

**ALGUNS ASPECTOS DO CONTRIBUTO DA GEOLOGIA NO ESTUDO E
CARACTERIZAÇÃO DE MACIÇOS PARA EXPLORAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

***SOME ASPECTS OF THE CONTRIBUTION OF GEOLOGY IN THE STUDY AND
CHARACTERIZATION OF ROCK MASSIFS FOR ORNAMENTAL STONE
EXPLOITATION***

J. M. Farinha Ramos¹, A. Casal Moura¹

RESUMO

No presente trabalho salienta-se a importância dos estudos geológicos na caracterização dos maciços rochosos com potencialidades para produção de pedra ornamental.

PALAVRAS-CHAVE: Rochas ornamentais, prospecção, afloramentos, fracturação, dimensões dos blocos.

ABSTRACT

The importance of the geological studies in the characterization of rock outcrops with potentialities for the production of ornamental stone is emphasized.

KEY-WORDS:

1. INTRODUÇÃO

A exploração e a transformação de rochas ornamentais vêm assumindo um papel de relevo no âmbito da indústria com base extractiva do nosso País, bem patente, aliás, pela importância do seu contributo na totalidade do valor das substâncias minerais exportadas. Por outro lado, traz às regiões onde se processam, ou às que revelam potencialidades neste tipo de recursos, um contributo para o respectivo progresso, nomeadamente através do emprego e das mais-valias conseguidas, factores tanto mais significativos quanto se tem assistido ao decréscimo da importância das outras actividades do sector primário que, tradicionalmente, garantiam a subsistência das populações.

Também os Planos de Ordenamento Territorial carecem de propostas fundamentadas que contemplem a salvaguarda de recursos naturais em função do valor económico de que poderão revestir-se, o que impõe, desde logo, o seu correcto conhecimento em termos de distribuição espacial e o escalonamento da sua importância em termos de qualidade e reservas e das implicações que podem ter com outras utilizações do solo e do subsolo no espaço disponível ou do seu impacto sobre as condições naturais.

Por outro lado, a evidenciação de novas áreas com potencialidades para a produção de rochas ornamentais repercute-se directamente na indústria do sector, na medida em que, os mercados vêm revelando um interesse crescente por novas variedades. Por sua vez, o planeamento de uma exploração racional deve assentar no conhecimento correcto das jazidas e na maximização da rentabilidade da operação de extração, o que implica a realização de estudos geológico-estruturais. De facto, na falta de conhecimento geológico adequado assentam os desvios mais correntes a uma política de boa exploração, bem como ao planeamento das explorações de modo a possibilitar um aproveitamento maximizado das matérias-primas disponíveis. Estes desvios resultam em aproveitamentos deficientes e conseqüente geração de uma enorme quantidade de desperdícios.

Em complemento, o estudo das zonas seleccionadas para exploração deverá fornecer todos os elementos que facilitem uma decisão sobre a abertura de novas explorações em termos rentáveis, quando tomadas em consideração a apetência dos mercados e a capacidade produtiva das explorações activas na mesma área ou das potencialidades das que se encontram inactivas.

¹ Laboratório INETI S. Mamede de Infesta farinha.ramos@ineti.pt; casal.moura@ineti.pt.

2. CARACTERIZAÇÃO DOS MACIÇOS PARA EXPLORAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Não basta que um maciço disponha de pedra em grande quantidade para que se possa deduzir que será rentável a sua exploração.

Com efeito, para além desses factores essenciais e da localização das explorações face aos centros transformadores e/ou consumidores, os maciços mais favoráveis à exploração de rocha ornamental deverão possuir, sob uma óptica geológica e económica, as características básicas seguintes:

a) - serem constituídos por tipos de rochas exibindo suficiente homogeneidade de tonalidade e de textura de forma a assegurarem a regularidade do padrão ornamental; oferecerem condições topográficas que facilitem a exploração e possuam zonas acessíveis; b) - situarem-se em áreas sem condicionamentos legais que impeçam a expansão das actividades de exploração ao longo do tempo; c) - possuam zonas com fracturação suficientemente espaçada e orientação mútua conveniente para possibilitar a extracção de blocos paralelepípedicos com dimensões adequadas.

Ou seja: face à conjuntura dos mercados, toda a pedra terá de ser oferecida em condições vantajosas, que só podem ser conseguidas com uma exploração e transformação particularmente rentáveis, alicerçadas na qualidade da pedra, no tamanho dos blocos e na facilidade com que podem ser extraídos.

2.1. Metodologia de trabalho

A prospecção de maciços de rocha ornamental, bem como de qualquer outro tipo de recurso do solo ou do subsolo, envolve determinado número de fases em que o aumento de pormenor dos trabalhos (e progressiva segurança do conhecimento) é acompanhado da redução da área em estudo, culminando na delimitação dos alvos mais favoráveis.

