MOACYR FRANCISCO MOÇO

PROSPECÇÃO DE MÁRMORE PARA CANTARIA EM QUIXABA, MUNICÍPIO DE PIO IX, PI.

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências da Universidade
de São Paulo

Orientador:
Prof. Dr. Reinholt Ellert

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005219

SÃO PAULO
1981

RESUMO

A Jazida de Mármore de Quixaba, no Piauí, era de economicidade controvertida para cantaria em vista do fraturamento do maciço e das impurezas da rocha aflorante.

Investigações sobre a litologia, estrutura e geomorfologia da área mostraram que essas feições são notáveis apenas nos afloramentos, com fortes expressões topográficas locais, enquanto que nas porções baixas do corpo de rochas carbonáticas ocorrem rochas maciças e puras.

Neste trabalho são discutidos os condicionantes geológicos, petrológicos e geomorfológicos identificados e os critérios de prospecção e caracterização tecnológica aplicados ao desenvolvimento e aproveitamento da jazida.

A grande variedade química de rochas, com propriedades físicas semelhantes, industrializadas e comercializadas por profissionais de formação não geocientífica, tem motivado o uso de termos ambíguos que dificultam o cômputo de dados e a avaliação do desempenho econômico do setor das cantarias.

Como contribuição ao estabelecimento de uma nomenclatura clara e precisa é apresentada uma classificação das rochas para a construção civil que correlaciona conceitos petrológicos, industriais e comerciais. Ainda, à luz dos poucos e esparços dados disponíveis, é feita uma análise do mercado nacional e internacional do mármore como pedra de cantaria.

RESUMO

i

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Proposta do autor	1
1.2 - Fundamentos da proposta	1
1.3 - Objetivos do trabalho	3
1.4 - Conteúdo do trabalho	4
1.5 - Agradecimentos	5
2 - GENERALIDADES SOBRE O MATERIAL ESTUDADO	7
2.1 - Conceito de mármore, cantaria, rocha e pedra	7
2.2 - Classificação das cantarias	13
2.3 - Fases da produção de cantarias	18
2.4 - Qualificação das rochas para cantaria	27
2.5 - Uso das rochas na construção	40
3 - GEOLOGIA DAS ROCHAS CARBONÁTICAS	57
3.1 - Mineralogia dos carbonatos	57
3.2 - Físico-química da sedimentação carbonática	62
3.3 - Geotectônica das rochas carbonáticas	71
3.4 - Petrologia das rochas carbonáticas	74
3.5 - Estágios geológicos das rochas carbonáticas	79
3.6 - Prospecção de rochas carbonáticas para cantaria	82

	iii
4 - PROSPECÇÃO DE MÁRMORE PARA CANTARIA EM QUIXABA	89
4.1 - Localização geográfica da jazida	89
4.2 - Fisiografia da área	89
4.3 - Evolução dos conhecimentos sobre a jazida	96
4.4 - Trabalhos recentes em Quixaba	109
5 - CONCLUSÕES	129
6 - BIBLIOGRAFIA	135

ÍNDICE DAS ILUSTRAÇÕES

FOTOS

Foto 1 - Estrutura a que pertence a jazida de mármore de Quixaba.	93
Foto 2 - Vista de uma das elevações de rochas carbonáticas impuras e fraturas contra as rochas silicáticas.	95
Foto 3 - Vista geral de uma frente de desmonte mostrando o flanco abrupto das elevações de mármore impuro e fraturado, contra a porção de mármore branco e maciço coberta por solo avermelhado.	95
Foto 4 - Vista da escarpa de uma das elevações mostrando o fraturamento horizontal e as caneluras.	119
Foto 5 - Horizontes de nódulos silicáticos intercalados concordantemente no corpo de mármore de Quixaba.	119

FIGURAS

Figura 1 - Evolução da produção brasileira de mármore, em toneladas.	50
Figura 2 - Evolução das reservas brasileiras de mármore, em toneladas.	52

Figura 3 - Evolução do comércio exterior brasileiro de mármore, em toneladas.	54
Figura 4 - Conteúdo porcentual dos ions carbonato e bicarbonato na água do mar de salinidade de 35 ⁰ /oo.	64
Figura 5 - Correlação do conteúdo de calcário com a profundidade oceânica.	70
Figura 6 - Correlação da natureza física e química dos sedimentos geossinclinais com os movimentos tectônicos da Região Atlântica.	73
Figura 7 - Classificação das rochas carbonáticas quanto à composição químico-mineralógica.	76
Figura 8 - Localização geográfica da jazida de mármore de Quixaba.	90
Figura 9 - Síntese geológica e estrutural da região sudeste do Piauí, sudoeste do Ceará e noroeste de Pernambuco.	98
Figura 10 - Síntese geológica e estrutural fotointerpretada da região de Quixaba.	110
Figura 11 - Mapa geológico de parte do corpo de mármore de Quixaba.	112
Figura 12 - Seção geológica através do corpo de mármore de Quixaba, segundo a linha 500 N.	113
Figura 13 - Difractogramas de raios-X de algumas amostras de mármore de Quixaba.	115
Figura 14 - Diagramas de frequência das fraturas para as porções norte e sul do corpo de mármore de Quixaba.	124

QUADROS

Quadro 1 - Grafia do termo "marmore" em vários idiomas	8
Quadro 2 - Classificação das rochas para construção quanto à natureza química, mineralógica e geológica.	15
Quadro 3 - Classificação das rochas carbonáticas quanto à aplicação.	19

Quadro 4 - Classificação das rochas silicáticas quanto à aplicação.	20
Quadro 5 - Etapas da produção de materiais de cantaria.	22
Quadro 6 - Periódicos especializados em materiais de cantaria do mundo.	24
Quadro 7 - Tipos de rochas considerados nas sucessivas edições do Anuário Mineral Brasileiro que tem aplicações como cantaria.	47
Quadro 8 - Produção brasileira de mármore para cantaria, em toneladas.	49
Quadro 9 - Evolução das reservas brasileiras de mármore na década de 1970, em toneladas.	51
Quadro 10 - Evolução do comércio exterior brasileiro de mármore para cantaria, em toneladas.	53
Quadro 11 - Dados de 1974 sobre rochas de construção de alguns países, em toneladas.	55
Quadro 12 - Correlação cristalográfica dos carbonatos ácidos dos metais bivalentes com seus raios atômicos.	59
Quadro 13 - Conteúdo aniônico formador de carbonatos em águas marinhas e fluviais.	65
Quadro 14 - Conteúdo catiônico formador de carbonatos em águas marinhas, a 25°C e seus produtos de solubilidade.	66
Quadro 15 - Classificação das rochas carbonáticas.	80
Quadro 16 - Atividades para avaliação de uma jazida de rocha para cantaria.	83
Quadro 17 - Resultados de exames petrográficos de amostras de rochas de Quixaba.	116
Quadro 18 - Características tecnológicas de mármore de Quixaba.	117

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Proposta do Autor

Como geólogo de mineração, enfrentando problemas de disponibilidade de recursos capazes de atender à demanda e às especificações industriais, ao empreender o Curso de Pós-Graduação a proposição foi realizar um trabalho ligado ao desenvolvimento de jazidas.

Dos tipos de minerais e de depósitos com que tem trabalhado, tais como de cobre e de cromo associados a rochas básicas-ultrabásicas, de manganês, de pegmatitos litíferos, de quartzitos puros, de argilas especiais, de sódio e potássio, o de mármore para cantaria é o que revelou aspectos mais interessantes para a realização de um trabalho que coadunasse com a meta estabelecida e pudesse ser apresentado como Dissertação de Mestrado.

A atuação no setor de pedras de cantaria permitiu a inteiração com problemas relativos à geologia de seus jazimentos, para cuja solução foi necessário estabelecer uma metodologia específica. São os resultados desse trabalho que o autor se propõe a apresentar.

1.2 - Fundamentos da Proposta

A idéia de desenvolver esse tema nasceu da problemática vivida durante as investigações de reavaliação da Jazida de Mármore de Quixaba, no Piauí. As opiniões acerca de um empreendimento mineiro no local eram controvertidas em vista do fraturamento do maciço e das impurezas da rocha observadas nos vários afloramentos da área.

Por ocasião do início das atividades, em 1976, para uma abordagem adequada das feições-problemas da jazida, foi procurado um esquema de prospecção que auxiliasse nos levantamentos. Dessa busca foi constatado que, enquanto faltam recursos para o beneficiamento, comercialização e conservação da pedra, são raras as publicações técnicas sobre pesquisas de recursos e sobre a abertura de frentes de extração. Conseqüentemente, enquanto as atividades de tratamento da pedra já alcançaram alto grau de sofisticação, o desenvolvimento de reservas deixa muito a desejar, constituindo o ramo da mineração mais carente de tecnologia.

Apesar da utilização das rochas para construção se dar sob várias formas e com diferentes finalidades, qualquer frente de extração é tratada como pedreira, caracterizada pelo empirismo que norteia seu desenvolvimento e aproveitamento.

O fato tem acarretado uma série de problemas relacionados à geologia do jazimento, principalmente quando se trata de mármore para cantaria, quando a rocha é utilizada na forma maciça, o que exige maior seleção do material na fonte. Nesses casos o sucesso de uma iniciativa para aproveitamento da rocha depende do perfeito conhecimento do depósito.

Com as atividades em Quixaba foi constatado que parte dos problemas que afetam o setor das rochas de construção, e em particular o de mármore para cantaria, é de ordem terminológica. Além de termos ambíguos, não existe uma classificação industrial simples, funcional e precisa situando as cantarias dentre os demais materiais rochosos e materiais de construção. Assim, a compilação e o tratamento estatístico dos dados têm sido prejudicados, impossibilitando a realização de diagnósticos e prognósticos realistas sobre o setor.

Preocupado com a desatenção das instituições técnicas e administrativas e com a falta de planejamento para as rochas de construção, na maioria dos países, que são recursos não-renováveis; o Centre for Natural Resources, Energy and Transport, do Department of Economic and Social Affairs, do United Nations Secretariat, clama por providências enérgicas e imediatas no sentido de desenvolvê-los e aproveitá-los racionalmente.

Por apresentar feições geológicas, tecnológicas e mercadológicas em quantidade e variedade considerável, já em fase avançada de conhecimentos, a Jazida de Mármore de Quixaba presta-se bastante para elucidação do desenvolvimento desse tipo de bem mineral.

O apelo internacional e o resultado das pesquisas em Quixaba despertaram o interesse pelo assunto e foram decisivos para a escolha do tema desta dissertação.

1.3 - Objetivos do Trabalho

Um dos objetivos desta Dissertação é apresentar uma metodologia para prospecção de mármore para cantaria, almejando preencher parte da lacuna causada pela falta de trabalhos na área dos condicionantes geológicos de jazidas desse tipo de material.

Esta explanação visa, também, atribuir sentido mais técnico e científico às atividades de desenvolvimento e aproveitamento dos recursos minerais de mármore para cantaria, contribuindo para maior disponibilidade de material, com qualidade compatível com as demandas interna e externa.

Outro objetivo deste trabalho é chamar a atenção para a importância do setor das cantarias como campo de de-

envolvimento tecnológico integrado à aspectos ecológicos e urbanísticos, como meio de emprego de mão-de-obra e como fonte de reservas monetárias.

Sem pretender esgotar o assunto, a finalidade desta Dissertação é suscitar o debate em torno do tema, fazendo com que mais profissionais se interessem por ele e divulguem suas experiências. Com mais elementos para o aproveitamento das pedras de cantaria, é de se esperar maior rentabilidade no processo, maior participação de grupos econômicos, maior oferta de material de melhor qualidade, melhores padrões na construção civil, além de se conquistar uma maior parcela do mercado mundial, importante para o fortalecimento da nossa economia.

1.4 - Conteúdo do Trabalho

São discutidos aqui os condicionantes geológicos do desenvolvimento e aproveitamento de jazidas de mármore para cantaria, com base nos resultados dos estudos em Quixaba.

Como base para o desenvolvimento do tema proposto são feitas considerações sobre a conceituação, classificação, produção, qualificação e utilização do material estudado.

Entendendo que para a conceituação das cantarias seja necessária uma nomenclatura clara e precisa, são discutidos aspectos terminológicos e classificatórios das rochas e demais materiais de construção, em todas as fases de sua produção.

Pertencentes a outro campo da tecnologia mineral, mas relacionados às feições do jazimento e regulamentadores do uso das rochas, são apresentados os métodos de qualifi-

cação das rochas, padronizados pela engenharia.

Ainda, na tentativa de apresentar um diagnóstico sobre o setor do mármore como cantaria foram compilados e interpretados os dados disponíveis sobre reservas e produção brasileiras e sobre o mercado internacional em complemento à pesquisa de mercado realizada nas regiões norte e nordeste do Brasil.

Para maior compreensão dos condicionantes da prospecção e aproveitamento do mármore como cantaria são apresentados aspectos sobre a geologia das rochas carbonáticas correntes na literatura.

Tendo contribuído com grande quantidade de dados para a realização deste trabalho, são descritas as atividades desenvolvidas e são discutidos os resultados obtidos com a avaliação da Jazida de Quixaba.

1.5 - Agradecimentos

Quanto mais se especializa em ciência e tecnologia, mais rareiam os trabalhos de autoria exclusiva. Tratando-se de jazidas minerais, quase sempre geograficamente distantes e de abordagens complexas, é praticamente impossível desenvolver-se uma pesquisa completa que não envolva recursos técnicos e financeiros de várias instituições e de vários campos de especialização. Assim, esta Dissertação de Mestrado não teria sido realizada não fosse a sinceridade e despretenção dos colaboradores.

Logo após o encerramento dos trabalhos de campo, foi-me dada permissão para utilização dos dados, de propriedade da Companhia de Desenvolvimento do Piauí - COMPEDI, na época sob a presidência do geólogo Aurimar de Barros Nunes.

Do Piauí, também foi grande a colaboração do geólogo César Negreiros Barros Filho, que informou os resultados das atividades em Quixaba, entre o término das pesquisas de campo e a conclusão desta. Importante, igualmente, foi a ajuda dos moradores do local, encarregando-se do árduo serviço de marreta, escavação de poços e porte das amostras sob o sol escaldante do sertão.

Os incentivos e as facilidades concedidas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT, em especial pela Divisão de Minas e Geologia Aplicada - DMGA, foram de grande valor. Na DMGA foi notável a contribuição dos geólogos, engenheiros e técnicos do Agrupamento de Geologia Geral, do Agrupamento de Minas, do Agrupamento de Petrologia, do Agrupamento de Documentação e da Seção de Desenho.

Outra grande contribuição foi prestada pelos que se ocuparam da datilografia e revisão do texto que preferiram ficar no anonimato.

Este trabalho não teria sido realizado não fosse a orientação do Professor Doutor Reinholt Ellert, mestre conselheiro desde o Curso de Graduação, a quem devo muito de minha carreira profissional.

Ficam a todos sinceros agradecimentos.

2 - GENERALIDADES SOBRE O MATERIAL ESTUDADO

2.1 - Conceito de Mármore, Cantaria, Rocha e Pedra

A palavra "mármore" é derivada do termo latino "marmor", ou "marmore", oriundo, por sua vez, do grego "marmairein", ou "marmaros", que significa "reluzente". Acredita-se que essa terminologia tenha sido determinada pelas rochas de rara beleza estética e fácil trabalhabilidade, adequadas à construção e ornamentação, que chamaram a atenção dos habitantes de Roma e Grécia antigas.

Sendo ainda desconhecidas as feições físicas e químicas das rochas, crê-se que tal conceituação tenha sido inconscientemente relacionada às rochas carbonáticas metamorfizadas, típicas do cinturão orogênico que atravessa as regiões onde floresceram aquelas civilizações.

Com sua mentalidade expansionista, os romanos difundiram o uso da pedra entre os povos do ocidente da Europa, fazendo com que a correspondente designação tivesse a mesma raiz em quase todos os idiomas (Quadro 1). Entretanto como as novas regiões ocupadas apresentavam constituições litológicas diversas, os conquistadores foram obrigados a utilizar as rochas então disponíveis. Apesar das aparências diferentes, muitas das novas rochas mostravam semelhanças com as conhecidas na pátria, motivo pelo qual elas foram denominadas "mármore granítico" (MOTINOT, 1973). Com isso, o significado petrológico original do termo "mármore" foi alterado. Com um sentido industrial, ou comercial, passou a compreender toda rocha apropriada para construção e ornamentação.

Com o desenvolvimento da Mineralogia e Petrologia,

QUADRO 1	
GRAFIA DO TERMO "MÁRMORE" EM VÁRIOS IDIOMAS	
GRAFIA	IDIOMA
marble	inglês
marbre	francês
marmer	holandês
marmo	italiano
marmol	espanhol
marmor	alemão
marmor	suéco
mpamop	russo
marmur	polonês
marmura	rumeno
márvány	húngaro

mormente a partir dos Séculos XVII e XVIII, e o reconhecimento das propriedades físicas e químicas das rochas, o termo "mármore" passou a ser utilizado com várias conotações, nos diversos países, conforme a formação técnica de quem o emprega. Enquanto os profissionais ligados às geociências (geólogos, petrólogos) tendem a mantê-lo como designação de rochas carbonáticas metamórficas, os demais técnicos que trabalham com rochas (engenheiros civis, arquitetos, comerciantes) conservam a conceituação quanto à aplicabilidade. Por isso MAMET & D'ALBISSIN (1967) recomendam cuidado na utilização da palavra e que sejam preferidas as denominações compostas de Grubenman e de Holmes. Em 1910, Grubenman criou um esquema de denominação baseada nos minerais aces-

sórios, como forsterita-mármore, diopsídio-mármore, e em 1920, Holmes sugeriu uma denominação em função do grau de metamorfismo, como epi-mármore, cata-mármore.

Petrologicamente, a conceituação de "mármore" tem sido baseada na natureza química (químico-mineralógica), na natureza física (grau de cristalinidade, coesividade, resistividade mecânica) e no jazimento da rocha (metamórfico). No entanto por se tratarem de parâmetros amplamente variáveis, não tem havido uniformidade no emprego da nomenclatura, mesmo entre os profissionais das geociências das várias nacionalidades.

Para os americanos, conforme definição dada por Dana em meados do Século XIX, "mármore" é uma rocha metamórfica constituída, principalmente, de calcita e de dolomita. (HURLBUT, 1941.) Trata-se, portanto, de um conceito petrológico, também adotado por JUNG (1963), MIYASHIRO (1975), WINKLER (1977), AZAMBUJA & SILVA (1977) e outros geólogos de todo o mundo.

Para os europeus, de acordo com a definição de Harker no começo do Século XVIII, "mármore é calcário cristalino, independentemente de sua natureza sedimentar ou metamórfica" (MAMET & D'ALBISSIN, 1967). Essa conceituação tem sido mais usada, comercialmente, para designar um conjunto de rochas cristalinas constituídas de calcita, dolomita e serpentina, suscetíveis de polimento (HURLBUT, 1941; POWER, 1975; SHELTON & DRAKE, 1975; AZAMBUJA & SILVA, 1977) e que pela estética agradável, podem ser usadas como elemento estrutural e ornamental na construção civil. Esse é o sentido comumente utilizado pelos engenheiros civis, arquitetos, comerciantes e construtores, para quem importam só as características tecnológicas da rocha.

Com a introdução da suscetibilidade ao polimento na conceituação de "mármore", por Jacques Lapparent, em 1923

(MENDES, 1974), ficou indiretamente estabelecido o conceito de "cantaria". A palavra é composta do prefixo "canto = pedra preparada para formar o ângulo de uma construção = esquadria de pedra" proveniente do grego "kanthōs", ou do latim "kanthus", que significa "ângulo, aresta", e pelo sufixo "aria = atividade" (FERREIRA, 1975). E, o profissional das cantarias é chamado "canteiro".

Como o polimento é uma característica física comum à muitas rochas cristalinas, sejam elas de origem ígnea, sedimentar ou metamórfica, o grupo dos materiais de cantaria engloba uma série de termos litológicos física e quimicamente diferentes. Dessa forma, em lugar de contribuir para a solução do problema terminológico, ele aumentou os pontos de conflito na utilização da palavra "mármore". MENDES (1974) cita que, na França, Paul Dumont tratou exaustivamente dessa questão, tendo chegado a sugerir que o vocábulo fosse banido da literatura para evitar situações indesejáveis de desprezo a determinadas rochas de valor. MENDES cita que Dumont sugeriu igualmente que, por possuir interesse econômico, o mármore seja considerado "minério" e não apenas como "rocha". MENDES continua dizendo que, menos radicais que Dumont, mas também interessados na solução do problema, Motinot e a Federação Marmorista Francesa sugeriram, respectivamente, a utilização do substantivo latino "marmor" e do adjetivo "marmóreo" para designarem o conjunto de rochas suscetíveis ao polimento.

Sem uma terminologia clara e precisa, algumas instituições de normas de materiais de construção têm usado o termo "mármore" como sinônimo de "calcário cristalino". E a distinção entre vários tipos comerciais de rochas é feita por adjetivação, de forma a bem caracterizá-los por uma de suas feições típicas. Por vezes, as características inerentes a certos tipos tradicionais de rochas são conhecidas pelo seu local de origem. Assim, numa versão modernizada de Grubenman, esse é o esquema de denominação adotado nos catá-

logos da VERMONT MARBLE COMPANY (1971), do BUILDING STONE INSTITUT (1972), da ITALIAN MARBLE INDUSTRIE (1972, do Departamento Nacional da Produção Mineral (AZAMBUJA & SILVA, 1977). Citam-se como exemplos brasileiros dessa nomenclatura o mármore branco cintilante, o mármore ônix ouro, o mármore rosa bahia, o mármore branco espírito santo e outros.

Neste trabalho, o termo "mármore" terá conotação exclusivamente petrológica, compreendendo rochas carbonáticas cristalinas de jazimentos metamórficos.

Rochas carbonáticas são aquelas compostas essencialmente de minerais carbonatos. Apesar de numerosos, nas rochas de cantaria eles são representados somente por calcita e dolomita.

Do ponto de vista físico, existem dois tipos de rochas carbonáticas: de baixos e de altos graus de cristalinidade.

As primeiras são chamadas genericamente de "calcários", incluindo alguns tipos litológicos conhecidos por travertino, ônix, conchas. Ocorrem em camadas horizontais, resultantes de deposição de clásticos, exibindo textura aglomerática, porosa, ou de precipitação química, quando são amorfos ou microcristalinas. Os calcários ocorrem ainda em corpos tabulares com várias atitudes, resultantes da ação de esforços sobre as camadas horizontais, com textura microcristalina. Em qualquer caso, são rochas de baixo grau de coesividade, inadequadas para cantaria.

As rochas do segundo grupo são os "mármore" propriamente ditos. Ocorrem em corpos de várias formas e posições, resultantes de ação térmica de corpos intrusivos próximos. São rochas holocristalinas, densas, de porosidades praticamente nulas e com altas coesividades, bastante apro-

priadas para cantaria.

Normalmente os calcários são transformados em mármore por ação de metamorfismo, através de recristalização. Como resultado ocorre obliteração de grande parte das feições sedimentares, como a estratificação, porosidade, densidade e coesividade. Enquanto que a porosidade dos calcários é da ordem de alguns porcentos, a dos mármore é da ordem de centésimos dessa mesma cifra (CHILINGAR, BISSEL & FAIRBRIDGE, 1967; BATHURST, 1971). Conseqüentemente, a densidade e a resistência aos esforços mecânicos dos mármore são maiores que as dos calcários.

Neste trabalho, o termo "cantaria" será empregado com sentido comercial, compreendendo todos os materiais rochosos passíveis de adquirir lustro pelo polimento.

Quanto aos vocábulos "rocha" e "pedra", embora sejam utilizados como sinônimos, existem diferenças fundamentais em seus significados (BOWLES, 1939; WINKLER, 1975). Enquanto que a palavra "rocha" é aplicada para designar o material bruto, em seu local original, formando maciços, "pedra" é utilizada para indicar porções do material libertado por meio de rupturas naturais, artificiais ou de cortes aprimorados. Em outras palavras, as pedras são fragmentos de rochas com formas rústicas (lascas) ou com formas esquadrejadas (blocos, paralelepípedos, placas, etc.).

Neste trabalho, para referências aos aspectos tecnológicos do material, válido para todo maciço, é empregado o termo "rocha" e, quando se referir às peças, em qualquer estágio de industrialização, é utilizado o termo "pedra".

2.2 - Classificação das Cantarias

A solução para o problema de nomenclatura das cantarias está numa classificação simples e funcional, que agrupe e correlacione todos os materiais de construção por seus aspectos técnicos e comerciais.

CURRIER (1960), ERGUVANLI, YÜZER, GÜLEÇ & ZANBAK (1974), PETRUCCI (1974) e TOURENQ (1974), reconhecendo a importância das rochas para construção, propuseram alguns esquemas, mas somente para certos tipos de materiais e com finalidades específicas.

Na opinião corrente, a classificação das rochas para construção deve ser baseada em suas naturezas petrológicas ou em suas aplicações. Como as características petrológicas são funções dos processos formadores da rocha, sua classificação deve ser fundamentada nos princípios geológicos. E como a aplicação depende das naturezas físicas e químicas, nessa chave devem ser correlacionadas a forma e finalidade com que são utilizadas.

A classificação mais geral é a de PETRUCCI (1974). Ele começa dividindo os materiais em artificiais e naturais.

Os materiais de construção artificiais ou sintéticos, são obtidos através de processos industriais, a partir de materiais naturais, como as olarias, o cimento, os metais, o vidro, as cerâmicas. Eles não serão analisados neste trabalho por compreenderem outros campos de investigações.

Os materiais de construção naturais são utilizados como encontrados na natureza, exigindo, apenas, modela-

gem segundo os padrões da obra. São as madeiras e as rochas. Somente as segundas são afins deste trabalho.

Quanto à natureza geológica, ou quanto ao modo de formação, as rochas podem ser não consolidadas ou consolidadas. O primeiro grupo compreende as areias, os cascalhos, as argilas, importantes materiais de construção do campo dos recursos minerais, mas não considerados comercialmente como rochas. Apesar de tratar-se de outro setor de minerais para a construção que clama por maiores estudos, ele não será discutido aqui. O segundo grupo engloba tanto as rochas aglomeráticas (anteriormente não-consolidadas) como as rochas cristalinas.

Quanto à natureza química, ou quanto à composição mineral, as rochas para construção são classificadas em silicáticas e carbonáticas (Quadro 2). Silicáticas são as rochas constituídas, fundamentalmente, de um ou mais minerais silicatos, como quartzo, feldspato, mica, piroxênio, anfibólio, serpentina, talco. E carbonáticas são as rochas formadas, predominantemente, de um ou mais minerais carbonatos, como calcita, dolomita, magnesita.

Tanto na Europa como nas Américas, para designar o grupo de rochas para construção, tem sido usado o termo "pedra de construção" = building stone", compreendendo todas as espécies tenazes, desde exemplares comuns, até tipos exóticos das mais variadas texturas e composições químico-mineralógicas. A apreciação das rochas de construção, quanto aos aspectos texturais e composicionais, é importante para escolha do material mais adequado à finalidade desejada e conseqüentemente, obtenção de maior durabilidade da obra.

Quanto à aplicação, as rochas de construção são divididas em brita e talhe. Em geral, as especificações para elas são mais ou menos as mesmas, mas seus métodos de

QUADRO 2 - CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS PARA CONSTRUÇÃO QUANTO A NATUREZA QUÍMICA, MINERALÓGICA E GEOLÓGICA

QUADRO 2 - CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS PARA CONSTRUÇÃO QUANTO A NATUREZA QUÍMICA, MINERALÓGICA E GEOLÓGICA												
<div>QUÍMICA</div> <div>GEOLÓGICA</div>		MINERALÓGICA	SILICÁTICA									CARBONÁTICA
			piroxênítica	piroxênio-feldspática	feldspática	quartzo-feldspática	quartzosa	quartzo-micácea	micácea	micáceo-argilosa	argilosa	calcítica dolomítica
ORIGEM	GEOLÓGICA											
Ígnea	grosseira (intrusiva)	piroxenito dunito	gabro diabásio	sienito	granito diorito charnoquito							carbonatito
	fina (extrusiva)		basalto	andesito	diabásio basalto							
sedimentar	aglomerática grosseira				conglomerado							
	aglomerática média				arcósio	arenito						
	aglomerática fina									argilito folhelho siltito	calcário	
	sacaroidal					silexito						
metamórfica	cristaloblástica finas e grosseiras	serpentinito	anfíbolito	gnaisse	gnaisse migmatito granulito	quartzito	quartzito -micáceo	xisto	filito	ardósia	mármore	

prospecção, extração e beneficiamento são completamente diferentes.

