



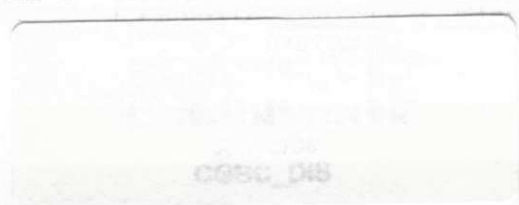
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE MINERAÇÃO E GEOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS

JOSÉ FERREIRA TAVARES

TECNOLOGIAS DE CORTE EM ROCHAS ORNAMENTAIS
DOS ESTADOS DA PARAÍBA E RIO GRANDE DO NORTE

CAMPINA GRANDE/PB

2006



JOSÉ FERREIRA TAVARES

**TECNOLOGIAS DE CORTE EM ROCHAS ORNAMENTAIS
DOS ESTADOS DA PARAÍBA E RIO GRANDE DO NORTE**

Dissertação de Mestrado apresentada
à Coordenação do Curso de Pós-
Graduação em Engenharia de Minas da
Universidade Federal de Campina
Grande como parte das exigências para
obtenção do Grau de Mestre.

Área de Concentração: Lavra

Orientador: **Prof. Dr. Aarão de Andrade Lima**

Campina Grande/PB

2006



T231t Tavares, Jose Ferreira
Tecnologias de corte em rochas ornamentais dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte / Jose Ferreira Tavares. - Campina Grande, 2006.
74 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

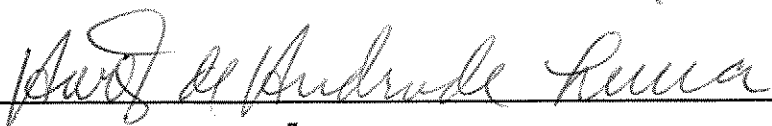
1. Tecnologia de Mineracao 2. Tecnologias de Corte 3. Rochas Ornamentais 4. Lavra 5. Engenharia de Minas 6. Dissertacao I. Lima, Aarao de Andrade, Dr. II. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB) III. Título

CDU 622.06(043)

JOSÉ FERREIRA TAVARES

**TECNOLOGIAS DE CORTE EM ROCHAS ORNAMENTAIS DOS
ESTADOS DA PARAÍBA E
RIO GRANDE DO NORTE**

COMISSÃO EXAMINADORA



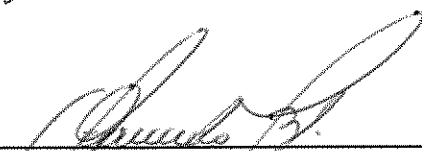
Prof. AARÃO DE ANDRADE LIMA

Orientador



Prof. JOÃO RAMOS LUCENA NETO

Examinador



Prof. ARLINDO JOSÉ BAZANTE

Examinador

C. Grande, 11 de Setembro de 2006

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora, forças de fé e companhia que sempre me acompanham.

A meu pai José Aderaldo, pela amizade e apoio técnico, a minha mãe Carmem e minha irmã Adriana por carinho e atenção.

A Ana Cláudia, minha irmã co-responsável por este trabalho.

A Tatianna, minha esposa, amiga e companheira corajosa que enfrentou todas as dificuldades possíveis para a realização de nosso sonho.

A Carmelo, pelo incentivo e atenção dispensados a conclusão do meu trabalho.

Ao professor Aarão, pela orientação prática, simples e segura.

Ao meu tio Vandick, colega e parceiro.

Aos Srs. Antônio Fernando de Holanda e Antônio José Sarmento Toledo, empresários e amigos que se dispuseram a ajudar e assim o fizeram, durante as fases de pesquisa de campo e em todo o processo.

Ao colega João Bosco pela ajuda com as análises.

Ao amigo Antônio Augusto pelo fornecimento de material bibliográfico.

Em especial aos professores e amigos Bazante, Agraval e João Ramos, que se portaram como verdadeiros educadores acima de tudo.

Por fim agradeço a todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Minas, da Universidade Federal de Campina Grande, bem como aquelas pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.

Aos demais, que ficam esquecidos no anonimato, mas que, de fato, ajudaram, muito obrigado!

José Ferreira Tavares

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE FOTOS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO

1

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4

2.1. GEOLOGIA REGIONAL

4

2.2. ROCHAS ORNAMENTAIS

7

3. TECNOLOGIAS DE CORTE.

10

3.1. MÉTODOS DE CORTE CONTÍNUOS

10

3.1.1. Perfuração Contínua

11

3.1.2. Corte "a Fogo" (*Jet Flame*)

13

3.1.3. Corte a Fio Diamantado.

14

3.2. MÉTODOS DE CORTE DESCONTÍNUOS

19

3.2.1. Perfuração e Explosivos.

21

3.2.2. Perfuração e Cunhas

22

3.2.3. Argamassa Expansiva

23

4. ROCHAS ORNAMENTAIS SELECIONADAS

26

4.1. "VERDE FUJI" – QUARTZITO

26

4.1.1. Generalidades

26

4.1.2. Características Petrográficas

27

4.1.3. Características Tecnológicas

28

4.1.4. Modo de Ocorrência

29

4.1.5. Lavra

30

4.2. "GOLD FUJI" – GRANITO PEGMATÓIDE

36

4.2.1. Generalidades

36

4.2.2. Características Petrográficas

38

4.2.3. Características Tecnológicas	38
4.2.4. Modo de Ocorrência	39
4.2.5. Lavra	40
4.3. "VERDE UMBURANA" – ESCARNITO DIOPSÍDICO.	40
4.3.1. Generalidades.	40
4.3.2. Características Petrográficas	42
4.3.3. Características Tecnológicas	43
4.3.4. Modo de Ocorrência	44
4.3.5. Lavra	44
4.4. "AMARELO CABAÇAS" – SIENOGRNITO	49
4.4.1. Generalidades	49
4.4.2. Características Petrográficas	50
4.4.3. Características Tecnológicas	52
4.4.4. Modo de Ocorrência	53
4.4.5. Lavra	54
5. MATERIAIS E MÉTODOS	58
5.1. ESCOLHA DAS ROCHAS	58
5.2. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS	58
5.3. ENSAIOS TECNOLÓGICOS	59
5.3.1. Ensaios de Laboratório	59
5.3.2. Descrição dos Ensaios	60
5.3.3. Resultados dos Ensaios	63
6. CONCLUSÕES	70
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Província Estrutural Borborema	5
Figura 2 – Estratigrafia do Grupo Seridó	6
Figura 3 – Representação pictórica de uma lavra de maciço rochoso	9
Figura 4 – Corte horizontal a fio diamantado (fase inicial)	18
Figura 5 – Seqüência de corte a fio diamantado	18
Figura 6 – Dimensões para teste de bloco	61
Figura 7 – Resultados de resistência à compressão	65

LISTA DE FOTOS

Foto 1 – Bancada cortada com perfuração contínua (vista superior)	12
Foto 2 – Bancada cortada com perfuração contínua (vista frontal)	12
Foto 3 – Bancada cortada a fogo – <i>Jet Flame</i>	14
Foto 4 – Perfuratriz “fundo furo”, instalada para executar um furo horizontal	16
Foto 5 – Cortes vertical e horizontal a fio diamantado	16
Foto 6 – Corte do bloco a fio diamantado	17
Foto 7 – Furos em seqüência “costura”	20
Foto 8 – Confeção de “costura” em bancada	20
Foto 9 – Cunhas ou “Guilhos”	22
Foto 10 – Laterais cortadas a fio e prancha liberadas por furação e argamassa expansiva	24
Foto 11 – “Verde Fuji” polido	27
Foto 12 – Local de ocorrência do “Verde Fuji”	30
Foto 13 – Retirada do capeamento sobre a rocha	32
Foto 14 – Furação da rocha alterada para o desmonte e posterior limpeza	32
Foto 15 – Rocha decapeada, com alguns desmontes de limpeza a serem executados	33
Foto 16 – Frente de rocha sã onde será iniciado o processo de formação de “pranchas” para confecção dos blocos	33
Foto 17 – Prancha na posição horizontal e furação para confecção dos blocos	34
Foto 18 – Tombamento do bloco	35
Foto 19 – Carregamento de blocos	36
Foto 20 – “Gold Fuji” polido	37
Foto 21 – “Verde Umbrana” polido	42
Foto 22 – Vista geral da ocorrência do “Verde Umbrana”	45
Foto 23 – Acesso ao corpo	46
Foto 24 – Confeção dos blocos	48

Foto 25 – “Amarelo Cabaça” e sua variação	51
Foto 26 – Matacão aberto para confecção de uma face	55
Foto 27 – Trabalho de acunhamento	57
Foto 28 – Equipamento PIL-7	59
Foto 29 – Medições das rochas com o paquímetro	60
Foto 30 – Forma preferencial de ruptura	62
Foto 31 – Prensas do macaco hidráulico	62
Foto 32 – Leitura do manômetro	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição mineralógica do “Verde Fuji”	28
Tabela 2 – Índices físicos do “Verde Fuji”	29
Tabela 3 – Composição mineralógica do “Gold Fuji”	38
Tabela 4 – Índices físicos do “Gold Fuji”.	39
Tabela 5 – Composição mineralógica do “Verde Umburana”.	42
Tabela 6 – Índices físicos do “Verde Umburana”.	44
Tabela 7 – Composição mineralógica do “Amarelo Cabaça”.	51
Tabela 8 – Ensaio de alterabilidade química do “Amarelo Cabaça”	53
Tabela 9 – Resultados dos ensaios realizados no “Verde Fuji”	66
Tabela 10 – Resultados dos ensaios realizados no “Gold Fuji”	67
Tabela 11 – Resultados dos ensaios realizados no “Verde Umburana”	68
Tabela 12 – Resultados dos ensaios realizados no “Amarelo Cabaça”	69

RESUMO

Com o desenvolvimento dos métodos de corte, a partir da década de 90 do século passado, e das novas tecnologias de aparelhamento e melhor aproveitamento em teares modernos, rochas até então consideradas inviáveis para uso na construção civil – pegmatitos, migmatitos e gnaisses movimentados – abundantes nas formações pré-cambrianas existentes, principalmente, nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, passaram a fazer parte do mapa dos produtores de “granitos” ornamentais exóticos. Tais rochas, notórias pela beleza e raridade, antes consideradas tecnológicas e economicamente inviáveis, tomaram-se as mais procuradas pelos ricos mercados europeu e norte americano, levando produtores a uma incessante busca destas rochas com padrões que fogem ao tradicional, como são, os biotita xistos de alto grau de metamorfismo, os pegmatitos, especialmente os homogêneos, calciossilicáticas como os tactitos, miloníticas de zonas de falhas, brechas e metaconglomerados entre tantas outras rochas precambrianas, desde que possibilitem, nas frentes de lavra, a extração de blocos de tamanho padrão. Trabalhos preexistentes, constantes da bibliografia pesquisada levam a uma conclusão que atesta a modernidade desta nova linha de produção. Todos os estudos em Engenharia de Minas, publicados sobre rochas ornamentais, voltam-se para àquelas já tradicionalmente conhecidas na maioria das vezes enfatizando métodos de lavra mais especificados para rochas graníticas tradicionais. Este trabalho diferencia-se por ser fruto de acompanhamento prático direto em todas as fases de um processo produtivo em rochas “exóticas” selecionadas, propondo-se comentar a respeito dos diversos tipos de corte mais utilizados, com suas devidas aplicações e comentários técnico-econômicos.

Palavras-chave: rochas ornamentais, tecnologias de corte, rochas ornamentais “exóticas”.

ABSTRACT

The development of new rock cutting methods in the last decade, as well as the adoption of newer and better technologies in the rock sawing and beneficiation sector, has allowed the use of classes of stones previously non viable for the construction industry. Among those classes of rock are included pegmatites, migmatites and folded gneisses, which are abundant in the pre Cambrian formations, mainly in the states of Paraíba and Rio Grande do Norte. Those rocks have become known in dimension stones sector as exotic granites. The exotic rocks, possessing outstanding beauty and rarity, were previously considered as non economic, and now are sought by the wealthy European and north American markets. That fact has led the local producers to actively searching those rocks that stand out of the traditional patterns, such as biotite schist of high metamorphism degree, pegmatities (specially the homogeneous ones), calcosilicatic rocks (tactites), milonites inside fault zones, grawakes and metaconglomerates, among other pre Cambrian rocks which are suitable for the extraction of blocks of standard commercial sizes. The previous works reviewed in the technical literature lead to the conclusion of the modern nature of that new production trend. So far, all previous studies concerning mining engineering of dimension stones are focused on the traditional types of rocks, emphasizing mining methods adequate for ordinary granitic rocks. The contribution of the present work is centered on practical direct supervision of the whole process involved in extraction of a selected group of exotic dimension stones of Paraíba and Rio Grande do Norte, with special emphasis on the cutting methods used, regarding applicability in the technical and economic frameworks.

Key-works: dimension stones, cutting technologies, exotica dimension stones.

1. INTRODUÇÃO

O mercado de rochas ornamentais no Brasil movimenta cerca de US\$ 2,1 bilhões por ano, gerando mais de 105 mil empregos em mais de 10.000 empresas. A extração de blocos soma mais de 5,2 milhões de toneladas por ano. (Peiter *et al.* 2001).

A mineração no Nordeste, em especial nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, que entre os anos 40 e 80 do século XX firmou-se com a produção da scheelita e decaiu pela crise neste mercado, foi retomada a partir de 1990 seguindo o crescimento do mercado de rochas ornamentais, explodindo principalmente com as rochas comercialmente chamadas de “exóticas”: granitos, mármores, tactitos, sienitos, gabros, escarnitos, gnaisses, dioritos, anfibolitos, monzonitos, granodioritos, ortognaisses, calcários, quartzitos, xistos, granitos pegmatóides, tactitos, rochas calciossilicáticos entre outras, todas genericamente chamadas de “granitos”.

Uma diferenciação já consagrada na indústria do setor, mesmo que geologicamente simplória, é a divisão comercial das rochas ornamentais em “granitos” e “mármores” (Vidal, 1995), que considera como mármore toda rocha carbonatada quer seja de origem sedimentar ou metamórfica e como granito as rochas que apresentam composições litológicas bem definidas incluindo uma grande variedade de rochas ígneas e metamórficas, que variam desde granitos propriamente ditos a rochas básicas e ultrabásicas como basaltos, gabros e diabásicos, passando por metamórficas de médio a alto grau como gnaisses, migmatitos e granulitos.

As rochas pegmatíticas, os tactitos, calcedônias, xistos, quartzitos, brechas de falha, milonitos, entre outras – rochas tidas como exóticas ou excepcionais – tiveram sua exploração como ornamentais, viabilizada pela introdução de novas técnicas de corte e beneficiamento, além da supervalorização do produto em mercados consumidores, como Europa e América do Norte, o que tornou a produção economicamente viável.

Mesmo tratando-se de uma atividade milenar – a exemplo da extração de mármore na região de Carrara, Itália – os métodos de corte para essas rochas ornamentais especiais, apesar de já praticados em campo, ainda não foram exaustivamente comentados na literatura.

Com o advento destas novas tecnologias de corte, como também formas de tratamento dos blocos na confecção de chapas e ladrilhos, gerou uma corrida em busca de materiais “diferentes” dos já conhecidos, comercialmente chamados de “exóticos” ou “movimentados”, que ainda não podem ser imitados por materiais sintéticos. Isso significou a busca pela exclusividade, impulsionado pelo importante e sempre crescente mercado da vaidade humana.

Concluído uma revisão bibliográfica acerca dos métodos de corte conhecidos e difundidos em pedreiras de rochas ornamentais, foram selecionadas quatro pedreiras de real interesse econômico e já consolidadas no mercado, sendo três delas consideradas “exóticas”: “verde Fuji” – quartzito epidotizado; “verde umburana” – calciossilicática; “gold fuji” – pegmatito granitóidee uma homogênea, de granito tradicional: o “amarelo cabaça” - granodiorito. Após a escolha, as pedreiras foram acompanhadas em todas as fases e vários métodos de corte foram utilizados, descartando-se os inadequados e aprimorando os demais.

Os Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte estando cobertos em mais de 90 % do seu território por terreno précambriano, com uma grande diversidade de processos atuantes na formação e consolidação das rochas, principalmente pela atuação do metamorfismo, de ações migmáticas e das ações tardias de formação dos pegmatitos, se apresentam como grandes potenciais na produção de variadas rochas ornamentais consideradas “exóticas”.

Para um melhor aproveitamento dessas rochas “exóticas”, por apresentarem diversos fatores que dificultam a lavra, as tecnologias de corte foram sendo aperfeiçoadas e até adaptadas a cada pedreira descrita neste trabalho, de acordo com a reação da rocha a ser lavrada, visando sua melhor recuperação, custos menores e uma margem de lucro maior.

