GROSS, J.M.; NOVAES, L.E.S.M.; AZEVEDO, M.M. O Setor de rochas ornamentais no Estado do Rio Grande do Sul. Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Assuntos Internacionais do Estado do Rio Grande do Sul. Câmara Setorial da Construção Civil. Porto Alegre, junho de 1997.
- MANCA P. P. Analisi della torbida circolante nel processo de segagione del granito. Quarry and Constrution, luglio 1992.
- MOYA, M. M.; SUSLICK, S. B. Avaliação preliminar do setor de rochas ornamentais no Brasil. In: XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia. Sociedade Brasileira de Geologia. São Paulo, 1992.
- SILVA, S. A. C. da. Caracterização do resíduo da serragem de blocos de granito. Estudo do potencial de aplicação na fabricação de argamassas de assentamentos e de tijolos de solo-

cimento. Vitória (ES), Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) / Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental, Dissertação de Mestrado, janeiro de 1998.

SOUZA, J. C. Diagnóstico do Setor de Mármore e Granitos no Estado do Rio Grande do Sul. Relatório interno Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Departamento Regional do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, fevereiro de 1997.

TUBINO, L. C. B.; Diagnóstico do setor de desdobramento de rochas ornamentais no Rio Grande do Sul - 55º Congresso Internacional da ABM – Rio de Janeiro, 24 a 28 de julho de 2000.

VALE, E. Estudo econômico sobre rochas ornamentais: mercado internacional de rochas ornamentais. Fortaleza, Federação das Indústrias do Ceará, IEL (CE), 1997.

VERDUM R.; MEDEIROS R. M. V. Relatório de Impacto Ambiental – legislação, elaboração e resultados – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS - 1995

VIEIRA JR. H. T . Proposta de recuperação de ferro dos rejeitos do desdobramento de rochas ornamentais em teares multilâminas – VI Encontro do Hemisfério Sul Sobre Tecnologia Mineral / XVIII Encontro Nacional de Tratamentos de Minérios e Metalurgia Extrativa – Rio de Janeiro - 27 a 31 de maio de 2001.

**7 - ANEXOS**