

ALGUNS INDICADORES GEOLÓGICOS E AMBIENTAIS INDISPENSÁVEIS AO REORDENAMENTO DA ACTIVIDADE EXTRACTIVA - O caso do Anticlinal de Estremoz

Carla MIDÕES

Geóloga, Dpt de Hidrogeologia do INETI, carla.midoes@ineti.pt*

Patrícia FALÉ

Engª Minas, Dpt. de Prospeção de Rochas e Minerais Não Metálicos do INETI, patricia.fale@ineti.pt*

Paulo HENRIQUES

Geólogo, Dpt. de Prospeção de Rochas e Minerais Não Metálicos do INETI, paulo.henriques@ineti.pt*

Carlos VINTÉM

Geólogo, Dpt. de Prospeção de Rochas e Minerais Não Metálicos do INETI, carlos.vintem@ineti.pt*

** INETI - Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação.
Apartado 7586, 2720- 866 Alfragide, +351.21.4705538*

O Anticlinal de Estremoz situa-se, em Portugal, na região do Alentejo, encerra um grande centro da actividade extractiva de mármore denominado Zona dos Mármore e faz parte de um importante sistema aquífero, o sistema aquífero de Estremoz-Cano. Esta zona apresenta portanto alguns condicionalismos geológicos e ambientais e uma desorganização do espaço devido ao material não comercializado e acumulado em escombreliras, que a tornam uma área preferencial para o estudo de metodologias que auxiliem o reordenamento do sector extractivo. Tendo em mente a necessidade de compatibilização da actividade mineira com a preservação ambiental nas políticas de ordenamento territorial, surge um projecto desenvolvido pelo Ex-IGM e o Cevalor em 4 unidades de ordenamento, integradas na Área Cativeira da Zona dos Mármore definida no PROZOM. Este projecto pretendeu criar uma ferramenta de apoio à gestão que tenha em atenção a compatibilização da actividade mineira com a preservação ambiental nas políticas de ordenamento territorial.

Nesta comunicação serão apresentados alguns indicadores geológicos e hidrogeológicos, (obtidos na UNOR2 – Borba), imprescindíveis ao reordenamento das explorações de mármore permitindo a melhoria do uso e organização do espaço, a protecção do ambiente e o aumento da qualidade de vida das populações.

Palavras-Chave: Anticlinal de Estremoz, risco geoeconómico, hidrogeologia, reordenamento, indústria extractiva.



1. INTRODUÇÃO

O Anticlinal de Estremoz (figura 1) situado em Portugal na região do Alentejo, está integrado na conhecida Zona de Ossa Morena – uma das principais unidades tectono-estratigráficas do orógeno hercínico que se desenvolveu entre o Devónico e o Carbónico (Ribeiro *et al.*, 1979; Oliveira *et al.*, 1991).

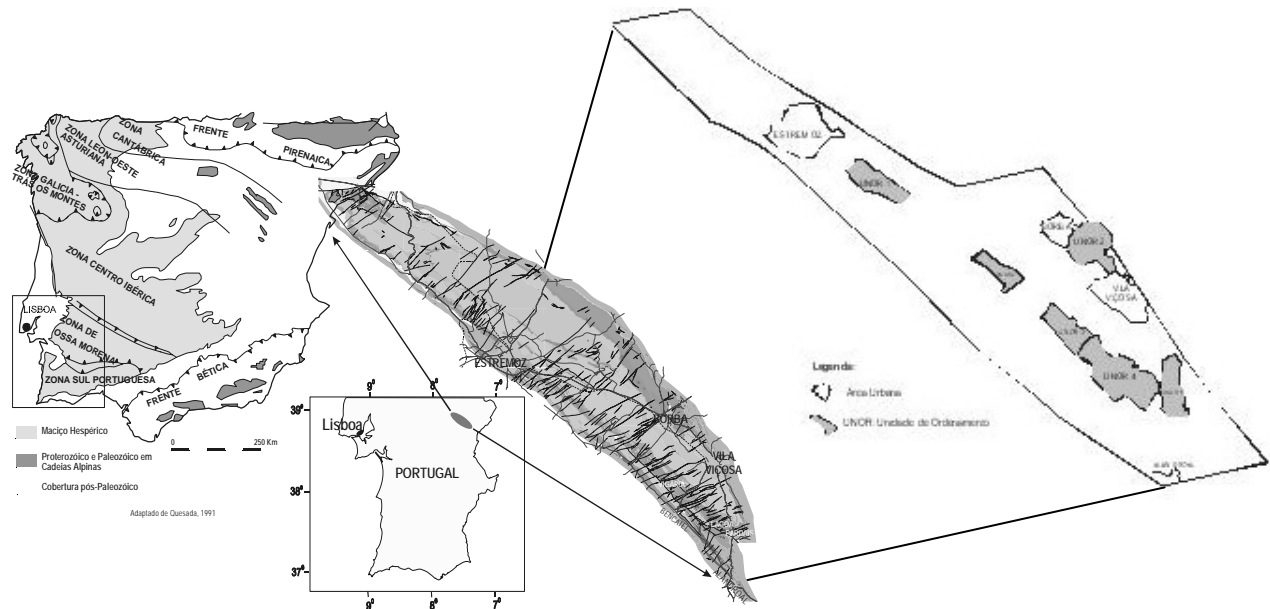


Figura 1 – Localização e enquadramento geológico do Anticlinal de Estremoz e localização das Unidades de Ordenamento da Zona dos Mármore definidas no PROZOM (Adaptado de Resolução do Conselho de Ministros nº 93/2002).

As unidades geológicas aflorantes nesta região são na sua grande maioria de origem sedimentar, o que faz prever que sejam litologicamente muito variadas, em consequência das variações dos materiais depositados, das condições de deposição e dos locais onde foram depositadas. Esta complexidade foi posteriormente aumentada pelas condições de evolução a que as rochas estiveram sujeitas ao longo dos tempos geológicos, sofrendo deformação e metamorfismo.

Apesar da grande diversidade litológica e do metamorfismo sofrido a região estudada constitui uma jazida de mármore com grande importância sócio-económica local e regional. Para além disto, o Anticlinal de Estremoz, enquadra também um importante sistema aquífero, o sistema aquífero Estremoz-Cano. Estamos pois perante uma região onde os condicionamentos geológicos e ambientais ditam a sustentabilidade da exploração do recurso mineral e influenciam a ocupação espacial desta região. Perante este cenário o Anticlinal de Estremoz constitui uma área preferencial para o estudo de metodologias que auxiliem o reordenamento do sector extractivo, tendo em mente a necessidade de compatibilização da actividade mineira com a preservação ambiental.

A partir da metodologia proposta pretende-se dar indicações sobre os condicionamentos geológicos e hidrogeológicos da região e dar resposta aos problemas levantados no que se refere ao uso e organização do espaço, nomeadamente ao nível do material não comercializado e acumulado em escombrelas.

Este projecto desenvolveu-se até ao momento em 4 unidades de ordenamento: UNOR 1 - CRUZ DOS MENINOS/GLÓRIA; UNOR 2 - CARRASCAL/ENCOSTINHA, UNOR 3 - VIGÁRIA/MONTE D'EL REI e UNOR 5 – PARDAIS (Figura 1).