Não se torna simples definir "a priori" as escalas de trabalho que terão de ser adoptadas em função das características geométricas, qualitativas, etc., de cada área a prospectar. É importante salientar as diferenças de metodologia a seguir consoante a natureza (ígnea, sedimentar ou metamórfica) do maciço a estudar. Apesar disso, as potencialidades de qualquer maciço terão de ser encaradas em termos de determinados factores, que se podem agrupar genericamente em:

a) - Factores relacionados com a natureza das jazidas, onde avultam características de ordem topográfica e geológico-estrutural que condicionam a explorabilidade (em termos genéricos), incluindo as reservas; b) - factores relacionados com as características da rocha, que condicionam o seu valor estético e a gama de produtos, elementos essenciais do seu valor comercial; c) - Factores relacionados com a viabilidade de exploração e sua oportunidade a nível local.

Neste contexto, para a prospecção de maciços de rocha ornamental é hábito utilizar-se o faseamento seguinte (Figura 1), em que tomam relevo os métodos directos de observação geológica.

Sempre que julgado conveniente, os trabalhos geológicos indicados servirão para fundamentar propostas complementares para o uso de métodos de prospecção indirecta para a definição completa das potencialidades dos maciços já em exploração ou dos que poderão vir a sê-lo.

2.2. Métodos de prospecção

Já referimos que nos estudos de maciços de rochas ornamentais há dois aspectos que são de especial importância: a uniformidade da rocha (homogeneidade do aspecto e da qualidade nas zonas exploráveis) e da fracturação (que condiciona o tamanho dos blocos). De facto, os principais critérios decisivos da eliminação de uma área para uma exploração de rocha ornamental, em qualquer das fases do seu estudo, são normalmente os seguintes:

i) - Fracturação intensa (espaçamento inferior a 1 m); fracturação oblíqua; cisalhamentos; ii) - Intensa alteração da rocha; iii) - Textura muito heterogénea (variações de grão e de porfiroidismo, alterações mineralógicas (pontuações ou manchas ferruginosas), abundância de encraves, "schlierenes", presença de filões e filonetes, etc.); microfracturação.

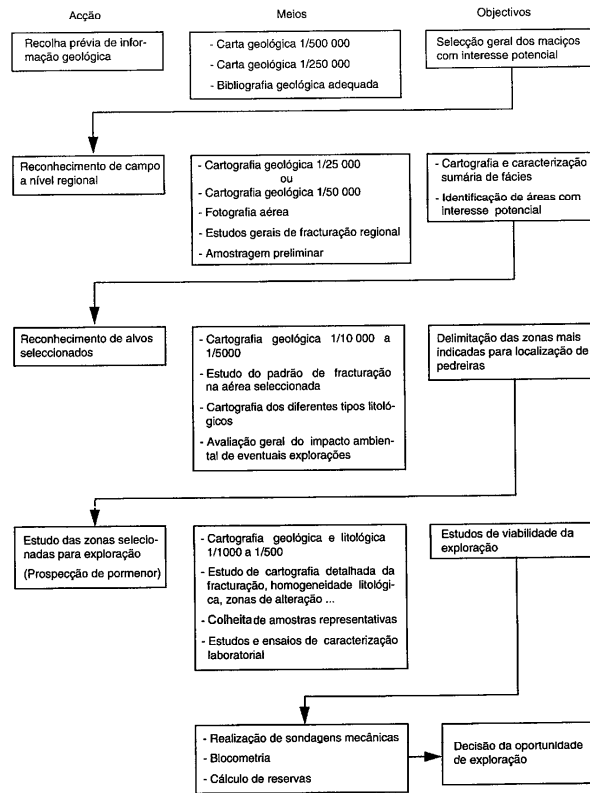


Figura 1- Faseamento da prospecção de maciços.

Os estudos de superfície incluem, como ficou dito, a cartografia geológica dos afloramentos, a amostragem e a interpretação dos sistemas de fracturação, a geometria dos depósitos, aspectos de alteração, etc., tendo como resultado uma interpretação bi e tridimensional. O recurso a fotografias aéreas e/ou as imagens satélites pode dar a informações valiosas para separar as zonas fracturadas das não fracturadas. Por outro lado, os estudos da fracturação directamente observável são conduzidos através do registo das descontinuidades superficiais e das existentes em zonas já alvo de exploração, em cortas, sanjas ou em galerias. Para as investigações sub-superficiais podem ser utilizados diversos métodos. A execução de sondagens mecânicas ainda é uma das técnicas mais importantes para a recolha de dados. É um método caro, pelo que as sondagens devem ser realizadas em locais escolhidos, com base num bom modelo geológico. Nos últimos anos, surgiram diferentes métodos geofísicos para o estudo de previsão das características sub-superficiais dos maciços, nomeadamente no que se refere à fracturação. O geo-radar (GPR) é talvez o mais popular, muito embora a sua utilidade se limite a uma pequena profundidade. O GPR possibilita, também, a avaliação da espessura da cobertura e da capa de alteração dos maciços. Existem, no entanto, outros métodos geofísicos a que se pode recorrer para o estudo sub-superficial de maciços rochosos e para resolver alguns problemas específicos relativos a alguns tipos de rochas. Os mais importantes são os seguintes:

A *refracção sísmica*, que é uma técnica de uso geral para determinação da espessura do material estéril que se sobrepõe à rocha fresca, o qual tem de ser removido antes da exploração e é frequentemente um factor limitativo da viabilidade desta.

