

Caderno de Requisitos

Projeto Conceitual de uma Fábrica de Fio Diamantado para beneficiamento de Rochas Ornamentais na região de Cachoeiro de Itapemirim - ES





Caderno de Requisitos

Florianópolis, Fevereiro de 2013.

República Federativa do Brasil

Dilma Rouseff
Presidente

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

Fernando Damata Pimentel
Ministro

Entidades Conveniadas Promotoras do Projeto

Banco Interamericano de Desenvolvimento - BID
Confederação Nacional das Indústrias - CNI
Federação das Indústrias do Estado do Espírito Santo - FINDES

Instituto Euvaldo Lodi – IEL/ES

Cyntia Santos Almeida Alves
Coordenadora do Projeto

Equipe Técnica

Centro Tecnológico do Mármore e Granito - CETEMAG
Herman Kruger Figueira
Marcos Pazinato

Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras – CERTI

Carlos Fadul Correa Alves
Willian Jefferson Gonzalez Castillo
Tânia Henke Kraemer
Conrado Batista Pacheco
Julia Zimmermann de Assunção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
1.1	FINALIDADE DO TRABALHO	6
1.2	METODOLOGIA DE TRABALHO	6
1.3	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	7
2	CARACTERIZAÇÃO DA DEMANDA	8
2.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS	8
2.2	NORMAS RELACIONADAS A ROCHAS ORNAMENTAIS DE REVESTIMENTO	14
2.3	CARACTERIZAÇÃO DA DEMANDA	14
2.3.1	<i>Produção Brasileira de Rocha Ornamental</i>	18
2.3.2	<i>Demanda Brasileira de Mármore e Granito</i>	22
2.3.3	<i>Demanda Capixaba de Mármore e Granito</i>	25
2.3.4	<i>Estimativa Futura</i>	27
2.3.5	<i>Demanda de Fio Diamantado</i>	28
3	CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO	34
3.1	COMPONENTES DA FERRAMENTA DE CORTE FIO DIAMANTADO	35
3.1.1	<i>Anel Diamantado</i>	36
3.1.2	<i>Tube Suporte do Anel Diamantado</i>	37
3.1.3	<i>Cabo de Aço</i>	38
3.1.4	<i>Anel de Fixação</i>	38
3.1.5	<i>Revestimento</i>	39
3.1.6	<i>Emenda</i>	41
3.2	MATÉRIA-PRIMA DO ANEL DIAMANTADO	41
3.2.1	<i>Matriz Metálica</i>	41
3.2.2	<i>Diamante</i>	42
3.2.3	<i>Ligantes</i>	44
3.2.4	<i>Lubrificantes</i>	45
3.3	UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA DE CORTE FIO DIAMANTADO	45
3.3.1	<i>Corte na Jazida</i>	46
3.3.2	<i>Corte de Blocos</i>	50
3.3.3	<i>Corte de Chapas</i>	51
3.3.4	<i>Visita a empresas do setor</i>	52
4	CONCLUSÕES	55

1 INTRODUÇÃO

O mercado de rochas ornamentais encontra-se em grande expansão tanto no Brasil como no mundo, exigindo tecnologias cada vez mais avançadas, sempre na busca de uma maior produtividade. O Brasil é o quarto maior produtor de rochas ornamentais do planeta e um exportador eminente, movimentando cerca de US\$ 2 bilhões por ano.

Para ser competitivo no mercado mundial o Brasil depende de *know-how* estrangeiro (equipamentos e *expertise*) e da importação contínua da ferramenta de corte: o fio diamantado (cabo de aço com anéis diamantados fixados ao longo de sua extensão). Esta é a tecnologia do estado da arte mais utilizada em nível mundial para extração e corte de rochas. Mas, em função da atual dependência tecnológica e importação do insumo fio diamantado, a produção brasileira de rochas ornamentais hoje está fragilizada.

A tecnologia tradicional utilizada para o desdobramento da pedra era a serrada por atrito, efetuada por lâminas de aço em tear convencional. Essa tecnologia apresenta problemas de processo, já que pode gerar trincas no produto, causando uma considerável perda de material, além da necessidade da contínua adição de insumo abrasivo para que o corte ocorra, o que onera o custo de operação e gera alto volume de resíduos. Outra tecnologia de corte utilizada é por fio de aço, considerada de eficiência limitada.

No mercado, considera-se rocha ornamental basicamente o mármore, classificado como rocha calcária, e o granito, classificado como rocha não calcária, ambos capazes de ser serrados e receber polimento, utilizados como materiais de revestimento e adorno, muito requisitados na construção civil. A seguir, a Tabela 1 e a Tabela 2, comparam os vários tipos de tecnologias de corte da prancha empregadas na pedreira (operação de extração da rocha da jazida), respectivamente, para mármore e granito.

Tabela 1 - Comparação técnico-econômica entre Tecnologias de Corte na lavra de Mármore.

Modalidade Operacional	Parâmetros Técnicos					
	Explosivos	Fio Helicoidal	Fio Diamantado	Cortador à Corrente	Perfuração Contínua	Cunha Mecânica/Hidráulica
Velocidade de corte (m ² /h)	-	2-3	10-12	5-7	-	-
Largura do corte (mm)	-	9-10	11-12	40-50	-	-
Rugosidade (cm)	5-8	1-2	2-4	0-1	2-3	4-8
Zona de desperdício (cm)	10-15	-	-	-	-	-
Dedução comercial (cm)	15-23	1-2	2-4	0-1	2-3	4-8
Custo de corte (US\$/m ²)	20-25	30-40	18-24	23-32	28-38	19-24

Fonte: REGADAS (2006).

Tabela 2 - Comparação técnico-econômica entre Tecnologias de Corte na lavra de Granito.

Modalidade Operacional	Parâmetros Técnicos					
	Explosivos	Fio Helicoidal	Fio Diamantado	Cortador à Corrente	Perfuração Contínua	Cunha Mecânica/Hidráulica
Velocidade de corte (m ² /h)	-	1-2	3-4	1-3	-	-
Largura do corte (mm)	-	80-100	11-12	30-50	-	-
Rugosidade (cm)	5-8	4-6	2-4	1-2	2-3	4-8
Zona de desperdício (cm)	5-10	10-20	-	-	-	-
Dedução comercial (cm)	10-18	14-26	2-4	1-2	2-3	4-8
Custo de corte (US\$/m ²)	23-30	75-90	60-90	35-60	35-40	25-31

Fonte: REGADAS (2006).

Comparando estas várias tecnologias de corte, destaca-se claramente o corte à corrente e por fio diamantado. O fio diamantado apresenta maior velocidade e menor largura de corte, a um menor custo. Por sua vez, o corte à corrente se destaca por deixar a superfície da rocha menos rugosa e por propiciar menor dedução comercial.

Com a utilização do fio diamantado as indústrias são capazes de cortar grandes quantidades de bloco de rocha na pedreira de maneira fácil, econômica e ecológica, com um ou vários fios ao mesmo tempo, resultando em um produto de qualidade única. Além disso, esta tecnologia de corte gera menos escórias, o que reduz o desperdício da matéria-prima (rocha) extraída.

No corte de rochas, torna-se dispensável o uso de abrasivos, como a cal utilizada no processo de tear convencional, sendo necessária apenas água como fluido refrigerante. O impacto ambiental é pequeno, considerando que os abrasivos do processo convencional são tóxicos, não reutilizáveis e em geral dispostos em local não adequado. Outra vantagem é a diminuição do ruído produzido durante o processo, de 95 dB no tear convencional, para apenas 70 dB no fio diamantado.

Assim, a importância deste trabalho está no volume de rochas beneficiadas no país. De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (AEBD-SEGET, set/2012), o Brasil possui mais de 1.200 variedades de rochas ornamentais, exploradas por cerca de 12.000 empresas. Já o estado do Espírito Santo computa um volume de mais de cinco bilhões de metros cúbicos de rochas ornamentais, sendo extraído em torno de 800.000 m³ por ano, especialmente mármore e granito, e na cidade de Cachoeiro de Itapemirim está localizada a maior reserva de mármore do Brasil. Portanto, o objetivo do corte com fio diamantado tem foco nesses dois minérios, para o estado do Espírito Santo.

1.1 Finalidade do Trabalho

O Centro Tecnológico do Mármore e do Granito (CETEMAG) e o Instituto Euvaldo Lodi do Espírito Santo (IEL-ES), respectivamente no papel de proponente e coordenador deste projeto, estão buscando o desenvolvimento tecnológico do **Fio Diamantado** para as empresas do setor de corte de rochas ornamentais. É sabido que este é insumo crítico no processo produtivo de extração e beneficiamento da pedra ornamental. É almejada a redução de custo, o incremento do volume de fornecimento e a independência nacional, questões estratégicas para a definitiva adoção desta tecnologia pelo empresariado brasileiro, atuante no setor. Num primeiro estágio, o objetivo é dominar a fabricação dos anéis compósitos de metal e diamante.

1.2 Metodologia de Trabalho

Foi contratada a *expertise* do Centro de Produção Cooperativa da Fundação CERTI para o desenvolvimento da Fase 1, de Projeto Conceitual da Unidade Fabril para manufatura do anel diamantado e montagem do fio diamantado. A seguir, a Figura 1 apresenta a metodologia utilizada pela CERTI, de desenvolvimento de projetos de unidades fabris.

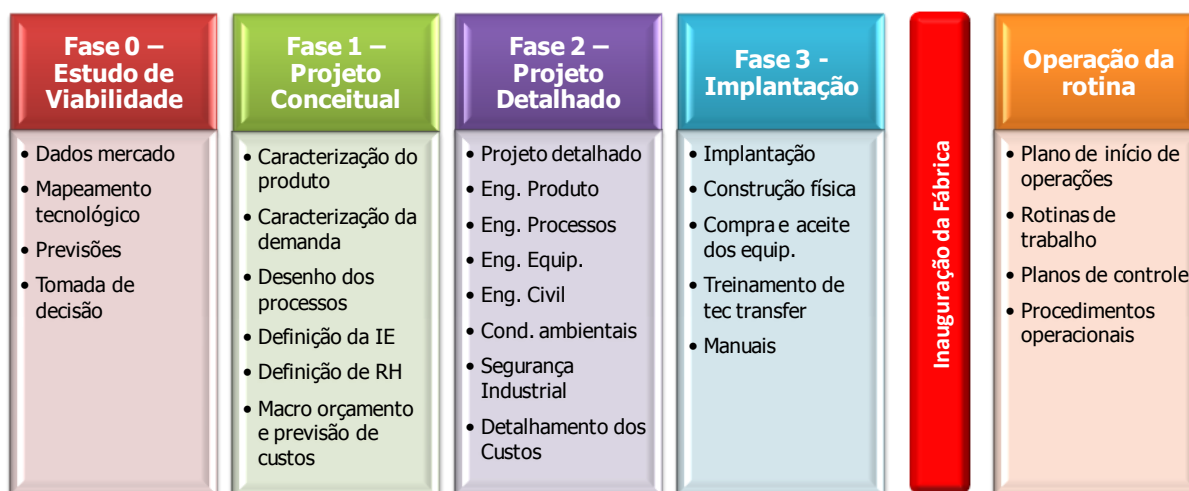


Figura 1 - Metodologia para desenvolvimento da Unidade Fabril.

A metodologia de implantação e operação da unidade fabril trabalha cinco fases distintas. Na **Fase 0**, é realizado o estudo de viabilidade técnica, econômica e/ou comercial da unidade fabril (EVTEC). A **Fase 1** objetiva caracterizar as possíveis soluções, apresentar o conceito da unidade fabril e sua viabilidade econômica, agregando informações detalhadas sobre conceito, potenciais provedores tecnológicos, mercado e demais fatores envolvidos. Já a **Fase 2** objetiva aprofundar o estudo sobre a solução escolhida ao longo da fase conceitual, definindo de forma detalhada os equipamentos necessários e seus fornecedores, o conjunto dos projetos civis para a construção da unidade fabril, os recursos humanos necessários, seus perfis e os custos envolvidos para instalação e operação da empresa. Na **Fase 3** são

efetuadas uma série de atividades, como a construção civil, a aquisição de equipamentos e infraestrutura necessária, a documentação da rotina de fábrica (materiais, processo, qualidade e manutenção), e o planejamento da contratação e treinamento do RH. Por fim, na **Fase 4** a planta é posta em marcha e são ajustados os parâmetros do processo produtivo para que a fábrica trabalhe com alto desempenho.

1.3 Desenvolvimento do Trabalho

A Fase 0, de estudo de viabilidade de técnica e econômica do produto, foi realizada no ano de 2009. Como resultado, a parte técnica do estudo testou a tecnologia de fabricação por compactação uniaxial seguida de sinterização, e a parte econômica demonstrou que seria vantajosa a fabricação deste no Brasil, ainda que ao mesmo preço praticado no mercado internacional, de US\$ 60,00 por metro de fio, preço anterior à nacionalização. O EVTE também concluiu que o corte da rocha ornamental com fio diamantado resultará em maior competitividade para empresas do setor, como maior produtividade, qualidade e flexibilidade, melhor ambiente de trabalho fabril e processo ambientalmente correto (vide no Anexo 1 o estudo completo de viabilidade realizado).

O presente trabalho é de desenvolvimento da Fase 1, de Projeto Conceitual de uma Fábrica de Fio Diamantado para beneficiamento de Rochas Ornamentais na região de Cachoeiro de Itapemirim-ES, sendo composto de 3 grandes produtos, a saber:

- Requisitos para a Unidade Fabril
- Projeto Conceitual da Unidade Fabril
- Apresentação final do projeto e etapas subsequentes

Este documento corresponde aos requisitos necessários para implantação da Fábrica de Fio Diamantado, que irá fabricar anéis diamantados e montar o produto fio diamantado, utilizado na pedreira para a extração do bloco e na planta para o corte deste em chapas. Este documento está estruturado em dois capítulos principais, a saber:

- **Caracterização da demanda:** apresenta a reserva de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo e regiões adjacentes; mostra o volume comercializado ao longo do tempo dentro e fora do país; exhibe as principais características das rochas e sua relação com o corte; por fim, organiza em famílias o universo de rochas extraídas e beneficiadas pelas empresas de Cachoeiro de Itapemirim-ES.
- **Caracterização do produto:** apresenta tecnicamente o produto "Fio Diamantado", relacionando o tipo de fio à etapa de corte e a tipologia da rocha a ser cortada; expõe também todas as partes componentes do produto.

Durante elaboração deste caderno, foi efetuada ampla pesquisa baseada em diversas fontes, como documentos, estudos, relatórios e bancos de dados publicados por órgãos do governo e organizações mundialmente respeitadas. Além disso, foram levantadas informações *in loco*, por meio de visitas a Cachoeiro de Itapemirim para reuniões com o CETEMAG, SINDROCHAS e visita a empresas do setor, onde foi possível ter-se uma melhor visão da realidade local.

2 CARACTERIZAÇÃO DA DEMANDA

A necessidade de fio diamantado para o corte de pedras ornamentais da região de Cachoeiro de Itapemirim-ES depende, basicamente, da quantidade e variedade de rocha processada. Portanto, o primeiro passo é determinar estes dados, para depois chegar-se na demanda e tipificação mandatória de fio diamantado.

2.1 Caracterização das Rochas Ornamentais

As rochas são recursos naturais muito explorados no país, principalmente por seu amplo campo de aplicações. Caracterizadas por propriedades como composição mineralógica, estrutura, textura e granulometria, elas são basicamente divididas em três grupos, de acordo com sua formação e características, conforme apresentado a seguir.

Rocha Sedimentar: Formada a partir de erosão, decomposição e transporte de segmentos derivados de rochas na superfície terrestre, e por precipitação química ou acúmulo de fragmentos orgânicos. Sua formação tem por característica várias camadas, como por exemplo, calcários e dolomitos. Este grupo de rocha não é muito explorado no Brasil.

Rocha Ígnea: Grupo representado pelo Granito. Tem sua formação oriunda da solidificação de material magmático, podendo esta solidificação ser rápida ou lenta. No resfriamento rápido, por não haver tempo de organização da microestrutura, a granulação se apresenta mais fina e vítrea. Já no resfriamento lento, os grãos apresentam granulometria grosseira (Figura 2).



Figura 2 – Amostra representativa dos vários tipos de Granito.

Fonte: PEDRAS IPIRANGA (out/2012).

As rochas ígneas são classificadas em função da quantidade de elementos presentes, como os feldspatos, quartzos, piroxênios, anfibólios e feldspatóides, sendo os feldspatos os principais responsáveis pela coloração resultante. Para o caso do granito, que sofreu resfriamento lento, os principais minerais encontrados são o quartzo transparente, o feldspato e as micas. O quartzo e o feldspato fornecem as características de dureza ao granito, enquanto as micas o tornam mais elástico, por apresentar elevada tenacidade. Também denominado como rocha silicática (possuindo mais de 69 % SiO_2), o granito é caracterizado pelas seguintes propriedades físico-químicas (UFES, set/2012):

- Estrutura maciça;
- Granulometria geralmente grosseira e compacta;
- Elevada dureza (entre seis e sete na escala *Mohs*);
- Elevada densidade;
- Baixa absorção e porosidade;
- Textura fanerítica (distinguem-se os grãos a olho nu);
- Alta resistência ao desgaste abrasivo e a arranhões;
- Maior resistência à compressão e flexão que o mármore.

Rocha Metamórfica: Grupo representado pelo Mármore. É derivado de rochas pré-existentes que sofreram alterações ao longo do tempo pela aplicação de elevada temperatura e pressão. Dependentes do ambiente geológico onde se encontram, essas rochas apresentam estruturas maciças e levemente orientadas (Figura 3).

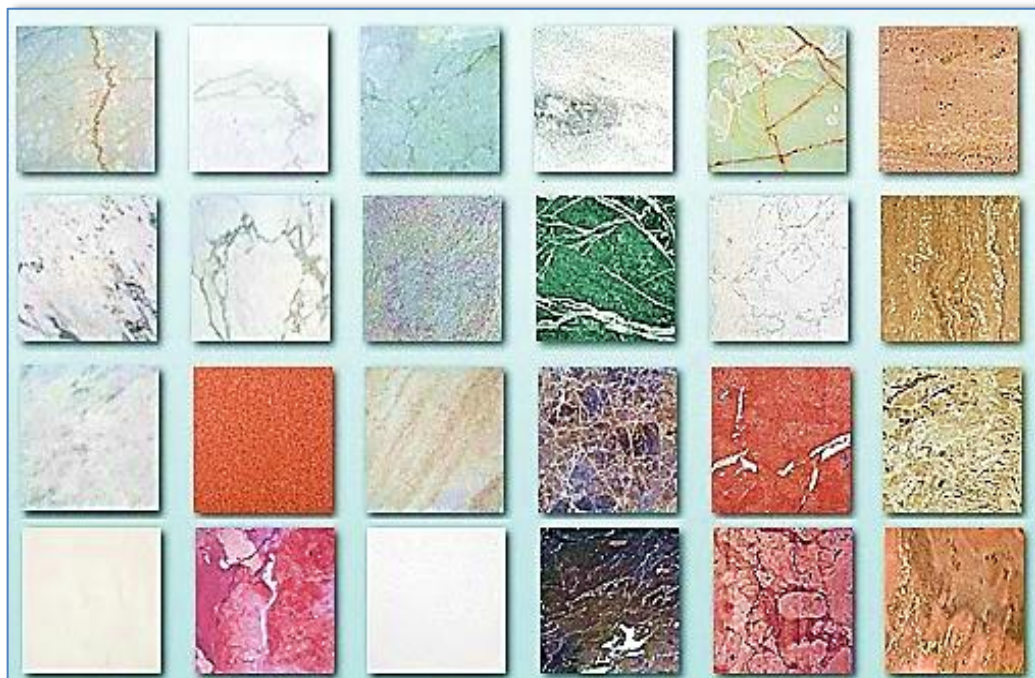


Figura 3 - Amostra representativa dos vários tipos de Mármore.