Brita ("crushed stone") é a pedra triturada, em fragmentos de formas irregulares, aproximadamente equidimensionais, e tamanhos dentro de limites prefixados pela engenharia. Ela é utilizada em concreto, lastro de estradas, enrocamentos, etc.

Pedras de talhe ("dimension stone", "pierre de taille") são aquelas que apresentam a propriedade de se partirem segundo direções mais ou menos ortogonais, produzindo blocos ou placas, de superfícies razoavelmente planas. As peças, dependendo da forma e do tamanho, são utilizadas como elemento estrutural em muros, colunas e vigas de edifícios, monumentos, arruamentos, esculturas. As peças menores são chamadas paralelepípedos ("rubble stone"). As placas são utilizadas em coberturas, revestimentos, pisos, tampos. São rochas adequadas para esses fins os granitos, gnais, xistos, ardósias, basaltos, quartzitos, arenitos, calcários, mármore. Em qualquer caso, como resultado final de sua utilização, tem-se um acabamento rústico, conhecido por "alvenaria".

Segundo FERREIRA (1975), antes de passar pelo português antigo "alvanaria", o termo "alvenaria" é originário do árabe "al-bannā = alvanel = pedreiro". As designações desse profissional, em francês e inglês, são, respectivamente, "maçon" e "mason". E as correspondências à "alvenaria", nos mesmos idiomas e na mesma ordem, são "maçonnerie" e "masonry". Esses termos franceses e ingleses têm a mesma raiz grega em "magma = pasta pétrea" e em "massein = amassar com água", que antes passaram pelo latim como "macerare" e pelo saxônico como "makon", com sentido de "afeiçoar a terra" (PICOCHÉ, 1971).

Com alvenaria é erguida uma construção estável

pela justaposição horizontal e vertical desordenada de blocos com variadas formas e tamanhos, ligados ou não por argamassa. Quando sem argamassa, são chamadas alvenarias de pedra seca, mantidas em equilíbrio por ação de cargas exteriores e do próprio peso dos blocos. Se com argamassa, são chamadas alvenaria de pedra argamassada, em que o ligante une as peças preenchendo os vazios, impermeabilizando o maciço e distribuindo os esforços (CAVALCANTI, 1951).

Quando as pedras de talhe puderem ser serradas e polidas, em peças de formas e tamanhos pré-estabelecidos pelos projetos arquitetônicos, recebem o nome de cantaria. O corte e o polimento valorizam a peça por imprimirem-lhe faces planas lustrosas, que aumentam a durabilidade e realçam a beleza estética, qualidade fundamental para que a pedra seja utilizada como elemento decorativo. Dessa forma, além das propriedades necessárias para a pedra de talhe, as pedras de cantaria devem ser passíveis de corte, polimento e devem apresentar boa aparência. São pedras de cantaria o mármore, granito, gnaiss, serpentinito, muito utilizadas em pisos, revestimentos de interiores e exteriores, em mobiliários e estatuária.

Diante do grande número de propriedades comuns a grande variedade de rochas, não existem limites bem definidos entre pedras de talhe e de cantaria. Em geral, toda pedra de cantaria também é pedra de talhe, porém o contrário nem sempre é verdadeiro. Como exemplo de rochas que servem para alvenaria, mas que não servem para cantaria citam-se o quartzito, arenito, ardósia, xisto.

Entre os americanos (POWER, 1975; SHELTON & DRAKE, 1975), não é feita muita distinção entre pedras de talhe ("dimension stone") e pedras de cantaria ("cut stone").

No Brasil, apesar das tentativas de aperfeiçoamen-

to, os dados sobre as pedras de construção são apresentados globalmente, ora por tipos de rochas, ora por destino dos mesmos, impossibilitando diagnósticos e prognósticos realistas sobre sua demanda e a utilização de cada um deles. Principalmente para os grupos que incluem grande variedade de rochas, com grande número de aplicações, os dados globais deixam de ter significado. É o caso das rochas carbonáticas (calcários e mármore) que, além de usos na construção como brita, cantaria e alvenaria, ainda são utilizados na indústria química (cimento que também vai para a construção) na agricultura, na metalurgia. É o caso, também, das rochas quartzosas (quartzitos, arenitos, granitos, gnaisses), que além das inúmeras aplicações na construção (brita, alvenaria, cantaria), são aproveitadas como abrasivos, moldes de fundição e matéria prima para indústria de vidro.

Quanto ao destino dos materiais, é norma, nas sucessivas edições do Anuário Mineral Brasileiro (BRASIL, 1972 a 1980), a reunião de areias e cascalhos com brita; dois tipos de materiais rochosos com mesmos destinos, mas de ocorrências geológicas e de processos de industrialização diferentes. O maior discernimento entre os destinos dados aos vários materiais rochosos na construção (Quadros 3 e 4) é feito pelo United States Bureau of Mines (UNITED STATES, 1978 A e B).

Para as pedras de cantaria, cujos processos de produção e destinos são iguais para todos os tipos litológicos, não há inconvenientes na universalização dos dados de produção e consumo, mas, em se tratando do desenvolvimento de reservas, é preciso tratamento específico para cada espécie de rocha (CURRIER, 1960).

2.3 - Fases da Produção de Cantarias

Do maciço rochoso à construção acabada, as rochas

QUADRO 3 - CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS CARBONÁTICAS QUANTO A APLICAÇÃO

ROCHA	FORMA	CONSTRUÇÃO	OUTRAS INDUSTRIAS
calcário	brita	concreto - pavimentação - enrocamento - filtro -	química - cimento - cal - descorante - ferro silício - remoção SO ₂ - papel - neutralizante agricultura - alimentação - fundente - refratário - vidro - abrasivo - carga -
	talhe	monumento - alvenaria - coluna - viga - parede-muro cantaria - revestimento - piso-peitoril - moldura - mobiliário arruamento - guia-sargeta - calçamento	
mármore	brita	concreto - pavimentação - enrocamento -	química - alimentação -
	talhe	monumento - alvenaria - coluna - viga - parede-muro cantaria - revestimento - piso-peitoril - moldura - mobiliário - escultura arruamento - guia-sargeta - calçamento	

QUADRO 4 - CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS SILICÁTICAS QUANTO À APLICAÇÃO			
ROCHA	FORMA	CONSTRUÇÃO	OUTRAS
granito	brita	concreto - pavimentação - enrocamento - filtro -	alimentação carga
	talhe	monumento - alvenaria - coluna - viga - parede muro cantaria - revestimento - piso peitoril - moldura - mobiliário - escultura arruamento - guia-sargeta - calçamento - mourão	
basalto	brita	concreto - pavimentação - enrocamento filtro	carga
arenito	brita	agregado - filtro -	carga abrasivo vidro fundição refratário
	talhe	arruamento - calçamento alvenaria - parede-muro	
ardósia	talhe	alvenaria - cobertura - piso mobiliário - tampo de mesa - quadro negro	eletrônica

passam por várias etapas de processamento (Quadro 5).

A primeira é a prospecção. Ela compreende todas as investigações geológicas do jazimento e da rocha, para definição do local onde implantar a pedreira, em termos de qualidade do material e da situação geográfica.

A fase subsequente é a industrialização, compreendendo a extração, o desbaste, a serragem e o polimento. Apesar de profundamente diferentes, essas atividades são reunidas numa mesma etapa por fornecerem produtos para a fase seguinte, de comercialização. Após a extração dos blocos, as demais operações são executadas conforme o destino específico das peças. Ao passo que, a produção de alvenaria se completa com o desbaste e modelagem, a produção de cantaria segue até a serragem e polimento. Apesar do alto grau de desenvolvimento tecnológico já alcançado, os processos de industrialização das pedras são afetados por sérios problemas (YOSHIDA, 1972).

A comercialização reúne atividades de divulgação do material que, depois de conquistado posição competitiva no mercado, estará em condições de venda. A comercialização compreende o transporte das peças acabadas, das oficinas de beneficiamento (marmorarias), até a obra. O deslocamento das peças exige cuidados especiais que, juntamente com os combustíveis, consistem num importante fator para a composição do preço final do produto e, portanto, da viabilidade da jazida.

A aplicação consta do arranjo e colagem das peças na obra. Trata-se de uma atividade eminentemente artesanal e seu bom resultado depende da beleza e aderência da pedra e da habilidade artística do canteiro.

Pronta a obra, iniciam-se as atividades de conser-

QUADRO 5 - ETAPAS DA PRODUÇÃO DE MATERIAIS DE CANTARIA

Fase	Atividade	Produto		Subproduto
		Alvenaria	Cantaria	
Prospecção	Investigações geológicas	Pedreira		-
Industrialização	Extração	Blocos de vários tamanhos	-	Lascas, pedrisco
	Desbaste, modelagem	Peças de várias formas e tamanhos	-	Pedrisco
	Serragem	Placas rústicas		Cacos, pedrisco, pó de mármore
	Polimento	-	Peças polidas	Cacos, pedrisco, pó de mármore
Comercialização	Propaganda, venda, transporte	Blocos e peças rústicas	Placas e peças polidas	Cacos, pedrisco, pó de mármore
Aplicação	Arranjo, colagem	Obra acabada		Cacos
Conservação	Limpeza, proteção	Manutenção do lustro, manutenção da beleza, maior durabilidade da obra		-

vação. Sua eficiência depende do cuidado no uso dos materiais de limpeza e de proteção. Cada tipo de pedra exige uma modalidade de conservação específica.

Apesar da íntima relação de cada uma das etapas de produção das cantarias com a imediatamente anterior, não tem havido sua perfeita integração nos empreendimentos, principalmente com a prospecção. Em geral, os blocos são produzidos por pequenos grupos isolados de extratores, numa atividade semelhante ao garimpo (AZAMBUJA & SILVA, 1977), e vendidos às indústrias de beneficiamento, cujos processos valorizam o produto de 140% a 420% (MENDES, 1974). Tal concentração de rentabilidade, se por um lado tem favorecido o extraordinário desenvolvimento dos métodos de afeiçoamento da pedra, por outro tem circunscrito as atividades da fase de apropriação de recursos das atividades das fases de beneficiamento.

O fato tem causado grandes desníveis técnicos e financeiros entre as etapas iniciais e finais do processo dificultando o estabelecimento de um fluxo industrial adequado à demanda. Com índices de expansibilidade praticamente nulos há muitos anos e com baixas produtividades de $2,5 \text{ m}^3/\text{homem/mês}$ (MENDES, 1974), a extração de blocos não tem conseguido abastecer as marmorarias que, por vezes, têm sido obrigadas a reduzir o ritmo de trabalho. Não dispondo de materiais em quantidades suficientes para suas obras, os construtores são levados a optar por substitutos, com graves consequências para ambos os setores.

Uma outra feição desse mesmo problema é a notável concentração da divulgação de trabalhos nas atividades de industrialização, aplicação e conservação, enquanto que as atividades de prospecção têm ficado por conta de tratamentos empíricos. Apesar da grande quantidade de periódicos de várias nacionalidades (Quadro 6) e encontros específicos para cantaria (ROSSI & TORRACA, 1972 e 1976), quase nada existe

QUADRO 6 - PERIÓDICOS ESPECIALIZADOS EM MATERIAIS DE CANTARIA		
PAIS	NOME DO PERIÓDICO	ENDEREÇO
ALEMANHA	STEINMETZ UND STENBILDHAUER	Streitfelstrasse 35 Munchen 8
	DER NATURSTEIN	Frauentstrasse 77-79 Ulm-Donau
	DIE NATURSTEIN INDUSTRIE	Geleitstrasse 105.605 Affenbach
BÉLGICA	STEEN EN MARMER - PIERRE ET MARBRE	Galerie du Centre, Bureau 328 Bruxelles I
BRASIL	ROCHAS DE QUALIDADE	Av.Prestes Maia,241, cj.3520 01031 - São Paulo, SP
ESPAÑA	MARMOLES Y GRANITOS	Mallorca, 272-274 - Tda.1ª Barcelona 9
ESTADOS UNIDOS	MONUMENTAL NEWS-REVIEW	142 W.WASHINGTON St Bradford - Penna 16701
	ART IN STONE	343, Granite Street, Baintre Mass
	STONE MAGAZINE	1100 Waterway Bird Indianapolis Ind. 46202
FRANÇA	LE MAUSOLÉE	26, Rue du Mollin B.P.B.69 Givors
HOLANDA	NATURSTEEN	Keizergracht 11.1 Amsterdam C
INGLATERRA	STONE INDUSTRIES	54-55 Wilton Road London S.W.
	THE QUARRY MANAGERS	62-64 Baker Street London W.1
	INDUSTRIAL DIAMOND REVIEW	131 Fleet Street London E.C.4
ITÁLIA	MARMI GRANITI PIETRI	Via Boccaccio 24 201123 - Milano
	L'INFORMATORE DEL MARMISTA	Via del Minatore 5/b 37100 Verona
	BORSA MARMI	Via Tolentino 5 Milano
	MARMO MACCHINE	C.P.1068 28100 - Milano
	IL GIORNALE DEL MARMO	Via Don Minzoni 27 Garrara
	PIETRI	Via Nizza 59 20129 Roma
SUIÇA	KUNST UND STEIN	Gmeinerweg 1 8047 - Zurich

Segundo ROCHAS DE QUALIDADE, maio/junho, 1976, p.26.

sobre a avaliação de recursos desses materiais.

Tal comportamento, em relação a esse setor da indústria extrativa mineral, tem sido justificado pela abundância de rochas e pela facilidade de extração na maioria dos países, admitindo-se o atendimento da demanda como certo e garantido, a médio e longo prazo (25 anos). Outra justificativa tem sido a instabilidade da moda, desencorajadora de investimentos de retorno não imediato. Entre investir no desenvolvimento de um recurso mineral, que pode se tornar ultrapassado a qualquer momento, ou em equipamentos que podem ser utilizados no beneficiamento de qualquer rocha que venha ser preferida, os empresários têm concentrado seus esforços nas atividades de industrialização, (POWER, 1975; SHELTON & DRAKE, 1975; AZAMBUJA & SILVA, 1977).

Sem apoio e sem incentivos financeiros, profissionais e empresários têm preferido os empreendimentos na área dos minerais metálicos que, além de mais protegidos pelos órgãos governamentais, apresentam maiores impactos econômicos, sociais e desafios técnicos.

Do ponto de vista econômico, os preços de uma tonelada beneficiada ($12,5 \text{ m}^2$ de placas polidas) com que são oferecidos no mercado cantarias de mármore e de granito, demonstram, quando não sua superioridade, a equiparabilidade aos preços dos minerais metálicos mais valiosos (UNITED NATIONS, 1976; BRASIL, 1980). Os empreendimentos da área das cantarias têm ainda a seu favor os pequenos investimentos em relação aos metálicos.

Do ponto de vista social, por compreender atividades essencialmente manuais, que não exigem altos níveis de qualificação profissional, a extração da pedra se presta bastante para os programas de tecnologia intermediária, com a fixação de mão-de-obra alternativa com atividades agríco-

las (UNITED NATIONS, 1976).

Do ponto de vista técnico, os desafios do setor das cantarias não são menores do que as demais indústrias extrativas minerais. Se os recursos em rochas para construção são inesgotáveis, a ponto de justificar a desnecessidade de pesquisas geológicas (POWER, 1975; SHELTON & DRAKE, 1975), seu aproveitamento é limitado por uma série de fatores econômicos e geográficos. Com a expansão dos centros urbanos, da demanda de materiais de construção e com o aumento dos preços do transporte, tem sido cada vez mais necessária a retomada de pedreiras abandonadas e o desenvolvimento de novas fontes, mais próximas e mais rentáveis. E a extração de pedras para construção tem outro argumento a seu favor; quando bem planejada, é das atividades que menos afetam a ecologia, dado o caráter restrito de seu desmonte e o elevado grau de seu aproveitamento, sem acúmulo de rejeitos inúteis e poluentes (UNITED NATIONS, 1976).

Essas opiniões de vários autores mostram que os impactos econômicos e sociais e os desafios técnicos dos empreendimentos da área dos metálicos são apenas aparentemente maiores do que os da área das cantarias, não se justificando a desatenção para com elas.

Enquanto tem perdurado essa mentalidade o aproveitamento dos recursos em rochas para cantaria têm ficado a cargo de aventureiros, sem condições técnicas e econômicas de uma exploração racional. Quase sempre constituindo micro explorações de cunho anárquico, os mineradores têm atuado de maneira errática, intermitente e improvisada, através de métodos rudimentares. Assim, sem nenhuma orientação técnica, muitas pedreiras têm sido abertas ao acaso e abandonadas pouco depois, por terem se tornado antieconômicas, frente aos problemas relativos, principalmente, à geologia dos jazimentos. O fato tem ocorrido mesmo na Itália, França e Portugal,

os maiores produtores mundiais de cantarias (SHELTON & DRAKE, 1975). Em Portugal, por exemplo, a quantidade de pedreiras abandonadas chega a perfazer 80% das existentes (LADEIRA, 1977).

Quanto às vantagens ou desvantagens da constituição de empresas que se encarreguem de todas as atividades de produção de cantarias, ou de empresas que se dediquem a atividades específicas da produção de cantarias, não há grande concordância entre os técnicos do setor (CAVALCANTI, 1951; CURRIER, 1960; MENDES, 1974 e 1979A; POWER, 1975).

A coexistência de produtores autônomos de blocos, de um lado, e de beneficiadores, de outro, parece ser pacífica. Ela tem proporcionado ganhos mensais acima dos pisos salariais aos primeiros e tem proporcionado matéria-prima a preços mais baixos, caso a extração ficasse a seu cargo, aos segundos (AZAMBUJA & SILVA, 1977).

As opiniões são unânimes, entretanto, quanto à necessidade de maior atenção às atividades de prospecção, para minimizar os desníveis entre as várias fases do processo de produção das cantarias. Igualmente unânimes são as opiniões dos técnicos quanto à necessidade de maior controle do setor, para melhor planejamento e maior facilidade de atuação na área.

2.4 - Qualificação das Rochas para Cantaria

As rochas são o único material encontrado pronto na natureza, que confere solidez, durabilidade, requinte e beleza às construções. A rigor toda rocha tem alguma aplicação na construção civil, porém o bom proveito de suas qualidades depende da adequação, a cada finalidade desejada.

A qualidade das rochas para construção baseia-se no princípio de que todo material, quando submetido à condições diferentes daquelas em que foi formado, sofre transformações para readquirir o equilíbrio físico-químico no novo ambiente. Assim, uma rocha será tanto melhor quanto mais estável, nas condições de uso.

A estabilidade das rochas, em dadas condições depende, primeiro, dos agentes que atuaram em sua formação e, em segundo, dos agentes do novo ambiente em que se encontram. Para as cantarias, ela corresponde à resistência aos agentes a que ficarão sujeitas após sua aplicação nas construções.

Tanto os agentes de formação, como os de transformação das rochas são analisados quanto à temperatura, pressão e quimismo. Na formação, eles são responsáveis pela natureza física e química da rocha e, na transformação, eles são responsáveis pela estabilidade física e química da mesma.

Dependendo da intensidade da temperatura, pressão e quimismo na formação dos materiais da crosta, são reconhecidos os três tipos de rochas (ígneas, sedimentares, metamórficas), que se transformam uns nos outros, conforme as mudanças nas condições reinantes. Eles são distintos, entre si, pelas naturezas físicas e químicas e pelos modos de ocorrências, com diferentes propriedades para a construção civil.

As características físicas das rochas são expressas em termos de textura e estrutura.

A textura das rochas diz respeito ao inter-relacionamento de seus grãos minerais, observada em amostras de mão, ou ao microscópio (WILLIAMS, TURNER & GILBERT, 1970). Ela compreende a forma (granulares ou alongados), tamanho

(grandes ou pequenos), disposição (orientados ou não-orientados), intercrescimento (imbricados ou justapostos). Integrando todas essas feições, a textura traduz a natureza da rocha quanto à cristalinidade (cristalina ou aglomerática), granulação (fina ou grosseira), coesividade (friável ou consolidada), porosidade (porosa ou compacta).

A granulação é usada como critério de classificação dos mármore (ERGUVANLI, YÜZER, GÜLEÇ & ZANBAK, 1974) e de outras rochas de construção. Correlacionada às demais feições texturais, são usadas denominações especiais para a cristalinidade das rochas, como "textura granitóide" para as ígneas, "textura cristaloblástica" para as metamórficas, "textura sacaróide" para as sedimentares.

A coesividade depende do grau de cristalinidade, da uniformidade granulométrica e da compacidade, refletindo a capacidade da rocha suportar os esforços desenvolvidos sobre os vários elementos das construções.

A porosidade, ou volume de vazios - v, influi em outras propriedades físicas das rochas, como na compacidade, densidade, resistência mecânica e alterabilidade, na razão inversa de seus valores. Ela é calculada segundo a fórmula:

$$v = \frac{P_e - P_s}{V} \cdot 100\%$$

onde P_e é o peso da amostra encharcada; P_s é o peso da amostra seca; V é o volume total da amostra. A porosidade depende também, da forma e tamanho dos espaços (CURRIER, 1960).

Segundo WINKLER (1975), não existe rocha totalmente compacta, e a dimensão e morfologia dos vazios refletem sua origem ígnea, sedimentar ou metamórfica.

Quanto ao tamanho, baseando-se em trabalhos de Russel e de Brady, CAVALCANTI (1951) quantificou a porosidade das rochas, concluindo que "quanto menores forem seus poros, menores serão seus elementos sólidos" e "para um mesmo volume de poros, a superfície dos elementos sólidos, ao redor de cada cavidade, será aumentada de duas vezes para cada redução de metade do diâmetro dos poros". Russel (CAVALCANTI, 1951) divide os espaços vazios das rochas em microporos (menores que 0,005 mm) e macroporos (maiores que 0,005 mm). Para Choquette & Pray, os megaporos têm diâmetros entre 256 mm e 0,062 mm e, para Vos, os macrocapilares têm diâmetros entre 0,062 mm e 0,0001 mm e os microcapilares menores que 0,0001 mm (WINKLER, 1975). Quanto maior for a microporosidade de uma rocha, tanto menos ela será indicada para cantaria.

A porosidade está relacionada com outras propriedades físicas das rochas chamadas absorção e adsorção. Apesar das diferenças conceituais, segundo WINKLER (1975), elas são reunidas sob a designação única de "sorption". A "sorção" de uma rocha é calculada pela mesma fórmula da porosidade, porém, antes da pesagem à seco a amostra levada à 105°C, por 24 horas, e antes da pesagem à molhado é imersa em água destilada à 20°C, por 48 horas.

Segundo a bibliografia citada por CURRIER (1960), a preocupação com essa feição petrográfica vem desde 1926, com os trabalhos de Kessler que serviram para o estabelecimento de norma do United States Bureau of Standards Technology. Segundo YOSHIDA (1972), na França, os principais estudos na área foram desenvolvidos por Thenóz, na década de sessenta.

Para cantaria, as rochas devem ser consolidadas, com altas coesividades e porosidades mínimas, isto é, as rochas devem exibir altos graus de cristalinidade, podendo ser

finas ou grosseiras, orientadas ou não, imbricadas ou cimentadas.

Por estrutura são compreendidas feições maiores das rochas, que envolvem grupos de minerais, em geral observáveis somente no campo (WILLIAMS, TURNER & GILBERT, 1970). Uma estrutura pode ser primária, quando ligada à própria origem da rocha, como bandas, xistosidade, dobras, acamamento, vesículas, ou pode ser secundária, quando resultante de fenômenos geológicos posteriores à sua formação, como fissuras, fraturas, veios, dissoluções, amígdalas. Todas elas representam descontinuidades, nem sempre visíveis, mas que se manifestam negativamente no desempenho da rocha na construção.

As estruturas, juntamente com feições texturais, influi, na coesividade das rochas, tornando-as menos resistentes aos esforços mecânicos. ERGUVALI, YÜZER, GÜLEÇ & ZANBAK (1974) denominam a propriedade de "anisotropia mecânica", quantificando-na através da equação:

$$AM = \frac{K_{\max} - K_{\min}}{K_{\text{med}}}$$

em que AM é o coeficiente de anisotropia mecânica; $K_{\max}$ é o número de rupturas máximo, na direção em que ocorre o maior número de rupturas; $K_{\min}$ é o número de rupturas mínimo, na direção em que ocorre o menor número de rupturas; e K_{med} é a média de rupturas em todas as direções.

Além de critério para classificação dos mármores (ERGUVALI, YÜZER, GÜLEÇ & ZANBAK, 1974), o coeficiente de anisotropia mecânica é importante para orientação no desmonte de blocos.

Para a qualificação das rochas, quanto à resistência mecânica, são consideradas a resistência à compressão,

tração e flexão, regidas pelo coeficiente de elasticidade (WINKLER, 1975).

Para aplicação na construção civil é preciso que as rochas sejam compactas e uniformes. Mas, para alvenaria e cantaria, é desejável que elas apresentem tendências à ruptura em direções predeterminadas no maciço, para facilidade de extração e talhe. Porém, descontinuidades com espaçamentos inferiores às dimensões ótimas dos blocos para os teares (1m X 2m X 3m), prejudicam seu aproveitamento. Para cantaria, ainda, certas estruturas, como bandas, dobras, veios, podem aumentar o valor decorativo da rocha através dos desenhos exóticos que podem formar.

As características químicas das rochas compreendem aspectos de sua composição mineral. Elas são importantes para a previsão do comportamento da rocha, nos ambientes em que for utilizada, conhecido por "alterabilidade", ou "durabilidade" (CURRIER, 1960).

Segundo CAVALCANTI (1951), parece ter sido Pieri, em 1941, quem primeiro se preocupou com essa feição, começando por dividir as rochas em silicáticas e carbonáticas, distintas, entre si, pela maior, ou menor, resistência aos ácidos.

Quanto à mineralogia, as rochas para cantaria são amplamente variáveis (Quadro 2). Por compreenderem minerais altamente instáveis, nem sempre reconhecíveis a olho nu, CAVALCANTI (1951), YOSHIDA (1972), CARUSO, TAIOLI & FARJALLAT (1978) recomendam estudos petrográficos rigorosos para a identificação e quantificação mineralógica antes da utilização da rocha.

Outra feição das rochas, dependente da composição mineral, é a cor. Ela é importante para fins decorativos (CURRIER, 1960; WINKLER, 1975).

Enquanto que a cor de uma rocha é determinada pela cor do mineral predominante, sua uniformidade depende da granulação e distribuição do mineral que a determina. Sua constância depende da estabilidade química desses minerais.

Em 1921, Backheuser (CAVALCANTI, 1951) identificou os minerais ferrosos (pirita, marcassita, pirrotita, biotita, granada) como os mais impróprios para a manutenção da cor, principalmente, quando a rocha é utilizada em exteriores, devido à sua fácil oxidação e tingimento de ferrugem.

A cor das rochas varia, também, com a porosidade e a rugosidade da superfície, por reterem umidade, favorecendo o desenvolvimento de microorganismos.

Para cantaria, a cor condiciona tanto o preço das peças, como sua aplicação em interiores ou exteriores. Rochas de cores firmes, homogêneas, e pouco comuns alcançam preços extraordinários, porém, rochas de cores exóticas, de alto valor decorativo, mas instáveis, só podem ser usadas em interiores.

Para efeito de aplicação na construção, as características físicas e químicas das rochas são designadas "propriedades tecnológicas". Elas são expressas por valores numéricos chamados "especificações" que aprovam, ou desaconselham, o material para a finalidade desejada, em termos de sua trabalhabilidade e durabilidade. As especificações são determinadas em laboratório através de ensaios padronizados pela engenharia (BOWLES, 1939; MENDES, 1974, 1979A; WINKLER, 1975).