A *prospecção magnética* é útil para a definição da orientação e largura de filões verticais que possam ocorrer nos maciços. Nos maciços de rochas carbonatadas, a prospecção magnética pode auxiliar a detectar espessuras anómalas do preenchimento dos carsos.

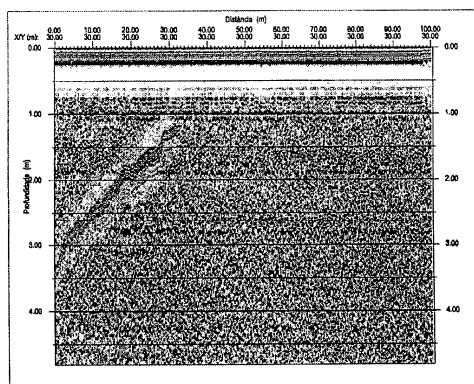


Figura 2 – Diagrama de GPR obtido numa dada direcção. Note-se a fratura mergulhante que atinge os 3,5 m de profundidade e se estende por 32 m do perfil. Na zona superior (0 a 0,80 m) são visíveis reflexões provavelmente correspondentes a fracturas de descompressão do maciço.

Um tipo de reflexão sísmica mais sofisticada, a *tomografia sísmica*, bem como o *método das resistividades* e os estudos de *propagação de ondas sonoras* podem localizar com precisão as cavernas e grutas por onde circula a água subterrânea e permitem avaliar, com rapidez, o estado de fracturação e de alteração dos maciços.

2.2.1. Sequências litológicas e variações laterais

Os estudos de campo na área de um maciço visam igualmente a identificação das sequências estratigráficas, das possíveis variações litológicas, da extensão e forma das massas rochosas, dos padrões de deformação e, em particular, a medição detalhada dos sistemas de descontinuidades. A litologia abarca, entre outros factores importantes, como a espessura das camadas, os factores estéticos de uma pedra, incluindo a cor, o padrão ornamental e a textura. A *distribuição vertical e lateral* das características das rochas, como expressão da continuidade ou da descontinuidade geológica da massa rochosa, é um dos factores decisivos na avaliação da viabilidade económica de um maciço de rocha ornamental. Tem forte influência nos custos da extração e nos da transformação. Mesmo sabendo-se que as características da pedra se podem alterar continuamente durante a vida de uma pedreira, a continuidade litológica de uma massa rochosa, juntamente com as suas características geométricas e o grau de fracturação, é uma das condições prévias para a exploração, economicamente bem sucedida, de uma pedreira de rocha ornamental. Consequentemente, já nas fases de reconhecimento geológico e de avaliação preliminar de um maciço de rocha ornamental deve ser dada atenção à continuidade ou à variabilidade litológica.

Nas *rochas ígneas* podem ter lugar variações litológicas verticais e laterais primárias, devidas às diferentes velocidades de arrefecimento e de cristalização do magma no núcleo e na periferia do corpo intrusivo, afectando o tamanho e a forma do grão. A intrusão pode igualmente conduzir a foliação crescente e ao aumento do número xenólitos e seu achatamento progressivo na zona periférica da intrusão. Muitos complexos ígneos constituem grandes batólitos, tipicamente compostos por várias intrusões, disso resultando rochas que diferem no tamanho dos cristais, na composição mineralógica e na cor. Muitos maciços de rochas ígneas são cortados por filões tardios, que se instalaram em fracturas. O maciço ígneo de Santa Eulália (Elvas) constitui um bom exemplo do que se disse.

Por outro lado, a decompressão dos plutonitos por redução da carga vertical devido à remoção, por erosão, dos terrenos que os cobriam, contribui para a abertura das fracturas existentes e origina, frequentemente, fracturas sub-horizontais, nomeadamente na zona superficial.

Nas *rochas sedimentares e nos seus equivalentes metamórficos* pode-se esperar uma grande variedade de diferenciações verticais e laterais de fácies. As condições de sedimentação, de diagénese e de metamorfismo têm uma forte influência nas características destas rochas. Para além disso, a natureza e a intensidade da dolomitização podem ser variáveis, quer nos calcários, quer nos mármore. Os enchimentos das formas cársicas (terra-rossa, metabauxites) representam um componente muito comum da litologia dos maciços de rochas carbonatadas.