Os estudos, neste trabalho, limitaram-se aos aspectos técnicos, como as tecnologias de corte. As rochas ornamentais “exóticas” são materiais de alto valor agregado e a qualidade dos blocos produzidos tem até mais relevância que uma grande variação no custo de produção. Os modelos existentes na literatura foram adequados à prática obtida pelo autor, na produção de diversas rochas ornamentais tidas como “exóticas”. A proposta do trabalho é indicar, dentre os métodos de corte existentes, os mais usuais, considerando a comparação dentre as quatro pedreiras, selecionadas para este estudo, localizadas entre os Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. GEOLOGIA REGIONAL

A Província Estrutural da Borborema (Almeida *et al.*, 1977) está situada no Nordeste do Brasil, limitada a oeste pelos sedimentos da Bacia do Parnaíba, a norte-nordeste e leste por Bacias costeiras e a sul e noroeste pelos crátons São Francisco e São Luiz respectivamente (Figura 1). Compreende uma região de terrenos consolidados pelo ciclo Brasileiro (600 ± 100 Ma), considerado como o último evento orogenético importante. Segundo Brito Neves *et al.*, (2000), sua área excede 450.000 km².

Atualmente devido a sua complexidade tectônica é usual dividir-se a Província em domínios geotectônicos (Santos e Brito Neves, 1984; Jardim de Sá, 1994; Vauchez *et al.*, 1992, entre outros).

A Faixa de Dobramentos Seridó, ou Faixa Seridó, situa-se no extremo NE da Província Borborema. Vários autores escreveram sobre a geologia do Seridó, podendo citar Ferreira (1967), Ebert (1969), Ferreira & Albuquerque (1969), Brito Neves (1983), Jardim de Sá (1978, 1984, 1994), Archanjo & Salim (1986), Archanjo (1987). É dominada por um conjunto de rochas supracrustais (metassedimentares e vulcânicas), metamorfisado nos fácies xisto verde e anfíbolito, o Grupo Seridó, que repousa discordantemente sobre um embasamento gnáissico-migmatítico, o Complexo Caicó, e é intrudido por grandes e numerosos corpos granitóides.

Datações geocronológicas U-Pb e Sm-Nd do Complexo Caicó (Jardim de Sá, 1994) indicam idades variando entre 2,3 e 2,15 Ga e o Grupo Seridó, com idade Neoproterozóica (Brasílica), pode ser dividida, da base para o topo, nas Formações Jucurutu, Equador e Seridó (Figura 2).

A Formação Jucurutu é constituída de um modo geral por uma seqüência metassedimentar, com pequena contribuição vulcânica, representada por associação de biotita gnaisse com variações faciológicas para hornblenda,

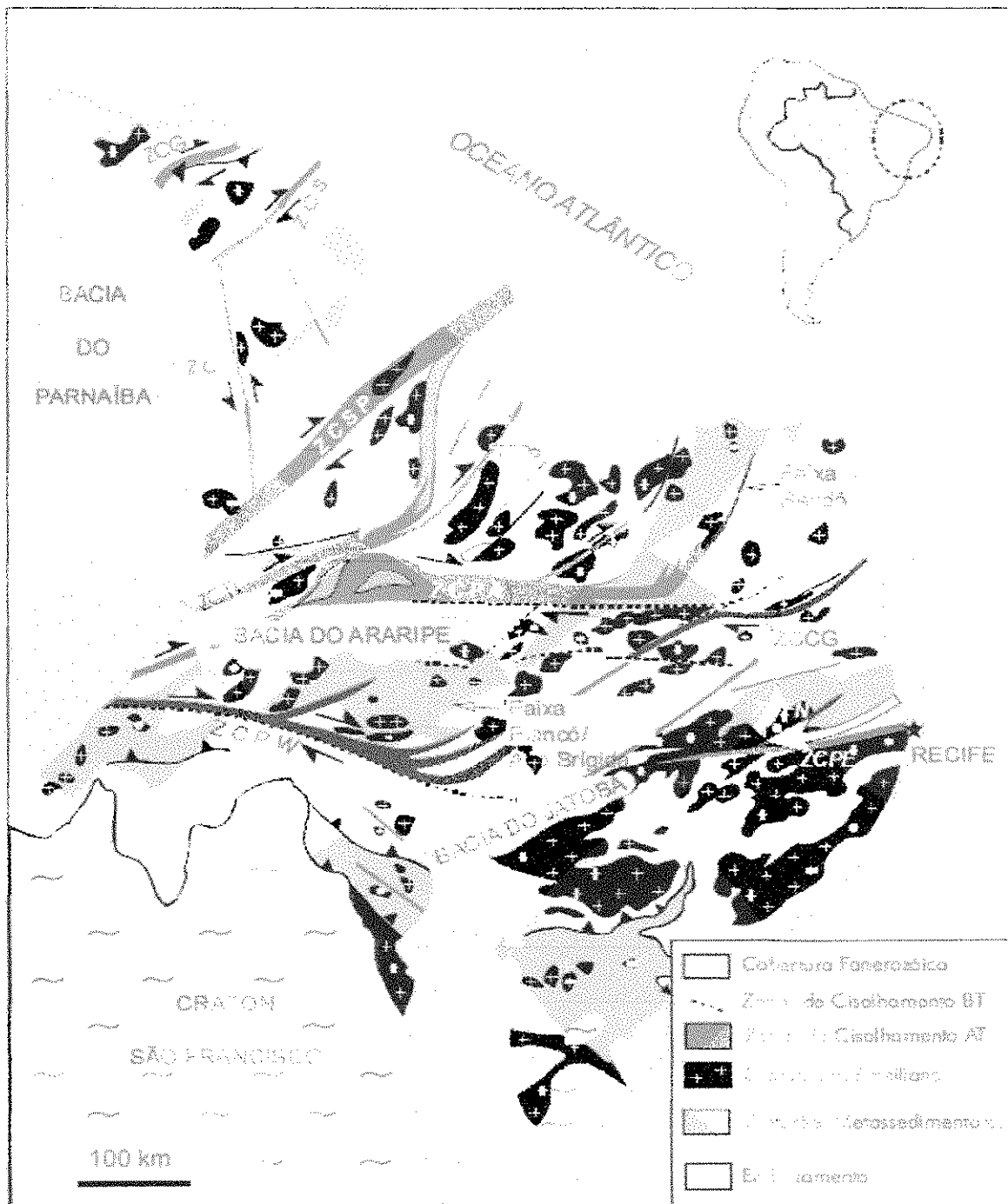


Figura 1- Província Estrutural Borborema. Vauchez *et al.*, 1995 (*in* Soares, 2004). ZCCG - zona de cisalhamento Campina Grande; ZCPE – zona de cisalhamento Pernambuco leste; ZCPW – zona de cisalhamento Pernambuco oeste; ZCFN – zona de cisalhamento Fazenda Nova; ZCG – zona de cisalhamento Granja; ZCPO zona de cisalhamento Portalegre; ZCPA – zona de cisalhamento Patos; ZCSP – zona de cisalhamento Senador Pompeu; ZCS – zona de cisalhamento Sobral; ZCTT – zona de cisalhamento Tatajuba. AT – alta temperatura; BT – baixa temperatura.

gnaises, biotita xistos, intercalações de calcários cristalinos, rochas calciossilicáticas, muscovita quartzitos e metavulcânicas. A Formação Equador é constituída basicamente por muscovita-quartzitos com fáceis arcoseanas e metaconglomeráticas e a Formação Seridó, a unidade estratigráfica mais típica da região do Seridó, é constituída por uma seqüência pelítica (granada-biotita xisto dominante), com variações para psamítica (muscovita-quartzitos intercalados na seqüência pelítica) e carbonática (calciossilicáticas intercaladas nos granada-biotita xisto e calcários cristalinos) (Ferreira & Santos, 1998).

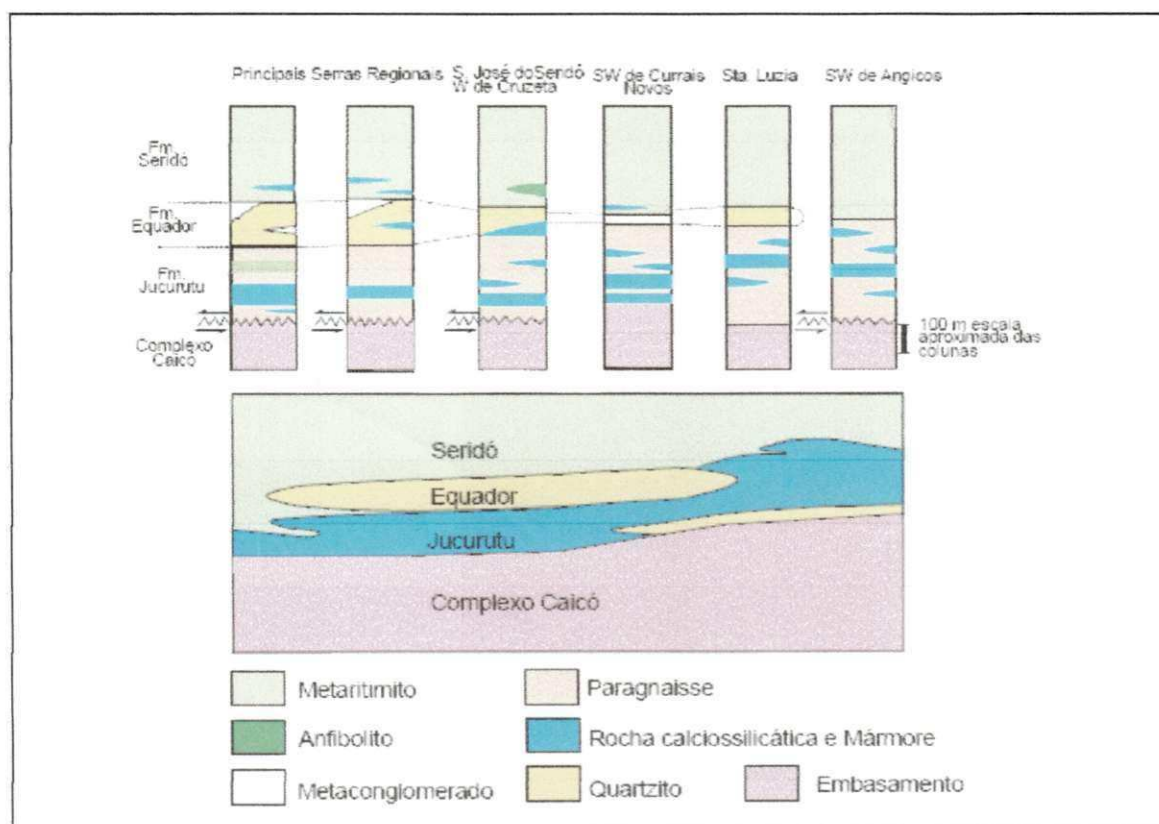


Figura 2 – Estratigrafia do Grupo Seridó. Jardim de Sá, 1994 (in Soares, 2004).

Ebert (1969) e Ferreira e Albuquerque (1969), consideravam, de um modo geral, uma organização estrutural simples para a região do Seridó, representada por dobramentos abertos, com plano axial de mergulho vertical a subvertical, com eixos orientados segundo NNE-SSW. Posteriormente Ries & Shackleton, 1977 e Jardim de Sá, 1978 (in Soares, 2004), enfatizaram uma evolução tectonometamórfica complexa, estabelecendo uma história polifásica de deformação. Hoje são reconhecidas sucessivas fases deformativas associadas a atividades ígneas.

Segundo Ferreira & Santos (1998), os corpos granitóides apresentam uma distribuição dispersa, intrudindo-se em diversas unidades estratigráficas, formando plútons de formas diversas ou compondo maciços.

2.2. ROCHAS ORNAMENTAIS

Berton (1985), afirmou que para uma rocha ornamental ser definida como aproveitável deve seguir o aspecto estético do material, características tecnológicas, grau de fraturamento do maciço e homogeneidade da reserva.

Considerando a atual caracterização tecnológica para rochas ornamentais, determinada através da execução de ensaios onde são conhecidas as peculiaridades dessas rochas (Vidal, 1999), tais como tenacidade, resistências mecânicas, resistências a ataques químicos, abrasividade e demais índices físicos, bem como um conjunto de estudos geológicos, seria possível programar o método de corte mais viável a determinado corpo.

Kalvelage, (1999), Vidal (1995, 1999), apresentam, detalhes sobre métodos de lavra aplicáveis a rochas ornamentais.

Segundo Ciccu *et al.* (1989), Caranassios & Ciccu (1992), Caranassios, 1993 (*in* Vidal, 1999) e Alencar *et al.* (1996), afirmam que as tecnologias de corte contínuo são operações efetuadas sem o uso predominante da perfuração e explosivos, destacando-se o fio helicoidal, os cortadores a corrente, o "jet-flame" e as tecnologias avançadas de corte (cortador com corrente diamantada, fio diamantado, raio-laser e "water-jet").

Peiter *et al.* (2001), afirmam que o padrão cromático é o principal atributo considerado para qualificação de uma rocha ornamental. Em função das características cromáticas, os materiais são enquadrados como clássicos, comuns ou excepcionais. Os materiais clássicos não sofrem influência de modismos, incluindo mármore vermelhos, brancos, amarelos e negros, bem como granitos negros e vermelhos. Os materiais comuns, de largo emprego em obras de revestimentos, incluem mármore bege e cinza, além de granitos cinzas, rosados e marrons. Os materiais excepcionais são normalmente utilizados para

peças isoladas e para pequenos revestimentos, abrangendo mármore azuis, violeta e verdes, além de granitos azuis, amarelos, multicolores (movimentados) e branco.

Segundo Frazão (2002), são diversas as técnicas para a lavra de rochas ornamentais, sendo o desmonte “a frio” - sem explosivo, “a fogo” - com explosivo e “misto” - o mais usual. O desmonte a frio é executado principalmente por encunhamento, por meio de ferramentais manuais apropriadas, por corte de fio helicoidal ou diamantado e por argamassa expansiva. Cortes a fogo são os realizados com “*jet flame*”, por fim os desmontes mistos, resultantes de perfuração aliada a cargas explosivas controladas.

A figura 3 mostra a representação pictórica de uma lavra de maciço rochoso com utilização das técnicas de corte mais modernas aplicáveis.

Os atuais conceitos de aplicação e de métodos de corte utilizados pela bibliografia para rochas ornamentais, apesar de usuais, necessariamente, sofrem certas adaptações para o uso adequado em granitos “exóticos”, como os aqui estudados.

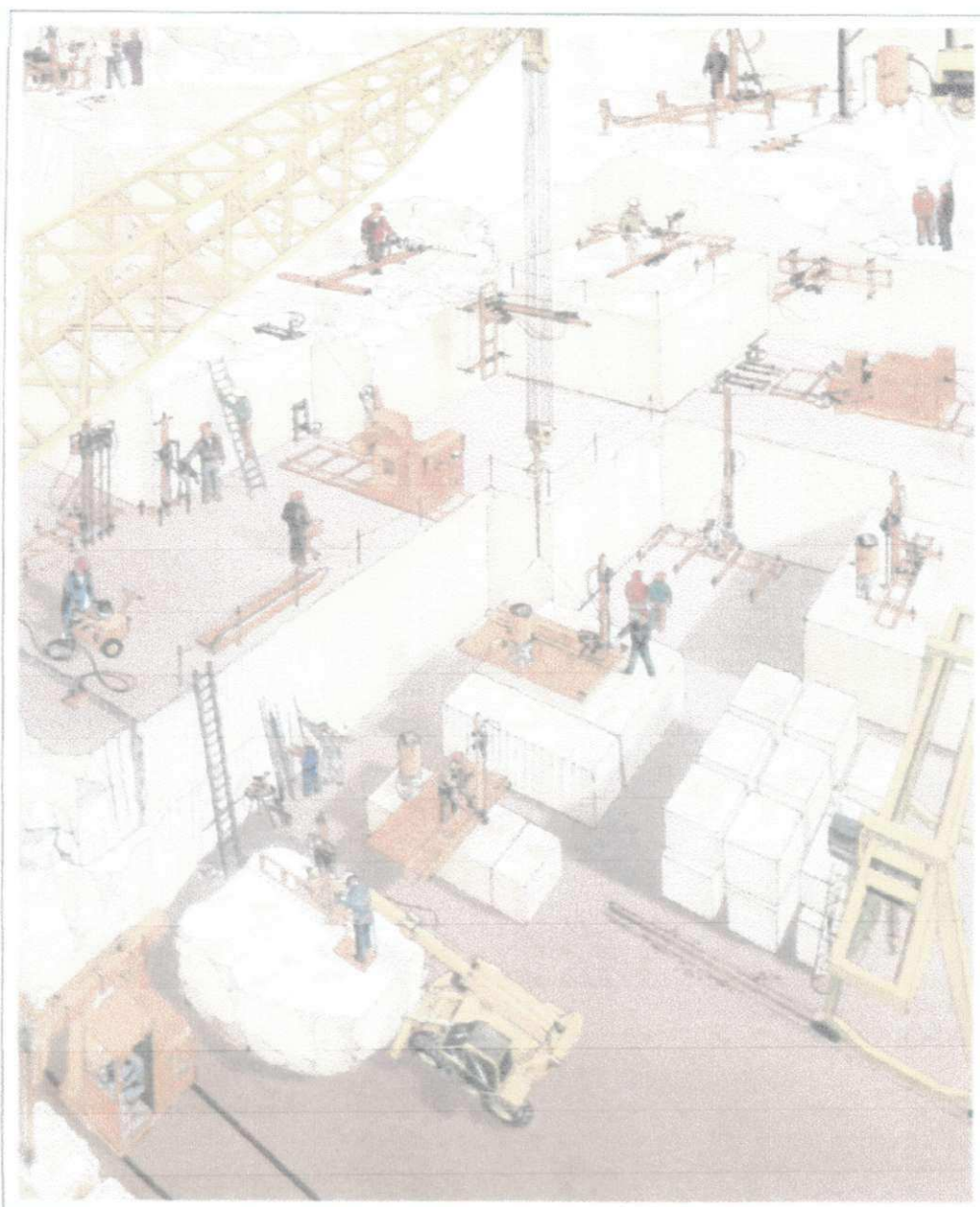


Figura 3 – Representação pictórica de uma lavra de maciço rochoso (Frazão, 2002).

