

# **A influência da fracturação na exploração de rochas ornamentais: o caso do granito de Pedras Salgadas (Vila Real, Norte de Portugal)**

The fracturation influence on the exploitation of ornamental rocks: the case of the Pedras Salgadas granite (Vila Real, North of Portugal)

OLIVEIRA SOUSA, L. M.; COELHO PIRES, C. A.

The exploitation of ornamental granite in Pedras Salgadas region is limited by the regional fault pattern, which is formed by three sets of principal faults.

Based upon the joint spacings measurements, the medium was computed for each quarry and for the massif. The medium exploitation yield of the quarries was also estimated.

**Key words:** granite, ornamental rock, quarry, joint, exploitation yield, Portugal.

OLIVEIRA SOUSA, L. M.; COELHO PIRES, C. A. (Secção de Geologia. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Apartado 202. 5001 Vila Real Codex. Portugal. email: lsousa@utad.pt).

## INTRODUÇÃO

A fracturação natural dos maciços graníticos controla de um modo directo a sua capacidade para fornecer matéria-prima passível de ser utilizada como rocha ornamental.

Em diversos locais e em diferentes tipos de rochas, vários autores têm estudado a fracturação dos maciços e quantificado o material que poderá ser extraído sob a forma de blocos (SILVA, 1989, RAMOS, 1990; MOREIRA, 1992, 1995; SILVA, 1992; PIRES, 1992; CASTRO, 1993; TOYOS et al, 1994; SOUSA, 1995; MOURA et al, 1995; CAVALEIRO e PRATES, 1995).

Obviamente que o valor comercial do material extraído é fundamental para se

considerar que uma determinada intensidade de fracturação é ou não penalizante. Quanto maior o valor comercial da rocha extraída, mais pequenos podem ser os blocos extraídos e/ou menor o rendimento da pedreira.

Importa referir que a fracturação deverá ser estudada a toda as escalas, desde as falhas regionais até às microfissuras, assim como o estudo das respectivas características físicas: atitude, espaçamento, continuidade, rugosidade, abertura e enchimento (COSTA, 1992; EGEA et al, 1995).

## AREA ESTUDADA

As explorações do Granito de Pedras Salgadas situam-se no maciço granítico de

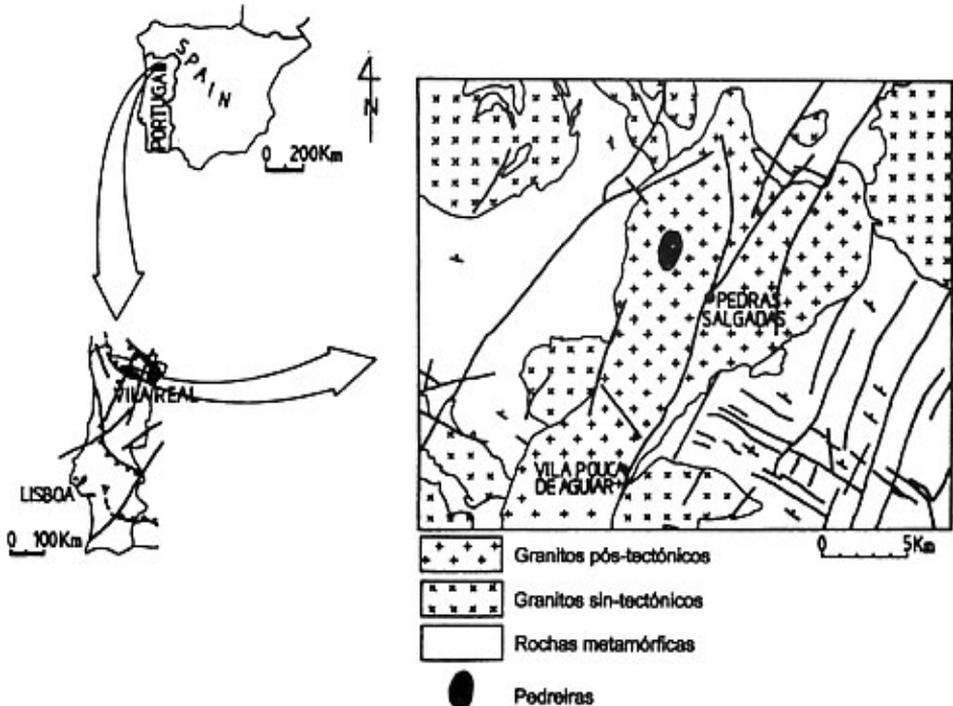


Fig. 1. Localização geográfica e enquadramento geológico.

