

## Os Xistos como Recurso. O caso de Trás-os-Montes e Alto Douro

### *Schist as resource. The example of Trás-os-Montes and Alto Douro*

Noronha, F.<sup>1</sup>, Aires, S.<sup>1</sup>, Carvalho, C.<sup>2</sup>, Ramos, J.F.<sup>2</sup>, Moura, C.<sup>2</sup>, Moura, R.<sup>1</sup>, Sant'Ovaia, H.<sup>1</sup>, Ramos, V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Geologia da Universidade do Porto; <sup>2</sup> Laboratório Nacional de Energia e Geologia, S. Mamede de Infesta  
fmnoronh@fc.up.pt; silviayres@hotmail.com; cristina.carvalho@ineti.pt; farinha.ramos@ineti.pt; casal.moura@ineti.pt;

rmoura@fc.up.pt; hsantov@fc.up.pt; violeta.ramos@fc.up.pt

#### Resumo

A abundância de afloramentos de xisto nas regiões do Nordeste e Centro de Portugal fizeram desta rocha, no passado, um material de construção comum. Apresentam-se os principais resultados do projecto I&D financiado pela FCT, que teve como objectivo a caracterização geológica, petrográfica, química e tecnológica das ocorrências de xisto no NE Portugal e deste modo contribuir para promoção das rochas xistentas como um recurso geológico.

Palavras-chave: rochas xistentas, inventariação, NE Portugal.

#### Abstract

The abundance of schist outcrops in the Northeast and Centre regions of Portugal made schist, in the past, a common building material. We present the main results of a R&D project financed by FCT aiming the geological, mineralogical, petrographical and technological characterization of the schist occurrences in NE Portugal and so contributing for the promotion of schistose stones as a resource.

*Key-words:* schistose stones, inventory, NE Portugal.

#### Introdução

Até às primeiras décadas do século XX, o xisto foi importante como material de construção, principalmente, nas regiões Nordeste e Centro de Portugal, devendo-se esta distribuição geográfica a questões naturais de ordem geológica. Os xistos possuem excelentes propriedades e características físicas, químicas e mecânicas tais como: impermeabilidade, incombustibilidade, alto grau de inalterabilidade (cor, textura, composição), resistência mecânica, durabilidade, flexibilidade e capacidade isolante (térmica e eléctrica), que os convertem num elemento de primeira ordem para o uso na construção, decoração e obra civil. Se associarmos a estas propriedades a sua beleza, facilidade de colocação e o seu baixo custo, obtemos um dos melhores materiais de construção. Os xistos podem ter características que permitem o seu aproveitamento como rocha ornamental ou industrial. O projecto FCT "SCHISTRESOURCE - Xistos como recurso. Sua caracterização e avaliação como rocha ornamental e/ou material de construção" teve como objectivo primordial o aumento do conhecimento dos recursos geológicos de Trás-os-Montes e Alto Douro (TOM-AD) e em particular dos seus "Xistos" dadas as repercussões económicas e sociais que pode ter o seu aproveitamento.

A zona alvo, para a implementação do projecto, o Nordeste de Portugal, e mais concretamente a região de TOM-AD, pois é caracterizada pela abundante

ocorrência de diferentes tipos de rochas xistentas, do soco Varisco.

#### Enquadramento Geológico

O Noroeste da Península Ibérica é constituído quase inteiramente por terrenos Pré-paleozóicos e Paleozóicos, que vão desde o Pré-câmbrico ao Pérmico. A distribuição e as fácies deste domínio do NO peninsular permitem dividi-lo em várias zonas, que podem ser definidas como unidades mais ou menos alargadas paralelas à direcção da cadeia. Em termos de litologia, o NO Peninsular é constituído, no essencial, por dois tipos de rochas: granito e metassedimentos.

Os metassedimentos aparecem em formações geológicas antigas, que vão desde o Pré-Câmbrico superior ou Câmbrico inferior ao Devónico e formaram-se a partir de sedimentos preexistentes, que foram deformados e afectados por metamorfismo orogénico.