3. TECNOLOGIAS DE CORTE

Para a execução da lavra de rochas ornamentais, sejam elas "exóticas" ou não, faz-se necessário a obtenção de três faces livres, portanto, as tecnologias de corte são simultaneamente utilizadas para liberação de um bloco rochoso, o qual será desdobrado em blocos menores, aparelhados e com dimensões especificadas.

De acordo com Ciccu (1989) e Caranassios & Ciccu (1992) as tecnologias de corte reconhecidas como tradicionais, podem ser agrupadas em cíclicas e de corte contínuo. Para as primeiras, os autores explicam que os cortes necessários para isolar um volume de rocha são realizados através da sucessão de diversas operações, algumas parcialmente ou totalmente sobrepostas, que vão constituir as fases de um ciclo. Enquadram-se nessa tecnologia os cortes através de perfuração e explosivos, perfuração contínua, divisão mecânica através de cunhas e argamassas expansivas.

O presente trabalho trata de comentar os métodos mais utilizados nas nossas pedreiras, desconsiderando os corte comuns a mármore, tais como os cortadores a corrente, cabo de aço e mesmo o fio helicoidal.

Alguns métodos ainda em desenvolvimento como jato de água e raio laser também são desconsiderados aqui por não apresentarem ainda uma aplicação economicamente viável em blocos de rocha ornamentais.

A escolha da tecnologia de corte a ser empregada nas operações de lavra depende de alguns fatores, como as características petrográficas e estruturais da rocha, o seu valor de mercado, a morfologia da jazida, o meio ambiente e as disponibilidades financeiras da empresa.

3.1. MÉTODOS DE CORTE CONTÍNUOS

Como já afirmado, as tecnologias de corte contínuo podem ser definidas como aquelas que são realizadas sem o uso predominante de perfuração e

explosivo. Segundo alguns autores como Ciccu (1989), Caranassios & Ciccu (1992), Caranassios, 1993 (*in* Vidal, 1999) e Alencar *et al.* (1996), dentre estas podemos destacar o fio helicoidal e os cortadores de corrente, além do *jet flame* “utilizado nas pedreiras de granito para solucionar o problema da abertura de canais e rebaixos, onde a falta de superfícies livres inviabiliza o uso de explosivos” (Vidal, 1999).

Dentre estes métodos, destaca-se atualmente o corte a fio diamantado que, teoricamente, pode ser realizado em qualquer pedreira para solucionar problemas de acesso a bancadas.

Neste trabalho, consideramos a “perfuração contínua” como sendo um método de corte contínuo, uma vez que não há interferência de outra força para a separação da bancada, ou seja, o processo é único e completo.

3.1.1. Perfuração Contínua

A perfuração contínua trata-se da execução de furos continuamente vizinhos, de tal forma que a face da rocha seja completamente liberada do maciço rochoso. Bortolussi *et al.* 1988 afirmam que a técnica comporta a execução dos furos justapostos, de modo tal a obter um plano de ruptura contínuo ou interrompido de aberturas suficientemente fracas para permitir um fácil destaque por tração (Fotos: 01 e 02).



Foto 01 - Bancada cortada com perfuração contínua (vista superior).

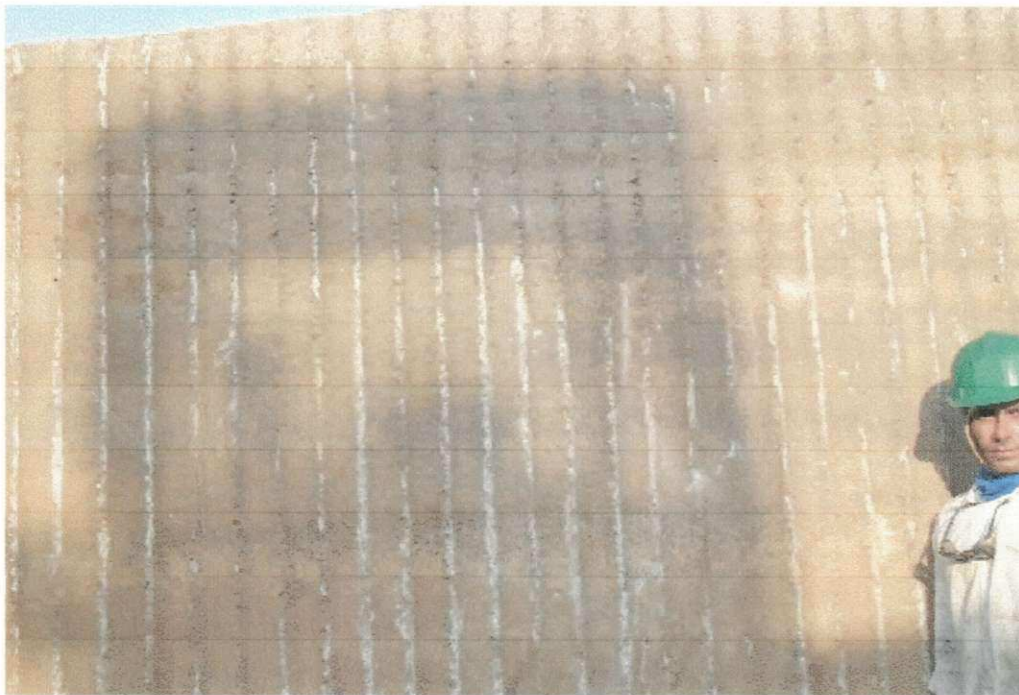


Foto 02 - Bancada cortada com perfuração contínua (vista frontal).

Este método foi amplamente utilizado em um passado recente, não provoca estragos na rocha, é relativamente barato e rápido, entretanto, a sua aplicação nas rochas tidas como “exóticas” é muito baixa, praticamente igual a zero, tanto pela variação de dureza na rocha quanto pela necessidade de bancadas altas para a seleção do material, o que, em ambos os casos, pode provocar desvios nos furos, dificultando e até mesmo inviabilizando a lavra. Esse tipo de perfuração utiliza brocas de extensão compostas por: punho, luva de acoplamento, haste e coroa ou bit.

3.1.2. Corte “a Fogo” (*Jet Flame*)

Corte “a fogo” ou *jet flame* é o corte contínuo feito através de uma lança com a chama na temperatura em torno de 1.400 °C, o que provoca a dilatação diferencial dos minerais (principalmente do quartzo) que estão sob a ação do calor. Esses minerais vão se soltando e são soprados sob forma de areia pela ação da pressão de ar lançado pelo *jet flame*. Forma-se assim uma fenda que pode variar entre 10 e 20 cm de largura até 6 m de profundidade, dependendo da rocha cortada (Foto 03).

O *jet flame* funciona a base de comburente e combustível. Utiliza tambor pressurizado e é composto de haste e câmara de combustão revestida de um material refratário, na qual são inseridas simultaneamente o comburente (ar comprimido = 1.500 °C ou oxigênio = 2.500 °C) e o combustível (querosene ou óleo diesel) nebulizado, que proporciona uma chama análoga àquela produzida pelo maçarico oxiacetilênico (Vidal, 1999).

Essa técnica, segundo Vidal (1999), só pode ser aplicada em rochas silicatadas e preferencialmente homogêneas. Isso praticamente já elimina seu uso nas rochas “exóticas” da nossa região. Além do que, em nossos materiais “exóticos” a alta temperatura gerada pela chama do equipamento pode causar a mudança indesejável na coloração e a abertura de planos de fratura ao longo do corte.



Foto 03 - Bancada cortada a fogo – *Jat Flame*.

3.1.3. Corte a Fio Diamantado

É considerada uma técnica de corte mais avançada e tem conquistado rapidamente espaço nos principais países produtores de mármore e granitos, desde que foi introduzida na Europa, em meados da década de 70.

Com a adequada utilização do fio diamantado torna-se possível o aumento da velocidade de corte com uma melhor geometria, melhorando a produtividade e as condições de trabalho, com uma redução considerável no nível de ruído, vibração e poeira.

Para a operação de corte, o princípio básico é puxar uma alça de fio diamantado, enlaçada na rocha por dois furos ortogonais entre si, onde através do movimento circular do fio e da constante força de tração exercida sobre ele, o corte é desenvolvido. Através da rotação mecânica da polia tracionadora e do posicionamento das polias acessórias e da máquina, a tecnologia do fio diamantado pode realizar praticamente todos os tipos de cortes necessários e suficientes para a extração da rocha ornamental.

Um dos principais fatores que deve ser rigidamente controlado é a refrigeração do fio, que é feita com água, numa vazão variável em função de cada tipo de material.

Segundo Caranassius, 1991 e Bortolussi, 1989 (*in* Vital, 1999) e Caranassios & Ciccu (1992), seu uso em granitos tem dificuldades maiores do que em rochas carbonáticas devido a maior abrasividade (levando a um consumo mais rápido do fio diamantado) e a resistência mecânica (que obriga uma redução considerável na velocidade do corte). Segundo Vidal (1999), enquanto nos mármorees o corte com fio pode atingir uma velocidade em torno de 15 m²/h o mesmo fio, numa rocha granítica, corta entre 1,5 e 6 m²/h. Há rochas graníticas que cortam até 7,5 m²/h.

Capuzzi, 1988 (*in* Vidal, 1999), afirma que os primeiros protótipos de máquinas para o acionamento do fio diamantado começaram a operar em torno de 1977, entretanto apenas a menos de 10 anos esse método tem sido usado em nossa região, sendo aplicado as nossas rochas ornamentais.

Os fios diamantados são compostos por cabo de aço inox de tipo flexível, com fios torcidos e diâmetro de 5 mm, no qual são posicionadas pérolas – *bead* – diamantadas que têm 11 mm de diâmetro, separadas por anéis de borracha. O número de pérolas pode variar de 32 a 40 por metro. As peças de fio medem geralmente 50 m, mas podem ser unidas com pequenos tubos de ferro pressionados por um macaco hidráulico.

Para a execução dos cortes são necessários, inicialmente, furos que se interliguem perpendicularmente possibilitando a passagem do fio. Geralmente esses furos são feitos por uma perfuratriz denominada “fundo furo” (Foto 04) com broca medindo entre 90 e 140 mm e seguindo a configuração projetada.

Concluídos os furos de acesso, o fio é passado, emendado e disposto na máquina de corte que possui uma roldana motriz e é movida por um guincho, em torno de 50 HP, montado sobre trilhos inclinados ao contrário da frente, de forma a manter o cabo esticado. As máquinas modernas são completamente automáticas, mantendo a rotação e tencionamento em conformidade à resistência apresentada pela rocha.



Foto 04 – Perfuratriz “fundo furo”, instalada para executar um furo horizontal.

O fio diamantado pode ser utilizado em bancadas, corte vertical e corte horizontal, e no esquadrejamento após o desmonte (Fotos 5 e 6).



Foto 05 - Cortes vertical e horizontal a fio diamantado.



Foto 06 - Corte do bloco a fio diamantado.

Dentre os maiores problemas do corte a fio diamantado podemos destacar:

- 1º - O investimento inicial, alto, tendo em vista o preço da Máquina de Corte (R\$ 75.000,00), o gerador (R\$ 25.000,00); a peça de fio (R\$ 16.000,00) e demais equipamentos (R\$ 5.000,00);
- 2º - Falta de mão de obra especializada – existem poucos operadores de máquina de corte com fio no mercado que recebem um salário em torno de R\$ 1.500,00;
- 3º - As dificuldades inerentes às rochas “exóticas” – a quantidade de fraturas bem como as discontinuidades em disposição de cristais podem ocasionar problemas que, muitas vezes provocam a perda do fio.

A ilustração abaixo mostra duas fases do corte horizontal em um maciço rochoso, feito a fio diamantado.

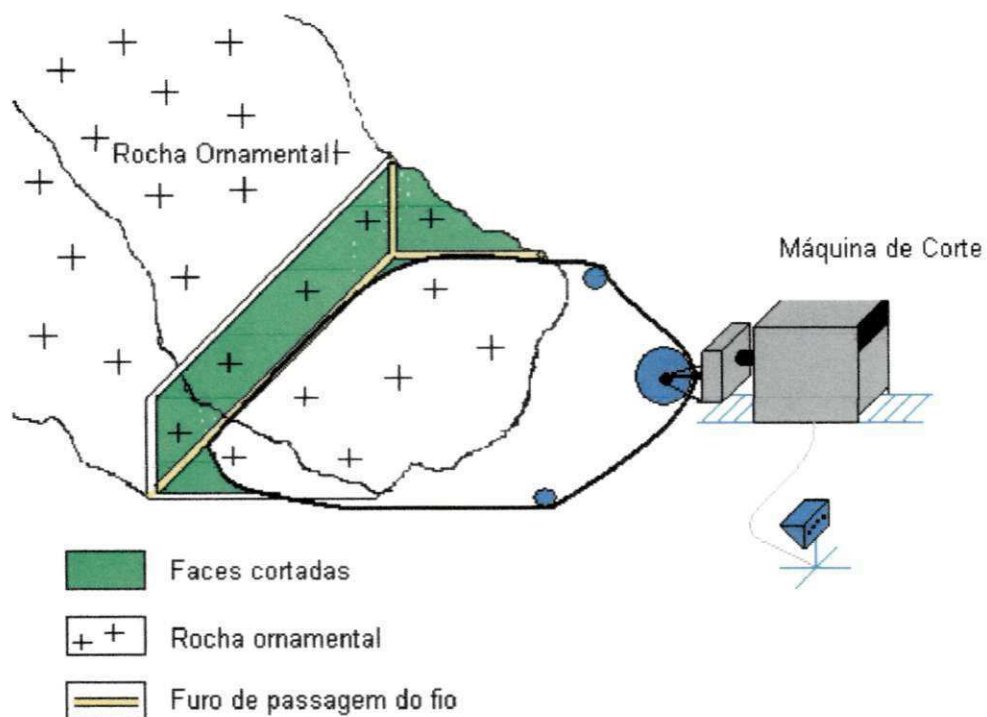


Figura 4 – Corte horizontal a fio diamantado (fase inicial).

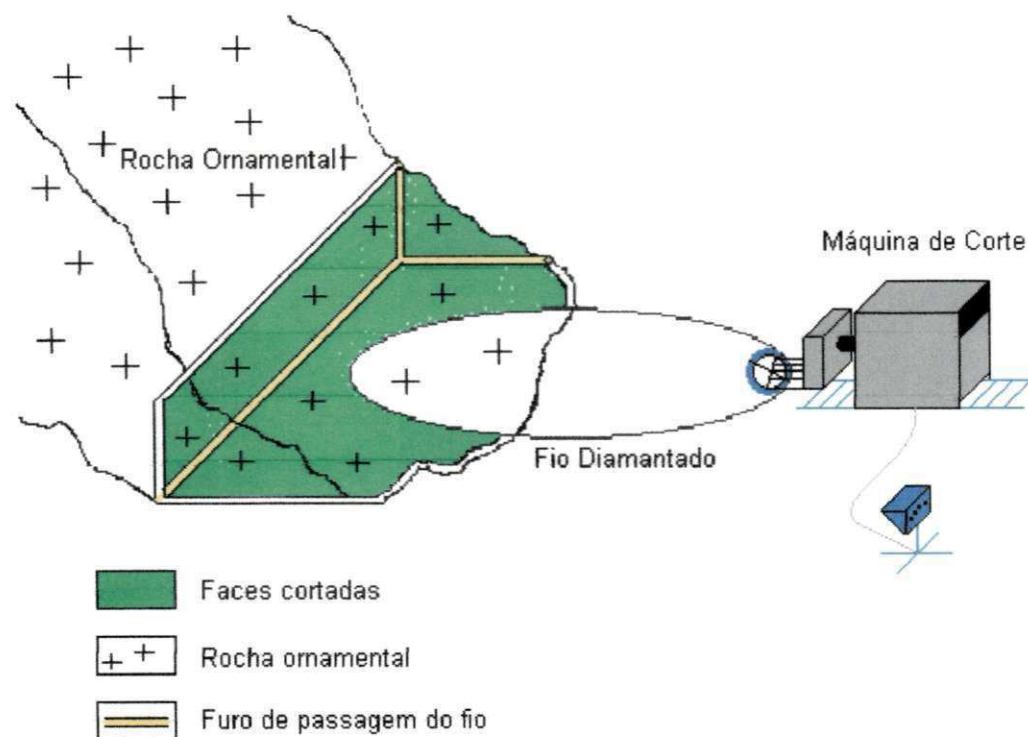


Figura 5 – Sequência de corte a fio diamantado.

