

# CAPÍTULO 12

---

## ROCHAS ORNAMENTAIS: TERMINOLOGIA E CRITÉRIOS DE PROSPECÇÃO

*Jorge Manuel F. Carvalho<sup>1</sup>*

### INTRODUÇÃO

As metodologias e técnicas de prospecção geológica têm evoluído ao longo dos tempos acompanhando a evolução do conhecimento técnico-científico, em particular nas áreas respeitantes aos recursos minerais metálicos e hidrocarbonetos. São as mais valias inerentes à descoberta deste tipo de jazigos que justificam os avultados investimentos na prospecção, despoletando, concomitantemente, o desenvolvimento e evolução dessas metodologias que hoje se mostram indispensáveis e altamente sofisticadas, fazendo uso de técnicas geológicas, geofísicas e geoquímicas.

Num campo oposto podemos situar o que se passa relativamente aos chamados recursos em rochas e minerais industriais e de forma mais particular, o que se passa relativamente aos recursos utilizados como materiais de construção. Com efeito, sendo matérias-primas em geral comuns na natureza e ocorrendo a baixas profundidades a sua disponibilidade é muito grande. Não carecem, portanto, de avultados investimentos ao nível da prospecção, nem o permitem dado o seu baixo valor económico. Como consequência, não têm sido desenvolvidas metodologias de pesquisa adequadas a este tipo de recursos, adoptando-se, genericamente, as aplicadas ao sector dos recursos minerais metálicos, em particular aos de tipo filoneano.

Dos materiais de construção, o sector das rochas ornamentais é, porventura, aquele que maior semelhança denota com o sector dos minérios metálicos. Essa semelhança decorre das suas especificidades geológicas em termos de tipo e modo de ocorrência das jazidas e do maior valor económico da matéria-prima quando comparado com o dos restantes materiais de construção. Contudo, embora a ocorrência e localização dessas jazidas não resulte do acaso, estando dependente de factores estritamente geológicos, pouco se tem evoluído na investigação e desenvolvimento das metodologias e ferramentas de prospecção geológica particularmente dirigidas aos recursos em rochas ornamentais, sendo escassa a literatura sobre o assunto.

---

<sup>1</sup> Geólogo, Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação, Apartado 7586, 2720-866 Alfragide, Portugal  
E-mail: Jorge.carvalho@ineti.pt

## DEFINIÇÕES E ÂMBITO DE UTILIZAÇÃO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

### Rochas Ornamentais/Pedras Naturais/Pedras Dimensionais

As Rochas Ornamentais representam um sector da actividade extractiva que pela tipologia das empresas que nele funcionam, apresenta um vínculo muito directo com a actividade comercial dessas mesmas empresas. Assim se compreende que o próprio nome Rochas Ornamentais não seja consensual como designação do sector, sendo comum outras designações, nomeadamente, sector das Pedras Naturais e sector das Pedras Dimensionais. Esta questão da terminologia tem sido alvo de debate desde há uns anos a esta parte, em particular, de modo formal, no âmbito da Comissão C10 – Pedras de Construção e Rochas Ornamentais (*Building Stones and Ornamental Rocks*) da Associação Internacional da Engenharia Geológica e Ambiente (IAEG – *International Association for Engineering Geology and the Environment*). Uma nota recente acerca deste assunto foi recentemente publicada por Shadmon (2005), presidente dessa Comissão, onde se apresenta uma retrospectiva da terminologia que tem vindo a ser utilizada para o sector em causa.

Embora efectivamente nada mais seja que uma questão de terminologia é um assunto que merece alguma atenção, pois tem alguma relevância no que respeita ao modo como o sector é encarado por interlocutores internos e externos. Estão no primeiro caso os interlocutores de âmbito económico e comercial, como a banca, os prescritores (arquitectos, engenheiros civis, entre outros) e o público em geral enquanto na qualidade de aquisidor. Importa, para este tipo de interlocutores, que não subsistam dúvidas quanto à identificação do sector em causa e portanto, quanto à identificação da natureza do material a utilizar, eventualmente decorrendo daí mais-valias económicas. Quanto aos interlocutores externos ao sector, há que contar fundamentalmente com a sociedade em geral e no modo como é encarada a indústria extractiva pela opinião pública e contar, ainda, com as entidades com responsabilidade ao nível da gestão dos recursos geológicos, do ordenamento do território, defesa ambiental, etc. Perante estes importa que este sector da indústria extractiva se mostre bem consolidado e uno no modo de encarar o objecto que constitui o suporte à sua actividade comercial. Identificada a natureza e função do material e havendo a sua procura no mercado, tem de ser do conhecimento geral que ele se obtém pela actividade extractiva e unicamente nos locais onde ocorre, o que é função de um processo natural não controlável pelo Homem.

O sector beneficiaria, portanto, de uma harmonização quanto à terminologia. Nesse sentido importa uma abordagem breve às designações principais que têm sido atribuídas a este sector e às rochas (ou pedras) em si mesmas.

A designação Pedras Dimensionais corresponde a uma adaptação de *dimension stones*. É de utilização muito comum nos países anglo-saxónicos e foi, talvez, a primeira designação a ser atribuída a este sector, tendo sido utilizado pela primeira vez por Bowles & Coons. (1933) a fim de o distinguir do sector das rochas utilizadas como agregados para a construção civil. A distinção feita por este autor e posteriormente desenvolvida por Currier (1960) e Barton (1968), está na origem da norma ASTM C 119 – *Standard Terminology Relating to Dimension Stone*. Esta mostra-se muito vinculada às especificidades de forma e tamanho do produto final, sendo as rochas essencialmente consideradas como materiais com uma função estrutural na construção de edifícios.

A designação Pedras Naturais surgiu recentemente no seio dos países produtores de origem latina, sendo eminentemente uma designação em contraponto aos produtos cerâmicos e em particular, aos aglomerados resinosos de pedra. Pretende valorizar comercialmente o facto de se tratar duma matéria-prima "tal e qual", natural, em que a intervenção de processos de transformação é mínima, ao contrário do que se passa no sector cerâmico. Pondo de lado a questão semântica da designação, já que sendo pedra é forçosamente natural, não parece que este sector possa ou deva entrar em competição com o cerâmico no mercado em que este actua, pois trata-se de um sector evoluído e extremamente agressivo do ponto de vista comercial e de marketing. Há que diferenciá-lo nesses e noutros termos de forma a dirigi-lo a um outro tipo de mercado.