2. ESTRATÉGIA METODOLÓGICA PARA O ORDENAMENTO DA ACTIVIDADE EXTRACTIVA

A estratégia delineada para responder aos problemas de ordenamento da região em causa engloba duas vertentes fundamentais: uma de carácter reactivo à situação existente e outra pró-activa. A primeira visa a caracterização da situação de referência dos centros produtores, com recurso à definição e selecção de indicadores relevantes em termos económicos, sociais e ambientais, com particular destaque para os indicadores de índole geológica e hidrogeológica porque são eles os mais relevantes face à actividade em questão e aos constrangimentos ambientais existentes. Com a segunda vertente pretende-se delimitar zonas com aptidão para a exploração e expansão da actividade extractiva, bem como zonas passíveis de serem aproveitadas para a implantação de pequenos pólos de apoio a esta indústria.

Através de Sistemas de Informação Geográfica, estruturou-se um modelo SIG em quatro etapas, de acordo com o fluxograma apresentado na figura 2. A primeira etapa, conducente à elaboração da **Carta de Risco Geoeconómico**, baseia-se na representação gráfica da informação relativa à aptidão do território para a produção de rochas ornamentais e que deriva de indicadores de índole geológica. Com a segunda etapa pretende-se elaborar **Cartas de Sensibilidade Ambiental** com base na representação gráfica da informação relativa à sensibilidade de indicadores ambientais, face aos impactes da indústria extractiva. A **Carta de Exclusão**, correspondente à terceira etapa, representa os constrangimentos legais existentes em termos de afectação territorial. Por fim, a quarta etapa corresponde a uma **Carta de Reordenamento** como proposta de afectação do espaço territorial em função do cruzamento dos dados das etapas anteriores.

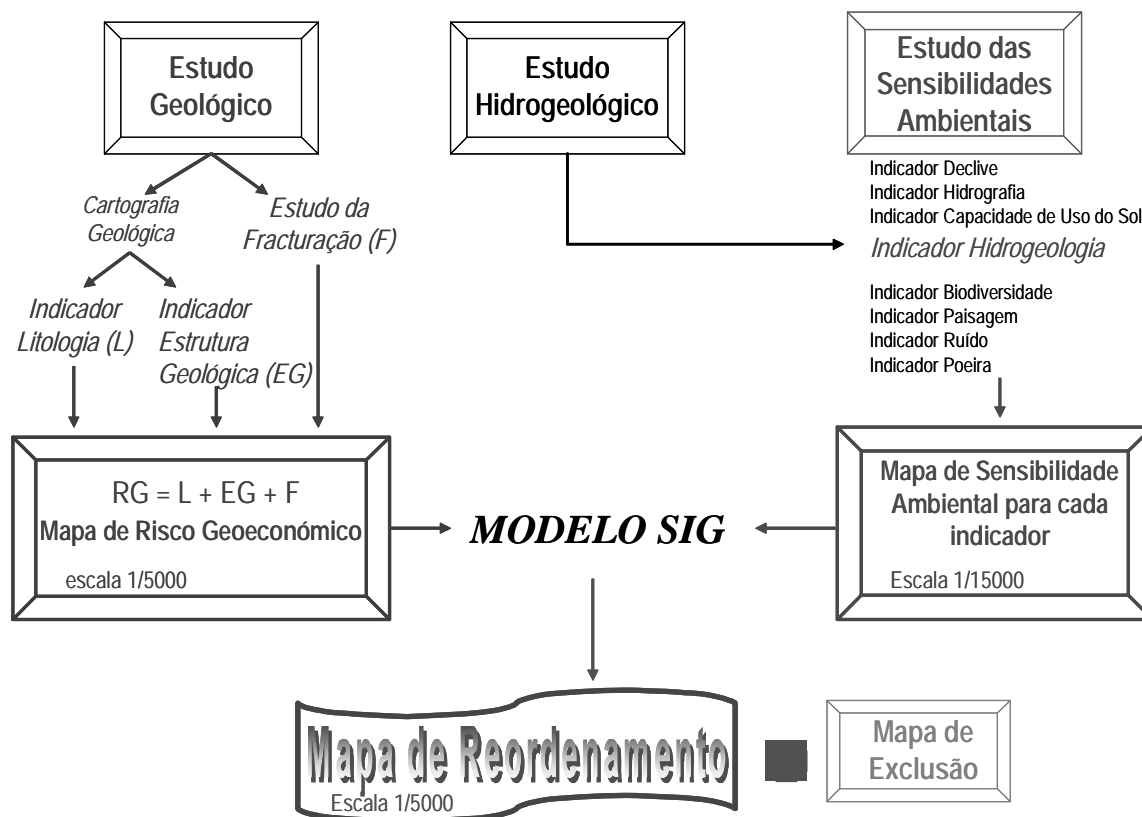


Figura 2 - Fluxograma do Modelo SIG aplicado no Anticlinal de Estremoz.

2.1 Indicadores geológicos

Os mármore explorados no Anticlinal de Estremoz integram-se no Complexo Vulcano Sedimentar Carbonatado de Estremoz (Oliveira *et al.*, 1991), cuja sequência litológica é caracterizada pela sucessão das seguintes unidades, da mais recente para a mais antiga (Figura 3):

- Metavulcanitos da base do complexo
- Mármore com intercalações de metavulcanitos
- Mármore
- Metavulcanitos do topo do complexo

No decorrer do estudo, tendo por base a cartografia de pormenor (escala 1:2000) e o aprofundar do conhecimento ao nível da disposição estrutural das diferentes litologias e da fracturação, optou-se por fazer uma divisão dos mármore, com base na sua natureza e cor (C. Vintém *et al.*, 2003):

- Mármore rosa*
- Mármore rosa muito vergados*
- Mármore rosa brechificado*
- Mármore branco e creme*
- Mármore branco e creme muito vergados*
- Mármore branco e creme brechificados*
- Mármore negro e azul*
- Mármore dolomitizados ("Olho de Mocho")*

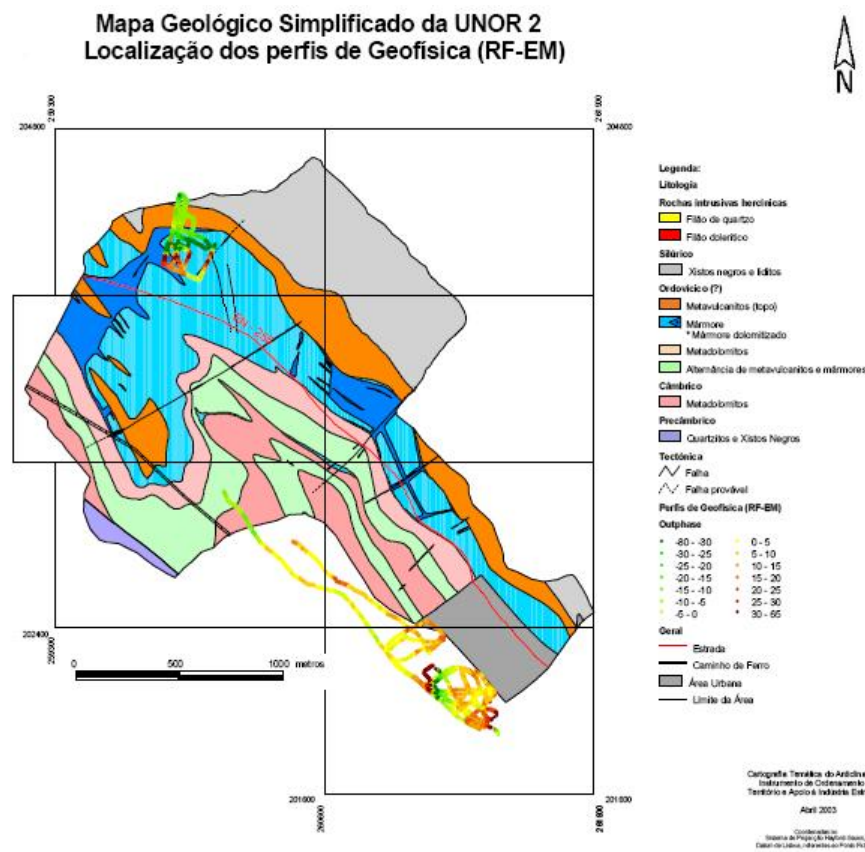


Figura 3 – Mapa Geológico simplificado da UNOR 2 . Localização dos perfis geofísicos realizados.