Fonte: MRT ARQUITETURA E INTERIORES (out/2012).

Com mais de 50% de calcita e/ou dolomita em sua composição, os mármore são originados do calcário, tendo estrutura maciça e granulação variada. Quanto maior o caráter dolomítico, maior a resistência do mármore. Dependendo da composição encontrada, pode apresentar várias colorações e texturas, embora com propriedades físico-químicas inferiores aos granitos, como porosidade e menor dureza. Também denominadas rochas calcárias, as principais propriedades físico-químicas dos mármore são (UFES, set/2012):

- Estrutura maciça;
- Granulometria variada;
- Dureza entre três e cinco na escala *Mohs*;
- Menor densidade que os granitos;
- Absorção e porosidade relativamente altas;
- Baixa resistência ao desgaste abrasivo e a arranhões;
- Menor resistência à compressão e flexão que os granitos.

Observa-se que em torno de 90% do mármore beneficiado no estado do Espírito Santo é do tipo dolomítico, que é mais coeso e, por isso, mais denso. Já os 10% restantes são do tipo calcítico, que é mais quebradiço, por ser mais porosidade. A seguir, a Tabela 3 mostra um resumo das propriedades físico-químicas das rochas ornamentais, mármore e granito, a fim de análise e comparação.

Tabela 3 - Principais propriedades físico-químicas das Rochas Ornamentais.

Propriedades	Mármore	Granitos
Massa Específica	2,4 a 2,8 kg/dm ³	2,60 a 2,85 kg/dm ³
Porosidade total	5,0 a 12,0 %	0,4 a 1,2 %
Resistência à compressão	800 a 1.800 kgf/cm ²	1.600 a 3.000 kgf/cm ²
Resistência à tração	40 a 150 kgf/cm ²	100 a 220 kgf/cm ²
Resistência ao impacto	8 a 10 choques	10 a 15 choques
Desgaste à abrasão ¹	1,5 a 5 mm	0,35 a 0,82 mm

Fonte: DIDEM-DNPM (jun/2006).

Das propriedades físico-químicas apresentadas na Tabela 3, as que mais influenciam, por ordem de importância, no corte da rocha são: a porosidade, que é inversamente proporcional à resistência mecânica da rocha, o desgaste à abrasão, que identifica a perda de matéria da rocha submetida ao atrito, e a massa específica, que revela a densidade do material. Todas estas características influenciam no processo de corte da rocha, devendo ser conhecidas, para uma melhor adequação da ferramenta fio diamantado.

¹ Na medida de desgaste *Amsler*, expressa em milímetros, o desgaste dos corpos de prova são avaliados após 500 e 1.000 giros

Visando expor o universo de rochas ornamentais de mármore e granito produzidas no estado do Espírito Santo para uso em ornamentação e revestimento, junto as características físicas que influenciam no processo de corte, apresenta-se na Tabela 4 uma classificação destas, de acordo com o Catálogo Brasileiro de Rochas Ornamentais da ABIROCHAS, associação que congrega as indústrias produtoras de rochas ornamentais em território nacional.

Tabela 4 - Tipificação do Mármore e Granito Capixaba, com suas principais características para corte.

Classificação	Nome Comercial	Classificação Petrográfica	Massa Específica (kg/m ³)	Porosidade (%)	Desgaste <i>Amsler</i> (mm)	Granulação (classe)
Mármore	Branco Clássico	Calcita dolomita mármore	2850	0,26%		Média e grossa
Mármore	Candelária White	Fosterita calcita dolomita mármore	2866	0,24%	5,00	Média
Granito Azul	Azul Sigma	Magnetita cordierita gnaiss	2722	0,46%	1,00	Grossa
Granito Amarelo	Amarelo Gegrége	Granada sienogranito gnaiss	2647	0,63%	0,66	Média e Grossa
Granito Amarelo	Amarelo Golden King	Biotita Gnisse sienogranítico com granada e Sillimanita	2636	1,08%	0,80	Fina, Média e Grossa
Granito Amarelo	Amarelo Icarai	Granada biotita gnaiss sienogranítico com Sillimanita	2633	0,98%	1,00	Média
Granito Amarelo	Amarelo Ouro Brasil	Granada gnaiss sienogranítico	2670	0,85%	1,76	Média e muito Grossa
Granito Amarelo	Amarelo Santa Cecília Clássico	Biotita gnaiss monzogranítico com granada e sillimanita	2647	0,86%	0,60	Média e muito Grossa
Granito Amarelo	Amarelo Veneziano	Gnaiss sienogranítico com biotita e granada	2629	0,84%	0,95	Média e Grossa
Granito Amarelo	Amêndoa Jaciguá	Biotita monzogranítico	2632	1,08%	0,70	Média
Granito Amarelo	Creme Marfim	Granada gnaiss monzogranítico	2680	0,64%	1,18	Média
Granito Amarelo	Giallo Brasil	Biotita gnaiss sienogranítico com granada	2642	0,73%	1,00	Grossa
Granito Amarelo	Giallo Napoleone Golden	Biotita feldspato alcalino granito	2636	0,60%	0,63	Média a Grossa
Granito Amarelo	Golden Sun	Gnaiss monzogranítico	2605	0,98%	0,90	Média
Granito Amarelo	Jurapanã Casablanca	Gnaiss sienogranítico com biotita e granada	2594	1,29%	0,80	Média
Granito Amarelo	Jurapanã Persa	Biotita feldspato alcalino granito	2605	1,04%	0,92	Média a Grossa
Granito Amarelo	Jurapanã Talpic	Granada gnaiss monzogranítico	2616	1,10%		Fina a Média
Granito Branco	Arabesco	Granada gnaiss monzogranítico com sillimanita	2636	1,02%	0,70	Grossa

Fonte: ABIROCHAS (2013).

Tabela 4 - Tipificação do Mármore e Granito Capixaba, com suas principais características para corte.

Classificação	Nome Comercial	Classificação Petrográfica	Massa Específica (kg/m ³)	Porosidade (%)	Desgaste <i>Amsler</i> (mm)	Granulação (classe)
Granito Branco	Branco Désirre	Leucognaisse monzogranítico	2630	0,67%	1,11	Fina, Média e Grossa
Granito Branco	Branco Gaivota	Granada biotita gnaisse monzogranítico	2625	1,11%	0,80	Fina e Média
Granito Branco	Branco Marfim	Gnaisse sienogranito com sillimanita e granada	2628	1,10%	0,80	Grossa
Granito Branco	Branco Moon Light	Granada gnaisse monzogranítico	2636	0,94%		Média
Granito Branco	Branco Primata	Biotita gnaisse monzogranítico com granada e sillimanita	2655	0,71%	1,20	Grossa e Muito Grossa
Granito Branco	Branco Romano	Granada sillimanita gnaisse sienogranítico	2633	0,95%	1,40	Grossa
Granito Branco	Branco Saara	Granada gnaisse monzogranítico	2631	0,66%	1,00	Fina e Média
Granito Branco	Branco Siena	Granada gnaisse monzogranítico	2640	0,70%	0,80	Média e Grossa
Granito Branco	Icarai Light	Gnaisse sienogranítico com granada e sillimanita	2637	0,83%	0,80	Fina a Grossa
Granito Cinza	Bege Ipanema	Gnaisse monzogranítico	2637	0,55%	0,73	Fina, Média e Grossa
Granito Cinza	Cinza Andorinha	Biotita monzogranito	2703	0,83%	1,00	Grossa
Granito Cinza	Cinza Bressan	Biotita monzogranito	2725	0,67%	0,84	Média
Granito Cinza	Cinza Castelo	Biotita monzogranito	2657	0,83%		Fina
Granito Cinza	Cinza Corumbá	Biotita monzogranito	2673	0,93%	1,00	Grossa
Granito Cinza	Índigo	Granada gnaisse monzogranítico	2678	0,77%	0,85	Média a Grossa
Granito Cinza	Prata Imperial	Biotita monzogranito	2727	1,03%	1,30	Fina a Média
Granito Marrom	Marrom Fantasia	Microclina sienito gnáissico	2617	0,78%		Grossa
Granito Marrom	Marrom Graphite	Hornblenda quartzo sienito	2710	0,61%	0,91	Grossa
Granito Preto	Aracruz Black	Biotita norito	2969	0,19%	0,86	Média
Granito Preto	Ouro Negro	Gabronorito	2859	0,56%	1,40	Média a Grossa
Granito Preto	Preto Águia Branca	Hornblenda biotita diorito	2987	0,44%	1,80	Média
Granito Preto	Preto São Gabriel	Diorito norito	2960	0,96%	1,76	Média
Granito Rosa	Juparaná Clássico Novo	Biotita gnaisse monzogranítico com granada	2629	1,17%	0,80	Grossa
Granito Rosa	Juparaná Rosado Novo	Biotita gnaisse sienogranítico com granada	2638	0,78%	0,90	Grossa
Granito Rosa	Ouro do Deserto	Gnaisse sienogranítico com sillimanita e granada	2633	0,82%		Grossa

Fonte: ABIROCHAS (2013).

Tabela 4 - Tipificação do Mármore e Granito Capixaba, com suas principais características para corte.

Classificação	Nome Comercial	Classificação Petrográfica	Massa Específica (kg/m ³)	Porosidade (%)	Desgaste <i>Amsler</i> (mm)	Granulação (classe)
Granito Verde	Verde Butterfly	Hiperstênio quartzo monzonito com granada	2670	0,41%	0,41	Grossa
Granito Verde	Verde Ecologia	Monzogranito	2650	0,83%	0,60	Grossa
Granito Verde	Verde Bahia	Mangerito	2696	0,54%		Grossa
Granito Verde	Verde Eucalipto	Leucognaisse sienogranítico com granada, sillimanita e cordierita	2628	0,48%	1,20	Fina a Média
Granito Verde	Verde Imperial	Hornblenda biotita gnaisse opdalítico	2774	0,45%	1,20	Grossa
Granito Verde	Verde Labrador	Hiperstênio hornblenda biotita quartzo monzonito	2690	0,71%	0,35	Grossa
Granito Verde	Verde Monterrey	Monzogranito	2639	0,79%	0,60	Grossa
Granito Verde	Verde Pavão	Charnockito com granada	2713	0,59%	1,00	Grossa

Fonte: ABIROCHAS (2013).

Observa-se na Tabela 4 que as propriedades realçadas em vermelho encontram-se fora do intervalo da Tabela 3, definido pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), instituição do governo federal de regulação da indústria brasileira de extração e beneficiamento de minérios.

Além dos materiais apresentadas na Tabela 4, ressalta-se que foram mapeados oito diferentes tipos de mármore na região de Cachoeiro de Itapemirim (oriente, Santana e Itaoca), registrados no IG MARMORE (2012), a saber:

- Mármore branco;
- Mármore branco rajado;
- Mármore chocolate;
- Mármore rosa;
- Mármore azulado;
- Mármore chocorosa;
- Mármore pinta verde;
- Mármore cristalizado.

2.2 Normas Relacionadas a Rochas Ornamentais de Revestimento

Estão identificadas logo abaixo as principais normas brasileiras (ABNT, set/2012) relacionadas às rochas ornamentais usadas na construção civil para revestimento, os métodos de ensaio utilizados para definição das rochas e as especificidades de projeto e execução de fachadas revestidas com rochas ornamentais.

- **ABNT NBR 15844:2010 - Rochas para revestimento: Requisitos para granitos.** Especifica as características físicas e mecânicas requeridas para granitos destinados a revestimentos verticais e horizontais de exteriores e de interiores para construções.
- **ABNT NBR 15845:2010 - Rochas para revestimento: Métodos de ensaio.** Especifica métodos para análise petrográfica, como a determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água; do coeficiente de dilatação térmica linear; das resistências ao congelamento e degelo, à compressão uniaxial, à flexão por carregamento em três pontos (módulo de ruptura) e em quatro pontos, e ao impacto de corpo duro em rochas que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações, com exceção de ardósias.
- **ABNT NBR 15846:2010 - Rochas para revestimento: Projeto, execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas fixadas por insertos metálicos.** Estabelece orientações para elaboração de projeto, execução e fiscalização de revestimento de fachadas com placas de rochas por meio de insertos metálicos.

2.3 Caracterização da Demanda

Identificar o volume e a tipologia do mármore e do granito extraídos e beneficiados no Brasil é fundamental para o trabalho em questão. A partir dos dados obtidos, poder-se-á estimar a quantidade necessária de fio diamantado para abastecer, num primeiro momento, o Arranjo Produtivo Local (APL) de Mármore e Granito do estado do Espírito e, para um futuro próximo, o território nacional.

Visando compreender a geologia e consequente produção brasileira de rochas, a seguir, a Figura 4 mostra, por meio de cores, a participação relativa dos estados brasileiros na produção total de rochas ornamentais do país, indicando os tipos de pedras mais extraídos em cada estado.

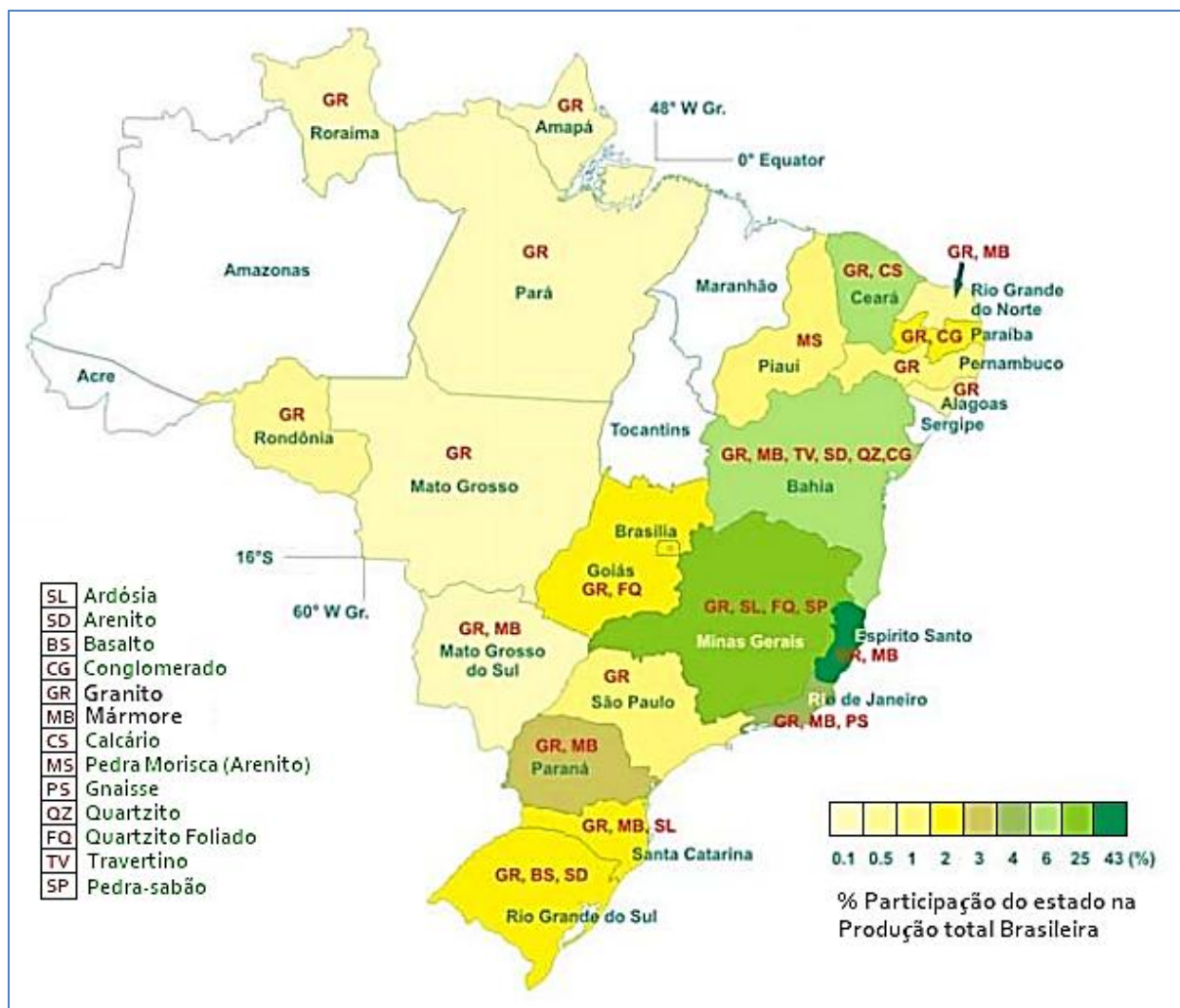


Figura 4 - Produção Brasileira de Rocha Ornamental por Estado.

Fonte: ABIROCHAS (2008).

Observa-se que na Figura 4 a maior incidência de pedras ocorre no estado do Espírito Santo (43%), seguido dos estados de Minas Gerais (25%), Bahia (6%), Ceará (6%) e Rio de Janeiro (4%). Estes cinco estados detêm 84% da produção total de rochas ornamentais do território nacional. Além disso, a produção no estado do Espírito Santo é basicamente de granito e mármore, pedras-foco do trabalho em questão.

Na região sul do estado do Espírito Santo está localizado o APL de Mármore e Granito, distante 125 km da capital. Este APL é composto pelos municípios de Cachoeiro de Itapemirim, Vargem Alta, Rio Novo do Sul, Castelo, Atilio Vivácqua, Presidente Kennedy, Mimoso do Sul, Venda Nova do Imigrante, Muqui, Itapemirim, Muniz Freire, Iconha, Guaçuí, Iúna e Alegre. De lá são extraídos os mármore rosa, branco, verde, pinta verde, chocososa (mistura de chocolate com rosa), marrom e branco absoluto (considerada a tonalidade mais branca e pura). Neste APL estão instaladas cerca de 1.000 empresas integrantes da cadeia produtiva do setor de rochas, sendo mais de 80% delas dedicadas ao beneficiamento de mármore e granito (ROCHAS, 2011).

Assim, a Figura 5, apresentada logo a seguir, ilustra a localização geográfica das principais jazidas de mármore e granito existentes no estado do Espírito Santo, estando mais concentradas no APL formado ao sul do estado. Na sequência, a Figura 6, esboça com mais detalhe, por mapeamento geográfico, as reservas de mármore e granito existentes na região de Cachoeiro de Itapemirim-ES e proximidades.