Entretanto, em rochas que aceitam bem este tipo de corte, apesar do alto investimento inicial, o fio diamantado nos aparece como o método mais econômico em médio prazo, uma vez oferece alta recuperação além de agilidade de operação. A maior e melhor produção em menos tempo é a busca em qualquer processo produtivo econômico.

3.2. MÉTODOS DE CORTE DESCONTÍNUOS - dependentes de perfuração de bancadas

Todos os demais cortes dependem da confecção de “costuras” (Foto 07), para que entre elas se execute algum tipo de força distribuída no furo de tal forma que haja a separação entre a bancada e o maciço rochoso.

Justamente pela divisão do corte em duas etapas – furação e aplicação de força para separação – é que diferenciamos este tipo de corte descontínuo, dos cortes contínuos, os quais são realizados a partir de uma única ação.

As “costuras” são feitas por equipamento roto-percussivos pneumáticos, conhecidos por perfuratrizes manuais ou “martelos” com brocas entre 34 e 38 mm de diâmetro e altura de até 11 m – geralmente em torno de 6,5 m – e separadas com espaçamento variando de 15 até 35 cm, a depender da resistência da rocha ao corte direcional.

As fotos 07 e 08 demonstram a execução de uma “costura” com furos sempre paralelos, formando um plano preferencial para ruptura que será provocada pela ação de uma força suficiente para quebrar a rocha intacta entre os furos, afastando a bancada do maciço rochoso. Entretanto, essa força não pode ser maior do que a necessária para essa ruptura, em sendo maior poderá provocar estragos irreparáveis ao corpo.



Foto 07 – Furos em seqüência – “costura”



Foto 08 – Confeção de “costura” em bancada.

3.2.1. Perfuração e Explosivos

Este método de corte baseia-se na utilização controlada de furos carregados de explosivos, dispostos próximos uns dos outros, criando um sentido preferencial de ruptura e definindo um plano de corte. Esta maneira de cortar ainda é muito utilizada em pedreiras por ser a de menor custo inicial e maior velocidade, uma vez que o investimento limita-se a perfuratrizes manuais e o tempo restringe-se ao carregamento dos furos, hastes de aço e pólvora negra. Entretanto, para rochas ornamentais “exóticas”, sua aplicação é muito restrita às condições locais de fraturamento e/ou seleção de material.

Segundo Bortolussi *et al.* (1988), Bortolussi, 1989 e Caranassios, 1993 (*in* Vidal, 1999), o corte deve ser feito com uma quantidade mínima de explosivos, visto que o interesse é o de causar apenas a ruptura da rocha entre os furos, provocando o mínimo de impacto possível no maciço.

Apesar dos problemas causados pela utilização de explosivos em materiais sensíveis, este método ainda é o mais utilizado em pedreiras de rochas ornamentais. Segundo Vidal (1999), estima-se que na Itália o consumo de cordel detonante seja em torno de 12.000 Km/ano.

O cordel detonante geralmente é utilizado com os furos cheios de água e apenas alguns com pólvora. A água – que se configura apenas como um meio leve de propagação das ondas - faz com que a rocha se quebre entre os furos. A pólvora tem a função de deslocar a bancada, separando as duas faces anteriormente presas.

Devido, principalmente, a regras de controle ambiental, todos os métodos que utilizam explosivos estão em certa decadência. Entretanto, há casos que a substituição é difícil e até impraticável, principalmente na fase de desenvolvimento da lavra.

3.2.2. Perfuração e Cunhas

Este método diferencia-se do anterior pelo uso de cunhas para forçar a ruptura entre os furos, executados com espaçamento entre 15 e 25 cm uns dos outros.

As “cunhas” ou “guilhos”, na verdade, são formadas por um conjunto de cunha e dois calços (Foto 09), tais objetos são fabricados desde 40 cm até 6 m de comprimento para a utilização em bancadas, são inseridas nos furos como mostra a foto a seguir e em seguida empurradas com a força de marretas de 5, 6 ou 10 kg na intenção de quebrar as paredes que ligam os furos. A esse método dá-se o nome de “percussão”.

Trata-se de um método muito barato e rápido, entretanto parte das rochas “exóticas” não reage bem, principalmente pelas discontinuidades na estrutura, mesmo assim, para a separação de blocos em “pranchas”, é o método mais utilizado.



Foto 09 – Cunhas ou “guilhos”.

3.2.3. Argamassa Expansiva

A argamassa expansiva funciona através de reação química que ocorre quando é misturada com uma quantidade exata de água, que corresponde a 30% do peso do produto. Esta reação causa a dilatação da mistura, aumentando seu volume inicial em até quatro vezes (Chimicaedile, 2004), logo, ela age em função do próprio inchamento, exercendo nas paredes do furo uma força unitária superior a 8.000 toneladas por metro quadrado, provocando o aparecimento de rachaduras. É um produto altamente ecológico, pois além de não ser explosivo, não produz gases e nem deixa resíduos nocivos (Rogertec, 2004). É necessária, apenas, a sua conservação em local seco e em recipientes invioláveis, evitando o contato com umidade e conseqüentemente sua expansão antecipada.

Seu efeito expansivo resulta em um corte linear, sem a necessidade de uso de explosivos, rompedores, cunhas, fios diamantados ou qualquer outro método de corte de rocha. A argamassa expansiva reduz o número de perfurações, aumentando assim a produção e a qualidade do produto obtido. Seu alto efeito de expansão permite cortes na vertical e horizontal, em blocos soltos, em bancadas ou em pranchas (Caimex, 2004).

Segundo Chimicaedile (2004), o seu uso contínuo permite desenvolver técnicas de trabalho modernas e inovadoras, com uma diminuição drástica no volume de perda de matéria-prima, como também no acúmulo de detritos no local de trabalho, gerando com isso vantagens econômicas excepcionais (Foto 10).

A argamassa expansiva para desmonte de rochas ornamentais parte da propriedade físico-química da expansão volumétrica provocada pela hidratação de óxidos principalmente do óxido de cálcio (CaO), produzindo hidróxidos de cálcio (Vlack, 1973).



Foto 10 - Laterais cortadas a fio e prancha liberada por furação e argamassa expansiva.

Conforme Minegishi *et al.* (1983), a argamassa expansiva, para as suas devidas aplicações, deve possuir três propriedades relacionadas com a reação de hidratação:

1. O início da reação deve ocorrer após um determinado tempo, ou seja, após a adição de água, devendo-se ter tempo suficiente para a colocação da mistura no furo de forma adequada ou suficiente;
2. A mistura injetada no furo deve expandir de forma que exerça pressão na estrutura a ser desmontada ou demolida de forma eficaz, sem transbordamento;
3. Durante a reação deve existir pressão expansiva suficiente para o corte da estrutura em um período de tempo relativamente curto.

Os parâmetros dos fabricantes, que tomamos como referência, é de que o início da reação deve ocorrer entre 10 e 30 minutos após a adição de água e que possua pressão expansiva superior a $7\ 000\ \text{ton/m}^2$, num período de tempo de no

máximo 30 horas após a aplicação no furo. Outro fator relevante é que a expansão deva acontecer no furo, sem transbordamento, ou seja, seguindo um sentido de expansão preferencialmente unilateral.

Segundo Rogertec (2005), com a colocação da pasta expansiva em um furo será exercida uma pressão na direção ortogonal as paredes do furo. Uma pressão "p" uniforme foi determinada experimentalmente em 800kg/cm^2 , o valor de "p" varia sensivelmente com o tempo de reação e com a temperatura. De fato, com temperaturas mais elevadas, obtém-se resultados em tempos mais breves. Com temperaturas mais baixas alcançam-se os mesmos resultados em tempos mais longos, ou resultados mais modestos para um mesmo tempo. O valor de 800kg/cm^2 fixado, refere-se a tempos de reação de 20/24 horas com temperaturas próximas a $20\text{ }^\circ\text{C}$. Com tempos de reação mais longos, a argamassa expansiva continuando a agir por muitos dias, pode-se obter valores de "p" consideravelmente superiores a 800kg/cm^2 .

A argamassa expansiva nos parece uma das ferramentas ideais para o corte em materiais exóticos por exercer uma força constante e lenta em todo o furo provocando com isso a sua quebra por igual.

4. ROCHAS ORNAMENTAIS SELECIONADAS

4.1. "VERDE FUJI" – QUARTZITO

4.1.1. Generalidades

- Localização e Vias de Acesso

A jazida está localizada na Serra do Cumaru, Município de Messias Targino, Estado do Rio Grande do Norte, distando menos de 2 Km da divisa com o Estado da Paraíba, no limite com o Município de Belém de Brejo do Cruz. A Serra do Cumaru fica, portanto, no Seridó Ocidental do Rio Grande do Norte.

Partindo-se de Campina Grande, pela BR-230 até Santa Luzia, onde toma-se a rodovia interestadual que passa pelos Municípios de: Várzea/PB, Caicó/RN, Jardim de Piranhas/RN, Brejo do Cruz/PB e Belém de Brejo do Cruz/PB, chegando neste último, já realizado um percurso de 260 Km desde Campina Grande, toma-se uma estrada não pavimentada na direção norte até a fazenda Cumaru.

- Geologia Local

O material rochoso pode ser classificado como um quartzito com epidoto e granada de médio grau de metamorfismo regional, que sofreu, possivelmente, várias fases de deformação. Está estratigraficamente situado na Formação Jucurutu (Ferreira & Albuquerque, 1969), denominada posteriormente de Formação Equador (Jardim de Sá, 1984 e 1994), pertencente ao Grupo Seridó, de idade Neoproterozóica (Brasílica).

No afloramento apresentam-se estruturas tectônicas tais como: dobras; falhas; fraturas; famílias de juntas e foliações contidas no maciço rochoso. A Serra do Cumaru, local de ocorrência da rocha, apresenta uma convexidade sinclinal. Macroscopicamente, observam-se micro dobras de dimensões centimétricas a decimétricas (Foto 11), cujos esforços desenvolveram-se durante

as fases de deformações sofridas pela rocha durante a vigência dos ciclos tectônico-estruturais regionais.



Foto 11 – “Verde Fuji” polido.

No corpo principal foram detectadas duas direções preferenciais de zonas de tensão, as sub-verticais que são prejudiciais a lavra devido a divisão do corpo em partes pequenas, muitas vezes menores que o comprimento padrão dos blocos e as sub-horizontais, favoráveis a lavra.

As juntas, formadas pela ação das tensões regionais, aparecem em famílias, segundo orientações principais N-S e E-W.

4.1.2. Características Petrográficas

O quartzito com epidoto e granada, denominado comercialmente de “Verde Fuji” apresentou, segundo análise petrográfica realizada Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), a seguinte composição mineralógica (Tabela 1).

Tabela 1: Composição mineralógica do “Verde Fuji”.

MINERAL	PRESENÇA
Quartzo	74%
Epidoto	16,2
Granada	5%
Plagioclásio	3,1%
Microclina	1,2%
Titanita, carbonatos e outros	0,5%

4.1.3. Características Tecnológicas

Alterabilidade Química – A rocha mostra excelente qualidade no que se refere à resistência e alterabilidade química, visto que, as alterações são imperceptíveis a olho nú, além disso não apresentam depressões, por efeito de erosão, na face polida.

Resistência à Tração por Flexão – O resultado apresentado sugere que o material pesquisado possui resistência à tração altíssima, em torno de $24,08 \pm 2,36$ MPa o que favorece a sua aplicação sem restrições, em relação às aplicações estruturais onde estejam sujeitos a solicitações desta natureza.

Resistência ao Desgaste Amsler – Os resultados observados na rocha em questão atende aos requisitos necessários ao uso como rocha para fins ornamentais. A rocha suporta pisoteio alto, podendo ser aplicado em áreas de grande tráfego.

Resistência à Compressão Simples – O resultado apresentado sugere que a rocha analisada possui alta resistência ao esforço normal ao plano de fraqueza, o equivalente a $151,37 \pm 3,25$ Mpa, podendo ser utilizado como material ornamental sem restrições nas aplicações estruturais.

Índices Físicos – Os resultados contemplam a massa específica seca, massa específica saturada, porosidade e absorção, onde os resultados obtidos demonstram que os índices físicos satisfazem a qualidade requerida para

aplicação como rocha ornamental. Os resultados dos ensaios de porosidade e absorção da rocha recomendam que poderá ser utilizada sem restrições. (Tabela 2).

Tabela 2: Índices Físicos do “Verde Fuji”

Esforço Normal ao Plano de Fraqueza (Mpa)	151,37 ± 3,25.
Resistência a Tração por Flexão (Mpa)	24,08 ± 2,36.
Massa Específica Seca (kg/cm)	2,649 ± 0,001
Massa Específica Saturada (kg/cm)	2,657 ± 0,001
Porosidade (%)	0,754 ± 0,001
Absorção (%)	0,284 ± 0,001
Desgastes Amsler a 500 m (mm)	0,230 ± 0,020
Desgastes Amsler a 1.000 m (mm)	0,495 ± 0,027
Alterabilidade Química.	Boa resistência, sem restrições.

5.1.4. Modo de Ocorrência

A rocha ornamental comercialmente denominada de “Verde Fuji” ocorre sob a forma de um grande bloco de um maciço rochoso. Por ter passado por vários eventos metamórficos, fraturou em outros grandes blocos ainda ligados um a outro por material alterado. Objetivamente trata-se de grandes matacões enterrados sobre uma formação montanhosa com cerca de 150 m de altura (Foto 12).

O metamorfismo intenso que resultou tanto na coloração esverdeada quanto nas belíssimas dobras que a rocha apresenta, dificultou em muito o conhecimento acerca da direção de menor fraqueza de ruptura que indica a forma de lavra.

Por outro lado, as falhas que atuaram no corpo de forma vertical e horizontal, são utilizadas em favor do método de lavra, uma vez que liberam mais duas faces da rocha: o chamado levante (falhas horizontais) facilitou muito o

trabalho de lavra uma vez que descartou a necessidade em se fazer uma furação horizontal ou um corte com fio diamantado.



Foto 12 – Local de ocorrência do “Verde Fuji”.

4.1.5. Lavra

A lavra desta rocha ornamental é de grande grau de dificuldade, tanto pelo trabalho de desenvolvimento quando pela sensibilidade a métodos usuais de desmonte por suas características mecânicas e geológicas.

Para esta lavra podemos enumerar as fases da seguinte forma:

1º - Acesso ao corpo

Na fase inicial houve um desenvolvimento parcial da pedreira, no qual, com a utilização de máquinas pesadas, todo o capeamento foi retirado de cima da rocha de interesse, fazendo aparecer inicialmente todo o maciço (Foto 13). Entretanto, muitas partes deste maciço são imprestáveis como rocha ornamental por se encontrarem alterados e muito fraturados.

2º - Desmontes da rocha alterada e liberação da frente de lavra

Encontrado o corpo de interesse se iniciam os trabalhos de limpeza até atingir a rocha sã, uma vez que apenas esta possibilita a extração de blocos. Para os desmontes são utilizadas cargas explosivas comuns a pedreiras de brita, uma vez que a intenção é a de quebrar o mais possível para facilitar a limpeza.

Para a retirada de blocos inteiros é necessária a liberação total do maciço rochoso em pelo menos duas faces, como visto na foto enumerada (Fotos 14 e 15).

3º - Marcação e furação de pranchas

O passo seguinte é o estudo detalhado da pedreira para demarcar as "pranchas" que serão perfuradas (Foto 16) até a o final do corpo, que sempre apresenta uma fratura horizontal delimitadora da altura da bancada.

Os furos com brocas de 36 mm se espaçam cerca de 30 cm um do outro, criando um novo plano de fraqueza na rocha.

4º - Descolamento da prancha

Para o descolamento da prancha nesta rocha é utilizada a argamassa expansiva, com cerca de 30% de areia grossa para diminuir ainda mais a velocidade de ruptura, pois, com uma reação mais lenta a rocha quebra com o mínimo de impacto e isso evita a geração de fissuras que irão aparecer quando o bloco estiver serrado e as chapas polidas.

Com essa carga de argamassa expansiva diluída com areia, em cerca de 20 horas a prancha estará completamente descolada do restante do maciço.