Dada a importância das especificidades que condicionam o valor comercial da rocha, os indicadores geológicos considerados foram aqueles que influenciam o campo de aplicação e modo de

fixação do material, bem como os condicionantes à exploração do recurso. Deste modo os indicadores escolhidos foram a litologia, a estrutura geológica e a fracturação (Figura 4).

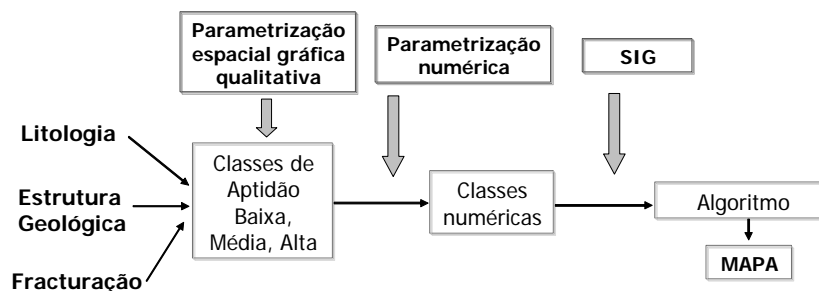


Figura 4 - Metodologia utilizada no tratamento dos indicadores geológicos considerados com vista à elaboração da carta de risco geoeconómico.

2.1.1 Indicador litologia

Este indicador distingue em primeiro lugar, as zonas onde existe mármore das que não o têm. Nas áreas com mármore este foi classificado em função do grau de pureza e cor, de acordo com as observações “in situ”.

Da aplicação destes critérios, resultou uma representação cartográfica, figura 5, onde os mármore foram classificados com boa, média e má aptidão. As áreas classificadas sem aptidão são todas aquelas em que não há ocorrência de mármore:

Tabela 1 - Classificação do indicador Litologia. Adaptado de C. Vintém *et al.*, 2003.

Classes	Formações
Boa aptidão	Mármore Rosa; Mármore Branco e Creme
Média aptidão	Mármore Rosa, com algumas vergadas; Mármore Branco e Creme, com algumas vergadas
Má aptidão	Mármore Branco e Creme, muito vergado; Mármore Branco e Creme, brechificado; Mármore Rosa, muito vergado; Mármore Rosa, brechificado; Mármore Negro / Azul
Sem aptidão	Mármore Dolomitizado, de grão grosseiro; Filão Dolerítico; Filão de Quartz; Xistos Negros e Liditos (Silúrico); Metavulcanitos (Silúrico); Metavulcanitos (Complexo Vulcano-Sedimentar Carbonatado (Ordovício?)); Metadolomitos (Cámbrico); Quartzitos e Xistos Negros (Pré-Cámbrico)

(Estas unidades temáticas fazem parte do Complexo Vulcano-Sedimentar Carbonatado, uma das unidades litoestratigráficas do Anticlinal de Estremoz.). Adaptado de C. Vintém *et al.*, 2003.

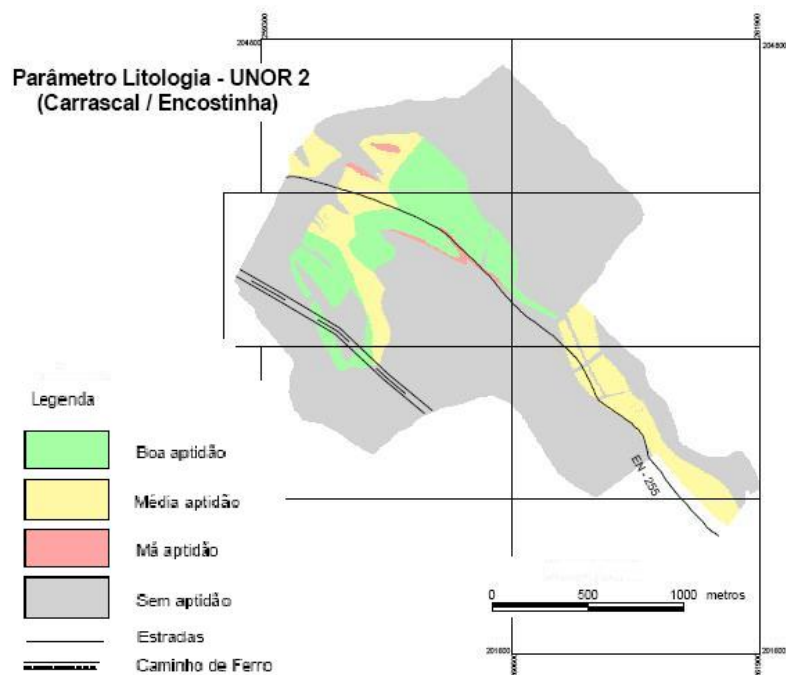


Figura 5 – Indicador litologia. UNOR 2- Borba. Adaptado de C. Vintém *et al.*, 2003.

2.1.2 Indicador Estrutura Geológica

A disposição estrutural de qualquer unidade litológica é um dos factores que permite definir a aptidão dessa unidade para a exploração de rochas ornamentais (Figura 6).

O Anticlinal de Estremoz foi afectado por diversas fases de dobramento, pelo que conhecimento estrutural da região é fundamental para o melhor aproveitamento dos mármore. Assim, para o indicador Estrutura Geológica a avaliação assentou nas seguintes estruturas:

- Zonas de charneira de dobra anticlinal
- Zonas de charneira de dobra sinclinal
- Zonas de flanco normal de dobra
- Zonas de flanco inverso de dobra
- Zonas de mármore dolomitizado de grão grosseiro resultante do dobramento

Tabela 2 - Classificação do indicador Estrutura Geológica. Adaptado de C. Vintém, 2003.

Classes	Estrutura
Boa Aptidão	- Camadas de atitude constante - Espessuras elevadas - Charneiras de dobras anticlinais - Ocorrência de mármore até profundidades elevadas
Média Aptidão	- Estratos inclinados em flanco normal - Espessura média
Má Aptidão	- Estratos bastante inclinados em flanco inverso - Espessura reduzida
Não Aplicável	- Locais onde não há ocorrência de mármore