A trabalhabilidade compreende a maior ou menor facilidade de extração, desdobramento e aderência da rocha.

A extração e o desdobramento (Quadro 5) abrangem

os processos de divisão da rocha em blocos, a partir do maciço rochoso, até a produção de peças acabadas, com formas e tamanhos adequados a cada finalidade.

Dessa forma, a trabalhabilidade depende, no primeiro estágio de produção da cantaria, da facilidade com que a rocha é rompida. Seu rompimento deve se dar segundo direções ortogonais, predeterminadas, produzindo blocos prismáticos, mais ou menos uniformes, donde a conveniência de descontinuidades citada atrás. A trabalhabilidade é função da anisotropia mecânica da rocha no maciço, e as superfícies de ruptura podem ser planas ou conchoidais, e lisas ou ásperas. Em geral, rochas homogêneas e grosseiras apresentam superfícies de ruptura planas e ásperas, enquanto que rochas finas se rompem em superfícies conchoidais e lisas.

No segundo estágio de produção das cantarias, a trabalhabilidade depende da dureza da rocha. Ela corresponde à média das durezas dos minerais presentes em cada direção da superfície da rocha (CURRIER, 1960) e depende da textura (cristalina ou aglomerática). Esse conceito é válido, inclusive, para as rochas uniminerálicas. Sendo a dureza dos minerais uma propriedade anisotrópica, a dureza das rochas será a média das durezas nas várias direções em que cada exemplar do mineral for cortado.

Não existem testes padrões para a determinação da dureza das rochas, sendo avaliada em termos de resistência à penetração, à abrasão (CURRIER, 1960), ou ao impacto (WINKLER, 1975). Para qualificação da rocha para cantaria, apenas a segunda é fundamental.

CAVALCANTI (1951) denominou as rochas, quanto à dureza, de:

- brandas, quando puderem ser cortadas facilmente

com serra de dentes, como o esteatito, o argilito, etc.;

- semiduras, quando forem dificilmente cortadas por serra de dentes, mas o forem facilmente por serra lisa com abrasivos, como os calcários, os arenitos, etc.;

- duras, quando forem cortadas, somente, por serra lisa com abrasivos, como os mármore;

- duríssimas, quando forem dificilmente cortadas por serra lisa com abrasivos, mas o forem facilmente por serra de diamante, ou carborundum, como os granitos.

A dureza das rochas para cantaria é expressa, também, em termos de resistência ao desgaste, ou à abrasão (BOWLES, 1939), principalmente quando as peças se destinam à pisos. Além de depender da composição mineral, a abrasividade das cantarias depende do grau de cristalização, da granulação e de homogeneidade granulométrica da rocha. Em geral, rochas cristalinas, finas e homogêneas, são mais duras que rochas aglomeráticas, grosseiras e orientadas.

A dureza, ou a abrasividade, das rochas é um importante fator para a composição do custo da cantaria no mercado, em vista da proporcionalidade com o desgaste das ferramentas e o tempo de preparo das peças.

A aderência corresponde à facilidade e eficiência da colagem das peças na obra. Ela depende da interação química e física da superfície da rocha com os ligantes. É avaliada pelo esforço de tração, por unidade de superfície, necessário para a separação das partes envolvidas. Essa propriedade depende da natureza mineralógica e do tipo de superfície da pedra a ser assentada. Em geral, rochas grosseiras, com superfícies ásperas, apresentam maiores aderências que rochas finas, com superfícies lisas. Para o

perfeito assentamento, o ANUÁRIO INDUSTRIAL BRASILEIRO DE MÁRMORES E GRANITOS (1973/1974) recomenda que as peças devem ser previamente molhadas e a argamassa deve ter composição específica, de acordo com a natureza da rocha. Para granitos, o ligante deve ter saibro comum, areia e cimento, na proporção 3:1:1 e, para mármore brancos, cal, areia e cimento na proporção 2:2:1. Para CAVALCANTI (1951) entretanto, a argamassa para granito deve conter os mesmos componentes na proporção 2:3:1.

A durabilidade de uma rocha indica o tempo que a cantaria permanecerá na construção sem sinais de deterioração e depende da composição mineral e dos agentes do meio.

Os agentes do meio correspondem às intempéries e aos materiais de limpeza, em decorrência dos quais as rochas começam perder a cor, o brilho e a coesividade, até o esfacelamento total.

Dos agentes físicos do intemperismo, o mais enérgico é a variação de temperatura. Com relação ao comportamento térmico das rochas para cantaria, são considerados a condutividade e o calor específico.

Tal como a dureza, a condutividade térmica é anisotrópica. Num mineral ela varia de uma direção para outra, e, numa rocha, de um mineral para outro, provocando esforços multidirecionais pelas incessantes dilatações e contrações diurnas e noturnas. Em 1948, Rinne (CAVALCANTI, 1951) calculou que a pressão exercida pela cristalização da água é da ordem de 146 Kg/cm^2 . O fenômeno é conhecido por "gelifridade" e ocorre mesmo em rochas quase secas, por quedas bruscas da temperatura.

Os agentes químicos do intemperismo atuam, principalmente pela atividade ácida da atmosfera, dos organismos, e

dos produtos de limpeza, promovendo a dissolução e a oxidação dos minerais (WINKLER, 1975). As rochas mais apropriadas para cantaria são as mais resistentes à esses agentes. São as mais ricas em minerais óxidos e as menos porosas. Ainda, uma cantaria será tanto mais durável quanto mais lisa e polida tiver sido sua superfície.

O comportamento das rochas para construção aos agentes químicos do intemperismo é denominado "alterabilidade", ou "resistência ao intemperismo". Ele é usado por ERGUVANLI, YÜZER, GÜLEÇ & ZANBAK (1974) como critério de classificação dos mármore. Umedecendo amostras de rochas com soluções cem mil vezes mais concentradas que as águas das chuvas, e secando-nas a 105°C, em ciclos de 8 horas, durante 30 dias, eles propuseram um esquema para quantificação da resistência ao intemperismo - RI - através da equação:

$$RI = \frac{a_n - a_o}{a_o}$$

em que a_n é a absorção após n ciclos e a_o é a absorção da rocha sã.

Segundo WINKLER (1975), foram Archibal Geykie, em 1880, na Inglaterra, e A.A. Julien, em 1884, nos Estados Unidos, os primeiros a procurar quantificar o intemperismo sobre rochas na construção. Mas foi somente após a Segunda Guerra que os estudos alcançaram nível de monta. Segundo as referências bibliográficas de CAVALCANTI (1951), CURRIER (1960), YOSHIDA (1972) e WINKLER (1975) existe grande número de pesquisadores trabalhando nessa área, em vários países. No Brasil, são dignos de menção os estudos de José Eduardo Siqueira Farjallat e Luiz Geraldo Caruso, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT.

A adequabilidade das rochas para construção depende ainda, da capacidade de suportarem os esforços mecânicos a que ficarão sujeitas. Ela é avaliada em termos de resistência à abrasão, compressão, flexão e tração. A correlação de várias feições texturais, estruturais e composicionais das rochas, com os vários tipos de solicitações mecânicas, mostra grandes semelhanças nas proporcionalidades, o que permite as seguintes correlações:

- rochas com alta abrasividade, em geral tem elevados módulos de ruptura;

- rochas de granulação fina e homogênea são mais resistentes aos esforços mecânicos, que as grosseiras e heterogêneas. CAVALCANTI (1951) explica que isso ocorre porque os esforços sobre rochas de granulação fina, por serem mais densas, são distribuídos uniformemente entre os grãos vizinhos, ampliando os limites de equilíbrio e, conseqüentemente, aumentando a resistência à ruptura;

- rochas não-orientadas são mais resistentes aos esforços mecânicos que as orientadas. CAVALCANTI (1951) explica que isso ocorre porque a orientação reflete direções preferenciais de cristalização, ao longo da qual o inter-crescimento dos minerais é menor, e, portanto, menor a resistência aos esforços;

- a resistência mecânica das rochas decresce com o aumento da porosidade, do fissuramento e do grau de umidade. Assim, quanto menos porosa e fissurada, mais compacta é a rocha. A porosidade e o fissuramento também controlam a densidade de maneira que, rochas granulométricas e mineralogicamente homogêneas têm resistências crescentes com a densidade.

Em 1923, Mesnager (CAVALCANTI, 1951) estabeleceu

a correspondência entre a resistência à compressão - RC, em Kg/cm², e a densidade aparente - DA, em Kg/cm³, de rochas calcárias, tendo chegado à equação:

$$RC = 150 \frac{DA - 0,83}{2,82 - DA}$$

Entretanto, em 1946, Boucart (CAVALCANTI, 1951) concluiu que os valores obtidos com essa fórmula correspondem ao limite superior da solicitação e propôs, para cálculo do limite inferior, a equação:

$$\log RC = 1,24 DA - 0,25$$

Para cantaria, além das qualidades gerais descritas para a construção, as rochas devem apresentar beleza estética e suscetibilidade ao polimento.

A beleza estética de uma rocha encerra muita subjetividade, em função de gostos individuais, influenciados pela moda. Compreende feições relativas à cor, textura e estrutura, cujas combinações permitem obter variados efeitos decorativos.

A suscetibilidade ao polimento de uma rocha é a capacidade de se deixar lustrar, sem desagregar, adquirindo superfícies lisas e refletivas. Essa propriedade é importante por realçar a cor dos minerais e dos desenhos texturais e estruturais da rocha, e reduzir a absorção térmica e líquida da rocha, contribuindo para sua durabilidade, facilita a limpeza e conservação das peças.

Para TOURENQ (1974) é impossível caracterizar tecnologicamente as rochas para construção sem considerar os aspectos geológicos dos jazimentos. Entretanto YOSHIDA (1972)

aponta o ainda pequeno conhecimento da interdependência entre a natureza petrológica, as propriedades tecnológicas e os efeitos das solicitações naturais e artificiais. Para YOSHIDA, a falta de padronização na execução e expressão dos resultados dos ensaios, é dos maiores problemas do setor.

2.5 - O Uso das Rochas na Construção

Juntamente com a madeira e as peles de animais, a pedra foi dos primeiros materiais a ser utilizado pelo homem. Ao contrário dos demais, os objetos em pedra sobre-existiram aos tempos fazendo valer a denominação de Idade da Pedra aos primórdios da humanidade.

Inicialmente, a pedra foi utilizada como pequenos utensílios rústicos (Período Paleolítico = Pedra Lascada) e depois como grandes blocos semi-trabalhados (Período Neolítico = Pedra Polida). Não existe grande concordância entre os estudiosos há quanto tempo ocorreram e quanto tempo duraram esses períodos pré-históricos. Sabe-se que eles foram bastante heterogêneos geograficamente, o que tem dificultado as correlações e datações. Para MOORE (1958), o Neolítico teve início na América do Norte há 10.000 anos, mas Giampera (SALVAT, 1979) cita que datações radiométricas de lascas e nódulos da Europa, através do carbono 14, acusam 30, 35 e até 40.000 anos para o mesmo. Daí se conclui que, enquanto na América se vivia no Paleolítico Inferior, na Europa e na Ásia já se vivia no Paleolítico Superior.

Conforme o tamanho, forma e disposição dos elementos líticos, as construções dessa época são denominadas dólmen, menir, megálito, monólito. Calcula-se que existam 50.000 delas ao redor de todo o mundo. As mais famosas são Stonehenge, na Inglaterra, e Carnac, na França. Os métodos pelos quais e os objetivos para os quais eram construídas con-

tinuam inexplicados, mas a grandiosidade das ruínas atestam o fascínio que a pedra exerceu sobre o homem, desde o princípio da civilização.

Na Europa, o grande ciclo megalítico foi encerrado, em 1500 AC, com a descoberta dos metais. Com o advento desses novos materiais, ao contrário do que se poderia esperar, a pedra se firmou ainda mais como material de construção. Os utensílios metálicos facilitaram seu afeiçoamento, fazendo surgir a arte lítica. Ela teve seus maiores impulsos entre os povos que habitaram regiões de farta disponibilidade de pedra, pela sua, desde então, reconhecida maior durabilidade em relação aos demais materiais. Dos tipos litológicos mais utilizados pelas civilizações antigas destacam-se o arenito, o granito, o calcário. Apesar do mármore ter sido usado por civilizações mais antigas da Ásia Menor (ERGUVANLI, YÜZER, GÜLEÇ & ZANBAK, 1974), ele só adquiriu fama com os romanos, com a rocha de Carrara.

Os romanos souberam assimilar muito bem a arte em pedra, contribuindo para a arquitetura com a invenção do arco. Antes dele as construções dispunham somente de vigas monolíticas que não permitiam mais que pequenos vãos, em vista da dificuldade em executar o corte e o transporte de blocos longos e pesados. Num arco, os elementos são pequenos e o equilíbrio depende de sua disposição nas colunas e no fecho central (CAVALCANTI, 1951).

40 Durante a Idade Média, as construções em pedra são representadas, principalmente, pelas catedrais, pontes e castelos, espalhados por toda Europa e Ásia.

Até o século passado, a manuseabilidade da pedra condicionou a arquitetura, constituindo uma atividade tradicional, mantida entre famílias, que a transmitiam de pai

para filho. Porém, a história da utilização da pedra na construção não é feita só de arte. Com o aumento de sua demanda nos tempos modernos, nasceu a indústria da pedra. Os maiores progressos nessa área também ocorreram nos países de maiores disponibilidades em rochas de qualidade.

Das maiores contribuições para a industrialização da pedra foram as especificações. Na Europa, a normalização dos materiais rochosos para a construção nasceu com a reconstrução de Lisboa, depois do trágico terremoto de 1755. Para MENDES (1974) tal normalização representou a passagem da fase puramente artesanal para a fase industrial da pedra. O maior avanço nesse campo, entretanto, deu-se a partir de 1920 (CAVALCANTI, 1951), com o surgimento das instituições de normas e da divulgação sistemática dos resultados das investigações, em grande número de países (Quadro 6).

Apesar do pioneirismo na normalização dos materiais, as primeiras publicações sobre trabalhos de qualificação das cantarias apareceram na Itália, em 1892, de autoria de Salmoiraghi (CAVALCANTI, 1951, MENDES, 1974). Na Europa, a Itália tem se mantido na dianteira da tecnologia de rochas, secundada pela França e Portugal. Dentre os trabalhos recentes estão "Il Marmo", de Antonio Consiglio, com tiragens datadas de 1949 (CAVALCANTI, 1951) e de 1964, como citada em outra importante obra "A Technical Guide to the Rational Use of Marble", publicada pela Indústria de Mármore Italiana em 1972. Ainda na Itália, o Centro per la Conservazione delle Sculture all'Aperto, de Bologna, tem promovido encontros para tratar, especificamente, da conservação da pedra (ROSSI-MANARESI & TORRACA, 1972; ROSSI-MANARESI, 1976).

Na França, os trabalhos tecnológicos das rochas começaram com Montel, em 1920 (CAVALCANTI, 1951; YOSHIDA, 1972).

Nas Américas, a liderança é exercida pelos Estados Unidos. As primeiras publicações apareceram em 1884 (BOWLES, 1939; CAVALCANTI, 1951; CURRIER, 1960). As atividades têm sido integradas por várias instituições de normas, desde 1917 (YOSHIDA, 1972), como a American Society for Testing & Materials - ASTM, a United States Buildings Institut - USBI, o United States of Mines - USBM, o Marble Institut of America - MIA.

No Brasil, as primeiras construções em alvenaria datam do período colonial (AZAMBUJA & SILVA, 1977). São construções simples, com blocos irregulares ligados com argamassa. As primeiras indústrias de beneficiamento de pedra foram instaladas no século passado com a vinda dos imigrantes italianos e portugueses. Durante muito tempo, deu-se preferência aos mármorees estrangeiros, época em que a utilização das cantarias era privilégio de poucos. Com a descoberta de jazidas de rochas, com qualidades iguais ou superiores às das estrangeiras, a situação foi invertida (Quadro 10, Figura 3), permitindo ampla difusão do material. Pesquisas de mercado recentes (PIAUI, 1976), entretanto, mostram desconhecimento das cantarias pelos consumidores que têm preferido outros produtos, menos duráveis, menos belos, de preços por vezes superiores, julgando estarem acertando em qualidade e economicidade de suas obras.

No Brasil, o controle técnico e científico sistemático do preparo e utilização das pedras de construção foi iniciado com a criação dos Cursos de Engenharia Civil, principalmente na Escola Politécnica, em São Paulo, e na Escola Nacional de Engenharia, no Rio de Janeiro (CAVALCANTI, 1951). Os trabalhos pioneiros são de Backheuser e de Silva, em 1921, publicados pela "Revista Brasileira de Engenharia" e pela "Revista Didática da Escola Politécnica".

A normalização dos materiais começou em 1940, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

S.A. - IPT, na Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT e no Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER, cada um com sua publicação periódica. Na década de 1940, foram inauguradas, também as edições da "Revista de Materiais de Construção" e da "Revista DER".

A partir de então têm sido realizados inúmeros trabalhos na área da tecnologia de rochas, como "Tecnologia da Pedra" (CAVALCANTI, 1951), "Contribuição ao Conhecimento de Características Tecnológicas de Materiais Rochosos" (YOSHIDA, 1972), "Perfil Analítico dos Mármore e Granitos" (AZAMBUJA & SILVA, 1977), "Mármore e Granitos Brasileiros" (CARUSO, TAIOLLI & FAJALLAT, 1978), e editadas revistas especializadas, como "SIMAGRAM - Mármore e Granitos em Revista", "Granitos e Mármore Brasileiros", "Rochas de Qualidade". Dessas revistas apenas a "Rochas de Qualidade" tem sido editada bimensalmente.

Na área da geologia e desenvolvimento de recursos em rochas para construção, tanto em nível nacional quanto internacional, pouco existe a destacar. A maior parte dos dados aparecem como referências complementares de trabalhos sobre qualificação das rochas (CAVALCANTI, 1951; MENDES, 1974; POWER, 1975; SHELTON & DRAKE, 1975; AZAMBUJA & SILVA, 1977).

Dos trabalhos específicos, na área internacional, destaca-se o "Geologic Appraisal of Dimension-Stone Deposits" (CURRIER, 1960). De suas citações bibliográficas, o trabalho mais antigo parece ser o do inglês Howe, em 1910, não encontrado nas bibliotecas de São Paulo.

No Brasil, não existe nada mais que o "PROJETO NORMA- Reconhecimento e Amostragem para Fins de Caracterização das Ocorrências de Rochas", da ABNT (CAVALCANTI, 1951), e o "Pedra, Pedregulho e Areia: Localização e Estudo" (PICHLER, 1951).

Não obstante o pequeno apoio tecnológico recebido, as rochas ocupam posição de destaque, dentre as matérias primas minerais, na maioria dos países. Na Inglaterra, por exemplo, conhecida como produtora de carvão, o volume de rocha para construção produzido é o dobro do desse combustível (UNITED NATIONS, 1976). Nos Estados Unidos, a produção de rochas para construção é a maior indústria extrativa mineral não-metálica (SHELTON & DRAKE, 1975).

A partir de 1900, com o desenvolvimento das estruturas metálicas, do concreto simples e armado, dos agregados leves, das cerâmicas, do vidro, e com a necessidade de construções mais baratas e execução mais rápida, a utilização da pedra de talhe tem sofrido uma queda em relação à brita. Com o concreto, nasceu a arquitetura moderna e a moda do concreto aparente, voltando as vigas retilíneas dos gregos e libertando das limitações do arco romano.

Pelo menos nos Estados Unidos, onde se dispõe de dados mais completos, o volume de pedra de talhe utilizado no começo do século perfazia mais da metade da pedra produzida. Porém, em 1974, ela significou menos de 0,2%, tendo havido, mesmo, redução no número de pedreiras e de marmorarias (SHELTON & DRAKE, 1976). A queda na demanda de pedra de talhe tem sido de 1,7% ao ano, desde 1954, enquanto que o aumento na demanda de brita foi de 5%. A utilização de rochas na construção tem ficado restrita a alvenarias e cantarias em poucas e pequenas partes dos edifícios.

Apesar de conquistada boa parte do mercado, os substitutos sintéticos atestam a nobreza das rochas, tentando imitar suas feições decorativas. Graças a isso, SHELTON & DRAKE (1975) esperam aumentos de 1,0% a 2,0% ao ano, na demanda mundial de pedra de talhe, enquanto que o esperado para a brita é de 3,5% a 5,0%, até o ano 2.000.

No Brasil, a compilação dos dados sobre o setor das pedras de construção tem ficado a cargo do Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM, órgão do Governo Federal, ligado ao Ministério das Minas e Energia - MME. O DNPM tem divulgado os dados obtidos a partir de 1972, com retroação até 1960, através das edições do Anuário Mineral Brasileiro (BRASIL, 1972 a 1980).

Para a interpretação dos dados é preciso ter em mente as mudanças introduzidas na sistemática de sua compilação e apresentação, de uma edição para outra. No Quadro 7 são apresentados os bens minerais indexados nas várias edições do Anuário, que tem aplicação na construção, conforme a classificação dos Quadros 2, 3 e 4.

A partir de 1976, incluindo novos tipos litológicos, o Anuário passou a apresentar dados sobre o basalto, gnaiss, granito, mármore e sodalita, reunidos sob a designação de pedras britadas e ornamentais, denominação essa usada nas edições de 1973 e 1975, exclusivamente, para o granito. A não inclusão dos calcários e do esteatito, nesse grupo de rochas, é aceitável, pois a maior parte de suas produções são destinadas a outros fins. Porém, é incompreensível a não inclusão das ardósias, dos quartzitos e dos xistos, sabidamente destinados à construção.

Nenhuma edição do Anuário especifica os destinos de cada parcela da produção dos tipos de rocha considerados. Isso tem dificultado a realização de diagnósticos e prognósticos sobre o setor, principalmente no que se refere a pedras de talhe (alvenaria e cantaria) e brita.

Na edição de 1980 as reservas dos vários tipos de rochas do grupo das pedras britadas e ornamentais são apresentados em m³ e não mais em toneladas.

QUADRO 7 - TIPOS DE ROCHAS CONSIDERADOS NAS SUCESSIVAS EDIÇÕES DO ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO QUE TEM APLICAÇÃO COMO CANTARIA

Rocha	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Ardósia	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Basalto					X(2)	X	X	X	X
Calcário	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Dolomito	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gnaisse					X(2)	X	X	X	X
Granito		X(1)		X(1)	X(2)	X	X	X	X
Mármore	X	X	X	X	X(2)	X	X	X	X
Quartzito		X	X	X	X	X	X	X	X
Sodalita		X	X	X	X(2)	X	X	X	X
Talco		X	X	X	X	X	X	X	X
Xisto			X	X	X	X	X	X	X

(1) única rocha do item "pedra britada e ornamental"

(2) a partir da edição desse ano integrante do item "pedra britada e ornamental".

Anteriormente à década de 1970 são encontrados apenas dados esparsos e entremetidos sobre as rochas na construção (Quadro 8 e Figura 1). De 1937 a 1948, eles foram extraídos de CAVALCANTI (1951), de 1949 a 1959, não foram encontradas referências, e a partir de 1960, foram extraídos do Anuário Mineral Brasileiro (BRASIL, 1972 a 1980). A partir do Quadro 8 foi possível traçar a linha básica da tendência brasileira no setor (Figura 1), concluindo-se que, após longo período de relativa estabilidade, em que os incrementos de produção foram da ordem de 50% a 70%, nas décadas de 1940 e 1950, e de apenas 15%, na década de 1960, houve extraordinário crescimento, da ordem de 330%, na década de 1970.

Com relação às reservas, existem dados somente a partir de 1971 (Quadro 9 e Figura 2), que demonstram uma evolução bastante irregular, possivelmente causada pelas mudanças na sistemática de compilação e apresentação dos dados. A edição do Anuário Mineral Brasileiro de 1979 (dados de 1978) revela um aumento das reservas medidas em 175%, em relação à de 1978 (dados de 1977), devido à consideração dos dados de relatórios de pesquisas aprovadas, são considerados até então (comunicação verbal de Ayrton Sintoni), mas acusa uma redução da ordem de 40% na edição de 1980.

Quanto ao comércio exterior de mármore, os dados foram reunidos no Quadro 10 e representados graficamente na Figura 3. Para AZAMBUJA & SILVA (1977), a exportação só alcançou expressão a partir de 1964, mas, segundo informação da Carteira de Comércio Exterior - CACEX, do Banco do Brasil, é somente após essa data que se dispõe de dados. A análise do comércio exterior foi complementada com dados do Minerals Yearbook (UNITED STATES, 1978 A e B), apresentados no Quadro 11, através dos quais são identificados os países importadores de rochas para construção, incluindo o mármore. Eles são a Arábia Saudita, Dinamarca, Holanda, Hungria,

QUADRO 8

PRODUÇÃO BRASILEIRA DE MÁRMORE PARA CANTARIA, EM TONELADAS

Ano	Produção	Variação relativa ao ano anterior	Variação relativa na década	Fonte
1937	14 870			CAVALCANTI (1951)
1938	13 176	- 11,39%		
1939	13 687	+ 3,87%		
1940	14 373	+ 5,01%		
1941	18 092	+ 25,87%		
1942	18 159	+ 0,37%		
1943	17 522	3,50%		
1944	16 821	- 4,00%		
1945	17 271	+ 2,67%	+ 52,14%	
1946	27 738	+ 60,60%		
1947	12 722	- 54,13%		
1948	20 824	+ 63,68%		
1949				
1950				CÁLCULOS
1951				
1952				
1953				
1954				
1955			+ 69,19%	
1956				
1957				
1958				
1959				
1960	35 233			Anuário Mineral Brasileiro, (BRASIL, 1972 a 1980)
1961	34 789	- 1,26%		
1962	34 299	- 1,40%		
1963	33 557	- 2,16%		
1964	56 833	+ 69,36%		
1965	35 946	- 36,75%	+ 14,96%	
1966	35 347	- 1,66%		
1967	39 176	+ 10,83%		
1968	34 434	- 12,10%		
1969	40 507	+ 17,63%		
1970	41 273	+ 1,89%		
1971	33 493	- 18,80%		
1972	45 816	+ 36,79%		
1973	66 887	+ 45,99%		
1974	95 393	+ 42,61%		
1975	130 055	+ 36,33%	+329,55%	
1976	105 240	- 19,08%		
1977	145 257	+ 38,02%		
1978	160 229	+ 10,30%		
1979	177 290	+ 10,64%

Figura 1 - Evolução da produção brasileira de mármore, em toneladas.

QUADRO 9 - EVOLUÇÃO DAS RESERVAS BRASILEIRAS DE MÁRMORE. NA DÉCADA DE 1970, EM TONELADAS

Ano	MEDIDA			INDICADA			INFERIDA		
	Quantidade	Variação %		Quantidade	Variação %		Quantidade	Variação %	
		No ano	Na década		No ano	Na década		No ano	Na década
1970									
1971	152 125 000			140 584 000			162 363 000		
1972	210 533 309	+ 38,39		120 333 973	+ 14,40		422 906 026	+ 160,46	
1973	213 025 403	+ 1,18		189 066 183	+ 57,11		205 188 990	- 51,48	
1974	407 549 926	+ 91,31		290 572 393	+ 53,68		418 301 239	+ 103,86	
1975	394 112 935	- 3,29	+ 337,70	291 136 501	+ 0,19	+ 176,22	327 120 208	- 21,79	+ 124,20
1976	451 920 157	+ 14,66		316 536 599	+ 8,72		428 315 306	+ 30,93	
1977	420 356 000	- 6,98		317 302 000	+ 0,24		149 521 000	- 65,65	
1978	1 158 379 000	+ 175,57		422 906 000	+ 33,28		533 015 000	+ 256,48	
1979	665 858 000	- 42,51		388 324 000	- 8,17		364 031 000	- 31,70	

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro (BRASIL, 1972 a 1980)

Figura 2 - Evolução das reservas brasileiras de mármore, em toneladas.