5º - Derrubada da "prancha"

Para derrubar a prancha utiliza-se os métodos convencionais: empurrão com pistões ligados a um macaco hidráulico e puxões com cabos de aço ligados a polias e máquinas tratores.

A prancha cai sobre uma "cama" de terra com cerca de 2 a 3 m de altura para aliviar o impacto com o solo que poderia levar a quebra indesejada.



Foto 13 - Retirada de capeamento sobre a rocha.



Foto 14 - Furação de rocha alterada para o desmonte e posterior limpeza.



Foto 15 - Rocha decapeada, com alguns desmontes de limpeza a serem executados.



Foto 16 - Frente de rocha sã onde será iniciado o processo de formação de “pranchas” para confecção dos blocos.

6º - Confecção e retirada dos blocos

Com a “prancha” já marcada e furação terminada (furada com 10 cm de espaçamento), o passo seguinte é a liberação dos blocos. Normalmente, esta é a fase mais fácil e rápida de todo o processo produtivo, entretanto no “Verde Fuji”, até mesmo os blocos, são separados com a utilização de argamassa expansiva.

Desta vez, a argamassa é misturada a 60% de areia grossa, para diminuir mais ainda o tempo de reação e conseqüentemente a velocidade de expansão, caso contrário os blocos quebram com a ação da massa (Foto 17).



Foto 17 - Prancha na posição horizontal e furação para confecção de blocos.

Depois de liberados os blocos, uma face a cada vez, o transporte até o pátio de carregamento é feito com a utilização de uma pá carregadeira média, modelo 950 da Caterpillar, que vai tombando o bloco num processo lento e muito oneroso (Foto 18).



Foto 18 – Tombamento do bloco.

7º - Carregamento

Como o último evento realizado na pedreira, o carregamento dos blocos nos caminhões é feito com a utilização de um “Pau de Carga” (talha com roldanas redutoras ligadas a cabo de aço). O bloco é colocado sobre o “pau de carga”, amarrado com um cabo de aço de 1,5”, levantado através de cabos de aço ligados a, no mínimo, quatro polias redutoras e colocado sobre o caminhão. (Foto 19).



Foto 19 – Carregamento de blocos.

4.2. “GOLD FUJI” – GRANITO PEGMATOIDE

4.2.1. Generalidades

- Localização e Vias de Acesso

Situa-se no município de Seridó, estado da Paraíba, na localidade denominada Serra Verde. Saindo de Campina Grande, pela BR 230, até Soledade, a partir daí pela rodovia estadual PB 117, faz-se um percurso de 38Km até a sede de Seridó, em seguida, por mais 8 Km de estrada não pavimentada, até a pedreira.

- Geologia Local

Na área pesquisada foram identificadas como unidades litológicas os micaxistos da Formação Seridó, os granitos pegmatóides (pegmatitos homogêneos) e os pegmatitos heterogêneos produtores de minerais de tântalo e gemas.

A rocha ornamental de interesse econômico trata-se de uma rocha granítica com gigantismo na formação dos cristais, mas preservando a homogeneidade de distribuição, com estruturas aflorantes, resultante da erosão diferenciada, sob a forma de plutons alongados, onde os eixos de maior dimensão estão orientados no sentido SW-NE, com aproximadamente 10° NE e encaixados no micaxistos da Formação Seridó. A cor amarelada deu-se pela oxidação de minerais susceptíveis, ajudada pela própria tonalidade creme do feldspato (Foto 20).



Foto 20 – “Gold Fuji” polido.

A área está contida na faixa de dobramento Seridó, uma subdivisão geotectônica da Província Borborema (Brito Neves, 1983) que possui uma evolução tectônico-estrutural complexa, afetada por diversos ciclos orogênicos e que apresenta uma estruturação com *trend* regional na direção NE-SW. A rocha de interesse constitui-se como uma estrutura intrusiva que forma plútons de feições alongadas e concordantes aos lineamentos regionais. Muitos plútons graníticos estão associados a zonas de cisalhamento.

5.2.2. Características Petrográficas

O granito pegmatóide, denominado comercialmente de "Gold Fuji" apresentou, segundo análise petrográfica realizada no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), a seguinte composição mineralógica (Tabela 3).

Tabela 3: Composição mineralógica do "Gold Fuji"

MINERAL	PRESENÇA
Plagioclásio/microclina	60-70%
Quartzo	20-30%
Micas (biotita e muscovita)	≤ 10%
TOTAL	100%

4.2.3. Características Tecnológicas

Alterabilidade Química – A rocha em estudo foi submetida à ação de diversos agentes químicos agressivos (sais, graxas, sabões, detergentes, óleos vegetais e minerais, ácidos e bases), que comumente encontramos nos ambientes de aplicações mais prováveis como residências e escritórios. Na análise petrográfica realizada nesta rocha observou-se a ausência de minerais deletérios concluindo-se, portanto, que a resistência a alterabilidade química é satisfatória.

Resistência à Tração por Flexão – O resultado apresentado sugere que o material pesquisado possui baixa resistência à tração, o equivalente a 6,26 Mpa, o que favorece a sua aplicação com restrições, em relação às aplicações estruturais, onde esteja sujeito a solicitações desta natureza.

Resistência ao Desgaste Amsler – Os resultados observados na rocha em questão atende aos requisitos necessários ao seu uso como rocha para fins ornamentais. A rocha suporta pisoteio moderado.

Resistência à Compressão Simples – O resultado apresentado sugere que a rocha analisada possui mediana resistência ao esforço normal ao plano de fraqueza, o equivalente a 71,32 Mpa, podendo ser utilizado como material ornamental com restrições nas aplicações estruturais.

Índices Físicos – Os resultados contemplam a massa específica seca, massa específica saturada e a porosidade e absorção, onde os resultados obtidos demonstram que os índices físicos satisfazem a qualidade requerida para sua aplicação como rocha ornamental. Os resultados dos ensaios de porosidade e absorção da rocha recomendam algumas restrições, especialmente para peças expostas a intemperismo. (Tabela 4).

Tabela 4: Índices físicos do “Gold Fuji”.

Esforço Normal ao Plano de fraqueza (Mpa)	130,39 ± 1,25
Resistência a tração por flexão (Mpa)	6,26 ± 0,66.
Massa específica seca (kg/cm)	2,645 ± 0,012
Massa específica saturada (kg/cm)	2,664 ± 0,013
Porosidade (%)	1,604 ± 0,280
Absorção (%)	0,446 ± 0,180
Desgastes Amsler a 500 m (mm)	0,555 ± 0,086
Desgastes Amsler a 1.000 m (mm)	0,823 ± 0,173
Resistência ao Impacto de Corpo Duro	Boa resistência
Alterabilidade Química.	Boa resistência, com restrições.

4.2.4. Modo de Ocorrência

Esta rocha ornamental ocorre sob a forma de grandes corpos maciços alongados com indicação leve de uma orientação nos cristais de feldspato, o que definiu a sua direção preferencial de ruptura

Por tratar-se de um grande corpo maciço o esforço para a abertura de uma pedra aumenta, uma vez que encontramos apenas uma face livre e precisamos de quatro para produção de blocos.

4.2.5. Lavra

Desde o início da lavra neste corpo maciço de granito pegmatóide vários métodos de corte foram utilizados, praticamente todos comentados neste trabalho.

Inicialmente, os cortes primários verticais foram executados com *jet flame*, o método não foi aprovado por provocar fraturas perpendiculares ao corte e modificar a coloração da rocha em suas bordas, talvez pela ação da alta temperatura da chama. A perfuração e explosivos também foram utilizados, trata-se de uma boa maneira de obtermos a abertura de uma gaveta, entretanto, causa muitos problemas ao corpo como um todo, podendo até mesmo inviabilizar a pedra pela provocação de fraturas.

Atualmente nesta pedra os cortes principais são feitos a fio diamantado.

4.3. “VERDE UMBURANA” – ESCARNITO DIOPSÍDICO

4.3.1. Generalidades

- Localização e Vias de Acesso

A área da pesquisa está situada na região do Seridó ocidental do Estado do Rio Grande do Norte, mais precisamente, na localidade do Sítio Cacimba de Baixo, Município de Messias Targino.

O acesso às áreas faz-se a partir da Cidade de Mossoró/RN, através da Rodovia BR-110, no sentido Leste, na direção da sede do Município de Ipanema/RN, em um percurso de 73 Km. A partir deste entroncamento e por esta Rodovia, no sentido Sul, segue-se até a sede do Município de Campo Grande/RN,

percorrendo-se aproximadamente 34 Km. A partir deste ponto, pela mesma estrada, percorre-se mais 41 Km, na direção Sudoeste até sede do Município de Messias Targino/RN. Nesta cidade segue-se ainda pela Rodovia estadual por mais 2,5 Km. A área dista 3 km a sul, seguindo-se por uma estrada carroçável.

- Geologia Local

A área pesquisada no Sítio Cacimba de Baixo, na parte oeste da sede do Município de Messias Targino, compreende uma superfície de 365,76 hectares. Foram identificadas as unidades litológicas classificadas como gnaisses, do Complexo Caicó, mármores e rochas calciossilicáticas da Formação Jucurutu (Ferreira & Albuquerque, 1969) ou Formação Equador (Jardim de Sá, 1984 e 1994), pertencente ao Grupo Seridó; e, os granitóides, que constituem as intrusões plutônicas Brasileiras.

Análises petrográficas realizadas em amostras, criteriosamente selecionadas classificam esta rocha como de composição calciossilicática (escarnito diopsídico), de médio a alto grau de metamorfismo regional e que sofreu seguramente várias fases de deformação, com idade de aproximadamente 760 Ma, atribuída ao Neoproterozóico.

As rochas encaixantes são representadas pelos gnaisses do embasamento, o Complexo Caicó. Os granitóides brasileiros aparecem intrusos tanto nos gnaisses como nas rochas calciossilicáticas onde são frequentes as presenças de xenólitos ou megaxenólitos.

Justamente estas calciossilicáticas de coloração em tons esverdeados com texturas sacaroidal constituem as rochas de interesse comercial, para fins ornamentais (Foto 21).



Foto 21 – “Verde Umburana” polido.

4.3.2. Características Petrográficas

O escarnito diopsídico, denominado comercialmente de “Verde Umburana” apresentou, segundo análise petrográfica realizada Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), a seguinte composição mineralógica, nas seguintes proporções apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5: Composição mineralógica do “Verde Umburana”.

MINERAL	PRESENÇA
Diopsídio	50 %
Plagioclásio	30%
Granada	15%
Calcita, Quartzo, Clorita e outros	5%
TOTAL	100%

4.3.3. Características Tecnológicas

Alterabilidade Química – A rocha em estudo foi submetida à ação de diversos agentes químicos agressivos (sais, graxas, sabões, detergentes, óleos vegetais e minerais, ácidos e bases), que comumente encontramos nos ambientes de aplicações mais prováveis, como residências e escritórios. . Na análise petrográfica realizada nesta rocha observou-se a ausência de minerais deletérios concluindo-se, portanto, que a resistência a alterabilidade química é satisfatória, entretanto sofreu uma leve alteração com respeito à ação de ácido oxálico.

Resistência à Tração por Flexão – O resultado apresentado sugere que o material pesquisado possui alta resistência à tração, o equivalente a $17,64 \pm 1,06$ Mpa, o que favorece a sua aplicação sem restrições, em relação às aplicações estruturais, onde esteja sujeito a solicitações desta natureza.

Resistência ao Desgaste Amsler – Os resultados observados na rocha em questão atende aos requisitos necessários ao uso como rocha para fins ornamentais. A rocha suporta pisoteio mediano a alto, podendo ser aplicado em áreas de grande tráfego tais como prédios comerciais.

Resistência à Compressão Simples – O resultado apresentado sugere que a rocha analisada possui alta resistência ao esforço normal ao plano de fraqueza, o equivalente a $151,00 \pm 11,21$ Mpa, podendo ser utilizado como material ornamental sem restrições nas aplicações estruturais.

Índices Físicos – Os resultados contemplam a massa específica seca, massa específica saturada, porosidade e absorção, onde os resultados obtidos demonstram que os índices físicos satisfazem a qualidade requerida para aplicação como rocha ornamental. Os resultados dos ensaios de porosidade e absorção da rocha recomendam que poderá ser utilizada sem restrições.

Resistência ao Impacto de Corpos Duros – Os resultados obtidos mostram fissuramento com 0,45 m, lascamento com 0,55 m e ruptura com 0,65 m, indicando que o material possui uma boa coesão e capacidade de absorção de

impacto, podendo ser utilizado sem restrições como material ornamental. (Tabela 6).

Tabela 6: Índices físicos do "Verde Umburana".

Esforço Normal ao Plano de fraqueza (Mpa)	151,00 ± 11,21.
Resistência a tração por flexão (Mpa)	17,64 ± 1,06.
Massa específica seca (kg/cm)	2,803 ± 0,026
Massa específica saturada (kg/cm)	2,808 ± 0,027
Porosidade (%)	0,466 ± 0,018
Absorção (%)	0,167 ± 0,006
Desgastes Amsler a 500 m (mm)	0,308 ± 0,076
Desgastes Amsler a 1.000 m (mm)	0,700 ± 0,042
Resistência ao Impacto de Corpo Duro	Boa resistência
Alterabilidade Química.	Boa resistência, sem restrições.

4.3.4. Modo de Ocorrência

A rocha ocorre, em parte, sob a forma de matacões espalhados por toda a formação rochosa e provavelmente sobre o maciço, podendo ser definida como uma jazida de rocha ornamental potencialmente em matacões. (Foto 22)

O lineamento, quase um plano de cisalhamento, resultante do alinhamento dos cristais deformados, facilitaram a observação do plano de fraqueza da rocha, indicando as direções de corte.

4.3.5. Lavra

O processo de lavra em matacões já é bastante conhecido e controlado, entretanto neste capítulo serão enumerados os passos específicos para esta jazida, que podemos dividir nas seguintes etapas:

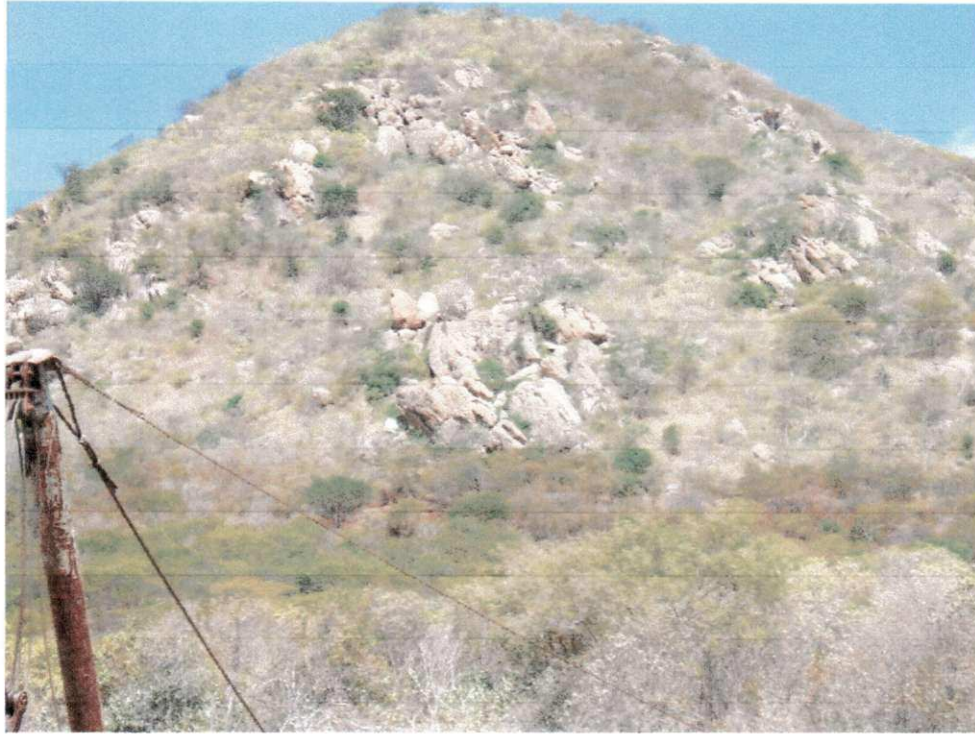


Foto 22 - Vista geral da ocorrência do "Verde Umburana"

1º - Escolha do matacão

A pesquisa mineral realizada definiu quais os corpos seriam desmontados em blocos, considerando que por ser uma rocha ornamental que atinge valores superiores a US\$ 1.200,00/m³ e tem características de estética únicas em todo o mundo, as dimensões do bloco podem variar desde 2,00 a 3,10 m de comprimento x 1,40 a 2,10 m de altura x 0,90 a 1,80 m de largura. O tamanho máximo é limitado pelo transporte, portanto, levando em conta as dimensões mínimas e um aproveitamento na ordem de 50 %, o matacão é escolhido e marcado.

