

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

TRABALHO DE FORMATURA

ROCHAS ORNAMENTAIS

André Franco de Monlevade

Orientador: Prof. Dr. Lineu Azuaga Ayres da Silva

Novembro - 1997

EPMI
TF. 1997
M 751₂
Sipno 1580194

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

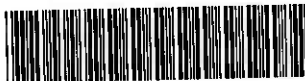
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

TRABALHO DE FORMATURA

ROCHAS ORNAMENTAIS

M1997i

DEDALUS - Acervo - EP-EPMI



31700006006

Novembro - 1997

Mining for gold

*We are miners
Hard rock miners
To the shaft house
We must go*

*Pour your bottles
On our shoulder
We are marching
To the slow*

*On the line, boys
On the line, boys
Drill your holes and stand in line
'Til the shift boss
Comes to tell you
You must drill her out on top*

*Can't you feel the rock dust in your lungs?
It'll cut down the miner when he is still young
Two years and the silicosis takes hold
And I feel like I'm dying from mining for gold
Yes I feel like I'm dying from mining for gold*

(canção tradicional norte-americana)

AGRADECIMENTOS

Como este trabalho representa a bem-sucedida conclusão de um esforço de 5 anos, nada mais justo que os agradecimentos não se restrinjam aos últimos seis meses, mas cubram todo esse período.

Desse modo, gostaria de dizer muito obrigado a todos aqueles que me ajudaram nesta batalha. Espero que, se vocês precisarem de mim, eu possa retribuir tudo que vocês fizeram por mim. Para citar alguns nomes:

- Luiz Antônio Chieregati, pela boa-vontade e por todo o material emprestado. Esse trabalho não seria possível sem o seu auxílio. Só espero que ele faça jus à sua inestimável colaboração.
- Professores Luiz Enrique Sánchez e Laurindo de Salles Leal Filho, que me orientaram em outros trabalhos igualmente gratificantes e desafiadores ao longo do meu período na Poli.
- Professor Lineu Azuaga Ayres da Silva, não apenas pelo auxílio direto a este trabalho, mas também por três anos de companhia no grupo PET-Minas. Sem dúvida, eu não seria o que sou hoje sem sua influência.
- Todos os Professores do Departamento de Engenharia de Minas. Uma pessoa só pode aprender o que seus professores têm a ensinar, e eu estou certo de que eu convivi com os melhores.
- Todos os meus colegas de turma. Para o resto de minha vida, só levarei boas lembranças de todos vocês.

Se eu fosse citar os nomes de todos os que merecem, eu precisaria de outras cem páginas. Assim, mesmo que seu nome não esteja aqui, muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho apresenta resumidamente uma visão geral do setor de rochas ornamentais, focando especialmente os mármore e granitos, sempre levando em conta a situação brasileira.

Inicialmente, é feita uma breve introdução a respeito do tema, seguida por uma descrição dos principais aspectos geológicos envolvidos, incluindo aí uma lista das principais províncias brasileiras.

A seguir, é feita uma descrição das propriedades e ensaios utilizados para caracterizar as rochas ornamentais.

Os dois próximos capítulos descrevem respectivamente os métodos de lavra e as técnicas utilizadas para o beneficiamento de mármore e granitos. Em seguida, é feita uma breve análise, à luz da mecânica de rochas, do problema das trincas que costumam aparecer na lavra.

Finalmente, são analisados os principais aspectos econômicos relacionados a esse tipo de mineração, com destaque para a situação brasileira. Nesse capítulo estão incluídas tabelas ilustrativas e comparativas.

ÍNDICE

<u>OBJETIVOS</u>	5
<u>INTRODUÇÃO</u>	6
<u>GEOLOGIA</u>	9
<u>PRINCIPAIS PROVÍNCIAS BRASILEIRAS</u>	17
<u>CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA</u>	20
<u>LAVRA</u>	27
<u>BENEFICIAMENTO</u>	43
<u>O PROBLEMA DAS TRINCAS DE ALÍVIO</u>	48
<u>ASPECTOS ECONÔMICOS</u>	52
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	64

OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo compilar as principais informações referentes ao setor de exploração mineral de mármore e granitos com fins ornamentais, de modo a suprir informações a respeito de um tópico pouco estudado no curso de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Desse modo, pretende-se que os estudantes que se interessem por essa área, que tem um potencial fantástico no Brasil, consigam ter um acesso facilitado às principais características e peculiaridades dessa atividade, que se diferencia do restante da mineração já no objetivo da lavra - o normal é que se deseje a maior fragmentação possível, e neste caso o que se deseja é que o material fique o mais intacto possível.

INTRODUÇÃO

Blocos rochosos intertravados ou rejuntados através de argamassa foram historicamente utilizados na estruturação de edificações. Modernamente, os agregados de cimento com armações metálicas desempenham esse tipo de função estrutural, apesar de registrar-se um consumo significativo de materiais rochosos naturais nas obras de engenharia.

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento, lustro, etc. Seus principais campos de aplicação incluem peças isoladas, (esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral) e edificações, destacando-se os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, etc.

Essas rochas definem uma das mais promissoras oportunidades de negócio do setor mineral, com um crescimento médio da produção mundial estimado em 6% a.a. nos últimos cinco anos. A década de 90 é considerada a nova "idade da pedra", assumindo-se que a comercialização de materiais brutos e produtos acabados/semi-acabados representa US\$ 6 bilhões/ano no mercado internacional. A alavancagem desse mercado pode ser observada ao referir-se que a produção mundial evoluiu de 1,5 milhões de t/ano, na década de 20, para um patamar atual de 40 milhões de t/ano.

Tal incremento foi determinado tanto por novos tipos de utilização das rochas ornamentais nas paisagens urbanas, principalmente no que se refere a obras de revestimento, quanto por novas tecnologias de extração, manuseio, transporte e beneficiamento de blocos. Os avanços tecnológicos permitiram o aproveitamento e a difusão de diversas rochas anteriormente não comercializadas, enquanto as novas utilizações viabilizaram soluções estéticas e funcionais muito interessantes e confiáveis na construção civil.

Rochas isotrópicas, designadas homogêneas, são as mais utilizadas em obras de revestimento. Já as rochas com desenhos e orientações, chamadas movimentadas ou fantasia, são mais utilizadas em peças isoladas, pois sua aplicação em revestimentos demanda apuro estético e caracteriza uma nova tendência, ainda não totalmente assimilada pela maioria dos consumidores tradicionais.

No tocante à classificação comercial, as rochas ornamentais e de revestimento são basicamente subdivididas em granitos e mármore. Como granitos, enquadram-se genericamente as rochas silicatadas, enquanto os mármore englobam "lato sensu" as rochas carbonatadas. Alguns outros tipos litológicos também incluídos no campo das rochas ornamentais são os quartzitos, serpentinitos, travertinos e ardósias.

O comércio de rochas ornamentais envolve transações com materiais brutos e produtos acabados ou semi-acabados. a agregação de valor nas transações pode ser mais de cinco vezes superior ao custo de produção da matéria prima, garantindo

assim margens de lucratividade bastante atrativas.

A qualificação comercial é estabelecida através das características estéticas do material, destacando-se o padrão cromático, desenho, textura e granulação. Se a variabilidade desses parâmetros for muito acentuada em uma jazida, a tipificação e a categorização comercial ficam comprometidas.

O padrão cromático é o principal atributo considerado para a qualificação de uma rocha. Em função das características cromáticas, os materiais são classificados como clássicos, comuns ou excepcionais. Os materiais clássicos não sofrem influência de modismos, incluindo mármore vermelhos, brancos, amarelos e negros, bem como granitos negros e vermelhos. Os materiais comuns, ou de "batalha", de largo emprego em obras de revestimento, incluem mármore bege a acinzentados, rosados e amarronzados. Os materiais excepcionais são, normalmente, utilizados para peças isoladas e pequenos revestimentos, abrangendo mármore azuis, violetas e verdes, além de granitos azuis, amarelos e multicores.

Os blocos extraídos nas pedreiras têm volume variável entre 5 m³ e 8 m³, podendo atingir, excepcionalmente, 12 m³. Materiais com alto valor comercial permitem, no entanto, o aproveitamento de blocos a partir de 1 m³. As dimensões padrão especificadas variam de 2,4 x 1,2 x 0,6 (1,73 m³) a 3,3 x 1,8 x 1,5 (8,9 m³).

As designações comerciais aplicadas são muitas vezes exóticas e enganosas, não espelhando os parâmetros de cor e procedência dos materiais. As formas tradicionais de nomenclatura refletem tais parâmetros (por exemplo, Verde Candeias, Vermelho Capão Bonito, Rosa Sardo, etc.), devendo ser adotadas como base para identificação de novos materiais comercialmente tipificados.

As cotações de preço médio e máximo dos mármore atingem valores superiores aos dos granitos. Os mármore mais categorizados são os de massa fina, tanto brancos quanto desenhados coloridos, muito apreciados para arte estatutária e outras peças isoladas de acabamento e mobiliário. Entre os granitos, verifica-se, atualmente, melhor aceitação para os amarelos movimentados (tipo Juparaná), brancos (tipo *Bianco Cardinale*, *Cotton* e *Cashmere*) e os movimentados multicores (tipo oeste de Minas e Bahia), além, é claro, dos azuis (Azul Bahia e Azul Macaúbas).

Os mármore representam na atualidade cerca de 50% da produção mundial das rochas ornamentais, sendo o restante atribuído aos granitos. A participação dos granitos elevou-se de um patamar de 15%, no princípio dos anos 50, para 22% nos anos 70; 38% em meados dos anos 80, até os atuais 50% incrementando a demanda global sem restringir a utilização dos mármore.

O custo de transporte não inviabiliza a comercialização de materiais excepcionais, qualquer que seja a distância entre a jazida e os pólos de transformação ou centros consumidores. A maior parte do mercado abrange, no entanto, materiais comuns e de largo emprego que, pelo menor valor agregado, exigem um controle rigoroso de custos operacionais, tanto para o transporte quanto para lavra e beneficiamento.

Para um país de dimensões continentais como o Brasil, que pretende elevar sua

participação no mercado internacional, a movimentação adequada de cargas brutas (blocos) e produtos acabados/semi-acabados (principalmente chapas) depende da otimização do transporte intermodal. As questões mais importantes relativas à intermodalidade envolvem: especificação de cargas e veículos rodoviários; maior e melhor utilização de ferrovias; melhoria das condições de infra-estrutura e operação portuárias e o disciplinamento dos fretes marítimos.

Os navios mais apropriados para transporte de blocos são os do tipo "*box-shaped*" / "*open-hat*" (porões quadrados de boca integral), dotados de pórticos e/ou guindastes ("*hand-size*") para 40-60 t, compatíveis em tonelagem máxima aos da classe "Panamax" (até 70.000 - 75.000 t). Esses navios permitem acessar, por exemplo, a costa oeste norte-americana (EUA e Canadá) e os territórios pacífico/asiáticos (Japão, Coréia do Sul, Hong Kong e Taiwan), viabilizando mercados muito pouco explorados pelo Brasil.

O custo do frete marítimo de blocos a partir dos portos brasileiros corresponde a cerca de 35-40% do valor de comercialização do material transportado, enquanto que no de chapas em *containers* o custo do frete é 4 a 5 vezes menor que o valor dos produtos transportados. Ilustra-se, assim, a necessidade e conveniência de negócios envolvendo exportação de acabados/semi-acabados, para que se obtenham margens atraentes de lucratividade, pois os materiais brutos sempre sofrerão submissão de preços e restrições de mercados.

GEOLOGIA

A realização de negócios com rochas ornamentais pressupõe o conhecimento integrado de todos os segmentos de atividade afetos ao setor, tanto de pesquisa geológica, caracterização tecnológica e lavra, quanto de transporte, beneficiamento, marketing e comercialização. Fatores geológicos condicionam as características de ocorrência dos materiais, devendo-se identificar e avaliar tais fatores, em bases técnicas adequadas, como suporte para a tomada de decisões.

As faixas potenciais e a forma de distribuição das rochas, a vocação dos terrenos para ocorrência dos materiais comuns, clássicos ou excepcionais, as feições estéticas esperadas, o quadro aproximado de reservas, as perspectivas de alteração físico-química dos produtos aplicados, a dimensão dos blocos lavráveis e o próprio método mais recomendado de lavra, entre outros parâmetros de interesse, podem ser inferidos através de condicionantes geológicas regionais e locais.

Tanto em programas de exploratórios regionais quanto na pesquisa de detalhe, os levantamentos geológicos são orientados para a definição de bons materiais, em condições físicas e quantidades apropriadas para exploração. Nestes termos, todos os fatores interferentes negativos para a qualificação dos materiais devem ser cuidadosamente avaliados antes de se atribuir favorabilidade a uma região ou área específica.

Aspectos de macroescala

A situação atual do mercado exige uma análise mais global, envolvendo aspectos que normalmente não são considerados como decisivos para atribuir favorabilidade de materiais ornamentais. Esses aspectos podem ser ditos de macroescala e estão intimamente relacionados com a economicidade do depósito. De uma maneira geral devem ser considerados aspectos como:

- **Mercado** - saber qual o mercado a ser atingido simplifica, em muito, as etapas de pesquisa e estabelece critérios para a procura de materiais. A simples distinção dos ambientes geológicos permite fixar uma base previsional de ocorrência de tipos de rochas, onde tipos litológicos distintos suportarão investimentos diferenciados, destinando-se a mercados específicos.
- **Localização** - Para efeito de mercado são observadas as distâncias do jazimento em relação a portos, rede ferroviária, centro transformador, centro consumidor, etc. Com isso, as etapas de avaliação econômica do material e de planejamento comercial terão condições de conter dados mais precisos no momento de estabelecer valores referentes ao transporte.
- **Infra-estrutura** - Deve-se considerar a presença de estradas, acessos, energia elétrica, água, núcleos populacionais, disponibilidade de mão de obra. Todos os fatores abordados nesse item tem reflexos diretos no custo total do empreendimento; portanto, devem ser objetivamente avaliados.
- **Relevo** - Os desníveis do terreno são considerados, uma vez que podem definir o método de lavra a ser adotado; dependendo do tipo de relevo, ter-se-á lavras mais ou menos onerosas.
- **Fatores Intrínsecos da Rocha** - Os principais parâmetros a avaliar são: 1) tipo e tamanho do afloramento; 2) homogeneidade do material rochoso; 3) tipo de rocha;

4) estado e grau de alteração; 5) presença de estruturas; 6) características macroscópicas (cor, textura, etc.); 7) características microscópicas (textura, composição mineralógica, alteração, etc.). Esses parâmetros definirão basicamente aspectos qualitativos como: beleza, sanidade e repetibilidade do material; eles afetam o valor do produto final positiva ou negativamente, dependendo dos resultados dos dados coletados.

Programas Exploratórios Regionais

Em âmbito regional, a simples distinção dos ambientes geológicos permite fixar bases previsionais de ocorrência para diferentes tipos de rochas. A coloração azul, por exemplo, muito valorizada comercialmente, é devida à presença de minerais como sodalita (em sienitos), dumortierita (em quartzitos), cordierita (em gnaisses) e quartzo azulado (em rochas vulcânicas e subvulcânicas ácidas). As rochas portadoras desses minerais estão, via de regra, associadas a ambientes específicos, caracterizáveis em mapas geológicos para efeito de prospecção.

Da mesma forma, os granitos movimentados e desenhados, com padrão fantasia, representam expressão de rochas gnáissico-migmatíticas, devendo assim ser procurados nas faixas antigas de embasamento cristalino. Os granitos homogêneos, não movimentados, associam-se a corpos intrusivos com formas elípticas ou arredondadas, rastreáveis em fotos aéreas convencionais e imagens de satélite através de estruturas circulares/semicirculares.

Outra condicionante geológica importante pode ser mencionada para os granitos negros absolutos, que representam rochas máficas de textura vulcânica/subvulcânica, ocorrentes apenas em faixas de reativação de plataforma com enxames de diques, ou em bacias intracratônicas com "sills" e derrames. Rochas máficas de caráter gabróide, portanto mais grosseiras, associadas a corpos de complexos plutônicos intrusivos, também definem ocorrência de granitos negros, porém nunca de negros absolutos.

Para os mármore, que constituem expressão de rochas sedimentares carbonáticas, metamorizadas e recristalizadas, algumas condicionantes geológicas importantes podem ser também mencionadas:

- estruturas organógenas, do tipo estromatolíticas, que são geneticamente associadas a paleoambientes específicos rastreáveis nas atuais faixas de dobramento portadoras de seqüências carbonáticas, definem padrões estéticos movimentados e muito apreciados no mercado;
- Concentrações de matéria orgânica e outras impurezas nos sedimentos carbonáticos podem originar mármore negros ou com padrões cromáticos também muito valorizados comercialmente;
- a massa fina de alguns mármore, por exemplo, daqueles explorados na região de Carrara, parece ser mais característica dos mármore dolomíticos que dos mármore calcíticos, pois estes últimos desenvolvem tendência à recristalização grosseira durante o metamorfismo; e
- as rochas carbonáticas de caráter dolomítico são mais competentes que as calcíticas durante a deformação que acompanha o metamorfismo, isto é, os mármore dolomíticos comportam-se como materiais rúpteis, e os calcíticos como materiais dúcteis. Essas características físicas implicam em quebraamento e formação de veios

nos mármore calcíticos; portanto, dois diferentes tipos de desenho e padrão estético resultantes.

Todos os parâmetros mencionados para os mármore, assim como para os granitos, podem ser geologicamente discriminados e perseguidos nas campanhas de avaliação regional, representando guias prospectivos para materiais com algumas características estéticas desejáveis.

Em termos de técnicas exploratórias, pode-se utilizar recursos de sensoriamento remoto. A análise morfo-estrutural em imagens de satélite e fotos aéreas convencionais, por exemplo, permite discriminação de zonas homólogas representativas dos principais domínios litológicos aflorantes, destacando áreas de rochas maciças e/ou isotrópicas, faixas estruturalmente mais preservadas e campos de matações. A análise geomorfológica, por sua vez, permite a discriminação das formas de relevo, sua evolução e paisagens geradas, principalmente quanto à existência de áreas desnudadas (sem capeamento de solo).

Programas exploratórios regionais constituem, assim, uma importante ferramenta para o desenvolvimento do setor de rochas ornamentais. Seus objetivos e execução revestem-se de caráter institucional, sendo por isso recomendados como ação governamental.

Pesquisa de Detalhe

Os objetivos da pesquisa de detalhe estão relacionados à qualificação dos materiais e viabilização da lavra, sobretudo em maciços rochosos. Os trabalhos envolvem reconhecimento e amostragem das variedades litológicas aflorantes, caracterização petrográfica das rochas selecionadas, tipificação e caracterização comercial dos materiais priorizados, cálculo de reservas, definição de métodos de lavra, testes de serragem e polimento, bem como marketing e avaliação de mercado dos produtos.

As variedades litológicas aflorantes devem ter sua área de distribuição mapeada em base plani-altimétrica de escala adequada, observando-se principalmente as feições estruturais, composicionais e fisiográficas.