Neste contexto a designação Rochas Ornamentais parece-nos a mais adequada pois tanto serve os objectivos de natureza comercial como do fim a que se destinam. Com efeito, ao termo Ornamental está implícita uma mais valia económica em termos comerciais mas, simultaneamente, este termo explicita o fim a que se destina a matéria-prima, em contraponto aos restantes materiais de construção. Assim, de acordo com este conceito e dum modo extremamente simples, **as rochas ornamentais podem ser definidas como a matéria-prima de origem mineral utilizada como material de construção com funções essencialmente decorativas.** Cabem neste âmbito todos os tipos rochosos extraídos e processados segundo as mais variadas dimensões e formas, desde os pequenos cubos utilizados no calcetamento de ruas, até às finas placas de rochas xistentas usadas em revestimentos, passando, como é óbvio, pelos grandes blocos destinados à obtenção de chapas para revestimentos diversos, estatuária, pedras tumulares, etc.

A função decorativa atribuída às Rochas Ornamentais constitui o cerne desta definição. Se no passado a utilização das rochas teve essencialmente uma função de estruturação das edificações, desde as primeiras habitações e fortificações feitas em pedra pelo Homem até palácios e outros monumentos bem mais recentes, a realidade mostra-nos que nos dias de hoje a pedra perdeu essa função para o ferro, para o tijolo, para as argamassas em revestimentos e para outros produtos de substituição. Actualmente usam-se as pedras fundamentalmente em função das suas potencialidades decorativas, ornamentais. As capacidades estruturantes que lhes estão associadas são aproveitadas apenas pontualmente ou de modo secundário

### **As variedades ornamentais**

O forte vínculo com a actividade comercial está também marcado no grande número e diversidade de nomes atribuídos às diversas variedades comercializadas e ainda no modo de classificação dessas variedades.

Tradicionalmente distinguem-se dois grandes grupos de rochas ornamentais, nomeadamente, os mármore e os granitos ou, mais recentemente, mármore, granitos e outras, em que neste último grupo é comum enquadrar os "xistos", os quartzitos e arenitos. De acordo com estas classificações, os calcários são englobados no grupo dos mármore e sob a designação de granitos é englobada uma grande variedade de rochas ígneas, desde os granitos propriamente ditos, aos sienitos, gabros, dioritos e gneisses.

Se em termos de características físico-mecânicas e portanto, em termos de campo de aplicação, é admissível a inclusão num só grupo duma grande variedade de rochas como a que é

reportado ao grupo dos granitos, já no que respeita ao grupo dos mármore não nos parece adequado a inclusão dos calcários. Com efeito, é bem marcada a diferença entre mármore e calcários, não só em termos das suas características físico-mecânicas, como também em termos das suas características estéticas, já para não falar no facto de que os calcários representam uma das principais variedades ornamentais em termos de volume de produção a nível mundial.

Calcários são rochas sedimentares que ocorrem na natureza em sequências de bancadas de espessura variável e separadas por planos de descontinuidade. Sendo constituídas essencialmente pelo mineral calcite, apresentam texturas muito diversas em função da natureza, tamanho e percentagem dos elementos clásticos que as constituem, do tipo de cimento que os aglomera e do seu grau de aglutinação. Os mármore resultam da actuação de fenómenos metamórficos sobre os calcários, sendo constituídos fundamentalmente por calcite neoformada e em que há uma obliteração geral, mais ou menos intensa, dos aspectos texturais de origem sedimentar.

Pelo exposto, parece-nos mais adequado, mesmo do ponto de vista comercial, a distinção apresentada por Langer (2001) para as Rochas Ornamentais dos seguintes grupos: o grupo dos granitos, dos calcários, dos mármore, das ardósias (ou "xistos") e o dos quartzitos e arenitos.

#### **Âmbito de utilização das Rochas Ornamentais**

Do mesmo modo que para os restantes materiais de construção, das características tecnológicas da Rochas Ornamentais depende o modo e âmbito da sua aplicação. Assim, em função das propriedades físico-mecânicas e químico-mineralógicas que actualmente são avaliadas laboratorialmente, decorrem restrições à sua utilização, em particular no que respeita a aplicações em interiores *versus* aplicações em exteriores e em edifícios públicos *versus* habitações privadas. A título de exemplo, em regiões do globo caracterizadas por elevadas amplitudes térmicas e temperaturas negativas, as variedades ornamentais com fraca resistência no ciclo de ensaios gelo-degelo não devem ser aplicadas em revestimentos exteriores. Tal não invalida, contudo, que possam ser aplicadas em revestimentos interiores. Também o facto de uma variedade ornamental com fraca resistência ao desgaste não dever ser aplicada em pavimentos sujeitos a elevados índices de movimento pedonal, como é o caso de muitos edifícios públicos, não invalida a sua aplicação em locais em que esse índice seja baixo.

Servem estas considerações para demonstrar que a ponderação dum determinado tipo litológico como Rocha Ornamental não depende das suas propriedades tecnológicas ou, mais concretamente, não depende dos parâmetros usualmente avaliados em laboratório e que têm em vista definir o âmbito da sua aplicação. Assim, essas propriedades não são factores a considerar durante a fase de prospecção geológica.

Ainda no âmbito da utilização das rochas ornamentais há a considerar o seu aspecto estético, não fosse esse o factor intrínseco ao fundamento da sua utilização como material de construção com funções decorativas. Deste modo, a estética ou beleza dum determinado tipo litológico é condicionadora da sua utilização como rocha ornamental. Daqui decorre que essa beleza ornamental é um factor importante a ter em conta na fase de prospecção geológica, mesmo sendo um factor com uma forte carga subjectiva. No entanto, este factor estético resulta da percepção conjunta dum conjunto de critérios dos quais se destacam a cor, a textura

e a existência ou não de descontinuidades. São critérios cuja avaliação deve unicamente basear-se numa observação a “olho-nú” e que no seu conjunto dão o grau de homogeneidade da rocha.

A cor é um critério dependente da moda. No entanto, a utilização histórica das Rochas Ornamentais mostra uma preferência generalizada por rochas de tons claros (brancos, cremes, etc.) quando em grandes superfícies. A preferência por rochas de tons intensos (rosas, azuis, vermelhos, negros, etc.) tem estado reservada, fundamentalmente, a pequenas superfícies e a objectos e peças de decoração.