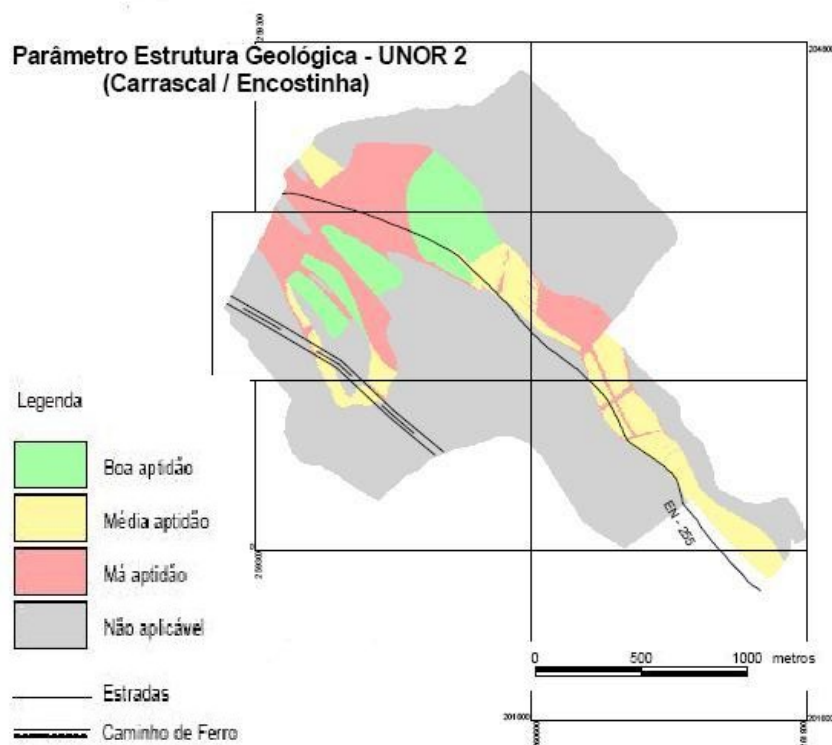


Figura 6 – Indicador estrutura-geológica. UNOR 2 – Borba. Adaptado de C. Vintém *et al.*, 2003.

2.1.3 Indicador Fracturação

A fracturação que caracteriza o Anticlinal apresenta variações consideráveis de local para local. Cada núcleo de exploração regista especificidades, no respeitante às famílias de fractura existentes, aos espaçamentos médios, etc. A variação espacial das características da fracturação da jazida nas diferentes zonas em estudo foi avaliada recorrendo a métodos geoestatísticos (Luís e Sousa, 1998), em particular, analisando a variação do número de fracturas por unidade de comprimento, ou seja, a densidade linear de fracturação (d.l.f.).

Este indicador é classificado em *zonas pouco, medianamente ou muito fracturadas*. Uma vez que não foi possível recolher dados para a área total das UNORes, por inacessibilidade a algumas pedreiras ou inexistência de afloramentos, criou-se a classe “*zona não estimada*” atribuindo-se-lhe o mesmo peso da classe “*zona muito fracturada*”, uma vez que estas áreas podem ser, na pior das hipóteses, caracterizadas como zonas muito fracturadas (Figura 7).

Por exemplo para a área de Borba a classificação do parâmetro foi a seguinte:

Tabela 3 - Classificação do indicador Fracturação. Adaptado de C. Vintém *et al.*, 2003

Densidade Linear de Fracturação (nº de fracturas / metro)	Classificação
0,43 – 1,30	Zona pouco fracturada
1,30 – 2,18	Zona medianamente fracturada
2,18 – 3,05	Zona muito fracturada
3,05 – 6,5	Zona não estimada

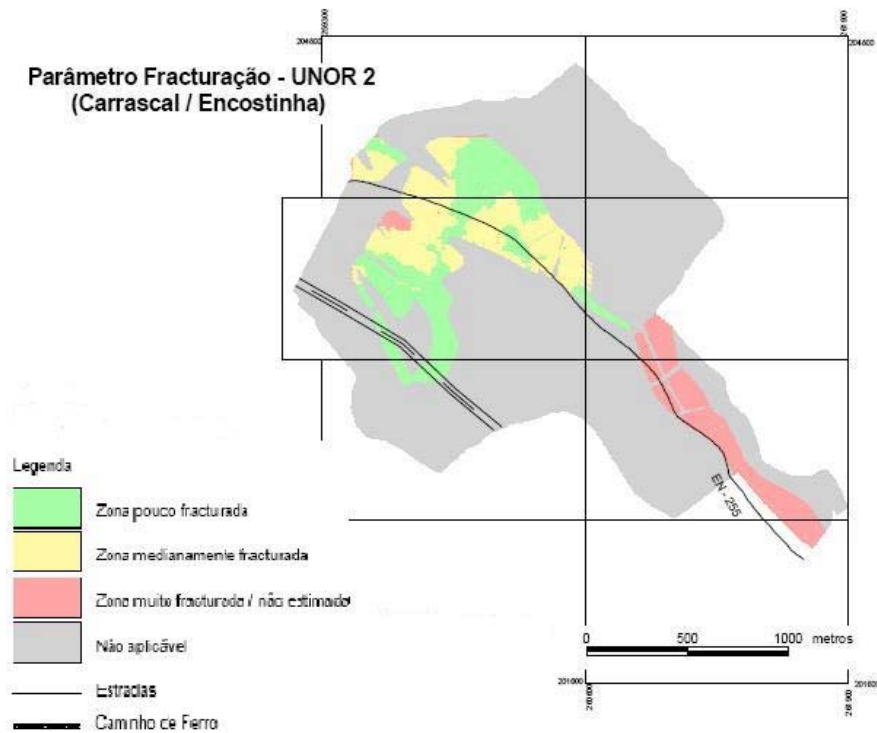


Figura 7 – Indicador fracturação. UNOR 2 – Borba. Adaptado de C. Vintém *et al.*, 2003.

Depois da caracterização de cada indicador e definição das classes foram atribuídos, após várias simulações, valores de ponderação para cada classe, de modo a estes traduzirem da melhor forma a realidade em função dos conhecimentos de campo e das explorações existentes. Na tabela seguinte apresentam-se os valores obtidos.

Tabela 4 – Indicador, Litologia, Estrutura Geológica, Fracturação e respectivas classes e valores ponderados. Adaptado de C. Vintém *et al.*, 2003.

Indicador	Referência	Classes	Valores
LITOLOGIA	(L)	Sem aptidão	20
		Má aptidão	5
		Média aptidão	3
		Boa aptidão	0
ESTRUTURA GEOLÓGICA	(E)	Não aplicável	20
		Má aptidão	10
		Média aptidão	5
		Boa aptidão	1
FRACTURAÇÃO	(F)	Não aplicável	20
		Zona não estimada	6
		Zona muito fracturada	6
		Zona medianamente fracturada	4
		Zona pouco fracturada	2

A classe "não aplicável" é aquela que se usa para definir as zonas onde não existe mármore.

2.1.4 Classes de Risco Geoeconómico

Realizada a ponderação para cada classe dos indicadores geológicos referidos, procedeu-se ao cruzamento de toda a informação através da aplicação da seguinte fórmula:

$$\text{RISCO GEOECONÓMICO (RG)} = L + E + F$$

Deste modo, foi possível elaborar cartas capazes de caracterizar as diferentes susceptibilidades de aproveitamento económico dos mármore, apresentando-se na tabela 5 os intervalos definidos para a classificação das diferentes áreas.

Tabela 5 - Intervalos definidos para o Risco Geoeconómico. Adaptado de C. Vintém *et al.*, 2003.

RG ₁	DEFINIÇÃO
3 < RG < 7	Baixo Risco Geoeconómico
7 < RG < 12	Médio Risco Geoeconómico
12 < RG < 21	Alto Risco Geoeconómico
21 < RG < 60	Zonas sem interesse

Em função da subjectividade inerente à interpretação geológico-estrutural, os limites dos intervalos definidos para o Risco Geoeconómico, resultam da soma das classes equivalentes dos diferentes indicadores podendo, no entanto, algum dos intervalos abarcar mais do que uma classe de forma a assegurar os resultados o mais próximo possível da realidade.