2º - Acesso ao corpo

Após a escolha e marcação do matacão, realiza-se uma programação de acesso ao corpo escolhido, seguido de limpeza nos seus arredores com a utilização de maquinário, conforme a aplicação e disponibilidade. Mensura-se também, previamente, um custo para este trabalho, o que impossibilita a lavra de determinados corpos quando este se encontra em locais de difícil acesso e não possuem um volume que justifique o procedimento. (Foto 23)

O acesso ao corpo inclui também uma estrutura para retirada dos blocos produzidos.



Foto 23 - Acesso ao corpo (canto esquerdo superior).

3º - Instalação de linha de ar e equipamentos

Realizada com sucesso a fase anterior, passa-se a instalação da linha de ar e equipamentos de geração que devem ser posicionados o mais próximo possível da frente de lavra para diminuir as perdas de carga, levando sempre em conta que os equipamentos de geração devem se manter a uma certa distância da poeira, evitando a mais rápida depreciação dos mesmos.

4º - Abertura de matacão

Com todo o equipamento instalado deve-se partir para abertura do matacão, ou seja, a divisão do corpo em uma primeira fatia que possibilite o início da lavra ou indique a melhor forma de lavar, uma vez que cada matacão pode apresentar posições diferentes de corte preferencial.

Neste caso, utiliza-se um furo de 38 mm de espessura até cerca de 70 % da altura total do corpo e a cada três metros de distância na linha escolhida para ser cortada. Os furos devem ser "raizados" e com um pequeno carregamento de

pólvora que deve alcançar cerca de 1/3 da altura total do furo, os demais 2/3 serão de tamponamento. A "raia" tem a função de indicar uma direção preferencial para a onda de choque. É efetuada com a utilização de uma broca especial que corta as laterais do furo abrindo uma pequena cava.

Em seguida a carga é detonada e o matacão é aberto conforme a indicação escolhida, geralmente segundo a orientação natural das fraquezas mecânicas da rocha, direção usualmente chamada de "corrida".

Havendo apenas um furo, utiliza-se o estopim convencional que aciona uma espoleta, iniciando a carga explosiva, e, caso a bancada seja grande e necessite de mais de um furo, utilizam-se iniciadores não elétricos tipo "mantinel" ou "flamel" com o comprimento necessário a cada furo.

Nessa fase de abertura do matacão é que devem ser aplicados os conhecimentos petrográficos e tecnológicos acerca da rocha, para saber como ela resistirá ao uso dos explosivos de alta a média velocidade, uma vez que estes facilitam a lavra e aceleram o processo.

5º - Marcação de cortes

Depois de aberta a primeira face do corpo, inicia-se o processo de marcação dos demais cortes que são, exatamente, paralelos ou perpendiculares a primeira face, formando as "pranchas". Todo o processo é realizado com a utilização de esquadro e régua.

6º - Abertura e derrubada das "pranchas"

Depois das pranchas serem devidamente marcadas, conforme o sentido do corte, inicia-se o processo de furação com a utilização de brocas com espessura variando entre 34 e 38 mm e furos seguidos a cada 25 ou 30 cm, criando um novo plano de fraqueza para a rocha. Tais furos, após devidamente soprados, são carregados com argamassa expansiva.

Quando a argamassa termina sua ação e a "prancha" está liberada do restante do corpo, inicia-se o trabalho de derrubada, que pode ser realizado por um sistema de pistões ligados a um macaco hidráulico ou com a ajuda de

diversas polias independentes, por onde passam cabos de aço ligados a um trator que puxa a “prancha”.

7º - Marcação e furação para formação dos blocos

Com a “prancha” no chão, começa o trabalho de marcação de blocos que segue padrões estabelecidos pelo comprador ou delimitados pela rocha.

Após os blocos serem marcados inicia-se o processo de furação com brocas de 34 mm e furos espaçados entre 10 e 15 cm (Foto 24).

8º - Liberação dos blocos

Depois de as “pranchas” terem sido furadas, conforme marcação dos blocos, são utilizadas conquilhas de aço que, ao serem introduzidas pela percussão de marretas de 5 kg, forçam as paredes da rocha e fazem com que quebrem-se conforme o plano de maior fraqueza, ou seja, ao longo da linha perfurada.

Em seguida o bloco é transportado até o pátio de carregamento por intermédio do processo de tombamento já comentado anteriormente.



Foto 24 - Confeção de blocos.

4.4. “AMARELO CABAÇAS” – SIENOGRANITO

4.4.1. Generalidades

- Localização e Vias de Acesso

A área estudada está localizada no Município de São João do Cariri, Estado da Paraíba.

Partindo de Campina Grande pela BR-230 percorre-se 30 km até a entrada para a cidade de Boa Vista. Nesta rodovia são mais 80 km, pela BR-412, até a sede do Município de São João do Cariri. O acesso para a pedreira dá-se através de uma estrada vicinal que liga a BR-412 ao Município de Cabaceiras, percorrendo-se mais 13 km. Antes do cruzamento com o rio Taperoá, segue-se a direita na direção da Fazenda Farias por mais 4 km.

- Geologia Local

O lineamento Patos divide o Estado da Paraíba em dois super-terrenos: um a norte, no domínio das porções cearense e norte riograndense e outro a sul, envolvendo os terrenos do domínio transversal, caracterizado por uma crosta leve sugerindo a predominância de rochas supracrustais (faixas de dobramento ou faixas supracrustais) e granitos, com pouca exposição do embasamento. Santos (1996), dividiu o domínio transversal da Província Borborema, correspondente à megaestrutura situada entre os lineamentos Patos e Pernambuco e que ocupa todo o compartimento sul da Paraíba, em quatro terrenos: Piancó – Alto Brígida ou Cachoeirinha – Salgueiro; Alto Pajeú; Alto Moxotó e Alto Rio Capibaribe, com embasamento Arqueano/ Paleoproterozóico, aflorante no terreno Alto Moxotó, o mais antigo deste domínio e o qual, diretamente interessa à área foco deste estudo.

O Alto Pajeú engloba rochas de natureza vulcano sedimentares, com metagranitóides predominantes. O Alto Moxotó é um terreno formado por rochas metassedimentares supracrustais metaplutônicas, de idade paleo/meso

proterozóicas e arqueanas. É nele que estão inseridas todas as rochas que compõem a geologia da área relatada no trabalho.

Segundo Santos (1996), no ciclo Plutônico Granítico Brasileiro (Neoproterozóico), de estrutura circular, ocorrem predominantemente duas seqüências. Uma mais antiga, ou sintectônica, do tipo diorítico/tonalítico, variando até Biotita/Hornblenda granotóide, localizada na parte mais interior da grande estrutura cíclica, com idade estimada de 760 M.a., correspondente a todo o compartimento sul/sudeste da área. Ferreira & Albuquerque (1969), descreveram estas rochas como sendo gabros, associados a anfibolitos e charnokitos.

O outro tipo de granito intrusivo, coroando o primeiro complexo de rochas intrusivas, foi intrudido em uma faixa contínua mais extensa, com largura média de 500 m. É formada por granitos alcalinos, alguns fácies com megacristais de k-feldspato, do tipo conhecido na literatura como granito itaporanga, com idade de 600 M.a. (Santos, 1996). Estes granitos foram definidos por Ferreira & Albuquerque (1969), como do tipo Itapetim, de granulação fina, homogênea e sem fenocristais.

Essas rochas graníticas estão, discordantemente, encaixadas em um complexo de rochas que dominam quase todo o Alto Moxotó, composto por ortognaisses e migmatitos com estrutura nebulíticas e bandeadas, de idade mesoproterozóica, com aproximadamente 1.400 M.a. Estas rochas que cobrem todo o compartimento norte da área em relato, foram descritas por Ferreira e Albuquerque (1969) como sendo constituídas por um conjunto de metarcósios, paranfibolitos, gnaisses bandeados, calcários, alguns tactitizados e migmatizados e migmatitos diversos, típicos do Grupo Caicó, do pré-cambriano inferior, correspondente ao mesoproterozóico. Esta seqüência, de maneira geral, está orientada segundo uma direção predominante E/W, virgando, próximo ao contato com as intrusivas, para NE/SW, em ambiente bastante afetado por falhamentos.

4.4.2. Características Petrográficas

A rocha ornamental de natureza ígnea pesquisada, comercialmente chamada de "Amarelo Cabaça" (Foto 25), trata-se de um sienogranito de

granularidade média a grossa, variando os tamanhos dos cristais entre 1,0 e 10,0 mm, com média de 3,5 mm, segundo classificação fornecida pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo) como resultado dos estudos petrográficos na amostra.



Foto 25 - "Amarelo Cabaça" e sua variação.

A rocha ornamental pesquisada possui a seguinte composição mineralógica (Tabela 7).

Tabela 7: Composição mineralógica do "Amarelo Cabaça".

MINERAL	PRESENÇA
Microclínio micropertítico a mesopertítico	50%
Quartzo	25%
Plagioclásio	20%
Biotita	5%

4.4.3. Características Tecnológicas

Desgaste por Abrasão – Para o teste foram utilizadas duas placas da rocha com dimensões de (71 x 71 x 27) mm.

O desgaste médio, em milímetros, correspondente ao percurso de 500 m foi de 0,29 e para 1000 m de 0,59.

Massa Específica Aparente Média – O índice obtido para a massa específica seca foi de 2.616 Kg/m³ (quilogramas por metro cúbico) e para a massa específica saturada, 2.623 Kg/m³ (quilogramas por metro cúbico). Os resultados dos ensaios recomendam que a rocha pode ser usada sem restrições.

Porosidade Aparente Média – O valor encontrado foi de 0,7 % e o resultado do ensaio recomenda que a rocha pode ser usada sem restrições.

Absorção de Água Média – Foi utilizado o ensaio de congelamento e degelo, conjugado a verificação da resistência a compressão e velocidade de propagação das ondas ultrassônicas.

O valor obtido no ensaio foi de 0,27 %, portanto a rocha pode ser usada sem restrições.

Tensão de Ruptura Média (Nat.) – Foram obtidos os seguintes resultados:

- 1.416 Kgf/cm² (quilogramas força por centímetro quadrado)
- 138,9 MPa (mega-pascal)

Tensão de Ruptura Média (C/D) – Foram obtidos os seguintes resultados:

- 1.393 Kgf/cm² (quilogramas força por centímetro quadrado);
- 136,6 MPa (mega-pascal)

Tensão Média de Ruptura:

- 107,7 Kgf/cm² (quilograma força por centímetro quadrado);
- 10,57 MPa (mega-pascal)

Velocidade Média de Propagação de Ondas Ultrassônicas – No ensaio utilizando a propagação de ondas ultrassônicas o resultado obtido foi de: 5.060 m/s (metros por segundo).

Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas – No ensaio utilizando a dilatação térmica linear, o resultado obtido foi de: 5.280 m/s (metros por segundo).

Coefficiente de Dilatação Térmica Linear – A média do coeficiente de dilatação térmica linear obtido foi $7,0 \times 10^{-3}$ mm/m.°C (milímetros por metro vezes graus Celsius).

Alterabilidade Química – Foram realizados alguns ensaios de alterabilidade química, apresentados da Tabela 8, a seguir:

Tabela 8 – Ensaio de alterabilidade química do “Amarelo Cabaça”.

Reagente Utilizado	Tempo de Exposição	Efeito Macroscópico
Ácido Clorídico (a 3%)	168 horas	Leve descoloração e perda de 4% do lustre
Hidróxido de Potássio	168 horas	Perda de 4% do lustre – aspecto inalterado
Ácido Cítrico	6 horas	Perda de 2% do lustre – aspecto inalterado
Hipocloreto de Sódio	6 horas	Perda de 2% do lustre – aspecto inalterado
Hidróxido de Amônio	6 horas	Aspecto inalterado
Água filtrada e deionizada	168 horas	Perda de 2% do lustre – aspecto inalterado

4.4.4. Modo de Ocorrência

A jazida ocorre tanto sob a forma de matacões quanto sob a forma de maciço rochoso. Entretanto, como a coloração amarelada é proveniente de alteração superficial, não há interesse atual em se lavrar o maciço, uma vez que o mesmo apresenta uma coloração rosada que não é economicamente viável.

O alinhamento dos pequenos cristais de feldspato forneceu o conhecimento necessário acerca do sentido preferencial de corte. Entretanto, como trata-se de uma rocha extremamente homogênea, a face chamada usualmente de "chapa", onde será feito o corte para retirada de placas, poderá ser colocada em qualquer uma dos três sentidos.

4.4.5. Lavra

1º - Escolha do bloco rochoso a ser desmontado

Inicialmente procede-se com a escolha do matacão de interesse, atentando para questões dimensionais, aspectos visuais e qualidade.

Os blocos devem ter dimensões entre (1,30 x 1,30 x 2,80) m e (1,80 x 1,95 x 3,10), normalmente (1,45 x 1,70 x 2,90) m. Quanto mais blocos com essas dimensões puderem ser extraídos do matacão, mais econômica e produtiva torna-se a lavra. Também devem ser observadas as presenças prejudiciais de fraturas, veios de quartzo ou outro tipo de intrusão, bem como oxidações ou qualquer outra característica danosa a qualidade do bloco que poderá ser retirado.

2º - Marcas de divisão e escolha do sentido do corte

A marcação deverá ser feita com o auxílio de régua, trena e prumo, resultando no esquadrejamento do matacão, o que fornecerá a delimitação de medidas e a escolha das faces que, inicialmente, serão separadas para, em seguida, serem perfuradas e desmontadas (Foto 26). Como trata-se de um material homogêneo, o sentido do corte não irá alterar a aparência final do material polido, portanto, o corte será realizado no sentido que forneça sempre uma maior recuperação.

3º - Construção de acesso aos matacões e transporte de material de trabalho.

Nesta etapa, tipicamente de desenvolvimento, serão feitos acessos para o pessoal e linha de ar comprimido. Em função do tamanho do matacão a ser desmontado, poderá ser procedido a construção de abrigos para o compressor, assim como a locomoção da fundição móvel e da oficina para o mais próximo possível da frente de trabalho.

Na pedreira serão utilizados tanques de ar, denominados “pulmões” ligados ao compressor, o que fornecerá uma economia de cerca de 20 % (vinte por cento) no consumo de combustível e, conseqüentemente, um menor desgaste do motor.

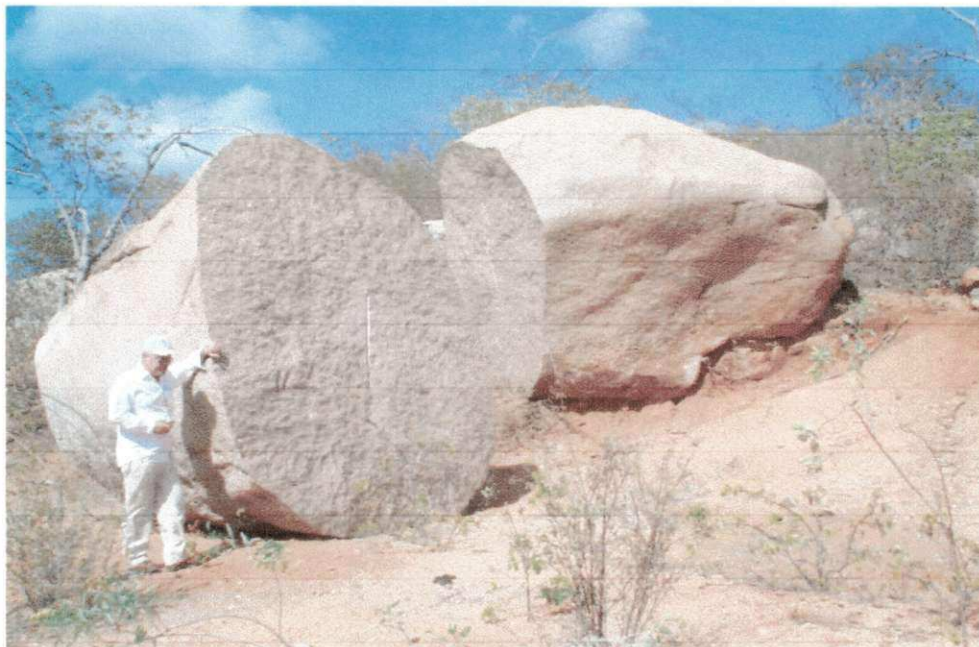


Foto 26 – Matakão aberto para confecção de uma face.

4º - Desmontes primários

Os desmontes assim denominados têm a função de dividir o matakão em blocos menores que passarão as fases seguintes. O processo é simples e exige a utilização de explosivos de baixa velocidade para não fraturar a rocha ou quebrá-la indevidamente.

Depois da escolha do matakão e definida a direção preferencial do corte, deverá ser feito um furo que atingirá entre 50 e 70 % do diâmetro total do corpo. Para este furo será utilizada uma broca “série 11” (7/8 de polegada) em um martelo roto-percussor. Em seguida, com o auxílio de outro martelo, especialmente adaptado para não executar o movimento de rotação, juntamente com uma broca denominada “bico de raia”, será fornecido o sentido do corte que espera obter-se no desmonte. A carga explosiva, composta por pólvora negra, preenche cerca de 30 % do volume total do furo. O espaçamento entre os furos deve ser em torno de 3 a 4 m.