A textura, ou seja, a dimensão e modo de disposição dos elementos constituintes das rochas, é um critério também muito dependente da moda. Esses elementos tanto podem ser grãos minerais como grãos líticos, por vezes de grandes dimensões (as rochas conhecidas como *brechas*), o que acaba por ser também um critério estético.

As descontinuidades podem ser de vários tipos, sendo as mais comuns a existência de veios minerais e as variações laterais de fácies as quais, num mesmo tipo litológico, se traduzem fundamentalmente por variações de cor e textura.

Assim, a homogeneidade, vista como a percepção conjunta do aspecto estético da rocha em função da sua cor, textura e descontinuidades presentes, é uma característica com uma carga subjectiva menor que a daquelas de que depende porque embora sujeita à moda e ao gosto de cada um pode, de algum modo, ser avaliada quantitativamente em termos de maior ou menor homogeneidade. Por outro lado, a importância fundamental deste parâmetro reside no facto de nele se basear, pelo menos parcialmente, o dimensionamento da jazida: um determinado volume de rocha em que se verifica uma homogeneidade de características.

É ainda comum associar a aptidão ornamental das rochas ao maior ou menor grau de polimento que admitem, o que é função da sua composição mineralógica e textura. No entanto, actualmente, é cada vez mais usual a aplicação de revestimentos de rochas ornamentais que não sofreram qualquer tipo de polimento, pelo que esse critério deve ser considerado como secundário.

## PROSPECÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

É escassa a literatura respeitante às metodologias de investigação das rochas ornamentais, em particular no que respeita à sistematização das metodologias de prospecção. O *Manual de Rocas Ornamentales*, editado por Jimeno *et al.* (1996) e *Stone: Building stone, rock fill, and armourstone in construction*, editado por Smith (1999), são talvez as obras onde de forma mais completa se aborde esse assunto. Nestas obras são apresentadas sistematizações das etapas de investigação tendentes à revelação e avaliação de jazidas de rochas ornamentais, desde a compilação inicial de informação, ao projecto de abertura duma pedreira. Em termos muito sintéticos e não diferindo genericamente da metodologia a adoptar para a investigação de qualquer outra matéria-prima mineral, essas etapas compreendem:

- Etapa 1: Compilação de informação e planificação dos trabalhos,
- Etapa 2: Reconhecimento geológico geral e selecção de áreas com interesse,
- Etapa 3: Caracterização e valorização das áreas seleccionadas,

- Etapa 4: Caracterização detalhada das jazidas,
- Etapa 5: Projecto de exploração.

Com base nestas obras e nas propostas de Muñoz de la Nava *et al.* (1989), Harben & Purdy (1991), Casal Moura *et al.* (1995), García (1996) e Selonen *et al.* (2000), a tabela I apresenta uma compilação sintética dos critérios a ter em consideração nas diferentes etapas. De realçar que todos estes autores atribuem um maior ou menor grau de importância aos resultados de ensaios avaliadores das propriedades físico-mecânicas das rochas para a tomada de decisão sobre a sua viabilidade em termos de aptidão ornamental. Já o estado de fracturação dos maciços rochosos é um parâmetro a que atribuem importância fundamentalmente ao nível da fase de exploração.

**Tabela I:** Principais aspectos a considerar na prospecção de Rochas Ornamentais

<b>Morfologia</b>	Limites Espessura e variações de espessura Variações de fácies Carsificação
<b>Estrutura</b>	Estratificação, clivagens, xistosidades, lineamentos, etc. Falhas e fracturas dobramentos
<b>Fracturação</b>	Famílias direccionais Espaçamento entre famílias Densidade de fracturação
<b>Metamorfismo</b>	Tipo Zonação Mineralogia
<b>Características litológicas</b>	Composição mineralógica e química Cor Granulometria Textura Recristalizações, <i>Schlieren</i> , encraves, fósseis, etc. Homogeneidade (cor, textura, fósseis, e outras descontinuidades) Oxidações e outras alterações Propriedades físico-mecânicas (absorção de água, peso específico, resistência à compressão e à flexão, etc.)
<b>Explorabilidade</b>	Reservas Acessibilidade (topografia, acessos, distância aos centros consumidores, zonas de defesa e protecção ambiental) Espessura de camada de alteração e dos depósitos de cobertura Impacto ambiental Infraestruturas industriais Actividade extractiva instalada Aceitação no mercado

## CRITÉRIOS DE DECISÃO

Na sequência das actividades de investigação geológica aplicada à prospecção de rochas ornamentais que o autor tem desenvolvido, a experiência tem demonstrado que os factores de carácter decisivo para a viabilidade dum maciço rochoso para a produção de rochas ornamentais estão relacionados unicamente com o dimensionamento e homogeneidade das unidades geológicas e seu estado de fracturação (Tabela II). Todos os restantes critérios de índole geológica que constam da Tabela I, assumem um papel secundário quando abordados a nível individual porque não são factores de exclusão. Não se pretende com isto dizer que não importa considerar tais critérios nas diferentes etapas de investigação. A sua importância verifica-se, fundamentalmente, ao nível da qualificação das rochas e portanto, ao nível do seu maior ou menor valor comercial e âmbito de aplicação. A título de exemplo, uma rocha não deixa de ser ornamental em função da sua cor porque esse é um critério estético dependente da moda. Também não deixa de ser ornamental em função da sua capacidade de resistência à flexão porque esse é um critério qualificador do âmbito da sua aplicação. Já os factores relacionados com as características do local de ocorrência dos depósitos podem inviabilizar a exploração do recurso, mas são factores extrínsecos ao próprio recurso. A exploração de uma jazida situada num local remoto pode não ser viável economicamente numa determinada altura mas, modificando-se as condições de mercado e/ou de acessibilidade, a situação pode reverter-se.

**Tabela II:** Critérios de decisão na prospecção de Rochas Ornamentais

DIMENSIONAMENTO	HOMOGENEIDADE	ESTADO DE FRACTURAÇÃO
Espessura das unidades produtivas (bancada sedimentar, fácies metamórfica, etc.). Volume total do depósito.	Cor Textura Descontinuidades	Direcções preferenciais Frequência Densidade Intensidade Tipo e morfologia das fracturas

A cartografia geológica e o levantamento do estado de fracturação dos depósitos são as duas ferramentas básicas para a avaliação destes critérios de decisão. A cartografia geológica temática, com um forte apoio das técnicas da geologia estrutural e de dados de sondagens com recuperação contínua de testemunho, revela-se como ferramenta fundamental no que respeita à revelação e avaliação dos dados intrínsecos ao dimensionamento e qualificação em termos de homogeneidade dos depósitos. Já no que respeita à avaliação do estado de fracturação dessas jazidas, assume importância primordial o levantamento "in situ" dos dados de fracturação, a que as metodologias de detecção remota e geofísicas poderão prestar forte apoio.