QUADRO 10

COMÉRCIO EXTERIOR BRASILEIRO DE MÁRMORE PARA CANTARIA, EM TONELADAS

ANO	IMPORTAÇÃO	VARIAÇÃO ANUAL	VARIAÇÃO DÉCADA	EXPORTAÇÃO	VARIAÇÃO ANUAL	VARIAÇÃO DÉCADA	FONTE
1941	6 687			280			CAVALCANTI (1951)
1942	5 263	- 21,29%		698	+149,28%		
1943	3 985	- 24,24%		53	- 92,40%		
1944	3 709	- 6,92%		24	- 54,71%		
1945	6 673	+ 79,91%	- 39,56%	68	+183,33%	- 75,35%	
1946	9 352	+ 40,14%		22	- 67,64%		
1947	14 699	+ 57,17%		69	+213,63%		
1948	18 497	+ 27,21%					
1949	4 041	- 77,60%					
1950							CÁLCULOS
1951							
1952							
1953							
1954							
1955							
1956							
1957							
1958							
1959							
1960			- 96,63%			- 14,49%	
1961							
1962							
1963							
1964							
1965							
1966							
1967							
1968							
1969	136						
1970	1 017	+647,79%		59			Anuário Mineral Brasileiros (BRASIL, 1972 a 1980)
1971	668	- 34,31%		175	+196,61%		
1972	1 069	+ 37,51%		316	+ 80,57%		
1973	6 428	+501,30%		226	- 28,48%		
1974	3 032	- 52,83%		1 278	+465,48%		
1975	453	- 85,05%	- 85,44%	1 474	+ 15,33%	+4 932,20%	
1976	256	- 43,48%		276	- 81,27%		
1977	295	+ 15,23%		1 330	+381,88%		
1978	73	- 75,25%		2 296	+ 42,07%		
1979	148	+102,73%		2 969	+ 29,31%

Figura 3 - Evolução do comércio exterior brasileiro de mármore, em toneladas

QUADRO 11 - DADOS SOBRE ROCHAS DE CONSTRUÇÃO DE ALGUNS PAÍSES, EM 1974, EM TONELADAS*

País	Produção		Importação		Exportação	
	Talhe	Brita	Talhe	Brita	Talhe	Brita
África do Sul	359 947	15 404 000	14 434	55 151	321 168	-
Alemanha Ocidental	664 400	130 973 000	1 073 189	16 302 000	333 234	11 241 000
Alemanha Oriental	-	12 061 000	-	10 512**	666	366 000
Argélia	-	-	20	33 702	52	-
Angola	7 000	-	-	-	-	-
Arábia Saudita	-	-	9 721	5 899	-	-
Argentina	225 094	11 263 000	2 102	17 270	1 697	8 634
Austrália	143 000	54 671 000	5 186	419	2 347	-
Austria	124 000	2 217 000	56 309	-	134 994	547 414
Bélgica	995 392	1 144 107	202 385	5 936 000	1 142 000	8 988 000
Brasil***	421 368	-	3 289	-	51 906	-
Bulgária	-	-	-	-	1 627	-
Canadá	88 437 000*	-	35 402	92 985	479 000	1 219 000
Checoslováquia	20 693 000*	-	40 415	4 140	33 842	7 724
Chile	497	-	12	63	-	2**
Chipre	39 524	53 852	-	-	-	173**
Colômbia	24 050	-	-	-	-	-
Coreia	-	14 572 000	263	93	9 375	263
Dinamarca	94	-	108 766	530 296	53 541	2 231 000
Egito	22 100	673 500	-	-	-	-
Espanha	92 240 000**	-	107 941	36 743	163 855	35 855
Estados Unidos	1 260 360	810 234 000	101 212	2 572 120	155	3 650
Filipinas	6 529	80 149	102	479	884	2
Finlândia	774 000**	-	862	107 442	39 914	55 605
França	2 426 000	7 032 000	474 396	4 612 000	176 251	12 676 000
Grécia	312 000	-	362	-	69 493	32 974
Holanda	-	-	43 983	14 407 000	11 643	4 296 000
Hungria	5 000	-	36 463	1 205	514	99 663
Índia	943	-	104	-	172 112	-
Indonésia	-	-	29 454	1 151	-	-
Inglaterra	176 621**	-	333 188	239 000	39 185	4 788 000
Irã	225 000	-	113	1 669	65 577	52 889
Iraque	-	-	175	-	643	12 017
Irlanda	8 108**	-	4 302	209 554	442	295 708
Islândia	86 000	432 000	152	106	-	-
Israel	16 000	14 000	292	7 984	1 361	-
Itália	7 067 000	27 488 000	373 293	12 692	1 246 880	642 550
Iugoslávia	150 000	7 659 000	7 956	124 996	69 470	194
Japão	3 390**	-	522	153	1 529	1 199
Libéria	-	-	1 653	8 175	-	-
Malásia	-	-	2 307	2 256	611	852 473
Marrocos	-	-	1 151	242	6 070	21 221
México	5 694	-	15 236	2 358	10 236	18 805
Moçambique	490 000**	-	-	-	396	-
Nigéria	202 240	-	592	13 834	-	-
Noruega	129 388	292 509	31 800	46 222	150 152	1 180 000
Nova Zelândia	35 085	246 073	916	-	-	-
Paquistão	23 597	2 446	-	-	-	-
Peru	11 958	-	696	52	228	-
Polónia	24 822 000**	-	58 697**	-	38 094**	-
Portugal	17 880 000**	-	2 793	136	322 583	12 277
Quênia	-	-	101	551	7	-
Romênia	-	-	-	266**	25 789	2 197
Suécia	376 000	9 981 000	17 395	49 635	354 094	1 382 000
Suíça	-	-	186 590	5 614 000	49 691	51 051
Tailândia	3 645	-	3 735	688	102	73
Tanzânia	126	-	231	4	-	-
Taiuá	313 000	-	3 336	280	55 564	124 100
Tunísia	-	-	5 850	2 004	-	-
Turquia	28 900	-	7	178	14 939	-
Venezuela	-	-	7 082	218	692	-

* Fonte Minerals Yearbook (UNITED STATES, 1978 A e B)

** Totais globais (talhe + brita)

***Ver Quadros 8, 9 e 10 e Figuras 1, 2 e 3

Indonésia, Iraque, Libéria, Malásia, Marrocos, México, Quênia, Romênia, Suíça, Tunísia e Venezuela. Desses, alguns são importantes para o Brasil, ou por serem fronteiriços, como a Venezuela, ou próximos, como o México, outros são seus exportadores como a Arábia Saudita e o Iraque, representando mercados potenciais para conquista.

3 - GEOLOGIA DAS ROCHAS CARBONÁTICAS

3.1 - Mineralogia dos Carbonatos

Os minerais carbonatos, constituintes fundamentais do mármore, são classificados quimicamente como sais do ácido carbônico- H_2CO_3 , ou como oxissais de oxigênio em coordenação ternária (KLOCKMAN & RANDOHR, 1961), caracterizados pelo radical carbonato - CO_3^{--} .

O ânion carbonato resulta da tendência do carbono se combinar com o oxigênio, numa relação de raios atômicos que define uma estrutura triangular. Como a carga elétrica de cada ligação C-O, nessa estrutura, é maior que a metade da carga de cada oxigênio (HURLBUT, 1941), os oxigênios são ligados mais fortemente ao carbono que a qualquer outro cátion do retículo cristalino fazendo com que o ânion carbonato constitua unidades íntegras, seja nos retículos minerais, seja em solução (BETEJTIN, s.d.p.).

Em função dessa natureza elétrica e da forma geométrica, esse íon é responsável pela maioria das propriedades físicas e químicas dos minerais, em que entre como parte fundamental.

Quimicamente, os carbonatos são decomponíveis pelos ácidos em anidrido carbônico - CO_2 , com maior ou menor facilidade conforme o tipo de cátion e a temperatura do ácido. A reação é caracterizada pela efervescência, representada genericamente pela equação:

A decomposição dos carbonatos pode ocorrer, também, por aquecimento, segundo a equação:

Esse comportamento dos carbonatos é devido à instabilidade de seu radical CO_3^{--} que, em presença do íon H^+ , ou por ação do calor, transforma-se em CO_2 ; composto mais estável por ser eletricamente neutro e sustentado por ligações mais fortes.

Nas equações químicas acima o X representa, principalmente, cátions metálicos bivalentes, formadores dos minerais chamados carbonatos anidros (KLOCKMAN & RANDOHR, 1961; BETEJTIN, s.d.p.). Com raio atômico de 0,99 Å, o cálcio ocupa posição intermediária na relação dos cátions bivalentes (Quadro 12), separando-os em dois grupos: cátions de maiores e cátions de menores raios atômicos (BETEJTIN, s.d.p.).

Quando o íon carbonato se combina com cátions de raios atômicos menores que o do cálcio, a relação entre suas dimensões impõe que cada cátion fique coordenado a seis oxigênios e cada oxigênio a um carbono e a dois cátions, dispostos segundo uma estrutura parecida com a do NaCl. Para a visualização desta semelhança, imagina-se o cristal cúbico de halita orientado com seu eixo de simetria ternária na vertical. Nessa posição, o sódio é substituído pelo cátion e o cloro pelo ânion carbonato.

O achatamento do íon carbonato, em relação à esfericidade de íon cloreto, provoca a deformação da estrutura cúbica, em que as faces formam triedros de 90° , para romboedros, em que as faces estão a 107° aproximadamente, ou seu suplemento. Como resultado tem-se uma simetria trigonal,

QUADRO 12

CORRELAÇÃO CRISTALOGRAFICA DOS CARBONATOS ANIDROS DE METAIS BIVALENTES COM SEUS RAIOS ATÔMICOS

CÁTIÕES METÁLICOS DIVALENTES COM SEUS RAIOS ATÔMICOS											
Cátions metálicos	Mg ⁺⁺	Co ⁺⁺	Zn ⁺⁺	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺	Cd ⁺⁺	Ca ⁺⁺		Sr ⁺⁺	Pb ⁺⁺	Ba ⁺⁺
Raio atômico	0,66	0,72	0,74	0,75	0,80	0,97	0,99		1,13	1,21	1,34
Fórmula	MgCO ₃	CoCO ₃	ZnCO ₃	FeCO ₃	MnCO ₃	CdCO ₃	CaCO ₃		SrCO ₃	PbCO ₃	BaCO ₃
Mineral	magnesita	esferocobaltita	smithsonita	siderita	rodocrosita	otavita	calcita	aragonita	stroncianita	cerusita	witherita
Sistema cristalino	trigonal a = b = d ≠ c α = β = δ = 90° ≠ γ = 120° romboedro						rômboico a ≠ b ≠ c α = β = γ = 90° prisma retangular				

constituindo um grupo cristalográfico de minerais isomórficos, chamado GRUPO DA CALCITA, ou GRUPO DOS CARBONATOS ROMBOÉDRICOS, ou ainda GRUPO DOS CARBONATOS ESPÁTICOS (BETJEJIN, s.d.p.; HURLBUT, 1941; LAPADU-HARGUES, 1954; KLOCKMAN & RANDOHR, 1961).

A estrutura cristalina desse grupo mineral, devido à morfologia plana do íon carbonato, é caracterizada pelo desenvolvimento de níveis de cátions metálicos alternados com níveis de ânions carbonáticos. A participação de um elemento metálico nessa estrutura é regida pela relação entre seus raios atômicos. Assim, nos minerais do grupo, a permuta entre ferro, manganês, zinco e magnésio, é comum e se dá em todas as proporções, formando soluções sólidas.

A substituição do cálcio pelo magnésio, ou vice-versa, não é uniforme devido à grande diferença entre seus raios atômicos. Nesses casos, ao contrário de soluções sólidas, formam-se retículos estratificados, com níveis alternados de magnésio, carbonato e cálcio, em proporções próximas de 1:1, resultando o mineral dolomita.

A morfologia plana do íon carbonato é responsável por boa parte das propriedades físicas dos carbonatos romboédricos, tais como a dupla refração, a clivagem perfeita (paralela aos planos de máxima concentração de íons carbonato), a baixa dureza (sempre inferior a 5), a alta solubilidade. Apenas a densidade é mais ligada ao cátion metálico, proporcional ao seu peso atômico. Isso ocorre porque, embora o íon carbonato seja sustentado por ligações parcialmente covalentes, sua ligação ao cátion metálico é iônica. A única anomalia é representada pelo magnésio, de raio atômico muito menor que o dos demais metais do grupo, mas com empacotamento cristalino na magnesita mais denso que nos demais minerais da série.

Quando o íon carbonato se combina com metais bivalentes de raios atômicos maiores que o do cálcio, a relação entre as dimensões dos elementos envolvidos favorece o desenvolvimento de estruturas rômbricas. Nessas estruturas cada cálcio está coordenado a três íons carbonato, isto é, a nove oxigênios, e cada oxigênio está ligado a três cálcios. Nesses casos ocorre, igualmente, o desenvolvimento de níveis catiônicos intercalados com níveis aniônicos, perpendiculares ao eixo vertical, com a formação de faces de prismas com ângulos de 62° - 63° , originando formas parecidas com as do retículo hexagonal, chamadas pseudo-hexagonais. Os produtos pertencem a um outro grupo cristalográfico de minerais carbonáticos, chamado GRUPO DA ARAGONITA, ou GRUPO DOS CARBONATOS RÔMBICOS (BETEJTIN, s.d.p.; HURLBUT, 1941; LAPADU-HARGUES, 1954; KLOCKMAN & RANDOHR, 1961).

A cristalização dos minerais carbonatos de metais bivalentes é, portanto, função direta do tamanho do cátion envolvido. Como o cálcio tem dimensões intermediárias dentro a série, ele pode cristalizar-se em ambas as formas (calcita e aragonita), se bem que a aragonita é instável e transforma-se automaticamente em calcita, mesmo nas condições ambientais.

Além dos minerais do Quadro 12 existem os carbonatos anidros de cátions mono e trivalentes e os carbonatos hidratados, porém, de pequena importância do ponto de vista de sua ocorrência na crosta.

Os principais minerais carbonatos formadores de rochas são a calcita e a dolomita. Os demais são raros e, quando ocorrem em concentrações econômicas, são utilizados na indústria de transformação para obtenção de produtos químicos e metais; jamais como pedras de construção.

3.2 - Físico-Química da Sedimentação Carbonática

Embora os aspectos físicos e químicos das rochas carbonáticas tenham sido intensa e extensivamente estudados, muitos problemas sobre o comportamento dos carbonatos, ainda estão por ser resolvidos (BRINKMANN, 1964). Apesar da existência de exemplares formados por atividades magmáticas (TUTTLE & GITTINS, 1966), a maior parte deles é precipitada por reações de compostos da crosta com compostos atmosféricos.

Sabe-se que sua formação se dá em locais ausentes de sedimentos detríticos, por processos orgânicos ou inorgânicos, em águas rasas ou profundas, marinhas ou continentais, em função do pH do meio. O pH, depende da concentração de anidrido carbônico dissolvido na água formando o ácido carbônico - H_2CO_2 , comumente dissociado em íons hidrogênio - H^+ , íons bicarbonato - HCO_3^- e íons carbonato - CO_3^{--} , através da seguinte reação reversível:

O H_2CO_3 é um ácido fraco, mas suficientemente enérgico para dissolver os carbonatos. Quanto maior for sua concentração, maior será sua atividade, segundo a seguinte equação química genérica:

em que o X pode representar Mg^{++} , Ca^{++} , Sr^{++} , Ba^{++} , Mn^{++} , Fe^{++} , Co^{++} , Ni^{++} , Cu^{++} , Zn^{++} , Cd^{++} ou Pb^{++} . Esses cátions são oriundos dos minerais preexistentes, por decomposição intempérica. Os feldspatos, feldspatóides, micas, piroxênios, anfibólios, particularmente sensíveis ao intemperismo, liberam principalmente Ca^{++} , Fe^{++} e Mg^{++} , que são trans-

portados em solução para o mar.

Para BRINKMANN (1964), afora a dissolução a partir da atmosfera, durante as chuvas, ou por difusão superficial, com a qual o mar está em contato, o conteúdo de CO_2 e de ânions carbonato nos oceanos, provém de emanções vulcânicas submarinas. Para MASON (1971), além do controle atmosférico, o conteúdo de dióxido de carbono, nas águas marinhas superficiais, depende da natureza e da intensidade da atividade biológica.

O conteúdo de ânions carbonato, na água do mar, foi representado graficamente por Buch & Kalle em 1943, e simplificado por BRINKMANN (1964). Com o aumento da quantidade de CO_2 , o equilíbrio das reações acima é deslocado para a direita do gráfico (Figura 4), isto é, no sentido da dissolução dos carbonatos, por induzir a formação do íon bicarbonato, muito mais solúvel que o carbonato. E, com a diminuição da mesma, o equilíbrio é deslocado para a esquerda, no sentido da cristalização.

Águas frias e profundas, em geral com grande quantidade de CO_2 , impedem a precipitação de carbonatos e águas quentes e rasas, que contêm CO_2 em pequenas quantidades, reúnem condições para a precipitação ou sintetização orgânica.

O peso do conteúdo total de íons dissolvidos na água do mar é denominado salinidade e é expresso em ‰ (partes por mil). Apesar de certas variações, no tempo geológico e no espaço restrito, ele pode ser considerado uniforme em toda a extensão horizontal e vertical dos oceanos abertos, com valor de 35‰ (Quadros 13 e 14). Para ser conhecido o limite entre a precipitação e a dissolução dos carbonatos, no sistema representado pela água do mar, com inúmeros íons em solução, basta determinar os produtos de solubilidade -K (Quadro 14).

Figura 4 - Conteúdo porcentual dos ions carbonato e bicarbonato na água do mar de salinidade de $35^{\circ}/\text{oo}$ (simplificação de BRINKMANN (1964) a partir de Buch e Kalle, em 1943). A zona achuriada representa o âmbito de pH onde predominam ions carbonato.

Segundo KRAUSKOPF (1972), para equilibrar as quantidades de Ca^{++} e de CO_3^{--} medidas na água do mar, é preciso aumentar os produtos de solubilidade dos carbonatos em 50 vezes. Esse ajuste é empírico e, apenas, dá noção da ordem de grandeza, mas explica a abundância relativa dos vários compostos carbonáticos na natureza, bem como suas mútuas substituições. Para se conhecer as concentrações em que ocorrem substituições, basta dividir os respectivos produtos de solubilidade. Por exemplo, a substituição de calcita por siderita ocorre quando a primeira estiver em contato com uma solução em que a concentração de Fe^{++} for maior que $1/150$ da de Ca^{++} , pois $4,5 \cdot 10^{-9} : 3,0 \cdot 10^{-11} = 150$. Da mesma forma, a siderita será substituída por calcita quando a concentração de Ca^{++} for 150 vezes superior que a de Fe^{++} .

O SrCO_3 é o único composto cuja saturação se aproxima da do CaCO_3 , explicando a freqüente presença de es-

QUADRO 13 - CONTEÚDO ANIÔNICO FORMADOR DE CARBONATOS EM AGUAS MARINHAS E FLUVIAIS								
constituente	á g u a d o m a r				á g u a d o c e d u r a			água doce branda
	⁰ /00(1)	⁰ /00(2)	⁰ /00(3)	mol/litro(4)	⁰ /00(1)	ppm(3)	⁰ /0 (3)	⁰ /00 (1)
íon bicarbonato HCO_3^-	$11,6 \cdot 10^{-2}$	$14,2 \cdot 10^{-2}$	$14,0 \cdot 10^{-2}$	-	-	58,5	48,6	-
íon carbonato CO_3^{--}	$1,2 \cdot 10^{-2}$	-	-	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$11,9 \cdot 10^{-2}$	-	-	$1,2 \cdot 10^{-2}$

- (1) - Segundo trabalho de Rubey, em 1951, para salinidade 35⁰/oo (BRINKMANN, 1964).
 (2) - Segundo trabalho de Culkin, em 1963, para salinidade 35⁰/oo (TUREKIAN, 1969).
 (3) - Segundo trabalho de Livingstone, em 1963, para águas marinhas e fluviais não especificadas (MASON, 1971; KRAUSKOPF, 1972).
 (4) - Segundo KRAUSKOPF (1972), o total de CO_3^{--} na água do mar é da ordem de 0,0002M.

QUADRO 14 - CONTEÚDO CATIÔNICO FORMADOR DE CARBONATOS EM ÁGUAS MARINHAS A 25°C E SEUS PRODUTOS DE SOLUBILIDADE (KRAUSKOPF, 1972)

Íon metálico	concentração mol/litro	K em água destilada (X ⁺⁺). (CO ₃ ⁻)	concentração possível equilibrada com CO ₃ ⁻ mol/litro
Mg ⁺⁺	5,4.10 ⁻²	2,0.10 ⁻⁵	5,0.10 ⁻¹
Ca ⁺⁺	1,0.10 ⁻²	4,5.10 ⁻⁹	1,0.10 ⁻²
Sr ⁺⁺	9,0.10 ⁻⁵	2,5.10 ⁻¹⁰	6,0.10 ⁻⁴
Fe ⁺⁺	2,0.10 ⁻⁷	3,0.10 ⁻¹¹	8,0.10 ⁻⁵
Zn ⁺⁺	1,5.10 ⁻⁷	1,5.10 ⁻¹¹	4,0.10 ⁻⁵
Ba ⁺⁺	5,0.10 ⁻⁸	1,6.10 ⁻⁹	4,0.10 ⁻³
Cu ⁺⁺	5,0.10 ⁻⁸	2,5.10 ⁻¹⁰	6,5.10 ⁻⁴
Mn ⁺⁺	4,0.10 ⁻⁸	6,0.10 ⁻¹¹	1,5.10 ⁻⁴
Pb ⁺⁺	1,5.10 ⁻⁸	8,0.10 ⁻¹⁴	2,0.10 ⁻⁷
Co ⁺⁺	1,0.10 ⁻⁸	1,6.10 ⁻¹³	4,0.10 ⁻⁷
Ni ⁺⁺	1,0.10 ⁻⁸	1,4.10 ⁻⁷	3,5.10 ⁻¹
Cd ⁺⁺	1,0.10 ⁻⁹	5,2.10 ⁻¹²	1,0.10 ⁻⁵

trôncio em calcitas.

A concentração de Ba^{++} é baixa porque o sulfato de bário é mais insolúvel que o $BaCO_3$ e porque a concentração de SO_4^{--} , na água do mar, é maior que a do CO_3^{--} .

O teor de Mg^{++} também é baixo pela lenta formação de dolomita e de argilas.

O Fe^{++} e o Mn^{++} não podem atingir altas concentrações, na água do mar, por serem oxidados e precipitados sob forma de óxidos de valência superior.

Em vista do conteúdo médio de íons de cálcio e de carbonato, a água do mar é quase saturada desse composto, principalmente nas zonas equatoriais. Para BRINKMANN(1964), entretanto, não ocorre precipitação espontânea de carbonato de cálcio, porque é possível que tais conteúdos, determinados analiticamente, não estejam realmente disponíveis. No entanto, ocorre precipitação inorgânica de bicarbonatos, segundo a equação reversível

sempre que houver: 1- elevação da temperatura que, para dada concentração de Ca^{++} e Mg^{++} , diminui o grau de solubilidade, ou eleva o conteúdo de cátions pela menor dissolução de CO_2 ; 2- abaixamento da pressão hidrostática; 3- redução da concentração salina; 4- intensa evaporação e 5- elevação do pH do meio.

Segundo Wattemberg (BRINKMANN, 1964), o coeficiente de solubilidade da calcita é reduzido à metade quando a

temperatura varia de 0°C a 30°C , ou é reduzido à $1/4$ quando a salinidade cai para a metade. A salinidade varia com a temperatura através da evaporação, que determina a elevação da concentração salina. A variação do pH se dá por ascensão de massa de água fria profunda que reduz a dissolução do ácido carbônico pela queda da pressão hidrostática. Os calcários inorgânicos são constituídos de oólitos, partículas esféricas de granulação fina, formados sob intensa agitação (EICHER, 1969).

Entretanto, a formação do carbonato de cálcio a partir da água do mar, se dá, predominantemente, por processos orgânicos. Ela pode consistir da sintetização biológica, para as estruturas de sustentação ou proteção durante a vida dos animais planctônicos e acumulação, no fundo dos oceanos, após a morte dos mesmos. Para LAPORTE (1975), este fato explica a predominância de cloreto de sódio nas águas do mar, apesar da predominância de carbonato de cálcio nas águas dos rios. É que, enquanto grande quantidade de CaCO_3 é extraída da água do mar pelos organismos, sendo depositada como detritos que vão constituir terras emersas, o NaCl permanece em solução, sendo concentrado através do tempo geológico. As principais espécies animais responsáveis por esse processo são os foraminíferos, corais, crinóides, crustáceos, braquiópodes, pelecípodos, gasterópodos e cefalópodos. Além deles, as algas também desempenham importante papel na precipitação de carbonatos, através de sua atividade fotossintetizadora, retirando CO_2 dissolvido nas águas.

A atividade orgânica participa, ainda, do processo de precipitação carbonática pela reação dos produtos amoniacais, liberados após a morte dos animais, com os sais em dissolução, como:

ou pela alteração do pH (MASON, 1971; KRAUSKOPF, 1972).

Em vista dos agentes físicos e químicos que favorecem a precipitação de CaCO_3 , as espécies animais que elaboram esse composto preferem as águas tépidas equatoriais, onde é mais fácil a absorção e manutenção do cálcio em seus esqueletos e conchas. Daí a maior incidência de calcários corresponder às zonas de baixas latitudes ao redor da Terra. Entretanto, mesmo para essas zonas há limites de profundidade para a formação de rochas carbonáticas.

A profundidade na qual a velocidade de precipitação de carbonato de cálcio é igual à velocidade de dissolução, chamada profundidade de compensação, não ultrapassa 3.500 metros. Abaixo dela ocorre dissolução, devido aos elevados conteúdos de CO_2 , sustentados pelas altas pressões e baixas temperaturas (Figura 5). Além da incapacidade de penetração dos raios solares, as baixas temperaturas das profundezas oceânicas são devidas às correntes polares em direção ao Equador, em sentido contrário ao das correntes superficiais, do Equador para os Polos.

Para Howenstam (LAPORTE, 1975) a precipitação de carbonato de cálcio, sob a forma de calcita ou de aragonita, depende da temperatura. Em geral, as espécies que segregam somente aragonita são de águas quentes e as espécies que segregam tanto uma quanto outra mantêm proporções conforme a temperatura da água. As de águas frias apresentam altas relações calcita/aragonita, enquanto que as de águas quentes mostram baixas relações entre as mesmas.

Figura 5 - Correlação do conteúdo de calcário com a profundidade oceânica, segundo trabalhos de Sverdrup, em 1946, e de Küenen, em 1950, (BRINKMANN, 1964).

Para TUREKIAN (1969), a calcita, por sua vez, pode ser fracamente magnesiânica, segregada por determinadas espécies de organismos.

Caso os carbonatos sejam redissolvidos, resultam lamas calcárias, calcíticas ou aragoníticas, de difícil distinção quanto à origem orgânica ou inorgânica, sobretudo após a diagênese. Elas podem ser distintas pelo conteúdo de magnésio que, nos calcários inorgânicos é inferior a 8% e nos orgânicos pode atingir 30% (BRINKMANN, 1964). A aragonita tem menos de 1% de $MgCO_3$.

3.3 - Geotectônica das Rochas Carbonáticas

A formação de minerais e de rochas carbonáticas se dá em condições específicas, criadas por fenômenos geológicos de grandes amplitudes no tempo e no espaço chamados movimentos tectônicos. Os movimentos tectônicos têm origem profunda e produzem unidades estruturais da crosta, divididas em áreas de grande (geossinclinais) e de pequena mobilidade (plataformas). Os movimentos tectônicos podem ser de várias naturezas, de causas e efeitos distintos, classificados fundamentalmente em movimentos oscilatórios (verticais) e movimentos de dobramentos (horizontais).

Como efeitos dos movimentos tectônicos verticais ocorrem mudanças periódicas (movimentos oscilatórios) e gradativas no relevo e na extensão das partes soerguidas (continentes) e rebaixadas (oceanos) da crosta. As subsidências e os soerguimentos são compensados, respectivamente, por sedimentação e erosão, controladas por vários agentes ainda não conhecidos, mas com características, que permitem definir as fases em que são formados vários tipos de rochas.