Vila Pouca de Aguiar (Fig. 1). Este maciço é pós-tectónico relativamente à fase F3 da deformação Hercínica e por isso apresenta-se pouco fracturado, o que permite a delimitação de grandes áreas do maciço com óptimas condições para ser explorado como fornecedor de matéria-prima para a indústria das rochas ornamentais. Este granito foi considerado o principal pólo produtor de rocha ornamental do NE de Portugal (PIRES, 1992).

Na actualidade encontram-se em laboração cerca de 20 pedreiras que, além de blocos primários destinados à indústria transformadora, produzem pequenas peças para a construção civil: cubos, paralelepípedos, lancil, perpianho, etc. Esta actividade extractiva e transformadora emprega cerca de 250 operários e os produtos vendidos rendem anualmente cerca de 2 000 000 000 de escudos.

## ESTUDO DA FRACTURAÇÃO

### Fracturação regional

A cartografia da fracturação regional à escala 1:10 000 mostra a existência de três famílias de falhas: N10°-30°E, N60°-80°E e N40°-50°W (Fig. 2).

O primeiro sistema de falhas (N10°-30°E) é aquele que marcadamente mais afecta o maciço e as falhas que o constituem são, grosso modo, paralelas ao importante acidente tectónico situado 1000 m a Este da área, a Falha de Vila Real (CLAVEROL et al, 1988). Estas falhas originaram faixas de alteração subparalelas e de largura variável, podendo atingir os 50 metros. Associados a estas fracturas

encontra-se, frequentemente, granito episienitizado e episienito e, com menos frequência, quartzo.

Outra importante família de fracturas possui direcção N40°-50°W. Em termos de alteração é menos importante que a família anterior; as falhas possuem menor extensão e intensidade de alteração decamétrica.

A terceira família mais importante possui direcção N60°-80°W é menos frequentemente observada e produz alteração em bandas com largura de alguns metros.

Foram também identificadas algumas fracturas N40°-60°E, cuja frequência não lhes permite atribuir a designação de família.

Nas intersecções de fracturas a intensidade de fracturação e alteração são obviamente mais intensas. As pedreiras estão localizadas nos compartimentos entre as bandas alteradas definidas pelas várias falhas devido ao menor diaclasamento e alteração do granito.

Como já foi referido a presença de destas famílias de falhas com grande extensão delimitam as zonas onde o maciço apresenta melhores condições de alteração e fracturação, localizando-se as pedreiras entre estes «corredores de fracturação». Uma das consequência da presença destes corredores de fracturação é a localização das pedreiras em zonas estreitas e a sua evolução preferencialmente em comprimento e ao longo de uma zona menos fracturada (Fig. 3).