As *rochas metamórficas* são caracterizadas por texturas, estruturas e composições mineralógicas que são função da rocha original e reflectem o tipo e grau de metamorfismo que sofreram. Assim, nas zonas que foram sujeitas a um forte gradiente de temperatura, surgem, em distâncias relativamente curtas, rochas metamórficas com estrutura, textura e composição mineralógica diferentes. Nas zonas submetidas a grandes pressões, a estrutura das rochas metamórficas é caracterizada pela ocorrência de foliação, lineação, clivagem xistenta e dobramentos.

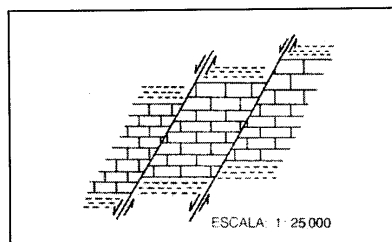
2.3. Estudo da compartimentação dos maciços

A natureza, a possança, a frequência, a orientação, o espaçamento e a persistência das descontinuidades geológicas (planos de estratificação, falhas, fracturas, juntas) determinam o tamanho dos blocos e a respectiva distribuição no seio de uma massa rochosa. As descontinuidades encontram-se orientadas segundo direcções preferenciais (famílias, conjuntos), constituindo o que se designa por padrão de fracturação.

2.3.1. Fracturação dos maciços

As rochas são materiais rígidos que, quando submetidos a grandes tensões actuando sobre elas no interior da crosta terrestre durante um longo período de tempo, sofrem modificações texturais e/ou geométricas. Nesse caso, ou se fracturam (com ou sem deslocamento relativo de massas contíguas) ou dobram (por se tornarem plásticas por acção de grandes pressões), sendo que aos dobramentos se associam, também, diversos tipos de fracturas. As falhas são fracturas com deslocamento vertical e/ou horizontal mais ou menos importante e, por esse facto, pode acontecer que massas contíguas apresentem características diferentes, o que explica variações de qualidade na frente de uma pedreira nas zonas situadas de um e do outro lado de uma falha, (Figura 3).

De acordo com os estudos realizados por Gamond & Giraud (1982), Tchalenko (1970) e outros autores, muitas das grandes falhas, em especial as que apresentam uma forte componente de cisalhamento, são constituídas pela associação de diversos tipos de fracturas elementares com orientações diferentes da da falha principal (Figura 4). Devido a isso, as zonas de cisalhamento são de evitar se o objectivo é produção de pedra ornamental.



Legenda



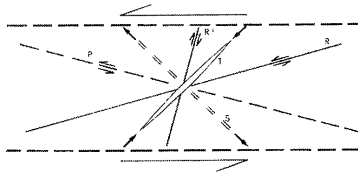
-  Mármores
-  Dolomitos

Figura 3 – Deslocamento horizontal (desligamento esquerdo) por acção de falhas sub-verticais na zona de Vila Viçosa, entre o Mouro e a Vigária (Pereira, 1981).



Legenda:

- R e R' – Fracturas de Riedel
- P – Fracturas de Skempton
- T – Fracturas de tracção
- S – Xistosidade

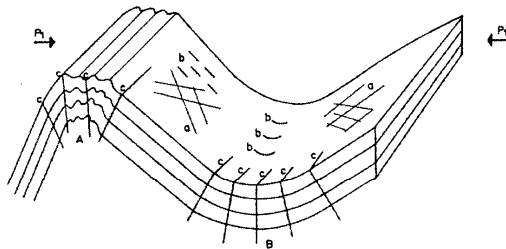
Figura 4 – Tipos de fracturas que podem ocorrer numa zona de cisalhamento (Blès, 1981).

Se, como dissemos, se formarem estruturas dobradas por efeito de grandes pressões (caso muito comum nas jazidas de mármore), geram-se vários tipos de fracturas sem deslocamentos importantes, chamadas “fios”, que condicionam o tamanho dos blocos e o rendimento da pedra. São classificadas em três tipos (Figura 5):- fracturas de cisalhamento; fracturas de tracção; fracturas de plano axial.

As fracturas de cisalhamento são oblíquas quer relativamente à direcção das camadas, quer ao “correr da pedra”. O bloco será maior ou menor consoante o respectivo espaçamento.

As fracturas de tracção são aproximadamente perpendiculares ao “correr da pedra”. Nas pedreiras de rochas carbonatadas, muitas destas fracturas encontram-se preenchidas por cristais de calcite e, por vezes, não são facilmente identificáveis na massa rochosa nem nos blocos extraídos. Provocam grandes desperdícios na transformação.