Em função das características físicas e químicas dos sedimentos geossinclinais, depositados nas várias fases do movimento oscilatório, BELOUSSOV (1971) estabeleceu, em 1954, o conceito de seqüência sedimentar. Como, em fases análogas de cada ciclo, repetem-se condições tectônicas similares, ocorre deposição de materiais parecidos.

Segundo esse autor, na primeira fase do ciclo forma-se a seqüência terrígena inferior, representada por depósitos de areias e argilas, ricos em matéria orgânica. Em seguida, deposita-se a seqüência carbonática, representada por calcários, correspondente ao final da primeira metade do ciclo, precedente à inversão do movimento, até então subside. Por isso, essa seqüência também é conhecida por se-

seqüência carbonatada de pré-inversão.

Com o soerguimento do geossinclinal inicia-se a deposição da seqüência terrígena superior, resultante da erosão das partes ascencionais. Essa seqüência também é constituída de material clástico (areias e argilas), com grande quantidade de matéria orgânica, pela reaproximação da linha da praia (regressão). Ela culmina com o assoreamento total da bacia.

O ciclo do movimento oscilatório se completa com a seqüência molássica. Ela se inicia com depósitos evaporíticos e gradua para clásticos, até conglomerados.

O conceito de seqüência sedimentar de BELOUSSOV estende o conceito de fácies sedimentar de Gressly (KREMBEIN & SLOSS, 1963; DUNBAR & RODGERS, 1966), puramente geográfico, para o campo da geotectônica (Figura 6). Frente a complexidade mecânica dos movimentos oscilatórios, há grande interdigitação dos sedimentos de cada uma de suas fases, de tal forma que cada seqüência compreende um conjunto de fácies.

Com a deposição da seqüência terrígena superior é encerrado o ciclo do movimento oscilatório. Nessa fase, o soerguimento prevalece sobre a subsidência, surgindo, no local do geossinclinal, grandes cadeias de montanhas e os sedimentos são metamorfizados.

Das seqüências sedimentares, ou das fácies de sedimentação, somente a seqüência carbonatada, ou a fácies carbonatada é pertinente ao tema desta dissertação. Sua deposição coincide com a paralização do movimento ascensional e a conseqüente cessação da erosão-sedimentação, que ocorre no final da primeira metade do ciclo, de máxima subsidência.

Ao mudar a dinâmica da movimentação da crosta, as

Figura 6 - Correlação da natureza física e química dos sedimentos geossinclinais com os movimentos tectônicos da Região Atlântica (BELOUSSOV, 1971).

plataformas e os pacotes sedimentares dos geossinclinais ficam sujeitos à esforços horizontais de compressão (movimentos de dobramento), provocando deformações plásticas e recristalização dos sedimentos.

Além dos movimentos oscilatórios, produzidos por esforços verticais, ou tangenciais disjuntivos, e dos movimentos de dobramento, produzidos por esforços tangenciais compressivos, ocorrem movimentos de fraturamento, produzidos por esforços verticais sobre as porções rígidas da crosta. Os movimentos de fraturamento quase sempre são associados a movimentos oscilatórios e de dobramento, aparecendo na segunda metade do ciclo, isto é, após a inversão. Eles provocam rupturas, ao longo das quais pode haver, ou não, deslocamentos das partes (falhas e diaclases). As falhas, em geral, têm maior expressão geotectônica, principalmente as profundas que, no conceito estabelecido por Peyve (BELOUSOV, 1971), atravessam a crosta em toda a sua espessura, definindo as unidades estruturais denominadas blocos orogênicos.

Os movimentos tectônicos, ainda, são comumente acompanhados de atividade ígnea cujos produtos podem ficar alojados no interior da crosta (intrusivas), ou podem extravasar na superfície (extrusivas). Em qualquer caso, tais manifestações aparecem com a inversão do geossinclinal, associadas, portanto, às partes elevadas das faixas de dobramento.

3.4 - Petrologia das Rochas Carbonáticas

Após a deposição, os sedimentos sofrem transformações de natureza e intensidade várias, para se adaptarem às novas condições reinantes. As transformações de altas pressões e temperaturas (metamórficas), ocorrem em continuidade às transformações de baixas pressões e temperaturas (diagenéticas), motivo pelo qual não existe limite nítido entre

rochas sedimentares e metamórficas.

Em 1967, Engelhardt (WINKLER, 1977) distinguiu rochas sedimentares de rochas metamórficas pela presença de fluidos aquosos, que se movimentam livremente através dos interstícios da rocha, promovendo reações do tipo de um sistema aberto. Para ele, o domínio sedimentar termina onde os espaços intercomunicáveis da rocha estiverem fechados, passando a prevalecer reações do tipo de sistema fechado.

WINKLER (1977) prefere estabelecer o limite sedimentar/metamórfico em termos mineralógicos, definindo o começo do metamorfismo pelo aparecimento de uma associação mineral que não pode existir em ambiente sedimentar. Apenas alguns tipos de rochas se prestam para definir esse limite. As rochas carbonáticas, por exemplo, não são adequadas, em vista da estabilidade da associação calcita-quartzo entre amplos intervalos de pressões e temperaturas.

Seja no domínio diagenético, seja no domínio metamórfico, a principal transformação experimentada pelos carbonatos é a recristalização. Em condições brandas, ocorrem apenas mudanças texturais, mas em condições enérgicas ocorrem transformações minerais, por reações de descarbonatação, e estruturais, pelo desenvolvimento de descontinuidades no maciço rochoso (fraturas).

Rochas carbonáticas sedimentares são de ampla distribuição na crosta despertando o interesse dos petrólogos. Elas têm ampla variação composicional entre três constituintes fundamentais CaCO_3 , MgCO_3 e SiO_2 (Figura 7), bastante estáveis entre largos intervalos de pressão e temperatura, mas particularmente sensíveis ao calor.

Os estudos de seu comportamento aos agentes metamórficos foram iniciados por Eskola, em 1922, e por Bowen,

Figura 7 - A situação das rochas carbonáticas quanto à composição químico-mineralógica (CARR & ROONEY, 1975)

em 1940 (WINKLER, 1977). Por ação do calor os carbonatos sofrem recristalização, favorecida pela fluidez do CO_2 despreendido com o aquecimento, originando rochas mais grosseiras, granoblásticas. Alguma orientação apresentada é resquício de feições sedimentares.

O comportamento químico das rochas carbonáticas ao metamorfismo pode ser compreendido a partir de TURNER & VERHOOGEN (1960), TURNER (1968), WILLIAMS, TURNER & GILBERT (1970), MIYASHIRO (1975) e WINKLER (1977). Os principais aspectos a serem notados são:

- calcários de CaCO_3 , puros, dão mármore calcíticos, simplesmente;
- calcários dolomíticos, sem quartzo, têm seu

MgCO₃ decomposto pelo calor muito antes do CaCO₃, segundo a reação:

- caso haja quartzo, o início das transformações metamórficas é marcado pelo aparecimento do talco, através da equação:

- o mesmo material, sob pressões de CO₂/H₂O mais elevadas exibirá:

transformações essas, típicas das zonas mais externas das auréolas de contato, que produzem rochas finas, com cristalização imperfeita;

- em temperaturas e pressões de CO₂/H₂O crescentes ocorre a seguinte sequência de reações:

- nos meios anidros, a sequência de reações, com a temperatura, é:

- sob temperaturas crescentes, calcários com impurezas de Al_2O_3 dão origem à epidoto, hornblenda e plagioclásio cálcico, e calcários com K_2O originam muscovita, flogopita e feldspato K;

- os minerais-índices de graus metamórficos crescentes são talco, tremolita, diopsídio e wollastonita.

Para exemplificar seu conceito de paragênese metamórfica, WINKLER (1977) cita o caso de um calcário silicoso, metamorfozizado à pequena profundidade e alta temperatura, em que ocorre a formação de wollastonita e desprendimento de CO_2 . Em condições de equilíbrio as três fases sólidas (calcita-quartzo-wollastonita) coexistem com a fase gasosa. Porém se o equilíbrio for ultrapassado, dependendo do excesso de calcita ou de quartzo, no sedimento, ocorrerá a paragênese wollastonita-calcita ou wollastonita-quartzo, respectivamente, na rocha metamórfica.

Outro exemplo citado por WINKLER (1977) é o caso de um mármore à calcita-dolomita-tremolita-talco-quartzo. Se todos esses minerais constituírem uma só paragênese significa que a rocha foi formada em condições isobáricas inva-

riantes. Porém, caso ocorra a associação talco-dolomita-calcita a rocha se cristalizou nas partes do corpo de calcário dolomítico silicoso onde predominava dolomita. Caso ocorra tremolita-talco-calcita a rocha resultou de porções de composição intermediária, ou tremolita-calcita a rocha foi formada em áreas de excesso de sílica.

Existem inúmeras classificações das rochas carbonáticas, fundamentadas nos conteúdos de Ca e Mg, ou no conteúdo de calcita e dolomita (Quadro 15, Figura 7). Sua extensão aos mármore é feita com a manutenção dos adjetivos "calcítico", "dolomítico" e, às vezes "magnésítico". Para cantaria, tais características não têm importância, a não ser para aproveitamento dos subprodutos do afeiçoamento da pedra.

3.5 - Estágios Geológicos das Rochas Carbonáticas

O conhecimento da geologia das rochas carbonáticas e das maneiras como elas ocorrem na natureza são importantes para o estabelecimento dos métodos para sua classificação, prospecção e qualificação, visando a utilização na construção civil.

O primeiro estágio da existência dos carbonatos, na crosta, é sob a forma de sedimentos. Eles podem ser de origem química, ou mecânica, orgânica ou inorgânica caracterizados pela natureza lamacenta, essencialmente inconsolidados. Quando de origem inorgânica, conforme proposto por Folk, em 1959, são chamados micrita. São constituídas de microcristais (diâmetros menores que 0,05 mm) de calcita e aragonita, em densa imersão aquosa (80% de H_2O) e porosidade entre 50% e 60% (CHILINGAR, BISSEL & FAIRBRIDGE, 1967). Em 1962, LEIGHTON & PENDEXTER fixaram as dimensões micríticas abaixo de 0,03 mm a partir do que o termo tem sido usado para adjetivar calcários e dolomitos (BISSEL & CHILINGAR, 1967;

QUADRO 15 - CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS CARBONÁTICAS SEDIMENTARES

MATERIAL	conteudo em %								CaO/MgO	Ca/Mg	CaO/MgO	Equiv. Mg (1)
	dolomita			calcita			argila	magnesita				
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(2)	(4)	(5)	(5)
calcário calcítico	0- 5	5- 0	<5	100-90	95-100	>95	0- 5	-	>50,1	>105	0,00-0,02	0,0- 0,1
calcário pouco argiloso	0- 5	-	-	95-85	-	-	5-10	-	-	-	-	-
calcário argiloso	0-45	-	-	35-90	-	-	30 10	-	-	-	-	-
calcário dolomítico pouco argiloso	5-47,5	-	-	90-45	75- 95	-	5-10	-	-	-	-	-
calcário pouco dolomítico(6)	5-20	25- 5	5-10	95-80	-	90-95	0- 5	-	9,1 -50,1	60 -105	0,02-0,08	1,1- 4,3
calcário dolomítico	15-35	50-25	10-50	80-65	50- 75	50-90	0- 5	-	4,0 - 9,1	16 - 60	0,08-0,25	4,3-10,5
calcário muito dolomítico	30-50	-	-	65-47,5	-	-	0- 5	-	-	4,74- 16	-	-
dolomito muito calcítico	65-47,5	-	-	30-50	-	-	0- 5	-	-	-	0,25-0,56	10,5-19,1
dolomito calcítico	80-65	75-50	50-90	15-35	25- 50	10- 5	0- 5	-	2,2 - 4,0	-	-	-
dolomito pouco calcítico	95-80	95-75	-	5-20	5- 25	-	0- 5	-	1,5 - 2,2	-	-	-
dolomito calcítico pouco argiloso	90-45	-	-	5-47,5	-	-	5-10	-	-	-	-	-
dolomito pouco argiloso	95-85	-	-	0- 5	-	-	5-10	-	-	-	-	-
dolomito argiloso	35-90	-	-	0-45	-	-	30-10	-	-	-	0,56-0,72	19,1-22,0
dolomito	90-100	100-95	>90	0- 5	0- 5	<10	0- 5	-	1,4 - 1,5	-	-	-
dolomito muito pouco magnésiano	-	100-95	-	-	-	-	-	0- 5	1,25- 1,4	-	-	-
dolomito pouco magnésiano	-	95-75	-	-	-	-	-	5- 25	0,80- 1,25	-	-	-
dolomito magnésiano	-	75-50	-	-	-	-	-	25- 50	0,44- 0,80	-	-	-
magnésito dolomítico	-	50-25	-	-	-	-	-	50- 75	0,18- 0,44	-	-	-
magnésito pouco dolomítico	-	25- 5	-	-	-	-	-	75- 95	0,03- 0,18	-	-	-
magnésito	-	5- 0	-	-	-	-	-	95-100	0,00- 0,03	-	-	-

- (1) segundo Teodorovich, em 1958 (CHILINGAR, BISSEL & FAIRBRIDGE, 1967).
- (2) segundo Frolova, em 1959 (CHILINGAR, BISSEL & FAIRBRIDGE, 1967).
- (3) segundo Cayeux, em 1935 (CHILINGAR, BISSEL & FAIRBRIDGE, 1967).
- (4) segundo Chilingar, em 1957 (CHILINGAR, BISSEL & FAIRBRIDGE, 1967).
- (5) segundo Bigarella, em 1956 (SINTONI & VALVERDE, 1978).
- (6) os calcários pouco dolomíticos também chamados de calcários magnesianos, não apresentam dolomita, os átomos de magnésio estão dispersos nas redes cristalinas das calcitas.

CARR & ROONEY, 1975).

Vastos depósitos de sedimentos carbonáticos são formados, também, pela acumulação de restos orgânicos, sintetizados por reações bioquímicas. Esses depósitos são chamados vasas, caracterizados pela natureza fragmentária, em ampla variedade granulométrica.

A desidratação das lamelas carbonáticas dá origem a um sedimento pulverulento, macio, poroso, chamado giz ou greda.

Por diagênese, os sedimentos carbonáticos, químicos e orgânicos, são transformados em calcários ou dolomitos, e suas variedades, isto é, em rochas sedimentares. Esses materiais podem ser considerados como de um outro estágio, caracterizados pela consolidação. Como a consolidação se dá por cimentação, compactação e/ou recristalização, essas rochas apresentam graus de porosidade (da ordem de 10%) e de umidade menores que os do estágio anterior. Sua porcentagem de aragonita é praticamente nula, são foscas, de granulação fina, e relativamente pouco densas (CHILINGAR, BISSEL & FAIRBRIDGE, 1967). Como dito anteriormente, são típicas de bacias sedimentares. As rochas carbonáticas sedimentares são muito usadas como alvenaria, mas raramente são usadas como cantaria, devido aos seus baixos graus de cristalinidade e, portanto, baixas resistências aos esforços mecânicos.

A classificação física das rochas carbonáticas sedimentares, utilizada por inúmeros estudiosos é baseada na textura, com base fundamentalmente, no grau de cristalinidade e na proporção clásticos/cimento. Secundariamente, são consideradas a forma dos grãos e a porosidade.

Por metamorfismo rochas carbonáticas sedimentares dão origem a mármore. Essas rochas são caracterizadas pela baixa porosidade, maior densidade, elevado grau de cristalização, granulação grosseira e cintilância, devido ao reflexo da luz nos planos de clivagem da calcita e/ou dolomita. São típicas dos cinturões orogênicos. No Brasil elas ocorrem

frequentemente nas faixas de dobramentos (ALMEIDA, 1967 e 1968; MUSSA & MOÇO, 1974; LOCZY & LADEIRA, 1976; HASUI, ALMEIDA & NEVES, 1978), em corpos de várias atitudes e vários graus de perturbação.

3.6 - Prospeção de Rochas Carbonáticas para Cantaria

A prospecção de rochas carbonáticas para cantaria obedece aos mesmos critérios empregados para a maioria dos recursos minerais. Segundo a bibliografia corrente (BOWLES, 1939; CAVALCANTI, 1951; PICHLER, 1951; CURRIER, 1960; MENDES, 1974; POWER, 1975; AZAMBUJA & SILVA, 1977; LADEIRA, 1977), compreende investigações geológicas, petrográficas e econômicas (Quadro 16). Como o emprego das rochas em cantaria é feito na forma maciça, é preciso conduzir as pesquisas, sem destruí-las.

As investigações geológicas compreendem todos os métodos que levem à caracterização do jazimento, quanto à forma, tamanho, posição, cobertura regolítica, intensidade e atitude do fraturamento, nível freático. Elas incluem, principalmente, aerofotogeologia, caminhamentos, escavação de poços e trincheiras, abertura de galerias, sondagens, que fornecem diferentes informações, em vários graus de precisão e de custo.

A aerofotogeologia é executada segundo os princípios da aerofotogrametria e interpretação geológica (RAY, 1963; RICCI & PETRI, 1965; LIBAULT, 1975), fornecendo os grandes traços litológicos e estruturais da região, importantes para a escolha da área a ser prospectada e para a orientação das pesquisas de detalhe.

Como base para lançamento, correlação e interpretação dos dados a serem levantados nos caminhamentos, escava-

QUADRO 16 - ATIVIDADES PARA AVALIAÇÃO DE UMA JAZIDA DE ROCHA PARA CANTARIA

TIPO	MÉTODO	OBJETIVOS
geológicas (maciço)	aerofotogeologia	<ul style="list-style-type: none"> - configuração litológico-estrutural regional - seleção de áreas para trabalhos de campo
	topografia	<ul style="list-style-type: none"> - implantação de sistema coordenado de pontos - configuração topográfica (plantas e secções)
	geologia	<ul style="list-style-type: none"> - constituição litológico-estrutural local - correlação entre corpos de rocha vizinhos - forma, tamanho e posição do corpo de rocha (cubagem) - intensidade e atitude do fraturamento (planejamento do desmonte)
	escavações	<ul style="list-style-type: none"> - espessura da cobertura regolítica - natureza e atitude do contato - comportamento do nível freático
	sondagens	<ul style="list-style-type: none"> - desenvolvimento do corpo de rocha em profundidade
petrográficas (rocha)	macroscopia	<ul style="list-style-type: none"> - composição mineral, estrutural e coloração - seleção de porção do maciço, pela beleza estética da rocha
	microscopia	<ul style="list-style-type: none"> - composição mineral e textural - seleção de porção do maciço, pelo grau de cristalinidade (compacidade)
	ensaios tecnológicos	<ul style="list-style-type: none"> - resistência mecânica - resistência aos agentes intempéricos (durabilidade) - suscetibilidade ao polimento e adesividade (trabalhabilidade) - seleção de porção do maciço pela qualidade da rocha
econômicas (empreendimentos)	geografia	<ul style="list-style-type: none"> - localização em relação aos centros consumidores (zona de influência)
	infraestrutura	<ul style="list-style-type: none"> - meios de escoamento (estradas) - disponibilidade de água e energia - disponibilidade de mão de obra
	mercadologia	<ul style="list-style-type: none"> - número de produtores de blocos para cantaria (mineradores) - número de comerciantes, empreiteiros e construtores (intermediários) - relação entre oferta e procura - tendência da demanda

ções e sondagens, deve ser implantada, no terreno, uma malha regular de pontos, e ser desenhada, em planta e seções, a configuração topográfica do local. As direções do sistema coordenado de pontos deve ser perpendicular às estruturas.

Os caminhamentos são executados sobre a maior extensão possível de exposição de rocha. Os afloramentos são tanto mais apropriados para exames quanto mais extensos e mais salientes na topografia. Deles são tirados os tipos de rocha a nível de distribuição e de variações mineralógicas, texturais e de coloração, naquilo que os recursos da macroscopia permitirem.

Da integração dos dados dos caminhamentos com os dados da interpretação aerofotogeológica, nasce a expressão litológica superficial do corpo de rocha, importante para a seleção das porções a serem investigadas em detalhe, em termos de beleza da rocha. As porções que não apresentarem essa qualidade poderão ser aproveitadas nas indústrias de transformação, em função de sua natureza química.

A definição do tamanho do corpo de rocha depende, ainda, do conhecimento de seu desenvolvimento em profundidade. A ordem de grandeza desse parâmetro pode ser inferida da natureza (brusca, com ou sem deslocamento das partes, ou gradativa) e da atitude (direção, sentido e ângulo de mergulho) do contato com os corpos de rocha vizinhos. A profundidade real do corpo é determinada por meio de sondagens rotativas. Trata-se, no entanto, de um método de prospecção mais empregado para verificação das variações químicas da rocha, visando sua aplicação nas indústrias de transformação.

A definição completa da morfologia do maciço rochoso compreende a identificação da situação topográfica, em vale ou em crista. Essa feição depende da evolução geomorfológica da região, resultante da interação entre a consti-

tuição litológico-estrutural e o regime climático, importante para a interpretação dos condicionantes do aproveitamento do depósito. A topografia do local determina o estilo de extração da pedra, seja em cava ou em frente, para o que deve ser conhecido o comportamento do nível freático.

Quando a cobertura regolítica impedir a observação direta da rocha sã, ou do contato, são executados poços e trincheiras. Em geral, essas escavações não ultrapassam 3 metros de profundidade, em locais com declividades inferiores a 30° - 45° . À medida que a profundidade aumenta, sua execução torna-se gradativamente impraticável. Então, os poços dão lugar às sondagens a trado e as trincheiras dão lugar às galerias. Enquanto os poços permitem observar a rocha profunda, os furos de trado fornecem, apenas, a espessura do regolito. As galerias, por outro lado, avançam maciço adentro quanto se queira, mas com a desvantagem do fissuramento que os explosivos podem provocar.

A influência da cobertura regolítica nos empreendimentos mineiros é tanto mais negativa quanto mais espessa e menor valor do minério. Assim, ela é mais inconveniente para as jazidas de rochas para construção que para as jazidas metálicas. Entre as jazidas de rocha para construção, ela é mais crítica para as de brita e alvenaria que para as de cantaria.

Os poços são utilizados também para verificação do nível freático. Quando eles não forem suficientes executam-se sondagens à percussão para instalação de piezômetros.

Das atividades geológicas, a maior contribuição para a caracterização do jazimento é o levantamento de dados sobre a atitude e intensidade de fraturas. O profundo conhecimento do fraturamento é fundamental para cantaria, qualificando o maciço em termos de dimensões dos blocos e da

resistência da rocha e minimizando os custos de produção. Para isso deve ser identificada a natureza (fissuras, diaclases, falhas, veios, bandas, acamamento, cavidade), a intensidade (número por unidade de extensão) e a atitude (direção, sentido, ângulo de mergulho) das estruturas. Os valores desses parâmetros, projetados estereograficamente em diagramas apropriados (BILLINGS, 1964; PHILLIPS, 1975; LOCZY & LADEIRA, 1976), permitem identificar a atitude e a intensidade da estrutura predominante, para as várias partes do corpo.

As investigações geológicas culminam com a cubagem de certa quantidade de material. Ao contrário de outras jazidas, em que reservas são avaliadas em toneladas, a cubagem das jazidas de rocha para cantaria deve ser expressa em metros cúbicos ou em metros quadrados, a dimensão de seus produtos finais. Para os cálculos, MENDES (1974, 1979 A e B) estima que o rendimento da produção de blocos, nas pedreiras, seja da ordem de 70%, e LYNZELL (1973) estima o rendimento no desdobramento dos blocos em placas da ordem de 60%. Um outro dado importante para a cubagem de jazidas de rocha para cantaria é a média de 230 m² de placas para cada 10 m³ de bloco. Esse valor varia pouco para mais ou para menos conforme a espessura das placas serradas, que podem ter 2 cm, 3 cm ou 4 cm.

A metragem total de rocha a ser cubada será função das características do mercado (capacidade de absorção da época e tendência futura), dos prazos de amortização do capital e de depreciação dos equipamentos envolvidos.

As atividades petrográficas são iniciadas já na fase do reconhecimento geológico, quando da identificação litológica. Nessa ocasião são observadas as variações macroscopicamente notáveis, como textura, estrutura, composição mineral, cor, porosidade, padrões de distribuição das

impurezas, e é feita uma amostragem para exames microscópicos. Da correlação dos aspectos macro e microscópicos são obtidos os dados para seleção da porção do corpo de rocha, em termos de qualidade da pedra.

Como bem sugerem CARUSO, TAIOLI & FARJALLAT (1978), exames micropetrográficos, na prospecção de rochas para cantaria, são de importância capital por revelarem detalhes não visíveis a olho nu, mas que podem ser altamente depreciativos por se manifestarem, apenas, depois da aplicação da rocha.

As investigações petrográficas são seguidas da caracterização tecnológica da rocha. Ela compreende ensaios das variadas naturezas físicas, tais como porosidade, abrasividade, resistência à flexão, tração, compressão, segundo normas estabelecidas por várias instituições (BOWLES, 1939; PICHLER, 1942; CAVALCANTI, 1951; PICHLER, 1951; CURRIER, 1960; YOSHIDA, 1972; MENDES, 1974, 1979 A e B; PETRUCCI, 1974; WINKLER, 1975; CARUSO, TAIOLI & FARJALLAT, 1978). Enquanto que as amostras para microscopia são menores, com volumes da ordem de centenas de centímetros cúbicos, as amostras para os ensaios tecnológicos devem ter volumes da ordem de centenas de decímetros cúbicos.

Além da qualidade e quantidade do material contido, a economicidade das jazidas de rochas para cantaria está ligada a fatores geográficos e mercadológicos.

Os fatores geográficos dizem respeito à localização da jazida em relação aos centros consumidores, como distância e infraestrutura. A proximidade geográfica dos centros de consumo é um fator de importância vital para a viabilização dos empreendimentos, frente aos constantes aumentos dos combustíveis. A infraestrutura inclui a existência de meios de produção (mão de obra, água, energia elétrica) e meios de escoamento (estradas).

Os fatores mercadológicos dizem respeito à oferta e procura na região de influência da jazida, importantes para o dimensionamento da produção a ser absorvida e para definição do volume de rocha necessário ao empreendimento.

A averiguação da economicidade de um empreendimento de cantaria é feita por levantamento das firmas que comercializam cantarias e suas fontes de suprimentos, da comparação dos preços na fonte e no local da obra e da capacidade regional de absorção dos produtos e subprodutos da mineração e beneficiamento da pedra. A capacidade regional de absorção dos produtos e subprodutos inclui fatores de alta subjetividade, como a preferência do público, que consumirá tanto mais conforme a moda.

Além de uma terminologia clara para as peças das várias fases de produção das cantarias (Quadro 5), é preciso ter em mente que o mercado das cantarias é constituído pelo minerador, pelo intermediário (comerciante, empreiteiro, construtor) e pelo público. Enquanto o minerador é responsável pela oferta, o intermediário é responsável pela procura e pela colocação do material junto ao público, com poderes de modificar hábitos e modismos. Assim, melhores resultados poderão ser conseguidos com habilidade do intermediário através de ampla divulgação e demonstração das vantagens sobre os substitutos.

4. A JAZIDA DE MÁRMORE DE QUIXABA

4.1 - Localização Geográfica da Jazida

A Jazida de Mármore de Quixaba está localizada no município de Pio IX, no extremo leste do Estado do Piauí, próxima às divisas com os Estados do Ceará e Pernambuco, aproximadamente a $40^{\circ}30'W$ e $06^{\circ}55'S$ (Figura 8). Ela está situada próxima à junção das Folhas SB-24-Y-A-VI (Pio IX), SB-24-Y-N-IV (AIUABA), SB-24-Y-C-III (FRONTEIRAS) e SB-24-Y-D-I (CAMPOS SALES), do Levantamento Cartográfico do Brasil, na escala 1:100.000.

De Terezina, chega-se à Quixaba pela BR-116 (Belém-Maceió), até Picos, e pela BR-230 (João Pessoa-Rio Branco, ou Rodovia Transamazônica), até Fronteiras, num total de 325 km asfaltados. De Fronteiras, toma-se a PI-229, que passa por Pio IX e Quixaba, para Campos Sales, já no Ceará.