### Fracturação local

Nas pedreiras, a fracturação predominante são as diaclases subverticais, sendo

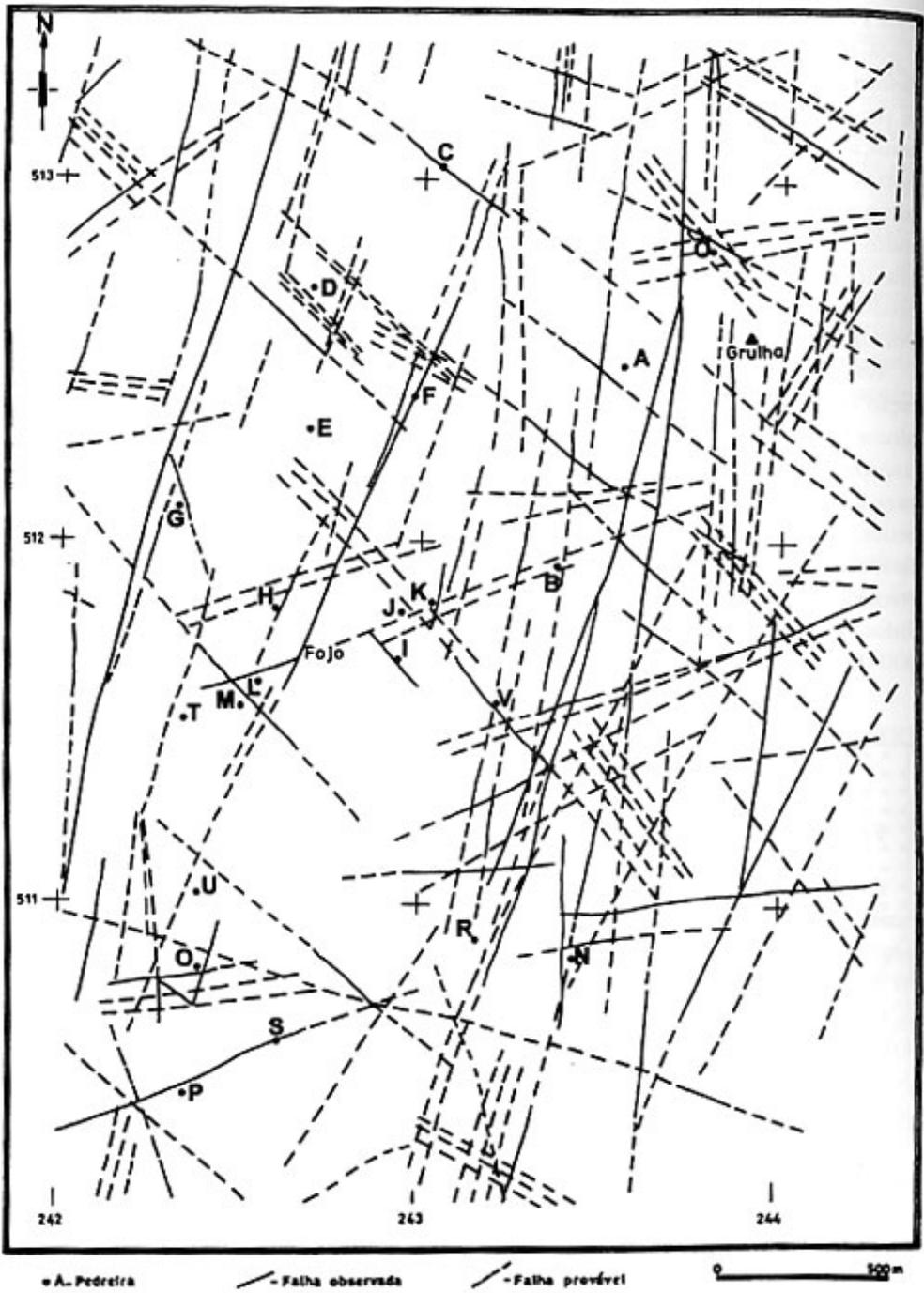


Fig. 2. Fracturação regional na região onde é exploradoo Granito de Pedras Salgadas.

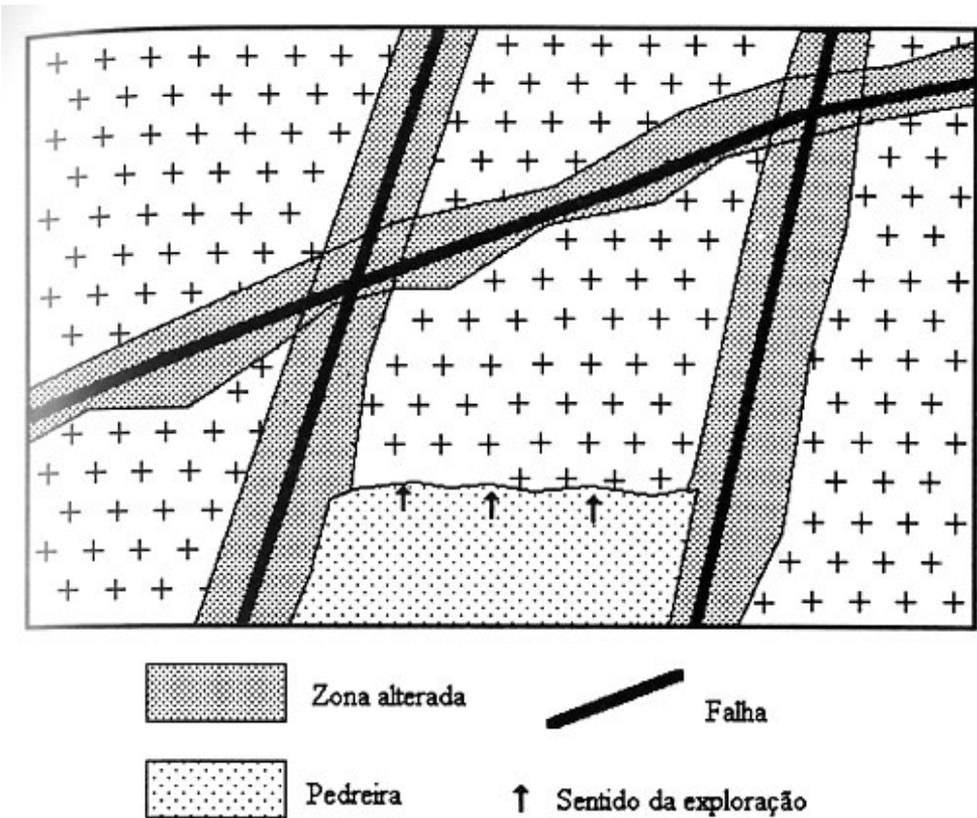


Fig. 3. Localização das pedreiras e evolução da exploração condicionadas pelos corredores de fracturação.