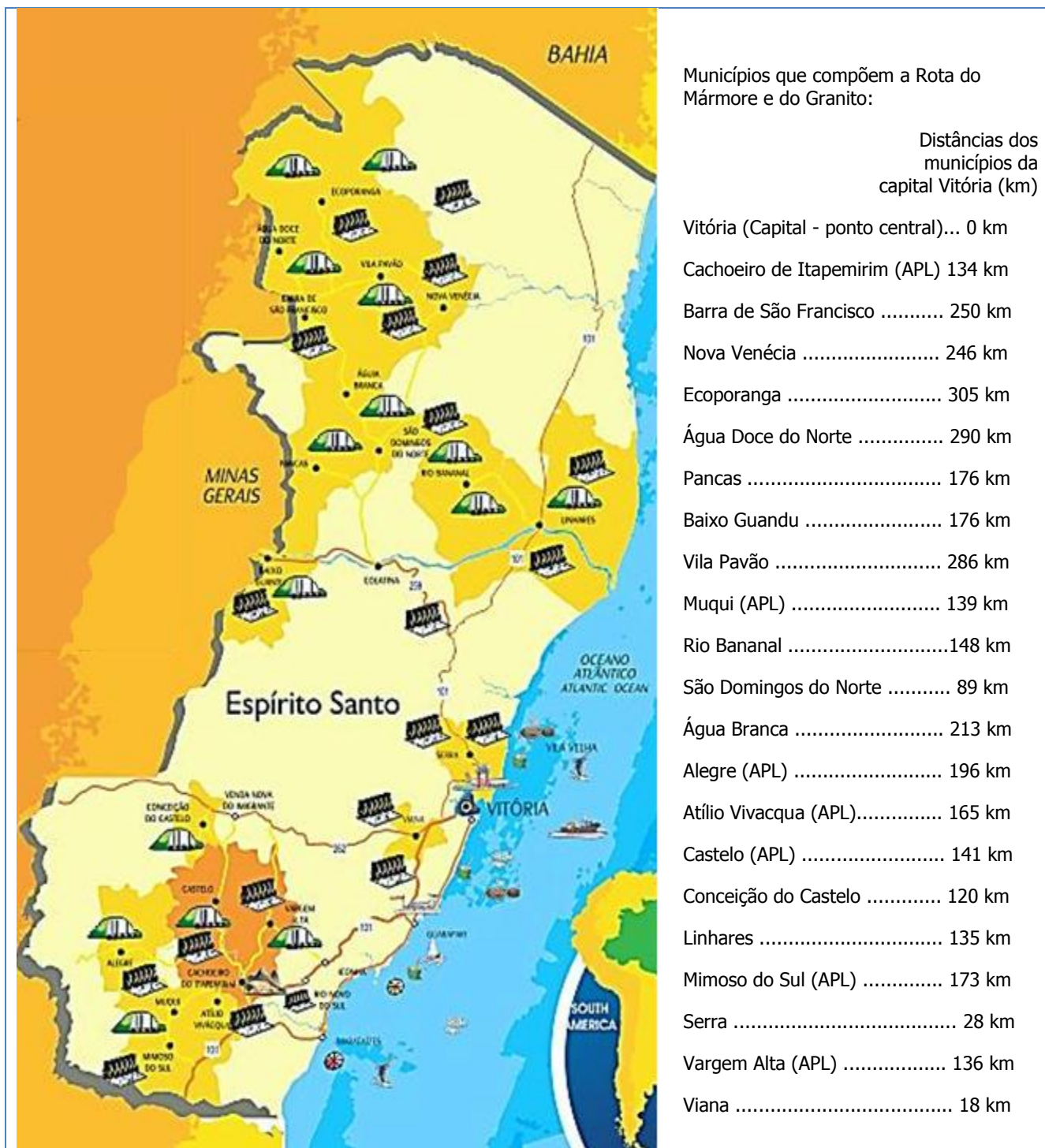
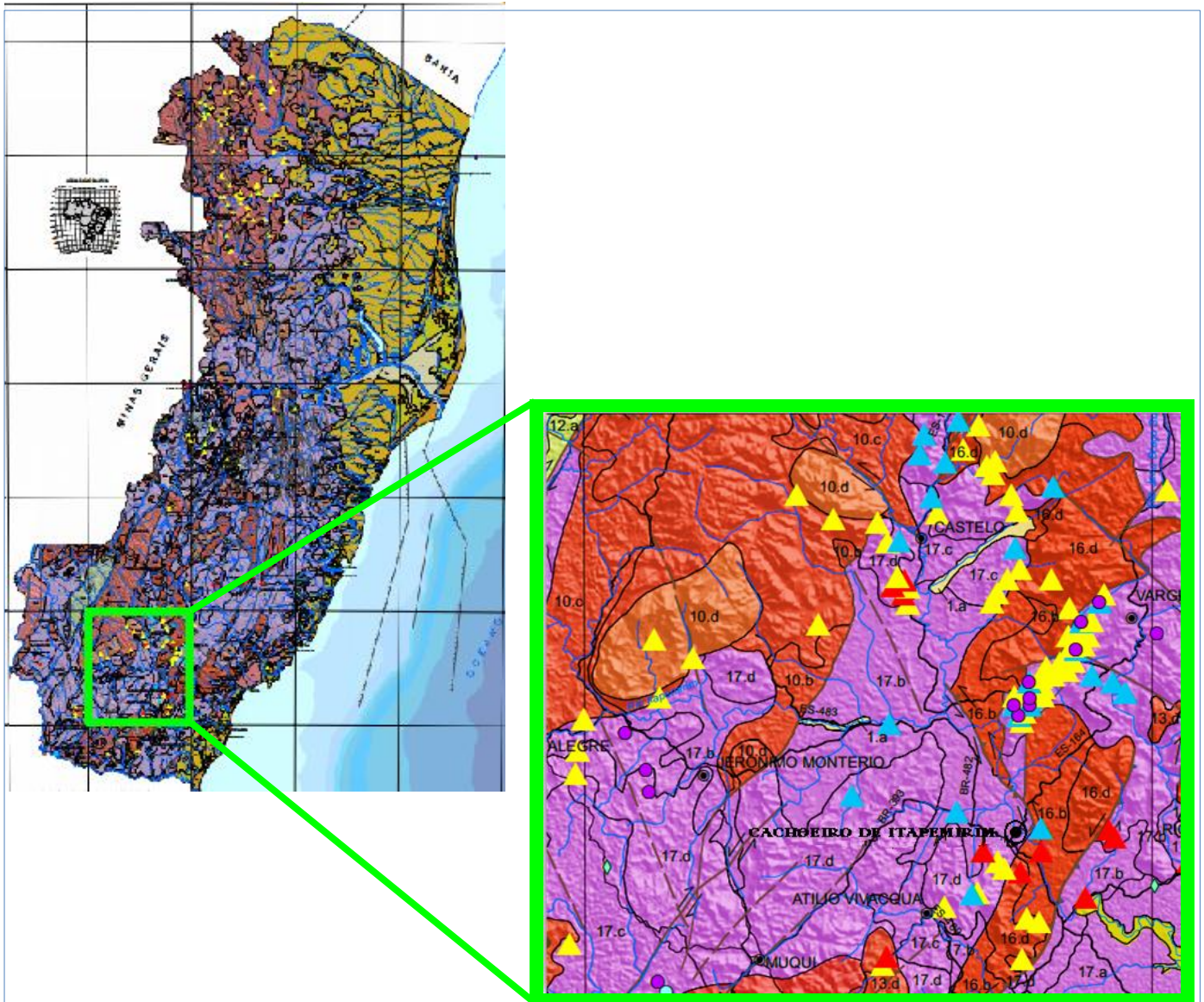


Figura 5 - Rota do Mármore e do Granito no Estado do Espírito Santo.

Fonte: STONE FAIR (2013).



Legenda:

 Granito

 Mármore

 Rocha para brita



Predomínio de gnaisses paraderivados (derivados de rocha sedimentar). Podem conter porções migmatíticas. Apresenta anisotropia mecânica de média a alta, o que favorece ao deslocamento de lascas e quedas de blocos, em especial nas porções expostas de rocha mãe.



Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto potássio) e toleíticas. Apresentam manto de alteração parcial profundo, muito susceptível ao processo erosivo e ao movimento de massa quando exposto em talude de corte.



Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto potássio) e toleíticas. Predominam rochas que apresentam minerais ferromagnesianos e cálcicos.

Figura 6 - Mapa Geográfico das Reservas de Granito e Mármore da região de Cachoeiro de Itapemirim-ES.

Fonte: CPRM (1) (nov/012).

2.3.1 PRODUÇÃO BRASILEIRA DE ROCHA ORNAMENTAL

Quanto ao cenário mundial de rochas, de acordo com a Revista ROCHAS (nov-dez/2012), a produção mundial foi de 116 milhões de toneladas em 2011. Deste total, 68,5 milhões (59%) correspondem a mármore, travertinos e calcários diversos; 41,7 milhões (36%) correspondem a granitos, quartzitos e similares; 5,5 milhões (5%) correspondem a outras rochas. Segundo a mesma fonte, o país líder na produção de rochas ornamentais é a China, seguida pela Índia e Turquia. No ranking geral o Brasil ocupa a 6ª posição.

Para 2012, a produção nacional atingiu o patamar de 9,3 milhões de toneladas, atendendo o mercado interno e externo, o que está ilustrado na Figura 7 por tipo de rocha.

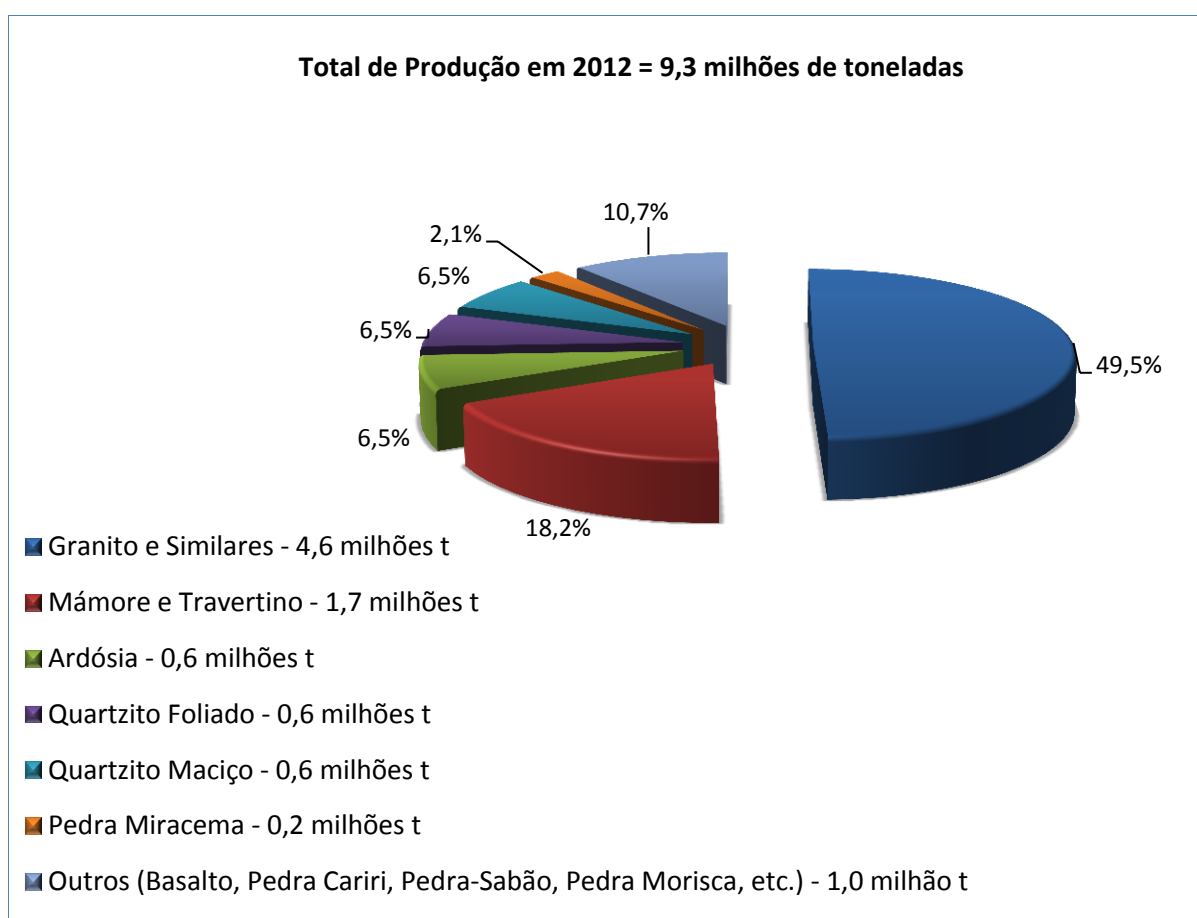


Figura 7 - Perfil da Produção Brasileira por tipo de Rocha Ornamental no ano de 2012.

Fonte: ABRIROCHAS, (2013).

Pode-se observar no gráfico da Figura 7 que o granito é o tipo de rocha mais produzido no Brasil, representando quase 50% da produção nacional, seguido pelo mármore com 18%. Os dois juntos representaram 68% de toda a produção brasileira de rochas ornamentais no ano de 2012, de 9,3 milhões de toneladas.

2.3.1.1 Mercado Interno de Rocha Ornamental

A Figura 8, visualizada logo a seguir, apresenta o consumo nacional, que contabilizou no ano de 2012 uma produção total de 6,3 milhões de toneladas, correspondentes a 71,9 milhões de metros quadrados equivalentes². Observa-se que ao efetuar a conversão de metros quadrados equivalentes em toneladas, chegou-se a uma espessura total de 3,24 cm, sendo considerado 2 cm de chapa e 1,24 cm de perdas, que ocorrem principalmente durante a serrada do bloco em chapas, em tear convencional.

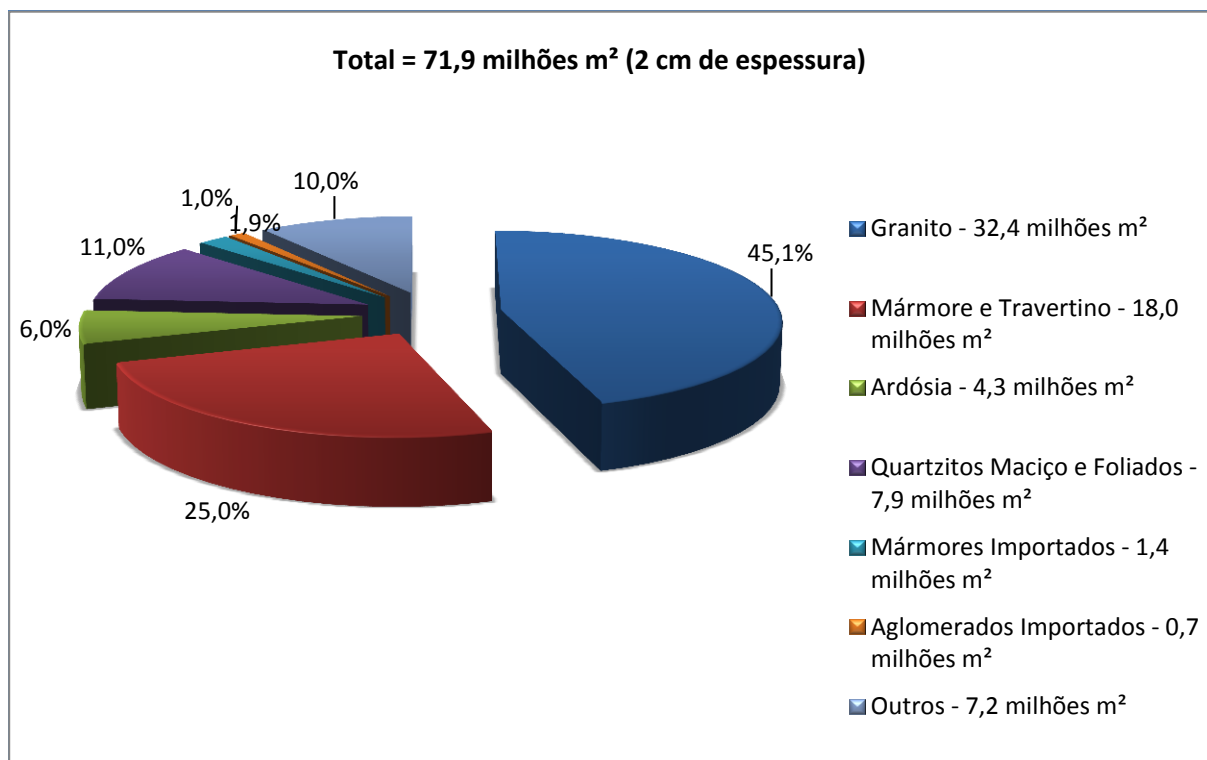


Figura 8 - Consumo Interno Brasileiro de Rochas Ornamentais de Revestimento no ano de 2012.

Fonte: ABIROCHAS (2013).

Nota-se claramente na Figura 8 que os destaques do consumo brasileiro são para granitos (45%) e mármore (25%), abrangendo 70% do consumo interno de rochas ornamentais e de revestimento.

A seguir, a Tabela 5 mostra a distribuição do consumo nacional, sendo o estado de São Paulo responsável por 45% deste. E, na sequência, a Figura 9 apresenta a produção de rochas ornamentais para o mercado interno nos anos de 2007 a 2012.

² Cálculo efetuado considerando chapas com 2 cm de espessura equivalente e peso de 54 kg/m² de chapa equivalente.

Tabela 5 - Distribuição do Consumo Interno aparente de Rochas Ornamentais no Brasil, por estados e regiões, para o ano de 2012.

Estado/Região	Consumo (milhão m2 equivalentes)*	Participação
São Paulo	32,4	45%
Rio de Janeiro, Espírito Santo, Minas Gerais	16,5	23%
Região Sul	10,1	14%
Regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste	12,9	18%
Total Estimado	71,9	100%

(*) Chapas com 2 cm de espessura equivalente.

Fonte: ABIROCHAS (2013).

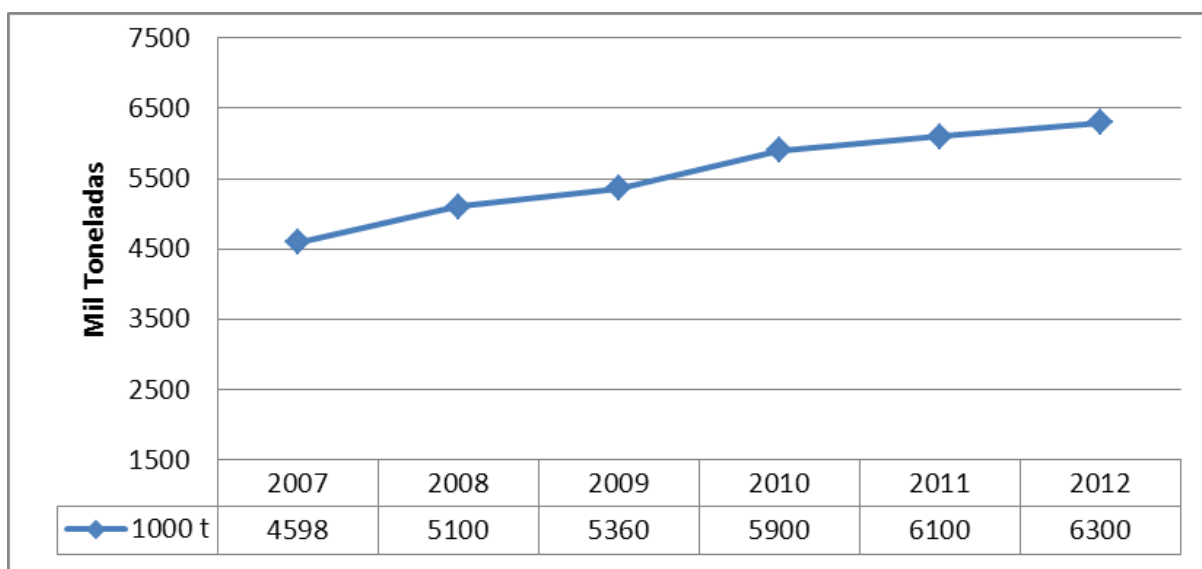


Figura 9 - Produção de Rochas Ornamentais voltada ao Mercado Interno, em mil toneladas.

Fonte: ABIROCHAS (2013).

Pode-se notar na Figura 9 que o mercado interno vem crescendo desde o ano 2007 a uma taxa média anual de aproximadamente 7%, não sendo afetado gravemente pela crise econômica mundial de 2009.

Por meio de consulta a Informativos disponibilizados pela ABIROCHAS (2013), foi possível calcular a participação total do mármore e do granito consumidos pelo mercado interno brasileiro, conforme apresentado na Tabela 6, a seguir.

Tabela 6 - Produção Brasileira e o Mercado Nacional de Rochas Ornamentais, em toneladas.