4.2 - Fisiografia da Área

Quixaba pertence à grande região fisiográfica conhecida por Polígono das Secas, que compreende toda a região nordeste do Brasil, formada por inúmeras micro-regiões restritas.

Em Quixaba, o clima é do tipo Bsh (Köppen), quente e seco a semi-árido, caracterizado por:

- regime de chuvas de verão (w), com precipitações médias anuais inferiores a 800 mm, distribuídas irregularmente entre novembro-dezembro e abril-maio;

- regime térmico bastante homogêneo (pequenas am-

Figura 8 - Localização geográfica da jazida de mármore de Quixaba.

plitudes térmicas anuais), com temperaturas máximas de 32°C a 34°C, em setembro-outubro, e mínimas de 19°C a 21°C, em julho;

- elevada insolação, entre 50% do dia, em fevereiro, a 80%, em agosto;

- evaporação intensa, máxima nos meses de setembro, outubro e novembro (CRUZ & FRANÇA, 1971; OLIVEIRA, FORTES, FERREIRA, GOMES & LINS, 1974; FERREIRA & BARROS, 1974).

A unidade botânica do Polígono das Secas é denominada Caatinga (do tupi-guaraní caa = mata e tinga = branca), correspondente à "steppe" de outras regiões do mundo, caracterizada pela vegetação xerófita, escassa e rasteira, com abundância de cactáceas (*Leocereus squamosus* Geverke-Werd e bromeliáceas (*Bromelia laciniosa* Mart.)). Conforme a natureza edáfica ocorrem variações locais, que JAPIASSU, VELOSO, GÓES FILHO & LEITE (1973) denominam arbóreas ou arbustivas.

A região de Quixaba é ocupada por uma dessas variações fitogeográficas, em que predominam espécimes de médio a grande porte como, jurema (*Mimosa* Spp), favela (*Cnidocaulis phyllacanthus* Muell. sag.), caatingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.), baraúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl.), angico (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan), juazeiro (*Zizyphus juazeiro* Mart.), umbuzeiro (*Spondia tuberosa* e umburana (*Bursera leptophoccos*).

Geomorfologicamente, segundo BARBOSA, BOAVENTURA & PINTO (1973), a área de Quixaba está localizada no extremo sul da Depressão Periférica de Crateús, separada da Depressão Periférica do Médio São Francisco por extensões residuais, para leste, dos sedimentos da Bacia do Parnaíba e, para oeste, da Chapada do Araripe (Figura 11). Com altitudes médias de 300-400 metros, o relevo foi originado por

circundesnudação das formações sedimentares superiores, com a conseqüente exumação das rochas pré-devonianas dobradas, ligada à reativação geotectônica waldeniana (ALMEIDA, 1969).

Segundo os autores do Projeto Cococi (OLIVEIRA, FORTES, FERREIRA, GOMES & LINS, 1974; OLIVEIRA & BARROS, 1974) a região mostra dois níveis de erosão que formam duas grandes unidades geomorfológicas distintas.

Uma delas é representada pelas chapadas paleo-mesozóicas. Pelos quadrantes nordeste e noroeste dominam os sedimentos paleozóicos da Bacia do Parnaíba e, pelo sul, os sedimentos cretáceos da Chapada do Araripe. Essas formações sedimentares estão alçadas na topografia, terminando em escarpas festonadas. Com desníveis médios de 300 metros, acima do embasamento, esses acidentes recebem nomes de serras. A escarpa da Bacia do Parnaíba, de direção geral N-S, é chamada regionalmente de Serra Grande (NUNES, LIMA & BARROS, 1973; DANTAS, 1974).

A outra unidade geomorfológica, é constituída pelo embasamento cristalino. Quixaba pertence a ela e sua evolução geomorfológica está relacionada à constituição lito-estrutural e ao processo de denudação da cobertura paleozóica, sob o clima árido a semi-árido do sertão nordestino.

Regionalmente, o relevo é pouco ondulado, representado por uma seqüência paralela de cristas e vales alongados e alinhados, contínua por várias dezenas de quilômetros. Ela resulta da erosão diferencial, segundo o acamamento pretérito, ora dobrado em "S" e verticalizado pelo tectonismo (Foto 1).

Localmente, o corpo de mármore de Quixaba ocupa um dos vales, onde despontam morros isolados, também alongados e alinhados, formados de rochas carbonáticas impuras

Foto 1 - Estrutura a que pertence a jazida de mármore de Quixaba (reprodução 1:1 de imagem de radar na escala 1:250.000).

(calcoossilicatadas) que resistiram a erosão (Fotos 2 e 3).

Em Quixaba, cabe ressaltar ainda as feições cars-ticas. Destacam-se caneluras e dissoluções ao longo de fis-suras que, juntamente com o aspecto da rocha, comprometem as primeiras impressões sobre o jazimento (Fotos 3 e 4).

Existem na região dois padrões de drenagem que se sobrepõem. O mais desenvolvido é caracterizado por vales abertos, desenvolvido segundo o acamamento, realçando a estrutura em "S". O outro é mais restrito, caracterizado por vales bastante encaixados, desenvolvido segundo fraturas tectônicas transversais ao acamamento e que interrompe a continuidade das cristas (Foto 1).

Sobre o cristalino, o solo é residual e pouco desenvolvido. Para os técnicos do Projeto Radam (NUNES, LIMA & BARROS, 1973; SOMMER, ARAUJO, MARTINS & CORREA, 1973) existe perfeito relacionamento entre unidades geomorfológicas e tipos de solo. Concordantes com essa afirmativa, os técnicos do Projeto Cococi (OLIVEIRA, FORTES, FERREIRA, GOMES & BARROS, 1974; FERREIRA & BARROS, 1974) dividem a formação regolítica da região em dois tipos: o das rochas silicáticas, arenoso, de coloração cinzenta, constituídos de fragmentos de quartzo e feldspato, com ampla variação granulométrica; e o das rochas carbonáticas, argiloso de coloração avermelhada, mais desenvolvido que o primeiro. Sua espessura pode chegar a 3 metros enquanto que a do arenoso nunca ultrapassa 1 metro.

Nos leitos de drenagem, o solo é alóctone e constituído de material quartzo-feldspático fragmentário grosso e mal selecionado, com espessura de alguns metros. Representa importante fonte potencial de material abrasivo para a produção e desdobramento dos blocos de mármore.

Foto 2 - Vista de uma das elevações de rochas carbonáticas impuras e fraturadas contra as rochas silicáticas.

Foto 3 - Vista geral de uma frente de desmonte mostrando o flanco abrupto das elevações de mármore impuro e fraturado contra a porção de mármore branco e maciço coberto por solo avermelhado.

4.3 - Evolução dos Conhecimentos Sobre a Jazida de Quixaba

Apesar de situada na área de vários estudos, desde o começo do século, a Jazida de Mármore de Quixaba ficou conhecida somente depois de 1969, quando algumas amostras de rochas foram encaminhadas à Divisão de Geologia, da Coordenação do Desenvolvimento do Estado do Piauí-CODESE.

Essa data representa um marco na evolução dos conhecimentos geológicos sobre a área, encerrando a fase dos reconhecimentos regionais, em escalas iguais ou maiores que 1:100.000, e inaugurando a fase dos levantamentos de detalhe, com escalas menores que 1:100.000.

Dentre os temas mais abordados pelos programas regionais estão a tectônica do embasamento cristalino e a estratigrafia das bacias sedimentares. Quase sempre sem referências diretas ao sítio de Quixaba são, no entanto, importantes fontes de dados para o ajuizamento do depósito no contexto tectônico, estratigráfico e litológico global.

As primeiras idéias sobre as grandes direções estruturais do cristalino nordestino foram estabelecidas por Evans em 1903 (FREITAS, 1951; KEGEL, 1965). A KEGEL (1965) coube o estabelecimento dos blocos orogênicos do Nordeste. Segundo seu esquema, Quixaba está localizada no Bloco de Banabiú, delimitado por falhas direcionais SW-NE, recobertas pelos sedimentos da Bacia do Parnaíba, a oeste.

Posteriormente SUSZCZYNSKI (1966) introduziu o conceito de dorsais geoanticlinais e depressões laterais à tectônica do Nordeste. Separadas por grandes falhamentos da crosta, as depressões são constituídas de rochas de graus de metamorfismo mais baixos que as dos geoanticlinais. Segundo seu conceito, Quixaba está localizada na junção da Sé-

rie Metamórfica do Ceará com a Série Metamórfica Independência-Sobral.

Outro ensaio tectônico sobre a região foi apresentado por BEURLEN (1967). Para ele houve intensa movimentação durante o Cretáceo relacionada à abertura do Atlântico, com a qual apareceram as estruturas de direção E-W (Lineamento Patos) e SW-NE (Lineamento Sobral-Pedro II), completamente diferentes das direções mais antigas, de direção N-S (Lineamento Espinhaço). O bloco compreendido entre os dois lineamentos citados, em cuja extremidade sudoeste está situada Quixaba, manteve-se estacionário em relação aos vizinhos do sul e do norte, tendo sofrido intensa compressão (Figura 9).

ALMEIDA (1967, 1969), em seus trabalhos sobre a consolidação da plataforma brasileira, denominou o Nordeste do Brasil de Área de Dobramentos Caririanos referindo-se às seqüências remobilizadas no Ciclo Brasileiro, há 550 milhões de anos. Ela foi redenominada recentemente de Área de Dobramentos Nordeste (HASUI, ALMEIDA & NEVES, 1978).

FERREIRA (1972) considerou a região onde se localiza Quixaba pertencente às Faixas de Dobramentos pré-Brasileiros, constituídas de granitóides de idade indeterminada.

NEVES (1975), baseando-se em conceitos anteriores de faixas de dobramentos e altos estruturais (NEVES, 1973), considera a região como produto da tectogênese do final do Precambriano, sobre uma área geossinclinal em mosaico, como consequência da extensão dos dobramentos. De acordo com esse esquema, Quixaba está na Faixa de Dobramentos Jaguaribeana, subdividida à oeste na Subfaixa Rio Curu-Independência.

A intensa movimentação tectônica reconhecida por BEURLEN (1967) está sendo modernamente interpretada com ba-

se na teoria regmagênica (MELLO, SOUZA & MENDONÇA, 1978).

O cristalino nordestino tem sido muito estudado, também, do ponto de vista hidrogeológico desde 1913. A Folha nº 14, JAGUARIBE-SO (CRUZ & FRANÇA, 1971), a qual pertence Quixaba, sintetiza todos os levantamentos executados até então. Dentro dos seus objetivos, ela apresenta a constituição litológica da região dividida em rochas do embasamento e rochas sedimentares. As rochas cristalinas apresentam estruturas complexas, com grau de metamorfismo variável. A região de Quixaba, mais especificamente, é formada por rochas migmatíticas, compreendendo gnaisses bandados, orientados pela distribuição da biotita, quartzo e feldspatos.

Do ponto de vista estratigráfico, até meados da década de 1960, as rochas da região eram agrupadas na Série Ceará, caracterizada pela seqüência de quartzitos, xistos e calcários, conforme conceituação de Crandall, em 1910 (KEGEL, 1965; SUSZCZYNSKI, 1966). Posteriormente, elas foram reclassificadas como Grupo Seridó (CRUZ & FRANÇA, 1971).

Em 1973, foi editada a Folha SB-23-TERESINA, e parte da Folha SB-24-JAGUARIBE, do Projeto RADAM, com base em interpretações de imagens de radar (NUNES, LIMA & BARROS, 1973). Quixaba está localizada no Grupo Caraíba, constituído de rochas migmatizadas, conforme conceituação de Barbosa em 1965. O principal termo litológico desse grupo é um biotita gnaisse cinzento, com intercalações maiores de anfibolitos, quartzitos, micaxistos e enclaves menores de clorita xistos, piroxenitos, serpentinitos, anfibólio asbestos, talco xistos. Ocorrem, igualmente, inúmeros corpos graníticos circulares e veios pegmatíticos, interpretados como sendo produtos de intensa migmatização.

Em 1974 foi editada a Folha SB-24 - JAGUARIBE (DANTAS, 1974) com referências pouco claras à geologia e es-

tratigrafia da região de Quixaba sob pretexto de falta de dados.

Em 1974, também, foi concluído o Projeto Cococi (FERREIRA & BARROS, 1974; OLIVEIRA, FORTES, GOMES & LINS, 1974) considerado o primeiro trabalho sistemático na região com finalidades mineralogenéticas.

Por se tratar de um projeto pioneiro, com problemas de falta de datações radiométricas, seus autores estabeleceram a estratigrafia da área com base nos aspectos estruturais e litológicos das unidades individualizadas nos trabalhos anteriores. Ademais, alegam que a migmatização das rochas e a inexistência de horizontes guias de longo alcance, dificultam o estabelecimento de uma coluna estratigráfica. Por isso simplificam o Precambriano da região do projeto em dois complexos de natureza litológica, Precambriano A e Precambriano B, como os próprios autores salientam, sem nenhum sentido cronológico.

Assim, o Precambriano A, ao qual pertence Quixaba, constituído de rochas graníticas e migmatíticas é representado por faixas sinclínicas rebaixadas em relação ao Precambriano B, separados por grandes falhamentos inversos ou transcorrentes. A unidade A do Precambriano é caracterizada pela ampla estrutura dobrada em "S" (Foto 1) limitada ao norte pela Falha de Aiuaba, ou recoberta pelos sedimentos paleozóicos da Bacia do Parnaíba, e ao sul pela Falha do Jordão (Figura 9). Na porção sul dessa estrutura as rochas apresentam mergulhos verticais a subverticais nas porções externas dos grandes curvamentos e de 30° a 75° nos núcleos dos mesmos. Os materiais centrais teriam reagido incompetentemente à dinâmica do dobramento enquanto que os das porções externas competentemente. Nas porções externas, ainda, os esforços direcionais afetaram o pacote metassedimentar com amplos deslocamentos. Um exemplo dessa perturbação é o estrangula-

mento do corpo de mármore em Quixaba (Figuras 10 e 11). Em vista da homogeneidade do fraturamento e da constância dos ângulos com os estratos, os autores aventam a possibilidade de que tais rupturas tenham sido desenvolvidas conseqüente e concomitantemente com o dobramento.

O Projeto Cococi (FERREIRA & BARROS, 1974; OLIVEIRA, FORTES, GOMES & LINS, 1974) consideram três unidades litológicas no Precambriano A, integrante do Bloco Orogênico de Banabiú (KEGEL, 1965): 1 - migmatitos heterogêneos e biotita e/ou hornblenda gnaisses; 2 - biotita xistos e gnaisses xistosos; 3 - filitos.

Conforme o mapa geológico do Projeto Cococi, Quixaba pertence a primeira unidade, constituída de metassedimentos, com faixas brechadas, cataclasadas ou milonitizadas, e com intercalações de granulitos, rochas carbonáticas, talco xistos, quartzitos e anfibolitos.

Os biotita e/ou hornblenda gnaisses apresentam estruturas paralelas a plano-paralelas definidas pela disposição dos máficos dentro da massa quartzo-feldspática de granulação fina a média. Em lâmina delgada foi reconhecida uma textura variável entre lepidoblástica a granoblástica, formada por quartzo, ortoclásio, microclínio, plagioclásio, biotita, hornblenda e alanita, bastante recrystalizados e com forte extinção ondulante. Essas rochas são freqüentes nos núcleos das curvaturas e interpretadas como resultantes de esforços compressivos.

Os migmatitos ocupam posições mais externas das dobras associados à fraturas de descompressão. São particularmente freqüentes próximo à Quixaba, aflorando na passagem da estrada Pio IX-Campos Sales sobre o Riacho do Marçal (Figura 10).

As intercalações de granulitos, rochas carbonáti-

cas, talco xistos, quartzitos e anfibolitos ocorrem em corpos concordantes. São rochas equigranulares com fortes expressões topográficas em forma de cristas.

Microscopicamente os anfibolitos são constituídos de hornblenda, plagioclásio, quartzo, epídoto, sericita, hematita, titanita, leucóxênio, apatita e clorita. Apresentam fraturamento com orientação preferencial, preenchido por quartzo e epídoto, e mostram cristais de anfibólio e plagioclásio fragmentados.

Os granulitos são rochas claras de granulação fina a média, constituídas de quartzo, microclina, hornblenda, diopsídio, hedembergita, aegirina, augita e acessórios, identificados como hornblenda granulito, piroxenito granulito, ou muscovita granulito.

Os talco xistos são esverdeados, sedosos, constituídos de talco, anfibólio, óxido de ferro e clorita.

As rochas carbonatadas são predominantemente brancas, mas variam até cinza escuro, com granulação fina e sacaroidal. Quando aflorantes, são facilmente reconhecidas pela carstificação e quando não aflorantes pelo solo avermelhado, argiloso, que contrasta com os solos cinzentos, arenosos, dos outros tipos de rochas. Microscopicamente elas apresentam textura granoblástica, formada por cristais de calcita, opacos, titanita, biotita cloritizada e muscovita. Em Quixaba, no contato com as encaixantes, foi identificado calcó-hornfels constituído de diopsídio, epídoto, zoicita e wollastonita.

Dessa forma, para os autores do Projeto Cocóci (FERREIRA & BARROS, 1974; OLIVEIRA, FORTES, GOMES & LINS, 1974), o conjunto litológico do Precambriano A mostra fácies metamórficas, distintas umas das outras pelo grau de migmatização. A fácies de maior grau teria ocorrido por segré-

gação ácida posterior e/ou simultaneamente à deformação plástica. Apesar da variação do grau de migmatização, a composição mineralógica é uniforme, representada por grupos de minerais do tipo quartzo-biotita-plagioclásio e granada-biotita-hornblenda-ortoclásio-plagioclásio, ambas pertencentes a fácies almandina-anfibolito de WINKLER (1977). A fácies de menor grau é representada pelos xistos e filitos das outras unidades litológicas, possivelmente pertencentes à fácies de xistos verdes.

Os autores do Projeto Cococi aventam, também, a hipótese de que os granulitos representem zonas de desalcalinização, que teria ocorrido com o aumento de fácies e, após sua formação, com a volta à fácies imediatamente inferior. Eles observaram algumas evidências de retro-metamorfismo que teria originado os anfibólio-talco-xistos e o aparecimento de epidoto-zoicita, principalmente nas zonas de maiores esforços.

Depois do Projeto Cococi, outros levantamentos regionais foram executados.

Em 1977 foi executado o Mapa Geológico do Precambriano do Piauí, com base em imagens ERTS-LANDSTA (CREPANI, MARTINI, VENEZIANI, PAIVA & MOÇO, 1977). Esse mapa mostra claramente as principais estruturas da região de Quixaba, considerada como Precambriana Indiferenciada, constituída fundamentalmente de rochas granito-gnaissicas com migmatitos e xistos.

Apesar de não cobrir especificamente a área de Quixaba, o Projeto Jaguaribe (CAMPOS, BRAGA, MELLO, SOUZA, SILVA & FRANÇA, 1979) complementa, a leste de 40°30', as informações geológicas do Projeto Radam, que tem aquele meridiano como limite oriental.

Apesar dos autores que estudaram as áreas sedimen-

tares vizinhas, desde 1946, terem incluído Quixaba em seus mapas, ela aparece simplesmente como embasamento cristalino Precambriano. Por conterem dados lito e cronologicamente muito acima de até onde poderiam interessar ao contexto geológico de Quixaba, esses trabalhos não foram considerados para a execução desta Dissertação.

A partir de 1969, em vista das boas qualidades reveladas pelas amostras do mármore de Quixaba analisadas, foi inaugurada a fase dos trabalhos de detalhe com o interesse de numerosos grupos empresariais.

O primeiro foi da Bahia, tendo iniciado as atividades de lavra imediatamente após chegar ao local, mas abandonando-as pouco depois sob a alegação de má qualidade do mármore para cantaria.

O segundo foi um tradicional minerador de mármore do Rio Grande do Norte. Ele tentou preparar novas frentes de desmonte de blocos, mas também desistiu do intento face às dificuldades de acesso à área e a grande quantidade de impurezas da rocha.

O terceiro foi a Companhia Cearense de Mineração - COCEMI. Suas atividades constaram da legalização da área junto ao Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM, a abertura de algumas frentes de desmonte, das quais foi retirada, beneficiada e comercializada em Fortaleza boa quantidade de blocos. Diante das boas perspectivas, esse grupo solicitou financiamento para industrialização em maior escala, junto à Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE, importou da Itália dois teares diamantados e executou uma sondagem rotativa de 65 metros para abastecimento de água.

Para julgamento técnico do financiamento pleiteado, pela COCEMI, geólogos do 4º Distrito do DNPM e da SUDENE

estiveram em Quixaba em março de 1971. Seu parecer sobre a jazida foi:

- quanto à morfologia e tamanho do depósito "grande lente de calcário cristalino, com espessura aparente de 500 a 1000 metros e quilômetros de extensão";

- quanto à litologia e estruturas "as rochas de contato são gnaisses xistosos, cataclasados por falhas, que afetaram inclusive o mármore com fraturas (fios) e inclusões silicáticas (cravos), inutilizando-o como pedra ornamental junto aos contatos; mais para o centro da lente diminuem as fraturas e inclusões, mas não chegam a desaparecer totalmente, porém sem invalidar seu uso como matéria prima para mármore";

- quanto à granulação "é muito boa";

- quanto à cor "o calcário cristalino é predominantemente de cor cinza, ora mais claro, ora mais escuro, com variações para verde e róseo (mármore fantasia), onde é notória a presença de inclusões de xisto anfibolítico (cravos), responsáveis pela tonalidade esverdeada, e de pegmatitos de elevada dureza. Apesar de bonito, o tipo menos frequente (menos de 10% apesar da regular quantidade) é o mármore branco leitoso, longe de apresentar a homogeneidade de São Rafael (RN).

Depois de recomendarem ensaios industriais em amostras de rocha da porção central do corpo, menos afetado por cravos e fraturas, fundamentados nos insucessos anteriores de grupos tradicionais no ramo, eles emitem seu parecer sobre Quixaba reiterando a opinião anterior de Afrânio V. Carneiro "a maioria absoluta da matéria prima disponível na jazida é de aceitação bastante limitada no mercado de mármore o que compromete de certa forma o sucesso do empre-

endimento na escala projetada" (FRANCO & FERREIRA, 1971).

Com esse parecer negativo o grupo cearense também se retirou de Quixaba, deixando ainda encaixotados os teares e grande quantidade de blocos extraídos, tendo a Companhia de Mármore do Piauí - COMAPI assumido o controle da jazida.

Em março de 1973, mediante o Acordo de Assistência Técnica Brasil-Inglaterra e por solicitação da Secretaria de Desenvolvimento do Governo do Estado do Piauí, esteve em Quixaba o engenheiro de minas P.G. Linzell, do Institut of Geological Sciences, de Londres, para formular recomendações ao bom aproveitamento da jazida. Suas observações foram:

- quanto à morfologia da área "pouco montanhosa, com a maioria dos afloramentos nos altos topográficos, de difícil acesso pela densidade da vegetação";

- quanto à forma e tamanho do jazimento "grandes proporções, com largura média de 500 a 1000 metros, 10 quilômetros de extensão na direção N-S, e mais de 60 metros de profundidade, em vista da sondagem rotativa e escavações já realizadas";

- quanto à litologia "as rochas laterais são xistos micáceos e gnaisses com veios de quartzo";

- quanto à qualidade do mármore "parece ser uniforme, mas com coloração extremamente variável na vertical e na horizontal; a deteriorização observada é apenas superficial";

- quanto à economicidade "estimativa de custo de produção indicam alta viabilidade, com rentabilidades gradativamente maiores à medida que os equipamentos forem amor-

tizados e a produção for aumentada";

- quanto às recomendações "devem ser construídas vias de acesso, executados levantamentos topográficos e geológicos de detalhe para bom controle da cor, executadas sondagens para cubagem do corpo de mármore e obtenção de água para alimentação dos teares, realizadas pesquisas para aproveitamento dos subprodutos, realizadas pesquisas de mercado".

As conclusões de LINZELL (1973) foram altamente favoráveis a um empreendimento mineiro em Quixaba mostrando que a jazida é do tipo, que em outras partes do mundo, estão sendo operadas comercialmente para produtos de ornamentação e construção. Elas deram novo alento à COMAPI, então subsidiária da Companhia de Desenvolvimento do Piauí - COMDEPI que, após legalizar a lavra junto ao DNPM, procurou obter recursos financeiros junto à SUDENE.

Essa nova solicitação de financiamento motivou a visita do geólogo H. Beurlen à Quixaba em janeiro de 1975. Suas observações em afloramentos e frentes de desmonte, até então existentes, foram:

- quanto ao tamanho da jazida "extensão longitudinal na direção NNE-SSW superior à 6 quilômetros e largura média de 700 metros, havendo $4,2.10^6 \text{ m}^3$ de mármore por metro de profundidade; reservas suficientes para abastecer o projeto da COMAPI";

- quanto à qualidade do mármore "granulação fina, da ordem de 8000 grãos/cm^3 (boas características granulométricas), com coloração variável de cinza claro a branco num mesmo afloramento, o que dificulta a obtenção de blocos homogêneos, com freqüentes inclusões de sulfetos, cujo rápido intemperismo ao ser utilizado em revestimentos externos poderá provocar manchas ferruginosas";

- quanto ao fraturamento e estruturas do jazimento "em mais de 90% dos afloramentos, o mármore é densamente fraturado (2 a 4 fraturas por m^3), atravessado por leitos (fios) e lentes alongadas (cravos) de quartzo, clorita e anfibólio, em equidistâncias variáveis de 5 a 50 cm de um afloramento para outro, inutilizando o mármore como pedra ornamental; apenas numa faixa central, com largura variável entre 50 e 200 metros, afastada dos contatos com as encaixantes (xistos, gnaisses e anfibolitos), correspondente à uma zona sinclinal isoclinal complexa (mergulhos dos leitos de 50° a 90° ESE e mergulhos dos eixos de 30° a 50° ESE) e a uma depressão morfológica, com carência de afloramentos, a densidade dos fraturamentos, fios e cravos diminui sensivelmente; nas frentes abertas nessa faixa a densidade de fraturas permanece em torno de 2 a 4 por m^3 , algumas das quais estão preenchidas por carbonato de cálcio de granulação grosseira (1 a 2 mm de diâmetro), restando aberta uma fratura por 2 a 5 m^3 , aproximadamente; nessas mesmas frentes a frequência de fios e cravos é ainda elevada (equidistâncias de 1 a 2 metros), altamente negativa para a recuperação nas fases de lavra e serragem, possivelmente tornando inviável seu aproveitamento econômico";

- quanto à rentabilidade do empreendimento "a taxa de recuperação nas quatro frentes, comparado o volume total extraído (1850 m^3) com o volume de blocos obtidos (450 m^3), é da ordem de 25%, enquanto que a recuperação normal em minas análogas é superior a 50%; por isso o volume de insumos para a lavra deverá ser duplicado em relação aos das outras jazidas, além do aumento adicional relativo ao desgaste dos equipamentos provocado pela frequência de fios e cravos muito mais duros que o mármore".

Concluindo, BEURLIN (1975) analisa os problemas relativos ao abastecimento de água e areia, em seu entender também altamente desfavoráveis ao desenvolvimento do projeto

da COMAPI em Quixaba.

4.4 - Trabalhos Recentes em Quixaba

Diante das controvérsias da viabilidade de um empreendimento mineiro em Quixaba, principalmente quanto ao fraturamento e às impurezas do mármore, os estudos da jazida foram retomados em 1976. Os trabalhos realizados a partir dessa data visaram definir não só o grau de influência desses condicionantes, no aproveitamento da rocha, como também o mercado regional de cantaria e a viabilidade de um empreendimento mineiro no local (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A., 1975, 1976 C).

No primeiro contato com a área, para elaboração do programa de pesquisas, foi notado o intenso fraturamento, de várias atitudes, mas que diminuía das bordas para o centro e de alto a baixo dos afloramentos e das frentes das lavras anteriores. Foi notado igualmente o alto grau de impurezas e o aspecto pouco agradável da rocha aflorante, mas que ocorriam variações para materiais mais nobres, principalmente nos locais topograficamente baixos.