### A cartografia geológica temática

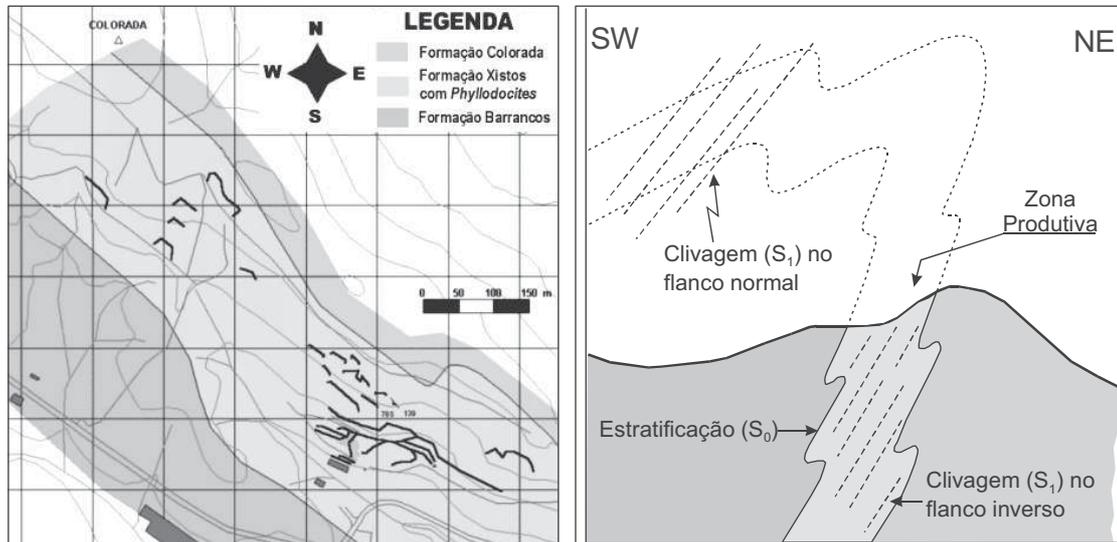
A cartografia geológica aplicada à prospecção de rochas ornamentais deve estar vocacionada para a identificação, delimitação e caracterização de áreas com aptidão para rocha ornamental. A essas áreas deverá corresponder a existência de uma ou mais unidades geológicas em que se verifique uma homogeneidade de características litológicas e cuja espessura e volume total permitam a obtenção de blocos com dimensões comercializáveis por um determinado período de tempo. Esta cartografia deverá, portanto, fazer uso de alguns conceitos e terminologia pouco usuais numa cartografia geológica clássica mas que se revelam fundamentais ao fim em vista. Há que ter em apreço os seguintes aspectos: escala, litologia, estrutura geológica e convenções e terminologia a utilizar.

Dependendo da etapa de trabalho, do tipo de litologias presentes e da complexidade estrutural da região em causa, diferente será a **escala** de execução da cartografia geológica. Assim, na fase de reconhecimento geral deverá fazer-se uso de escalas regionais que poderão variar de 1/100 000 a 1/25 000, consoante o grau de conhecimento existente sobre a região. Na fase intermédia de prospecção, ou seja, aquela que se destina ao reconhecimento e avaliação dos grandes alvos seleccionados na etapa anterior, a cartografia a executar deverá ser à escala 1/10 000 ou 1/5 000. Tal depende, fundamentalmente, das litologias presentes e deverá contar com o apoio de sondagens de reconhecimento. Desta fase resultará a delimitação de áreas alvo mais restritas para eventual localização de unidades de exploração. A sua avaliação deverá ser feita com base numa cartografia à escala 1/2000 a 1/500 e fortemente apoiada em dados de sondagens. O número de sondagens a realizar nesta fase estará dependente da dimensão da área, da homogeneidade litológica e da complexidade estrutural.

A **litologia** é o aspecto principal a considerar na cartografia geológica de temática vocacionada para as rochas ornamentais. Há que ter em conta a natureza sedimentar, ígnea ou metamórfica das rochas no que respeita a um adequado conhecimento das condições geológicas que presidem à eventual ocorrência de jazidas de rochas ornamentais. A título de exemplo e para o caso das rochas sedimentares, um adequado conhecimento das condições paleogeográficas que presidiram à sua deposição numa dada região poderá permitir a previsão de locais onde terão ocorrido condições favoráveis ao desenvolvimento de bancadas espessas. Por outro lado e com base nesse conhecimento será possível uma selecção e atribuição de importância aos critérios constantes das Tabelas 1 e 2. Com efeito e também a título de exemplo, se a presença, dimensão e disposição de fósseis em rochas sedimentares são critérios a ter em apreço, por poderem constituir um elemento de elevada qualidade estética, na cartografia de rochas graníticas tais critérios não são aplicáveis. No entanto, há que ter em conta que a apreciação dos critérios constantes da Tabela 2 é fundamental para todos os tipos litológicos.

O conhecimento da **estrutura geológica** da jazida é fundamental ao seu dimensionamento, pelo que a cartografia geológica deve ser, essencialmente, uma cartografia litoestrutural. Deverão ser tomados em consideração todos os critérios e técnicas de análise estrutural que permitam o estabelecimento dum modelo estrutural do depósito. Em particular e em função da complexidade estrutural da região em causa, é importante ter em atenção os dados relativos à orientação dos planos de estratificação, clivagens, xistosidades, lineações e os relativos à orientação e tipo de fracturas e dobramentos eventualmente presentes. A estrutura

geológica tanto pode ser um factor condicionador como promotor da ocorrência de jazidas de rochas ornamentais, pretendendo a figura 1 representar um caso paradigmático de tal situação.



**Figura 1-** Cartografia geológica e corte esquemático na área produtora de xistos ornamentais na região de Barrancos. A obtenção de placas de xisto com grandes dimensões só é possível no flanco inverso da estrutura anticlinal pelo paralelismo entre estratificação e clivagem xistenta (adaptado de Carvalho & Falé, 2002)

No que respeita às **convenções e terminologia**, a cartografia geológica deverá fazer uso de simbologia apropriada de modo a que seja fácil a identificação e caracterização das áreas com maior interesse, bem como das variedades ornamentais existentes (em detrimento duma terminologia puramente científica).