As fracturas de plano axial possuem direcção semelhante à das camadas e apresentam maior ou menor pendor consoante a sua localização na dobra. Por exemplo, se se situam na zona de charneira de uma dobra anticlinal (zona A), aproximam-se em profundidade, pelo que o tamanho dos blocos diminui no mesmo sentido (isto é, os blocos serão menores à medida que a corta se aprofunda). No caso de se situarem numa zona de charneira de uma dobra em sinclinal (zona B) dá-se o contrário, porque as fracturas de plano axial se afastam em profundidade.



Legenda:

- P₁ – Pressão (tensão) principal que originou o dobramento
- a – Fracturas de cisalhamento
- b – Fracturas de tracção
- c – Fracturas de plano axial

Figura 5 – Representação esquemática de uma dobra e respectivas fracturas associadas (Pereira, 1981).

2.3.1.1. Estudo da fracturação

A intensidade da fracturação e suas relações mútuas são dos principais parâmetros a ter em conta quando se tem em vista a exploração de um maciço rochoso e que é necessário avaliar em tempo útil. O estudo da fracturação tem por finalidade classificar o diaclasamento dos maciços quanto ao número de famílias de diaclases e ao espaçamento entre elas, conduzindo à determinação da densidade da fracturação observada. As zonas de baixa densidade de diaclasamento (com diaclases espaçadas) têm condições para a produção de blocos grandes; pelo contrário, as zonas de elevada densidade de diaclasamento não têm aproveitamento para rocha ornamental. Há maciços que possuem zonas onde a fracturação é espaçada e outras onde é muito densa e, por isso, só serão exploráveis, com rentabilidade, nas primeiras destas zonas (ver Figura 6).

Numa primeira etapa, as descontinuidades têm que ser medidas de maneira exaustiva (ou seja, todas elas devem ser medidas), preferentemente através do registo das descontinuidades superficiais segundo três direcções ortogonais, com relevo para a sua orientação, inclinação, espaçamento, persistência e outras características importantes como a respectiva abertura, rugosidade e enchimento). As falhas devem ser descritas em termos da sua movimentação relativa, rejeito e amplitude da caixa de falha. A segunda etapa consiste numa análise estatística das descontinuidades com a ajuda das técnicas de projecção estereográfica, definindo o número e a orientação média das famílias de descontinuidades e respectiva frequência relativa. Existem vários programas de “software” que facilitam este trabalho fastidioso de projecção de dados estruturais.

Todas as características geológicas significativas do maciço rochoso: estrutura (estratificação, descontinuidades, dobramentos, intrusões,...), fracturação, litologia (incluindo os diferentes graus de alteração e possíveis cavidades), hidrogeologia, etc., devem ser representadas numa carta topográfica a escala conveniente, a qual, nas zonas de maior incidência ou de interpretação mais difícil, deve ser complementada com a elaboração de cortes litológicos e estruturais detalhados.

2.3.1.1.1. Estudos com base em trabalhos de campo

Com a intenção de ilustrar a aplicação desta metodologia, seleccionámos um dos vários trabalhos que efectuámos num maciço granítico, onde as características geológico-estruturais nos levaram a considerar três sectores diferentes.

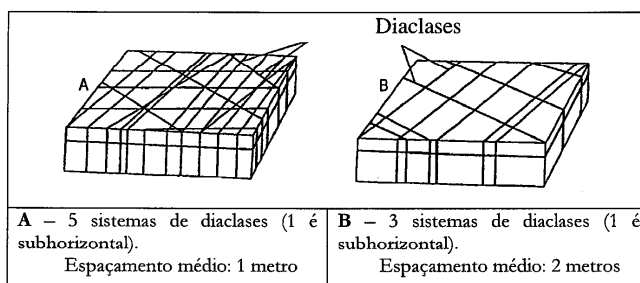


Figura 6 – Fracturação dos maciços rochosos: o maciço B possui melhores condições que o maciço A quanto à possibilidade de extracção de blocos com dimensões comerciais (Castaing & Rabu, 1993).

Sector A – Neste sector (Figura 7) predomina o sistema N 60° E a N 70° E (≈33 %). De salientar a presença de algumas zonas de cisalhamento importantes de direcção N 50° E a N 80° E, que determinaram algum esmagamento da rocha em vários locais, e de fracturas com bordos estriados. Trata-se, em qualquer dos casos, de fracturas de pendor elevado a subvertical. Nalgumas das fracturas principais, também foi observado preenchimento quartzoso centimétrico.

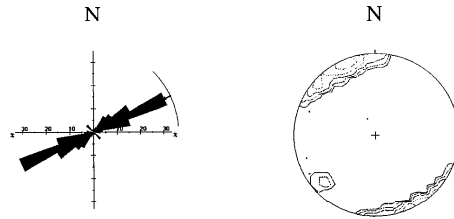


Figura 7 – Diagrama de fracturação no sector A duma pedreira estudada.