Através da conjugação destes três indicadores foi possível seleccionar os melhores locais para a exploração de rochas ornamentais (Figura 8).

As zonas que correspondem às classes de baixo e médio risco geoeconómico são aquelas que preferencialmente serão usadas para a exploração do recurso, ou seja, para a abertura de novas pedreiras ou expansão das existentes. As zonas classificadas com alto risco são as que, em termos de litologia, estrutura e fracturação, apresentam características que não permitem um rendimento e exploração adequada do recurso. Assim, caso existam pedreiras inactivas nestas áreas dever-se-á estudar a hipótese de as recuperar, elaborando para tal um plano de requalificação ambiental. Por fim as zonas classificadas sem interesse para a exploração poderão vir a ser utilizadas como zonas de implantação de unidades de transformação e deposição de escombros, desde que não existam outro tipo de condicionalismos.

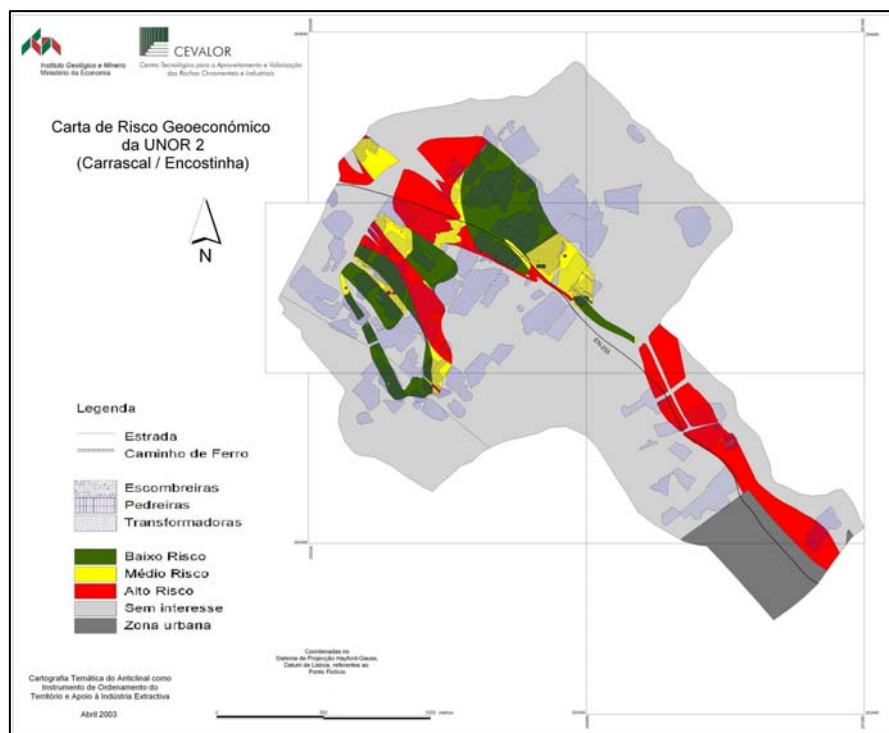


Figura 8 –Carta de Risco Geoeconómico da UNOR 2-Borba. Adaptado de C. Vintém *et al.*, 2003.

2.2 Indicadores ambientais / Hidrogeologia

Os indicadores ambientais pretendem caracterizar a área em estudo do ponto de vista ambiental e dar a conhecer os impactes provocados pela exploração de mármore. Deste modo, segundo critérios de significância em relação à indústria em causa, foram considerados os indicadores: vegetação/biótopos, declives, capacidade de uso do solo, hidrografia, paisagem, ruído, poeiras e hidrogeologia. Dada a especificidade e importância sócio-económica para a região, o indicador Hidrogeologia foi alvo de estudo mais desenvolvido, sendo apresentado nesta comunicação.

Para além de uma das mais importantes jazidas de rocha ornamental, o Anticlinal de Estremoz enquadra também um importante sistema aquífero, o Sistema aquífero Estremoz-Cano. Este assume extrema importância sócio-económica para a região, sendo responsável pelo abastecimento público das populações e pelo abastecimento agro-industrial.

O estudo associado ao descritor ambiental hidrogeologia teve como objectivo caracterizar a situação de referência em termos da hidrodinâmica e hidroquímica, e determinar o grau de vulnerabilidade hidrogeológica associada às formações presentes na UNOR.

2.2.1 Caracterização hidrogeológica

A caracterização hidrogeológica das Unores compreendeu a aplicação de várias técnicas e metodologias. Uma das técnicas utilizada foi a prospecção geofísica, através do método electromagnético RF-EM (*Radio Frequency Electromagnetics*). Este método baseia-se na utilização de ondas de rádio de baixa frequência que detectam anomalias electromagnéticas que podem corresponder a falhas, contactos litológicos, condutas naturais de água subterrânea e paleocanais (Carvalho *et al.*, 1998). Na figura 3 está representada a localização dos perfis geofísicos efectuados na UNOR 2. A utilização deste método no maciço carbonatado de Estremoz, permitiu identificar falhas, filões, fracturas e cavidades cársticas (Figura 9).

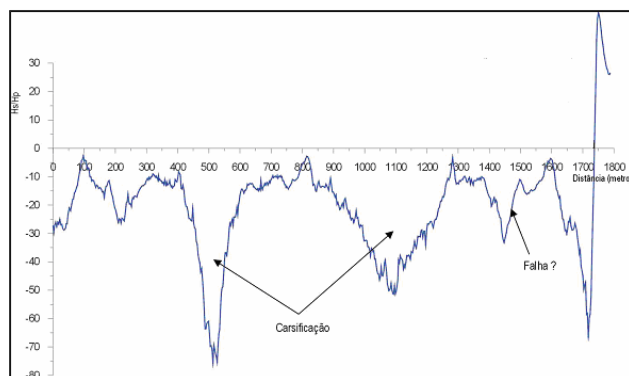


Figura 9 - Exemplo de um perfil efectuado na UNOR 2. Adaptado de C. Vintém *et al.*, 2003.

Os resultados fornecidos pela prospecção geofísica e o reconhecimento geológico de superfície possibilitaram a selecção criteriosa de locais para a execução das sondagens de prospecção hidrogeológica. Nestas sondagens foram realizados ensaios de bombagem com ar comprimido (*Air-Lift*), tendo-se estimado os valores de transmissividade do aquífero nos diferentes troços ensaiados. Os dados obtidos vêm corroborar a elevada heterogeneidade deste sistema do ponto de vista hidráulico, sugerindo um funcionamento sectorizado por blocos mais ou menos independentes (Midões, 1999).

Neste estudo procedeu-se ainda à medição do nível piezométrico (NP), que constitui uma variável muito importante para o conhecimento do funcionamento hidráulico dos aquíferos. A partir do conhecimento do NP é possível tirar algumas ilações quanto ao sentido de fluxo, gradiente hidráulico, áreas de recarga e descarga e assim definir as áreas mais vulneráveis à poluição.

Nas áreas analisadas, há que ter em conta a existência de variação piezométrica, provocada pela extracção de água subterrânea devido à exploração de rocha ornamental (Midões, 1999).

Após a selecção dos pontos de água a monitorizar, foram realizadas várias campanhas de medição piezométrica. Através da análise dos NP, foi possível determinar a tendência geral do sentido de fluxo da água subterrânea e prever o sentido de propagação de um eventual poluente derramado. A figura 10 reflecte os resultados obtidos na UNOR 2, onde o sentido de escoamento subterrâneo faz-se de SW para NE, ou seja, na direcção do bordo do flanco NE do anticlinal.