5º - Esquadrejamento

Nesta etapa deve ser realizada uma nova avaliação de possibilidades, uma análise de aproveitamento. Novamente serão utilizados: régua, trena, esquadro e prumo, e a rocha deverá ser marcada com giz de cera nas dimensões pretendidas demonstradas na 1ª fase.

6º - Furação

Os furos são feitos utilizando marteletes roto percussivos, modelo RH 658, que consomem 120 pés³ de ar efetivo por minuto. O ar é fornecido por um compressor, modelo XA-700 e hastes de 7/8 de polegadas, em número estabelecido pelo planejamento de produção mensal, segundo exigências comerciais.

Estes furos devem obedecer a orientação indicada na 5ª fase. O espaçamento entre os furos deve estar entre 10 e 12 cm e deverá atingir uma profundidade que fique à aproximadamente 15 cm do piso, já que, muito próximo pode ocasionar quebras prejudicando o bloco. No caso inverso, muito longe, poderá acarretar efeitos semelhante por causas contrárias;

7º - Acunhamento

O método utilizado para a lavra de rocha ornamental em matacões, apesar de tradicional, é pouco ou quase nada, modernizado. Pouco tem-se a comentar a respeito deste processo, a não ser que nele faz-se a utilização de "pixotes" e "palhetas" colocados nos furos pré-existentes. Estas palhetas são percutidas com marretas de 5 Kg, resultando na quebra da rocha segundo um plano de fraqueza, provocado pelo esforço despendido (Foto 27).

8º - Carregamento e transporte

Após a extração e preparação final do bloco o mesmo é trazido para a praça de carregamento utilizando o tradicional "pau de carga". Os blocos são erguidos e postos em caminhões conforme já detalhado.



Foto 27 – Trabalho de acunhamento.

5 – MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. ESCOLHA DAS ROCHAS

Para a escolha das rochas ornamentais a serem detalhadas nesta dissertação existiu uma metodologia prática. A seleção foi feita a partir de alguns critérios que afunilaram as opções em apenas quatro.

Os critérios utilizados foram os seguintes:

- 1º - Ser uma rocha ornamental comercialmente consolidada;
- 2º - Ser proveniente dos estados da Paraíba ou Rio Grande do Norte;
- 3º - A participação direta do autor na pesquisa ou na lavra da rocha ornamental.

5.2. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

Com o apoio das empresas parceiras, FUJI S. A. e POLIGRAN S.A., as amostras foram confeccionadas em grandes serras automáticas e por profissionais capacitados, o que proporcionou uma grande agilidade, facilitando a consolidação do trabalho.

Para a realização dos ensaios foram preparadas amostras em blocos foram selecionadas 8 chapas serradas de cada rocha e polidas com as seguintes dimensões aproximadas:

Comprimento:	80 mm
Largura:	40 mm
Espessura:	30 mm

Estas amostras foram preparadas no parque industrial da empresa Fuji Granitos S.A., em Campina Grande, Paraíba. Foram utilizadas máquinas de serras automáticas, processadas com a ajuda de profissionais de serragem, a partir de chapas já serradas em grandes teares, com espessura de 30 mm estabelecida.

Foram confeccionadas 20 amostras de cada rocha ornamental para a realização do teste de carga pontual.

5.3. ENSAIOS TECNOLÓGICOS

5.3.1. Ensaio de Laboratório

Os ensaios de carga pontual foram realizados no Laboratório de Mecânica das Rochas da Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia – UAMG, da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

O equipamento utilizado para o ensaio foi o PIL-7, que está representado na Foto 28.



Foto 28 – Equipamento PIL-7.

É um aparelho simples com capacidade de carga de sete toneladas e aceita corpos-de-prova de tamanhos diferentes, mas tendo um limite de

comprimento de 102 mm. O índice de carga pontual obtido no ensaio tem correlação com a resistência de compressão uniaxial da rocha testada. Sendo simples e de fácil execução, o teste permite para o usuário delinear facilmente as resistências mecânicas das rochas, tornando-se uma ferramenta útil na mineração, e nessa pesquisa, com a importância de obter-se uma representação confiável das características tecnológicas das rochas aqui estudadas.

5.3.2. Descrição dos Ensaio

Inicialmente os corpos-de-prova passaram por um processo de medição com a utilização de um paquímetro de boa precisão (Foto 29).



Foto 29 – Medições das rochas com o paquímetro.

Para atender às normas do teste de bloco para o PIL-7, duas exigências foram seguidas:

1º. As dimensões dos blocos tiveram que obedecer a relação: $0,3 W > D > W$, onde W é a largura e D a espessura do bloco, e;

2º. O ponto de aplicação das prensas deve ser no centro das faces superior e inferior do bloco, desde que $L > 0,5 D$, onde L é a metade do comprimento do bloco (Figura 6).

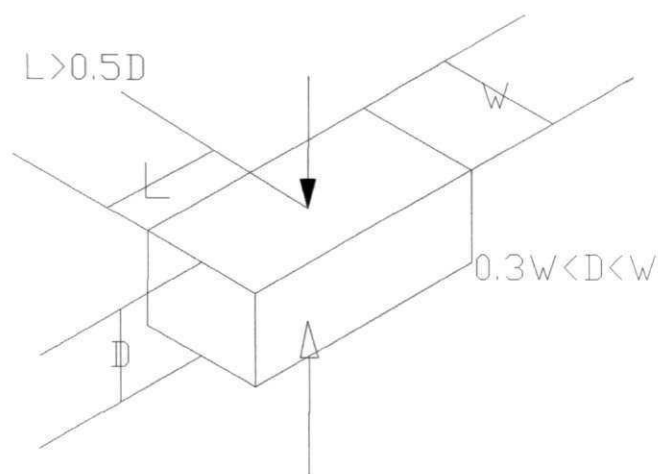


Figura 6 - Dimensões para teste de bloco.

O teste deve ser considerado válido apenas se a superfície de fratura passar através dos dois pontos de pressão. Nos ensaios realizados apenas dois corpos-de-prova de cada tipo de rocha não obedeceram esta regra. Cerca de 60% das amostras romperam-se em quatro partes aproximadamente iguais (Foto 30), significando que a rocha tem planos de fraqueza praticamente iguais em todas as direções.

Os corpos-de-prova foram introduzidos no equipamento, sendo submetidos à pressão exercida pelo aparelho, através da ação de uma alavanca hidráulica, até o bloco atingir a ruptura (Foto 31). Após as rupturas, eram verificadas diretamente no manômetro as pressões máximas com que os blocos eram rompidos (Foto 32). O manômetro utilizado tem capacidade de fazer 5.000 leituras de medidas por segundo.

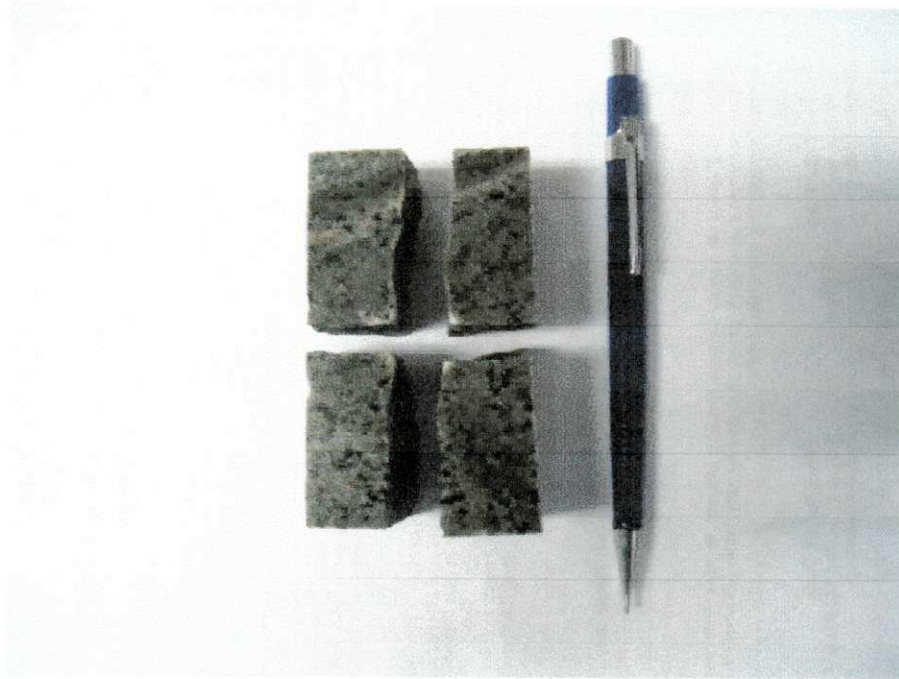


Foto 30 – Forma preferencial de ruptura

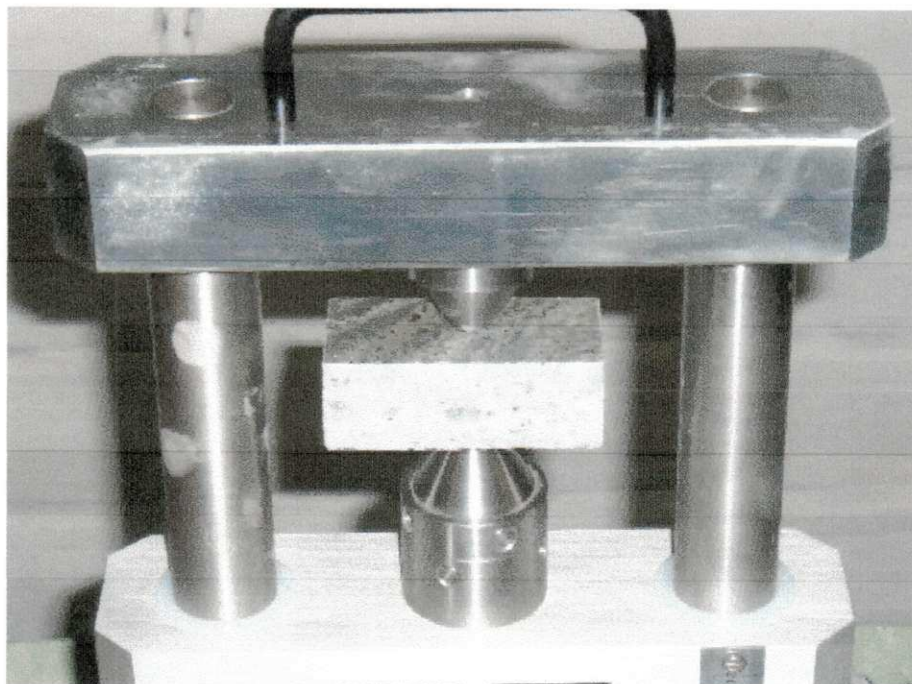


Foto 31 – Prensas do Macaco Hidráulico



Foto 32 – Leitura do manômetro.

5.3.3. Resultados dos Ensaios

Na Tabelas 1, 2, 3 e 4 estão apresentados os resultados dos ensaios.

O índice de resistência de carga pontual I_s , é determinado pela equação:

$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

I_s = Índice de carga pontual em MPa

P = Carga de ruptura em N

De = Diâmetro equivalente do testemunho em mm

O Índice de resistência de carga pontual I_s , varia como uma função de modo que é necessária uma correção para se obter um único valor de resistência de carga pontual para a amostra de rocha, portanto

$$D_e^2 = \frac{4A}{\pi} \quad (\text{Eq. 2})$$

A carga máxima de ruptura P , é obtida na equação:

$$P = L \times A_e \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

P = carga na ruptura em MPa

L = Leitura da máxima pressão em N

A_e = área efetiva do pistão em mm^2

Nota: A área efetiva do pistão do equipamento (PIL - 7) é $9,48 \text{ cm}^2$.

Para se obter a correlação entre o índice de carga pontual I_s e a resistência de compressão uniaxial das rochas ensaiadas é necessário se fazer uma correção do I_s , no caso $I_s (50)$:

$$I_s (50) = I_s \times F \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde F é o Fator de conversão obtido pela equação: $F = (D_e / 50)^{0,45}$

A resistência de compressão uniaxial Co em MPa, é obtida na multiplicação do $I_s (50)$ por um número entre 20 e 25, nesse teste foi utilizado o multiplicador 22 para a obtenção desta correlação.

$$Co = 22 \times I_s (50) \quad (\text{Eq. 5})$$

Os resultados de resistência à compressão axial (CO) foram os seguintes:

Gold Fuji = 76,87 MPa

Verde Fuji = 276,81 MPa

Verde Umburana = 221,42 MPa

Amarelo Cabaça = 124,58 MPa

O gráfico da Figura 7, mostra os resultados da resistência à compressão. O “Verde Fuji” apresentou a maior resistência, entre os que foram selecionados neste trabalho, enquanto que o “Gold Fuji” tem a resistência a compressão mais baixa. O preto São Marcos, apesar de estudado, foi preterido do presente trabalho por não apresentar um característica de exotividade encontrada nos demais.

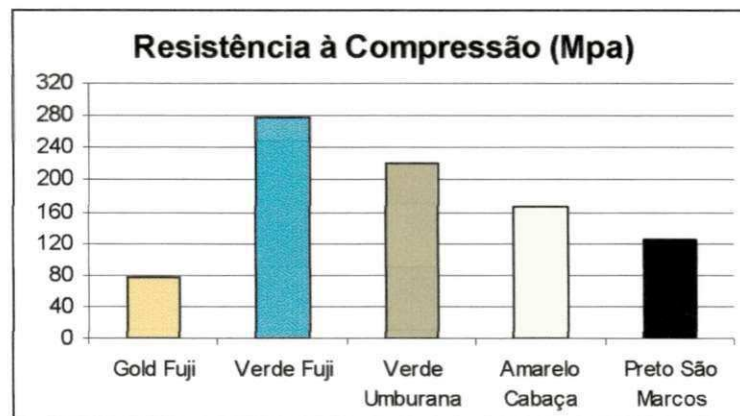


Figura 7 - Resultados de resistência à compressão.

Tabela 9: Resultados dos ensaios realizados no VERDE FUJI.

Nº	tipo	W(mm)	D (mm)	L (MPa)	A (mm ²)	D _e ² (mm ²)	P (N)	I _s	F	I _{s(50)}	C _O (MPa)
1	b	40,00	29,00	24,08	1160,00	1476,96	22827,84	15,4560	0,8883	13,7299	302,06
2	b	39,50	29,00	22,90	1145,50	1458,50	21709,20	14,8846	0,8858	13,1850	290,07
3	b	39,60	29,00	24,90	1148,40	1462,19	23605,20	16,1437	0,8863	14,3085	314,79
4	b	40,20	29,00	25,14	1165,80	1484,34	23832,72	16,0561	0,8893	14,2790	314,14
5	b	39,80	29,00	24,52	1154,20	1469,57	23244,96	15,8175	0,8873	14,0352	308,77
6	b	39,40	29,00	25,12	1142,60	1454,80	23813,76	16,3691	0,8853	14,4917	318,82
7	b	39,40	29,00	27,24	1142,60	1454,80	25823,52	17,7505	0,8853	15,7147	345,72
8	b	39,30	29,00	23,42	1139,70	1451,11	22202,16	15,3001	0,8848	13,5376	297,83
9	b	39,80	29,00	22,72	1154,20	1469,57	21538,56	14,6563	0,8873	13,0049	286,11
10	b	39,60	29,00	21,42	1148,40	1462,19	20306,16	13,8875	0,8863	12,3087	270,79
11	b	39,40	29,00	25,62	1142,60	1454,80	24287,76	16,6949	0,8853	14,7801	325,16
12	b	40,30	29,00	25,42	1168,70	1488,04	24098,16	16,1946	0,8898	14,4103	317,03
13	b	39,20	29,00	19,74	1136,80	1447,42	18713,52	12,9289	0,8843	11,4330	251,53
14	b	39,80	29,10	24,14	1158,18	1474,64	22884,72	15,5188	0,8880	13,7809	303,18
15	b	39,40	29,00	24,34	1142,60	1454,80	23074,32	15,8608	0,8853	14,0417	308,92
16	b	39,20	29,00	23,90	1136,80	1447,42	22657,20	15,6535	0,8843	13,8423	304,53
17	b	39,40	29,00	23,30	1142,60	1454,80	22088,40	15,1831	0,8853	13,4417	295,72
18	b	39,70	29,00	24,88	1151,30	1465,88	23586,24	16,0901	0,8868	14,2691	313,92

d =
diametral
a = axial
b = bloco
i = teste de pedaço irregular
⊥ = perpendicular;
// = paralelo ao plano de
fraqueza

Média I _{s(50)} ⊥		
Média I _{s(50)} //		
I _{s(50)}	13,8404	346,01
		276,81

Tabela 10: Resultados dos ensaios realizados no GOLD FUJI.