as diaclases sub-horizontais menos comuns em virtude da pouca profundidade que as pedreiras atingem. No entanto, deve-se referir que as diaclases sub-horizontais, quando apresentam pendor variável, são extremamente gravosas para a exploração, porque inviabilizam a obtenção de zonas do maciço com possibilidade de extrair blocos paralelepípedicos com a ajuda da fracturação natural (Fig. 4). Estas diaclases estão presentes quando as pedreiras estão implantadas em locais com declive acentuado. A movimentação brusca dos blocos de maciço delimitados por estas falhas e a

consequente diminuição da carga litostática podem ter causado este tipo particular de diaclases. Mais informações sobre estas estruturas podem ser encontradas em VIDAL ROMANI et al (1995).

#### Atitude das diaclases

Foi efectuada o levantamento sistemático das diaclases observadas em cada uma das pedreiras. Como já referimos a área de exploração em cada pedreira é relativamente pequena pelo que o número de medições efectuadas também é reduzido.

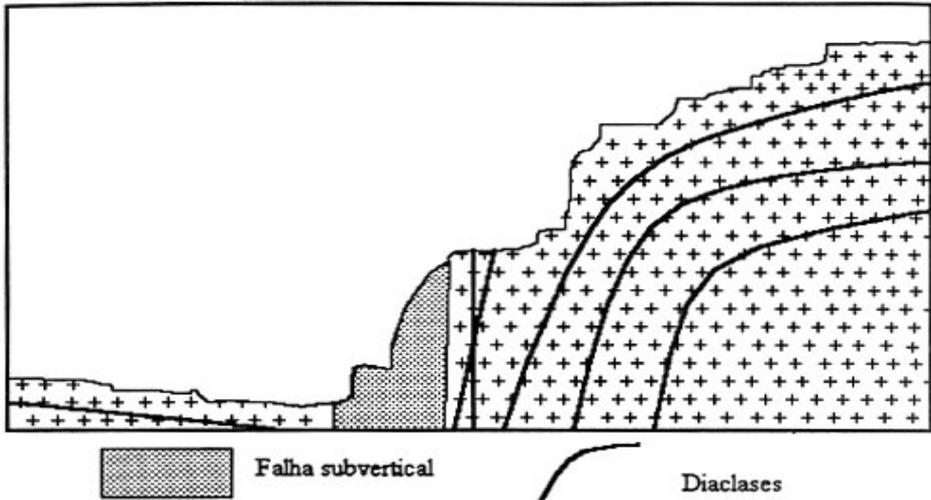


Fig. 4. Diaclases de pendur variável associadas a zonas de falha.

Fig. 4. Diaclases de pendur variável associadas a zonas de falha.

Na figura 5 apresentam-se os diagramas de roseta das diaclases observadas em cada uma das pedreiras e podemos verificar, por comparação com a figura 2, que nalgumas pedreiras o diaclasamento reflecte as falhas regionais ao redor dessas pedreira, como é caso das pedreiras D, N, A, O, H, I e J. O estudo geológico de pormenor do maciço, antes da instalação de uma pedreira, é extremamente importante, pois quanto mais afastada de um corredor de fracturação estiver uma pedreira, maior é a possibilidade do diaclasamento ser favorável.

Noutras pedreiras esta dependência não é tão evidente, muito provavelmente porque a escala a que foi efectuada a Cartografia (1:10 000) não é a mais apropriada e a presença da cobertura de solo e granito arenizado não possibilitaram a

identificação da totalidade das falhas presentes no maciço. Em trabalhos anteriormente efectuados, quer nas pedreiras do Granito de Pedras Salgadas, quer noutros granitos de Portugal, RAMOS et al (1984, 1985) verificaram que o diaclasamento observado nas pedreiras nem sempre é análogo ao principal sistema de fracturação do maciço. Esta discordância pode ser explicada pelo facto de muitas das grandes fracturas serem constituídas por um conjunto de fracturas secundárias com orientação distinta da fractura principal (GAMOND e GIRAUD, 1982).