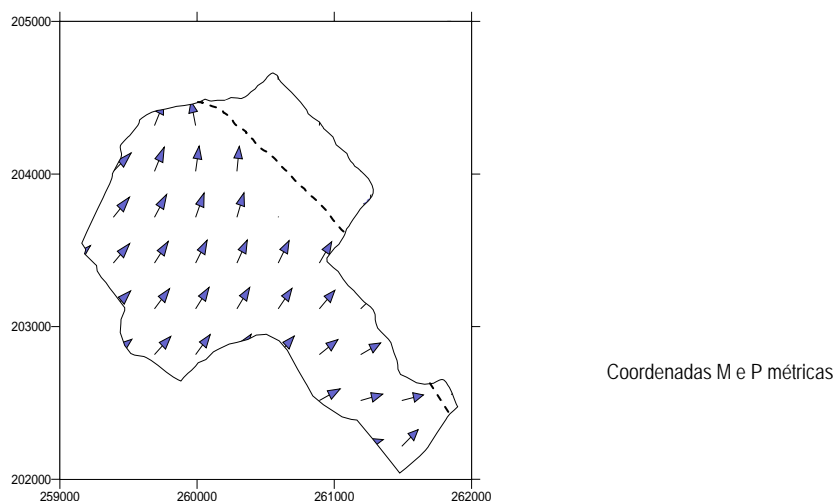


Figura 10 - Sentidos de fluxo da água subterrânea na UNOR 2. Adaptado de C. Vintém *et al.*, 2003.

2.2.2 Caracterização hidroquímica

Fácies Hidroquímica

As características hidroquímicas das águas subterrâneas captadas no anticlinal de Estremoz estão de acordo com o contexto litológico regional, ou seja são águas duras apresentando uma fácies bicarbonatada cálcica a calco-magnésiana (Figura 11).

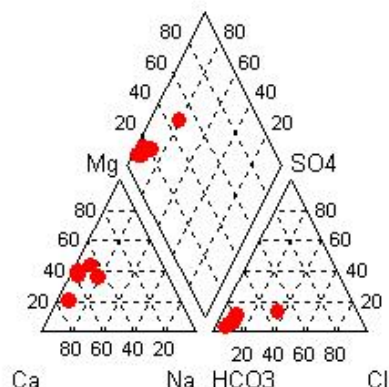


Figura 11 – Diagrama de PIPER.



Figura 12 – Aspecto de uma pedra alagada na região de Estremoz.

Qualidade da água subterrânea em pedreiras alagadas

Nas UNOR'S, a actividade extractiva acumulou um enorme passivo em termos ambientais, verificando-se a existência de inúmeras pedreiras abandonadas ou desactivadas, que necessitam de ser recuperadas devido aos riscos potenciais que estas representam para os recursos hídricos subterrâneos. Esta situação torna-se preocupante no caso das pedreiras alagadas, que intersectaram o nível freático (Figura 12). Para avaliar a qualidade da água nas pedreiras abandonadas, foram efectuadas diversas análises físico-químicas e microbiológicas que permitiram fazer uma primeira avaliação dos elementos contaminantes existentes, que condicionam a utilização desta água e/ou comprometem os recursos hídricos subterrâneos. Os resultados obtidos e de acordo com o decreto-Lei nº 243/01, de 5 de Setembro, permitiram verificar que o VMR é ultrapassado no que se refere à: turvação, germes 22°C, germes 27°C, zinco e ferro; sulfatos, cloretos e condutividade eléctrica e o VMA é ultrapassado pelo teor em: coliformes totais, estreptococos fecais e fenois.

Perante estes dados verifica-se que estas águas apresentam má qualidade em especial a nível microbiológico, relacionada possivelmente com acções antrópicas tais como a deposição de lixo, acumulação de águas residuais, materiais derivados do alcatrão etc.

2.2.3 Vulnerabilidade Hidrogeológica

A vulnerabilidade no caso dos sistemas aquíferos cársicos está intimamente relacionada com a permeabilidade das formações que os constituem e com a existência de solo de alteração subjacente. Este tipo de aquíferos, pode apresentar três tipos de permeabilidade: primária, associada aos poros da rocha que suporta o aquífero, permeabilidade secundária, associada às fracturas e juntas que foram alargadas por dissolução e a permeabilidade terciária, que ocorre em carsos bem desenvolvidos onde existem condutas integradas de dimensões superiores às das fracturas (Jesus, M., 1995).

A presença de solo de alteração pode retardar o contacto dos poluentes com a zona saturada através da redução da velocidade de percolação vertical e de funcionar como uma zona de protecção

onde ocorrem vários processos físico-químicos e biológicos, capazes de controlar a progressão dos poluentes e evitando que estes atinjam o aquífero.

No caso específico do aquífero de Estremoz, aquífero cársico, a propagação dos contaminantes é de um modo geral muito rápida uma vez possui uma capacidade de absorção e filtração muito baixa, originando um tempo de residência muito curto.

Segundo o Mapa de Vulnerabilidade de Portugal Continental o sistema Aquífero de Estremoz-Cano foi classificado como pertencendo à Classe V1, o que corresponde um risco à contaminação Alto (INAG, 2001). A partir do grau de permeabilidade das formações presentes nas UNORS foram criadas classes de vulnerabilidade hidrogeológica que reflectem a maior ou menor potencialidade destas atenuarem uma eventual situação de contaminação (Figura 13). Desta forma pretende-se dar indicações sobre os graus de vulnerabilidade hidrogeológica verificados em cada UNOR contribuindo para um maior conhecimento das áreas e para a minimização dos riscos associados às actividades que ali se desenvolvem.

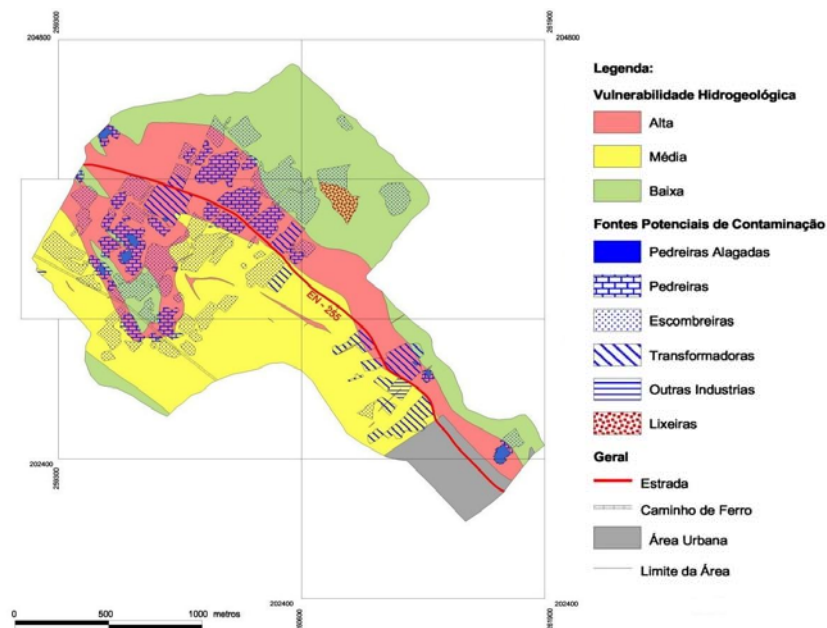


Figura 13 – Mapa de Vulnerabilidade Hidrogeológica da UNOR 2 . Adaptado de C. Vintém *et al.*, 2003.