Nº	tipo	W(mm)	D (mm)	L (MPa)	A (mm ²)	D _e ² (mm ²)	P (N)	I _s	F	I _{s(50)}	C ₀ (MPa)
1	b	39,50	30,00	7,44	1185,00	1508,79	7053,12	4,6747	0,8926	4,1726	104,32
2	b	39,50	30,00	7,24	1185,00	1508,79	6863,52	4,5490	0,8926	4,0604	101,51
3	b	39,40	30,00	5,28	1182,00	1504,97	5005,44	3,3259	0,8921	2,9670	74,18
4	b	39,20	30,00	4,66	1176,00	1497,33	4417,68	2,9504	0,8911	2,6290	65,72
5	b	39,60	30,30	4,02	1199,88	1527,73	3810,96	2,4945	0,8951	2,2329	55,82
6	b	39,70	30,20	7,38	1198,94	1526,54	6996,24	4,5831	0,8949	4,1016	102,54
7	b	40,00	30,20	5,08	1208,00	1538,07	4815,84	3,1311	0,8965	2,8069	70,17
8	b	39,30	30,20	4,72	1186,86	1511,16	4474,56	2,9610	0,8929	2,6439	66,10
9	b	39,40	30,20	5,70	1189,88	1515,00	5403,60	3,5667	0,8934	3,1866	79,66
10	b	39,30	30,20	4,66	1186,86	1511,16	4417,68	2,9234	0,8929	2,6103	65,26
11	b	39,70	30,30	7,10	1202,91	1531,59	6730,80	4,3946	0,8956	3,9359	98,40
12	b	39,80	30,20	7,76	1201,96	1530,38	7356,48	4,8070	0,8955	4,3044	107,61
13	b	39,30	30,50	8,30	1198,65	1526,17	7868,40	5,1557	0,8949	4,6138	115,34
14	b	39,10	30,20	7,16	1180,82	1503,47	6787,68	4,5147	0,8919	4,0266	100,66
15	b	39,40	30,00	6,06	1182,00	1504,97	5744,88	3,8173	0,8921	3,4053	85,13
16	b	39,10	30,00	6,70	1173,00	1493,51	6351,60	4,2528	0,8906	3,7873	94,68
17	b	39,70	30,10	6,62	1194,97	1521,48	6275,76	4,1248	0,8943	3,6887	92,22
18	b	39,70	29,90	7,06	1187,03	1511,37	6692,88	4,4283	0,8929	3,9542	98,86

d =

diametral

a = axial

b = bloco

i = teste de pedaço irregular

⊥ = perpendicular;

// = paralelo ao plano de

fraqueza

Média I _{s(50)} ⊥		
Média I _{s(50)} //		
I _{s(50)}	3,4940	87,35
		76,87

Tabela 11: Resultados dos ensaios realizados no VERDE UMBURANA.

Nº	tipo	W(mm)	D (mm)	L (MPa)	A (mm ²)	D _e ² (mm ²)	P (N)	I _s	F	I _{s(50)}	C ₀ (MPa)
1	b	39,10	30,50	21,00	1192,55	1518,40	19908,00	13,1112	0,8939	11,7197	292,99
2	b	39,50	30,40	20,66	1200,80	1528,91	19585,68	12,8103	0,8953	11,4685	286,71
3	b	39,40	31,00	18,72	1221,40	1555,13	17746,56	11,4116	0,8987	10,2555	256,39
4	b	39,40	31,20	12,80	1229,28	1565,17	12134,40	7,7528	0,9000	6,9775	174,44
5	b	39,10	30,50	21,98	1192,55	1518,40	20837,04	13,7230	0,8939	12,2666	306,67
6	b	39,20	30,40	20,64	1191,68	1517,29	19566,72	12,8958	0,8937	11,5253	288,13
7	b	39,10	30,40	19,84	1188,64	1513,42	18808,32	12,4277	0,8932	11,1005	277,51
8	b	39,50	31,30	17,23	1236,35	1574,17	16334,04	10,3763	0,9012	9,3507	233,77
9	b	39,20	30,40	20,56	1191,68	1517,29	19490,88	12,8458	0,8937	11,4806	287,02
10	b	39,20	31,10	15,76	1219,12	1552,23	14940,48	9,6252	0,8983	8,6464	216,16
11	b	39,50	30,40	14,24	1200,80	1528,91	13499,52	8,8295	0,8953	7,9047	197,62
12	b	39,40	30,40	12,12	1197,76	1525,04	11489,76	7,5341	0,8947	6,7411	168,53
13	b	39,50	31,00	16,02	1224,50	1559,08	15186,96	9,7410	0,8992	8,7591	218,98
14	b	39,00	30,40	19,24	1185,60	1509,55	18239,52	12,0827	0,8927	10,7862	269,66
15	b	39,20	30,30	17,82	1187,76	1512,30	16893,36	11,1706	0,8931	9,9761	249,40
16	b	39,30	30,50	16,42	1198,65	1526,17	15566,16	10,1995	0,8949	9,1275	228,19
17	b	39,30	31,20	17,74	1226,16	1561,20	16817,52	10,7722	0,8995	9,6894	242,23
18	b	39,20	30,40	22,02	1191,68	1517,29	20874,96	13,7580	0,8937	12,2959	307,40

d =
diametral
a = axial
b = bloco
I = teste de pedaço irregular
⊥ = perpendicular;
// = paralelo ao plano de
fraqueza

Média I _{s (50) ⊥}		
Média I _{s (50) //}		
I _{s (50)}	10,0647	251,62
		221,42

Tabela 12: Resultados dos ensaios realizados no AMARELO CABAÇA.

Nº	tipo	W(mm)	D (mm)	L (MPa)	A (mm ²)	D _e ² (mm ²)	P (N)	I _s	F	I _{s(50)}	C _O (MPa)
1	b	40,60	30,60	9,64	1242,36	1581,82	9138,72	5,7773	0,9021	5,2120	130,30
2	b	40,70	30,50	9,60	1241,35	1580,54	9100,80	5,7580	0,9020	5,1936	129,84
3	b	40,20	30,50	10,50	1226,10	1561,12	9954,00	6,3762	0,8995	5,7352	143,38
4	b	40,30	30,40	10,42	1225,12	1559,87	9878,16	6,3327	0,8993	5,6950	142,38
5	b	40,50	30,30	8,24	1227,15	1562,46	7811,52	4,9995	0,8996	4,4978	112,44
6	b	40,00	30,50	13,02	1220,00	1553,35	12342,96	7,9460	0,8985	7,1392	178,48
7	b	40,70	30,30	11,12	1233,21	1570,17	10541,76	6,7138	0,9006	6,0467	151,17
8	b	40,40	30,40	10,74	1228,16	1563,74	10181,52	6,5110	0,8998	5,8587	146,47
9	b	40,80	30,50	9,40	1244,40	1584,42	8911,20	5,6243	0,9025	5,0758	126,89
10	b	40,00	30,50	7,22	1220,00	1553,35	6844,56	4,4063	0,8985	3,9589	98,97
11	b	40,00	30,60	11,48	1224,00	1558,45	10883,04	6,9833	0,8991	6,2788	156,97
12	b	40,30	30,30	13,58	1221,09	1554,74	12873,84	8,2804	0,8986	7,4411	186,03
13	b	40,50	30,40	5,14	1231,20	1567,61	4872,72	3,1084	0,9003	2,7985	69,96
14	b	41,10	30,80	12,44	1265,88	1611,77	11793,12	7,3169	0,9060	6,6288	165,72
15	b	42,80	30,70	12,08	1313,96	1672,99	11451,84	6,8452	0,9136	6,2536	156,34
16	b	41,60	30,80	7,76	1281,28	1631,38	7356,48	4,5094	0,9084	4,0964	102,41
17	b	40,30	30,50	12,58	1229,15	1565,00	11925,84	7,6203	0,9000	6,8581	171,45
18	b	41,00	30,40	11,26	1246,40	1586,97	10674,48	6,7263	0,9028	6,0725	151,81

d =

diametral

a = axial

b = bloco

i = teste de pedaço irregular

⊥ = perpendicular;

// = paralelo ao plano de fraqueza

Média I _{s(50)} ⊥		
Média I _{s(50)} //		
I _{s(50)}	5,6626	141,56
		124,58

6. CONCLUSÕES

Os pegmatitos, tactitos, xistos, migmatitos, calcedônias, brechas de falha e milonitos, compondo o conjunto de rochas ornamentais "exóticas" ou "granitos exóticos" como comercialmente são conhecidas, vêm sendo lavrados a menos de oito anos. Talvez por este motivo a literatura corrente refira-se especificamente à aplicação de métodos tecnológicos de corte em rochas tipicamente graníticas ou gnáissicas, por serem mais homogêneas, sem influências de processos migmatíticos, portanto, rochas de extração muito menos delicadas que as "exóticas".

Segundo Berton (1985), a definição de uma rocha ornamental aproveitável deve seguir o aspecto estético do material, as características tecnológicas, o grau de fraturamento do maciço e a homogeneidade da reserva. Porém, isso já foi completamente modificado. Atualmente observa-se primeiro o aspecto estético – muito subjetivo – e sendo aprovado tal critério, parte-se logo para analisar a possibilidade de produção de blocos, mesmo fraturados, utilizando-se os mais diversos tipos de corte. O aprimoramento da tecnologia de aproveitamento de blocos em teares atingiu um altíssimo nível de recuperação pela utilização de vários processos modernos de agregação e polimento.

As dificuldades ainda são muitas. Alguns fatores inerentes dificultam a lavra das rochas "exóticas", como fraturas em diversas direções, variação de composição pela concentração mais elevada de determinados minerais em certos pontos (ocasionando diferenciação de dureza, tenacidade, abrasividade e elasticidade) e mudanças repentinas de padrão, por efeito de substituições e alteração de alguns minerais. As tecnologias de corte foram sendo aperfeiçoadas e até adaptadas a cada pedreira, de acordo com a reação da rocha a ser lavrada, visando uma melhor recuperação, custos menores e uma margem de lucro maior.

Não existe, portanto, uma seqüência de eventos controlados nas pedreiras de rochas "exóticas"! Cada passo deve ser estudado detalhadamente e uma definição correta do método de corte a ser utilizado é essencial para o sucesso do processo. A equipe técnica de mineração deve ter conhecimento de todos os

métodos possíveis para aplicar a qualquer momento na lavra, pois uma adaptação correta pode ser essencial no resultado positivo de todo o processo.

Somente o conhecimento aprofundado da pedreira resultará na definição de uma metodologia apropriada a cada tipo de rocha, bem como a cada fase da produção. As análises padrão indicadas ao conhecimento prévio do material, pouco ajudam para o desenvolvimento da lavra. Grande parte dos métodos tradicionais de pesquisa é inadequada ou até mesmo inútil ao conhecimento da rocha "exótica". Podemos afirmar que as pesquisas das rochas ornamentais "exóticas", aquelas tradicionalmente conhecidas na literatura geológica, tem se mostrado pouco eficazes nas determinações de reservas úteis. Novos métodos necessitam ser desenvolvidos para constituírem-se em ferramentas úteis, utilizáveis na abertura de pedreiras que possa resultar no seu aproveitamento racional econômico. É necessário que as pesquisas sejam realizadas para dar mais segurança aos novos modelos de lavra, onde a extração de blocos aparelhados, para ofertar ao mercado consumidor, resume, basicamente, a avaliação das qualidades estéticas dos materiais.

É oportuno que se proceda o desenvolvimento de modelos espaciais, adequados para estas rochas ornamentais ditas "exóticas", diferentes daqueles padrões mais conhecidos e estudados, possibilitando assim a criação de mecanismos que possam visualizar os diversos "fácies" geológico-estruturais, ampliando e destacando a importância das pesquisas para novas definições técnico-econômicas das jazidas.

Pelo conhecimento prático adquirido na produção e comercialização de rochas ornamentais, podemos concluir que, atualmente, o aspecto visual da rocha é o principal elemento de valorização do produto, podendo viabilizar a lavra de um material exótico mesmo que ele apresente grandes dificuldades de produção e beneficiamento.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alencar, C.R.A.; Caranassios, A.; Carvalho D.L.C., 1996. Estudos econômicos sobre rochas ornamentais, tecnologias de lavra e beneficiamento. V.3, Fortaleza, IEL/FIEC, 225p.
- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B. & Fuck, R., 1977. Províncias estruturais Brasileiras. VIII Simpósio de Geologia do Nordeste. Campina Grande, p. 363-391.
- Archanjo, C.J. & Salim, J., 1986. Posição da Formação Seridó no contexto estratigráfico regional (RN-PB). XII Simpósio de Geologia do Nordeste. João Pessoa, p.270-280.
- Archanjo, C.J., 1987. Organização petroestrutural do segmento sul da Faixa Seridó, a leste da cidade de Santa Luzia – PB. Dissertação de Mestrado, UFPE. Recife, 129p.
- Bortolussi, A. *et al.*, 1988. Improved technology and planning in modern stone quarrying. In: Symposium on mine planning and equipment selection, Balkema. Anais. Rotterdam, p.107-119.
- Bortolussi, A. *et al.*, 1989. Prestazioni e usura Del filo diamantado nel taglio Del graniti. In: Congresso internazionale di geoingegneria, Torino, p. 195-200.
- Brito Neves, B.B., 1983. O mapa geológico do Nordeste Oriental do Brasil – escala 1/1.000.000. Tese de Livre Docência, USP. São Paulo, 177p.
- Brito Neves, B.B.; Santos, E.J. & Van Schmus, W.R., 2000. Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. In: Evolution of South America (Ed. U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Tomaz Filho, D.A. Campos). XXXI International Geological Congress. Rio de Janeiro, p. 151-182.
- Caimex, 2004. Manual de instruções de argamassa expansiva.

- Caranassios, A., 1991. Utilização do fio diamantado como tecnologia avançada para extração de granitos para fins ornamentais. *Rochas de Qualidade*, São Paulo, nº 106, p. 79-85.
- Caranassios, A. & Ciccu, R., 1992. Tecnologia de extração e valorização das rochas Ornamentais. *Rochas de Qualidade*, São Paulo, n. 109, p. 58-77.
- Chimicaedile, 2004. Manual de instruções.
- Ciccu, R. *et al.*, 1989. Moderne tecniche di estrazione dei lapidei ornamentali e problemi di impatto ambientali in Itália. In: Simpósio E.P.U.S.P. Sobre controle ambiental e segurança em mineração. São Paulo, 1989. Anais. São Paulo, p. 51-65.
- Ebert, H., 1969. Geologia do Alto Seridó (nota explicativa à Folha geológica de Currais Novos). SUDENE (Série Geologia Regional, 11). Recife, 120p.
- Ferreira, J.A de M., 1967. Considerações sobre uma nova estratigrafia do Seridó. *Engenharia, Mineração e Metalurgia*, 45(265): 25-28.
- Ferreira, J.A de M. & Albuquerque, J.P.T., 1969. Sinopse da geologia da Folha do Seridó. SUDENE(Série Geologia Regional, 18). Recife, 52p.
- Ferreira, C.A. & Santos, E.J., 1998. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – Caicó (Folha SB.24-Z-B) – Escala 1:250.000 – Geologia e Metalogênese. CPRM. Brasília, 70p.
- Jardim de Sá, E.F., 1978. Revisão preliminar sobre a faixa dobrada do Seridó e eventos correlatos no Nordeste. *Revista Ciências – UFRN*, 1(1):77-83.
- Jardim de Sá, E.F., 1984. Geologia da Região do Seridó: reavaliação de dados. XI Simpósio de Geologia do Nordeste. Natal, p.278-296.

- Jardim de Sá, E.F., 1994. A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana. Tese de Doutorado, UnB. Brasília, 804p.
- Rogertec, 2004. Manual de instruções.
- Rogertec, 2005. Manual de instruções.
- Santos, E.J., 1996. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema. XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, p.47-50.
- Santos, E.J. & Brito Neves B.B., 1984. Província Borborema. In: O pré-cambriano do Brasil. Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, p.123-186.
- Soares D.R., 2004. Contribuição à petrologia de pegmatitos mineralizados em elementos raros e elbaítas gemológicas da Província Pegmatítica da Borborema, Nordeste do Brasil, Tese de Doutorado, UFPE, Recife, 170p.
- Peiter, C. C., Cranassios, A, Albuquerque, G.S.C.de & Ferreira G. E, 2001. Rochas ornamentais do século XXI, CETEM/ABRIROCHAS, Rio de Janeiro, 160p.
- Vauchez, A., Amaro, V., Archanjo, C., Arthaud, M., Bouchez, J.L., Caby, R., Corsini, M., Egidio-Silva, M., Jardim de Sá, E.F., Neves, S.P., Sá, J.M. & Sial, A.N, 1992. The Borborema shear zone system: a tectonic model. XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo, p. 371-373.
- Vidal, F.W.H., 1995. A indústria extrativa de rochas ornamentais no Ceará. Dissertação mestrado – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 178p.
- Vidal, F.W.H., 1999. Estudo dos elementos abrasivos de fios diamantados para lavra de granitos do ceará. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 173p.