Sector B – Neste sector (ver Figura 8) domina o sistema subvertical de fracturas com direcção N 40° W a N 50° W ($\cong 20\%$), reflectindo a orientação do contacto, em falha, com um maciço de granito porfiróide, que se encontra próximo. Fracturas subverticais de orientação variando entre N 40° E a N 50° E ($\cong 14\%$) mostram, muitas vezes, esmagamentos e movimentação registada pela estriação dos bordos, deposições de sílica, filonetes pegmatíticos, centimétricos, ou cristais de sulfuretos. Foram observados grupos de fracturas de elevado pendor com orientação N 30° E a N 40° E e N 50° E a E-W, os quais, individualmente, não excedem os 8% do total. O diagrama de fracturação é complementado com algumas fracturas N 30° W a N 40° W ($\cong 8\%$) e N 20° W a N 30° W ($\cong 5\%$), igualmente subverticais). Também foram observadas algumas fracturas subhorizontais, com pendor para leste.

Sector C – Neste sector (ver Figura 9) predominam largamente os sistemas N 60° E a N 70° E ($\cong 28\%$) e N 20° E a N 30° E ($\cong 17\%$), com pendor subvertical. São subordinados os sistemas N 20° W a N 30° W e N 40° W a N 50° W, também de pendores elevados, representando cada um deles cerca de 8% do total das fracturas observadas. O sistema N 20° W a N 30° W inclui algumas fracturas subhorizontais. Foram observados alguns enclaves dispersos de rocha básica e de granito porfiróide de grão grosseiro, centimétricos a decimétricos.

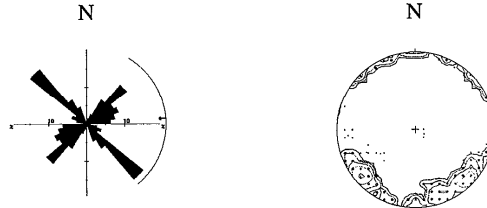


Figura 8 – Diagrama da fracturação obtido no sector B da mesma pedreira.

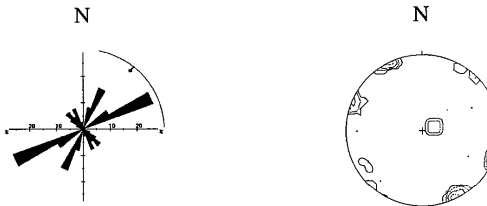


Figura 9 – Diagrama da fracturação obtido no sector C da mesma pedreira.

Conclusão: Os sectores A e B são os que revelam melhores condições de explorabilidade para a obtenção de blocos. No sector A será necessária a criação de superfícies de destaque perpendiculares à fracturação principal e superfícies de levante (horizontais). No sector B, a orientação mútua dos principais sistemas de fracturação é favorável à extracção de blocos mais ou menos paralelepípedicos, mas também é

escassa a fracturação horizontal. No sector C, a existência de fracturação N 20° E a N 30° E, oblíqua ao sistema de fracturação principal, compromete a sua exploração rentável.

2.3.1.1.2. Estudos com base em testemunhos de sondagens

O número de fracturas de uma massa rochosa, seu espaçamento e, caso as carotes sejam devidamente orientadas, a respectiva direcção e inclinação podem ser retirados de testemunhos de sondagem com carotagem contínua e servir de base a modelos geológico-estruturais. São conhecidos vários métodos para a interpretação deste tipo de dados, entre os quais o do cálculo do índice RQD (*Rock Quality Designation Index*), descrito em Deere & Deere (1988), que é um indicador aproximado do grau de fracturação de uma massa rochosa e que, com algumas restrições, também pode ser utilizado para avaliação do tamanho dos blocos (Singewald, 1992, *in* OSNET, 2002). Parece-nos, contudo, insatisfatório para poder ser aplicado a maciços de rocha ornamental, sendo um índice mais aplicável aos trabalhos de engenharia e de geotecnia, como sejam fundações, estabilidade de maciços, etc.

Nestas condições, fica ao critério do geólogo experimentado a escolha da metodologia a adoptar para interpretação das descontinuidades e para a avaliação das massas úteis e sua explorabilidade, sendo que é agora possível a construção de modelos geo-estruturais com recurso a vários “softwares”, muito práticos e de grande utilidade.

2.3.2. Previsão das dimensões médias dos blocos

Já referimos que o número de famílias de descontinuidades, orientação e espaçamento mútuo definem as dimensões e a forma dos blocos, características indispensáveis para avaliação da viabilidade de uma exploração e aplicáveis no projecto de lavra, quer aplicado a explorações a céu aberto, quer a explorações subterrâneas.

As observações e medições efectuadas nos trabalhos de campo ou nos testemunhos de sondagens constituem a base de qualquer dos métodos de avaliação dessas características.