2.3 Sensibilidade Hidrogeológica

Após a caracterização geral do indicador ambiental *Hidrogeologia*, foi necessário avaliar a sensibilidade hidrogeológica relativamente aos impactos negativos a que estes recursos poderão estar sujeitos. A metodologia utilizada fundamentou-se na determinação da profundidade do nível piezométrico relativamente à superfície topográfica, correspondendo as zonas de sensibilidade hidrogeológica mais elevada, aquelas que apresentam o NP mais próximo da superfície.

Nesta avaliação foram utilizados os dados piezométricos relativos ao período de "águas altas". Trata-se do período mais desfavorável, tanto para a actividade extractiva dos mármore, implicando por vezes a realização de acções de bombagem para rebaixar o nível freático e manter a seco as áreas de trabalho, como sob o ponto de vista da protecção dos recursos hídricos, que ficam neste período, mais vulneráveis à contaminação.

Tendo em conta as observações registadas, consideraram-se três classes de sensibilidade hidrogeológica (Figura 14):

- **Muito Alta** quando o nível piezométrico está acima da topografia, é o que se verifica em quase todas as áreas de pedreiras;

- **Alta** - quando o nível piezométrico coincide com a topografia ou se encontra até 60 metros abaixo desta;
- **Média** - quando o nível piezométrico encontra-se a uma profundidade superior a 60 metros abaixo da superfície topográfica.

Os limites considerados na definição dos intervalos adoptados são subjectivos e obviamente discutíveis, tendo sido seleccionados após a ponderação dos seguintes factores:

- A profundidade média atingida nas pedreiras é de 60 metros;
- A profundidade máxima do nível de água nas leituras efectuadas;
- O grau de fracturação diminui com a profundidade.

Na UNOR 2 os afloramentos constituídos por xistos negros do Silúrico e os xistos do Pré-Câmbrico foram considerados como tendo uma sensibilidade média, uma vez que correspondem a formações de baixa produtividade que não fazem parte do sistema aquífero Estremoz-Cano.

A figura seguinte corresponde à representação cartográfica das classes de sensibilidade ambiental definidas para a UNOR 2.

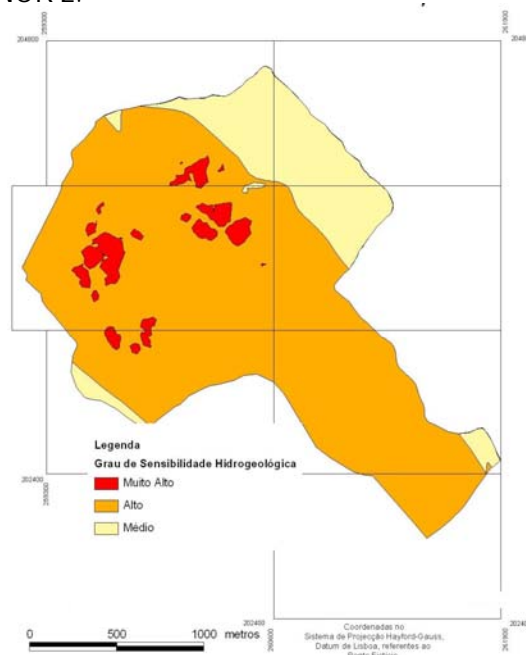


Figura 14 –Carta de Sensibilidade Hidrogeológica da UNOR 2 . Adaptado de C. Vintém *et al.*, 2003.

2.4 Carta de zoneamento de exclusão

O reordenamento de uma zona de indústria extractiva passa, ainda, pela aplicação de perímetros de protecção onde, por lei, não pode existir actividade extractiva. Por aplicação destes critérios de exclusão, de acordo com o artigo 4º do Decreto-Lei 270/2001 de 6 de Outubro, elaborou-se uma Carta de Zonamento de Exclusão à escala 1/15000, para cada núcleo produtor (Figura 15), no sentido de fornecer informação útil para a abertura de novas explorações ou alargamento de áreas de corta, a qual se irá sobrepor à Carta de Reordenamento.

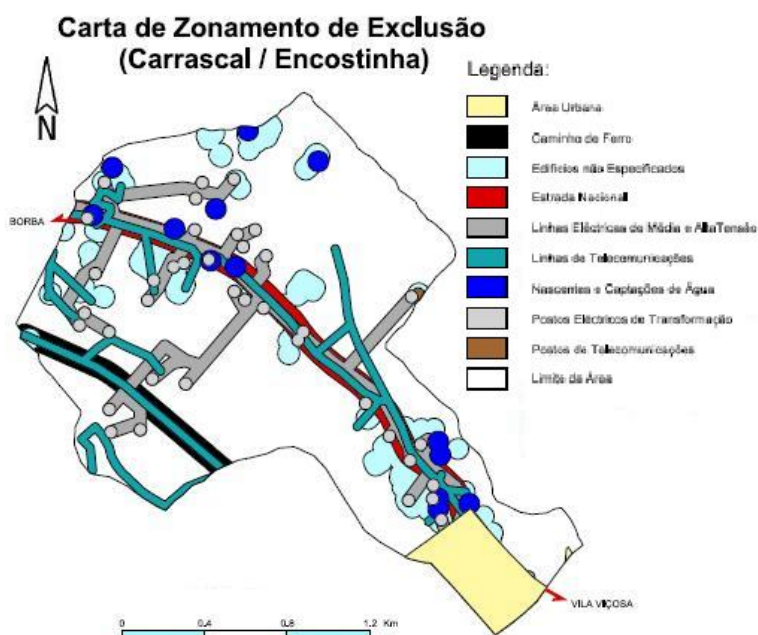


Figura 15 – Carta de Zoneamento de Exclusão da UNOR 2-Borba. Adaptado de C. Vintém *et al.*, 2003.

2.5 Proposta para o reordenamento da actividade extractiva

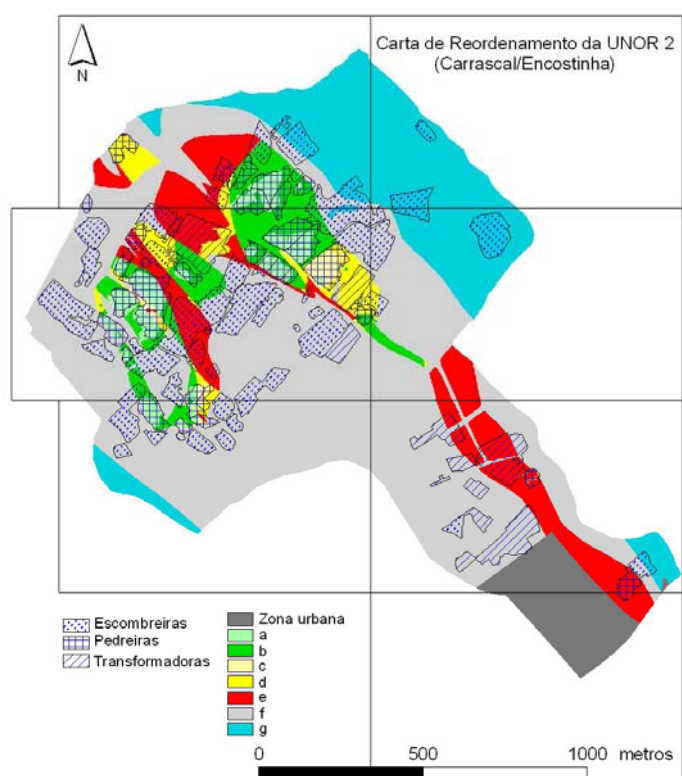
Com o objectivo de obter uma Carta de Reordenamento das áreas estudadas, cruzou-se a informação da Carta de Risco Geoeconómico com a Carta de Sensibilidade Ambiental do Indicador Hidrogeologia. Para tal, a metodologia proposta baseia-se na construção de uma matriz que soma os valores das classes definidas no risco geoeconómico e no indicador ambiental, de acordo com a figura 16.