Zonas foliadas (xistificadas) ou fraturadas podem determinar perdas na lavra, e menor dimensão dos blocos lavráveis, bem como acarretar problemas de resistência físico-mecânica em chapas. Concentrações de minerais máficos (sobretudo biotita grosseira) e sulfetos geram problemas de polimento nas chapas e alterabilidade mais acentuada nos produtos aplicados. Cristais grosseiros de fluorita e granada com diâmetro superior a 3 mm são muito quebradiços, causando "arranque" na superfície das chapas durante o polimento e após a aplicação dos produtos.

Nódulos, encraves, pequenos diques e veios, sobretudo em rochas homogêneas, ocasionam problemas de padrão estético e perdas no esquadrejamento de chapas. Texturas porfiróides ou granulares grosseiras, com cristais maiores que 1 cm, desaconselham o uso da rocha para lajotas de pequena espessura, por questões de resistência físico-mecânica.

Diferenciações litológicas implicam problema na tipificação comercial dos materiais,

dificultando a garantia de suprimento de padrões estéticos homogêneos. A capa de intemperismo produz alterações cromáticas principalmente nos granitos, sendo responsável pela coloração amarelada das rochas tipo Juparaná e merecendo, por isso, uma avaliação de espessura no terreno. A dimensão dos blocos e matacões em superfície fornece uma noção preliminar sobre o grau de fraturamento do maciço, permitindo assim inferências a respeito da lavra.

Levantamentos geofísicos podem discriminar feições de interesse na avaliação dos maciços rochosos, destacando-se como aplicáveis os métodos sísmicos, elétricos, magnetométricos e gravimétricos. A sísmica avalia o estado de fraturamento em profundidade, revelando principalmente as fraturas concêntricas (acebolamento) paralelas/subparalelas ao contorno morfológico do maciço. A gravimetria permite detectar a existência de estruturas cársticas subterrâneas (cavernamento) em rochas carbonatadas. Diques de rochas máficas podem ser pesquisados através da magnetometria, com indicação de sua geometria em profundidade. Os métodos elétricos são sensíveis à presença de água, normalmente contida em fraturas e cavernas.

Métodos sísmicos podem ser também utilizados com ótimos resultados no estudo de blocos e matacões, para detecção de fraturas e outras heterogeneidades litológicas. A técnica de aplicação, designada como tomografia de blocos, permite avaliar a integridade física e promover uma seleção de matacões para lavra, bem como qualificar os blocos esquadrejados para efeito de comercialização.

Para determinação preliminar de reservas, efetua-se o cálculo do volume da frente considerada, através da simulação de figuras geométricas (em relevos alongados) ou de seções transversais com bancadas hipotéticas (em relevos abobadados). Do volume calculado, subtraem-se 20%, correspondentes a capeamento de solos e imperfeições do relevo; do restante, subtraem-se 50% relativos a perdas presumíveis na lavra, estimando-se assim a reserva potencial teoricamente explotável.

Sondagens rasas (até 20-30 m) e com grande diâmetro, em furos verticais e horizontais, são exigidas tanto para a definição de reservas medidas quanto para a observação de aspectos estruturais e estéticos, sobretudo em rochas movimentadas. Os testemunhos de sondagem podem ser cortados longitudinalmente e polidos, ilustrando assim seções verticais ou horizontais da porção explotável do maciço.

Amostras de pequeno volume coletadas em superfície, selecionadas e representativas, sem restrições estruturais e composicionais, devem ser submetidas a serragem e testes de polimento, para elaboração de placas de mostruário. Materiais que apresentam bons resultados (fechamento, brilho, espelhamento, padrão cromático e desenho) podem ser submetidos a ensaios de caracterização tecnológica, a fim de definir a aplicabilidade segundo padrões normatizados (normas ABNT, ASTM, DIN, AFNOR, etc.).

Testes de serragem e polimento devem ser efetuados com blocos de dimensões exigidas para o beneficiamento industrial (serragem em teares ou talha-blocos e lustro das chapas em politrizes padrão). Esses testes dependem de uma lavra piloto e são efetuados mediante a caracterização efetiva de materiais com boa qualidade que mostrem quantidade adequada para desenvolvimento de uma lavra.

O desenvolvimento da lavra piloto ou experimental é de fundamental importância para a conclusão da pesquisa de detalhe e caracterização de uma jazida. No Brasil, tal importância foi considerada pelos órgãos de proteção ambiental e também pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), que tornaram legal a exploração e comercialização de rochas ornamentais durante a fase de pesquisa, mediante "guia de utilização".

Este dispositivo legal, recentemente aprovado, foi muito favorável para os produtores, pois apenas através da lavra experimental determinam-se os índices de recuperação do material aproveitável e define-se a viabilidade econômica do empreendimento mineiro. Muitas vezes a recuperação próxima ao capeamento não reflete a realidade do corpo rochoso subjacente, sendo necessária a abertura de bancadas que mergulhem para o interior do maciço e, portanto, a remoção de um volume considerável de estéril. Além disso, não é imediata a resposta dos consumidores em relação a materiais produzidos em uma nova frente de lavra, definindo-se a expectativa dos vários segmentos potenciais de mercado com a produção de blocos, corte, polimento e distribuição de chapas.

Sendo assim, as inversões de capital na compra de equipamentos e montagem da infra-estrutura para lavra sistemática devem ser sempre precedidas por uma lavra piloto, objetivando-se definir a possibilidade efetiva de extração de rochas com padronagem conhecida, em blocos com dimensões adequadas. A implantação do empreendimento mineiro também pressupõe estudos de mercado e a garantia firmada de comercialização dos materiais explotáveis.

Bases para Amostragem e Elaboração de Mostruário

A amostragem de rochas e a elaboração de peças de mostruário constituem itens muito importantes em trabalhos de pesquisa regional e local. O material amostrado deve ser representativo da área enfocada e revelar as principais características do tipo litológico pesquisado, quanto ao padrão cromático, textura, movimento, e desenho esperados para a ocorrência.

Na amostragem de pequeno volume, para rochas destinadas à elaboração de mostruários, deve-se evitar impactos diretos que possam promover trincas e microfraturas. O uso de marretas, ou explosivos inadequados e mal dimensionados, é desaconselhável, recomendando-se a coleta através de cunhas ou massas expansivas. Tal procedimento garante a integridade da amostra, permitindo assegurar que eventuais trincas e outras pequenas descontinuidades, normalmente observadas apenas após o polimento, não são devidas ao método de coleta.

A coleta de amostras efetuadas em caráter pioneiro na pesquisa regional implica grande quantidade de fragmentos irregulares com pequenas dimensões. A amostragem não deve ser dirigida para afloramentos artificiais, de estradas ou outros tipos de obra civil, pois esses locais encontram-se quase que invariavelmente afetados pelas detonações causadoras do corte dos taludes. Taludes artificiais prestam-se, portanto, apenas à observação de rochas de um maciço e sua faixa de distribuição no terreno.

Para se inferir o padrão cromático e desenho esperados para uma rocha granítica

polida, deve-se molhar uma superfície fresca (não intemperizada) da amostra bruta. A fim de avaliar o comportamento dos materiais, deve-se deixar ao relento as amostras coletadas, pois determinados tipos de alteração podem se manifestar e reproduzir, o que seria esperado em condições reais de utilização.

Para a exposição da rocha fresca em um lageado natural, deve-se efetuar furação rasa e detonação. Apenas um furo carregado, com 50-60 cm de profundidade e inclinado no mesmo sentido da vertente, é suficiente para produzir uma boa exposição de superfície côncava, desde que a capa de alteração intempérica não exceda o limite do furo.

A pólvora negra causa menores danos, devido à baixa onda de choque. Sendo assim, é o explosivo mais recomendado para coleta de amostras e desmonte de rochas. O martelete à gasolina é, por sua vez, o melhor equipamento para furação na amostragem, pois dispensa o deslocamento de compressores - o que determina maior mobilidade e rapidez. Os marteletes à gasolina disponíveis pesam cerca de 25 kg e custam aproximadamente US\$ 10.000, efetuando desde furos verticais até furos com inclinação de 45°.

Placas de mostruário podem ser obtidas a partir de amostras irregulares com pequenas dimensões, utilizando-se serra do tipo "clipper" com discos diamantados. O equipamento deve permitir profundidade de corte para até 15 cm, demandando adaptações para fixação da amostra no cursor (morsa) e movimentação lateral (rosca milimetrada) que permitam obter melhor planicidade e paralelismo das superfícies.

As placas de mostruário podem ter dimensões variáveis desde 7,5 cm até 30 cm de lado, com espessura de 1 ou 2 cm, observando-se a necessidade de reprodução do desenho e tamanho dos cristais de rocha. É interessante a elaboração de placas polidas, apicoadas e flameadas, no sentido de reproduzir o padrão estético do material nas diferentes formas de acabamento das chapas de revestimento. Diferentes planos de corte determinam a obtenção de diferentes padrões estéticos para um mesmo material, sobretudo em rochas anisótropas, o que também recomenda a confecção de pequenos paralelepípedos que reproduzam, em escala, as superfícies dos blocos-padrão derivados da lavra.

O desbaste/desengrossamento (levigamento), polimento e lustro de pequenas superfícies podem ser obtidos através politrizes manuais com rebolos abrasivos. Algumas politrizes demandam adaptador para acoplamento dos rebolos, enquanto outras dispensam tal adaptação.

O rejuntamento de pequenas placas de mesma espessura, através de gesso ou massa plástica, sobre uma superfície plana, permite a composição de um mosaico que pode ser lustrado em politrizes industriais. Independentemente da maior ou menor trabalhabilidade dos materiais, o resultado final obtido para essas pequenas placas, lustradas tanto individualmente quanto em mosaico, será sempre 20 a 30% inferior ao das chapas normais adequadamente serradas e lustradas.

Alterabilidade dos Materiais

As rochas utilizadas para fins ornamentais e/ou revestimento sofrem solicitações naturais e artificiais que provocam sua alteração físico-química. Os agentes naturais estão relacionados ao intemperismo, deformação (tectônica e atectônica) e erosão; enquanto os artificiais, à lavra, beneficiamento, manuseio e uso/aplicações. As alterações provocadas são definidas por desgaste, perda de resistência mecânica, fissuração e mudança de coloração.

A alteração dos materiais aplicados ocorre em função do ataque físico-químico aos minerais constituintes da rocha, podendo destacar-se alguns parâmetros de degradação conhecidos:

- Os álcalis, por exemplo, na forma de soda cáustica, atacam os minerais silicatados, presentes nas rochas graníticas e granitóides em geral.
- Calcita e dolomita, que são carbonatos e principais constituintes dos mármore, sofrem ataque de todos os ácidos, traduzindo-se assim o maior problema da aplicação dos mármore na atualidade (poluição atmosférica e chuvas ácidas), notadamente em revestimentos externos.
- O oligoclásio, mineral silicatado da família dos feldspatos cálcio-alcálicos, e a nefelina, também um mineral silicatado do tipo feldspatóide, são sensíveis ao ácido clorídrico.
- Os minerais máficos (escuras) são mais alteráveis que os minerais félsicos (claros), salientando-se que o hiperstênio, mineral máfico da família dos piroxênios e constituinte dos charnockitos (granitos verdes), pode degradar-se em climas tropicais/subtropicais.
- Os sulfetos, minerais metálicos que ocorrem como acessórios comuns tanto em mármore quanto em granitos, oxidam-se rapidamente quando expostos ao ar, formando manchas e constituindo, assim, um dos principais deletérios das rochas ornamentais.

Em revestimentos, os processos de alteração dos materiais aplicados são decorrentes da ação de agentes físicos, químicos e biológicos, conforme sumarizado na **Tabela 1**, a seguir:

Tabela 1 - Alteração em Revestimentos

Agentes	Fenômeno	Ação	Consequência
Físicos	Cristalização de Sais	Tensão de vazios	Fissuração
	Variação da Temperatura	Dilatação / Contração	Fissuração + Descolamento
	Absorção de água	Formação de manchas	Modificação de características estéticas
	Saturação / Secagem	Lixiviação	Desagregação / Corrosão
Químicos	Reação a ácidos	Dissolução CO_3 / Recristalização	Corrosão, Fissuração, Manchas
	Reação a álcalis	Dissolução SiO_4 / Recristalização	Corrosão, Fissuração, Manchas
	Reação a prod. domésticos	Dissolução / Absorção	Corrosão, Fissuração, Manchas
Biológicos	Fixação de vegetais inferiores	Tensão de vazios	Fissuração
	Metabolismo	Dissolução CO_3 e SiO_4	Corrosão e Manchas

O IPT também executa testes de simulação de alterabilidade para rochas ornamentais, cujos fundamentos são apresentados na **Tabela 2**, a seguir.

Tabela 2 - Testes de alterabilidade

Simulação	Efeito	Acompanhamento
Congelamento/Degelo	Tensão/Tração	Fissuração
Cristalização de Sais	Tensão/Tração	Perda de massa
Saturação de H_2O /Secagem	Dilatação/Contração	Aumento da absorção
Lixiviação	Remoção iônica	Perda de resistência
Saturação com produtos de limpeza (com ou sem secagem)	Reação Química Absorção	Mudança de coloração Perda de brilho

A conservação ou reparação das rochas ornamentais aplicadas deve ser efetuada mediante análise específica do problema observado. Os procedimentos mais comuns, para remoção de manchas e outras imperfeições nas superfícies, incluem repolimento das placas, aplicação de ácido oxálico (solução de 10% em volume), aplicação de água oxigenada (20 volumes), jateamento de areia (não para superfícies polidas) e aplicação da água quente sob pressão. Para trincas abertas ou cavidades, presentes nos mármore e comuns nos travertinos (por exemplo Bege Bahia), costuma-se efetuar preenchimento com massa plástica, cimento branco ou gesso, misturados ao próprio pó da rocha em questão.

PRINCIPAIS PROVÍNCIAS BRASILEIRAS

O principal centro produtor de mármore no Brasil é Cachoeiro do Itapemirim, no Espírito Santo, onde se destacam os seguintes materiais: Arabesco, Branco Cachoeiro, Branco Clássico, Branco Esmeralda, Branco Espírito Santo, Branco Extra, Branco Itaoca, Branco Neve, Branco Renascença, Branco Santo Antônio, Branco São Cristóvão, Chocolate, Chocolate Brasil, Chocolate Griseu, Chocorosa, Rosa Itaoca, Rosa Fantasia, Pinta Verde, Rosa Champagne, rosa Imperial, Rosa Itaoca, Verde.

No estado do Rio de Janeiro, a região de Campos destaca-se pela produção do mármore Branco Italva.

Em Minas Gerais, destacam-se as regiões produtoras de Campos Altos (Preto Florido e Verde Jaspe), Cardeal Mota (Primavera e Preto Florido), Mar de Espanha (Branco), Monjolos (Verde Esmeralda e Verde Rodeador) e Ouro Preto (Aurora Pérola, Aurora Prateado, Mesclado e Vermelho Jacarandá).

Como produtores de mármore na região Nordeste, destacam-se os estados da Bahia, Rio Grande do Norte e Piauí. Na Bahia, os principais municípios produtores são os de Curaçá (Rosa Palha e Rosa Patamutê), Itapebi (Imperial Pink), Ouro-lândia (Bege Bahia) e Sento Sé (Flor de Pêssego e Rosa Precioso). No Rio Grande do Norte, o mármore é produzido nos municípios de Apodi e Felipe Guerra (Travertino), Messias Targino (Branco) e São Rafael (Branco e Cinza). No Piauí verifica-se a produção no município de Pio IX (Branco e Cinza).

Na região Sul do país, apresentam-se os estados de Paraná e Santa Catarina como produtores. No Paraná, destacam-se os municípios de Castro e Rio Branco do Sul, onde são produzidos os mármore Branco Paraná, Branco Veiado Paraná, Rosa Paraná, Brecha Paraná e Piracaia. Em Santa Catarina, o município de Camboriú produz o Camboriú, o Aurora Veiado Camboriú e o Fantasia Camboriú.

Na região Centro-Oeste, são conhecidas grandes reservas, na região de Bonito-MT, onde se verifica produção não oficial.

Granitos

Encontram-se a seguir relacionados os principais tipos de granitos comercialmente caracterizados no país, a maioria dos quais se encontra em produção.

Região Nordeste:

- ALAGOAS: Amendôa Maravilha, Havana e Ouro Branco;
- BAHIA: Amarelo Selvagem, Amarelo Tombas, Azul Macaúbas, Azul Paramirim, Azul Quati, Blue Bahia, Cacatua Bahia, Café Bahia, Cotton Bahia, Cravo e canela, Creme Bahia, Fantasia, Fantasia Paraguaçu, Gran Colonial, Jacarandá da Bahia, Kashmir Bahia, Kinawa Bahia, Lambada, Maracanã, Mogno, Monte Santo, Morro

do Tigre Colarite, Morro do Tigre Veiado, Palma Bahia, Pink Bahia, Rosa Tupim, Salvador, Tigrado, Verde Bahia, Verde Boa Nova, Verde Dorato, Vermelho Iaçú, Vermelho Tanquinho e Vino Bahia;

- CEARÁ: Amarelo Alcântaras, Amarelo Jurujuba, Amarelo Massapê, Amendôa Amici, Asa Branca Cotton, Asa Branca Rosa Salmão, Asa Branca Super White, Aurora Tropical, Branco Cemoara, Branco Meruoca, Branco Polar, Branco Tropical, Brown Paradise, Caramelo, Cinza Nova Russas, Cinza Ouro Velho, Cinza Prata, Clássico Dunas, Cocktail Brown, Coral, Icarai, Iracema Pink, Juparaná Brasil, Juparaná Gold, Juparaná Mel, Juparaná Real, Kinawa Gold, Lambada, Meruoca, Ouro Palha, Ouro Velho, Prata Noventa, Preto Aracoiaba, Preto Cruzeiro, Preto Itapiuna, Preto Picos, Preto Redenção, Red Symphony, Rosa Itapagé, Rosa Missi, Rosa Olinda, Rosa Salmon, Thiu Imperial, Tropical White, Vereda Tropical, Verde Amazonas, Verde Itapipoca, Verde Musgo, Verde Pantanal, Verde Ventura, Vermelho Alcântara, Vermelho Cariri, Vermelho Fantasia, Vermelho Filomena, Vermelho Fuji, Vermelho Sândalo, Vison e Yellow Symphony;
- PARAÍBA: Cinza Ariano, Granpêssego, Jericó, Juparaíba, Juparaná Agreste, Picuí, Preto Vitorino, Roxo Real e Sucurú;
- PERNAMBUCO: Amêndoa, Assum Preto, Carnaval, Cinza Prata, Coral Caruaru, Coral Índico, Coral Pernambuco, Eldorado, Frevança, Frevo Guandu, Ipanema, Jacarandá, Jerimum, Maracatu, Máscara Negra, Marrom Imperial, Preto Canhotinho, Preto Pernambuco, Samba, Rosa Imperial, Rosa Tigrado, Verde Borborema, Vermelho Ipanema e Vitalino;
- RIO GRANDE DO NORTE: Angicos, Cinza Jatobá, Santo Cristo, Serra das Flores e Tropical Gauguin;
- SERGIPE: Amarelo Xingó.