### Avaliação do estado de fracturação

#### *Métodos Directos*

Os métodos directos para a apreciação do estado de fracturação dos maciços rochosos são uma ferramenta indispensável na prospecção de rochas ornamentais. Baseiam-se na caracterização e medição da atitude das fracturas "in situ" pelo que o seu modo de execução depende da dimensão da área a prospectar e das suas características em termos das litologias presentes e da forma, tamanho e disposição dos afloramentos. Destes condicionalismos depende o método a adoptar, sendo que os diferentes métodos diferem entre si, basicamente, no modo de inventariação e no posterior tratamento e análise dos dados.

Os modos de inventariação mais comuns baseiam-se no inventário de todas as fracturas englobadas numa dada área (circular ou quadrangular) ou abrangidas por uma determinada linha de amostragem (*scanline*). As dimensões a adoptar para a área ou para a *scanline* dependem muito duma avaliação preliminar subjectiva do espaçamento entre fracturas duma mesma família e da área disponível. Aqui há que ter em conta o tipo ou tipos litológicos em

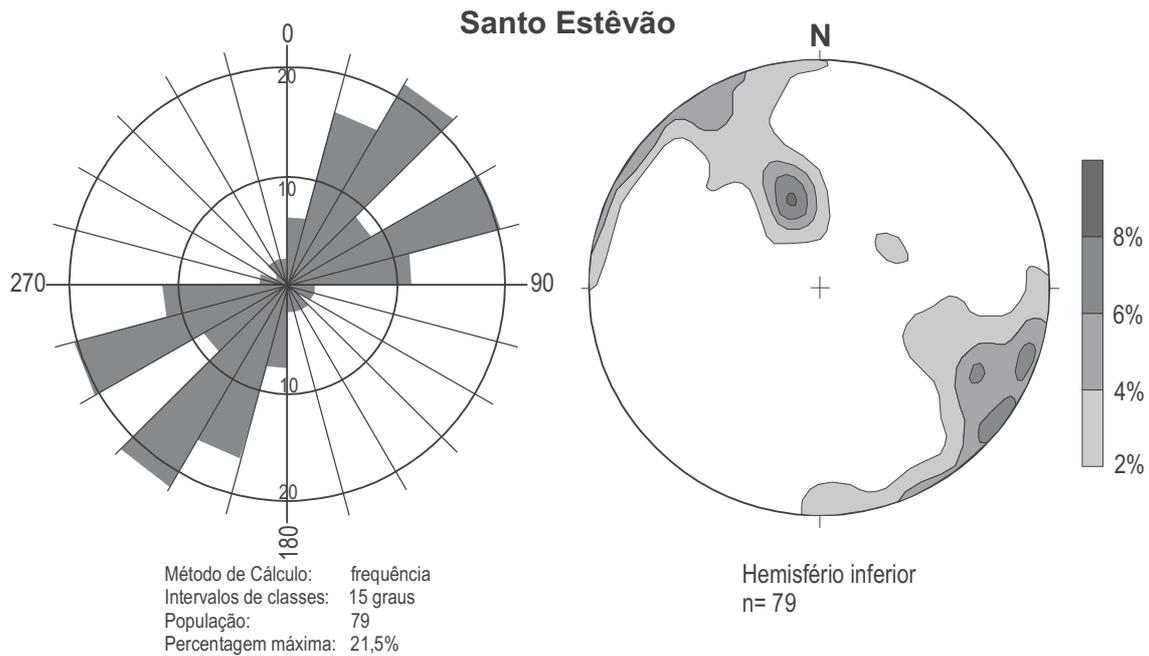
que as fracturas ocorrem pois o estado de fracturação dos maciços rochosos não depende unicamente da orientação e intensidade do campo de tensões, ou mesmo da maior ou menor proximidade a acidentes maiores com os quais podem estar ou não relacionadas geneticamente. Depende também das características reológicas das litologias presentes.

O método de inventário em área adequa-se melhor a medições em afloramentos, ao passo que o método da *scanline* está mais adequado à medição em frentes de desmonte já existentes ou em taludes naturais. O caso particular do inventário de fracturas nos testemunhos de sondagens reporta-se ao método da *scanline* que neste caso acaba por ser o próprio testemunho. De realçar, no entanto, a necessidade de proceder a uma orientação de todos os troços por intermédio de técnicas adequadas ao efeito. A técnica mais expedita consiste na orientação dos troços com base no controle de um determinado parâmetro cuja orientação à superfície seja bem conhecida e que se mostre persistente em profundidade, como por exemplo a estratificação ou uma dada clivagem tectónica.

Tendo como objectivo as rochas ornamentais, as características a que mais importa prestar atenção para a análise descritiva das fracturas são: a direcção e inclinação, o comprimento, a abertura e tipo de preenchimento, o espaçamento entre famílias, a terminação (continuidade) das fracturas e o tipo litológico onde ocorrem. Para cada um dos parâmetros são admissíveis diversas formas de tratamento e apresentação de resultados, sendo comum a conjugação das ferramentas da estatística descritiva com os métodos sugeridos pela *International Society for Rock Mechanics* (ISRM, 1978).