O programa RESOBLOK é uma ferramenta para representação 3D das descontinuidades de um maciço e considera que as massas rochosas podem ser comparadas a um agregado de blocos cortados pela rede de descontinuidades. As zonas de interesse (ver Figura 10) são definidas pelas dimensões (comprimento, largura e altura) das massas de rocha limitadas pelas fracturas, as quais permitem prever o tamanho e a forma dos blocos que se podem extrair em cada uma delas.

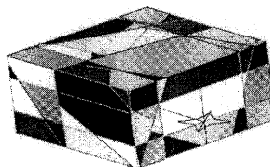


Figura 10 – Visualização de uma zona de um maciço de mármore utilizando o programa RESOBLOK (German *et al*, 2001, *in* OSNET, 2002).

Para previsão dos blocos recuperáveis na zona representada na Figura 10 foi calculado um histograma que mostra a distribuição dos blocos de mármore, considerando 5 classes de volume. Este histograma é apresentado na Figura 11.

Um outro procedimento (Orche Garcia, 1995; Muñoz, 1989), mais acessível, tem em conta, para além do registo das famílias de diaclases observadas e da medição dos espaçamentos entre as diaclases de cada família, o seguinte:

i) o cálculo das frequências relativas dos espaçamentos entre as diaclases de cada família e do respectivo espaçamento médio; ii) o cálculo do parâmetro J_v (que representa, para cada família de diaclases, o número de diaclases por unidade de volume), indicador do tamanho relativo do bloco. Se existem várias famílias de diaclases, o parâmetro J_v final é o somatório dos valores de J_v obtidos para cada uma delas.

Aplicando esta metodologia ao sector B (ver 2.3.1.1.1) obtém-se o seguinte (Tabela I):

a) - Registo das observações e cálculo das respectivas frequências relativas;

b) - Cálculo de J_v para cada família de diaclases:

- Família com azimute 40°: $J_v = 1/1,26 = 0,79$

- Família com azimute 110°: $J_v = 1/1,66 = 0,60$

c) - Cálculo de J_v total:

$$J_v \text{ total} = 0,79 + 0,60 = 1,39$$

d) Interpretação do valor de J_v total:

Segundo a Tabela II, ligeiramente modificada em relação às propostas por Orche García (1996) e Sousa (2000), para um valor de $J_v = 1,39$ os blocos passíveis de serem extraídos no maciço granítico estudado serão de tamanho grande.

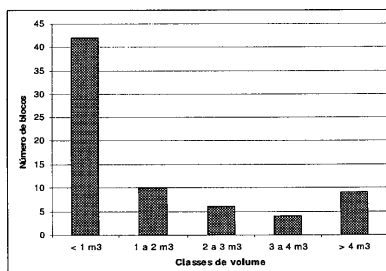


Figura 11 – Distribuição do número de blocos para diferentes classes de volume, utilizando o programa RESOBLOK (modificado de Germann *et al.*, 2001, in OSNET, 2002).

Tabela I – Espaçamento e frequência das famílias de diaclases observadas

Intervalo entre as diaclases	Classificação do espaçamento para rochas graníticas	Frequências de cada uma das famílias de diaclases observadas			
		N 40° W a N 50° W		N 40° E a N 50° E	
		Frequências observadas	Frequências relativas	Frequências observadas	Frequências relativas
0 – 1 m	Reduzido	46	29,1 %	24	14,2 %
1 – 2,5 m	Moderado	54	34,2 %	65	38,5 %
2,5 – 6,25 m	Amplo	42	26,6 %	71	42,0 %
6,25 – 15,62 m	Muito amplo	14	8,8 %	9	5,3 %
>15,62 m	Extremamente amplo	2	1,3 %	0	0,0 %
TOTAL		158	100,0 %	169	100,0 %
Espaçamento médio (mediana)		1,26 m		1,66 m	

Tabela II- Classificação dos Blocos de acordo com o parâmetro J_v

Parâmetro J_v	Tamanho do bloco	Observações
< 1,0	Muito grande	Bloco comercial
1,0 - 1,6	Grande	
1,6 – 2,0	Médio	
2,0 – 2,2	Pequeno	Bloco não comercial
> 2,2	Muito pequeno	

3. CONCLUSÃO

Conquanto que o nosso País seja dotado de uma grande variedade de tipos de rochas ornamentais, alguns deles já intensamente explorados, a verdade é que alguns maciços se mantêm relativamente mal conhecidos. É inegável o contributo que a Geologia pode dar na selecção dos afloramentos com maior interesse económico e na caracterização das massas exploráveis, visando o dimensionamento das pedreiras e a maximização da rentabilidade da extracção, bem como na necessária salvaguarda do património mineiro e dos aspectos ambiental e paisagístico. Com efeito, está ao seu alcance: i) - Evidenciar recursos que favoreçam o desenvolvimento regional e fundamentar a sua protecção nos Planos de Ordenamento Territorial, como meio essencial de salvaguarda do património mineiro das regiões; ii) - seleccionar locais para implantação de pedreiras bem dimensionadas, com rocha de características adequadas ao(s) tipo(s) de produção em vista; iii) - possibilitar a exploração racional das massas rochosas e o aproveitamento maximizado das matérias-primas exploradas; iv) - evitar a exploração indisciplinada, mal apoiada, de fraco rendimento e, por isso, extremamente vulnerável às flutuações do mercado ou claramente desaconselhada sob os pontos de vista ambiental e paisagístico. A adopção de várias das metodologias a que aludimos já provou a sua utilidade na definição de algumas áreas com potencialidades para a exploração de rochas ornamentais em termos industriais.