Compreendeu-se desde então que fazia-se necessária a definição da origem, intensidade e atitude de cada fraturamento e do padrão da distribuição das impurezas. Além de levantamentos de detalhe das fraturas e variações litológicas seria fundamental considerar a evolução geomorfológica da região.

Assim, como primeira atividade, foi executada a interpretação geológico-estrutural da região (Figura 10), a partir de fotografias aéreas na escala 1:25.000 (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A., 1976 A e C) para conhecimento das principais direções estruturais da região e o contorno do corpo de mármore, importante para

Figura 10
Síntese geológica e estrutural foto-interpretada da região de Quixaba (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A., 1976A e C).

orientação na coleta e interpretação dos dados a serem obtidos.

Côncomitantemente, para os levantamentos de detalhe, foi implantada uma malha de pontos sobre todo o corpo de rochas carbonáticas, através de abertura de duas picadas base ortogonais (OEW e ONS) e algumas picadas secundárias a cada 500 metros. Como o corpo de mármore está orientado na direção N-S (Figura 10), as linhas base foram planejadas de forma que uma delas lhe ficasse longitudinal e a outra o dividisse numa porção norte e noutra porção sul (Figura 11).

Todas as linhas foram piquetadas de 10 em 10 metros e os pontos foram identificados por um par de inscrições N e E, N e W, S e E ou S e W, crescentes para N, S, E e W a partir do ponto de intersecção (ONS-OEW), locado no pátio das oficinas da mina.

Em cada ponto foram tomadas medidas com teodolito para confecção de plantas e secções topográficas. Como não existia referência de nível oficial pelas redondezas, foi atribuído valor 100 para a cota do ponto origem do sistema de coordenadas (ONS-OEW), a partir do qual os demais pontos têm cotas com valores relativos em metros.

Além de elaboração de bases planialtimétricas, para lançamento, correlação e interpretação dos dados obtidos nos levantamentos de detalhe, a implantação da malha teve a finalidade de orientar, no campo, o levantamento geológico. Ele compreendeu a coleta sistemática, a intervalos médios de 5 metros, de dados sobre a litologia e descontinuidades físicas do maciço, tanto nas abundantes exposições de rocha, onde são bem visíveis, como nas porções cobertas por solo.

A preocupação no reconhecimento litológico de

Figura 11 - Mapa geológico de parte do corpo de mármore de Quixaba.

Figura 12 - Seção geológica através do corpo de mármore de Quixaba, segundo a linha 500 N.

campo foi identificar as características mineralógicas e texturais da rocha carbonática, visando sua classificação como mármore. Foram feitas observações macroscópicas, também, para delimitação das várias porções do corpo quanto à cor e granulação da rocha (Figura 11). Os estudos de campo foram complementados com observações microscópicas, no laboratório, segundo as normas MB-47 e 48 da ABNT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A., 1976 B), para caracterização mineralógica das rochas (Quadro 17).

As amostras coletadas sobre o corpo de rochas carbonáticas revelaram, em média, 95% de carbonatos, em cristais geminados de granulação entre 0,5 e 1,5 milímetros, com planos de geminação ligeiramente curvados, indicando cristalização sob tensão (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A., 1976 A e C). Difratometria por Raios X das amostras revelou predominância da calcita sobre dolomita (Figura 13) e análise química demonstrou conteúdos de CaCO_3 em torno de 95,75% e de Mg em torno de 0,72%, em peso.

A classificação de mármore cataclástico para as amostras coletadas em 1800S-600W e 1800S-800W (Quadros 17 e 18) foi devida à presença de envoltórias de microcristais ao redor da calcita, segundo faixas orientadas, sugerindo ação de esforços cisalhantes. A amostra foi coletada junto ao contato com xistos, próximo à zona de cisalhamento que corta o corpo de mármore longitudinalmente (Figuras 10 e 11).

O quartzo tem ampla ocorrência ao lado da calcita, apresentando-se em cristais equigranulares de tamanhos variáveis (milimétricos e submilimétricos).

As micas dispõem-se em estruturas planas com comprimento centimétrico e espessura submilimétrica, às quais se associam quartzo e pirita. Geralmente essas estruturas

Figura 13 - Difractogramas de raios-X de algumas amostras de mármore de Quixaba.

QUADRO 17 - RESULTADOS DOS EXAMES PETROGRÁFICOS*

localização	rocha	macroscopia		microscopia		
		cor	estrutura	minerais		textura
2000N-250E	mármore	cinza média	compacta	carbonato muscovita-clorita quartzo-feldspato alcalino pirita	90-100 10-0 traços traços	granoblástica
2000N-350E	mármore	branca	compacta bandeada	carbonato quartzo-feldspato pirita	95-100 5-0 traços	grano-lepidoblástica
2000N-350E	xisto	preta	xistosa injeção discordante	quartzo-feldspato biotita hornblenda carbonato apatita-clorita-titanita-epídoto	50 30-25 10-15 10 traços	grano-lepido-nemato- blástica
1650N-250E (2)	mármore	branca	compacta	carbonato muscovita quartzo-feldspato pirita	95-100 5 5-0 traços	granoblástica
1600N-250E (2)	mármore	branco	compacta	carbonato muscovita-quartzo-feldspato	95-100 0-5	granoblástica
1500N-250E	mármore	branca	compacta bandeada	calcita quartzo-feldspato alcalino anfíbólio-escapolita-plagioclásio muscovita-clorita-titanita-apatita pirita	90-100 5-0 5-0 traços traços	granoblástica
1500N-350E	mármore	cinza escura	brechoide	carbonato quartzo-feldspato alcalino-muscovita-pirita	95-100 0-5	granoblástica
			cravos	quartzo-feldspato-flogopita-muscovita-diop- sídio-anfíbólio-apatita-titanita-pirita		granoblástica
1000N-0EW	gnaisse	cinza rósea	gnáissica	quartzo feldspato K muscovita-sericita pirita	40 40 15-20 5-0	grano-lepidoblástica
1000N-350E (2)	mármore	cinza escura	compacta	carbonato quartzo-feldspato-muscovita-pirita	100	granoblástica
			cravos	tremolita-diopsídio-quartzo-feldspato-bioti- ta-titanita-pirita	100	grano-nematoblástica
600N-0EW (2)	mármore	cinza clara	compacta	carbonato quartzo muscovita-pirita	95-100 5-0 traços	granoblástica
600N-50E (2)	mármore	creme rósea	compacta	calcita quartzo-feldspato-pirita	100	
		preta	cravos	quartzo-feldspato-anfíbólio-titanita-apat- ita-pirita	100	grano-nematoblástica
500N-250E (2)	mármore	cinza escura	compacta	carbonato muscovita quartzo-feldspato	95 5-0 5-0	granoblástica
500N-500E	xisto	cinza escura	xistosa	quartzo-feldspato biotita hornblenda pirita apatita-titanita-calcita	50 30-25 10-15 10 traços	grano-lepidoblástica
100N-750E (2)	mármore	cinza média	bandeada	carbonato quartzo-feldspato muscovita pirita	95 5-0 0-5 traços	granoblástica cataclástica
0NS - 550E (2)	mármore	cinza escura	bandeada	carbonato quartzo-feldspato tremolita muscovita pirita	80-75 10 5-10 5 traços	granoblástica cataclástica
1000S-900W	xisto	cinza escura	xistosa	quartzo-feldspato biotita carbonato clorita pirita muscovita	65-55 30-35 0-10 5-0 0-5	grano-lepidoblástica
1100S-0EW	mármore	cinza escura esverdeada	compacta bandeada	carbonato tremolita quartzo-feldspato alcalino flogopita titanita-apatita-pirita	80-70 10-20 5 5 traços	granoblástica
1800S-600W	xisto	cinza escura	xistosa	quartzo-feldspato biotita carbonato hornblenda clorita pirita	60 30-25 10 0-5 traços traços	grano-lepidoblástica
1800S-800W (2)	mármore cataclás- tico	cinza média esverdeada	bandeada	carbonato tremolita quartzo-feldspato biotita muscovita-titanita-pirita	80-75 15-10 5-10 0-5 traços	cataclástica
1800S-900W (2)	mármore	cinza escura esverdeada	bandeada	carbonato tremolita quartzo-feldspato biotita-muscovita-titanita-pirita	80-75 10-15 10 traços	granoblástica
1800S-1000W	mármore cataclás- tico	cinza média	gnáissica	carbonato tremolita feldspato alcalino titanita clorita-quartzo	85-75 10-20 5 0-5 traços	granoblástica
2150S-1200W (2)	mármore	rosada esverdeada	bandeada	carbonato biotita quartzo muscovita clorita-feldspato-titanita-pirita	80-75 15-10 5-10 0-5 traços	granoblástica
Bloco	mármore	cinza clara		carbonato quartzo-feldspato alcalino muscovita-sericita-diopsídio-pirita	95-100 0-5 traços	granoblástica
		cravos		quartzo-feldspato-anfíbólio-diopsídio-tita- nita-apatita-pirita	100	granoblástica

(2) Ver Quadro 17

* INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

QUADRO 18 - CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DOS MÁRMORES DE QUIXABA*

LOCALIZAÇÃO	PESO ESPECÍFICO APARENTE A SECO g/cm ³	PESO ESPECÍFICO APARENTE SATURADO g/cm ³	ABSORÇÃO D'ÁGUA %	POROSIDADE APARENTE %	DESGASTE mm	RESISTÊNCIA A FLEXÃO kgf/cm ²	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL SIMPLES kgf/cm ²		MÓDULO ELÁSTICO ESTÁTICO kgf/cm ²		MÓDULO ELÁSTICO DINÂMICO kgf/cm ²	
							SECO	SATURADO	SECO	SATURADO	SECO	SATURADO
1650N/250E	2,72	2,73	0,11	0,32	2,66	140	830	800	853 000	564 500	893 000	770 000
1600N/250E	2,71	2,72	0,23	0,62	2,90	130	840	860	660 000	626 500	844 000	810 000
1000N/350E	2,74	2,74	0,04	0,12	2,21	130	930	900	833 000	827 000	882 000	803 000
600N/OEW	2,73	2,74	0,12	0,32	3,09	160	1200	1100	707 000	607 000	866 000	795 000
600N/50E	2,71	2,71	0,15	0,41	2,44	130	800	700	662 000	598 500	840 000	740 000
500N/250E	2,73	2,73	0,18	0,50	2,78	155	980	970	700 500	554 500	818 000	761 000
100N/750E	2,71	2,71	0,13	0,34	2,27	140	1010	900	721 000	578 000	813 000	810 000
0NS/550E	2,72	2,72	0,09	0,24	1,72	160	1250	1300	803 000	800 000	812 000	770 000
1800S/900W	2,73	2,73	0,10	0,27	1,93	170	1300	1050	706 000	669 500	781 000	766 000
1800S/800W	2,77	2,77	0,04	0,10	1,81	170	1440	1180	690 500	644 500	811 000	750 000
2150S/1200W	2,72	2,73	0,16	0,42	2,44	180	1400	1020	569 000	521 500	760 000	755 000

Ver no Quadro 17 as características petrográficas das amostras.

* INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A., 1976 B.

mostram as micas e as piritas parcial ou totalmente alteradas, tingindo o mármore de ferrugem, e representam planos de maior fraqueza às solicitações mecânicas. Os minerais micáceos são freqüentes na porção sul do corpo e são representados por muscovita, flogopita e, mais raramente, clorita.

Dentre os metálicos, predomina a pirita (Figura 13). Todos se distribuem segundo zonas bem definidas dentro do corpo de mármore, concentrados nas bandas escuras. Apresentam-se normalmente oxidados, e sua lixiviação deixa pequenos orifícios geométricos, moldes dos cristais idiomórficos removidos.

O anfibólio, que é raro por toda a área estudada, ocorre notadamente no extremo sul do corpo, em ripas submilimétricas e raros cristais com, no máximo, 2 milímetros. Em geral é tremolita.

Foram reconhecidos também feldspato alcalino, em cristais inferiores a 0,1 mm, escapolita, sericita, titanita, apatita, diopsídio e plagioclásio.

Os minerais não-carbonáticos ocorrem, ou isolados, em bandas difusas e interdigitadas (Figura 11), ou agrupados, em nódulos (Foto 5). Em qualquer caso essas formações são concordantes com a atitude geral do corpo facilmente descartáveis no momento da extração.

Nas bandas difusas e interdigitadas, os não-carbonatos, não formam associações paragenéticas no conceito de WINKLER (1977), motivo pelo qual foram interpretadas como resultantes de material estranho (areias e argilas) depositado intercaladamente no pacote carbonático, refletindo o acamamento.

As concentrações nodulares foram interpretadas co-

Foto 4 - Vista da escarpa de uma das elevações mostrando o fraturamento horizontal e as caneluras

Foto 5 - Horizontes de nódulos silicáticos intercalados concordantemente no corpo de mármore de Quixaba.

mo camadas argilosas que, reagindo competentemente aos esforços cisalhantes, formaram "boudinage" (Foto 5) no conceito de BILLINGS (1964) e BELOUSSOV (1971).

Nas extrações em geral, os nódulos (Foto 2) são designados como "cravos", uma terminologia pouco técnica, mas adotada por faltar outra melhor e por estar profundamente enraizada entre os trabalhadores das pedreiras de cantaria. Ela designa tão somente as concentrações nodulares de minerais não-carbonáticos, independente de sua origem ou natureza. Os cravos são importantes para a conceituação da jazida por representarem núcleos de resistência da rocha ao desmonte, ao corte e ao polimento.

Os minerais não-carbonáticos ocorrem, também, em formações discordantes, com nítidas evidências de injeções as quais se associam concentrações de metálicos. São de natureza pegmatítica ou básica e penetram tanto os xistos quanto o mármore, ocorrendo principalmente na borda leste da porção norte do corpo de mármore. Nesses locais são frequentes veios de quartzo leitoso, ao redor dos quais o mármore torna-se silicático, rico em quartzo, feldspato alcalino e mica.

As impurezas do mármore, que foram causa de inúmeras paralizações de lavras anteriores em Quixaba, revelaram-se controladas por padrões de distribuição restritos, facilmente reconhecíveis, de forma que as porções afetadas possam ser descartadas à medida que a frente de desmonte avançar.

A composição mineral da rocha controla a evolução geomorfológica da área. Enquanto que as porções com rochas mais silicáticas resistiram aos agentes intempéricos, originando as elevações que expõem a rocha da pior qualidade e aspecto (Fotos 2, 3 e 4), as porções de rocha mais carbonáticas originaram os baixos topográficos, cobertos por solo

argiloso vermelho (Foto 3). A forma alongada (lenticular), com flancos abruptos, e a disposição (alinhados na direção N-S) dos afloramentos refletem a sedimentação diferencial de materiais mais e menos carbonáticos.

O aspecto litológico do corpo de mármore de Quixaba mais importante do ponto de vista econômico é a cor. Ela varia ampla e gradativamente em função da composição mineral formando bandas difusas e interdigitadas que, como dito anteriormente, refletem o acamamento pretérito (Figura 11). Nas porções onde predomina calcita a rocha é branca, com granulação grossa (sacaroidal) ou fina (leitosa). À medida que aumenta a concentração (até 20%) dos minerais não-carbonáticos a coloração varia conforme o mineral presente. Foi notada a correspondência da coloração cinza para quartzo, castanha para feldspato e verde para clorita e tremolita.

Em Quixaba a cor varia também de norte para sul do corpo refletindo um controle geotectônico. Enquanto que na porção do corpo ao norte a linha ONS predomina mármore branco, puro, na porção ao sul predominam rochas silicáticas, escuras, com abundância de quartzo e micas. Além de diferenças na composição mineral dos sedimentos pretéritos, tal variação foi interpretada como resultante da ação de metamorfismo termal, evidenciado pelas intrusões pegmatíticas e básicas, aflorantes na porção norte, e pela estrutura circular (Figura 10). Outros corpos carbonáticos distantes, mas pertencentes ao mesmo pacote dobrado em "S" (Foto 1) não mostram evidências de recristalização como a parte norte do de Quixaba.

Como os trabalhos recentes em Quixaba visaram o corpo de mármore, suas encaixantes foram pouco estudadas (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1976 A e C).

Os xistos ocorrem a leste e ao sul da área concordantemente com o mármore. Eles são representados, principalmente, por hornblenda-feldspato-quartzo-biotita xistos de textura grano-lepidoblástica (Quadro 17). O feldspato predominante é o plagioclásio, parcialmente sericitizado, mas também ocorre microclínio subordinadamente. O quartzo exibe forte extinção ondulante, sugerindo a ação de esforços tectônicos.

O gnaiss ocorre a oeste da área passando, gradativamente, para xisto ao sul, com aumento dos minerais plácoides. Sua orientação nem sempre é nítida devido às grandes quantidades de quartzo e feldspato em relação à mica. O feldspato predominante é microclínio de coloração rósea. Apresenta-se em blastos de até 2 mm, com intercrescimentos peritíticos, fraturados, e envolvidos por cristais menores de feldspato, quartzo e muscovita-sericita. São frequentes veios de quartzo leitoso cortando os gnaisses.

A preocupação, no reconhecimento estrutural, foi a qualificação e quantificação das descontinuidades físicas do corpo de mármore. Como descontinuidades físicas foram considerados o acamamento e/ou xistosidade e o fraturamento. Seu levantamento constou de contagem por metro linear e da medida de suas atitudes, bem visíveis nos abundantes afloramentos da área (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A., 1976 A e C).

O exame espacial das fraturas permitiu a identificação de quatro sistemas de fraturamento.

Dois deles têm direções médias N84W ou N30-65E e são verticais, ou com fortes mergulhos para SE ou NW. São pouco expressivos em termos de frequência, não comprometendo o aproveitamento da rocha, interpretados como de origem tectônica segundo a fotointerpretação regional (Figura

10). Os valores das medidas realizadas foram lançados em perfis topográficos (Figura 12) e em diagramas de frequência tipo Schmidt-Lambert. Os resultados foram computados separadamente para as porções norte e sul do corpo de Quixaba (Figura 14).

Outros dois são de origem intempérica, ligados à evolução geomorfológica da área, em geral realçados por dissolução. Foram assim, interpretados por acompanharem nitidamente a superfície (Foto 4) e diminuírem em profundidade.

Um deles também é vertical, com direção aproximada N-S, acompanhando o acamamento, originado por alívio de carga lateral (Figura 12). Ele diminui das bordas para o centro dos afloramentos, explicando os flancos abruptos das elevações, e de alto a baixo das mesmas (Foto 3).

O outro é horizontal, ou com mergulhos nunca superiores a 15° - 20° , paralelo à linha de topo, originado por alívio de carga sobrejacente. Ele também diminui de alto a baixo das elevações, desaparecendo em profundidade (Foto 3).

Paralelamente às investigações geológicas, para análise da viabilidade econômica, os estudos recentes em Quixaba, compreenderam uma pesquisa de mercado na sua região de influência (PIAUÍ, 1976). Como zona de influência foram considerados os Estados do Ceará, Piauí, Maranhão, Pará, e Amazonas. Os demais Estados do Nordeste foram excluídos dada a existência de lavras de mármore para cantaria em atividade no Estado do Rio Grande do Norte e na Bahia.

A pesquisa de mercado constou, em síntese, do levantamento do volume de venda (consumo) e procedência dos materiais comercializados, através de questionários aplicados aos vendedores de cantaria nas principais cidades da região de influência.

Figura 14 - Diagramas de frequência das fraturas para as porções norte e sul do corpo de mármore de Quixaba.

Com relação ao volume consumido foi constatado que a utilização de cantarias na região não é muito difundida. Não existem vendedores exclusivos ou especializados na orientação de sua utilização que tem ficado restrita à edifícios públicos, contribuindo para a imagem de material de alto requinte. Também nem todos consumidores têm noção exata da relação do preço do mármore para o de seus substitutos, e utilizam madeira de lei ou vitrificados por suporem que sejam de preços mais baixos. Quanto utilizam, é notável a preferência do público (70%) pelos mármore de cor branca e uniforme.

Com relação a procedência dos materiais, a pesquisa mostrou que 14% dos 120.250 m² consumidos na região em 1975, provieram das minas do Rio Grande do Norte. Os 86% restantes foram comprados do Rio de Janeiro (37%), Espírito Santo (33%), Itália (10%), Minas Gerais (2%), Paraná (2%) e São Paulo (2%). O frete foi considerado como principal encarecedor do produto contribuindo com parcelas de 25% e 50% do valor total do produto na região.

A estimativa da demanda futura foi estabelecida em função da quantidade de mármore consumido na região de influência. Dados sobre esse parâmetro foram obtidos somente para 1973, 1974 e 1975, quando os respectivos consumos foram de 74.000 m², 106.800 m³ (+ 44,32%) e 120.250 m² (+ 12,59%). A média anual de crescimento é da ordem de 30%, confirmada por 30% dos 26 revendedores de cantaria da região terem menos de dois anos de funcionamento (PIAUI, 1976).

A pesquisa de mercado salientou as dificuldades na coleta de dados por falta de uma uniformização da terminologia. O maior problema encontrado foi devido à ambiguidade do termo "bloco". Para alguns é a peça de rocha retirada da pedreira e para outros é cada placa serrada. A mesma ambiguidade tem trazido dificuldades para os órgãos de con-

trole do comércio exterior (comunicação verbal de Emanuel Mateus de Castro, Editor da Revista "Rochas de Qualidade").

A partir dos resultados do levantamento litológico-estrutural da jazida e da pesquisa de mercado, foram selecionadas as porções do corpo de mármore mais apropriadas quanto à cor, para caracterização tecnológica e cubagem da rocha.

Em função da cor branca, preferida pelo público da região, os estudos recentes em Quixaba se restringiram à porção norte do corpo, delimitada pelas linhas OEW, 400 E, 500 N e 2000 N (Figura 11). Consistiram primeiramente de amostragem para ensaios que foram executados segundo recomendações do "A Technical Guide to the Rational use of Marble (ITALIAN MARBLE INDUSTRIE, 1972), da Internacional Society for Rock Mechanics, da American Society of Technical Materials (ASTM), da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (IPT). Os índices físicos (peso específico aparente a seco e saturado, absorção de água, porosidade aparente) foram executados segundo a Norma IPT-M-47. A resistência ao desgaste abrasivo foi efetuado segundo a Norma PMB-849, da ABNT. A resistência à flexão foi determinada conforme a Norma ASTM-C-78-64 e a compressão axial simples segundo o método IPT-M-50. Os módulos de deformabilidade estático e dinâmico foram efetuados segundo métodos próprios do IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A., 1976-B). Os resultados permitiram concluir que o mármore de Quixaba se enquadra perfeitamente dentro das especificações para cantaria (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A., 1976 B e C, CARUSO, TAIOLI & FARJALLAT, 1978).

Do ponto de vista estético o mármore de Quixaba, se destaca pelo lustro, que adquire com o polimento. E pa-

ra quem não desejar só a cor branca uniforme, há rochas capazes de proporcionar belos efeitos decorativos, pelo seu bandejamento difuso, com tonalidades suaves de cinza, rosa e verde.

Ensaio de alteração acelerada, para avaliar a influência dos metálicos, não mostraram efeitos depreciativos em curtos espaços de tempo. Mas como é de se esperar que eles se oxidem nas atmosferas poluídas dos centros industrializados, é recomendável que as peças que os contiverem sejam utilizadas em revestimentos de interiores (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A., 1976 B e C).

Definida a qualidade da rocha, foram desenvolvidas atividades para quantificação de uma quantidade mínima de mármore capaz de viabilizar um empreendimento. Com base nos prazos de 20 anos para amortização de capital e depreciação de equipamentos a taxa de crescimento anual do consumo de 30%, 86% do qual caberia à Quixaba (PIAUI, 1976) e nas taxas de recuperação dos processos de produção das cantarias de 70% do maciço para os blocos (MENDES, 1974, 1979 A) essa quantidade mínima é da ordem $1.600.000 \text{ m}^3$.

Partindo-se dos 120.250 m^2 consumidos em 1975, em 20 anos terão sido demandados $17.579.582 \text{ m}^2$ de placas de mármore, dos quais $15.118.800 \text{ m}^2$ terão provindo de Quixaba. Para tal produção, tomando-se a média de 23 m^2 de blocos para cada m^3 de bloco, o volume de rocha em blocos, deverá ser de $1.095.565 \text{ m}^3$ e de rocha no maciço, de $1.565.094 \text{ m}^3$. A partir dos 160.000 m^2 em que aflora mármore branco, ou de tonalidades claras, e da atitude vertical do corpo, essa quantidade de material era esperada até 10 metros de profundidade, descontados o solo e trecho da rocha semi-intemperizada.

Para verificação do corpo em profundidade foram

executadas 16 sondagens rotativas, com profundidades médias de 35,5 m, espaçadas de 100 x 100 metros. As sondagens foram realizadas com vistas, exclusivamente, à cubagem da quantidade mínima para um empreendimento de mármore para cantaria, tendo confirmado as expectativas da uniformidade litológica e de inexpressividade de fraturamento do corpo em profundidade.

Para a verificação do fraturamento, foram utilizados barriletes duplos móveis, de grande diâmetro (NX-BX) e foi imprimida a menor rotação possível ao hasteamento. Sempre que os segmentos dos testemunhos se encaixavam perfeitamente, as rupturas foram interpretadas como provocadas e não foram computadas para a quantificação de grau de fraturamento. Como alguns dos segmentos giraram uns contra os outros dentro do barrilete, enquanto perdurava a manobra, por vezes não foi possível aplicar esse critério, pelas bases dos segmentos contíguos estarem desgastadas. O número de fraturas provocadas aumenta com a profundidade, à medida que o peso do hasteamento exigia maiores rotações da sonda. Como a maior parte desses casos ocorreram abaixo dos 15 metros necessários para a cubagem do volume mínimo de rochas, o fato não causou maior preocupação.

Apesar de ter sido cubado somente o mínimo, o potencial em rochas carbonáticas de Quixaba para cantaria e outras finalidades é muito maior em vista das extensões do corpo para norte, sul e leste que não foram estudadas.

Separadas as porções de rocha adequadas para cantaria, a jazida deverá ser aproveitada para outros fins, como cimento, cal, química em vista de seus altos teores em CaCO_3 . Mesmo os sub-produtos da industrialização de cantaria deverão ser aproveitados.

5. CONCLUSÕES

Embora os recursos em pedra para construção civil sejam ilimitáveis em termos globais, sua abundância difere de uma região para outra conforme a natureza geológica do terreno. Devido ao grande número de rochas, de diferentes naturezas e várias propriedades, para diversas aplicações na construção, nenhuma região pode ser considerada autosuficiente em todas suas necessidades.

De todas as aplicações das rochas em construções, sua utilização mais nobre é como cantaria, para o que são mais raras e de prospecção mais difícil. Além da rigidez e durabilidade exigidas para utilização na construção para cantaria as rochas devem apresentar suscetibilidade ao polimento e beleza, só desenvolvidas em condições geológicas especiais. No entanto em todas as regiões, a prospecção de recursos desse tipo de rocha tem se caracterizado como a mais empírica das atividades da indústria extrativa mineral.

A disponibilidade de materiais rochosos para cantaria tem sido agravada com a expansão dos centros urbanos, em termos de ocupação espacial, demanda e preço dos combustíveis, exigindo a procura de novas fontes, ou a retomada de outras abandonadas, através de investigações mais apuradas dos condicionantes geológicos de sua ocorrência e de seu aproveitamento.

Como para os demais recursos minerais, a prospecção de reservas em rochas para cantaria consta de qualificação e quantificação de jazimento e viabilização do empreendimento. Enquanto que a qualidade é avaliada em termos de posição mineral e textural, a quantidade é avaliada em termos de volume de material disponível. Ambas dependem da na-

tureza geológica do jazimento, que condiciona o aproveitamento da rocha em função do grau de fraturamento, homogeneidade composicional, cobertura regolítica e nível freático. A economicidade é regida pelas condições de infraestrutura básica para produção e escoamento e de mercado da região de influência.