		Sensibilidade Ambiental		
		Baixo condicionalismo	Médio condicionalismo	Alto condicionalismo
RGE	-	Zonas favoráveis à exploração	b	a
		Zonas medianamente favoráveis à exploração	d	c
	+	Zonas desfavoráveis à exploração – zonas para recuperar	e	e
		Sem interesse para a exploração mas outros usos possíveis	Sem interesse para a exploração mas outros usos possíveis g	Sem interesse f

Figura 16 – Matriz para o Reordenamento da Actividade Extractiva. (As letras correspondem à legenda da Carta de Reordenamento, da figura 17).

Este processo possibilita uma representação gráfica de áreas favoráveis ou desfavoráveis à exploração de rochas ornamentais, com ou sem condicionalismos hidrogeológicos, bem como de zonas sem aptidão para a exploração do recurso ornamental. No caso de existirem pedreiras abandonadas ou inactivas nas zonas sem aptidão, estas serão consideradas como passíveis de recuperação. As zonas sem interesse para a exploração e sem elevados condicionalismos hidrogeológicos poderão ser utilizadas para actividades complementares à indústria extractiva.

A aplicação desta metodologia no caso concreto da UNOR 2, permitiu a elaboração da Carta de Reordenamento que se apresenta na figura 17. Esta proposta metodológica aplica-se a qualquer indicador (ou conjunto de indicadores) que seja relevante para a área em estudo.



- a) Zonas favoráveis à exploração mas com altos condicionalismos hidrogeológicos
- b) Zonas favoráveis à exploração com condicionalismos hidrogeológicos
- c) Zonas medianamente favoráveis à exploração mas com altos condicionalismos
- d) Zonas medianamente favoráveis à exploração com condicionalismos hidrogeológicos
- e) Zonas desfavoráveis à exploração e onde existe pedreiras passíveis de serem recuperadas
- f) Zonas sem interesse para a exploração - outros usos possíveis mas com altos condicionalismos hidrogeológicos
- g) Zonas sem interesse para a exploração - outros usos possíveis e médios condicionalismos hidrogeológicos

Figura 17 - Carta de Reordenamento da UNOR 2. Adaptado de C. Vintém *et al.*, 2003.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As metodologias e trabalhos apresentados tiveram como objectivo final a obtenção de uma *Carta de Reordenamento* das áreas estudadas cruzando-se através de um Sistema de Informação Geográfica a informação da Carta de Risco Geoeconómico com a Carta de Sensibilidade Ambiental do indicador Hidrogeologia. Para tal, a metodologia utilizada baseou-se na construção de uma matriz que soma os valores das classes definidas no Risco Geoeconómico e no indicador ambiental

Hidrogeologia. Da matriz resultaram áreas favoráveis ou desfavoráveis à exploração dos mármore e com condicionalismos hidrogeológicos, bem como zonas sem aptidão para a exploração do recurso mármore e onde existem pedreiras abandonadas ou inactivas, portanto, passíveis de ser recuperadas.

A indústria extractiva está influenciada por um variado número de factores, estando a região em causa dependente, acima de tudo, da existência e acessibilidade aos recursos de mármore para fins ornamentais. A carta de Risco Geoeconómico elaborada acarreta de modo inovador uma mais valia aos industriais, uma vez que a informação disponibilizada permite a identificação pontual das zonas preferenciais para o alargamento e expansão da actividade extractiva.

A hidrogeologia da região constitui uma condicionante importante no planeamento, ordenamento e recuperação da unidade em estudo. Tendo em conta que a qualidade das águas subterrâneas é susceptível de ser afectada pelas actividades relacionadas com a indústria extractiva e que quando se verifica a sua contaminação esta é, geralmente, persistente e a recuperação da sua qualidade muito lenta e complicada, é importante estabelecer normas e/ou restrições que garantam a sua protecção, num quadro de desenvolvimento económico eficiente, equilibrado e sustentável.

Apesar da grande vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos o cumprimento das regras e boas práticas de pesquisa mineira e das normas de segurança no transporte, utilização e armazenamento de substâncias perigosas, minimizariam grande parte dos riscos a que estes estão sujeito. Trata-se de uma situação onde é particularmente importante a gestão integrada dos vários recursos, combinando a optimização e o prolongamento da exploração dos Mármore com a minimização significativa dos impactos ambientais provocados pela actividade de extracção.

Estudos deste tipo constituem uma ferramenta de apoio à gestão dos recursos, sensibilizando e documentando as entidades com poder de decisão para soluções economicamente vantajosas, para os diferentes sectores da região em geral e para as populações em particular.

4. BIBLIOGRAFIA

CARVALHO DILL, A.; MÜLLER, I.; COSTA, A. M.; MONTEIRO, J.P., (1998) – “Importância do uso de métodos geofísicos electromagnéticos Very Low Frequency Electromagnetics (VLF-EM) e Radio Magnetotelluric – Resistivity (RMT-R) no estudo de aquíferos cársicos do Alentejo e do Algarve”, 4º Congresso da Água, Lisboa (Portugal).

INAG (2001) – Plano Nacional da Água – Introdução, caracterização e diagnóstico da situação actual dos recursos hídricos, vol. 1.

JESUS, Mª DO ROSÁRIO (1995) - Contaminação em Aquíferos Carbonatados na Região de Lisboa-Sintra-Cascais. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 135p.

LUÍS, A. G. & SOUSA, A. J. (1998) – Simulação Geoestatística de Redes de Fracturas Aplicação à Avaliação da Blocometria de um Jazigo de Mármore, Comun. Inst. Geol. e Mineiro, Tomo 85, Lisboa, pp. 117 – 137.

MIDÕES, C., (1999) - Contribuição para o conhecimento hidrogeológico das formações carbonatadas paleozóicas do Anticlinal de Estremoz. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 155p.

OLIVEIRA, J.T., OLIVEIRA, V. & PIÇARRA, J.M. (1991) – Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa Morena, em Portugal: síntese crítica do estado actual dos conhecimentos. *Comun. Serv. Geol. Portugal, Tomo 77*, pp. 3-26.



RIBEIRO, A., ANTUNES, M.T., FERREIRA, M.P., ROCHA, R.B., SOARES, A.F., ZBYSZEWSKY, G., MOITINHO DE ALMEIDA, F., CARVALHO, D. & MONTEIRO, J.H. (1979) – Introduction à la géologie générale du Portugal. pp. 114. Serviços Geológicos de Portugal.

VINTÉM, C., SOBREIRO, S., HENRIQUES, P., FALÉ, P., SAÚDE, J., LUÍS, G., MIDÕES, C., ANTUNES, C., BONITO, N., DILL, AC. & CARVALHO, J. (2003) - Cartografia Temática do Anticlinal como Instrumento de Ordenamento do Território e Apoio à Indústria Extractiva. Relatório Interno de Instituto Geológico e Mineiro e CEVALOR para "AIZM – Acção Integrada da Zona dos Mármore (FEDER), Eixo Prioritário 2 do PORA – Programa Operacional Regional do Alentejo 2000-2006".