Na figura 6 estão representadas as projecções estereográficas (rede de Schimidt; hemisfério inferior) dos pólos das diaclases e os respectivos diagramas de densidades. As diaclases sub-horizontais não foram contabilizadas porque, devido à sua fraca

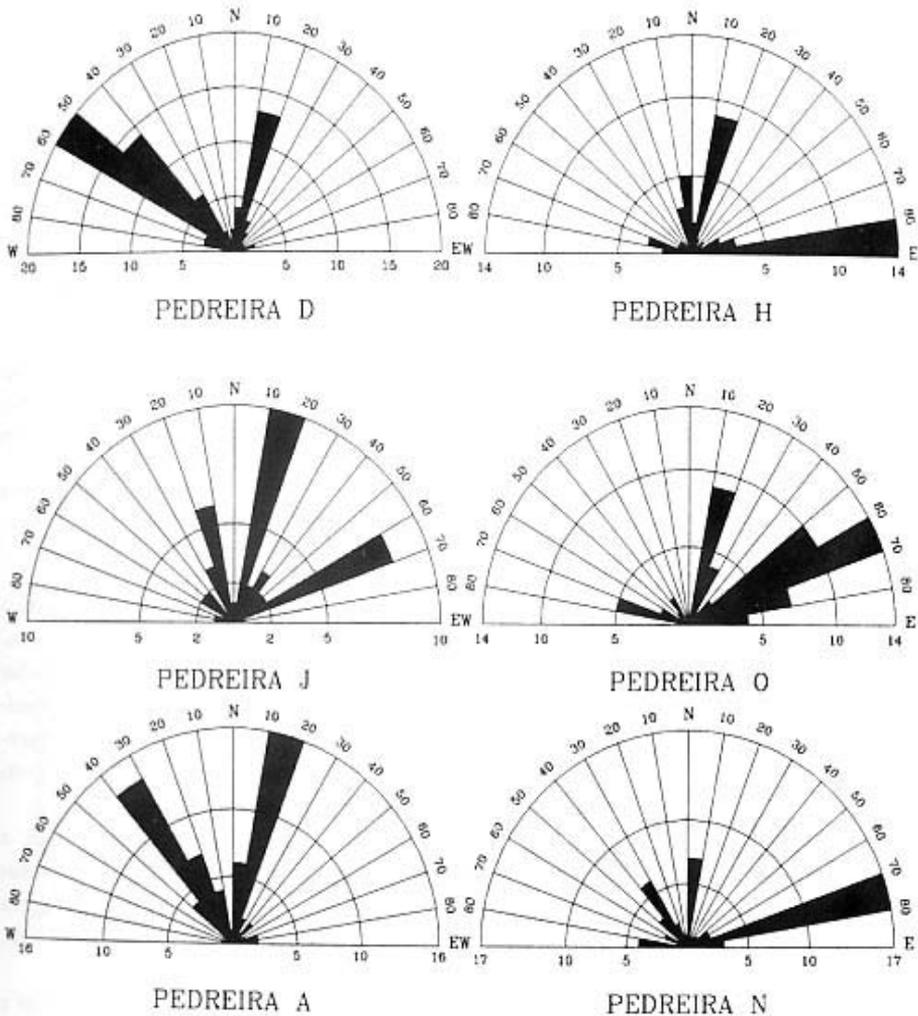


Fig. 5. Diagramas de roseta das diaclases observadas em algumas pedreiras.

ou nula inclinação, são medidas com uma frequência muito inferior às diaclases subverticais, perturbando a leitura dos diagramas com um «ruído de fundo» prejudicial à percepção do fenómeno essencial (CASTAING e RABU, 1982).

A análise dos digramas da figura 6 per-

mite verificar que as diaclases medidas se aproximam bastante da vertical. Outro aspecto evidente é o facto das diaclases se poderem agrupar em três famílias, cujas direcções são sensivelmente paralelas às três famílias de falhas que afectam o maciço. Esta similaridade reforça o argu-

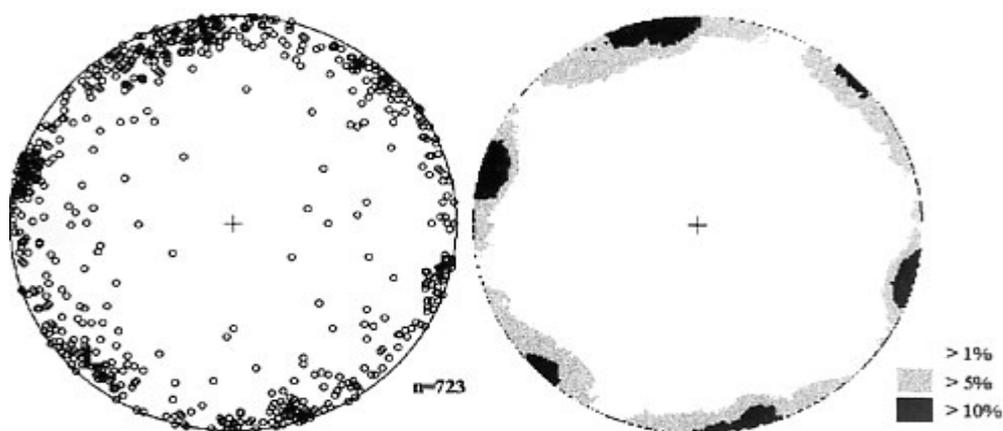


Fig. 6. Projecção estereográfica dos pólos das diaclases observadas nas pedreiras (à esquerda) e diagrama de densidades (à direita) (rede de Schmidt; hemisfério inferior).