Ano	Produção Total Rochas no Brasil	Consumo Interno Total de Rochas no Brasil		Mercado Brasileiro de Mármore e Granito (consumo interno)	
	Toneladas	Toneladas	%	%	Toneladas
2007	7.971.806	4.599.732	58%	69%	3.173.815
2008	7.800.000	5.101.200	65%	70%	3.570.840
2009	7.600.000	5.358.000	71%	70%	3.750.600
2010	8.900.000	5.900.700	66%	71%	4.189.497
2011	9.000.000	6.102.000	68%	71%	4.332.420
2012	9.300.000	6.300.000	68%	70%	4.410.000

Fonte: ABIROCHAS (2013).

2.3.1.2 Mercado Externo de Rocha Ornamental

No ano de 2012, o Brasil exportou em torno de 32% da produção de rochas ornamentais, contabilizando US\$ 1.060 milhões para o setor e contribuindo em 0,44% para o PIB. A Figura 10, a seguir, exibe a evolução do volume da exportação brasileira de rochas, em toneladas, de 2007 a 2012.

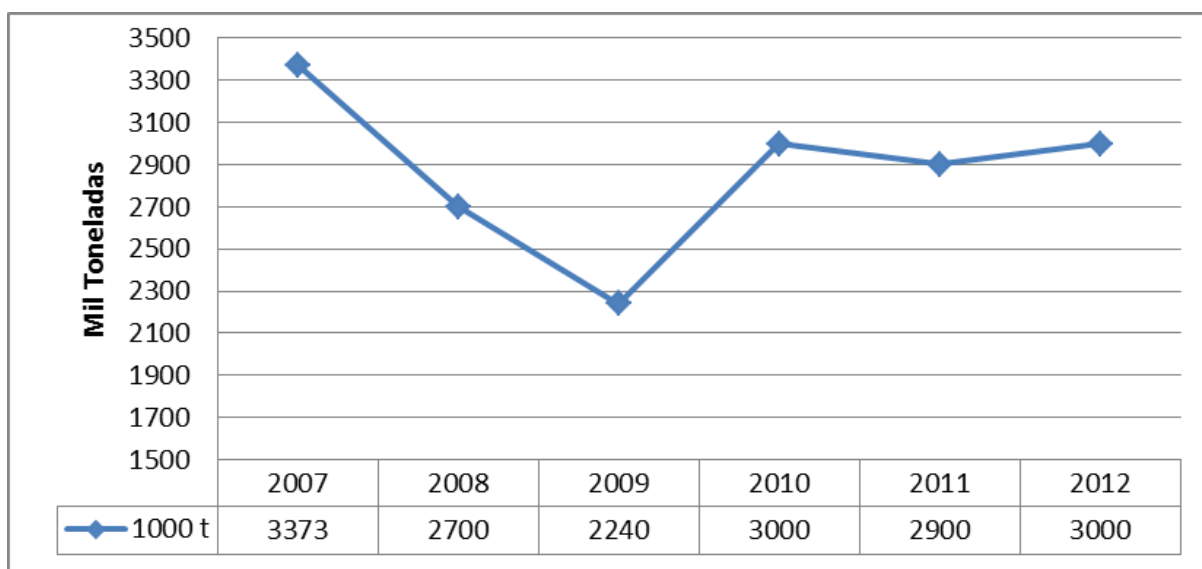


Figura 10 - Volume de rochas ornamentais exportadas pelo Brasil, em mil toneladas.

Fonte: ABIROCHAS (2013).

Nota-se, na Figura 10, um declínio na exportação de rochas ornamentais nos anos de 2008 e 2009, reflexos da crise econômica mundial ocorrida nestes anos. Os Estados Unidos, que historicamente absorve mais de 50% das exportações brasileiras, foi o país que mais sofreu com a crise, contribuindo fortemente para a queda nas exportações. Já nos anos seguintes, de 2010 a 2012, o volume exportado voltou subir, mantendo-se num patamar estável.

Segundo a Revista ROCHAS (nov-dez/2012), os oito principais exportadores mundiais correspondem a 75% do total das exportações. Em 2011, a China liderou o ranking, seguida pela Turquia e Índia. No mesmo ano, o Brasil ocupou a 7ª posição na exportação de rochas ornamentais, e a 6ª posição na produção mundial.

A partir de consulta a informativos sobre exportação, tanto publicados pela ABIROCHAS (2013), quanto disponíveis no website do *International Trade Centre* (INTRACEN, 2013), calculou-se a participação total do mármore e do granito nas exportações brasileiras de rochas ornamentais, conforme mostra a Tabela 7, logo a seguir.

Tabela 7 – Produção Brasileira e o Mercado de Exportação de Rochas Ornamentais, em toneladas.

Ano	Produção Total Rochas no Brasil	Exportação Total de Rochas Ornamentais no Brasil		Exportação Total de Granito e Mármore do Brasil	
	Toneladas	Toneladas	%	Toneladas	%
2007	7.971.806	3.372.074	42%	2.077.240	62%
2008	7.800.000	2.698.800	35%	1.616.423	60%
2009	7.600.000	2.242.000	30%	1.383.330	62%
2010	8.900.000	2.999.300	34%	1.946.731	65%
2011	9.000.000	2.898.000	32%	1.915.624	66%
2012	9.300.000	3.000.000	32%	1.989.039	66%

Fonte: ABIROCHAS (2013); INTRACEN (2013).

2.3.2 DEMANDA BRASILEIRA DE MÁRMORE E GRANITO

Como pode ser visto na Tabela 6 e na Tabela 7, o mármore e o granito representaram, em 2012, respectivamente 70% do consumo interno e 66% da exportação de rochas ornamentais, o que é bastante expressivo. Pode-se afirmar, então, que o mármore e o granito são os tipos de rocha mais utilizados para ornamentação e revestimento no Brasil, dentre a gama de rochas que concorrem para o mesmo fim no país.

O mármore possui uma grande variedade de cores e texturas, do branco ao preto, do vermelho ao verde, satisfazendo todo tipo de consumidor, com preços que variam amplamente. É um material de fácil limpeza, durável e resistente, embora nem tanto quando o granito, por ser mais poroso. Sua aplicação gira em torno de 95% para a construção civil, 4% para fabricação de mobiliário e 1% para uso em cemitérios (CETEM, set/2012).

Por sua vez, o granito apresenta uma ampla gama de opções em cores e formatos, sendo uma rocha que merece grande destaque. Com qualidade única, envolvendo resistência mecânica, baixa suscetibilidade a risco e desgaste, devido a seu baixo nível de porosidade microestrutural, menor de 1,5%, o granito apresenta grande vantagem sobre o mármore. É recomendado para pisos de qualquer ambiente, visto que absorve menos água e não

mancha com facilidade. As reservas de granito atingem 16 bilhões de metros cúbicos em território nacional, o que viabiliza a continuidade de sua extração.

Portanto, visando melhor caracterizar a tipologia e o volume de mármore e granito produzidos no país, foram pesquisadas suas codificações na **Nomenclatura Comum do MERCOSUL** (NCM), as quais estão apresentadas a seguir, na Figura 11.

NCM	Grupo	Descrição	Simplificação ABIROCHAS
2515	Mármore, travertinos, granitos belgas e outras pedras calcárias de cantaria ou de construção, de densidade aparente igual ou superior a 2,5, e alabastro, mesmo desbastados ou simplesmente cortados a serra ou por outro meio, em blocos ou placas de forma quadrada ou retangular.		Blocos e Chapas Brutas
	2515.11.00	Mármore ou travertinos, em bruto ou desbastados.	
	2515.12.10	Mármore simplesmente cortados a serra ou por outro meio, em blocos ou placas de forma quadrada ou retangular.	
	2515.12.20	Travertinos simplesmente cortados a serra ou por outro meio, em blocos ou placas de forma quadrada ou retangular.	Outros (não especificados)
2516	Granito, pórfiro, basalto, arenito e outras pedras de cantaria ou de construção, mesmo desbastados ou simplesmente cortados a serra ou por outro meio, em blocos ou placas de forma quadrada ou retangular.		Blocos e Chapas Brutas
	2516.11.00	Granito em bruto ou desbastado.	
	2516.12.00	Granito simplesmente cortado a serra ou por outro meio, em blocos ou placas de forma quadrada ou retangular.	
	2516.90.00	Outras pedras de cantaria ou de construção.	Outros (não especificados)
6802	Pedras de cantaria ou de construção (exceto as de ardósia) trabalhadas e obras destas pedras, exceto as da posição 6801; cubos, pastilhas e artigos semelhantes, para mosaicos, de pedra natural (incluída a ardósia), mesmo com suporte; grânulos, fragmentos e pós, de pedra natural (incluída a ardósia), corados artificialmente.		Chapas Beneficiadas
	6802.21.00	Mármore, travertino ou alabastro para pedras de cantaria ou de construção e suas obras, simplesmente talhadas ou serradas, de superfície plana ou lisa.	
	6802.91.00	Outras: mármore, travertino e alabastro.	
	6802.23.00	Granito para pedras de cantaria ou de construção e suas obras, simplesmente talhadas ou serradas, de superfície plana ou lisa.	Chapas Beneficiadas
6802.93.90	Outros granitos trabalhados de outros modos.		

Figura 11 - Nomenclatura MERCOSUL (NCM) para rochas ornamentais e de revestimento.

Fonte: ABIROCHAS (2013).

Observa-se que o Comércio Internacional classifica diferentemente os diversos tipos de produtos resultantes da lavra e beneficiamento do mármore e do granito. O grupo 25 representa os elementos sal, enxofre, terras, pedras, gesso, cal e cimento, e os subgrupos 2515 e 2516 são específicos, respectivamente, para mármore e granito. Já o grupo 68 engloba obras de pedra, gesso, cimento, amianto, mica ou materiais semelhantes, e o

subgrupo 6802 refere-se tanto a mármore quanto a granito, envolvendo somente aqueles talhados ou serrados. Já a ABIROCHAS (2013) adota uma simplificação da nomenclatura utilizada, a qual também está exposta na Figura 11.

Lembra-se que os dados do mercado de exportação são encontrados em sites oficiais, como no website "ALICEWEB" do Governo Federal, e no website "INTRACEN" do *International Trade Centre*, organismo regulador do mercado mundial. Assim, a Tabela 8 apresenta os dados detalhados da exportação brasileira de mármore e granito.

Tabela 8 - Exportação Brasileira de Mármore e Granito, em 2011 e 2012.

Tipo de Rocha Ornamental	Tipologia dos Produtos	NCM	Quantidade (toneladas)	
			2011	2012
MÁRMORE	Blocos e Chapas Brutas	2515.11.00	1.373,74	1.339,63
		2515.12.10	3.111,69	6.104,46
	Outros (não especificados)	2515.12.20	286,90	1.813,90
	Total de Blocos		4.772,33	9.257,99
	Chapas Beneficiadas	6802.21.00	1.357,88	1.314,50
		6802.91.00	2.407,42	4.188,14
	Total de Chapas		3.765,30	5.502,64
	TOTAL MÁRMORE			8.537,63
GRANITO	Blocos e Chapas Brutas	2516.11.00	63.853,31	56.411,28
		2516.12.00	1.116.616,29	1.084.070,90
	Outros (não especificados)	2516.90.00	481,49	1.243,71
	Total de Blocos		1.180.951,09	1.141.725,89
	Chapas Beneficiadas	6802.23.00	32.489,75	32.592,12
		6802.93.90	693.645,29	799.960,51
	Total de Chapas		726.135,04	832.552,63
	TOTAL GRANITO			1.907.086,13

Fonte: INTRACEN (2013).

Portanto, o volume total de mármore e granito em bloco e chapa exportados pelo Brasil em 2011 foi de 1.915.624 toneladas, e em 2012 foi de 1.989.039 toneladas, ou seja, praticamente 2 milhões de toneladas que renderam quase um bilhão de dólares ao empresariado brasileiro.

Quanto ao consumo interno brasileiro, seus dados foram encontrados apenas no website da ABIROCHAS (2013), em seu Informe 01/2013, sendo alguns valores claramente estimados.

Portanto, o consumo interno foi calculado com base na Figura 8, que apresenta o consumo interno em metros equivalentes para o ano de 2012 e, para o ano de 2011, estes foram extraídos do Informe 01/2012, referente ao ano anterior.

Continuando, apresenta-se na Tabela 9 o volume de mármore e granito absorvido pelo mercado interno nos anos de 2011 e 2012, discriminados nos produtos bloco e chapa. Nota-se que estes dados tiveram que ser calculados, devido à carência de dados do setor. Para fins de consumo interno foi considerado somente o produto “chapa”, que é a forma mais comum de uso, salvo para esculturas e finalidades incomuns, como a estruturação de colunas em rocha ornamental.

Tabela 9 - Produção Brasileira de Mármore e Granito, em toneladas.

Ano			2011	2012
Exportação Brasileira Total			1.915.624	1.989.039
Consumo Total no Mercado Brasileiro			4.332.420	4.410.000
Produção Brasileira			6.248.044	6.399.039
MÁRMORE	Exportação	Bloco	4.772	9.258
		Chapa	3.765	5.501
	Mercado Interno	Chapa	1.493.938	1.575.000
	TOTAL MÁRMORE		1.502.476	1.589.761
GRANITO	Exportação	Bloco	1.180.951	1.141.726
		Chapa	726.135	832.553
	Mercado Interno	Chapa	2.838.482	2.835.000
	TOTAL GRANITO		4.745.568	4.809.279

Fonte: ABIROCHAS (2013); INTRACEN (2013).

A Tabela 9 mostra uma acentuada diferença no volume exportado de granito (1.974.279 t) com relação ao de mármore (14.761 t), sendo que este último contribuiu com menos de 1% do total exportado. Porém, no ano de 2012, a exportação de mármore cresceu mais que 70% comparado com a exportação do ano anterior. Além disso, fatores como crise financeira, descoberta de novas jazidas e aumento da concorrência mundial, exercem grande influência nesses números.

2.3.3 DEMANDA CAPIXABA DE MÁRMORE E GRANITO

De acordo com o CENTRORROCHAS (2011), merece destaque a participação do estado do Espírito Santo nas exportações que contribuiu, no ano de 2011, com 50% da produção brasileira de rochas ornamentais. Além disso, o estado responde por 65% das exportações

brasileiras, sendo 46% correspondente a rochas processadas e 53% a rochas brutas. Para mármore, a participação do Espírito Santo atingiu 75% da exportação brasileira.

Já de acordo com a Revista ROCHAS (nov-dez/2012), o estado do Espírito Santo é referência mundial em mármore e granito, sendo líder na produção nacional, detém mais de 90% dos investimentos do setor de rochas ornamentais. A produção capixaba é responsável, anualmente, pela exportação de pelo menos 800 mil m³ de rocha.

É importante relatar que em função da insuficiência de dados encontrados nos organismos pesquisados e atuantes no setor de rochas, não foi possível obter a real produção de mármore e granito advinda do estado do Espírito Santo, principalmente sobre o que foi produzido para consumo interno. Já os dados de exportação foram obtidos do Informativo de Exportações do CENTROROCHAS (2013), que fornece dados sobre as regiões brasileiras, e em especial sobre o estado do Espírito Santo. Assim, por meio da associação de dados de fontes variadas, mas fidedignas, foi possível calcular o volume produzido somente no estado do Espírito Santo, o qual está retratado na Tabela 10.

Tabela 10 – Produção de Mármore e Granito do Estado do Espírito Santo (em toneladas).

Ano			2011	2012
Exportação Espírito Santo			1.316.602	1.575.166
Mercado Interno Espírito Santo			1.370.057	1.176.421
Produção Espírito Santo			2.686.659	2.751.587
MÁRMORE	Exportação	Bloco	2.920	6.598
		Chapa	3.415	5.285
	Mercado Interno	Chapa	472.434	420.150
	TOTAL MÁRMORE		478.768	432.033
GRANITO	Exportação	Bloco	635.470	783.681
		Chapa	674.797	779.602
	Mercado Interno	Chapa	897.624	756.271
	TOTAL GRANITO		2.207.891	2.319.554

Fonte: CENTROROCHAS (2013); ABIROCHAS (3013); INTRACEN (2013).

Foi utilizado o percentual de 43% (vide Figura 4) para determinar o volume total de mármore e granito produzidos pelo estado do Espírito Santo, devido à carência de dados sobre o setor no estado. Da mesma forma, as quantidades vendidas de mármore e granito somente do estado do Espírito Santo para o mercado interno brasileiro, foram baseadas na venda nacional para o mercado interno brasileiro. Assim, em 2011, foram vendidos 34,5%

de mármore e 65,5% de granito para o mercado interno e, em 2012, a quantidade relativa vendida não variou muito, ficando em 35,7% e 64,3% respectivamente.

2.3.4 ESTIMATIVA FUTURA

A partir da demanda histórica da produção brasileira e do estado do Espírito Santo de mármore e granito, foi prevista a demanda futura, iniciando no ano de 2015 até o ano de 2020. Nota-se que a definição desta data considerou a inauguração da fábrica para ano de 2015, em função da necessidade de elaboração do projeto detalhado, construção da fábrica, e compra e instalação dos equipamentos na unidade fabril.

A Figura 12, logo a seguir, apresenta a estimativa brasileira de produção de mármore e de granito, discriminada em mercado interno e de exportação. O destaque para os anos de 2010 a 2012 referenciam os valores históricos, já a partir do ano de 2013 a demanda brasileira é prevista (cálculo de tendência).

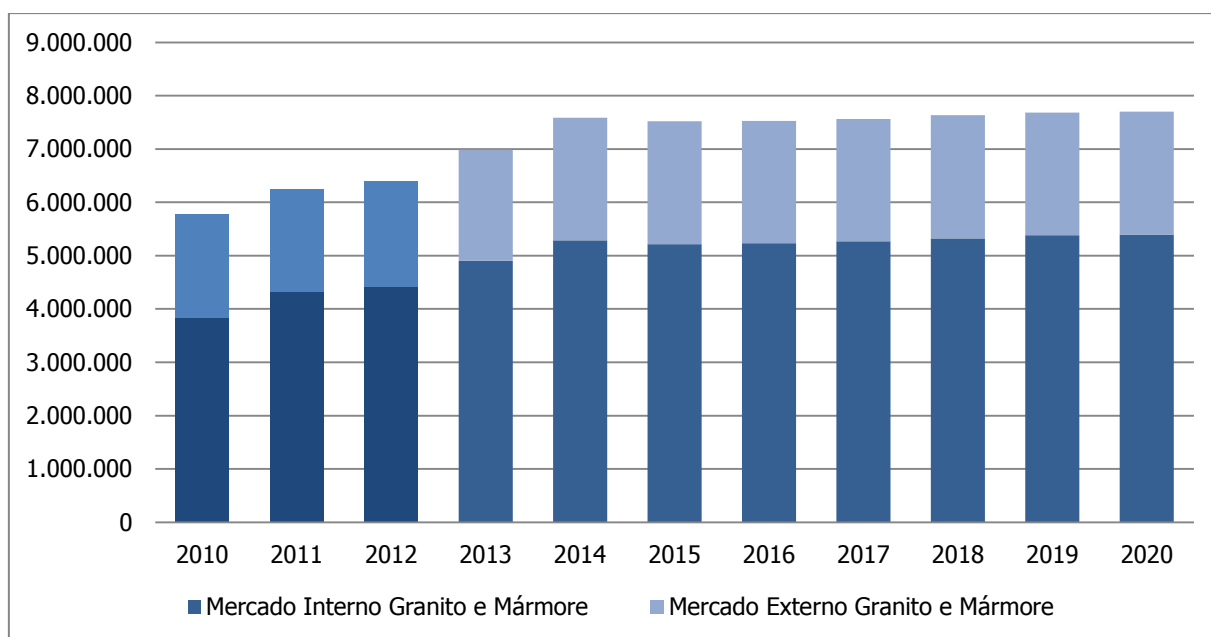


Figura 12 - Produção Brasileira de Mármore e Granito real e estimada de 2010 a 2020, discriminada em Mercado Interno e de Exportação.