Região Sudeste:

- ESPÍRITO SANTO: Amarelo Elmo, Amarelo Golden, Amarelo João Neiva, Amarelo Ocre, Amarelo Santa Angélica, Amarelo Santa Cecília, Amarelo Santa Helena, Amarelo Savana, Amarelo Venessiano, Amêndoa Rio Doce, Arabescato Grigio, Arabesco, Ás de Paus, Branco Pirapora, Cinza Ambassador, Cinza Cachoeiro, Cinza Carijó, Cinza Castelo, Cinza Comum, Cinza Corumbá, Cinza Mel, Cinza Santa Rosa, Cyan-Gris, Juparaná Imperial, Juparaná Laranjeiras, Juparaná Veneziano, Ouro Mel, Preto Bela Aurora, Preto Brasil, Preto Itaoca, Preto Santa Bárbara, Preto São Gabriel, Rosa Colonial, Verão Capixaba, Verde Escuro, Verde Esmeralda, Verde Labrador, Verde Rio Doce, Verde Veneciano, Vermelho Aracruz;
- MINAS GERAIS: Amarelo e Vermelho, Amarelo Califórnia, Belorizon, Cinza, Jacarandá, Kinawa, Lilás Brasil, Lilás Gerais, Marrom Café, Ouro Fino, Rosa Aurora, Rosa Beatriz, Rosa Jandira, Rosa Raíssa, Verde Belo, Verde Candeias, Verde Lavras, Verde Maritaca, Verde São Francisco, Tropical Top, Verde Florido, Verde Tropical, Verde Vuvu, Vermelho Fantasia, Vermelho Formiga, Vermelho Funil,

Vermelho Malibu e Violeta Tropical;

- RIO DE JANEIRO: Amarelo Bangu, Amarelo Parati, Amarelo Santa Maria, Amendôa, Âs de Paus, Cinza Andorinha, Cinza Azul Guanabara, Cinza Friburgo, Cinza Grafite, Dourado Carioca, Juparaná, Ouro Velho, Preto Tijuca, Silver-Grey, Sorimã, Verde Ubatuba;
- SÃO PAULO: Agudos Grandes, Amarelo Atibaia, Azul Ribeira, Cinza Bragança, Cinza Mauá, Cinza Sorocaba, Dourado Caju, Dourado Paulista, Ipê amarelo, Ipê Rosa, marrom Atibaia, Marrom Sorocaba, Ouro Novo, Pérola Imperial, Preto Bragança, Preto Piracaia, Rosa Biritiba, Rosa Itaici, Rosa Monte Belo, Rosa Salto, Rosa Santos, Rosa Sorocaba, Salmão, Verde Ubatuba, Vermelho Bragança, Vermelho Brasil, Vermelho Capão Bonito, Vermelho Imperial, Vermelho Itu, Vermelho Morungaba, Vermelho Verona, Vinho Crepúsculo, Vinho Paulista.

Região Centro-Oeste:

- GOIÁS: Cinza Brasília, Prata Brasília e Vermelho Brasília

Região Sul:

- PARANÁ: Amarelo Castor, Amarelo Guaíra, Amazonas, Amendôa Paraná, Amendôa Rosado, Bege Champagne, Bege Dunas, Cerro Azul, Cinza Champagne, Cinza Imperial, Cinza Mar, Cinza Marumbi, Cinza Metropolitano, Cinza Nobre, Colonial, Imperador, Mel Imperial, Mel Paraná, Paranatuba, Paraná White, Red Itápolis, Rosa Acaray, Rosa Curitiba, Rosa Dunas, Rosa Iguaçu, Rosa Paraná, Verde Mar, Verde Piramirim, Verde Tunas, Vermelho Itaipu, Vinho Mel;
- SANTA CATARINA: Caju, Cinza Claro da Penha, Cinza Colonial, Cinza Itaguaçu, Itaguçu, Porto Bello, Preto Florido, Rodeio, Verde Musgo, Vermelho Imperial, Vermelho Jaraguá;
- RIO GRANDE DO SUL: Cinza Canguçu, Colorado Gaúcho, Marrom Guaíba, Marrom Pampas, Ouro Gaúcho, Pérola Gaúcho, Prata Gaúcho, Preto Gaúcho, Rosa Guaíba, Rosa Santa Karina, Rosso Viamão, Roxo Gaúcho, Royal Red e Vermelho Colorado.

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

As rochas ornamentais, ou de revestimento, quando em uso, são submetidas às mais variadas solicitações, tais como atrito ou desgaste, impacto, ação das intempéries, ataque por produtos de limpeza, líquidos agressivos em geral, etc. Dessa forma, a precisa caracterização tecnológica (mineralógica, física, química e mecânica) dos materiais pétreos torna-se fundamental para a sua utilização correta, segura e econômica.

As solicitações sofridas pelos “mármore e granitos”, no sentido amplo, ocorrem na extração, no beneficiamento (serragem, polimento, lustro e esquadrejamento) na aplicação e em serviço.

As características das rochas, e mesmo a previsão do seu desempenho em serviço, são obtidas através de análises e ensaios executados, segundo procedimentos rigorosos, normalizados por entidades nacionais (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT) ou estrangeiras (American Society for Testing and Materials - ASTM; Deutsch Institut für Normung - DIN, entre outras).

A **Tabela 3**, a seguir ilustra os principais ensaios recomendados de acordo com o tipo de uso dos materiais.

Tabela 3 - Ensaios recomendados para caracterização de mármore e granitos ornamentais

	Análise Petrográfica	Índices Físicos	Resist. ao desgaste	Resist. ao impacto	Resist. à compressão uniaxial	Resist. à flexão	Módulo de deformabilidade estático	Dilatação térmica linear	Alterabilidade
Extração	x	x	x	x					
Beneficiamento	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Revest. externo	x	x	x			x		x	x
Revest. interno	x	x	x			x		x	
Pisos	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Colunas e pilares	x	x			x	x	x	x	x
Pedestais	x	x			x		x		x
Tampos de mesas e balcões	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pias	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Soleiras	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Esculturas	x	x	x						x
Cilindros (granito) para indústria de papel, alimentos, etc.	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Mesas e aparelhos de desempenho	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Petrografia

A análise petrográfica fornece um conjunto de informações muito importante para a caracterização da rocha ornamental. Inicialmente, apresenta identificação, a natureza ou o tipo da rocha e, conseqüentemente, a sua gênese. Em seguida, esta análise permite identificar a presença de minerais alterados ou mais alteráveis, minerais mais moles ou friáveis, ou com outras características que poderão comprometer o lustro, a estética e a durabilidade da rocha.

A análise petrográfica é executada, em primeiro lugar, pelo exame macroscópico ou com auxílio de estereomicroscópio, e, a seguir, em lâminas delgadas ao microscópio. Utilizam-se também, como técnicas auxiliares, ensaios de coloração seletiva de minerais, especialmente em rochas de granulação grossa, de modo a realçar as feições estruturais e melhor avaliar sua composição mineralógica. São ainda muito utilizadas técnicas de difração ou difratometria de raios X, especialmente para identificação de minerais criptocristalinos não-identificáveis por via óptica.

O exame microscópico consiste na descrição dos minerais e suas inter-relações (ou arranjo textural) na observação do estado microfissural e grau de alteração das rochas e minerais, além da classificação formal da rocha.

Os critérios de classificação petrográfica das rochas granitóides consideram as proporções relativas entre quartzo, feldspato potássico e plagioclásio; baseiam-se nas normas estabelecidas pela "Subcomission on the Systematics of Igneous Rocks" da "International Union of Geological Sciences - IUGS" para nomenclatura das rochas plutônicas (IUGS, 1973). Compreendem os granitos, sienitos, granodioritos, tonalitos, monzonitos, dioritos, gabros e outros.

Há, ainda, um grupo de rochas de aspecto granitóide, tidas como de origem plutônica e denominadas rochas charnockíticas, caracterizadas pela presença de hiperstênio e coloração verde-escura. Sua classificação é, também, baseada nas proporções relativas entre quartzo, plagioclásio e feldspato alcalino, e obedecem aos critérios estabelecidos por Streckeisen (1974).

Os gnaisses são rochas granitóides submetidas a metamorfismo regional que apresentam conspícua orientação mineral e, por vezes, bandamento.

Migmatitos são rochas bastante deformadas, caracterizadas pelo arranjo irregular de bandas ou lentes, ora de coloração mais clara, ora mais escura, conferindo-lhes estrutura de fluxo.

Os mármore incluem, genericamente, todas as rochas carbonáticas metamorfizadas.

Os minerais compondo 10% ou mais de volume da rocha, tanto nos mármore como nos granitóides, antecedem seu nome em ordem crescente de abundância.

Para a execução das análises petrográficas, foram seguidas as recomendações da norma ABNT NBR 12678.

Índices Físicos

São denominados índices físicos de rocha as propriedades de massas específicas aparentes seca e saturada, porosidade aparente e absorção de água.

Para a determinação dos valores dessas propriedades, são utilizados 10 fragmentos de rocha com 5 a 7 cm de diâmetro, os quais são pesados ao ar, após secagem em estufa a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ (peso A), após saturação em água por 48 horas (peso B) e na condição submersa, após saturação (peso C), segundo as diretrizes da norma NBR 127666 da ABNT.

Os valores são obtidos através da utilização das seguintes expressões:

- massa específica aparente seca:

$$\frac{A}{B - C} \quad (\text{kg/m}^3)$$

- massa específica aparente saturada:

$$\frac{B}{B - C} \quad (\text{kg/m}^3)$$

- porosidade aparente

$$\frac{B - A}{B - C} \times 100$$

- absorção de água

$$\frac{B - A}{A} \times 100$$

Desgaste Amsler

Estes ensaios visam verificar a redução de altura (em mm) que duas placas de rocha de 7,5 x 7,5 x 2,5 cm apresentariam após um percurso abrasivo de 1.000 m em uma máquina apropriada denominada Máquina Amsler, sendo executados de acordo com as diretrizes da norma ABNT NBR 12042.

A medida do desgaste é particularmente importante para materiais que se destinam a revestimento de pisos, uma vez que procura simular em laboratório a solicitação por abrasão, devido ao tráfego de pessoas ou veículos. O valor obtido no ensaio tem significado relativo, permitindo apenas comparar os diversos materiais ensaiados.

Coefficiente de dilatação térmica linear

Este ensaio visa determinar o coeficiente de dilatação térmica linear de rochas em um dado intervalo de temperatura.

Os ensaios foram executados em dois corpos de prova cilíndricos (por amostra) de 3,2 cm de diâmetro e 7,0 cm de comprimento. São aquecidos em água a partir de 0 (zero) até 50°C , e resfriados desde 50 até 0°C , de acordo com a norma ABNT NBR

12756.

As deformações são medidas com transdutores do tipo LVDT "Linear Variable Differential Transducer" e com registro simultâneo em registrador X-Y. Os valores do coeficiente de dilatação térmica linear foram calculados através da seguinte expressão:

$$\beta = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T}$$

onde:

β = coeficiente de dilatação térmica linear (mm/m.°C);

ΔL = incremento de comprimento do corpo de prova (m);

L_0 = Comprimento do corpo de prova

ΔT = incremento de temperatura (°C)

Os resultados são expressos em (mm/m.°C) $\times 10^{-3}$.

Este ensaio é executado de acordo com a norma ABNT NBR 12765.

Resistência ao impacto

Através da determinação da altura de queda de um corpo sólido que provoca ruptura do corpo de prova, é determinada a resistência da rocha ao impacto.

Estes ensaios são executados em corpos de prova na forma de placas retangulares, de 20x 20x 3 cm, que são apoiadas em um colchão de areia e 10 cm de espessura e submetidas ao impacto pela queda de uma bola de aço de 1 kg. A altura inicial da queda é de 20 cm; a partir daí, as alturas aumentam de 5 em 5 cm até ocorrer o fraturamento das placas.

O resultado para cada amostra é a média aritmética das alturas de queda que fraturam as placas, expresso em cm.

Os ensaios são executados de acordo com a norma ABNT NBR 12764.

Resistência à compressão uniaxial

Os ensaios de compressão uniaxial visam determinar qual a tensão que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos.

Estes ensaios são executados em corpo de prova de forma cúbica com dimensões de arestas de aproximadamente 7 cm.

Utilizam-se cinco corpos de prova (no estado seco), os quais são submetidos a esforços compressivos (taxa de carregamento de 600 kPa/s) em uma prensa hidráulica com capacidade de 200 toneladas.

A tensão de ruptura, na compressão, é determinada pela relação:

$$C = \frac{W}{A}$$

onde:

C = tensão de ruptura (MPa)

W = força de ruptura (kN)

A = área de carga do corpo de prova (m²)

Estes ensaios são executados de acordo com as diretrizes da norma ABNT NBR 12767.

Resistência ao congelamento/degelo

Quando as rochas se destinam à exportação, principalmente para os países do Hemisfério Norte, é conveniente conhecer seu comportamento ante o processo de congelamento e degelo.

Para tanto, adotou-se ensaiar corpos de prova, com o mesmo formato usado para ensaios de compressão uniaxial, através de ciclos de congelamento, à temperatura de - 17° C por 24 h, seguido de degelo, por cerca de 8h, nas condições ambientais do laboratório.

Após 25 ciclos de congelamento/degelo, os corpos de prova são submetidos a ensaios de compressão uniaxial. Calcula-se, a seguir, a tensão de ruptura pela expressão anteriormente mencionada.

O ensaio de congelamento/degelo, conjugado a ensaio de compressão, é executado de acordo com a norma ABNT NBR 12769.

Módulo de deformabilidade estático

Este ensaio visa determinar a deformabilidade da rocha quando submetida a esforços compressivos uniaxiais.

São executados em cinco corpos de prova prismáticos, no estado seco, com relação base:altura entre 1:2 e 1:2,5, utilizando-se a mesma prensa hidráulica usada no ensaio de compressão uniaxial e com a mesma taxa de carregamento. As deformações são medidas através de *clip gages*.

O ensaio permite obter uma curva do tipo deformação em função da tensão uniaxial aplicada. Com as coordenadas dessa curva nos pontos que representam 50 e 70% da tensão de ruptura, calcula-se o módulo através da seguinte expressão:

$$E_e = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

onde:

E_e = módulo de deformabilidade estático (MPa)

$\Delta\sigma$ = incremento da tensão axial no intervalo considerado (MPa)

$\Delta\varepsilon$ = incremento da deformação axial

Os resultados são expressos em GPa.

Este ensaio é executado de acordo com as recomendações da Sociedade Internacional de Mecânica de Rochas - ISRM, cujo procedimento é compatível com a norma ASTM D 3148.

Resistência à flexão

Os ensaios de flexão visam determinar qual a tensão que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços fletores.

São executados em corpos de prova retangulares de dimensões próximas de 20x10x5 cm, cortados em serra diamantada. Para cada amostra são ensaiados cinco corpos de prova, no estado seco.

Utiliza-se a mesma prensa hidráulica usada nos ensaios de compressão e a mesma taxa de carregamento.

Para a execução desses ensaios, os corpos de prova são apoiados em dispositivo apropriado, o qual possui dois cutelos inferiores (de ação) e um superior (de reação).

A tensão de ruptura na flexão é calculada pela seguinte expressão:

$$R = \frac{3PL}{2bd}$$

onde:

R = tensão de ruptura na flexão (MPa);

P = força de ruptura (kN);

L = distância entre os cutelos de ação (m)

b = largura do corpo de prova (m)

d = espessura do corpo de prova (m)

Este ensaio é executado de acordo com as diretrizes da norma ABNT NBR 12763.

LAVRA

Uma das principais vantagens competitivas do Brasil no setor de rochas ornamentais, frente aos seus mais diretos concorrentes no mercado mundial, refere-se ao enorme potencial geológico para mármore e, sobretudo, granitos, de variados padrões estéticos homogêneos, e movimentados.

Essa vantagem competitiva só poderá ser materializada, mediante aprimoramento das bases de trabalho e profissionalização em todos os segmentos da atividade afetos ao setor, destacando-se o *know-how* adequado para lavra.

A lavra de matacões tem menor custo de produção (US\$ 50 a US\$ 80 por m³), mas determina fortes restrições quantitativas e qualitativas de suprimento, resultando ainda, em grande impacto paisagístico e danos consideráveis ao meio ambiente.

Na lavra de maciços rochosos, o custo de produção é superior (US\$ 120 a US\$ 180 por m³), mas sua prática proporciona melhor controle de qualidade e melhores taxas de recuperação dos materiais, garantindo suprimento do mercado, firmando a comercialização e causando menor degradação ambiental.

Observa-se que a maior parte da produção brasileira de granitos é ainda derivada da lavra de matacões e que a lavra de maciços é praticada sem o rigor técnico desejável.

Os resultados mais visíveis do problema são traduzidos pela baixa categorização comercial, submissão de preços e dificuldade de abertura de novos mercados para as exportações brasileiras, tanto de materiais brutos quanto de produtos acabados e semi-acabados.

Os principais tipos de lavra, com suas diversas configurações, são sumarizados na **Figura 1**, a seguir, discutindo-se no texto os aspectos técnicos e econômicos mais relevantes para as diversas configurações apresentadas.