As atividades em Quixaba, contribuíram com grande quantidade de dados para a prospecção de jazidas de mármore para cantaria. Por serem utilizadas na forma maciça, apenas modeladas segundo a forma e dimensões dos projetos arquitetônicos, seus métodos de prospecção devem ser os menos destrutíveis possível, fazendo da evolução geomorfológica da região a chave para a interpretação das feições do jazimento e sua maneira de aproveitamento. Nesse sentido são valiosas as observações de superfície através de recursos indiretos de sensores (fotografias aéreas, imagens de radar e satélite) e diretas (mapeamento litológico e estrutural).

Em Quixaba, o corpo de rochas carbonáticas forma uma depressão em relação às rochas silicáticas adjacentes, resultante da ação de intemperismo físico, típico das regiões de clima seco, onde a modelagem de relevo é desenvolvida em função das diferenças litológicas. Nele, as porções com silicatos também resistiram à erosão, originando elevações desnudas que contrastam com baixos de rocha carbonática mais pura, recobertos por solo.

Esse tipo de evolução geomorfológica determina a lavra em cava, como é o caso das jazidas do Rio Grande do Norte e Bahia, diversa da lavra em flanco, como no Espírito Santo, Paraná, Minas Gerais e outros estados do Sul. A economicidade da lavra em cava deve ser avaliada em termos de profundidade até onde é viável o alçamento dos blocos e não aflore o nível hidrostático. A partir de então devem ser feitos estudos para a viabilidade da extração subterrânea co

mo já existe em alguns países.

A evolução geomorfológica também condiciona o comportamento do fraturamento conforme sua origem. Quando de origem intempérica, é apenas superficial e desaparece com a profundidade. Quando de origem tectônica manifesta-se em profundidade. Em qualquer caso é necessário qualificá-lo e quantificá-lo, considerando que, mesmo para cantaria e alvenaria, é conveniente que o maciço apresente direções de fraqueza para facilidade de produção de blocos. Em pequena escala, o fraturamento é de efeito mais depreciativo quanto mais diferente das dimensões ótimas dos blocos para os teares, ou seus múltiplos. Considerando-se que essas dimensões são, em média de 1 x 2 x 3 metros, somente maciços ultrafraturados serão prejudicados.

A evolução geomorfológica da região de Quixaba, caracterizada pela intensa desintegração física e erosão, ocasionou grande quantidade de fraturas por alívio de carga sobrejacente e lateral. Às fraturas, bem visíveis nas elevações de rochas carbonáticas impuras, somam-se as caneluras, compondo o aspecto realmente desaprovador de uma apreciação rápida da rocha aflorante. No entanto, um exame mais detalhado mostra que o fraturamento diminui de alto a baixo das elevações e que ocorre rocha pura e homogênea nas porções baixas do corpo, encobertas pelo solo.

A distribuição das impurezas, outro aspecto que pode depreciar a rocha para cantaria, também é identificada com as observações detalhadas de campo. Em vista da correlação entre cor e composição mineral, mármore mais puros e mais homogêneos devem ser procurados em porções topográficas conforme o tipo de clima da região.

Em Quixaba existem dois padrões de distribuição de mármore mais e menos puros. Um é tectônico, segundo o qual

ocorre mais mármore branco ao norte, resultante de uma deposição mais carbonática e de ação mais intensa de metamorfismo termal, deduzida das inúmeras intrusões ácidas e básicas e da estrutura circular; o outro é faciológico, segundo o qual ocorre interdifusões gradativas de rochas carbonáticas mais e menos impuras, e níveis bem definidos de cravos, refletindo o acamamento ora verticalizado. Os padrões de distribuição das impurezas e a geomorfologia da área são o principal controle para as atividades extrativas em Quixaba segundo as quais mármore puros e homogêneos devem ser procuradas em porções topograficamente rebaixadas quase sempre recobertas por solo. A pequena espessura do solo da área (2 metros) não chega a afetar a economicidade da extração.

Sondagens rotativas para a verificação do comportamento do fraturamento não são totalmente satisfatórias. Por imprimirem esforços multidirecionais através do hasteamento à base dos testemunhos, apesar dos cuidados tomados, ocorrem inúmeras rupturas de distinção difícil, ou impossível, entre naturais ou provocadas. Com Quixaba concluiu-se que sondagens, poços, trincheiras, galerias e geofísica que utilizem explosivos devem ser evitados na prospecção de cantos, ou por destruir a rocha, ou por produzirem prefissuramento indesejável, além de encarecerem desnecessariamente a pesquisa.

O fraturamento que foi causa de inúmeras suspensões da lavra em Quixaba, agora é tido como um elemento de valor por facilitar o desmonte de blocos, já naturalmente liberados, ou faceis de serem liberados.

A existência de grande número de rochas com aplicações em vários ramos industriais e a falta de uma terminologia clara e precisa tem impedido a compilação completa de dados.

Para a realização de diagnósticos e prognósticos reais sobre o setor é preciso distinguir os conceitos petrológicos dos industriais e comerciais.

O termo "mármore" deve ser empregado com conotação petrográfica, para designar rochas carbonáticas, calcínicas, dolomíticas, bem cristalizadas por metamorfismo termal. Como em outros tipos químicos de rochas, além da beleza estética, a cristalização as fazem suscetíveis de adquirir lustro pelo polimento. As demais rochas carbonáticas podem ser tratadas como "calcário" sedimentares ou metamórficos.

O termo "cantaria" deve ser empregado com conotação industrial para designar o conjunto de rochas, que pelas propriedades físicas, é capaz de adquirir lustro pelo polimento. Assim, são rochas de cantaria os mármore, granitos, basaltos, travertinos, etc. E para os tipos litológicos, em peças de rochas não suscetíveis de polimento deve ser usado o termo "alvenaria". São rochas de alvenaria os arenitos, quartzitos, calcários, xistos.

As adjetivações das rochas, para identificá-las por alguma de suas feições notáveis, são conceituações comerciais.

Boa distinção deve ser feita, também, entre "blocos" e "placa" ou "chapa". Tratam-se de produtos de duas etapas bem distintas da produção da cantaria. O termo "bloco" deve ser empregado para designar a peça saída da jazida, enquanto o termo "placa" ou "chapa" deve ser utilizado para as peças resultantes da serragem dos blocos. As "placas" ou "chapas" podem ser utilizadas na forma polida ou não.

Por existir um grande número de rochas com aplicações em vários ramos industriais, é preciso identificar as parcelas destinadas a cada um deles para o perfeito conhe-

cimento do mercado de rochas para construção, especialmente de cantarias.

Em vista da maneira como são utilizadas (na forma maciça), os dados sobre as reservas de rochas para construção devem ser expressos em m³.

6 - BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F.F.M. de - 1967 - Origem e evolução da plataforma brasileira. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, 36 p. (Boletim, 241).
- ALMEIDA, F.F.M. de - 1969 - Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 23, Salvador. Anais... Salvador, SBG, p. 29-46.
- ANUÁRIO INDUSTRIAL BRASILEIRO DE MÁRMORES E GRANITOS - 1973/1974. São Paulo, Emanuel, v.1.
- AUBOIN, J. - 1965 - Geosynclines, Amsterdam, Elsevier, 335 p.il.
- AZAMBUJA, J.L.; SILVA, Z.C.G. da - 1977 - Perfil Analítico dos mármore e granitos. São Paulo, MME/DNPM, 2 v.il. (Boletim, 38).
- AZEVEDO, L.G. de; TUYUAMA, V.; CUNHA, J.L.J. da - 1973 - Uso potencial da terra. da Folha SB-23 - Teresina e parte da Folha SB-24 - Jaguaribe. In: BRASIL, Departamento Nacional de Produção Mineral - PROJETO RADAM: Folha SB-23 - Teresina e parte da Folha SB-24 - Jaguaribe. Rio de Janeiro, DNPM. p.v/1 - V/25 (Levantamento de Recursos Naturais, 2).
- BARBOSA, G.V.; BOAVENTURA, R.S.; PINTO, M.N. - 1973 - Geomorfologia, da Folha SB-23 - Teresina e parte da Folha SB-24. Jaguaribe. In: BRASIL, Departamento Nacional de Produção Mineral. PROJETO RADAM. Folha SB-23. Teresina e parte da Folha SB-24. Jaguaribe, Rio de Janeiro. DNPM p.II/3 - II/24 (Levantamento de Recursos Naturais, 2).
- BARROS FILHO, C.N.; MOÇO, M.F. - 1978 - Condicionamento Geológico de Aproveitamento Econômico da Jazida de Mármore de Quixaba. PI. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife, ... 1978. Anais... Recife, SBG, v.4, p.1744-1756.
- BATHURST, R.G.C. - 1971 - Carbonate Sediments and Their Diagnosis - Amsterdam. Elsevier, 620 p.il. (Developments in Sedimentology, 12).
- BELOUSSOV, V.V. - 1971 - Problemas básicos de geotectônica; tradução de S.Camiña e M.Gutiérrez Elorza. Barcelona, Omega, 854 p.il.
- BENSUSAN, K.E. - 1940 - O Desenvolvimento da indústria de mármore no Brasil. Mineração e Metalurgia. Rio de Janeiro, 5 (27) 133 - 135.

- BETEJTIN,A. - Curso de Mineralogia - Tradução de L. Vládov, Moscu, Editorial Paz, s.d. 731 p. il.
- BEURLIN,H. - 1975 - Correspondência reservada à chefia da R. M., sobre as jazidas de mármore de Quixaba - PI s.l.p.s. c.p.
- BEURLIN,K. - 1967 - A estrutura geológica do Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 21, Curitiba, 1967, Anais...Curitiba, SBG, p.151 - 158.
- BILLINGS,M.P. - 1964 - Structural Geology. 2 ed. Englewood Cliffs, Prentice - Hall, 514 p.il.
- BISSEL,H.J. & CHILINGAR,G.V. - 1967 - Classification et sedimentares carbonate rocks - In: CHILINGAR,G.V.;BISSEL, H.J. & FAIRBRIDGE,R.W. ed. Carbonate rocks;physical and chemical aspects. Amsterdam, Elsevier. p.87 - 168. (Development in Sedimentology, 9A).
- BOWLES,O. - 1939 - The Stone Industries: dimension stone, construction stone, geology, tecnology, distribution, utilization, 2 ed., New York, Mc-Graw-Hill, 519 p.il.
- BRASIL, Ministério das Minas e Energia/Departamento Nacional de Produção Mineral - 1972 a 1980 - Anuário Mineral Brasileiro - Rio de Janeiro - Brasília, DNPM.
- BRASIL, Ministério das Minas e Energia/Departamento Nacional de Produção Mineral - 1980 - Boletim de Preços: - Bens Minerais e Produtos Metalúrgicos, Brasília, DNPM, 7 (35) out/nov/dez.
- BRINKMANN,R. - 1964 - Geologia Geral, tradução de Maria Lacerda - Lisboa. Fundação Calouste Gulbenkian,609, p.il.
- BUILDING STONE INSTITUT - 1972 - Stone Catalog.s.c.p.
- CAMPOS,M.de; BRAGA,A.de P.G.; MELLO,A.de; SANTOS,E.M.de SILVA,F.A.F.de; FRANÇA,J.B.de - 1979 - Projeto Rio Jaguaribe, Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba: Relatório final de Geologia. Brasília, DNPM, 149 p.il. (Série Geologia,4. Série Geologia Básica, 1).
- CARR,D.D.; ROONEY,L.F. - 1975 - Limestone and dolomite - In: LEFOND,S.J., ed. Industrial Minerals and Rocks: non metallics other than fuels. 4 ed. rev.New York.AIME, p 757 - 789.

- CARUSO, L.G.; TAIOLI, F.; FARJALLAT, J.E.S. - 1978 - Os mármo-
res e granitos brasileiros, seu uso e suas caracterís-
ticas tecnológicas - Rochas de Qualidade, São Paulo,
9 (47): 36-45.
- CAVALCANTI, A.M.de S. - 1951 - Tecnologia da Pedra s.l. p.,
Pongetti, 309 p.il.
- CHILINGAR, G.V.; BISSEL, H.J.; FAIRBRIDGE, R.W. - 1967 - Car-
bonate Rocks - 2 v. Amsterdam, Elsevier (Developments
in Sedimentology, 9A e 9B).
- CREPANI, E.; MARTINI, P.R.; VENEZIANI, P.; PAIVA FILHO, A.; MO-
ÇO, M.F. - 1977 - Mapa Geológico Preliminar do Précam-
briano do Piauí. In: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE,
8, Campina Grande, Atas, SBG.
- CRUZ, W.B.; FRANÇA, H.P.M. - 1970 - Inventário hidrológico do
Nordeste: Folha nº 14 - Jaguaribe - 50. Recife, SUDENE,
Div.Hidrogeologia, 222 p. il. (Brasil, SUDENE, Hidro-
geologia 31.).
- CURRIER, L.W. - 1960 - Geologic appraisal of dimension stone
deposits. Washington, U.S.Government Printing Office,
78 p. il. (U.S.Geological Survey Bulletin, 1109).
- DANTAS, J.R.A. - 1974 - Carta Geológica do Brasil, ao milio-
nésimo: Folha SB-24 - Jaguaribe e Folha SB24 - Forta-
leza. BRASIL, DNPM, 74 p.
- DUNBAR, C.O.; ROGERS, J. - 1966 - Principals of Stratigraphy.
New York, John Wiley, 356 p.il.
- EICHER, D.L. - 1969 - Tempo Geológico, tradução de José Edu-
ardo Siqueira Farjallat. São Paulo. Edgard Blücher, 172
p.il. (Textos Básicos de Geociência).
- ERGUVANLI, K.; YÜZER, E.; GÜLEC, K.; ZANBAK, C. - 1974 - A pro-
posal for classification of marbles. In: INTERNATIONAL
CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINE-
ERING GEOLOGY, 2, São Paulo. Proceedings. São Paulo,
ABGE, v.1. IV-27, 1/27 il.
- FERREIRA, A.B.H. - 1975 - Novo Dicionário da Língua Portugue-
sa. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1516 p.
- FERREIRA, C.A.; BARROS, F.L. - 1974 - Projeto Cococi, Folha
Pio IX - SB-24-Y-A-VI; relatório final, Recife, DNPM/
CPRM, v.3.

- FERREIRA, E.O. - 1972 - Carta Tectônica do Brasil: nota explicativa. Rio de Janeiro, DNPM, 19 p.
- FRANCO, B.de A.; FERREIRA, J.A.de M. - 1971 - Parecer acerca da jazida de mármore da COCEMI, situada no município de Pio IX-PI. Recife. s.c.p.
- FRANCO, R.R. - 1975 - Rochas de revestimento. Rochas de Qualidade. São Paulo. ed. maio/junho 1975.
- FREITAS, R.O.de - 1951 - Ensaio sobre a tectônica moderna do Brasil. São Paulo, USP, FFCL, 120 p.il. (Geologia nº 6, Boletim 130).
- HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M.de; NEVES, B.B.de B. - 1978 - As estruturas brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 30, Recife, 1978. Anais. Recife, SBG, v.6.p.2423-2435.
- HURLBUT, JR.; C.S. - 1941 - Dana's Manual of Mineralogy. 15 ed., New York, John Wiley & Sons, 481 p.il.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. - 1975 - São Paulo. Pesquisa de Mármore em Quixaba - PI. Plano de Trabalho DMGA 11/75, São Paulo, 14 p.il.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. - 1976 A - Levantamento geológico de detalhe do mármore na região de Quixaba-PI. (Relatório 9163), São Paulo, 63 p. il.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. - 1976 B - Caracterização tecnológica para uso em cantaria do mármore de Quixaba-PI (Relatório interno), São Paulo, 50 p.il.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. - 1976 C - Pesquisa de mármore em Quixaba-PI, 2v. (Relatório 9541), São Paulo, 161 p.il.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. - 1977 - Pesquisa de mármore em Quixaba - Fase II. Plano de Trabalho DMGA 131/77, São Paulo, 14 p.il.
- ITALIAN MARBLE INDUSTRIE - 1972 - A technical guide to the rational use for marble. Milan, 223 p.il.

- JAPIASSU, A.M.S.; VELOSO, H.P.; GOES FILHO, L.; LEITE, P.F. - 1973 - As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudos fitogeográficos da Folha SB-23 - Teresina, e parte da Folha SB-24 - Jaguaribe. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM: Folha SB-23. Teresina e parte da Folha SB-24 - Jaguaribe. Rio de Janeiro, DNPM P.IV/1. IV/100. (Levantamento de recursos naturais, 2).
- JUNG, J. - 1963 - Précis de ptrographie: roches sdimentaires, metamorphiques et eruptives. 2 ed. Paris, Masson 319 p.il.
- KEGEL, W. - 1954 - Tectnica e morfologia na Serra dos Cariris Novos (Piau-Cear). Anais da Academia Brasileira de Cincias. Rio de Janeiro, 26 (1): 149-155, jan.
- KEGEL, W. - 1965 - A Estrutura geolgica do Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, 47 p.il. (Boletim, 227).
- KLOCKMANN, F.; RAMDOHR, P. - 1961 - Tratado de Mineralogia. Barcelona, Editorial Gustavo Gili, S.A., 736 p.il.
- KRAUSKOPF, K.B. - 1972 - Introdu Geoqumica. Tradu Michal Lando e Paulo S.C. Bogus. So Paulo. Polgono e Editora da USP, 2v. il.
- KRUMBEIN, W.L.; SLOSS, L.L. - 1963 - Stratigraphy and sedimentation. 2 ed., San Francisco, W.H. Freeman, 660 p.il.
- LADEIRA, F.L. - 1977 - Mrmore, Boletim de Minas, Lisboa, 14 (4) 187-242, out/dez.
- LAPADU-HARGUES, P. - 1954 - Prcis de minralogie. Paris. Masson, 310 p.il.
- LAPORTE, L.F. - 1975 - Ambientes antigos de sedimenta, tradu e adapta de Setembrino Petri. So Paulo, Edgard Blcher, 145 p.il. (Textos Bsicos de Geocincia).
- LIBAULT, A. - 1975 - Cartografia, So Paulo. Ed. Nacional e Editora da USP, 388 p.il. (Biblioteca Universitria, srie 6 Geografia e Histria, v.1).
- LINZELL, P.G. - 1973 - Relatrio de recomenda sobre os depsitos e minas de mrmore de Quixaba, estado do Piau. Brasil - (No editado).

- LOCZY, L.de; LADEIRA, E. - 1976 - Geologia estrutural e introdução à geotectônica. São Paulo - Rio de Janeiro, Edgard Blücher e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 528 p.il.
- MAMET, B.L.; D'ALBISSIN, M. - 1967 - Influence of pressure and temperature on limestones. In: CHILINGAR, G.V.; BISSEL, H.J.; FAIRBRIDGE, R.W.ed. Carbonate rocks; physical and chemical aspects. Amsterdam, Elsevier. p.209-223. (Developments in sedimentology, 9B).
- MASON, B. - 1971 - Princípios de Geoquímica, tradução de Rui Ribeiro Franco. São Paulo. Polígono e Editora da USP, 381 p.il.
- MAUSOLEE - 1976 - Marbres, serpentines-onyx et autres calcaires cristallines. In: Essai de nomenclature de carrières françaises des roches de construction et de decoration. Givors. Le Mausolée. p.114-135.
- MELLO, A.A.de; SOUZA, E.M.de; MENDONÇA, J.C.G. - 1978 - A tectônica linear no Estado do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife, 1978. Anais. Recife, SBG, v.1 p.393-407.
- MENDES, F.de M. - 1974 - Condicionalismos e problemas da indústria das pedras de construção e ornamentais: ciclo de palestras proferidas na Universidade de Luanda-Luanda, Departamento de Engenharia de Minas, 122 p.il.
- MENDES, F.de M. - 1979 A - A indústria do mármore; passado, presente e futuro. Rochas de Qualidade, São Paulo, 10 (48): 8-19, jan/fev., (49): 15-31, mar/abr., (50): 20-30, mai/jun., (52): 6-18, set/out.
- MENDES, F.de M. - 1979 B - Comercialização do mármore. Caracterização das respectivas qualidades. Otimização do aproveitamento das jazidas. Rochas de Qualidade. São Paulo, 10 (53): 5-14, nov/dez.
- MIYASHIRO, A. - 1975 - Metamorphism, and metamorphic belts. London, George Allen, 492 p.il.
- MOORE, R.C. - 1958 - Introduction to historical geology. 2 ed. New York, Mc-Graw-Hill, 1957. 656 p.il.

- MOTINOT, R. - 1972 - En Valpolicella, le Congress de Geologie Appliquée a nos roches. Le Mausolée, Givors, (435):2489-2492.
- MOTINOT, R. - 1973 - Marbre. Le Mausolée. Givors, (432):1255-1256.
- MUSSA, D.; MOÇO, M.F. - 1974 - Sequências Carbonatadas de pré-inversão do Ciclo Brasileiro. São Paulo. (não editado).
- NEVES, B.B.de B. - 1973 - Elementos da geologia PréCambriana do Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, - Aracaju, 1973. Anais. Aracaju, SBG, v. 2, p. 105-134.
- NEVES, B.B.de B. - Regionalização geotectônica do PréCambriano no Nordeste, São Paulo. 198 p. (Tese de doutoramento Instituto de Geociências, USP).
- NEVES, B.B.de B.; HASUI, Y.; WERNICK, E. - 1978 - As regiões de dobramentos nordeste e sudeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife, 1978. Anais. Recife, SBG. p. 2493-2507.
- NUNES, A.de B.; LIMA, R.F.da F.; BARROS FILHO, C.N. - 1973-Geologia da Folha SB-23 - Teresina e parte da Folha SB-24 - Jaguaribe. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral - Projeto RADAM: Folha SB-23 - Teresina e parte da Folha SB-24 - Jaguaribe. Rio de Janeiro. 1973. p. I/1-I/33. (Levantamento de Recursos Naturais, 2).
- OLIVEIRA, J.C.; FORTES, F.P.; FERREIRA, C.A.; GOMES, H.A.; LINS, C.A.C. - 1974 - Projeto Cococi: relatório final. Recife, DNPM/CPRM. U.S.
- PETRUCCI, E.G.R. - 1974 - Utilização de materiais naturais na construção. Rochas de Qualidade, São Paulo, (3): 17-27, set/out.
- PHILLIPS, F.C. - 1975 - La aplicación de la progrección estereografica em geologia estructural; version española de Carlos Martin Escorza. España, Blume, 132 p. il.
- PIAUÍ, Secretaria de Planejamento/Fundação Centro de Pesquisa de Mercado - 1976 - Mármores, pesquisa de mercado. Teresina, COMDEPI/CEPRO. 30 p.

- PICHLER, E. - 1942 - A petrografia e os ensaios tecnológicos das rochas. São Paulo, IPT, 26 p. il.
- PICHLER, E. - 1951 - Pedra, pedregulho e areia: localização e estudo - Revista Politécnica. São Paulo, 39-45, mar/abr.
- PICOCHÉ, J. - 1971 - Nouveau dictionnaire étymologique du français. Paris, Hachette-Tchou, 827 p.
- POWER, W.R. - 1975 - Construction materials: dimension and cut stone. In: LEFOND, J., ed. Industrial Minerals and Rocks: Nonmetallics other than fuels. 4 ed., New York, AIME, p. 157-174.
- RAMBERG, H. - 1952 - The origin of metamorphic and metasomatic rocks: a treatise on recrystallization and replacement in the earth's crust. The University of Chicago., 317 p. il.
- RAY, R.G. - 1963 - Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento geológico. Trad. Jesuino Felicíssimo Junior. São Paulo, Secr. da Agricultura/Instituto Geográfico e Geológico. 2 v.
- RICCI, M.; PETRI, S. - 1965 - Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica. São Paulo, Ed. Nacional. 226 p. il. (Biblioteca Universitária, série 4^a, Ciências Aplicadas, v.2).
- ROSSI-MANARESI, R.; TORRACA, G. - 1972 - The treatment of stone: proceedings of the Meeting of the Joint Committee for the Conservation of Stone, Bologna, October 1-3-Bologna, Centro per la Conservazione delle Sculture All'Aperto. 280 p. il. (Rapporti della Soprintendenza alle Gallerie de Bologna, 14).
- ROSSI-MANARESI, R. - 1976 - The conservation of stone I: proceedings of International Symposium, Bologna, 1975. (Centro per la Conservazione delle Sculture All'Aperto).
- SALVAT - 1979 - A pré-história. Rio de Janeiro. Salvat do Brasil, 141 p. il. (Biblioteca Salvat de Grandes Temas, 43).
- SHELTON, J.E.; DRAKE, H.J. - 1975 - Stone. In: Mineral facts and problems. United States Bureau of Mines. Washington, p. 1031-1048 il. (Bureau of Mines, Bull, 667).

- SINTONI, A.; VALVERDE, F.M. - 1978 - Rochas calcárias nos Estados de São Paulo e Paraná. Brasília. MME/DNPM; 131 p.il. (Boletim 45).
- SOMMER, A.; ARAUJO, M.P.de; MARTINS, J.S.; CORREA, P.R.S. - 1973 - Levantamento exploratório de solos da Folha SB-23 - Teresina e parte da Folha SB-24 - Jaguaribe. In: BRASIL, Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM: Folha SB-23 - Teresina e parte da Folha SB-24 - Jaguaribe. Rio de Janeiro, DNPM. p.III/1-III/133 (Levantamento de Recursos Naturais, 2).
- SUSZCZYNSKI, E.F. - 1966 - Considerações sobre a evolução tectônica-orogênica da parte oriental do escudo brasileiro. Boletim de Recursos Naturais, Recife, 4(3/4):371-416, jul/dez.
- TOURENQ, C. - 1974 - Propriétés et classification des matériaux naturels de construction. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY, 2, São Paulo. Proceedings. São Paulo. ABGE, 1974, v.1, IV-GR.1-35.
- TUREKIAN, K.K. - 1969 - Oceanos, tradução de Carlos Augusto Luciano Isotta. São Paulo. Edgard Blücher e Editora da USP, 151 p. il. (Textos Básicos de Geociência).
- TURNER, F.J. - 1968 - Metamorphic petrology: mineralogical and field aspects. New York. McGraw-Hill, 1968. 403 p.il. (International Series in the Earth and Planetary Sciences).
- TURNER, F.J.; VERHOOGEN, J. - 1960 - Igneous and metamorphic petrology, 2, ed. New York, McGraw-Hill. 694 p.il. (International Series in the Earth Sciences).
- TUTTLE, O.F.; GITTINS, J. - 1966 - Carbonatites. London, John Wiley. 519 p.il. (Interscience Publishers).
- UNITED NATIONS, Department of Economic and Social Affairs - 1976 - The development potencial of dimension stone. New York, 95 p. il.
- UNITED STATES, Department of the Interior/Bureau of Mines - 1978A - Minerals Yearbook 1975: area reports international. Washington U.S. Government printice Office, 1978. v. 3. il.

- UNITED STATES, Department of the Interior. Bureau of Mines - 1978B - Minerals Yearbook 1976: metals, minerals and fuels. Washington U.S.Government Printing Office.v.1 il.
- VERMONT MARBLE COMPANY - 1971 - Marble: color selector and use guide. Vermont. 83 p.il.
- WILLIAMS,H.; TURNER,F.J.; GILBERT,C.M. - 1970 - Petrografia: uma introdução ao estudo das rochas em seções delgadas: tradução de Rui Ribeiro Franco- São Paulo. Polígono e Editora da USP, 445 p.il.
- WINKLER,E.M. - 1975 - Stone: properties, durability in man's environment 2 ed. rev. New York, Springer-Verlag, 230 p. il. (Applied Mineralogy, 4).
- WINKLER,H.G.F. - 1977 - Petrogênese das rochas metamórficas: tradução da 4^a ed, por Carlos Burges Junior. São Paulo- Porto Alegre, Edgard Blücher e Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 254 p.il.
- YOSHIDA,R. - 1972 - Contribuição ao conhecimento de características tecnológicas de materiais rochosos: São Paulo. 159 p. (Tese de doutoramento Instituto de Geociências. USP).
- ZEZZA,U. - 1973 - Les Roches de decoration. Le Mausolée, Givors, (441) 1013-1016.