REFERÊNCIAS

- Blès, J.-L., 1981 – Les fractures naturelles: Observation et interprétation. In Blès, J.-L. & Feuga, B., La fracturation des roches, pp. 60-111, BRGM (Éd.), Manuels & Méthodes, n° 1, Orléans.
- Castaing, Ch. & Rabu, D., 1993 – Méthodologie pour la recherche des roches exploitables: exemples des granits armoricains. *Mines & Carrières, Les Techniques*, Mai/1993.
- Deere, D. De La Nava *et alia*, 1989 – Metodologia de investigación de piedras naturales: Granitos. *La Piedra*, pp. 14-44.
- Deere, D. U. & Deere, D. W., 1988 – The rock quality designation (RQD) index in practice. In *Rock Classification Systems for Engineering Purposes, ASTM Spec. Publ. 984*, pp 91-101, L. Kirkaldie (Ed.).
- Gamond, J. F. & Giraud, A., 1982 – Identification des zones de faille à l'aide des associations de fractures de second ordre. *Bull. Soc. Géol. de France*, T. XXIV, n° 4, pp. 755-762, Paris.
- López Jimeno, C. (Coord.), 1966 – Manual de Rocas Ornamentales. *Loemo*, pp. 696, Madrid.
- Moura, A. Casal, Grade, J., Farinha Ramos, J. & Ferreira, N., 1995 - Aspectos metodológicos do estudo e caracterização de maciços graníticos tendo em vista a sua exploração para produção de rochas ornamentais e industriais. *Actas do 1º Congresso Int. da Pedra Natural, Lisboa, Bol. Minas*, Vol. 32, n°1/95, pp. 12-22, Lisboa.
- Muñoz, P., 1989 – La investigación minera de la piedra natural. *Roc-Máquina*, 3º Trim/1989.
- Orche García, E., 1995 – Investigación de yacimientos, in Manual de Rocas Ornamentales, *Loemo*, C. L. Jimeno (Ed.), Cap. 7, pp. 139-174, Madrid.
- OSNET, 2002 - State of the Art. *Draft version*, pp. 206, Athens.
- Pereira, H. G. & Ribeiro, J., 1995 – Sistema de apoio à decisão no planeamento da exploração de recursos minerais não-metálicos e não energéticos. *Ingenium*, Jan-Fev/95.
- Pereira, Vitor M. C., 1981 – Mámore de Estremoz-Vila Viçosa. Contribuição para o seu conhecimento. *A Pedra*, n° 4, pp. 25-33, Lisboa.
- Ramos, J. M. Farinha, Moura, A. Casal & Grade, J., 1984 – Exploração de rochas ígneas para pedra ornamental. Alguns aspectos de natureza geológica e estrutural. *Estudos, Notas e Trabalhos*, Tomo XXVI, Fasc. 1-4, pp. 35-48, Porto.
- Ramos, J. M. Farinha, Moura, A. Casal & Grade, J., 1985 - Análise sumária da fracturação em rochas ígneas ornamentais. *Bol. Soc. Geol. Portugal*, Vol. XXIV, 1983-85, pp. 313-327, Lisboa.
- Reynaud, R. & Vintém, C., 1992 - Estudo da jazida de calcários cristalinos de Estremoz – Borba – Vila Viçosa (Sector de Pardais). *Estudos, Notas e Trabalhos do S.F.M.*, Vol. XXXIV (1-2), pp. 121-132, Porto.
- Reynaud, R. & Vintém, C., 1994 - Estudo da jazida de calcários cristalinos de Estremoz – Borba – Vila Viçosa (Sector de Lagoa-Vigária e Borba). *Bol. de Minas*, Vol. 31 (4), pp. 355-473, I.G.M., Lisboa.
- Sousa, L. & Pires, C., 1994 – A exploração de rochas ornamentais e o ordenamento do território: o caso de Pedras Salgadas. *A Pedra*, n° 54, pp. 17-22, Lisboa.
- Tchalenko, J. S., 1972 – Similarities between shear zones of different magnitudes. *Geol. Soc. of Am. Bull.*, Vol. 81, pp. 1625-1640, Colorado, USA.