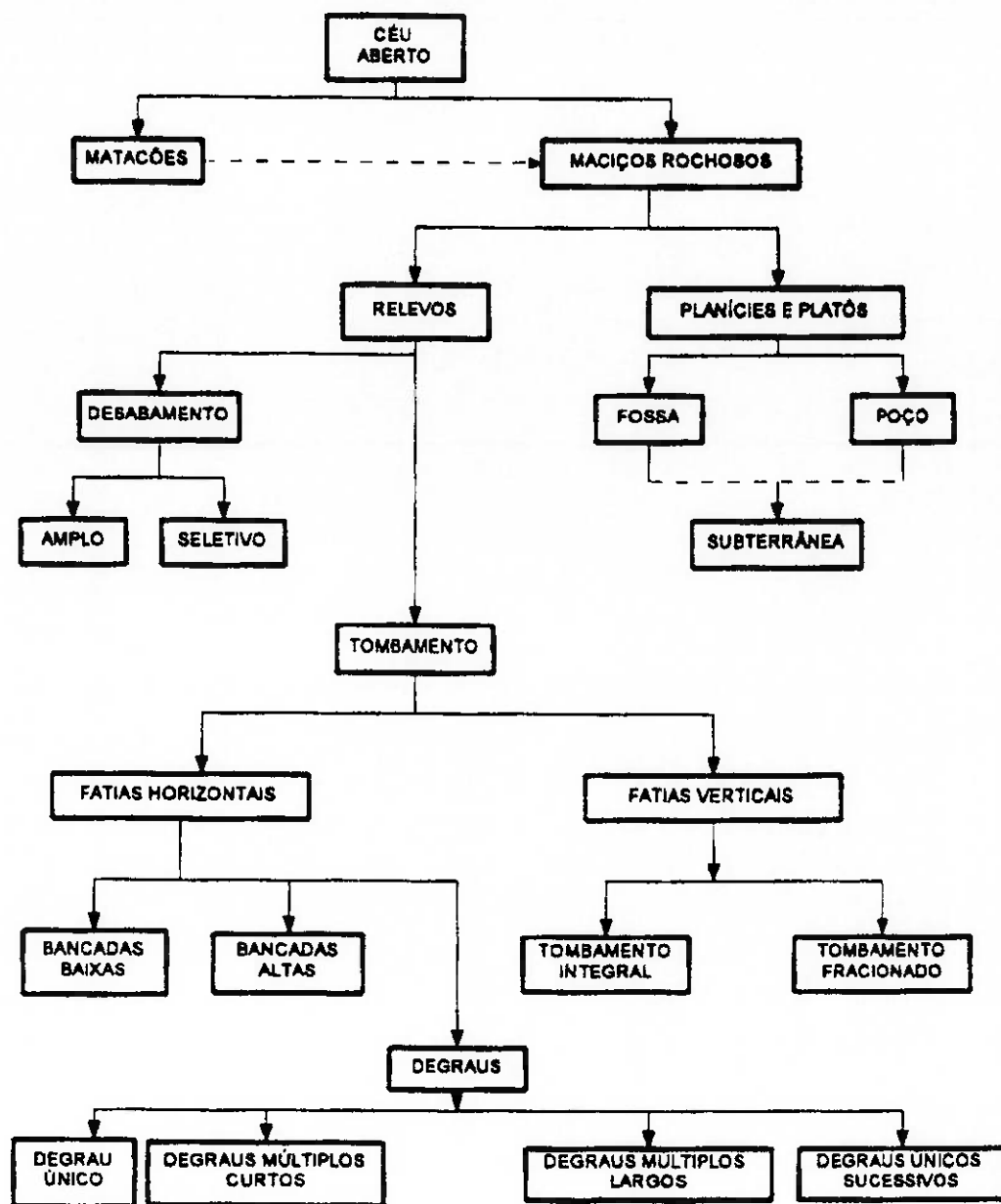


Figura 1 - Tipos de lavra para Rochas Ornamentais

Lavra de Matacões

Matacões constituem porções específicas de um maciço rochoso, individualizados a partir da atuação de agentes intempéricos nas fraturas e destacados por erosão. Sua forma, normalmente arredondada, é devida a esfoliação esferoidal concêntrica (acebolamento), encontrando-se deslocados, através de rolamento, da sua posição original.

Os matacões representam, em superfície, a fragmentação do maciço rochoso subjacente. Sendo derivados de diferentes porções desse maciço e ainda deslocados em superfície, os padrões estéticos das rochas nunca se repetem fielmente entre matacões de uma mesma área. É importante referir que apenas rochas silicatadas, comercialmente enquadradas como granitos, formam matacões.

Do ponto de vista da lavra, os matacões devem ter dimensões apropriadas e quantidade suficiente para desdobrar um número razoável de blocos. Na Itália, por exemplo, regula-se que os matacões lavráveis tenham pelo menos 100 m³. Para implantação de lavra, o retorno financeiro esperado deve ser no mínimo o dobro dos investimentos. Os custos com acessos, equipamentos e pessoal são baixos, o mesmo não ocorrendo com as operações de esquadrejamento de blocos.

Matacões de até 100 m³ podem ser esquadrejados através de cunhas manuais, tendo-se que para o corte de uma superfície com 4 a 5 m de extensão, são necessárias cinco a seis cunhas em furos coplanares e paralelos. Para matacões com mais de 100 m³, o rompimento é efetuado através de explosivos, normalmente pólvora negra, carregada em apenas um ou dois furos tamponados.

Um aspecto a salientar é que os depósitos sob forma de matacões têm vida útil bastante limitada, salvo algumas raras exceções. Em muitos casos, grande parte dos matacões não são aflorantes, sendo detectados e expostos somente após grande remoção de solo. Isto dificulta a previsão de produção da lavra, trazendo como consequência o planejamento com horizonte de curto prazo e freqüente constrangimento na área comercial para a empresa.

Lavra de Maciços Rochosos

Os componentes funcionais da operação de lavra de maciços rochosos incluem degraus, praça principal, praças secundárias, pistas, rampas e frentes. Os degraus representam a figura elementar da exploração, definida pela altura e topo da bancada que sofrerá desmonte. A praça principal é o espaço onde se efetua o esquadrejamento final dos blocos e as operações necessárias para seu transporte, localizando-se normalmente na base da pedreira. As praças secundárias destinam-se às operações funcionais de apoio ao desmonte. As pistas e as rampas constituem as vias de ligação entre as praças, sendo as pistas trafegadas por veículos de rodas pneumáticas, e as rampas apenas por veículos de esteiras. A frente geral é definida como o limite amplo da lavra, enquanto a frente de exploração é aquela atacada num determinado momento.

Os principais elementos geométricos da lavra, que definem itens de interesse econômico para o aproveitamento de uma jazida, são as bancadas e os níveis. As bancadas constituem unidades primárias, que caracterizam os volumes elementares

destacados no maciço, antes do esquadrejamento dos blocos. Os níveis representam partes ou porções do jazimento delimitados por planos horizontais / sub-horizontais, com autonomia funcional para todas as operações de lavra e autonomia econômica frente à infra-estrutura instalada.

Para qualquer configuração de lavra em maciços, o material estéril pode compor coberturas e/ou intercalações. As coberturas são removíveis integralmente ou por lotes, para posterior reposição, enquanto as intercalações devem ser eliminadas durante os trabalhos de lavra.

Nas lavras de base ou pé de encosta dos relevos, o acesso é fácil e direto, sem necessidade de rampas. Pode haver interação desfavorável da cava com o lençol freático, além de problemas de estabilidade dos taludes. O impacto paisagístico é reduzido e controlado por mascaramento da frente de trabalho. O mascaramento pode ser praticado com linhas de vegetação arbórea ou pequenos relevos artificiais, compostos por material da pedreira (rejeitos) e cobertos com solo e vegetação.

Nas lavras de meia encosta, o impacto paisagístico é significativo, devido à maior visualização da frente de trabalho. Os acessos são sinuosos, com rampas abertas na encosta. A recuperação da área é mais difícil e onerosa, como também mais complicado o bota-fora de rejeitos.

Nas lavras de topo são maiores os custos de implantação e os problemas técnicos da operação. O impacto paisagístico é, no entanto, geralmente menor que o das lavras de meia encosta, tendo-se melhores condições para a evolução descendente da cava.

A configuração da lavra de maciços rochosos é basicamente determinada pela inclinação do terreno. Para superfícies horizontais / sub-horizontais, características de planícies e de platôs elevados, a cava pode ser do tipo fossa ou do tipo poço. Para superfícies com grau de inclinação mais acentuado, definidas nos relevos de terrenos acidentados, a lavra pode evoluir por desabamento ou por tombamento do material da encosta.

Lavra Tipo Fossa e Poço

As lavras do tipo fossa e poço permitem aprofundamento máximo de até três/quatro bancadas com altura individual de 5-6 m, quando o desmonte é efetuado por explosivos. Para materiais cujo desmonte dispensa detonações, o aprofundamento das cavas pode ser sensivelmente superior.

Nas lavras do tipo fossa, o material é acessado por rampas inclinadas que compõem o talude da cava. O impacto visual é pequeno, pois a área de trabalho só pode ser observada de pontos elevados. Sempre existe forte interferência com o aquífero e, portanto, necessidade constante de bombeamento. A recuperação da área pode prever o aproveitamento da cava como reservatório de água, para abastecimento e/ou lazer.

Nas lavras do tipo poço, as rampas laterais possuem forte inclinação. Essa configuração torna as operações mais onerosas e deve ser, portanto, a última opção. A

pesquisa geológica é difícil e baseada, sobretudo, em sondagens. Os problemas de inundação da cava e estabilidade dos taludes são ainda maiores que os da lavra do tipo fossa. O trabalho é perigoso pelo exíguo espaço de manobras e pelas eventuais denotações, com acidentes sérios mais freqüentes associados a quedas e atropelamentos.

A evolução das cavas em fossa e poço pode dar origem a uma lavra subterrânea, através de galerias abertas a partir do nível do piso. Essa opção é praticada apenas para materiais excepcionais devido aos elevados custos de operação. Sua execução não admite desmonte com explosivos, restringindo-se, portanto, a rochas como mármore e granitos pobres em quartzo.

Lavra por Desabamento

Em terrenos acidentados com ocorrência de rochas muito valorizadas, mas afetados por sistemas complexos de fraturamento, a lavra pode ser praticada por desabamento. O método consiste no desabamento amplo ou seletivo dos maciços, para posterior seleção e corte dos fragmentos maiores, visando-se obter blocos. Lavras por desabamento amplo são praticadas na Itália (Palma), tendo-se ainda exemplos de desabamento seletivo conhecidos na Finlândia. Um esquema pode ser visto na Figura 2, a seguir.

LAVRA POR DESABAMENTO

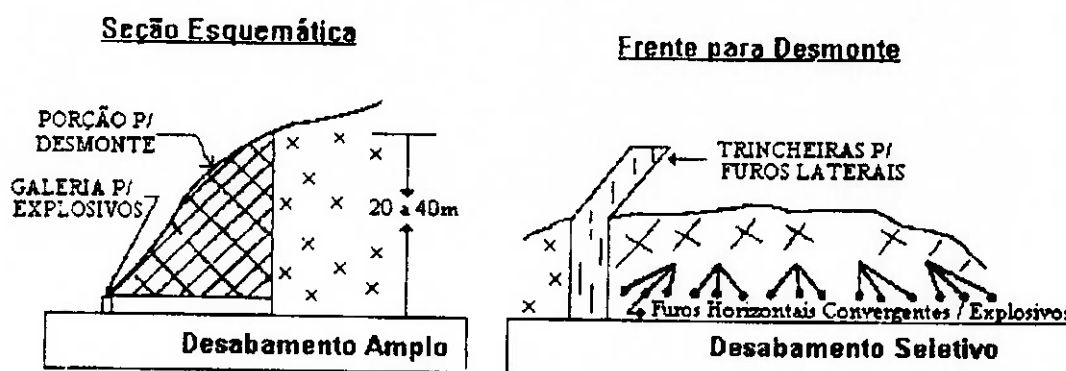


Figura 2 - Lavra por desabamento

A lavra por desabamento amplo tem maior importância apenas histórica, pois o método foi extensivamente aplicado para mármore antes do advento dos fios helicoidais na década de 20. Operacionalmente, grandes cargas de explosivos são colocadas em galerias de pequeno diâmetro, gerando-se pela detonação uma enorme quantidade de material fragmentado, bem como alguns blocos grandes e informes. O volume do bota-fora atinge até 150% do desmontado, com recuperação de apenas 10 a 15%.

A energia sísmica resultante é elevada, tornando grande o risco de desmoronamentos não controlados. A segurança é, portanto, bastante precária, a produção descontínua e o impacto ambiental enorme, observando-se tendência ao abandono do método. Nos granitos de Palma, os registros apontam desmontes de até 5.000 m³ de rocha a cada detonação. Também na Itália, anotava-se produção de 70.000 t/ano de paralelepípedos para calçamento, por desabamento amplo.

Na lavra por desabamento seletivo, desmontam-se porções específicas de um maciço, com as mesmas restrições e problemas operacionais do desabamento amplo. A mecanização é, no entanto, bem mais elevada pela necessidade de perfuratrizes, máquinas para arraste dos blocos e equipamentos para instalação de praça sobre os rejeitos.

Lavra por Tombamento

Para terrenos menos fraturados, a lavra de maciços em relevos pode ser mais apropriadamente efetuada por tombamento, através de fatias verticais ou horizontais, dependendo do gradiente topográfico da encosta. As fatias horizontais são recomendadas quando o relevo tem baixa a média inclinação (até 40°); enquanto as fatias verticais são aplicadas onde a superfície de terreno é limitada e o relevo muito inclinado. Um esquema pode ser visto na **Figura 3**, a seguir.

LAVRA POR TOMBAMENTO

seções esquemáticas

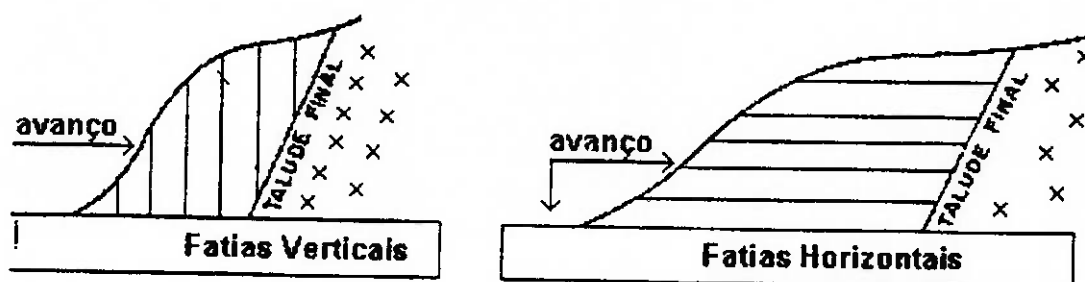


Figura 3 - Lavra por tombamento

Método de Fatias Verticais - admite o tombamento integral de uma fatia individual e o tombamento fracionado de subníveis de cada fatia, como pode ser visto na **Figura 4**, a seguir. Em ambos os casos, exige-se um ótimo controle da furação vertical, que pode sofrer desvios significativos para painéis que atingem altura superior a 10-12 m. A movimentação de equipamentos no topo das fatias é limitada, mencionando-se que o tombamento promove a eliminação do material de má qualidade, fisicamente, pelo impacto no solo.

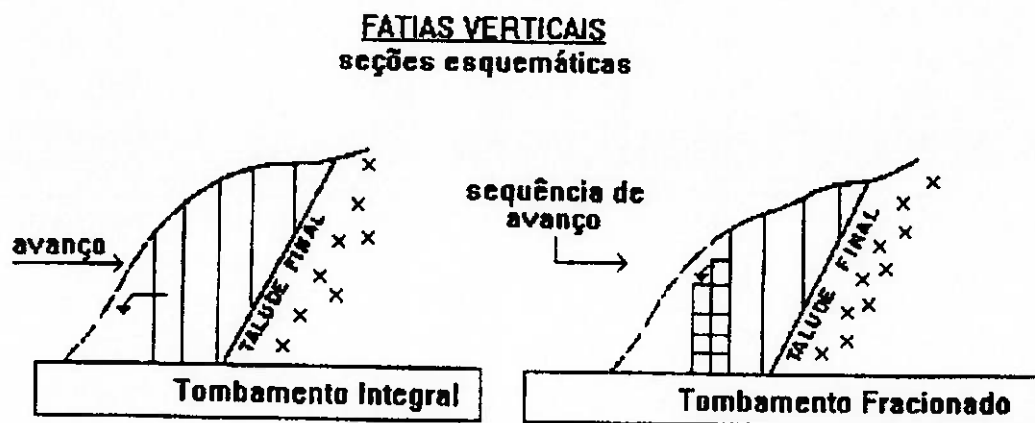


Figura 4 - Fatias verticais

Método de Fatias Horizontais - pode ser configurado através de bancadas baixas, bancadas altas e degraus. Neste último caso segundo degrau único, degraus múltiplos curtos, degraus múltiplos largos e degraus únicos sucessivos, conforme a seguir:

- Bancadas baixas - nesta configuração a altura da bancada corresponde a uma das dimensões do bloco final (3,0 m ou 1,5 m ou 1,8 m), que é diretamente recuperado do maciço. O fraturamento não pode ser intenso, e o material deve ser preferencialmente homogêneo, a fim de evitar processo de seleção. Visando-se a adequação às fraturas e outros defeitos existentes, as frentes de produção podem ser modificadas, sendo que o avanço paralelo às fraturas permite melhor recuperação na lavra. A mecanização é favorecida pelo maior espaço para operações, com menor índice de acidentes envolvendo quedas. As frentes são normalmente extensas e contínuas, não havendo paralisações na lavra. Os volumes de rejeitos não são elevados e o impacto visual pode ser minimizado, através de recuperação da área concomitantemente ao avanço da lavra. A maior extensão horizontal possibilita desenvolvimento para lavra em fossa ou poço. Um esquema pode ser visto na **Figura 5**, a seguir.

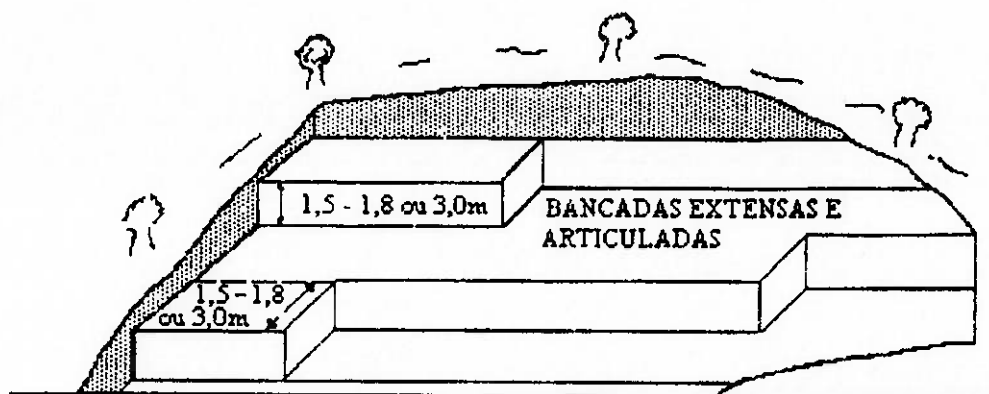


Figura 5 - Bancadas baixas

- Bancadas altas (método finlandês) - nesta configuração desdobram-se blocos primários, secundários e terciários (finais), através de diferentes técnicas de corte de rocha. O bloco primário tem altura de 6 a 8 m, ou mais amplamente de 4 a 16 m; sua espessura varia de 3 a 6 m e a largura de 15 a 40 m, atingindo assim um volume de 1.000 a 2.000 m³. A incidência de perfuração é elevada, situando-se entre 20-30 m/m³. O desacoplamento das faces traseira e basal dos blocos primários é efetuada por furação com explosivos; enquanto o das faces laterais, por fios, jato d'água ou chama. Os blocos secundários são tombados lateralmente através de cunhas mecânicas ou pneumáticas, com tombamento realizado sobre colchão de areia ou terra. A eventual quebra do bloco secundário, pelo impacto do tombamento, representa o primeiro desbaste do material de qualidade inferior. Os blocos finais são liberados com cunhas ou fios, e o seu esquadrejamento observa a existência de defeitos, permitindo a eliminação efetiva de materiais não desejados. Um esquema pode ser visto na **Figura 6**, a seguir.