mento de serem as famílias NNE-SSW, NW-SE e ENE-WSW, as que possuem maior desenvolvimento a nível regional.

### Espaçamento das diaclases

O espaçamento entre diaclases foi medido perpendicularmente aos planos das diaclases e calculou-se o espaçamento médio em cada pedreira, utilizando para tal a fórmula  $E = \sum e_{i=1,n} / n$ , onde  $e$  representa um espaçamento e  $n$  o número de espaçamentos medidos. O valor obtido para o espaçamento médio não parece ser afectado pelo número de medições (Fig. 7).

Este espaçamento médio é na realidade um espaçamento máximo porque os dados foram obtidos nas pedreiras onde, teoricamente, a fracturação é menor e o espaçamento entre diaclases atinge valores mais elevados.

A fracturação é mais intensa segundo a direcção N10°-30°E e as pedreiras ten-

derão a estar localizadas mais afastadas deste corredor de fracturação, esta a possível razão para que não tenham sido observadas muitas diaclases paralelas com direcção N10°-30°E (Fig. 8).

Sousa e Pires (1994) referem que a medição sistemática do espaçamento das diaclases permitirá guiar a exploração de modo a que fique o mais afastada possível dos corredores de fracturação.

Apesar das distribuições não seguirem a lei normal de distribuição ou lei de Poisson, e portanto o valor médio ser de pouca validade estatística, calculou-se o espaçamento médio para cada um das famílias de diaclases. Os resultados obtidos foram os seguintes: N10°-30°E  $\Rightarrow$  1.34m; N40°-50°W  $\Rightarrow$  1.43m; N60°-80°W  $\Rightarrow$  1.76m. O espaçamento médio da totalidade das diaclases é igual a 1.59m. O valor da mediana, que é uma medida de tendência central mais robusta, é idêntico nas três famílias: 1.1m.

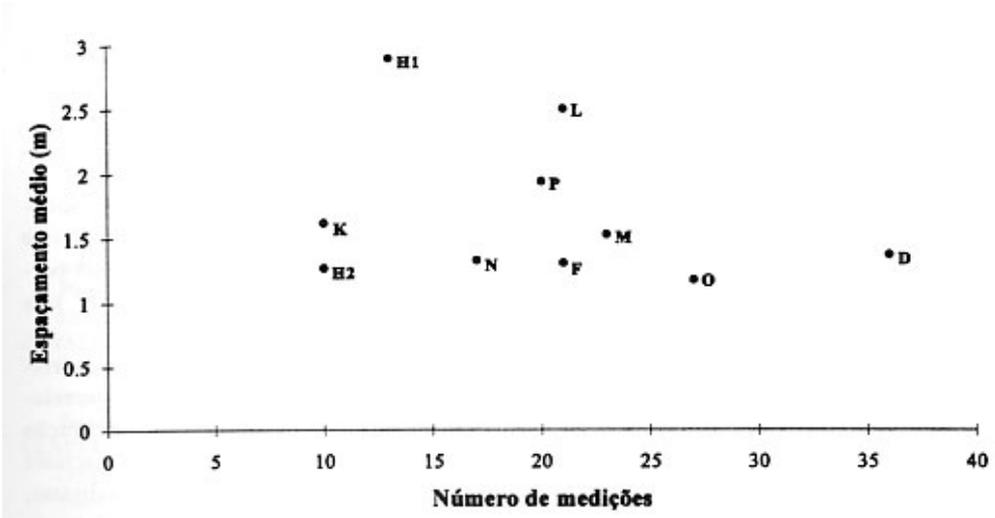


Fig.7. Variação do espaçamento médio em função do número de medições efectuadas.