Observa-se que foi considerada uma ascensão do mercado interno de rochas ornamentais até o ano de 2014, em função das expectativas para a construção civil direcionadas ao evento da Copa do Mundo da FIFA no Brasil, o que deverá manter em destaque as vendas de rochas ornamentais no mercado interno (CPRM (2), nov/2012).

De acordo com a Figura 12, para 2020, a demanda futura de granito e mármore foi estimada em 7.500.000 toneladas para o território brasileiro. Portanto, o dimensionamento da fábrica de fio diamantado tomará por base este valor como demanda futura.

2.3.5 DEMANDA DE FIO DIAMANTADO

De acordo com a Nomenclatura Comum do MERCOSUL – NCM, a codificação do fio diamantado é 6804.21.90, de “Ferramentas Diamantadas para Corte, com Pó de Diamante Natural ou Sintético”. A evolução da quantidade importada pelo Brasil está representada na Figura 13, a seguir.

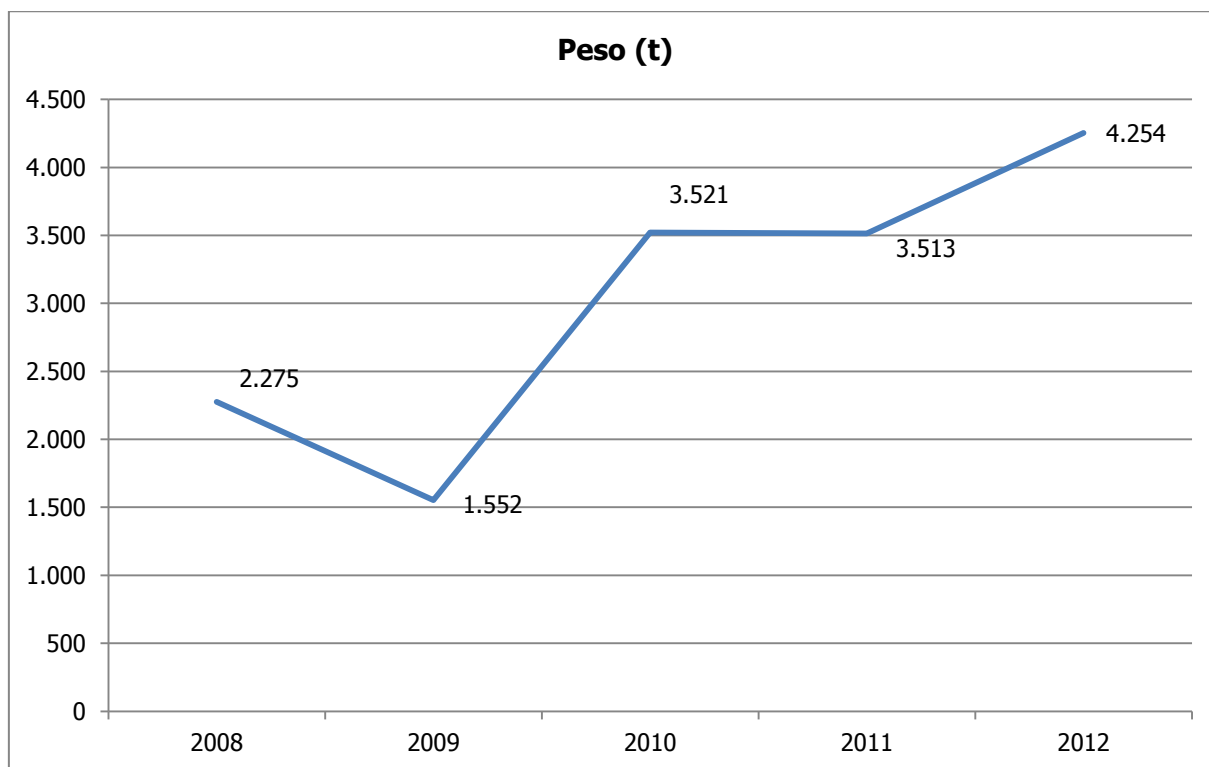


Figura 13 - Importação Brasileira de Ferramentas Diamantadas.

Fonte: INTRACEN (2013).

Nota-se no gráfico da Figura 13, com exceção do ano de 2009, que a importação de ferramentas diamantadas tem crescido a uma taxa média de 500 toneladas ao ano. Supondo que 10% deste volume sejam de fio diamantado, e que um fio médio tenha massa de cerca de 300 gramas (HUADA, 2013), estimou-se que, em 2012, foram importados 1.418.000 de metros de fio diamantado.

A definição da quantidade de fio diamantado necessária para atender a demanda nacional e do estado do Espírito Santo, depende do desempenho de corte do fio. Assim, foi necessário conhecer a vida útil média do fio diamantado para os diferentes tipos de rocha. Lembra-se que o desempenho do fio varia em função da dureza e de outras características da rocha e, também para o tipo de operação de corte, de acordo com os seguintes produtos:

- Prancha - extração da rocha bruta na pedreira;
- Bloco - corte da prancha, ainda na pedreira, em grandes paralelepípedos de tamanho padronizado de rocha, para viabilizar o transporte e o beneficiamento;

- Esquadramento do Bloco – corte de dois lados opostos do bloco (casqueiros), que irão compor a primeira e a última chapa, visa faceamento e esquadramento do bloco, o que também auxilia a preparar o bloco para corte.
- Chapa - desdobração uniaxial do bloco em “fatias”, em geral com espessura variando entre 20 a 30 mm, realizado na área de beneficiamento da unidade fabril.

A seguir, a Tabela 11 apresenta a quantidade de fio diamantado necessária para atender a demanda de corte de rochas ornamentais para o estado do Espírito Santo. Esta demanda foi baseada na produção de mármore e granito do estado do Espírito Santo, constante na Tabela 10.

Tabela 11 - Estimativa da demanda de fio diamantado para o estado do Espírito Santo.

Tipo de Rocha	Objetivo de corte	Relação de corte área-volume (m ² /m ³)	Rendimento Fio (m ² /m)	Venda Anual (t)	Volume (m ³)	Volume de corte (m ²)	Quantidade de Fio (m)	
MÁRMORE	Extração	0,69	73,75	---	151.591	105.050	1.424	
	Corte Blocos	0,83	59,75	6.598	151.591	125.376	2.098	
	Esquadro Blocos	0,67	59,75	---	149.275	99.517	1.666	
	Corte Chapas	40,00	55,00	425.435	149.275	5.971.018	108.564	
	Totais para Mármore				432.033	601.732	6.300.960	113.752
GRANITO	Extração	0,69	16,70	---	813.879	564.004	33.773	
	Corte Blocos	0,83	15,50	783.681	813.879	673.133	43.428	
	Esquadro Blocos	0,67	15,50	---	538.903	359.269	23.179	
	Corte Chapas	40,00	8,00	1.535.873	538.903	21.556.112	2.694.514	
	Totais para Granito				2.319.554	2.705.563	23.152.517	2.794.893
Total Geral					2.751.587	3.307.295	29.453.477	2.908.645

Os dados da Tabela 11, acima estimados, foram calculados de fontes consideradas bastante confiáveis. Por exemplo, o CENTROROCHAS (1) (set/2012) apresenta o índice de insumo geral para o fio diamantado, tanto para o corte com monofio (prancha, esquadro e bloco), quanto para o corte com multifio (chapa). Já na STONE FAIR (set/2012), promotor da feira internacional de rochas ornamentais que ocorre anualmente em Cachoeiro de Itapemirim-ES e Vitória-ES, foram encontrados dados recentes sobre o mercado capixaba, como o volume extraído anualmente no estado. Por fim, a COFIPLAST (nov/2012) fornece valores sobre o rendimento de seus fios, considerados de bom rendimento pelo mercado mundial.

Para o cálculo da quantidade necessária de fio diamantado, foram padronizados alguns parâmetros:

- Peso específico médio da rocha: 2,85 kg/m³
- Tamanho médio da prancha: 1,90 m x 9 m x 12 m (205,20 m³)
- Tamanho médio do bloco: 1,9 m x 1,9 m x 2,9 m (10,83 m³)
- Largura média da chapa: 2 cm
- Nº de chapas por bloco: 76 unidades
- Área corte de uma chapa: 1,9 m x 2,9 m (5,70 m²)
- Área total de corte: 433,20 m²




Assim, a quantidade calculada de fio diamantado, demandada para o estado do Espírito Santo, chegou próximo ao valor de 3 milhões de metros lineares para o ano de 2012. Comparando com a quantidade importada estimada, nota-se que os valores estão bastante coerentes. Para atendimento em todo o território nacional, a demanda por fio deverá chegar, em 2020, há 7,5 milhões de metros lineares.




De acordo com técnicos atuantes do setor, a maior parte das lavras utiliza hoje o corte por monofio diamantado para extração da prancha e para a retirada do casqueiro (esquadrejamento do bloco), enquanto os blocos são normalmente cortados por perfuratrizes, em função do melhor posicionamento do corte na prancha, determinado pela valorização do mercado. Quanto ao corte do bloco em chapas, é comumente realizado, na região de Cachoeiro de Itapemirim, em tear convencional, devido à necessária importação do fio diamantado (preço mundial dolarizado, entrega de médio-longo prazo, quantidade limitada e tramite de importação complexo) e da adoção de uma nova tecnologia por multifio, ainda não totalmente dominada localmente e desenvolvida mundialmente.

A seguir, a Tabela 12 mostra as quantidades de fio diamantado que supririam o mercado capixaba no ano de 2012, considerando que todos os tipos de corte apresentados seriam realizados com a ferramenta fio diamantado. Tais quantidades foram calculadas por tipo de corte, com base no volume cortado de cada produto apresentado na Tabela 11, aliado a sugestão do tipo de fio, seu diâmetro, quantidade de pérolas e tipo de revestimento para cada tipo de corte citado.

A quantidade total de fio diamantado demandada soma 2.908.645 metros lineares, com referência ao volume de rocha ornamental cortada no estado do Espírito Santo no ano de 2012. Retirando o volume de corte de blocos, este valor cai para 2.863.119 metros de fio diamantado, o que não é significativo (1,6%).

Tabela 12 - Caracterização dos Fios Diamantados, recomendados de acordo com o Tipo de Rocha e o Tipo de Corte.

Tipo de Rocha	Tipo de Corte	Modelo do Fio	Diâmetro (mm)	Quantidade Pérolas por metro de fio	Montagem Recomendada	Volume de corte (m ³)	Quantidade Anual de Fio Diamantado (m)
GRANITO (Sinterizado³)	PRANCHA E ESQUADRO		11	39 / 40 / 42	Polímero ou Borracha	813.879	56.951
	BLOCO		10	36 / 37 / 39	Polímero ou Polímero + Molas	813.879	43.428
	CHAPAS		6 - 7	37 / 40	Polímero	538.903	2.694.514

Tipo de Rocha	Tipo de Corte	Modelo do Fio	Diâmetro (mm)	Quantidade Pérolas por metro de fio	Montagem Recomendada	Volume de corte (m ³)	Quantidade Anual de Fio Diamantado (m)
MÁRMORE (Sinterizado e Eletrodeposto⁴)	PRANCHA E ESQUADRO	 SINTERIZADO	11	31 / 34 / 36	Polímero + Molas	151.591	3.090
	BLOCO	 ELETRODEPOSTO	10	31 / 34 / 36	Polímero + Molas	151.591	2.098
	CHAPAS	 ELETRODEPOSTO	8,5	28 / 30	Molas	149.275	108.564

Fonte: Autor e adequado de COFIPLAST (dez/2012).

³ Processo de sinterização: obtenção de peça sólida, por tratamento térmico do anel compactado.

⁴ Processo de eletrodeposição: atração elétrica entre um ligante metálico que engloba diamante e a matriz do anel, por diferença de potencial.

É importante ressaltar que o tipo de método de produção utilizado para a fabricação dos anéis pode alterar por completo a função e o rendimento do produto fio diamantado. Por esse motivo, foi associado o processo produtivo final aos diferentes fios, de modo a atingir todos os tipos de corte para mármore e granito. Para o corte de granito, os anéis devem, obrigatoriamente, ser produzidos pelo processo de sinterização, visto que o processo de eletrodeposição dos diamantes na superfície do anel torna-os mais facilmente arrancáveis. Anéis produzidos por eletrodeposição são eficientes apenas para cortes mais fáceis, de baixa dureza, sendo indicados para o corte do mármore (Figura 14).



Figura 14 - Aspecto de um anel sintetizado (esquerda) e de um eletrodepositado (direita).

Fonte: DIAMONT-BOARD (dez/2012).

Outra questão importante é o tipo de revestimento do fio, que deve ser selecionado com cautela. O revestimento apenas com mola de compressão é considerado perigoso para cortes muito duros, podendo ocorrer fácil rompimento ou dano ao fio. Por esse motivo as molas são empregadas somente em corte de mármore com multifio no desdobramento do bloco em chapas, considerado este corte o mais leve dos citados na Tabela 12.

O revestimento mais frequente é o polimérico, pode ou não ser combinado com molas. O polímero é empregado em situações consideradas de esforço médio, para corte pesado de mármore ou corte leve ou mediano de granito. Já para cortes que exigem um maior esforço da ferramenta, como o corte do granito na jazida, é necessário utilizar o fio com aplicação do revestimento emborrachado, que imprime uma melhor qualidade ao corte e aumenta a resistência do fio aos esforços exigidos.

Quanto à adoção da nova tecnologia de corte de chapas pelo setor rochas ornamentais, é notável a expansão dos investimentos no setor em função da agregação de teares multifio diamantado ao parque industrial de beneficiamento. Durante a Marmomac 2012 (Feira Mundial de Rochas Ornamentais realizada anualmente em Verona), a Confindustria destacou que as exportações de tecnologia para o Brasil evidenciaram o maior nível de crescimento entre todos os países de destino dessas exportações, em 2011 e 2012. As importações brasileiras de tecnologia somaram US\$ 89,2 milhões em 2011, dos quais US\$ 53 milhões devidos à Itália. No 1º semestre de 2012, as importações brasileiras de tecnologia italiana somaram 42 milhões de Euros (US\$ 55 milhões), com incremento de 56% frente ao mesmo período de 2011.

Acredita-se que cerca de 100 teares multifio diamantado tenham sido instalados no Brasil, em de 2012, onde a maior parte foi para o estado do Espírito Santo. Somente estes 100 teares são capazes de substituir 300 a 400 teares convencionais multilâmina de aço. Para 2013, estima-se que mais 50 teares deverão ser instalados no Brasil. A tecnologia de serragem de chapas com fio diamantado está sendo desenvolvida por meio da disseminação e do aperfeiçoamento do uso do fio diamantado para lavra de maciços de rochas duras. O Brasil possui, atualmente, o maior parque mundial de teares multifio diamantado, bem como o melhor grau de especialização para a sua utilização. O mesmo pode ser referido para a lavra de maciços rochosos, com o uso da tecnologia de fio diamantado (ABIROCHAS, 2013).

3 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO

O fio diamantado tem por objetivo principal melhorar a qualidade do corte de rochas duras como o mármore e o granito, diminuindo o volume de rochas trincadas, o que evita o desperdício das mesmas, que são recursos naturais não renováveis. O fio pode ser montado em máquinas mono ou multifio, capazes de promover cortes bastante retilíneos, retirando quantidade mínima de rocha. Está comprovado que esta tecnologia aproveita melhor a matéria-prima em até 20% com relação à tecnologia convencional, de extração da prancha e de desdobramento desta em blocos, por perfuração com martelo pneumático. Vide Figura 15, que ilustra estas duas situações.

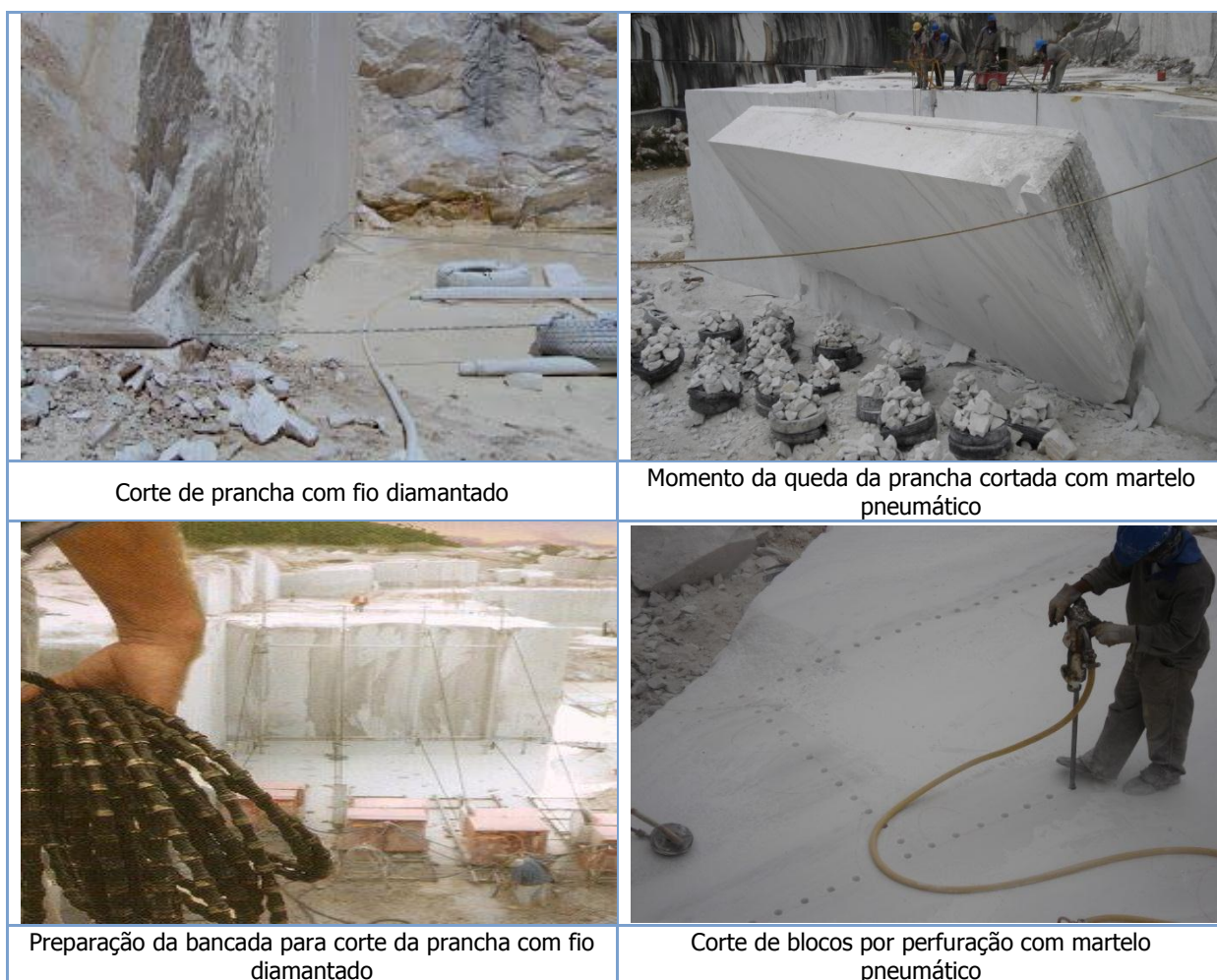


Figura 15 – Corte de pranchas e blocos na Pedreira, com processo convencional e fio diamantado.

A Figura 13, apresentada no item 2.3.5 – Demanda de Fio Diamantado, mostra o crescimento da importação de ferramentas diamantadas para corte, durante os anos de 2008 a 2012, a qual chegou a 4.254 toneladas em 2012 e a tendência mostra um crescimento linear de 500 toneladas por ano.