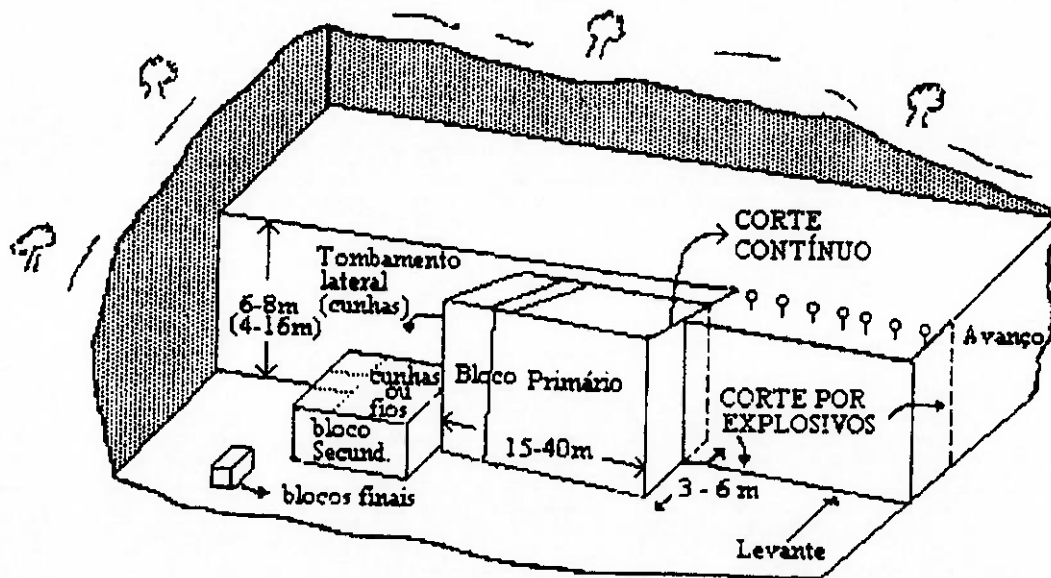


Figura 6 - Bancadas alta (Método Finlandês)

- Degrau único - aplicável em relevos baixos, com preparação simples através de um acesso e uma praça. A produtividade por m^2 de terreno é pequena, tendo-se flexibilidade de configuração e número de frentes, além de boa possibilidade de seleção de blocos. Existe grande ocupação de espaço, pois o avanço é sempre horizontal. O impacto visual é limitado, com facilidade para mascaramento. As obras de recuperação da área podem ser iniciadas durante o desenvolvimento da lavra. Um esquema pode ser visto na **Figura 7A**.
- Degraus Múltiplos Curtos - aplicável para rochas coerentes, com expressão vertical em morfologia acidentada. A configuração das frentes de trabalho é razoavelmente flexível, permitindo seleção do material. A produtividade por m^2 é média a alta, e a produção pode ser elevada. O impacto paisagístico é considerável e a recuperação do terreno problemática. Um esquema pode ser visto na **Figura 7B**.
- Degraus Múltiplos Largos - aplicável em relevos pouco íngremes (moderados), permitindo a abertura de uma praça independente em cada bancada. A configuração das frentes de trabalho é flexível, o que possibilita seleção de materiais. A produtividade por m^2 de terreno é baixa a média, podendo ser grande a produção. O impacto paisagístico não é elevado e a recuperação da área pode ser antecipada durante a lavra. Um esquema pode ser visto na **Figura 7C**.
- Degraus Únicos Sucessivos - aplicável em relevos fortes de topo achatados. O avanço da lavra é descendente, e a praça principal desloca-se para baixo com o aprofundamento da cava. A configuração das frentes é variável e, portanto, muito flexível. A produtividade por m^2 de terreno é alta, podendo ser também elevada a produção. Um esquema pode ser visto na **Figura 7D**.

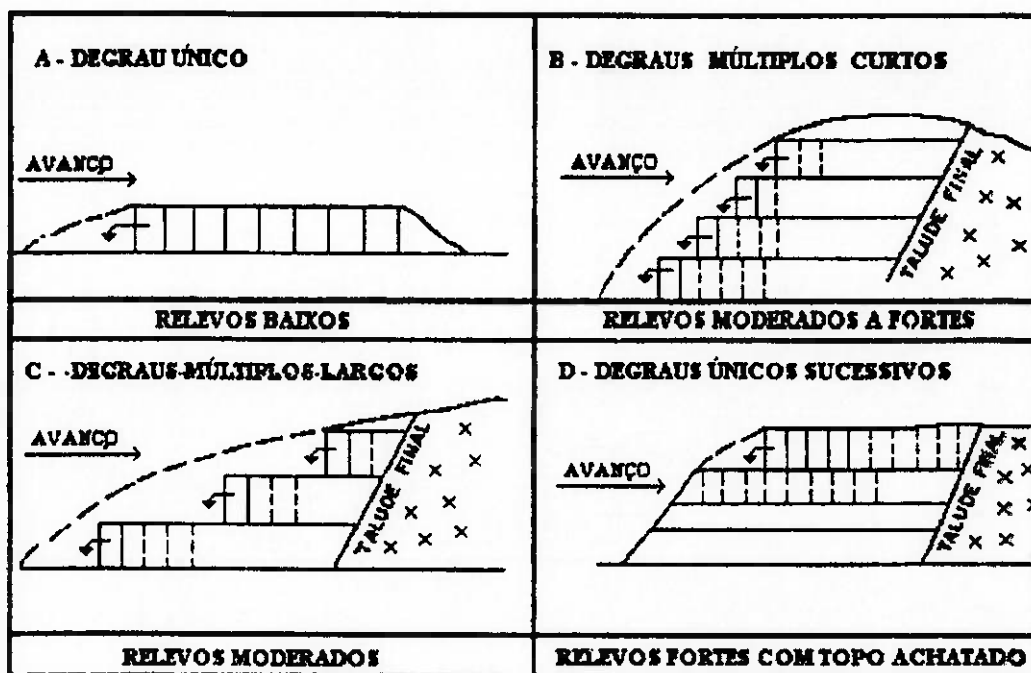


Figura 7 - Fatias horizontais/degraus

Técnicas de Corte para Desmonte

O estabelecimento da técnica ou conjunto de técnicas para desmonte de rochas ornamentais depende das características morfológicas, litológicas, estruturais e geográficas da jazida. Também depende dos parâmetros de economicidade da lavra, ligados principalmente à caracterização comercial do material objetivado, à escala de produção e à dimensão mínima dos blocos lavrados.

As técnicas de corte para desmonte de rochas podem ser, basicamente, enquadradas como de corte em costura e corte contínuo, como mostrado na Figura 8, a seguir.

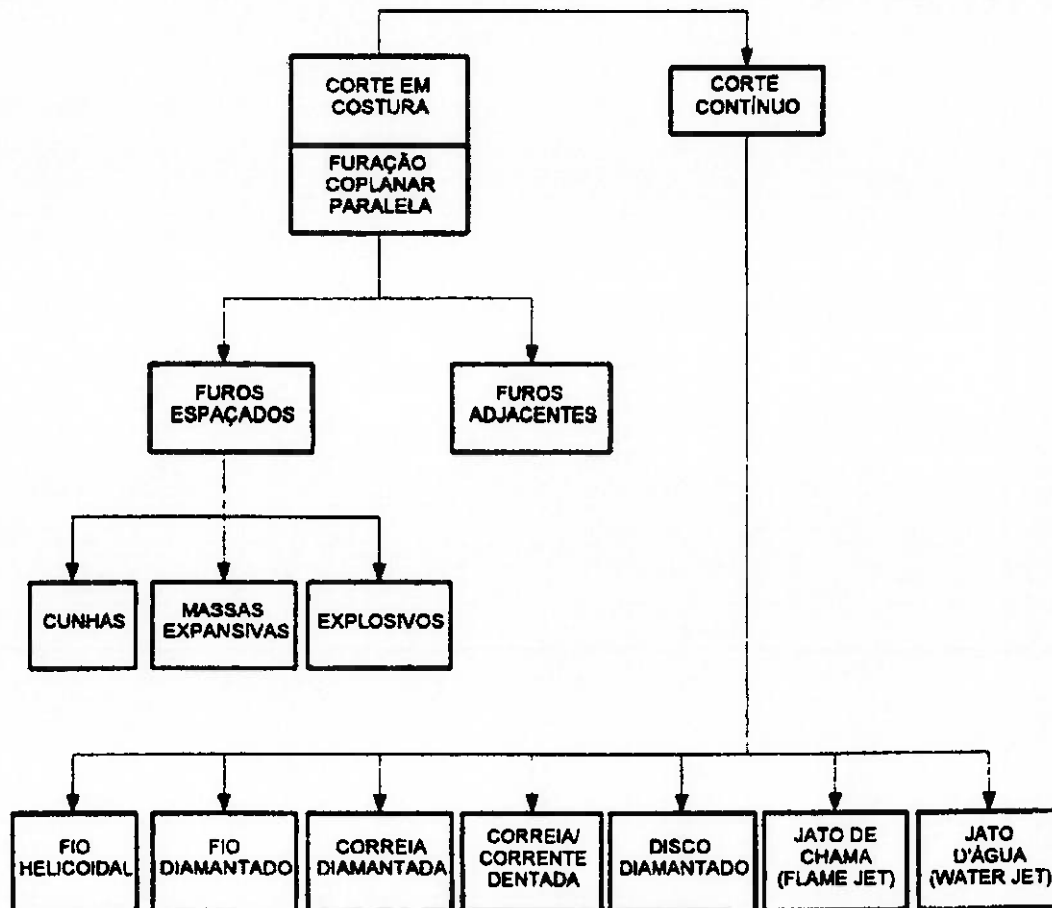


Figura 8 - Esquema das técnicas de corte para desmonte da rocha

Regra geral, as rochas classificadas comercialmente como mármore admitem corte sem utilização de explosivos. A técnica mais utilizada é a de corte contínuo, envolvendo principalmente fios e correias. Os granitos são usualmente lavrados por corte em costura, tendo-se que variedades isentas ou pobres em quartzo admitem corte contínuo com fios.

Corte em costura

O corte em costura é efetuado através de furação, por meio de furos coplanares paralelos espaçados ou adjacentes. Com furos espaçados, efetua-se a ruptura física da rocha pela ação de cunhas, explosivos ou massas expansivas. Com furos adjacentes, libera-se diretamente toda a superfície desejada para desacoplamento.

a) Furos Espaçados - Explosivos

O corte em costura, efetuado por explosivos colocados em furos coplanares paralelos com pequeno espaçamento, é aplicável em planos horizontais (fogo de

levante) e verticais (fogo de avanço e lateral), podendo-se realizar o desacoplamento simultâneo de superfícies ortogonais contíguas. O espaçamento entre os furos é de 20 a 40 cm, correspondentes a 8-10 vezes o diâmetro do furo, com incidência média de furação de 4-5 m/m². Um esquema pode ser visto na **Figura 9**.

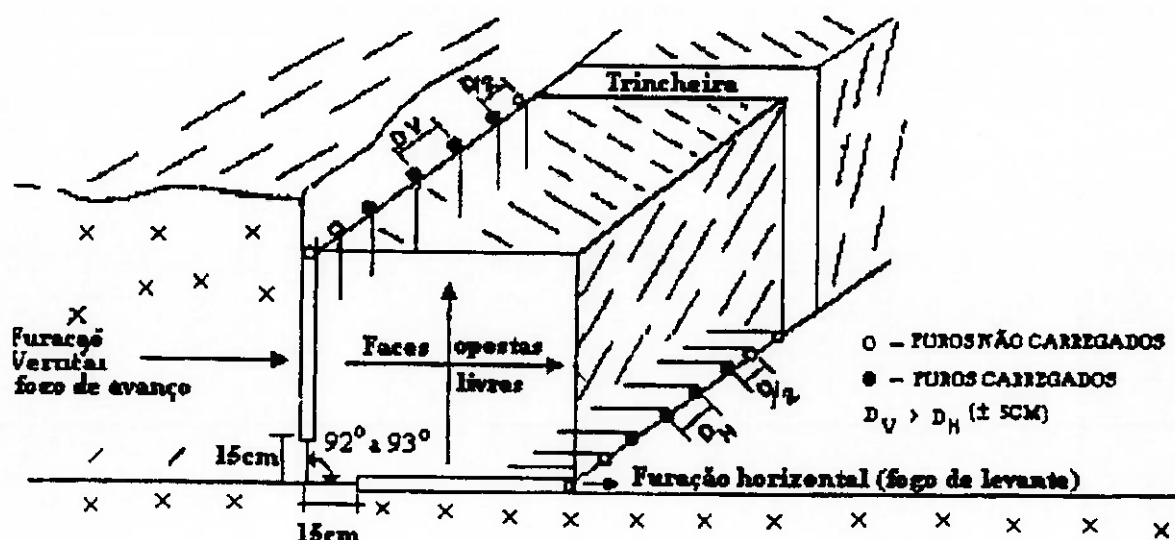


Figura 9 - Seções esquemáticas de um bloco para desmonte com explosivos (cordel detonante ou cartuchos)

O tipo de explosivo é variável, utilizando-se freqüentemente a pólvora negra, bem como nitrato de amônia (salitre, adubo), cordel detonante (NP-5 e NP-10) e cartuchos de explosivos lentos. O afastamento lateral produzido pela detonação, no desacoplamento de um bloco, deve ser de 10 a 50 cm. Os explosivos, preferencialmente, não devem ter velocidade de denotação superior a 4.000 m/segundo. A carga específica para cordel e cartuchos pode variar de 2 a 10 g/t de rocha, não devendo exceder 20 g por metro de furo.

O plano de fogo, o tipo de explosivo e a sua carga devem ser cuidadosamente formulados, com vistas a evitar microfissuração e fraturamento da rocha. Não existe uma regra geral, e o melhor plano de fogo precisa ser definido empiricamente para cada local, pois a reação das rochas frente à detonação pode variar até em um mesmo maciço.

Em muitas pedreiras de granito aproveita-se o fraturamento horizontal ou sub-horizontal, decorrente do processo de "acebolamento" natural da rocha, como plano de base das bancadas. Quando tais descontinuidades naturais não se manifestam, pode-

se executar furos horizontais de levante de longo alcance, detonando-se com pólvora negra numa razão de carregamento (até 50 g/m³) suficiente apenas para o rompimento da rocha.

Deve-se, por fim, salientar que a detonação simultânea em três faces ortogonais contíguas (uma horizontal e duas verticais) impõe uma alta razão de carregamento que potencializa o risco de surgimento de fissuras. Portanto, aplicam-se explosivos somente em duas faces ortogonais (horizontal de base e vertical de traseira), liberando-se a terceira face lateral através de trincheira aberta, por exemplo, com *flame jet*. Dessa forma, a rocha absorve melhor o impacto da detonação, e o resultado do fogo é mais preciso.

b) Furos Adjacentes

O corte em costura por furação coplanar adjacente promove a liberação de planos verticais. Os furos são abertos com marteletes ou hastes rotativas, acoplados a máquinas pneumáticas de até três perfuratrizes, que executam operação simultânea, deslocando-se sobre cremalheiras.

Dependendo do equipamento, o diâmetro dos furos pode ser de até 60 mm. Brocas especiais permitem o aumento do diâmetro na base dos furos, para facilitar o tombamento do bloco. A velocidade de avanço da furação para os equipamentos pneumáticos é de 40 a 50 cm/minuto, com produtividade média de 1 a 1,2 m²/hora.

Esse tipo de corte é recomendado para granitos movimentados sensíveis a impactos, mas exige um ótimo controle de furação e demanda técnicas complementares, para a liberação de planos horizontais.

Corte contínuo

O corte contínuo libera para desacoplamento, sem furação, toda a superfície desejada, através de equipamentos como fios helicoidais, fios diamantados, correias dentadas / diamantadas, discos diamantados, jato de chama e jato de água.

a) Fio Helicoidal

O fio helicoidal presta-se ao corte de mármore, promovido por três fios trançados que compõem o helicóide. O fio helicoidal, puxado por um motor, corre através de roldanas a uma velocidade de 10-15 m/segundo e sob tensão de 150 a 250 kg. O plano de corte é orientado através de poços, furos de grande diâmetro e trincheiras laterais, por onde se introduz o fio para início do corte.

Para maximização do avanço e resfriamento do fio, utiliza-se polpa abrasiva de água com areia. A areia deve ser essencialmente quartzosa e com grãos angulosos, de diâmetro entre 0,1 e 1,0 mm (90% entre 0, 1 e 0,5 mm e 10% entre 0,5 e 1,0 mm). A mistura da polpa deve manter constante uma proporção em peso, de 70% de água e 30% de areia.

A trança helicoidal presta-se ao transporte da polpa abrasiva. A cada intervalo de 5-6 m do fio, o helicóide é invertido, visando-se homogeneizar a distribuição da areia,

evitar desvios de plano de corte e minimizar o desgaste diferencial do próprio fio. No princípio do corte, utilizam-se de 68 litros de água por minuto e de 2-3 kg de areia por minuto, reduzindo-se progressivamente essa alimentação até 50% do inicial, no final do corte.

A velocidade do corte é de 1 a 2 m²/hora, observando-se o equilíbrio adequado entre velocidade e desgaste do fio. Em função da área de corte, seleciona-se o fio com diâmetro mais apropriado, tendo-se o de 3,5 mm para cortes pequenos, o de 4,5 mm para cortes médios e o de 6,0 mm para cortes maiores.

Os dados sobre peso e consumo dos fios são sumarizados na **Tabela 4**, a seguir, ressaltando-se que a velocidade de corte (1 - 2 m²/hora) é equivalente para os três tipos grafados.

Tabela 4 -Dados sobre peso e consumo dos fios

Tipo de Fio	Peso	Consumo (m/m²)	Consumo (kg/m²)
3,5 mm	0,05	20	1,0
4,5 mm	0,09	11	0,99
6,0 mm	0,16	6,2	0,99

O critério de seleção leva em conta a metragem de fio necessária para uma determinada área de corte, pois o consumo em peso e a velocidade de corte são equivalentes para os três tipos de fios disponíveis. Como ilustração, é exemplificado na **Tabela 5**, a seguir, um corte de 100 m².

Tabela 5 - Exemplo de um corte de 100 m²

Tipo de Fio	Área de corte (m²)	Consumo de fio (m)	Consumo de fio (kg)	Tempo de corte (h)
3,5 mm	100	2000	100	50-100
4,5 mm	100	1100	100	50-100
6,0 mm	100	620	100	50-100

b) Fio Diamantado

O fio diamantado presta-se ao corte de mármore e de rochas silicatadas (granitos) pobres em quartzo, para planos horizontais e verticais. A velocidade média de corte é de 2,5 m²/hora em granitos e de até 15 m²/hora em mármore, portanto bem mais elevada que a dos fios helicoidais.

O diâmetro das pérolas diamantadas corresponde ao diâmetro máximo dos fios, podendo variar entre 9 e 11 mm. Nos fios para granitos, as pérolas são colocadas com uma frequência de 40 por metro (2,5 em 2,5 cm); tendo-se uma frequência de 33 por metro (3,0 em 3,0 cm) nos fios para mármore.

O consumo dos fios depende da tensão aplicada e da velocidade de deslocamento, atingindo-se 1 m/30 m² em mármore e 1 m/4 m² em granitos. O custo operacional situa-se ao redor de US\$ 125/m² em granitos e US\$ 25-30/m² em mármore.