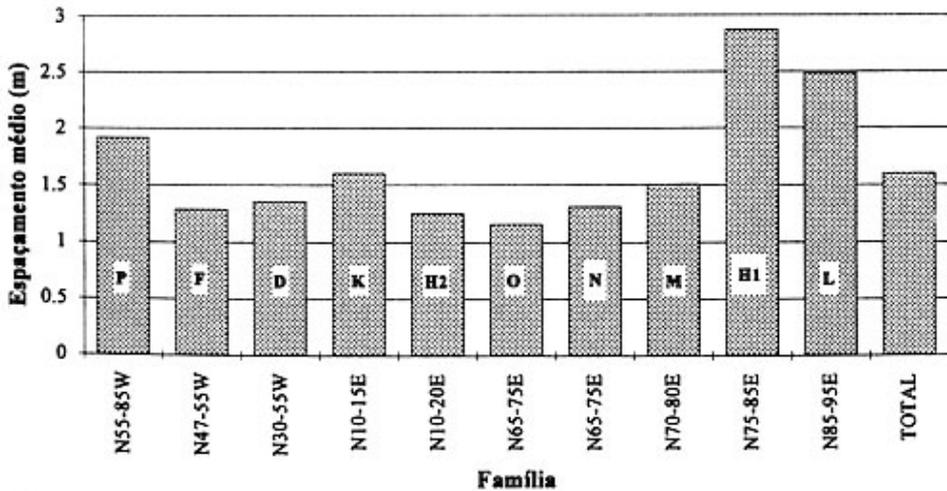


Fig. 8. Relação entre o espaçamento médio e as várias famílias de diaclases.

**Cálculo do grau de fracturação**

Com os dados dos espaçamentos médios (ou medianos) podemos obter uma primeira aproximação da compartimentação natural do maciço através do Índice

de Compartimentação (Ic). O Ic resulta da soma das intensidades (i) das várias famílias de diaclases presentes, sendo a intensidade definida como o inverso do espaçamento (e) das fracturas (SILVA, 1990, COSTA, 1992),  $i = 1/e$ :

$$I_c = \sum_{i=1}^n I_i$$

No Granito de Pedras Salgadas, obtém-se o valor de 2.07/m<sup>3</sup> para o  $I_c$  caso se utilizem os valores dos espaçamentos médios e o valor de 2.72/m<sup>3</sup> caso se efectue o cálculo com base nos espaçamentos medianos, o que representa um aumento de 37% no índice de fracturação. Estes valores são calculados desprezando a influência da fracturação sub-horizontal.

O cálculo expedito do grau de fracturação também poderá ser efectuado com base nas frequências de espaçamentos superiores à dimensão do bloco mínimo (TOYOS et al, 1994) através da fórmula

$$V_r = \prod_{i=1}^n F_i$$

com  $F_1, F_2, \dots, F_n$  representando as frequências do espaçamento de cada família superiores à dimensão mínima.

A aplicação deste método à totalidade do maciço permite obter os valores de 19% para um bloco de 1x1m, 4.7% para um bloco de 1.5x1.5m e 0.17% para um bloco de 2x2m. Como as famílias não são ortogonais, os blocos resultantes não são cúbicos nem paralelepípedicos, e portanto o volume relativo de blocos comerciais será ainda menor.

Os valores obtidos são muito baixos, mas deve-se ter em consideração que em muitas pedreiras a produção de blocos comerciais não é a principal actividade. Nestas pedreiras o rendimento poderá eventualmente ser ainda menor, enquanto que nas outras, onde a produção de blocos é mais importante, o valor de  $V_r$  será certamente mais elevado.

## CONCLUSÕES

Os trabalhos de cartografia geológico-estrutural desenvolvidos na região de Pedras Salgadas (Norte de Portugal) permitiram evidenciar a presença de três famílias de falhas.

O diaclasamento observado nas pedreiras está, na maior parte das situações, relacionado com o padrão da fracturação regional no local da sua. As diaclases observadas, na totalidade das pedreiras, agrupam-se em três famílias similares às identificadas na fracturação regional.

Os espaçamentos obtidos para as três famílias de diaclases mostram distribuições que não seguem a lei normal e o cálculo do seus espaçamentos médios forneceu valores entre 1.34m e 1.76m.

Como as distribuições não seguem a lei normal, o cálculo do grau de fracturação do maciço com base nos espaçamentos médios conduz a valores que não correspondem à realidade. Uma primeira tentativa de reduzir esta subavaliação do grau de fracturação dos maciços consiste na utilização dos espaçamentos medianos das várias famílias de diaclases.

O cálculo do grau de fracturação com base nas frequências dos espaçamentos parece fornecer resultados mais realistas.

A comparação dos vários índices de fracturação em diversos locais contribuirá para identificar qual deles melhor caracteriza o grau de fracturação do maciço.