Observa-se que uma das vantagens na utilização do fio diamantado, frente à tecnologia por tear convencional, é a não produção de lama abrasiva. Esta lama é formada por água, gralha, cal, cimento, argila, pó residual da lâmina metálica e da serrada da rocha. Sua função é aumentar o atrito, promovendo o corte. Porém, a quantidade de lama abrasiva gerada por tear é significativa, cerca de 13.300 quilos por bloco serrado, o que desencadeia custos para a empresa e danos ao meio ambiente. Já, no processo produtivo com fio diamantado, o único material adicionado é a água, que funciona como fluido refrigerante (EXCELÊNCIA EM GESTÃO, set/2012). Também existe técnica de corte com fio diamantado que trabalha a seco, recomendada somente para cortes leves.

Para que o corte com fio diamantado seja eficiente, o anel diamantado deve apresentar algumas propriedades mecânicas, sendo as principais as seguintes:

- Resistência ao impacto;
- Resistência térmica;
- Resistência à fadiga;
- Resistência ao desgaste;
- Resistência à corrosão/oxidação;
- Manter boas características de corte.

Já as propriedades da ferramenta de corte fio diamantado, além de boas propriedades mecânicas, as mesmas devem satisfazer as necessidades dos usuários e do projeto de corte, tendo como principais objetivos, o que segue:

- Durabilidade;
- Flexibilidade;
- Segurança;
- Qualidade de corte;
- Fácil manuseio;
- Bom preço;
- Manutenção de baixo custo;
- Baixa emissão de ruído;
- Vibrações controladas;
- Adaptabilidade a vários tipos de máquinas;
- Evitar o desgaste da máquina.

3.1 Componentes da Ferramenta de Corte Fio Diamantado

O fio diamantado montado, como ilustrado na Figura 16, a seguir, inclui uma série de componentes, cada um exercendo uma função essencial para o seu bom funcionamento, a saber:

- Anel Diamantado
- Tubo Suporte do Anel Diamantado

- Cabo de Aço
- Anel de Fixação
- Revestimento
- Emenda

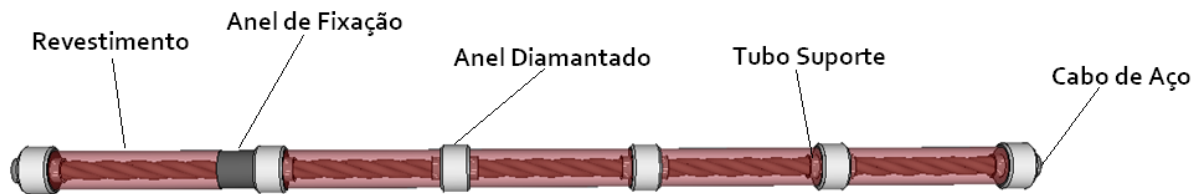


Figura 16 - Esquema de montagem do fio diamantado.

3.1.1 ANEL DIAMANTADO

O anel (ou pérola) diamantado é a parte mais importante do produto, já que é o componente que promove o corte. Pode ser fabricado por diferentes processos produtivos. Entre eles cita-se o processo de sinterização, compactação isostática a quente, galvanoplastia e brasagem a vácuo. Como o próprio nome indica, tem forma anelar, como representado na Figura 17, podendo ser composto por ligas de bronze ou por ligas de metal duro e cobalto, com cristais de diamante adicionados de maneira uniforme por toda a sua superfície ou misturados à liga.

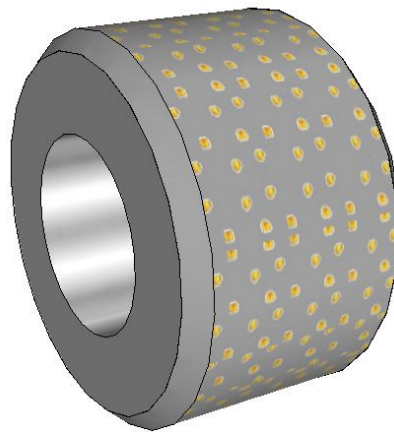


Figura 17 – Representação do Anel Diamantado.

Com exceção do anel diamantado, em princípio todos os componentes serão comprados. Para a fabricação do anel são necessárias quatro matérias-primas básicas: os pós que compõe a matriz metálica, os cristais de diamante, o elemento lubrificante e o elemento ligante, sendo que todos devem estar em forma de pó caso fabricados por sinterização. Se fabricados por deposição galvânica ou deposição por brasagem a vácuo, a matriz deve estar na forma final, sinterizada, antes da deposição do diamante. Para diferentes anéis, com propriedades distintas, basta variar a composição, a granulometria ou a proporção entre esses elementos.

Quanto ao dimensionamento do anel diamantado, este varia em função de sua finalidade. Comercialmente, os pequenos cilindros de aço são encontrados com comprimento de 10 mm e de 6,0 e 11,5 mm de diâmetro externo, garantindo uma variação confortável na espessura de corte. A dimensão do fio deve ser grande o suficiente para que suporte uma determinada resistência mecânica e não rompa com facilidade, e também pequena o bastante para que a superfície de contato permita um deslizamento fluente, que não trave o ciclo de corte. Diâmetros menores são indicados para aplicações de menor rigor, como o corte do bloco em chapas, enquanto diâmetros maiores são aplicados em cortes complexos e de difícil desgaste, como os realizados na pedreira, de retirada da prancha e do desdobramento desta em blocos.

3.1.2 TUBO SUPORTE DO ANEL DIAMANTADO

A função principal deste tubo é promover a fixação do anel diamantado ao cabo de aço, servindo como um suporte para o anel. Seu processo produtivo é simples, partindo de uma barra ou tubo cilíndrico de aço-carbono (item comercial). Quando utilizado com mola, deve apresentar ranhuras internas, contrárias ao enrolamento do cabo de aço, que permitem sua fixação a este, como ilustrado na Figura 18. Quando utilizado com polímero (plástico ou borracha), o tubo suporte deve ter a superfície interna lisa, sem ranhuras, pois sua fixação ocorre pelo preenchimento dos vazios pelo polímero, travando o tubo suporte ao cabo de aço.

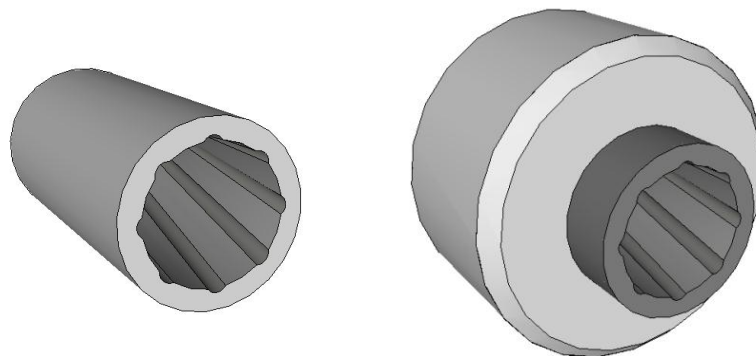


Figura 18 - Representação do Tubo Suporte e com o Anel montado.

Para o dimensionamento do tubo suporte é necessário conhecer as dimensões do anel e do cabo de aço. O diâmetro externo do tubo suporte encaixa na parte interna do anel, portanto, os mesmos devem coincidir, com uma pequena folga entre eles. Nesta folga será aplicada uma suspensão metálica utilizada no processo de brasagem, para a união dos dois componentes. Já o diâmetro interno do tubo suporte encaixa na parte externa do cabo de aço, devendo-se fazer coincidir também estes dois diâmetros, com uma pequena folga entre eles, visando facilitar a montagem, onde a fixação é efetuada por conformação mecânica (mordedura).

3.1.3 CABO DE AÇO

Representado na Figura 19, o cabo de aço é o que suporta todos os outros componentes. Feito de aço galvanizado, o cabo de aço deve apresentar forte resistência à tração para evitar ruptura durante o processo de corte, assim como uma flexibilidade que permita sua movimentação e curvatura durante o processo de corte.

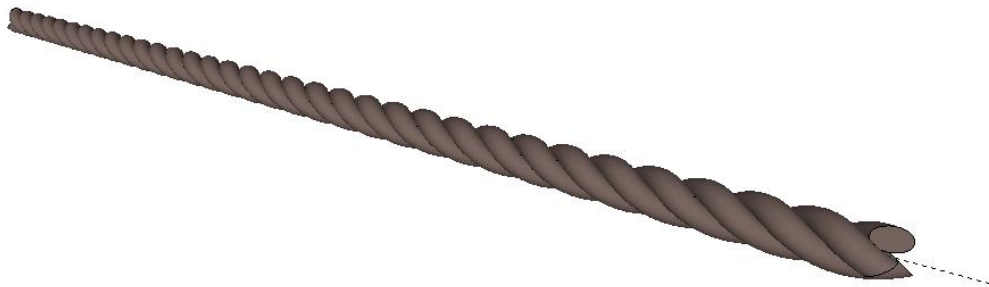


Figura 19 - Representação do Cabo de Aço.

O comprimento do cabo de aço é variável, de acordo com o tamanho desejado. A única restrição é para o seu diâmetro, que deverá ser menor que o diâmetro interno do tubo suporte, da mola de compressão e do anel de fixação, os quais são encaixados e presos ao cabo por conformação mecânica. Em geral, o cabo de aço varia entre 3,5 a 5 mm de diâmetro.

3.1.4 ANEL DE FIXAÇÃO

Os anéis de fixação são colocados ao longo do fio para evitar que os componentes sejam arremessados para fora da ferramenta, quando de seu rompimento, o que imprime maior segurança durante a operação de corte. Feito de aço-carbono, este componente promove a fixação do conjunto anel-mola ao cabo de aço e a separação das pérolas, sendo indispensável neste tipo de composição do fio (Figura 20).

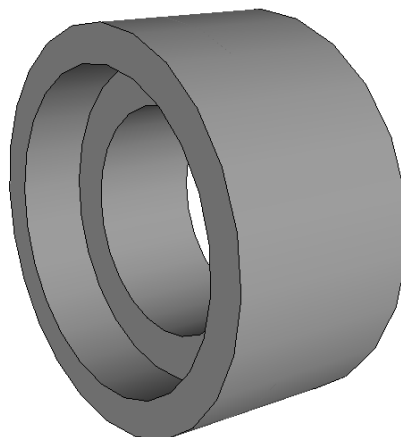


Figura 20 - Representação do Anel de Fixação.

O anel de fixação, posicionado a cada série de cinco conjuntos mola-anel, deve ter diâmetro externo menor que do anel diamantado, embora este diâmetro externo deva ser maior que o da mola e do revestimento do fio. Em geral a espessura do anel é de 3 mm.

3.1.5 REVESTIMENTO

Este componente é dotado de várias funções essenciais, como proteger o cabo de aço durante a operação de corte, de forma a evitar seu rompimento; manter o espaçamento original entre os anéis diamantados; absorver impactos, e tornar a ferramenta flexível. Quatro diferentes tipos de revestimento são os mais comumente encontrados atualmente (mola, polímero, borracha e polímero com mola). Cada um apresenta características próprias, voltadas às diferentes finalidades de uso do fio diamantado. No caso de aplicações para corte de granito, a utilização do revestimento polimérico é indispensável.

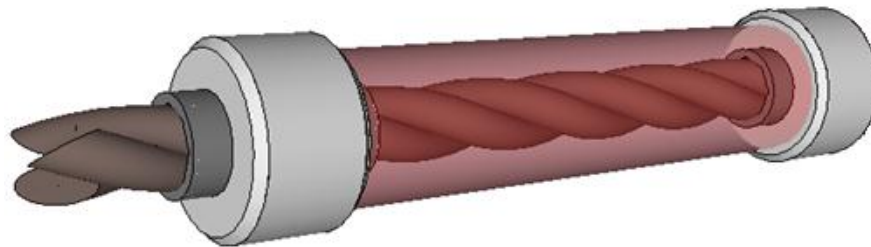


Figura 21 - Representação do Revestimento Polimérico aplicado ao Fio Diamantado.

3.1.5.1 Revestimento com Mola

O revestimento com mola é recomendado apenas para cortes de baixa resistência ao desgaste, como o mármore, quando comparado ao granito. A função da mola é a absorção de impactos longitudinais, fazendo com que os anéis retornem a posição original rapidamente. Porém, a mola pode ser facilmente danificada quando utilizada no corte de materiais duros, além de não garantir proteção à ferramenta contra oxidação e corrosão. É comum a associação da mola com o revestimento polimérico ou com borracha vulcanizada.

O tipo de mola empregada na ferramenta fio diamantado é feita de aço-carbono, com teor de Carbono entre 0,5 e 1,2%, podendo conter também elementos de liga como Cromo e Vanádio, ou Silício e Manganês. Para um bom desempenho, deve apresentar por característica elevado limite de elasticidade, resistência a choques e à fadiga (Figura 22).

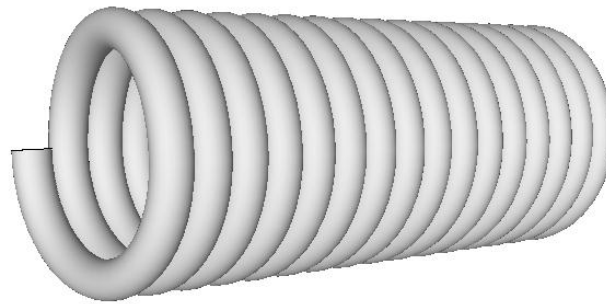


Figura 22 - Representação da Mola de Compressão.

O dimensionamento da mola de compressão deve estar entre o diâmetro do cabo de aço e o diâmetro externo do anel. Seu comprimento depende do espaçamento desejado entre os anéis, que pode variar de acordo com o projeto do fio diamantado, mas, em média, o comprimento da mola gira em torno de 18 mm.

3.1.5.2 Revestimento Polimérico

Geralmente de PVC, o revestimento polimérico impermeabiliza e protege o cabo de aço contra ataques corrosivos e oxidação. Além disso, é isolante térmico e resistente a impactos. Mais aproveitado para aplicações medianas, como o corte de blocos e de chapas de mármore e granito de média dureza. O polímero a ser empregado deve apresentar qualidades, como resistência à fadiga, insolubilidade em água, e resistência térmica e mecânica.

3.1.5.3 Revestimento com Borracha

Recomendado para corte de granitos de elevada dureza, sendo borracha vulcanizada o polímero de revestimento empregado. Este apresenta maior flexibilidade e maior resistência mecânica e térmica a elevadas temperaturas. A borracha auxilia na conservação dos anéis diamantados, pois diminuiu o risco de um desgaste irregular dos mesmos. Mais empregado para a extração da rocha, no ambiente de lavra.

3.1.5.4 Revestimento Polimérico e Mola

Se o objetivo for garantir as características de impermeabilização e isolamento térmico aliado a absorção ao impacto, pode-se utilizar concomitantemente o revestimento de mola com o revestimento polimérico. Esse tipo de revestimento é mais empregado para o corte de mármore de maior dureza.

3.1.6 EMENDA

Para operação de corte, é necessário unir as duas pontas do fio diamantado tornando-o uma corda contínua. Para tanto, utiliza-se uma peça chamada emenda que é produzida a partir de um tubo de aço-carbono (item comercial), sendo encontrada no mercado em formatos variados. Sugere-se utilizar emendas com extremidades roscadas, o que fornece maior firmeza na junção do cabo. Deve-se ter bastante cuidado na etapa de rotação do fio durante sua montagem na máquina de monofio, para que a emenda mantenha-se firme. Para as máquinas de corte por multifio, a rotação do fio e colocação da emenda neste é feita pelo fabricante ou remontador do fio, ou seja, o fio diamantado vem fechado, como um colar.



Figura 23 - Exemplos de emendas.

Fonte: REGADAS (2006).

3.2 Matéria-prima do Anel Diamantado

As matérias-primas necessárias para a fabricação do anel diamantado estão detalhadas neste item, sendo as seguintes:

- Matriz metálica
- Diamante
- Ligantes
- Lubrificantes

3.2.1 MATRIZ METÁLICA

A matriz metálica é a base do anel, sendo formada por um composto metálico de elementos como: Carbono, Tungstênio, Cobre, Zinco, Estanho, Cobalto, Níquel e Titânio. Ainda que a matriz possa variar seus elementos em função da finalidade de uso, algumas propriedades básicas, como resistência mecânica, resistência à fadiga, resistência à corrosão e baixo coeficiente de dilatação, devem estar presentes em todos os tipos de anéis.

A matriz ideal deve apresentar dureza levemente inferior a do material a ser cortado. Por esse motivo, devem ser determinadas, antes da confecção da matriz, as propriedades desejadas para o material, a partir das características necessárias para o corte. Outro dado relevante é a relação entre as durezas da matriz e do diamante. Se a matriz desgastar

menos que os diamantes (alta dureza), a ferramenta perderá seu gume (poder de corte), onde as tensões de corte serão suportadas apenas pela matriz. Por outro lado, se a matriz for de baixa dureza (mole), os grãos de diamante se desprenderão com facilidade, originando um desgaste excessivo da ferramenta.

Quanto aos elementos que formam a matriz, ou seja, suas matérias-primas, pode-se afirmar que as ligas metálicas mais utilizadas são o bronze e o metal duro com adição de cobalto. A liga de bronze apresenta uma dureza menor que a liga de metal duro, sendo composta basicamente por cobre e estanho. O estanho aumenta a dureza da liga, sem deixar que o cobre perca suas propriedades de maleabilidade, formando um composto resistente e dúctil. Outros elementos como Zinco, Alumínio, Níquel, Fósforo e Chumbo podem ser adicionados para alterar as propriedades do bronze.

Já a liga de metal duro é composta dos elementos Carbono e Tungstênio, formando o composto cerâmico Carbetto de Tungstênio, obtido pelo processo de metalurgia do pó. Além dos elementos citados, o processo de sinterização requer a presença de um elemento ligante, que tem por função preencher os vazios entre os carbonetos, podendo ser Cobalto, Níquel, Titânio ou Cromo. Para atingir maiores durezas, devem-se procurar tamanhos de grão menores e baixas concentrações de elementos ligantes. Caso seja requisitada uma maior tenacidade, deve-se aumentar o teor dos ligantes e/ou o tamanho do grão. O Cobalto se destaca como ligante principal, por ter uma compatibilidade química muito alta com o diamante, possibilitando um alto nível de retenção, além de apresentar elevada resistência ao desgaste, fazendo com que a liga muitas vezes seja nomeada "liga de WC¹⁰ + Co¹¹". Porém, a utilização do Cobalto, além de custosa, vem sendo criticada por questões ambientais, devendo ser reduzida. Um elemento com características semelhantes ao Cobalto que pode substituí-lo a contento, é o Níquel.

Quanto à destinação, a liga de metal duro com Cobalto é utilizada para cortar materiais mais duros, como o granito. Essa escolha é proveniente da eficácia do Carbetto de Tungstênio, caracterizada por suas propriedades singulares de alta dureza, aliada a elevada resistência mecânica. Já a liga de bronze é recomendada para cortar o mármore, que apresenta menor dureza e requer menor esforço de corte e, tendo, por consequência, menor custo de fabricação.

3.2.2 DIAMANTE

Na natureza o elemento Carbono pode ser encontrado em duas formas alotrópicas¹²: grafite ou diamante. O grafite é sua forma mais estável nas condições normais de temperatura e pressão, sendo encontrado em maior abundância. Já, o diamante é mais estável quando submetido a pressões acima de 60 Kbar, sendo encontrado apenas em lugares onde no

¹⁰ WC: Carbetto de Tungstênio

¹¹ Co: Cobalto

¹² Alotropia: Fenômeno que ocorre quando um elemento químico apresenta duas ou mais organizações de átomos diferentes, que a partir da mesma composição química originam diferentes substâncias.

passado houve condições para sua formação. Pelo fato do diamante ser inteiramente formado por ligações covalentes¹³, ele é o elemento da natureza de maior dureza conhecida, classificado com dureza DEZ na Escala Mohs (Figura 24).



Figura 24 - Representação da Escala de Dureza Mohs.