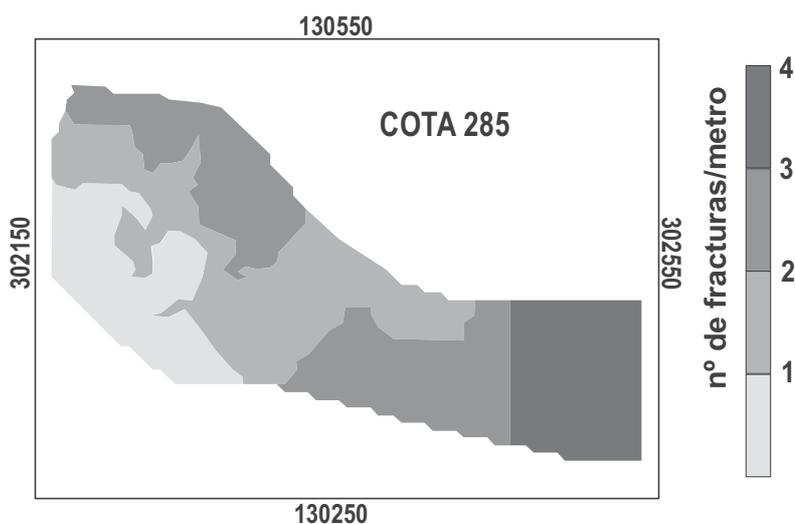
Uma das metodologias mais usuais para a avaliação do estado de fracturação dos maciços nas diversas fases de prospecção de rochas ornamentais e que aqui se pretende realçar, assenta na definição de direcções preferenciais de fracturação, como ponto de partida à determinação da frequência ou densidade linear de fracturação. Trata-se dum método cujos resultados são decisivos pois permitem discriminar entre áreas favoráveis e não favoráveis à obtenção de blocos com dimensões economicamente rentáveis. O seu âmbito de utilização difere, assim, do da blocometria que é uma ferramenta mais adequada à etapa final da prospecção, ou seja, à fase de projecto de exploração em que se pretende uma aproximação ao cálculo de rendimento das explorações em função das dimensões e quantidade de blocos extraíveis.

As ferramentas da estatística descritiva estão na base da determinação das classes de orientação preferencial das fracturas e da frequência dessas mesmas classes, sendo comum a apresentação e análise dos resultados em rosas vectoriais ou histogramas de classes (figura 2). Os estereogramas de densidade de pontos revelam-se úteis e indispensáveis para a definição de famílias de fracturas pouco inclinadas.



**Figura 2-** Representação da orientação de fracturas em Rosa Vectorial e Estereograma de Densidade de Pontos relativos à região de Santo Estêvão, Algarve (adaptado de Manupella *et al.*, 2000).

Uma metodologia de desenvolvimento mais recente baseia-se no tratamento geoestatístico dos dados da frequência, ou densidade linear de fracturação, das principais famílias direccionais (Luís, 1995) e que tem como suporte científico as bem desenvolvidas técnicas de cálculo da distribuição de teores em jazigos minerais metálicos em função da distribuição espacial da amostragem. Assim, ao se considerar a densidade linear de fracturação como uma variável regionalizada (Matheron, 1970), ou seja, cujo valor depende da localização espacial mas com um carácter aleatório, este método permite a estimação de valores entre estações de amostragem (Pereira, 1979) e admite a elaboração de mapas representativos da distribuição espacial dos valores da densidade linear de fracturação, como o que se apresenta na figura 3, onde é possível discernir áreas preferenciais face aos valores dessa variável. Esta possibilidade cartográfica tem-se revelado muito útil a nível de planeamento da actividade mineira pois, combinada com a cartografia geológica, permite uma maior aproximação à delimitação de áreas com melhor ou menor aptidão para a produção de rochas ornamentais (figura 4).



**Figura 3-** Cartografia dos valores de densidade linear de fracturação à cota 285 m, nas imediações duma pedreira de xistos ornamentais na região de Barrancos (adaptado de Carvalho & Falé, 2002)

### ***Métodos Indirectos***

Os métodos indirectos para a avaliação do estado de fracturação dos maciços rochosos têm vindo cada vez mais a ganhar realce na prospecção de rochas ornamentais, mas não invalidando nem substituindo os directos. Entre eles contam-se as técnicas de detecção remota, nomeadamente as imagens de satélite LandSat Tm e as fotografias aéreas, os quais constituem preciosos auxiliares nas etapas de reconhecimento inicial. Para além de fornecerem uma visão global da área sob investigação, a conjugação de ambas as técnicas tem permitido uma cada vez mais detalhada delimitação de áreas mais ou menos fracturadas e a definição de padrões de fracturação a nível regional. Neste capítulo surgiu muito recentemente uma nova ferramenta com capacidades de desenvolvimento e utilização muito grandes. Trata-se da aplicação informática Google Earth™ *mapping service* a qual, fazendo uso de imagens de satélite de alta resolução, permite a simulação de visão tridimensional e a gestão da orientação e ampliação do campo visual. Em muitos casos revela-se uma ferramenta de detecção remota muito eficaz na selecção de áreas alvo em função do estado de fracturação dos maciços.

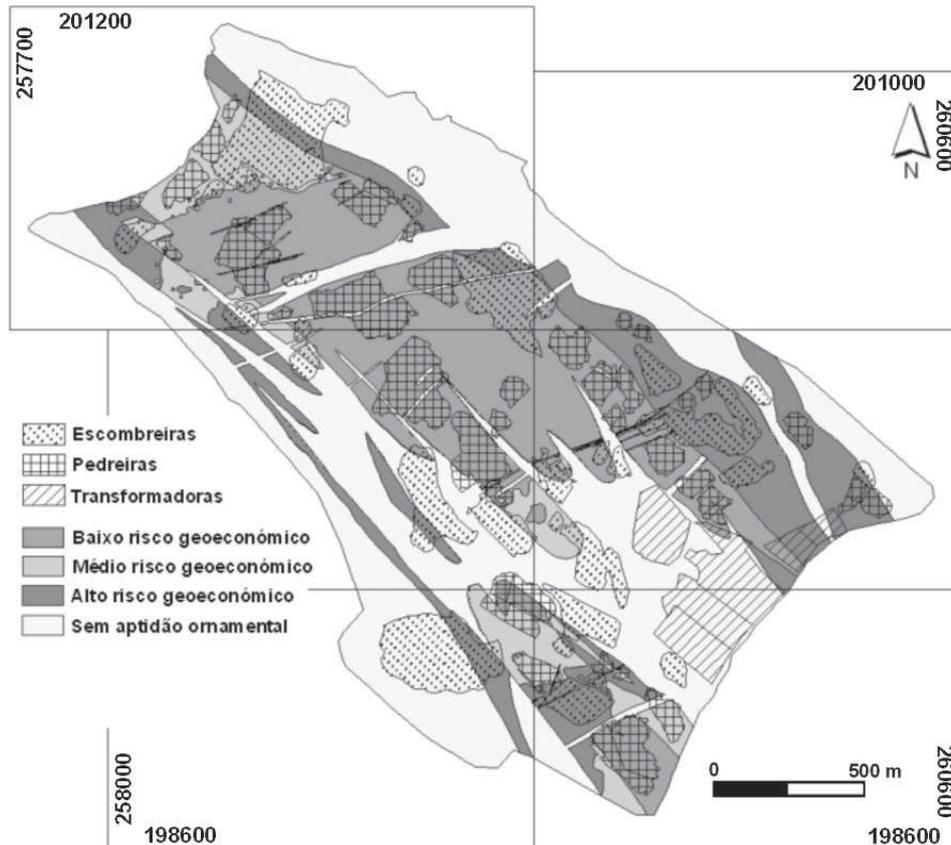


Figura 4 – Carta de Risco Geoeconómica da UNOR 3 – Vigária (Anticlinal de Estremoz) como resultado da combinação de informação lito-estrutural com a distribuição espacial dos valores da densidade linear de fracturação (adaptado de Vintém *et al.*, 2003)