**BIBLIOGRAFIA**

- CASTAING, C E RABU, D (1982). Apports de la geologie à la recherche et l'exploitation de pierres de taille (roches ornementales et de construction). Bulletin BRGM(2), III(1), 81-97.
- CASTRO, J. T. (1993). Calculo del rendimiento de una cantera. Métodos Estadísticos Aplicados a la Planificación de Rocas Ornamentales, Tomo 3. Universidade de Vigo.
- CAVALEIRO, V. M. P e PRATES, S. (1995). Contribuição para o conhecimento dos granitos ornamentais da região da Guarda. Rochas & Equipamentos, 40, 6-28.
- CLAVEROL, M. G., LUQUE, C e SUAREZ, V. (1988). El lineamento tectónico Nazaré (W de Portugal) - Lurca (NW de España) y su implicación metalogenética (Macizo Hesperico). Geología de los granitoides e rocas asociadas del Macizo Hesperico, libro homenaje a L.C. Figuerola: 447-455. Editorial Rueda, Madrid.
- COSTA, C. N. (1992). As pedreiras Anticlinal de Estremoz. A geologia de engenharia na exploração e recuperação de pedreiras. Tese de doutoramento. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- EGEA, C. R, MARTINEZ, P.G. e PORRAS, J. P. (1995). Caracterización cinemática e geométrica de la fracturación en El Berrocal (Toledo, España). Bol. Geol. y Minero, 106(1), 503-516.
- GAMOND, J. F. e GIRAUD, A. (1982). Identification des zones de faille à l'aide des associations de fracture de seconde orde. Bull. Soc. Geol. France, 24(4), 755-762.
- MOREIRA, A (1995). Reconhecimento geológico com vista à instalação de uma pedreira para extracção de blocos para pedra ornamental. Bol. Minas, 32(2), 75-81.
- MOREIRA, A. (1992). Maciço granítico de Monção. Definição de áreas com potencialidades para a produção de granito ornamental. Bol. Minas, 29(4), 339-365.
- MOURA, A. C., GRADE, J., RAMOS, J. F. e PEREIRA, N. (1995). Aspectos metodológicos e caracterização de maciços graníticos tendo em vista a sua exploração para produção de rochas ornamentais e industriais. Bol. Minas, 32(1), 15-22.
- PIRES, C. A. C. (1992). Inventariação, caracterização e avaliação dos recursos naturais da região em rochas ornamentais. Relatório interno. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- RAMOS, J. M. F. (1990). Potencialidades dos granitos aflorantes na região da folha 14-D - Aguiar da Beira. Estudos, Notas e Trabalhos, D.G.G.M., 32, 37-63.
- RAMOS, J. F., MOURA, A. C. e GRADE, J. (1984). Exploração de rochas ígneas para pedra ornamental. Alguns aspectos de natureza geológica e estrutural. Geonovas, 7, 47-55.
- RAMOS, J. F., MOURA, A. C. e GRADE, J. (1985). Análise sumária da fracturação em rochas ígneas ornamentais. Bol. Soc. Geol. Portugal, 24, 313-327.
- SILVA, C. M. G. (1989). Mármore da Região de Estremoz-Borba-Vila Viçosa. Caracterização minero-petrográfica, geoquímica e geomecânica. Contribuição para o conhecimento da sua alterabilidade, fracturação e blocometria. Tese de doutoramento. Instituto Superior Técnico (não public.).
- SILVA, C. M. G. (1990). Estudo da fracturação de algumas pedreiras de mármore da zona da Vigária. A Pedra, 38, 7-15.
- SILVA, P. B. (1992). Prospecção de granitos ornamentais na região de Castelo de Paiva-Cinfães (NW de Portugal). Cuad. Lab. Xeol. Laxe, 17, 383-391.
- SOUSA, L. M. O e PIRES, C. A. C (1994). Ornamental granite «Cinzento Claro de Pedras Salgadas»: its exploration and exploitation. Proceedings of 7th International IAEG Congress, 3635-3643. Balkema, Rotterdam.
- SOUSA, L. M. O. (1995). O granito de Pedras Salgadas como recurso. Contribuição para a sua valorização e gestão integrada. Tese de mestrado. Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra.
- TOYOS, J. M., TABOADA, J., LOMBARDEIRO, M., ROMERO, J. A. e MENENDEZ, A. (1994). Estudio de las discontinuidades en yacimientos de roca ornamental. Bol. Geol. y Minero, 105(1), 110-118.
- VIDAL ROMANI, J. R., TWIDALE, C. R., CAMPBELL, E. M. e CENTENO, J. D. (1995). Pruebas morfológicas y estructurales sobre el origen de las fracturas de descamación. Cuad. Lab. Xeol. Laxe, 20, 307-346.