Fonte: HEART JOIA (set/2012).

Ressalta-se que o diamante não pode ser riscado por nenhum outro material, sendo muito utilizado em abrasivos e ferramentas de corte. Além da elevada dureza, o diamante apresenta alta resistência mecânica, sendo sua temperatura de fusão de 3.500 °C. Tais propriedades são devidas principalmente à sua estrutura molecular, que se caracteriza por ligações covalentes entre os átomos de carbono.

Considerada a matéria-prima mais importante do anel, o tamanho e a morfologia dos grãos de diamante devem ser escolhidos de acordo com o objetivo de corte. A seguir, na Figura

¹³ Ligação Covalente: Ligação química onde pares de elétrons são compartilhados entre átomos, atraindo-os mutuamente. Devido a essa atração mútua, a ligação covalente se caracteriza por ser a mais forte dentre as ligações atômicas.

25, são apresentados exemplos de geometrias desse cristal, que deve possuir granulometria por volta de 500 μm para essa aplicação (CABRAL, 2010). A geometria mais comum é a cubo-octaedral, que alia apropriado ângulo de corte à elevada resistência mecânica.

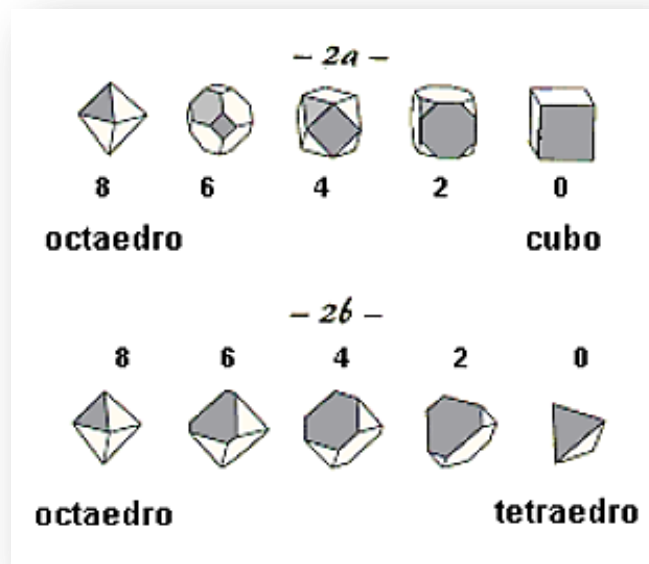


Figura 25 - Estruturas de Diamante existentes.

Além das jazidas de diamante natural, tem-se também o diamante sintético, fabricado a partir do grafite. Apesar do diamante sintético não ser tão estável quanto o natural, apresenta bons resultados em suas aplicações, além de seu preço ser mais acessível.

Para aplicação em ferramentas de corte, quanto maior a concentração de diamantes na matriz, maior a vida útil da mesma. Porém, o excesso na concentração de diamantes, provoca perda dos mesmos por arrancamento durante o de corte. Então, deve-se determinar a quantidade ótima, onde a ferramenta atinja o maior rendimento.

Se houver a necessidade de reforçar a fixação dos diamantes no anel, sugere-se o recobrimento do mesmo, com a aplicação de outros elementos a partir de processos como deposição química, banho de sal ou deposição de vapor metálico. Os elementos depositados devem ser quimicamente compatíveis com o diamante, de modo a proporcionar uma fixação dos grãos por meio de ligação química.

3.2.3 LIGANTES

Para obtenção de uma liga compactada que tenha mínima resistência mecânica "a verde"¹⁴, deve-se adicionar um ligante que facilite a união mecânica entre as partículas, sendo este

¹⁴ A verde: significa que a liga foi compactada, mas não sinterizada, ou seja, estabilizada a quente.

geralmente polimérico. Este agente ligante deve ser inerte e fundir a uma temperatura muito menor que a matriz, o que permite sua eliminação durante o processo de queima, antes da sinterização. Ele é adicionado principalmente a materiais que apresentam elevado limite de escoamento, ou seja, que exigem uma pressão muito grande para deformar plasticamente. Por outro lado, quando se deseja alterar as propriedades da matriz, adicionam-se ligantes permanentes que garantam qualidade ao produto. Os ligantes mais comuns são: Cobalto, Níquel, Titânio, Cromo, Zinco, Alumínio, Chumbo e Fósforo. A seguir, são apresentadas algumas funções específicas de cada um destes elementos:

- Cobalto: garante dureza a altas temperaturas e resistência à corrosão, permitindo que o anel suporte temperaturas de trabalho mais altas; além disso, é compatível com o diamante, facilitando sua aderência à matriz.
- Níquel: melhora a resistência mecânica, ao desgaste e à oxidação.
- Titânio: atua como formador de carbonetos, aumentando a resistência mecânica, à fadiga e à corrosão; por apresentar baixa condutividade térmica, impede que o anel aqueça muito durante o corte.
- Cromo: também atua como formador de carbonetos, melhorando a resistência mecânica, ao desgaste e à corrosão.
- Zinco: protege o anel contra a corrosão.
- Alumínio: agente desoxidante, que controla o tamanho do grão.
- Chumbo: aumenta a resistência à corrosão.
- Fósforo: provoca o endurecimento da liga.

3.2.4 LUBRIFICANTES

Lubrificantes são substâncias adicionadas à microestrutura do material principal, tendo por finalidade diminuir o atrito, o desgaste e a temperatura de trabalho, o que visa aumentar a vida útil e o rendimento da ferramenta. Para a matriz do anel diamantado, utiliza-se geralmente o Estearato de Zinco como lubrificante.

O Estearato de Zinco (fórmula química: $C_{36}H_{70}O_4Zn$) é um sal hidrofóbico de alta estabilidade, insolúvel em álcool e em outros solventes polares. Dessa forma, sua adição ao material compósito do anel diamantado, reduz o risco da ferramenta perder suas propriedades em contato com a água, durante o processo de corte.

3.3 Utilização da Ferramenta de Corte Fio Diamantado

Para um melhor estudo sobre os processos de fabricação do produto fio diamantado, é importante saber como o mesmo é utilizado e os problemas que podem ocorrer durante seu uso, já que é empregado em vários tipos de corte de rocha ornamental.

Na pedreira, o fio diamantado é utilizado para a retirada da prancha e desdobramento desta em blocos. Já, na planta fabril, ele é empregado no esquadreamento de blocos e no

desdobramento de chapas, podendo ser usado também na produção de peças menores, como para revestimento de pisos e paredes, tais como ladrilhos, soleiras, filetes e mosaicos, visando propiciar um maior aproveitamento do material retirado e não renovável da natureza (jazida).

Para qualquer uma das aplicações de corte citadas, o fio diamantado deve ser montado em máquina específica, sendo seu comprimento variável de acordo com a necessidade. Durante a montagem da ferramenta na máquina, o fio deve ser tracionado e sofrer rotação de 1,5 a 2 voltas por metro de fio. Este procedimento é essencial para que o desgaste dos anéis diamantados mantenha-se uniforme ao longo do fio e, principalmente, na parte mais externa de cada anel. Este cuidado aumenta a longevidade do produto, que pode ser traduzida em maior produtividade de corte. A Figura 26 ilustra o desgaste ocorrido em dois anéis diamantados, durante operação de corte.

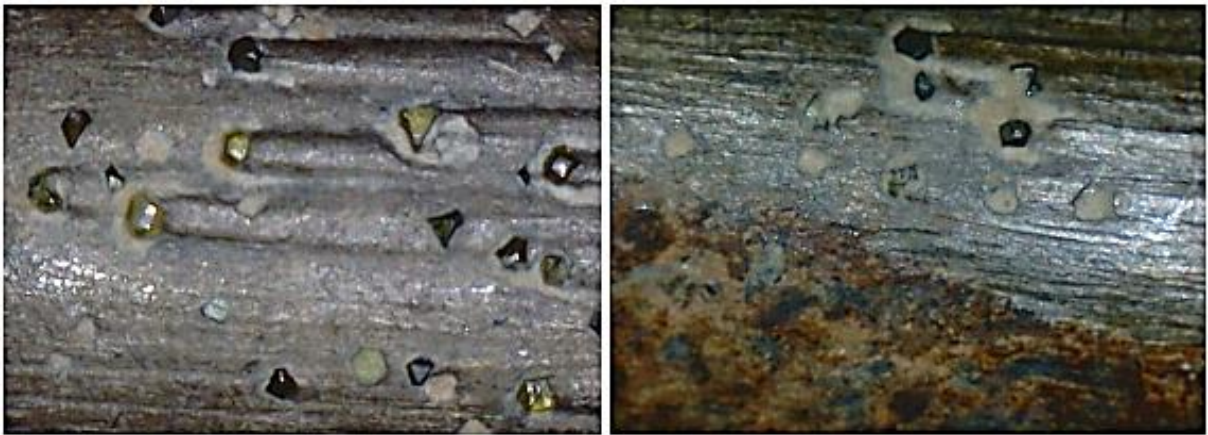


Figura 26 – Visualização da superfície de um anel uniformemente desgastado (esquerda) e de um anel com desgaste irregular (direita). Fonte: REGADAS (2006).

3.3.1 CORTE NA JAZIDA

Para o corte da prancha na jazida (pedreira), a máquina de corte prescinde de apenas um fio diamantado, conhecido por monofio, sendo que seu comprimento pode chegar a 100 metros. Este é o tipo de corte mais difícil de ser executado, por ser feito “às cegas”. Para uma melhor compreensão do processo de extração da prancha, na sequência são apresentadas e ilustradas suas etapas produtivas.

Após limpeza do local, aliado a escolha e marcação da rocha a ser retirada, inicia-se a operação de perfuração das arestas da prancha para a passagem do fio diamantado. Em geral, são efetuados furos na rocha bruta com diâmetro entre 90 e 105 mm, por meio de perfuratriz tipo fundo-furo (*down-the-hole*) que aceita longas hastes, abrindo furos de até 12 m de comprimento. A Figura 27 e a Figura 28 ilustram o planejamento e a execução de furos de passagem do fio diamantado na rocha bruta.

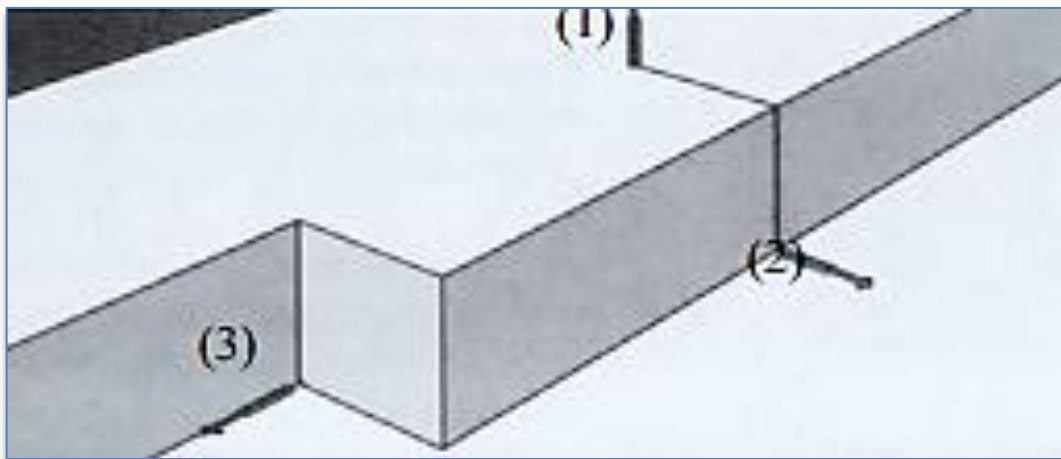


Figura 27 - Esquema de planejamento das perfurações.

Fonte: COELHO E VIDAL (2003).



Figura 28 - Foto de perfuratriz realizando furo horizontal na rocha.

Fonte: MARINI (nov/2012).

Em seguida a perfuração realizada, o fio diamantado é inserido manualmente nas aberturas efetuadas na rocha, com o auxílio de um fio de nylon, como ilustrado na Figura 29.



Figura 29 - Foto de inserção do fio diamantado com auxílio do fio de nylon e ar comprimido.

Fonte: REGADAS (2006).

Depois de finalizada a etapa de inserção do fio, é efetuada sua torção e, por último, é feita a emenda do fio, fechando-o como um colar. Posterior à montagem do fio na parede de pedra (pedreira), é feita uma verificação de segurança, onde o fio é puxado no sentido do corte, para garantir que não esteja preso nas polias ou em alguma irregularidade da rocha. Em geral, esta verificação evita o "efeito churrasquinho" (queima do revestimento e desprendimento dos anéis do cabo de aço), ilustrado na Figura 30.

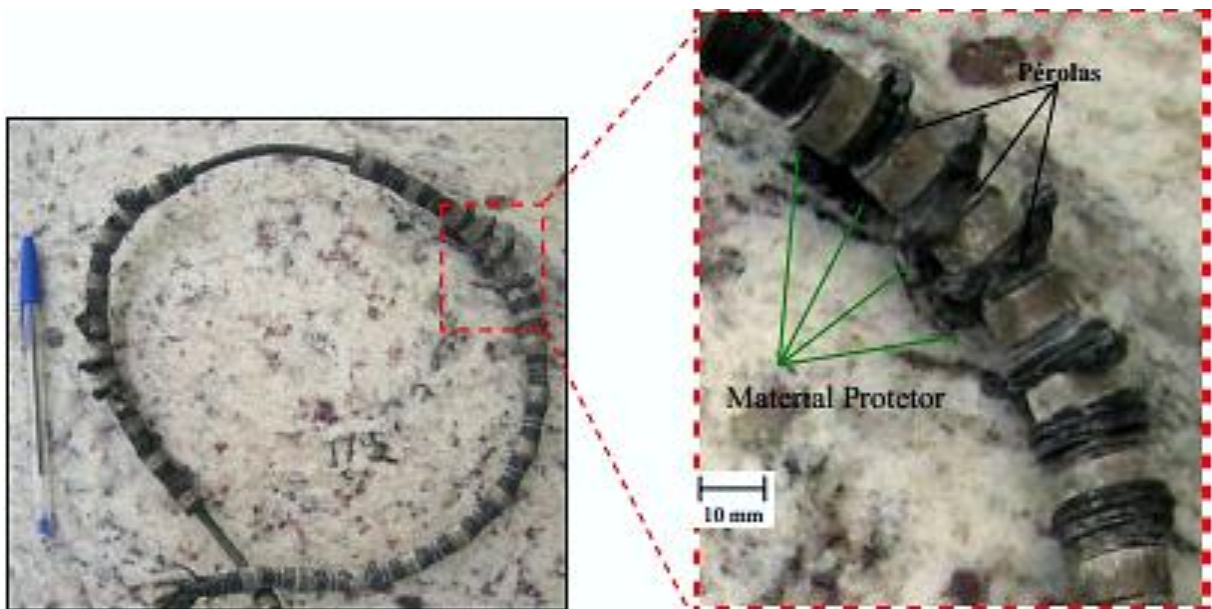


Figura 30 – Exemplo do "Efeito Churrasquinho" encontrado em uma parte do fio diamantado.

Fonte: REGADAS (2006).

Quando do corte da pedra, é importante que a face horizontal seja a primeira a ser cortada, o que evita dano ao fio, quando submetido ao peso da parede de pedra que está sendo

extraída. Em seguida, da mesma maneira que foi realizado o corte horizontal (levante), são efetuados os cortes verticais (ou laterais), ilustrados na Figura 31.

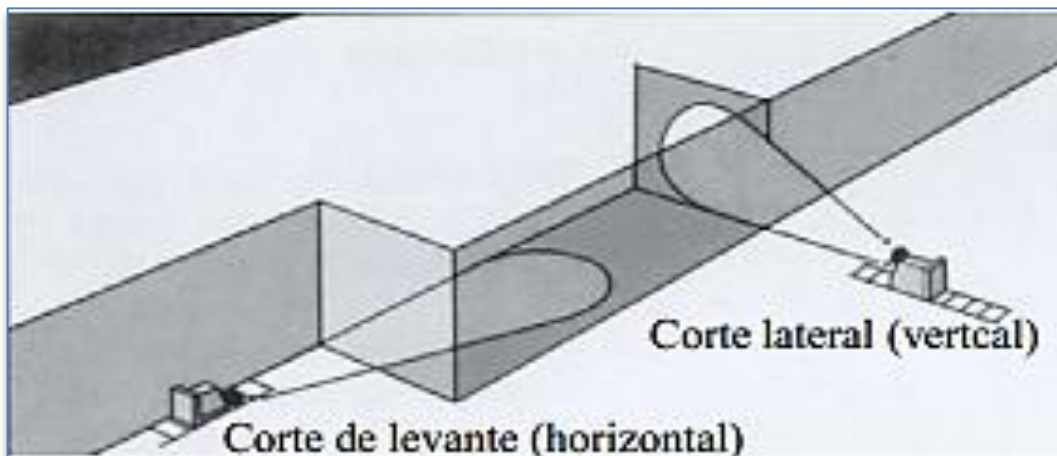


Figura 31 - Representação dos cortes horizontal e vertical efetuados na pedra.

Fonte: COELHO E VIDAL (2003).

Ressalta-se que as máquinas monofio são instaladas sobre trilhos, o que permite a movimentação da máquina durante a operação de corte. Desta forma, o ciclo não precisa ser interrompido para a remontagem do fio, economizando tempo de processo. O corte na pedra prescinde de polias, instaladas de maneira que possibilitem fazer cortes em "L", tanto verticais quanto horizontais, como mostrado na Figura 32.

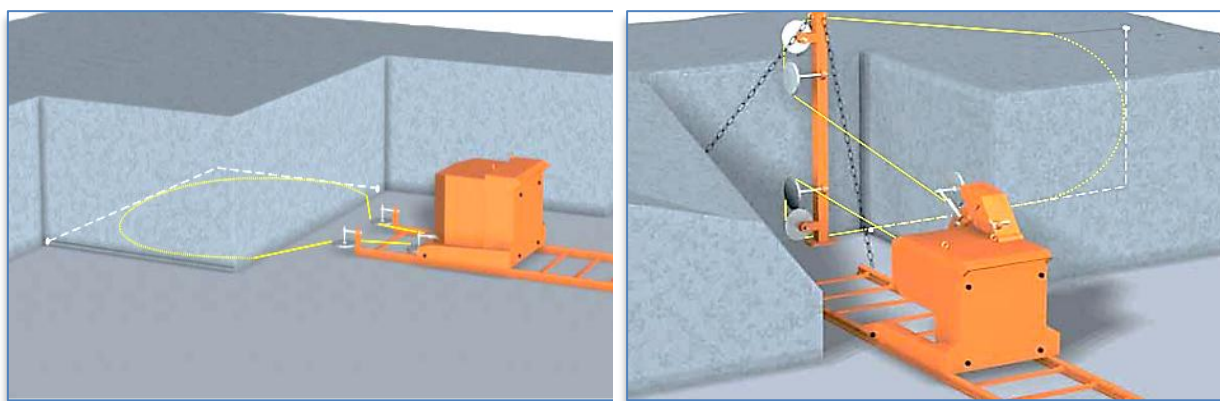


Figura 32 - Representação do corte em "L" na horizontal e na vertical, com utilização de polias.

Fonte: MARINI (nov/2012).

Outra opção de corte na pedra com fio diamantado é o chamado "corte cego". Primeiro são feitas duas perfurações verticais, onde são inseridas as "torres", com diâmetro de cerca de 20 cm. Tais torres são montadas com polias nas duas extremidades, permitindo que o corte seja realizado de fora para dentro, como mostrado, logo a seguir, na Figura 33.