No âmbito das etapas iniciais de reconhecimento de discontinuidades maiores assumem também importância os métodos geofísicos. No entanto, o maior relevo da aplicação destes métodos verifica-se ao nível das fases de investigação mais detalhada, como complemento aos métodos directos de avaliação da fracturação. Entre elas há a considerar os métodos sísmicos em geral, o geo-radar, o VLF-EM/RF-EM (*Radio Frequency – Electromagnetics*) e as tomografias eléctricas e sísmicas. Todos eles têm vantagens e desvantagens ao nível do tipo e detalhe da informação que fornecem, rapidez de execução e custo. Relativamente aos métodos sísmicos importa destacar, pela rapidez e baixo custo de execução, um baseado na realização de perfis sísmicos para obtenção e tratamento estatístico de dados relativos à variação azimutal da velocidade de propagação das ondas sísmicas e da sua forma de onda e que se revela bastante eficaz na determinação do estado de alteração e fracturação das rochas (Carvalho *et al.*, 2000). Em termos de prospecção de rochas ornamentais tem o seu campo de aplicação em todas as fases, merecendo particular destaque a sua utilização em regiões com escassos afloramentos em que os métodos directos são de difícil aplicação. Para além de permitir a avaliação da espessura das camadas de alteração ou de depósitos de cobertura sobre uma dada unidade geológica, fornece também uma imagem do sistema de fracturação que afecta essa unidade.

O método VLF-EM/RF-EM (*Radio Frequency – Electromagnetics*) baseia-se na propagação pelas rochas de ondas rádio de baixa a muito baixa frequência que são emitidas por antenas na

banda dos 12 a 300 kHz. A propagação dessas ondas de rádio origina nas rochas um campo electromagnético secundário dependente da natureza das rochas e que pode ser detectado à superfície, permitindo a obtenção de informações quanto à natureza do meio e suas heterogeneidades: falhas com preenchimento argiloso, paleocanais, carsificação, variações laterais de fácies, etc. (Turberg *et al.* 1992; Carvalho *et al.*, 1999) Trata-se dum método com uma profundidade de investigação relativamente baixa mas de utilização rápida e eficaz em que se utiliza um aparelho protótipo de registo contínuo que pode ser montado em veículos automóveis, permitindo a realização de perfis quilométricos a baixo custo (Muller & Carvalho, 1996; Carvalho *et al.*, 1998). A resolução deste método em termos de aplicação à prospecção de rochas ornamentais condiciona-o à detecção de estruturas maiores e à delimitação de áreas mais ou menos favoráveis em função das heterogeneidades do meio.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

As rochas ornamentais são um produto natural compatível com uma reciclagem a 100%. No entanto, debatem-se com um problema comum à maioria dos restantes recursos geológicos, ou seja, embora a manutenção dos padrões de vida das sociedades actuais exijam um suprimento contínuo de recursos minerais, o enquadramento da actividade extractiva nos planos de ordenamento territorial continua a ser uma questão problemática, muito por causa dos impactos ambientais que lhe são injustamente apontados, pois na maioria dos casos, confunde-se impacto visual com impacto ambiental. Esta problemática tem sido nos últimos anos alvo de intensa discussão e alerta a nível global, nomeadamente no seio da Comunidade Europeia e em fóruns sob a égide da Organização das Nações Unidas, mas tendo sempre como ponto de partida a actividade extractiva instalada, relegando para segundo plano, ou mesmo omitindo, as acções a montante dessa actividade. Veja-se, a título de exemplo, **Good Environmental Practice In The European Extractive Industry: A Reference Guide** por F. Brodtkom (2000) e a Comunicação da Comissão Europeia Com (2000) 265 - **Promoção do desenvolvimento sustentável na indústria extractiva não energética da UE**. Esta última é paradigmática pois, embora denunciando um baixo investimento em prospecção geológica a nível dos países da União Europeia, aponta como questões prioritárias a prevenção de acidentes na indústria extractiva, a melhoria do desempenho ambiental e a gestão de resíduos e emissões. Mais recentemente, a COM (2005) 670 - **Estratégia Temática sobre a Utilização Sustentável dos Recursos Naturais** menciona as crises que têm assolado a União Europeia no que respeita ao abastecimento de matérias-primas, alertando para a necessidade de se manter assegurado esse abastecimento mas focando a estratégia na drástica diminuição do consumo e dos impactos ambientais negativos decorrentes da sua exploração através de uma abordagem ao ciclo de vida dos materiais. Em suma, o enquadramento da actividade extractiva nas questões de ordenamento territorial e de desenvolvimento sustentável, onde se inclui a preservação do bem estar comum é analisado, na maior parte dos casos, unicamente à luz da actividade instalada, deixando como que ao acaso o aparecimento de novas áreas produtoras.

Ora, sabemos que a ocorrência e localização dos recursos geológicos, nomeadamente em rochas ornamentais, não se dá por acaso, sendo governada unicamente por factores geológicos. Sabemos também que a revelação de novas jazidas carece de conhecimentos e metodologias geológicas a tal vocacionadas, não podendo ficar ao acaso em função de actividades empíricas que acabam por se traduzir num deficiente planeamento da actividade

mineira com consequência ao nível do ordenamento do território e da degradação ambiental. A este respeito importa realçar que embora nos últimos anos muito se tenha vindo a investir nos aspectos tecnológicos associados à exploração e transformação de rochas ornamentais, tendo em vista a diminuição da quantidade de resíduos produzidos, a qual se situa na ordem dos 70% do total da matéria-prima extraída, continua a verificar-se uma não diminuição significativa dessa quantidade. Julgamos que tal se deve ao atrás mencionado deficiente planeamento da lavra por falta de um conhecimento adequado das características das jazidas. Sendo este conhecimento função da etapa anterior à lavra mineira, ou seja, função dos conhecimentos adquiridos pela prospecção geológica, urge investir a este nível de forma a inovar metodologias e técnicas.