A utilização de fios diamantados mostra uma ótima produtividade, tanto pela velocidade de corte quanto pelo melhor esquadreamento dos blocos, com menores perdas na lavra e no beneficiamento. Evidenciando-se a aplicabilidade do fio diamantado a uma rocha de interesse, recomenda-se a sua utilização, pois o custo dos equipamentos não é muito elevado e proporciona rápido retorno do investimento. Tal aplicação deve ser preferencialmente condicionada a pedreiras que já tenham certo desenvolvimento, nas quais os aspectos mercadológicos e técnicos da rocha estejam suficientemente definidos, com configuração de bancadas planejadas e iniciadas.

c) Jato d'Água

A técnica de jato d'água, *waterjet*, é aplicável para rochas com textura sacaróide, do tipo granular ou granoblástica, pois o corte se processa por arranque (escarificação) dos grãos. O corte por jato d'água tem sido utilizado notadamente para arenitos, considerando-se importante a definição de aplicabilidade para quartzitos e migmatitos (granitos movimentados), que são rochas muito sensíveis à detonação e normalmente refratárias ao uso de fios.

Para o corte da rocha, a pressão do jato d'água operada de 100 a 300 MPa, sendo a precisão e rendimento proporcionais à pressão. O jato pode funcionar com água pura ou com água e abrasivos (areia e outros), tendo-se que a distância do bico de jato até a rocha pode variar de 2 cm até no máximo 10 cm.

A velocidade de corte pode atingir 3,5 m²/hora em rochas silicosas e silicatadas, tendo-se na França uma produção de até 15 m²/hora em arenitos impuros. Jatos oscilantes permitem cortes profundos, devido à possibilidade de penetração da lança que suporta o bico de jato.

O corte por jato d'água ainda não é largamente difundido, mas deverá se consolidar em futuro próximo. Sua maior vantagem é a grande precisão, importante sobretudo para materiais excepcionalmente valorizados.

Existem equipamentos de jato d'água fabricados na França, Itália e USA. Por exemplo, o equipamento da empresa Italiana S.R.L. (Itália), apresentado na edição de 1994 da Feira de Carrara, tem peso de 100 t e preço na faixa dos US\$ 300.000, permitindo cortes de até 8 m de profundidade em planos verticais e horizontais.

d) Jato de Chama

O corte por jato de chama, *flamejet*, é muito utilizado para a iniciação de uma pedreira, ainda na fase de pesquisa. O investimento é dos mais baixos, sendo os equipamentos, de fácil manuseio e transporte, recomendados em terrenos muito irregulares.

Nas pedreiras mais modernas, o corte por jato de chama é utilizado apenas para cortes cegos de abertura lateral (trincheiras) das bancadas. A técnica só pode ser aplicada em rochas silicatadas e preferencialmente homogêneas, pois o corte é promovido através de dilatação térmica diferencial, por crepitação dos silicatos e, sobretudo, do quartzo. Concentrações de minerais máficos e vesículas de quartzo, que

caracterizam heterogeneidades texturais, podem sofrer vitrificação e prejudicar o corte.

Através da lança que suporta o bico de chama, executam-se cortes com até 8 m de profundidade, sendo de 8 a 10 cm a espessura do corte. Pela ação do calor, ficam prejudicadas as duas bandas laterais ao corte, havendo assim perda de uma faixa com espessura variável entre 30 e 35 cm.

Idealmente trabalha-se na faixa de 4 a 5 m de profundidade, evitando-se superaquecimento sobretudo no acabamento de "canto" (encontro de planos ortogonais de corte) a maiores profundidades. A utilização de água simultaneamente à abertura do corte resfria as paredes, permitindo evitar maiores perdas laterais.

Os equipamentos funcionam com oxigênio (2.500 °C) ou com óleo diesel e ar comprimido (1500 °C), sendo manejados por dois operadores. A velocidade média de corte é 1,2 m²/hora, com uma produtividade de 0,6 m²/hh para mão-de-obra.

Na Europa os custos operacionais (equipamentos, combustível e mão-de-obra) são de US\$ 100/m². Os problemas de aplicação relacionam-se ao alto nível de ruído (130 a 140 decibéis), calor e produção elevada de pó.

e) Cortadoras de Correia

As cortadoras de correia e corrente têm braços com 2 a 3 m de comprimento, sendo aplicáveis para mármore. Os equipamentos efetuam cortes verticais e horizontais, com 3 a 5 cm de espessura, a uma velocidade de 3 a 6 m²/hora. O custo desses equipamentos situa-se entre US\$ 50.000 e US\$ 80.000.

BENEFICIAMENTO

O beneficiamento das rochas ornamentais refere-se ao desdobramento de materiais brutos, extraídos nas pedreiras em forma de blocos ou, em alguns casos (quartzitos e ardósias), como placas.

Os blocos, com dimensões normalmente variáveis de 5 m³ a 10 m³, são beneficiados sobretudo através da serragem (processo de corte) em chapas, por teares e talha-blocos, para posterior acabamento e esquadrejamento até sua dimensão final.

A serragem é convencionalmente processada em chapas com 1 cm, 2 cm e 3 cm de espessura, atingindo-se até 6 cm de espessura em função do uso especificado para o material.

Os teares são melhor utilizáveis para os blocos maiores, na produção de chapas com 2 cm e 3 cm de espessura. Os talha-blocos são indicados para blocos menores ou informes, antieconômicos nos teares, na produção de chapas e tiras com 1 cm de espessura ou peças com mais de 3 cm (espessores).

A serragem nos teares é executada através de um quadro com fixação de lâminas de aço paralelas, que desenvolvem movimentos retilíneos, pendulares ou curvo-retilíneo-curvo sobre a carga. Nos talha-blocos a serragem é efetuada por discos diamantados, com diâmetros variados e capacidade para cortes de até 1,20 m.

Teares

O processo de serragem nos teares é auxiliado por uma polpa de água, cal e gralha, despejada continuamente sobre a carga, para otimização do corte e resfriamento das lâminas.

A carga pode ser composta ou por bloco único ou por blocos casados, chamando-se de "rolha" o bloco de pequena largura acoplado ao bloco maior e utilizado como complemento de carga em algumas serradas. Os blocos podem ter até 2 m de altura, correspondente à largura máxima admitida para as chapas nas politrizes, e até 4 m de comprimento.

Idealmente não se pode serrar, na mesma carga, blocos com alturas diferentes, materiais com diferentes durezas e chapas com diferentes espessuras, pois provoca-se assim, desgaste diferencial das lâminas, vibração do equipamento, má planicidade das chapas e até fragmentação do material.

Ainda nas pedreiras, o afeiçoamento ou esquadrejamento preliminar dos blocos, através de equipamentos monolâmina ou com fios, otimiza a serrada posterior nos teares, possibilitando uma padronização nas dimensões dos blocos, melhor acoplamento ou rejuntamento (chumbamento) dos blocos na carga, maior produtividade por m³ e menor produção de rejeitos (cascões) derivados da serragem.

As lâminas de aço dos teares são tensionadas manualmente, através de cunhas, ou automaticamente, por tensores hidráulicos. O tensionamento fraco implica

ondulações longitudinais das lâminas, provocando má planicidade das chapas e menor velocidade de corte. O tensionamento excessivo produz encurvamento transversal das lâminas, acarretando sulcos nas chapas.

Os teares mais modernos dispõem de equipamentos que controlam automaticamente a alimentação e mistura da polpa abrasiva, pois a alimentação deve ser constante, e a viscosidade não pode ser excessiva.

A granalha utilizada na polpa abrasiva, misturada com água e cal, é de aço e deve ter idealmente, diâmetro entre 0,7 mm e 1,2 mm, sendo 30% esférica e 70% angular. Testes com granalha de alumina já foram efetuados no EUA, desconhecendo-se, até então, os índices técnicos e econômicos obtidos como resultado da experimentação.

Desdobram-se em média 32 m² de chapas com 2 cm de espessura ou 49 m² com 1 cm de espessura, por m³ de rocha serrada nos teares. Dependendo do melhor esquadramento do bloco ou blocos, pode-se chegar a 35 m² de chapa com 2 cm de espessura, e 55 m² de chapa com 1 cm de espessura.

A velocidade de avanço do corte em teares com lâminas de aço, situa-se ao redor de 20 - 30 cm/h para mármore e 2 cm/h para granitos. A velocidade de avanço do corte em teares com lâminas diamantadas pode chegar a 50 - 60 cm/h nos mármore e 4 cm/h em granitos.

Teares diamantados para granitos trabalham com lâminas de perfil longitudinal bicôncavo. Tais equipamentos são mais econômicos para cortes de chapas com espessura igual ou superior a 6 cm.

Teares mais modernos, com grande capacidade de carga (até 20 m³) e alta velocidade de movimentação do quadro de lâminas, produzem até 3.500 - 4.000 m²/mês em granitos.

Os teares brasileiros ainda não competem em qualidade e produtividade com os teares italianos. Essa constatação é justificada por três fatores principais :

- maior tecnologia embarcada nos teares italianos;
- baixa qualificação da mão-de-obra brasileira na operação e manutenção dos equipamentos; e
- condições e controle inadequados de instalação dos teares nas unidades de beneficiamento brasileiras.

Nestes termos, se os dois últimos fatores citados não forem controlados, diminuirão tanto a produtividade quanto a qualidade esperadas para teares instalados no Brasil.

Talha-Blocos

Talha-blocos são equipamentos de serragem com discos diamantados, capacitados para cortes de grande profundidade, cuja maior utilização é voltada para produtos padronizados (lajotas). Os equipamentos com discos diamantados para cortes mais rasos são chamados talha-chapas e muito utilizados nas marmorarias.

Existem basicamente três tipos de talha-blocos:

- mono-disco, para cortes de grande diâmetro;
- mono-eixo/multi-discos, para discos de mesmo diâmetro ou dois diâmetros diferentes;
- multi-eixo/multi-discos, com discos de diâmetro crescente posicionados em linha.

Os talha-blocos mais modernos, tanto italianos (mono-eixo) quanto alemães (multi-eixo), apresentam produtividade média em termos de m^2/m^3 , 10% superior à dos teares.

A produtividade mensal em m^2 é também superior à dos teares (50% a 100% maior), permitindo aproveitamento de materiais de primeira qualidade em blocos menores, que não seriam exportáveis, no caso do Brasil, pelo custo do frete marítimo, e que seriam ainda anti-econômicos nos teares.

Outra vantagem dos talha-blocos é que os equipamentos admitem movimentação de eixo em ângulos variados (vertical até horizontal), permitindo, portanto, diferentes formas de desdobramento dos materiais.

O custo médio de produção em talha-blocos é no entanto ligeiramente superior ao dos teares, tanto pelo preço dos equipamentos, quanto sobretudo pelo preço dos discos diamantados. Além disso, os talha-blocos não permitem a serragem de chapas grandes, do tipo *cut to size*, especialmente em alguns projetos.

Segundo os fabricantes dos talha-blocos multi-eixo, tais equipamentos apresentam vantagens em relação aos monoeixo, destacando-se: precisão e menor espessura de corte (menor vibração); maior produtividade e rentabilidade; maior facilidade de operação para troca de discos; e possibilidade de corte simultâneo para um maior número de diferentes materiais.

Por outro lado, segundo os fabricantes dos talha-blocos mono-eixo, a performance dos equipamentos seria equivalente à dos multi-eixo, com a vantagem adicional de apresentar custos sensivelmente menores.

Acabamento de Superfícies

Após a serragem em teares ou talha-blocos, o passo seguinte do beneficiamento é o acabamento final das chapas e outras peças, através de levigamento, polimento e lustro, ou apicoamento e flameamento com posterior esquadrejamento (no caso das chapas). O levigamento ou desbaste representa o desengrossamento das chapas, com a criação de superfícies planares e paralelas. O polimento produz o desbaste fino da chapa e o fechamento dos grãos minerais, criando uma superfície lisa e opaca. O lustro é aplicado, no sentido de se imprimir brilho à superfície da chapa, produzido pelo

espelhamento das faces dos cristais constituintes da rocha.

Para polimento, o principal elemento abrasivo utilizado nos rebolos é o carbureto de silício. Os rebolos abrasivos são fixados em cabeçotes rotativos que circulam sobre a superfície da chapa utilizando-se um fluxo constante de água para eliminação de resíduos e refrigeração.

Os dois principais tipos de cabeçotes são o de satélite e o tangencial. Os rebolos do cabeçote de satélites são de formato cilíndrico ou sub-cônico, tendo-se movimento de rotação tanto do cabeçote quanto dos rebolos (satélites). Os rebolos do cabeçote tangencial têm formato de tijolos e são fixados em sapatas oscilantes em relação à superfície da chapa.

Os equipamentos mais utilizados para polimento de rochas ornamentais são as politrizes manuais (1 cabeçote), politrizes de ponte (1 ou 2 cabeçotes) e politrizes multicabeça (5 a 20 cabeçotes).

Os resultados do polimento e lustro são definidos pelo brilho, fechamento e espelhamento das chapas, podendo-se aferir o brilho através de acuidade visual ou com uso de aparelhos (glossmeter).

As politrizes manuais (cabritas) são ultrapassadas e proporcionam baixa produtividade e grande variação na qualidade de produtos, constituindo-se, no entanto, no tipo de equipamento ainda mais utilizado no Brasil. Nestas politrizes o operador controla diretamente todos os procedimentos, exercendo ação direta e constante sobre o equipamento para movimentação de rotação (cabeçote e rebolos) e tempo de polimento. Pela experiência e habilidade de alguns operadores, os resultados obtidos em politrizes manuais são, por vezes, superiores aos de equipamentos mais modernos.

Nas politrizes de ponte, os cabeçotes são sustentados por uma viga, que se desloca e conduz os movimentos longitudinal e transversal dos cabeçotes sobre chapas fixas. Nesses equipamentos os movimentos do(s) cabeçote(s) são menos aleatórios, permitindo maior produtividade e qualidade de acabamento.

As linhas de politrizes mais modernas, multicabeças e totalmente automáticas, permitem o processamento de chapas com até 10-15 cm de espessura e 2 m de largura, dispensando operações anteriores (levigamento) e posteriores (lustro) em outros equipamentos. Mesmo para politrizes manuais ou semi-automáticas, que demandam operações sucessivas com troca de rebolos abrasivos, é dispensável o uso de óxido de estanho (potéia), óxido de cromo, feltro e chumbo para obtenção do lustro, utilizando-se rebolos com misturas abrasivas finas e especiais já disponíveis no mercado.

Outros equipamentos específicos e, via de regra, automáticos/semi-automáticos são utilizados para apicoamento, flameamento, jateamento de areia, fresagem, esquadreamento ou corte curvilíneo de chapas, perfurações circulares etc. Tais equipamentos prestam-se à obtenção de peças isoladas, não necessariamente padronizadas, normalmente solicitadas às marmorarias.

As técnicas de apicoamento e flameamento produzem em alguns materiais um

efeito estético e prático. Mais interessante que o do polimento, o que amplifica a variedade de tipos utilizáveis como rocha ornamental. O flameamento não é recomendável em chapas com menos de 3 cm de espessura, pois a crepitação dos minerais provoca microfraturas que facilitam a infiltração de poluentes e aceleram o ataque físico-químico na superfície da placa.

A tendência geral de evolução tecnológica é traduzida pela automação de toda a linha de equipamentos (teares, talha-blocos, talha-chapas, mono-lâminas, politrizes etc.) e pela melhor especificação dos insumos (lâminas, grelhas, abrasivos etc.), voltadas para a redução do tempo e custo das operações, bem como para a melhoria dos produtos acabados. Nestes termos, teares diamantados ou de alta velocidade têm capacidade para produzir 4.000 m² de chapas/mês, enquanto politrizes multicabeças processam 15.000 m² de chapas/mês, com equipamentos em linha que realizam, até, a embalagem das placas acabadas.

O PROBLEMA DAS TRINCAS DE ALÍVIO

A lavra de rochas ornamentais no maciço oferece possibilidades de manutenção de elevados níveis de produção, permitindo extrair-se blocos de rochas dentro de uma padronização do material tanto qualitativa quanto estética.

Entretanto, verifica-se com grande frequência a influência do estado de tensões do maciço que pode, em função da quantidade de energia por elas acumulada, apresentar trincas e fissuras no material, como consequência do alívio destas tensões que, em última instância, será sempre propiciado pela lavra. A magnitude destas tensões no maciço tem influenciado seu sistema produtivo, levando em alguns casos a uma redução significativa na recuperação da lavra, ao mesmo tempo em que compromete a sanidade do bloco de rocha produzido.

Nota-se que no meio técnico e produtor envolvido, muitos esforços tem sido feitos para desenvolver e aperfeiçoar as tecnologias de extração. As do tipo contínuo têm se mostrado eficientes na elevação da recuperação e na melhor preservação da integridade física da rocha durante o processo de isolamento dos blocos, uma vez que existe a eliminação quase total do uso do explosivo.

Esforços existem também na busca da viabilização econômica da adoção destas técnicas mas, apesar do empenho observado, acredita-se na necessidade da realização de estudos mais globais do comportamento do maciço, de modo a compatibilizar as metodologias de lavra aos fenômenos decorrentes de sua interação com o estado de tensões nos maciços rochosos.

A mecânica de rochas, atualmente, tem evoluído de forma muito promissora em seu ferramental de análise matemática, principalmente com o desenvolvimento de métodos numéricos, que permitem aproveitar os recursos de cálculo e velocidade de processamento de dados representados pelos computadores atuais.

Associadas a estas facilidades para o modelamento e simulação de fenômenos observados, na busca de soluções adequadas às características específicas dos maciços rochosos, existem metodologias já bastante evoluídas para a aquisição dos dados de entrada necessários para a resolução desses problemas.

Para claramente situarmos o problema das trincas de alívio, devem ser estabelecidas algumas considerações iniciais.

Afortunadamente, ao contrário do que seria a regra mais geral na mineração, pela qual os minerais de interesse geralmente ocorrem em maciços altamente compartimentados, e onde quem governa seu comportamento geomecânico é a descontinuidade e não o material rochoso, no caso das rochas ornamentais pode se considerar o contrário.

Ou seja, como o material produzido deve ter uma qualidade tal que juntas e fissuras, se ocorrerem, tenham persistência muito pequena, pode-se admitir que seu comportamento pode ser avaliado segundo as leis da elasticidade. Se esta hipótese não puder ser admitida, certamente o material não terá qualidade ou custos de

produção compatíveis às exigências do mercado.

As anisotropias e heterogeneidades normais no material rochoso não os tornam incompatíveis com as hipóteses de continuidade, homogeneidade e isotropia que a teoria da elasticidade admite como premissas e, portanto, deverão obedecer às lei de Hooke.

Essencialmente, o problema pode ser colocado de forma simplista, como segue:

Em algum momento do tempo geológico, decorrente de sua gênese ou em fase posterior, o material rochoso foi submetido a esforços que determinaram o acúmulo, em sua massa, de parte da energia do sistema em energia potencial de deformação.

Enquanto essa energia (estado de tensões) não for dissipada ao longo da história geológica do maciço, restarão tensões residuais que, em sua lavra, certamente se liberarão, sob a forma de deformações elásticas ou até sob a forma de explosões em rocha.

Nos maciços que se prestam à lavra de rochas ornamentais, via de regra, a quantidade de energia armazenada não levará aos casos extremos de explosões em rocha quando de sua liberação, mas poderá ter manifestações do fenômeno através de deformações ou formações de trincas ou fraturas. A isso chamamos trincas de alívio.

Isso posto, a ocorrência das trincas de alívio observadas nos maciços rochosos para o caso das rochas ornamentais, torna-se um problema equacionável de método de lavra.