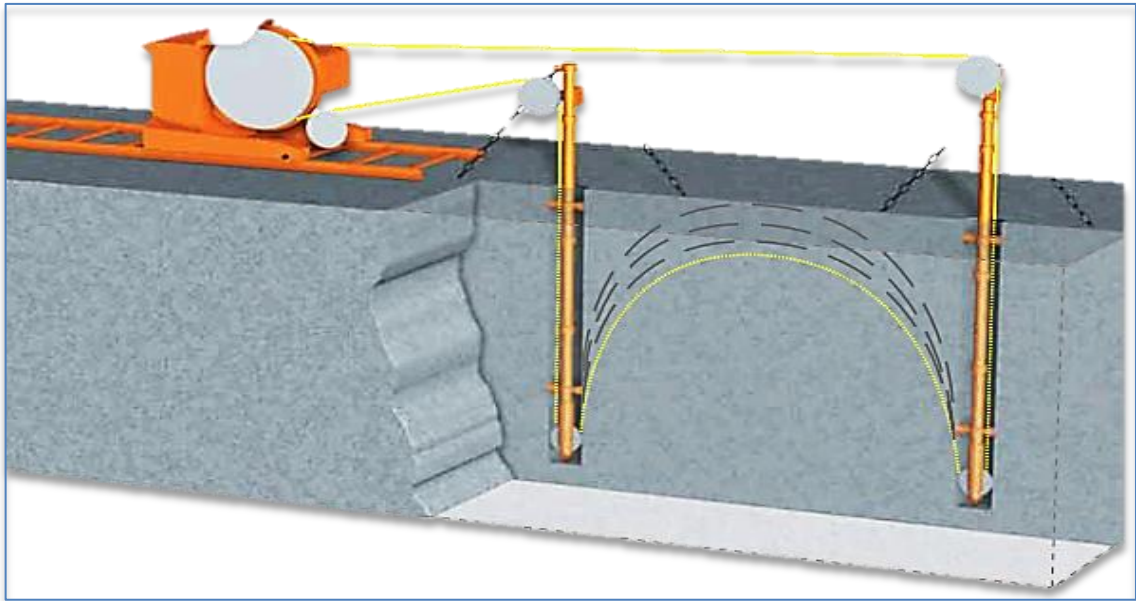


Figura 33 - Representação do "corte cego".

Fonte: MARINI (nov/2012).

3.3.2 CORTE DE BLOCOS

Após a extração da prancha da parede de pedra, segue-se para o desdobramento da mesma em blocos, que é considerado mais simples que a retirada da prancha. Inicialmente, é feita a marcação dos blocos na prancha (linhas de corte), onde um tamanho padrão é perseguido para viabilizar o encaixe destes na máquina de corte por multifio. Uma das dimensões padrão encontradas é: 1,9 m (H) x 1,9 m (L) x 3 m (C) ($\approx 10 \text{ m}^3$) (Figura 34).

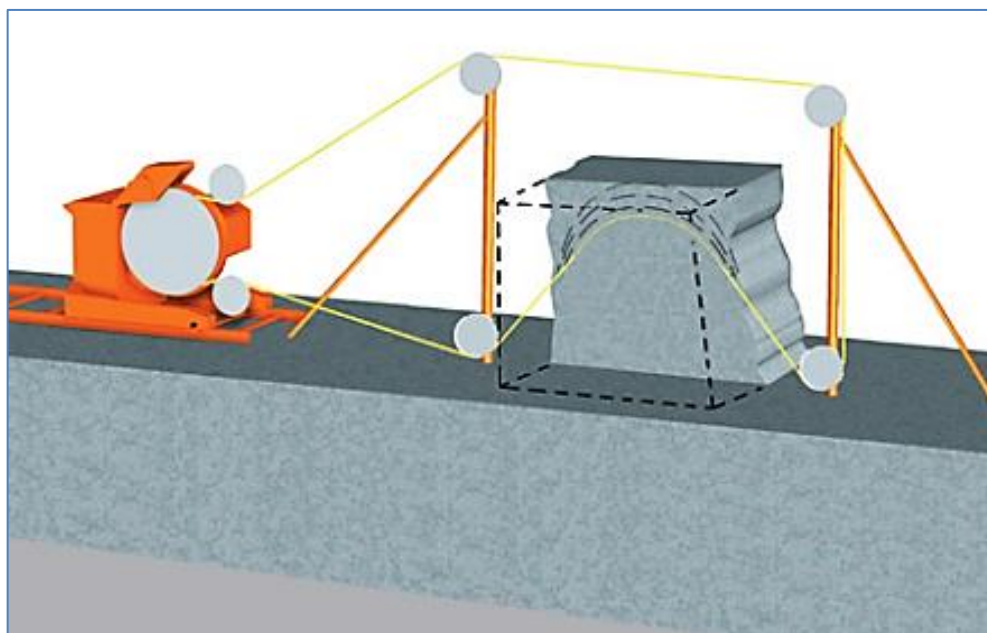


Figura 34 - Representação do corte da prancha em blocos.

Fonte: MARINI (nov/2012).

Observa-se que na operação de corte dos blocos é utilizado menor comprimento de fio, quando comparado ao corte da prancha. Após formar os blocos, é feito o transporte destes em caminhão, em geral aos pares, até a empresa de beneficiamento, onde os blocos serão desdobrados em chapas.

3.3.3 CORTE DE CHAPAS

Para o corte do bloco em chapas, é utilizada a máquina de corte por multifio (também conhecida por "tear multifio"), que pode ser instalada com até 65 fios, de 20 metros de comprimento cada. O processo de corte é realizado de forma a cortar todas as chapas ao mesmo tempo, imprimindo rapidez e qualidade ao corte. Por ser um corte de menor complexidade, comparado ao corte de blocos e pranchas, são utilizados anéis de menor diâmetro, por volta de 6 mm, o que reduz a perda de material de rocha.



Figura 35 - Foto de uma máquina de corte multifio em operação.
Fonte: DIAMONT-BOARD (dez/2012).

Como pode ser visto na Figura 35, a refrigeração a água é constante e abundante. Este procedimento deve ser seguido em todos os tipos de corte por fio diamantado, de modo a manter a temperatura baixa durante todo o processo, o que protege tanto o fio diamantado quanto o material a ser cortado (rocha ornamental).

Outro fator indispensável ao bom funcionamento do equipamento e rendimento das pérolas é o controle dimensional, que deve ser realizado com frequência (Figura 36).



Figura 36 - Foto de operários verificando diâmetros das pérolas de um tear multifio.

Fonte: GUIDONI (nov/2012).

Com diâmetros corretamente controlados, pode-se obter um corte homogêneo e garantir a segurança durante o processo de corte, em qualquer das aplicações que empregam o fio diamantado. Se um desgaste irregular for notado, além da substituição do seguimento de anéis danificados, conhecido como remontagem, deve ser monitorada a velocidade de corte e o posicionamento dos fios.

3.3.4 VISITA A EMPRESAS DO SETOR

Foram visitadas duas empresas extratoras e beneficiadoras de mármore e granito na região de Cachoeiro de Itapemirim, em 23 e 24 de janeiro de 2013, para conhecimento das peculiaridades da operação de corte de com fio diamantado em máquinas de multifio. As empresas visitadas foram:

- PEMAGRAM Pedras Mármore e Granitos Ltda.
- CAJUGRAM Granitos e Mármore do Brasil Ltda.

Os responsáveis pela área de corte de chapas com fio diamantado e operadores da máquina de corte por multifio comentaram o seguinte:

- Os fornecedores de fio estão buscando uma melhor adequação do fio à tipologia da rocha brasileira, por meio da realização de testes nas fábricas-cliente.
- Uma das desvantagens do uso do multifio são os possíveis desvios que podem ocorrer no fio durante o processo de corte das chapas, devido ao fio sair do lugar para evitar áreas mais duras do bloco. Isto altera a espessura ao longo da chapa. Para minorar este fenômeno, atualmente as máquinas de corte possuem guias para cada fio, no rolo-guia.
- Tem havido redução anual no preço do fio, sendo que no início do trabalho com fio diamantado, cerca de 4 anos atrás, pagava-se, em média, USD 120,00 por metro de fio. Atualmente, com o regime aduaneiro especial de *Drawback* e com o aumento da concorrência, paga-se cerca de USD 50,00 por metro de fio.
- Os fios utilizados em conjunto na máquina de corte são adquiridos em um jogo completo, p. ex., de 71 fios operando na máquina mais 10 para substituição dos que rompem ou para a redução da fadiga (periodicamente são trocados os de reserva pelos em operação, para mantê-los com a mesma espessura). Cada fio vem fechado e torcido. Os reparos no jogo são feitos somente pelo fornecedor que possui sistema de remontagem.
- Os fios emborrachados servem somente para corte na pedreira, com monofio, pois o revestimento emborrachado solta muito resíduo, dificultando o processo de corte. Atualmente a China está fabricando fio emborrachado para multifio.
- Do início do trabalho com fio diamantado, cerca de 4 anos atrás, eram necessárias 150 horas em média para a serrada de um bloco em chapas; atualmente este tempo foi reduzido para, em média, 75 horas.
- Quanto menores os grãos de diamante do anel diamantado, maior a qualidade da serrada, ou seja, melhora o acabamento superficial da chapa.
- Diâmetros de fio diamantado de 6,5 a 7 mm provocam mais quebras do fio, o que reduz a produtividade e antecipa a remontagem do fio.
- O serviço de Assistência Técnica oferecido pelas empresas fornecedoras de fio é de fundamental importância para adequar o fio a máquina de corte.
- O setor utiliza uma classificação de dureza própria para identificação das rochas, que inicia na Classe 1 (menor dureza) e termina na Classe 6 (maior dureza). Existe também uma Classe Extra, usada para materiais extremamente duros (p. ex., *Iron Red*). Em geral, os mármore pertencem as Classes 1 e 2. Já os granitos distribuem-se por todas as classes, estando mais concentrados, com cerca de 50%, na Classe 3.
- Normalmente é utilizado nas máquinas de corte por multifio diamantado o fio para granito de dureza mediana, para Classe 3. A explicação é que, devido ao processo ser refrigerado a água, o cabo de aço oxida rapidamente, reduzindo a vida útil do fio diamantado. Para minorar este problema, o jogo de fio diamantado quando entra em operação é utilizado até romper, depois é encaminhado para remontagem, onde o cabo de aço é substituído, até a redução do diâmetro das pérolas em cerca de 1 mm.

- Beneficiadores de mármore também utilizam fio diamantado recomendado para o corte de chapas de granito Classe 3, pois assim podem manter um jogo multifio mais tempo na máquina, e ter uma maior velocidade de corte.
- Para rochas de alta dureza, pertencentes à Classe 6, são utilizados fio com 40 pérolas por metro linear de fio, que é a maior quantidade de pérolas utilizada, até o momento, por metro.
- Para rochas Classe Extra, também chamadas de materiais exóticos, com dureza mista de barro e ferro em uma mesma área, os fornecedores oferecem um fio com liga especial.
- Fabricação do fio diamantado:
 - O polímero deve penetrar entre o cabo de aço e o tubo suporte, travando-os.
 - Os grãos de diamante distribuídos na pérola tem ângulo de ataque de corte, o que imprime ao fio um sentido de corte. Pode ser observado na pérola que, junto ao diamante, a superfície do anel tem um risco, chamado rabo de cometa.
 - O diâmetro de deposição do polímero deve ser menor que o diâmetro da pérola, para não atrapalhar o processo de corte.
 - O tubo suporte é encaixado na pérola antes da sinterização, para que ocorra a união entre as duas peças, como p. ex. pelo processo de brasagem.
 - Os fabricantes de fios usam revestimento com variada coloração. A cor não é usada para identificar o fabricante, mas o beneficiador de rocha a utiliza para evitar que os jogos de fios se misturem.
- No início do uso do multifio, as máquinas movimentavam-se sobre trilho. Atualmente, as máquinas são estacionárias e o bloco é colocado na máquina por um carro que se movimenta sobre trilhos. Esta alteração reduziu muito a preparação da máquina para operação e do bloco para corte.

4 Conclusões

Este estudo de caracterização da tipologia das rochas e de caracterização da demanda mostrou que o Brasil, em especial a região de Cachoeiro de Itapemirim, possui uma grande variedade de pedras e beneficia uma considerável quantidade também, estando na 6ª posição como produtor mundial e na 7ª como exportador mundial.

A caracterização do mármore e do granito encontrado na APL de Cachoeiro de Itapemirim conta com 51 tipos de rochas catalogadas pela ABIROCHAS (2013). Além destas, foram mapeados oito diferentes tipos de mármore na região, para os quais foi registrada a Identidade Geográfica, a qual é reconhecida mundialmente e que agrega valor ao produto.

A quantidade calculada de fio diamantado, demandada para o estado do Espírito Santo, chegou ao valor aproximado de 3 milhões de metros lineares para o ano de 2012. Já para atender todo o território brasileiro, a demanda por fio deverá ser, em 2020, em torno de 7,5 milhões de metros lineares.

No capítulo 2, item 2.3.5 - Demanda De Fio Diamantado, a Tabela 12 apresentou os tipos de fios recomendados pelo fabricante COFIPLAST para atendimento a demanda do estado do Espírito Santo, perfazendo uma gama de 7 tipos de fio, em média com 3 possibilidades de espaçamento entre as pérolas por tipo de fio, o que resulta em 19 diferentes tipos.

Em função das visitas realizadas as empresas beneficiadoras, e da expertise do grupo técnico do CETEMAG e SINDROCHAS, pode-se iniciar a produção para uma variedade menor de fios. Sugere-se que, inicialmente, fabriquem-se jogos de fios para corte de chapas de granito Classe 3 e monofios para uso em pedreira.

A partir da caracterização do produto e de sua demanda, aliado as particularidades vistas nos diversos processos de corte com fio diamantado neste Caderno de Requisitos, partir-se-á para o desenvolvimento do Caderno com Conceito Fabril. O objetivo deste é retratar as principais diretrizes para a instalação e operação de uma Fábrica de processamento de Anéis Diamantados e de Montagem e Revestimento de Fios Diamantados, para as várias versões apresentadas.

REFERÊNCIAS

ABIROCHAS. **Balço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2012**. Informe ABIROCHAS 01/2013. Disponível em: <http://www.abirochas.com.br/>. Acesso em: jan/2013.

ABIROCHAS. **Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais**. Disponível em: <http://www.abirochas.com.br/>. Acesso em: out/2012.

ABNT. **Normas sobre rochas de revestimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: http://www.abnt.org.br/m5.asp?cod_noticia=419&cod_pagina=965. Acesso em: set/2012.

AEBD-SEGET. **Inovação com o fio diamantado**. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Disponível em: http://www.aedb.br/seget/artigos09/548_242_artigo.pdf. Acesso em: set/2012.

ALIBABA. **Fio diamantado para concreto, corte de concreto armado**. Site de Vendas. Disponível em: <http://portuguese.alibaba.com/product-gs/diamond-wire-for-concrete-reinforced-concrete-cutting-460984214.html>. Acesso em: set/2012.

ALICEWEB. **Dados de exportação e importação por setores**. Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior. Disponível em: <http://aliceweb2.mdic.gov.br/>. Acesso em: set/2012.

CABRAL. André Bittencourt. **Estudo da rota de fabricação de compósito diamantado via moldagem de pós por injeção em baixa pressão**. Trabalho de Conclusão de Curso da Engenharia Mecânica da UFSC. Florianópolis, 2010.

CENTROROCHAS (1). **Índice de Insumos**. Centro Brasileiro de Exportadores de Rochas Ornamentais. Disponível em: http://www.centrorochas.org.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=193&Itemid=111. Acesso em: set/2012.

CENTROROCHAS (2). **Informativo Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais**. Centro Brasileiro de Exportadores de Rochas Ornamentais, 2008.

CETEM. **Dados de produção e Reservas de Minérios no Brasil - Mineral Data**. Centro de Tecnologia Mineral. Disponível em: <http://mineraldata.cetem.gov.br/mineraldata/app/>. Acesso em: set/2012.

COFIPLAST. **Saiba por que a tecnologia Co.Fi.Plast é a melhor opção.** Empresa italiana fabricante de fio diamantado e equipamentos. Disponível em: <http://www.cofiplast.com.br/bonsmotivos.html>. Acesso em: nov/2012.

CPRM (1). **Geodiversidade do Espírito Santo.** Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/geodiversidade_espírito_santo.pdf. Acesso em: nov/2012.

CPRM (2). **Recursos Minerais Estaduais.** Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/>. Acesso em: set/2012.

DIAMONT-BOARD. **Fabricante de ferramentas diamantadas.** Disponível em: <http://www.diamant-board.com.br/wires-multiwire/wire-for-multiwire-machines/>. Acesso em: dez/2012.

DIDEM-DNPM. **Manual de Mineração de Rochas Ornamentais.** Versão 1.2 (25.07.06) - Diretoria de Desenvolvimento e Economia Mineral (DIDEM) do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Brasília, Junho de 2006. Site: www.dnpm.gov.br.

ESPÍRITO SANTO EM AÇÃO. **Números do Espírito Santo.** Disponível em: http://www.esacao.org.br/index.php?id=/arranjos_produtivos/rochas/index.php. Acesso em: set/2012.

EXCELÊNCIA EM GESTÃO. **Vantagens fio diamantado.** Disponível em: http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg7/anais/T11_0350_2134.pdf. Acesso em: set/2012.

GUIDONI. **Fabricante de ferramentas diamantadas e equipamentos relacionados.** Comercial Guidoni. Disponível em: http://www.comercialguidoni.com.br/pages/produtos_FD_TearMultiFio.aspx. Acesso em: nov/2012.

HEART JOIA. **Escala de dureza Mohs.** Disponível em: <http://heartjoia.com/1086-dureza-diamante-escala-mohs>. Acesso em: set/2012.

HUADA *Superabrasive Tool Technology Company Ltd.* **Fornecedora chinesa de fio diamantado.** Disponível em: <http://www.diamondtoolchina.com.pt/packing-weight.html>. Acesso em: fev/2013.

IG MÁRMORE. Indicação Geográfica: Mármore - Cachoeiro de Itapemirim. CETEMAG. 2012.

INTRACEN. **Dados de exportação e importação por setores.** International Trade Centre. Disponível em: <http://www.intracen.org/>. Acesso em: set/2012.

MARINI. **Fabricante de ferramentas diamantadas.** Marini Quarries Group. Disponível em: http://www.mariniqq.it/voyager_eng.html. Acesso em: dez/2012.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Perfil de rochas Ornamentais e de Revestimento.** Disponível em: http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P23_RT33_Perfil_de_Rochas_Ornamentais_e_de_Revestimento.pdf. Acesso em: set/2012.

MRT ARQUITETURA E INTERIORES. **Mármore ou Granito?** Disponível em: <http://www.mrtarquitectura.com.br/2011/05/marmore-ou-granito.html>. Acesso em: out/2012.

PEDRAS IPIRANGA. **Pedras Granito.** Disponível em: <http://www.pedrasipiranga.com.br/pedras-granito.php>. Acesso em: out/2012.

REGADAS, I. C. M. C. Aspectos Relacionados às Lavras de Granitos Ornamentais com Fio Diamantado no Norte do Estado do Espírito Santo, Brasil. São Carlos, 2006.

ROCHAS. Revista Rochas de Qualidade. Editores Associados (EMC). São Paulo. Site: www.revistarochas.com.br. Edição 218. Maio-Junho de 2011.

ROCHAS. Revista Rochas de Qualidade. Editores Associados (EMC). São Paulo. Site: www.revistarochas.com.br. Edição 227. Novembro-Dezembro de 2012.

STONE FAIR. **Sites das Feiras de Vitória – 2012, e Cachoeiro de Itapemirim - 2013.** Disponível em: <http://www.cachoeirostonefair.com.br/site/2013/pt/home>; <http://www.vitoriastonefair.com.br/site/2012/pt/afeira>. Acesso em: set/2012.

UFES. **Classificação das rochas.** Dissertação Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAYOYAL/marmore-granito>. Acesso em: set/2012.