O trabalho aqui apresentado vem ao encontro destas questões, realçando os critérios decisivos nas etapas de prospecção que têm um peso efectivo na definição e dimensionamento das jazidas de rochas ornamentais, nomeadamente os critérios tendentes à avaliação da dimensão, homogeneidade e estado de fracturação das jazidas. Os factores extrínsecos à definição da jazida, como sejam as características tecnológicas das rochas, a sua beleza, a espessura de depósitos de cobertura, o enquadramento ambiental e paisagístico, as condições de acessibilidade, etc., são factores que condicionam apenas a aplicabilidade dos diferentes tipos de rochas e a viabilidade económica da sua exploração.

## REFERÊNCIAS

- Barton, W.R., 1968. Dimension stone. U.S. Bureau of Mines Information Circular 8391, 147 p.
- Bowles O., Coons A.T., 1933. Dimension Stone. In: Minerals Yearbook 1932-33, O. E. Kiessling (Ed.), U. S. Bureau of Mines, United States Government Printing Office, Washington, pp. 577-593
- Brodtkom, F., 2000. Good Environmental Practice In The European Extractive Industry: A Reference Guide. Centre Terre Et Pierre – Belgium.
- Carvalho, J.M.F., Falé, P. 2002. Potencialidades em Xistos de Barrancos nas Imediações da Pedreira do Mestre André. Relatório Interno IGM, Alfragide, 90 p.
- Carvalho, J.P., Lisboa, J.V., Torres, L., Memdes-Victor, L.A., 2000. Rock mass evaluation using in-situ velocity and attenuation measurements. European Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 5, 15-31.
- Carvalho Dill, A., Dussel, M., Reis, E., Baptista, R., Coimbra, R., Reis, M., 1999. The combined use of electromagnetic methods and tracers to detect preferential groundwater pathways. Jornadas Actualidad de las Técnicas Geofísicas Aplicadas en Hidrogeología. Granada, 10 – 12 Mayo.
- Carvalho Dill, A., Muller, I., Costa, A.M., Monteiro, J.P., 1998. Importância do uso de métodos geofísicos electromagnéticos Very Low Frequency Electromagnetics (VLF-EM) e radiomagnetotelluric-Resistivity (RMT-R) no estudo de Aquíferos Cársicos do Alentejo e do Algarve. 4º Congresso da Água, Lisboa, 1998.

- Casal Moura, A., Grade, J., Ramos, F., Ferreira, N., 1995. Aspectos metodológicos do futuro e caracterização de maciços graníticos tendo em vista a sua exploração para a produção de rochas ornamentais e industriais. *Boletim de Minas*, vol. 32, nº 1, Lisboa.
- Currier, L.W., 1960. Geologic appraisal of dimension-stone deposits: U.S. Geological Survey Bulletin 1109, 78 p.
- García, E.O., 1996. Investigación de Yacimientos. In *Manual de Rocas Ornamentales – Prospección, explotación, elaboración y colocación* (Jimeno, C. L. ed.), pp. 139-174. Entorno Grafico, S. L., Madrid.
- Harben, P., Purdy, J., 1991. Dimension stone evaluation: from cradle to gravestone. *Industrial Minerals*, February, pp. 47-61.
- ISRM, 1978. Suggested methods for the quantitative description in rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, vol 15, nº 6, pp. 319-368.
- Jimeno, C.L., 1996. *Manual de Rocas Ornamentales*. Entorno Grafico, S. L., Madrid, 696 p.
- Langer, W.H., 2001. Construction Materials, Dimension Stone. In: Buschow K H J, Cahn R W, Flemings M C, Ilshner B, Kramer E J, Mahajan S (eds). *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, Volume 1. Elsevier, Oxford, pp. 1546-1550.
- Luís, A.G., 1995. Caracterização, avaliação e simulação da blocometria de um jazigo de mármore. Tese de Mestrado em Mineralurgia e Planeamento Mineiro. Univ. Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Manuppella, G., Carvalho, J.M.F., Machado, S., Henriques, P., Quartau, R., Casal Moura, A., Grade, J., 2000. Estudos Geológicos de Caracterização do Recurso “Brecha” Algarvia. Relatório Interno IGM, Alfragide, 37 p.
- Matheron, G., 1970. La théorie des variables regionalisées et ses applications. *Les Cahiers du CGMM*. Fontainebleau. Paris. 212 p.
- Müller, I., Carvalho Dill, A., 1996. Advances on electromagnetic prospecting to survey shallow aquifers and contaminated sites. *International Congress on Environment and Climate*, Roma.
- Muñoz de la Nava, P. M., Escudero, J.R., Suarez, I.R., Romero, E.G. Rosa, A.C., Moles, F.C., Martinez, M.G., 1989. Metodologia de investigación de rocas ornamentales: granitos. *Boletín Geológico y Minero*, Vol. 100, nº 3, pp. 129-149.
- Pereira, H. G., 1979. Introdução às variáveis regionalizadas. *Técnica* 451/452, Lisboa, pp. 89 – 96
- Selonen, O., Luodes, H., Ehlers, C., 2000. Exploration for dimensional stone – implications and examples from the Precambrian of southern Finland. *Engineering Geology*, 56, pp. 275-291.
- Shadmon, A., 2005. Stone Absolute (By any other name). *LITOS*, 78(May/June).
- Smith M.R., 1999. *Stone: Building stone, rock fill and armourstone in constuction*. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 16.

- Turberg, P., Muller, I., 1992. La méthode inductive VLF-EM pour la prospection hydrogéologique en continu du milieu fissure. Ann. Sci. Univ. Besançon, Mém. H. S. 11, pp. 207-214.
- Vintém, C., Sobreiro S., Henriques, P., Falé P., Saúde J., Luís G., Midões, C., Antunes C., Bonito N., Dill A. C. & Carvalho, J.M.F., 2003. Cartografia Temática do Anticlinal como Instrumento de Ordenamento do Território e Apoio à Indústria Extractiva. Relatório interno do Instituto Geológico e Mineiro e Cevalor para AIZM – “Acção Integrada da Zona dos Mármore” (FEDER) do Eixo Prioritário 2 Programa Operacional Regional do Alentejo 2000-2006, Vol. 2 – Fase A, 99 p.