Alternativas de abordagem

Energia potencial de deformação.

Uma forma de abordagem do problema seria através da modelagem numérica utilizando-se a equação de energia de deformação que, para um corpo sólido em equilíbrio estático pode ser escrita:

$$P = \frac{1}{2} \int_v (\sigma_x \epsilon_x + \sigma_y \epsilon_y + \sigma_z \epsilon_z + \tau_{xy} \gamma_{xy} + \tau_{yz} \gamma_{yz} + \tau_{zx} \gamma_{zx}) dv$$

onde:

v = volume do corpo que apresenta deformação tridimensional;

s_x, s_y, s_z = componentes de tensão normal nas direções x, y e z respectivamente

e_x, e_y, e_z = deformações lineares específicas nas direções x, y e z respectivamente

τ_{xy}, τ_{yz} e τ_{zx} = componentes tangenciais de tensão nas direções x, y e z respectivamente

γ_{xy}, γ_{yz} e γ_{zx} = deformações angulares segundo os planos xy, yz e zx

Esta equação evidencia o fato de que a energia potencial de deformação está associada ao volume do material .

A equação de energia, correlacionada com as equações geométricas derivadas da teoria da elasticidade a seguir:

$$\varepsilon_x = \frac{\delta u}{\delta x} \quad \varepsilon_y = \frac{\delta v}{\delta y} \quad \varepsilon_z = \frac{\delta w}{\delta z}$$

onde:

$$\gamma_{xy} = \frac{\delta u}{\delta y} + \frac{\delta v}{\delta x} \quad \gamma_{yz} = \frac{\delta v}{\delta z} + \frac{\delta w}{\delta y} \quad \gamma_{zx} = \frac{\delta w}{\delta x} + \frac{\delta u}{\delta z}$$

e u , v e w são as componentes de deslocamento que se constituirão em dados levantados in situ.

E considerando-se as equações constitutivas, ou lei de Hooke generalizada, onde:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)]$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)]$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)]$$

permitem calcular a energia potencial de deformação, quando definidas as condições de contorno do carregamento, isto é, esforços superficiais e esforços de origem mássica. Esta abordagem é particularmente interessante para a resolução do problema pelo método dos elementos finitos. Os dados de saída serão as deformações decorrentes das tensões ou vice-versa.

Estado de tensões atuante

De forma mais direta, os estados de tensão nos maciços podem ser avaliados através do uso de equipamentos específicos.

Considera-se como de maior aplicação e mais adequados ao caso de rochas ornamentais, os equipamentos chamados "cilindros sensíveis" aplicados com a técnica de sobre-furação, tendo em vista que podem ser posicionados em diferentes profundidades em relação às superfícies expostas e nas direções consideradas mais convenientes. Existem desses equipamentos desenvolvidos por centros de pesquisa americanos, canadenses, portugueses, sul-africanos, etc., para ficar nos mais notórios.

Outra metodologia muito importante que, derivada de fenômenos identificados há mais de quarenta anos e que só agora começam a dar seus frutos, através de inúmeros estudos que se multiplicam em todo o mundo, é da emissão acústica ou efeito "Kaiser". Esta metodologia permitiria que, através de ensaios de laboratório sobre amostras orientadas no maciço, se determinassem as componentes de tensão no espaço tridimensional.

Para o caso em pauta, indicam-se esses métodos como os mais interessantes, uma vez que inúmeros equipamentos e métodos desenvolvidos se prestam a estruturas subterrâneas a grandes profundidades, ou a condições muito específicas de trabalho.

Eventualmente, para casos especiais em rochas ornamentais, poder-se-ia utilizar alguns desses métodos.

Determinação das constantes elásticas da rocha

É de grande importância saber que, pelas condições já discutidas, ensaios de compressão uniaxial com determinação das deformações lineares específicas axiais e radiais, sobre corpos de prova cilíndricos de amostras representativas de regiões do maciço, podem fornecer com grande precisão as constantes elásticas do material rochoso (E e n), principalmente podendo-se dispor de máquinas de ensaio.

Correlação entre deformações e aparecimento de trincas

Ensaio específicos de laboratório poderão correlacionar o surgimento de trincas de alívio com deformações lineares, e, determinadas as constantes elásticas do material, com o estado de tensões atuante. Serão chamadas deformações críticas às expansões dimensionais que coincidem com o surgimento de trincas de alívio.

Outras associações podem ser feitas, decorrentes das considerações anteriores, para a correlação entre níveis de energia e as deformações críticas.

Conclusões

A partir do que foi aqui relacionado pode-se concluir que a solução do problema das trincas de alívio, nos métodos de lavra que empregam técnicas de corte contínuo, consiste em saber quais as dimensões dos painéis ou blocos que podem ser liberados tridimensionalmente sem que sua expansão volumétrica implique no aparecimento das trincas indesejáveis.

Salienta-se a importância de pesquisas nessa linha de investigação, para que se correlacione mais especificamente os parâmetros elásticos da rocha e os estados de tensão atuantes nos maciços com as deformações críticas que corresponderiam ao aparecimento de trincas. O dimensionamento dos painéis e sua seqüência de execução estariam equacionados ao nível de problema de engenharia de rocha, e certamente com grandes e favoráveis reflexos econômicos.

ASPECTOS ECONÔMICOS

Panorama de mercado

Em 1985, a produção mundial de rochas ornamentais ultrapassou a casa dos 23 milhões de toneladas, dos quais 8,8 milhões de toneladas de material silicoso (granitos, etc.), e 14,3 milhões de toneladas de rochas calcárias (mármore, travertino, etc.). Atualmente, a produção mundial de rochas ornamentais e de revestimento é estimada em 35 milhões t/ano, ocupa cerca de 300 mil pessoas e vem apresentando crescimento à taxa de 6% a.a., ao longo dos últimos 5 anos. Os mármore representam, atualmente, 50% desta produção global e os restantes 50% são atribuídos aos granitos. Cabe assinalar que a participação dos granitos se elevou de um patamar de 15%, no princípio dos anos 50, para 22% nos anos 70, 36% em meados dos anos 80, até os atuais 50%, incrementando a demanda global sem restringir a utilização dos mármore. Apenas nove países são responsáveis por 70% da produção total, enquanto 95% da produção mundial de rochas ornamentais provém de 27 países. É ainda interessante observar que somente 30 países apresentam produção superior a 100.000 toneladas/ano.

Cerca de 50% da produção mundial é absorvida pelos próprios países produtores. Os 50% restantes são colocados no mercado externo. As trocas internacionais de materiais em bruto e produtos semi-acabados e acabados atingem US\$ 5 bilhões/ano, aproximadamente.

Os principais países produtores são classificados em três grupos:

- Países cuja produção se encontra em redução: Suécia, Noruega, França, Alemanha, Bélgica e Suíça.
- Países que dispõem de boas reservas, mas que encontram dificuldades de ordem comercial e ecológica para o seu desenvolvimento: Portugal, Taiwan, Japão, Grécia, Cuba, Bulgária, Canadá, Turquia, México, Rússia, Iugoslávia, Itália e Estados Unidos.
- Países que dispõem de importantes recursos geológicos e onde a produção se encontra em pleno desenvolvimento: Espanha, Índia, Brasil, África do Sul, Finlândia e China.

A Itália possui depósitos minerais de granito, porém só viabiliza insignificante oferta de rocha bruta, a custos crescentes, para o seu próprio mercado interno. Sua hegemonia no mercado externo de produtos beneficiados baseia-se na maciça importação de blocos, adquiridos a países como: Índia, África do Sul, Brasil e Espanha.

A África do Sul destaca-se como tradicional produtora do denominado "preto absoluto". A Índia preocupa-se em beneficiar seus granitos em seu próprio território, oferecendo vantagens financeiras e fiscais. O mesmo vem ocorrendo em Portugal, onde o governo investe capital de risco em empreendimentos voltados ao beneficiamento de pedras ornamentais.

O Brasil participa com tão-somente 2% das trocas internacionais de mármore e granitos, embora disponha de condições geológicas e infra-estruturais que indicam um potencial de desenvolvimento de sua produção, seja para competição no mercado de exportação, seja para satisfazer o seu próprio mercado, em boa parte ainda latente. em

ambos os sentidos sobressai a importância de estruturar a cadeia produtiva em bases competitivas, com fundamento em tecnologias e técnicas de gerenciamento de alta qualidade e produtividade. Sob o ponto de vista dos efeitos desta atividade produtiva para a promoção do desenvolvimento, cabe lembrar a alta agregação de valor obtida com as atividades de processamento.

No que se refere ao mercado externo, sobressaem as fortes perspectivas de ampliação da demanda em países como os Estados Unidos, Canadá e Inglaterra, que embora de alta renda *per capita*, ainda apresentam consumos específicos comparativamente reduzidos. Para alguns empresários, o país terá, em pouco tempo, condições de atingir pelo menos 20% do mercado mundial. Cabe registrar que os Estados Unidos compram aproximadamente US\$ 600 milhões/ano em chapas polidas e produtos acabados, dos quais apenas US\$ 4 milhões provenientes do Brasil.

Quanto ao mercado interno, cabe registrar que a demanda de produtos acabados de rochas ornamentais (atualmente da ordem de 13 milhões de m²/ano, ou o equivalente a cerca de 5% do consumo mundial) apresenta um forte potencial de expansão, na medida em que seja superada a estagnação decenal da construção civil e em que seja desenvolvido um trabalho sistemático de esclarecimento e conscientização do mercado consumidor, referente às vantagens técnicas e econômicas das rochas ornamentais em relação a outros materiais de revestimento.

Produção nacional de rochas ornamentais

Nas primeiras décadas do período republicano, o crescimento das cidades veio incentivar o aparecimento das primeiras pedreiras de gnaiss porfiróide, no Rio de Janeiro. Com o término da Primeira Guerra Mundial e com o advento da tecnologia do cimento, as pedreiras existentes passam por transformações radicais em seus métodos de produção, surgindo assim a indústria da "brita". A produção se modernizou progressivamente, em termos de processos e equipamentos, relegando a um plano inferior o artefato de cantaria.

Tais inovações deram margem a novas concepções construtivas e, por volta de 1920, iniciam-se as primeiras importações de mármore para utilização em revestimentos de obras, trazidos principalmente da Itália e de Portugal.

A produção nacional de rochas ornamentais foi iniciada com o mármore na década de 30, nos estados do Rio de Janeiro (mármore branco ou italva), Santa Catarina e Minas Gerais, contando, inicialmente, com forte competição dos mármore italianos. O setor só foi estimulado com a suspensão de tais importações, por ocasião da Segunda Guerra Mundial. Com base no mesmo estímulo, a produção de granito foi iniciada também no Rio de Janeiro (granito preto Tijuca), seguido por São Paulo, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Bahia, Pernambuco, Paraíba e Ceará. Avançava o processo de urbanização e as construções para uso residencial apresentavam novas concepções. A produção de mármore se espalha por outros estados do país, destacando-se, na Região Nordeste, os estados da Bahia, Piauí e Rio Grande do Norte. A produção de granitos, limitada a alguns tipos característicos, era bastante incipiente, em face do mercado que não absorvia com facilidade os seus elevados custos de beneficiamento. Além da demanda interna de produtos acabados, o impulso decisivo para a expansão da produção de blocos veio das exportações,

especialmente para a Itália, tradicional produtora de mármore e processadora de rochas.

No período 1968-78, o setor produtivo dos denominados materiais lapídeos, apresenta um importante ciclo de expansão com procura intensificada de granitos, o que determina um processo de investigações geológicas em busca de depósitos de novos materiais, para atendimento às preferências do mercado. Além das atividades extrativas, expandia-se também a capacidade de produção do setor de beneficiamento, com a instalação de novos teares. Ainda que de forma modesta, o país começava a impulsionar a sua penetração no concorrido mercado de produtos processados (chapas e produtos acabados), com a realização dos primeiros embarques para os Estados Unidos.

Um novo e importante ciclo de desenvolvimento do setor de rochas ornamentais vem se realizando ao longo dos últimos 5 anos, associado aos seguintes principais fatores:

- Mudanças Tecnológicas: O avanço das técnicas e equipamentos de extração, desdobramento, corte e polimento do material lapídeo tem propiciado ganhos de produtividade nas diferentes etapas do processo produtivo e conseqüente redução de custos e aumento de competitividade, principalmente dos granitos, em relação aos mármore, além de outros materiais de revestimento alternativos.
- Ação de Fomento: Diante da constatação das potencialidades geológicas e mercadológicas existentes, bem como da importância do setor produtivo como elemento difusor e desconcentrador do processo de desenvolvimento,, inúmeras entidades governamentais têm promovido importantes programas de fomento e promoção de investimentos, cabendo destacar-se as ações empreendidas pelas entidades estaduais de mineração filiadas à ABEMIN, bem como entidades financeiras filiadas à ABDE.
- Abertura de Mercado: Na seqüência das mudanças estruturais que vinham sendo defendidas por diferentes segmentos do país, a redução de alíquotas de impostos de importação e a simplificação de correspondentes processos administrativos significavam um importante estímulo que alcançou todos os agentes produtivos do setor, desde o produtor de blocos, de chapas ou de acabados, até fabricantes de equipamentos, passando por fornecedores de implementos e de materiais de consumo.

Diante deste cenário, o setor vem concretizando importantes investimentos de expansão e modernização das unidades já existentes, bem como de implantação de novas unidades com concepções avançadas e com a incorporação de tecnologias competitivas. A atual estrutura de oferta nacional de rochas ornamentais pode ser caracterizada através dos seguintes indicadores:

- recursos minerais em volumes da ordem de 3 trilhões de m³;
- 750 denominações comerciais associadas a cerca de 470 tipos diferenciados de rochas;
- produção da ordem de 600.000 m³/ano, de blocos de mármore e granitos;
- cerca de 1.400 teares e aproximadamente 40 talha-blocos instalados;
- capacidade instalada de desdobramento da ordem de 25 milhões m²/ano;
- produção da ordem de 15 milhões m²/ano de material beneficiado.

O comportamento de expansão que vem sendo demonstrado pelo setor, bem como as favoráveis perspectivas de um desenvolvimento ainda mais fortalecido nos anos vindouros, encontram-se associados a uma destacada conjugação de fatores que asseguram ao Brasil vantagens comparativas em relação aos seus concorrentes. De fato, além do notável potencial geológico, que oferece ocorrências de materiais diversificados e de rara beleza, o país conta com infra-estrutura de transporte relativamente facilitada, dos depósitos produtores para os pólos de processamento e de demanda, bem como portos bem localizados em relação às áreas produtoras.

Produção de rochas ornamentais em bruto

Na Tabela 6, a seguir, é apresentada a produção nacional bruta de rochas ornamentais no período de 1983-92.

Tabela 6 - Produção nacional bruta de rochas ornamentais 1983-92

Ano	Mármore	Granito
1983	381	608
1984	471	595
1985	629	515
1986	281	1001
1987	308	1083
1988	364	1305
1989	477	1036
1990	485	1061
1991	502	1005
1992	519	1102

Produção de mármore e granito beneficiados

Na Tabela 7, a seguir é apresentada a produção brasileira de chapas e produtos acabados de mármore e granito, no período de 1983-92.

Tabela 7 -Produção nacional de mármore e granito beneficiados 1983-92

Ano	Produção de mármore e granito		
	Blocos (1000 t)	Chapas (1000 m²)	Acabados (1000 m²)
1983	989	11520	10356
1984	1066	11952	10749
1985	1144	12528	11262
1986	1282	14076	12648
1987	1391	14719	13211
1988	1669	15696	14111
1989	1513	15185	13606
1990	1546	15128	13595
1991	1507	14526	13048
1992	1621	15072	13529

A Tabela 8, a seguir, apresenta a distribuição dos teares existentes no país, bem como a capacidade instalada.

Tabela 8 - Distribuição de teares no Brasil

Região	Nº de teares	Capacidade (1000 m ² /ano)	%
Norte	10	180	0,7
Nordeste	109	1962	7,9
Sudeste	1160	20880	83,8
Sul	96	1728	6,9
Centro-Oeste	10	180	0,7
TOTAL	1385	24930	100,0

Estrutura de Oferta

A estrutura de produção e comercialização de rochas ornamentais dispõe atualmente de cerca de 1.000 frentes de lavra em atividade, das quais são extraídas cerca de 400 mil m³/ano de granitos, 200 mil m³/ano de mármore e 120 mil m³/ano de materiais sucedâneos (ardósias, quartzitos). São conhecidas cerca de 750 designações comerciais, associadas a 472 diferentes tipos de rochas ornamentais. Aproximadamente um terço da produção nacional de blocos de mármore e granitos tem se destinado à exportação e o restante a processamento, em cerca de 300 unidades, de desdobramento que congregam por volta de 970 teares orientados para granitos e 415 para mármore. Incluindo a ampla rede de marmorarias, estima-se que o setor de rochas ornamentais seja compreendido, em nível nacional, por cerca de 6.000 empresas.

O Estado do Espírito Santo responde, atualmente, por cerca de 50% da produção nacional de mármore e granitos, e apresenta cerca de 300 empresas em operação que alojam por volta de 12.000 empregados. Além de se destacar pelo grande volume de extração e pelo número de teares em operação (cerca de 650), O Estado conta ainda com facilidades portuárias que respondem pela crescente participação do porto de Vitória no fluxo nacional de rochas ornamentais destinadas à exportação. Com efeito, o Espírito Santo reserva cerca de 20% de sua produção de rochas ornamentais aos mercados de Europa, EUA e Japão. Importante assinalar que, do total exportado pelo Estado (300.00 toneladas em 1991), cerca de 60% se referia a material procedente de outros estados. Minas Gerais, com 120 mil t, respondeu por 40% do volume total de granitos exportados pelo porto de Vitória naquele ano. Além de participar com cerca de 80% da produção brasileira de mármore, o Espírito Santo responde por aproximadamente 35% da produção nacional de blocos de granito.

O Estado de Minas Gerais é outro importante pólo produtor de rochas ornamentais, destacando-se principalmente pela sua grande produção de blocos de granito (cerca de 120.000 m³/ano). Em 1992, respondeu por cerca de 30% da produção e 35% das exportações brasileiras. A extração de granitos é amplamente distribuída pelo Estado em 7 centros produtores, dos quais cabe destacar o centro produtor Oeste, onde 30 empresas operam em 70 frentes de lavra que respondem por cerca de 80% da produção estadual. O índice de verticalização (relação chapa/bloco) apresentado pelo estado é extremamente reduzido, já que a capacidade instalada de desdobramento (cerca de 50 teares e nenhum talha-blocos) é capaz de absorver somente 15% da atual

produção de blocos.

No Estado de São Paulo assinala-se o pólo de extração de granitos em Bragança Paulista e o de Nazaré paulista. Destaca-se também por 310 teares de que dispõe (10 para mármore e 300 para granitos) e pelo porto de Santos, que responde por aproximadamente 10% do valor das exportações nacionais de mármore e granitos. A produção de chapas de granito no Estado é da ordem de 200.000 m²/mês. Assinale-se ainda a existência de uma linha de talha-blocos no município de Moji Guaçu.

O Estado do Rio de Janeiro, apesar de atravessar uma fase de intenso esvaziamento das atividades de extração e processamento de mármore e granitos - devido, principalmente, à postura exacerbada de autoridades ambientais - ainda se notabiliza como um importante pólo de beneficiamento e comercialização de mármore e granitos. Com efeito, além de cerca de 150 teares instalados, o Estado possui uma larga tradição de centro de negócios do setor. O porto do Rio de Janeiro, apesar da perda continuada de participação, relativamente ao porto de Vitória (atual líder, com cerca de 60% do volume exportado em 1992), ainda ocupa posição de destaque, com 19% do volume e 32% do valor das exportações nacionais de rochas ornamentais no referido ano. Das maiores empresas exportadoras de 1992, com 60% do valor total exportado pelo país, apenas 3 eram do Rio de Janeiro e representaram 7,1 % do total. A principal empresa exportadora de blocos passou a operar recentemente através do porto de Vitória. O Estado do Rio de Janeiro possui cerca de 650 empresas no setor, 40 em atividades extrativas, 21 com serrarias e aproximadamente 600 com marmorarias entre grandes, médias e, principalmente, pequenas empresas. Absorvem cerca de 12.000 profissionais, além de outras tantas empresas produtoras e comercializadoras de "pedras brutas de revestimento" sem beneficiamento de face. Na região nordeste do Estado, em Santo Antônio de Pádua e Miracema, é grande a produção desse tipo de material em inúmeras lavras rudimentares.

Comércio externo

A Tabela 9, a seguir, apresenta a evolução das exportações brasileiras de rochas ornamentais, no período de 1983-1993

Tabela 9 - Evolução das exportações 1983-93

Ano	Toneladas	US\$ mil	US\$/t
1983	113.533	22.094	195
1984	157.736	27.477	174
1985	190.097	29.483	154
1986	225.114	31.390	137
1987	266.932	39.825	149
1988	471.844	61.959	131
1989	390.030	58.213	149
1990	458.238	66.943	146
1991	461.598	72.042	156
1992	507.871	93.013	183
1993	579.853	100.630	174

A **Tabela 10**, a seguir, apresenta a evolução das importações brasileiras de rochas ornamentais, no período de 1983-93.

Tabela 10 - Evolução das importações

Ano	Toneladas	US\$ mil	US\$/t
1983	0	0	0
1984	0	0	0
1985	0	0	0
1986	18	7	388,89
1987	38	23	605,26
1988	195	84	430,77
1989	4424	815	184,22
1990	124	160	1290,32
1991	684	431	630,12
1992	1928	1230	637,97
1993	4763	2639	554,06

Estrutura de comercialização

A indústria de mármore e granitos atravessa suma fase de grandes transformações estimuladas por diferentes fatores de âmbito externo e interno ao país:

- Fatores de âmbito externo: tecnologia e mercado de exportação
- Fatores de âmbito interno: vocações e conhecimento geológico, infra-estruturas e aspectos institucionais

A consolidação e ampliação da participação brasileira no mercado internacional exige que o atual processo de transformações se torne também incisivo na estrutura e nas práticas de comercialização.

É importante registrar que fortes obstáculos ao desenvolvimento do setor, já parcialmente superados, relacionavam-se à comercialização. Como exemplo, cabe citar a forte presença de importadores italianos no Brasil, como financiadores de atividades extrativas para garantia de suprimentos; bem como a política protecionista praticada pelo Brasil, durante longos anos, impedindo o acesso de produtores nacionais à importação de equipamentos de melhor desempenho em termos de produtividade e qualidade.

As transformações na produção nacional de ornamentais já se verificam com a melhoria da técnica de extração, utilizando-se equipamentos que reduzem perdas, além de índices de defeitos nos blocos extraídos. Por outro lado, a qualidade do produto beneficiado depende de equipamentos que garantam desdobramento e acabamento segundo padrões de qualidade vigentes nos concorrentes internacionais.

Muitas empresas envolvidas na extração e processamento de rochas ornamentais vêm investindo recursos substanciais em programas de modernização. Dentre os equipamentos estrangeiros, aos quais os produtores passaram a ter acesso, cabe citar os de corte por fio diamantado, "slot drilling", máquinas de perfuração

continua, teares italianos de controle por microprocessadores, talha-blocos, máquinas de flameamento e apicoamento, dentre outros. Os principais fabricantes de equipamentos, como Gaspari Menotti, Pedrini, Bretton, Pellegrini, estabeleceram estruturas no Brasil a fim de prestar pronta assistência técnica aos seus clientes.

Importante assinalar, conforme referido, que as mudanças legais e institucionais empreendidas no sentido da abertura do Brasil à competição e à integração internacional estimulam também a transformação dos padrões de qualidade, produtividade e competitividade da cadeia de apoio do setor, principalmente no que se refere a fornecedores de máquinas e equipamentos, materiais de consumo, serviços de engenharia consultiva e de transporte, com ênfase nas atividades portuárias.

Aspectos legais e institucionais

Fatores de natureza legal:

- regime de acesso e aproveitamento;
- legislação relacionada ao transporte por vias internas;
- padronização e normatização da utilização de produtos acabados;
- normatização de importações e exportações;
- dispositivos relacionados às políticas de uso e ocupação do solo em regiões metropolitanas;
- dispositivos relacionados às políticas de uso e ocupação do solo em regiões metropolitanas;
- dispositivos que regem as questões relacionadas ao meio ambiente;
- legislação fiscal e para fiscal.

Fatores de natureza institucional:

- Estrutura Institucional Normatizadora;
- Estrutura Institucional Fiscalizadora;
- Estrutura Institucional Fomentadora.

No que se refere aos fatores de natureza institucional, cabe registrar que, em face das suas peculiaridades, o setor de rochas ornamentais apresenta-se como típico usuário das mais diferentes funções exercidas por estruturas institucionais normatizadoras, fiscalizadoras e fomentadoras.

Dentre as funções de normatização e fiscalização, sobressaem as relativas ao acesso à propriedade mineral, controle ambiental, transporte interno, regime alfandegário, transporte marítimo, legislação trabalhista, legislação fiscal, etc.

No que se refere às funções fomentadoras, o setor apresenta-se como natural demandante dos serviços de assistência e capacitação técnica, gerencial e financeira, exercidos por diferentes entidades, a saber:

- Assistência Técnica: DNPM, entidades filiadas à ABEMIN, centros de P&D, universidades, escolas técnicas, empresas de engenharia consultiva, SENAI, etc.
- Assistência Gerencial: Rede SEBRAE, centros de P&D, universidades, escolas

técnicas, empresas de consultoria organizacional, além de outras.

- Assistência Financeira: BNDES, FINAME, BNB, SUDENE, FINEP, SEBRAE e entidades filiadas à ABDE.

Na década de 70, o denominado Esquema de Trabalho Integrado foi institucionalizado em Minas Gerais para promoção do desenvolvimento da indústria mineral. À mesma época, o chamado Programa de Assistência Técnica, Gerencial e Financeira foi conduzido mediante convênio firmado entre METAMIG, BDMG e CEAG.

O Estado da Bahia também empreendeu proveitosos esforços institucionais na indústria mineral e no setor de rochas ornamentais, em particular.

No Espírito Santo, as empresas do setor contam, atualmente, com a atuação do Centro Tecnológico de Mármore e Granitos (CETEMAG) que, em nível nacional, tem a incumbência de coordenar o desenvolvimento tecnológico das empresas, e com o Banco de Desenvolvimento do Espírito Santo (BANDES), que atua com um amplo programa de apoio financeiro e institucional, em parceria com a iniciativa privada.

Estas e outras diferentes experiências evidenciam a sensibilidade do setor mineral a modelos institucionais adequadamente estruturados, bem como a capacidade de resposta de segmentos, tais como o de rochas ornamentais, a estímulos mercadológicos, tecnológicos, gerenciais ou financeiros, convenientemente estabelecidos.

Análise dos fluxos de escoamento

A análise aqui empreendida aborda, separadamente, o fluxo de exportação e o fluxo de mercado interno, no período 1983-92. No início do período, o fluxo de blocos para o exterior dava-se, quase que exclusivamente, pela região Sudeste, notadamente pelo porto do Rio de Janeiro, responsável por cerca de 50% das exportações em valor.

Nos últimos cinco anos, o fluxo de escoamento de blocos para exportação sofreu uma considerável transformação. A região Nordeste passou a participar significativamente das exportações, contribuindo com 10% em valor. Salvador, principal porto de exportação, contribuiu com cerca de 60% do fluxo de exportação desta região. Com relação ao Sudeste, devido à conjugação de fatores, tais como tarifas diferenciadas e condições de retroporto, o porto de Vitória aumenta sua participação para 44%, enquanto o de Santos sofreu uma redução para 8,5%, também na participação em valor. O porto do Rio de Janeiro apresenta notável queda de participação em volume (para 17,5%) e valor (para 28%). O porto de Vitória passa a liderar, com cerca de 60% do volume de exportações do Brasil, em 1992.

Assinale-se que o porto do Rio de Janeiro concentra exportações de granito de alto valor, tais como Azul Bahia, azul Macaúba e Juparaná. Tais materiais são exportados quase que exclusivamente pelo porto do Rio de Janeiro.

Passando à análise do mercado interno, no começo da década de 80, a região Nordeste, no que se refere a produtos semi-acabados e acabados, tinha o seu abastecimento oriundo da região Sudeste. O fluxo de blocos do Nordeste para o Sudeste se restringia quase que exclusivamente a três materiais: Azul da Bahia, Azul

Macaúbas e Bege Bahia (mármore). No final da década de 80, o fluxo de escoamento de blocos do Nordeste para o Sudeste, além dos materiais já mencionados, apresenta um razoável incremento com o aproveitamento de depósitos de novos materiais, localizados principalmente na Bahia e Ceará. Com a implantação de unidades de beneficiamento na região Nordeste, o fluxo de material beneficiado vem sofrendo quedas. No entanto, apesar das recentes transformações, cerca de 75% do consumo de chapas do Nordeste continua sendo suprido pelo Sudeste, principalmente Espírito Santo e São Paulo. o fluxo do Sudeste para o Sul restringe-se ao envio de chapas em bruto.

É importante ressaltar que os fluxos dominantes de trocas inter-regionais se referem à rocha bruta e chapas. No segmento de acabados, o fluxo de escoamento inter-regional não é muito significativo, uma vez que a rede de marmorarias e de unidades industriais de beneficiamento tende a suprir a demanda de suas respectivas regiões.

Concentrando a análise no fluxo de escoamento de chapas, é possível cotejar, em cada região do país, a respectiva estimativa de produção, em 1992, com o correspondente consumo. Isso é apresentado na **Tabela 11**, a seguir.

Tabela 11 - Fluxo de escoamento de chapas (1000 m²)

Regiões	Produção de chapas	Consumo de acabados	Saldo líquido
Norte	108	858	-750
Nordeste	1156	2484	-1328
Sudeste	12539	8148	4391
Sul	1037	2440	-1403
Centro-Oeste	108	858	-750

Apesar das transformações em andamento - com uma gradativa desconcentração da capacidade instalada de desdobramento de blocos - verifica-se que as regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sul ainda dependem significativamente de suprimentos de chapas oriundas do Sudeste, principalmente do Espírito Santo.

Transporte e distribuição

A função transporte é de grande significado na indústria de rochas ornamentais, onde se manifesta ao longo de toda a cadeia produtiva.

Transporte Rodoviário

No transporte da unidade de extração até a unidade de processamento ou terminal rodoviário, ferroviário ou marítimo, sobressaem duas principais questões:

- qualidade das estradas, principalmente as vicinais que conectam o local da extração à rede de rodovias estaduais e federais;
- limite de carga por eixo de caminhão ou carreta.

a) Qualidade das estradas: Na sua maioria, os depósitos de rochas ornamentais estão localizados em regiões acidentadas, ligadas às rodovias por estradas vicinais com

péssimas condições de tráfego. As estradas vicinais ocasionam os seguintes problemas:

- Interrupção do fluxo na época das chuvas;
- impossibilidade de acesso a carretas de 30 t, não permitindo a comercialização de blocos de maior porte e de melhor rendimento nas operações de desdobramento;
- exigências de um módulo adicional de transporte, com transbordo para caminhões de maior capacidade de carga;
- elevação do custo final de suprimento.

b) Limite de carga: O transporte de blocos de rochas ornamentais nas rodovias vem sofrendo uma série de restrições devido à legislação vigente ("Lei da Balança"), que exige uma distribuição uniforme e limite de peso por eixo. Devido às características deste tipo de carga (indivisível e concentrada), existe um preconceito de que o transporte de blocos é o principal responsável pela deterioração das rodovias. Estudo elaborado pelo CETEMAG em 1991 e encaminhado ao DNER demonstra que adaptações efetuadas pelas transportadoras solucionam o referido problema. Já no transporte de chapas e produtos acabados também existem transportadoras que dispõem de caminhões com carrocerias adaptadas para este tipo de transporte.

Transporte Ferroviário

De um modo geral, o transporte ferroviário de blocos é de difícil implementação, diante das exigências de uma infra-estrutura complementar de carga e descarga, em sistema multimodal.

Por estas razões, o transporte ferroviário é pouco empregado pela indústria de rochas ornamentais do país, embora possa exercer um papel de maior destaque no escoamento da produção de terminais intermediários para unidades beneficiadoras, centros de distribuição ou portos de embarque. A viabilização de alternativa ferroviária deve ser analisada de forma integrada com infra-estruturas de embarque e desembarque, inclusive em terminal portuário. Cabe registrar a existência de transporte ferroviário no escoamento de rochas ornamentais de Minas Gerais para os portos de Angra dos Reis e Vitória.

Transporte Marítimo

O transporte marítimo de blocos e chapas, no mercado nacional, não tem sido praticado. No comércio externo, em que pesem as melhorias verificadas principalmente no porto de Vitória, o sistema portuário brasileiro apresenta-se como redutor de competitividade do exportador brasileiro de rochas ornamentais. A abordagem do transporte marítimo exige que se considerem as seguintes questões:

- Infra-estrutura de acesso ao porto
- Estrutura portuária
- Conexão do porto com os mercados objetivados
- Custos e tarifas portuárias

a) Acesso ao porto: A viabilização de um complexo portuário para rochas ornamentais

depende da localização de pólo(s) produtor(es) em relação ao porto, bem como das facilidades de transporte rodoviário e/ou ferroviário interligando pólo-porto. Com efeito, a atual liderança exercida pelo porto de Vitória nas exportações de rochas ornamentais encontra-se associada não apenas à proximidade do pólo produtor capixaba, como também à infra-estrutura ferroviária que coloca o referido complexo portuário em condições preferenciais, perante os exportadores de blocos de granito de Minas Gerais.

Além desses fatores, a liderança do complexo portuário de Vitória encontra-se também associada aos níveis de eficiência e de redução de custos ali alcançados.

b) Estrutura portuária: Um porto adequado à indústria de rochas ornamentais deve dispor de área para estocagem de produtos. Necessita também de equipamentos, tais como guindastes para movimentação de blocos e "containers", além de instalações compatíveis para carga e descarga de blocos, chapas e produtos acabados.

Um porto adequado deve ainda contar com gestão moderna e eficaz, com custos competitivos de estivagem, capatazia e estocagem. Um dos parâmetros relevantes na análise dos padrões de eficiência do sistema portuário é o "timing" de atracamento e permanência dos navios. Neste sentido, cabe lembrar que em certos portos os produtos processados exportados em "container" dispõem de sistema que oferece 10 dias sem pagamento de aluguel do pátio de estocagem, objetivando compensar variações e atrasos na atracagem e partida dos navios. Outro fator relevante na estrutura portuária é a existência de pátio alfandegado com terminal ferroviário e/ou rodoviário.

c) Conexão com mercados específicos: O transporte marítimo eficaz depende de conexão do porto de embarque com linhas regulares de navios de cargas gerais, bem como da frequência de atracamentos. O movimento geral de carga e descarga é fator que influencia as conexões de transporte marítimo. Nos portos de passagem (apenas embarque), os armadores de navios só se dispõem a encostar a partir de uma carga mínima de embarque.

d) Custos portuários: Os custos e tarifas da maioria dos portos brasileiros apresentam-se mais elevados do que portos em países e regiões concorrentes. Ocorre, portanto, uma pressão de custos sobre o exportador brasileiro, dificultando - ou mesmo inviabilizando - determinadas operações comerciais. É sabido que a baixa eficiência reinante nos portos nacionais é associada ao custo e à produtividade da mão-de-obra. Um estudo realizado em 1990 pelo BNDES, CEAG/ES e UFES, assinala a existência de "uma excessiva quantidade de tarifas e adicionais encarecendo demasiadamente o custo de embarque".

BIBLIOGRAFIA

- 1) CHIODI FILHO, C., Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais, MCT, CNPq, CETEM, 1995
- 2) FRAZÃO, E.B. et alli, Catálogo das rochas ornamentais do Espírito Santo, IPT e Secretaria de estado de desenvolvimento econômico. Vitória, 1993.
- 3) FARIA, C.E.G.; CALAES, A.D., Estudo econômico sobre rochas ornamentais, volume 2 – Mercado nacional, Federação das Indústrias do Estado do Ceará e Instituto Euvaldo Lodi. Fortaleza, 1995.
- 4) VIDAL, F.W.H., A indústria extrativa de rochas ornamentais no Ceará, dissertação de mestrado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.
- 5) CHIEREGATI, L.A., MACEDO, A.B., Projeto rochas ornamentais – relatório final, Convênio SUDELPA-CPRM. São Paulo, 1982.
- 6) DNPM, Perfil analítico dos mármore e granitos, Departamento Nacional de Produção Mineral. São Paulo, 1977.
- 7) GROSS, J.M., CHIODI, C.F., A importância da pesquisa geológica no segmento de rochas ornamentais, In: IV Congresso Ítalo-brasileiro de Engenharia de Minas, Anais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1996.
- 8) BORTOLUSSI, A., CICCUCI, R., GROSSO, B., Stato delle conoscenze sull'abbattimento delle rocce dure ed abrasive mediante utensili assistiti da getti d'acqua ad alta pressione, In: IV Congresso Ítalo-brasileiro de Engenharia de Minas, Anais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1996.
- 9) CARANASSIOS, A., STELLIN Jr., A., AYRES DA SILVA, L.A., Considerações acerca do estado de tensões dos maciços na lavra de rochas ornamentais, In: III Congresso Italo Brasileiro di Ingegneria Mineraria, Atti. Parma, 1994.
- 10) ALLEN, M., TOMI, G., OWEN, D., Application of integrated mining systems to a dimension stone quarry in Scotland, In: III Congresso Italo Brasileiro di Ingegneria Mineraria, Atti. Parma, 1994.
- 11) AGUS, M., BORTOLUSSI, A., CICCUCI, R., Influenza delle caratteristiche dell'abrasivo nel taglio del granito con getto d'acqua, In: III Congresso Italo Brasileiro di Ingegneria Mineraria, Atti. Parma, 1994.
- 12) AGUS, M., BORTOLUSSI, A., CICCUCI, R., Taglio del granito con disco diamantato assistito da getto d'acqua, In: III Congresso Italo Brasileiro di Ingegneria Mineraria, Atti. Parma, 1994.