Os metassedimentos são por isso frequentes, mas só uma pequena parte pode ou poderá vir a ser utilizada como rocha ornamental. A estrutura geológica, a intensidade de deformação, o grau de metamorfismo da rocha e o estado de fracturação do maciço rochoso são importantes para a explorabilidade e o rendimento, podendo determinar a rentabilidade ou não da jazida.

Os metassedimentos mais adequados possuem granularidade fina e podem ser facilmente

laminados. Para tal, estes metassedimentos ocorrem em formações geológicas que sofreram metamorfismo regional de baixo grau, na fácies dos xistos verdes e fraca deformação.

As ocorrências estudadas, geologicamente localizam-se na zona mais interna do orógeno Varisco distribuindo-se por duas zonas paleogeográficas e tectónicas: a Zona Centro-Ibérica (ZCI) e a Zona de Galiza Trás-os-Montes (ZGTM).

Os terrenos metamórficos aflorantes podem ser distribuídos por três grandes domínios estruturais: Terrenos autóctones; Terrenos parautoctones e Terrenos alóctones (Pereira, 2000).

A zona Galiza Trás-os-Montes distingue-se da zona Centro-Ibérica pela presença de maciços compostos de rochas com alto grau de metamorfismo e com composição predominantemente básica e ultrabásica com uma história tectónica e metamórfica complexa e por isso consideradas como maciços polimetamórficos e pela ausência de formações pertencentes ao "Complexo xisto-grauvácico"

A. Ribeiro (1974) caracterizou estratigraficamente, em Trás-os-Montes Oriental, a zona exterior e a zona interior ao grande cavalgamento transmontano cujas fácies agrupou naquilo que designou por Domínio do Douro inferior e Domínio Transmontano, respectivamente; o Domínio Transmontano subdividiu-o ainda em unidade centro-transmontana e unidade peritransmontana, cada uma delas bem caracterizada estratigraficamente. Para o subdomínio Peritransmontano, descreveu uma sequência à qual atribuiu uma idade silúrica e que pode esquematizar-se do seguinte modo:

PT 1- Xistos inferiores; PT 2- Grés quartzíticos inferiores, associados a ampelitos, liditos, metavulcanitos ácidos e rochas calcossilicatadas; PT 3- Complexo de xistos, grauvaques e grés impuros; PT 4- Grés quartzíticos superiores; PT 5- Xistos superiores; PT 6- Xistos e grauvaques culminantes. Pereira (2006) e Pereira & Ribeiro (2006) consideraram a região transmontana caracterizada por um empilhamento de unidades alóctones separadas entre si por carreamentos e separadas do conjunto de Unidades Parautoctones também por um carreamento. Estas unidades podem, por sua vez, ser agrupadas em unidades tectonoestratigráficas denominadas Terrenos. Em Trás-os-Montes oriental regista-se, assim, um empilhamento de unidades que de topo para a base são: Terreno Alóctone Continental ou Terreno polimetamórfico representado pelo Complexo Alóctone Superior, Terreno Ofiolítico ou Complexo Alóctone Intermédio, pelo Complexo Alóctone inferior ou Complexo de Unidades Centro-Transmontanas e ainda pelo Terreno Ibérico, este integrando Unidades Parautoctones, Sub-Autoctones e Autoctones. As unidades parautoctones consistem essencialmente em rochas do Paleozóico Inferior (Ordovício

Superior a Devónico) e apresentam características litoestratigráficas similares às unidades autóctones, embora apresentem maior espessura (Ribeiro, 1974). O Sub-Autoctone apresenta grandes afinidades litoestratigráficas com o autoctone do Domínio do Douro Inferior.

Se se considerar a estratigrafia proposta por Ribeiro (1974), temos que o Peritransmontano inclui as Unidades agora designadas por Parautoctones; o Centro-Transmontano é correspondente às Unidades do Alóctone Inferior e aos Maciços de Morais e Bragança (representados pelo Complexo Alóctone Superior e Terreno Ofiolítico ou Complexo Alóctone Intermédio) e que ao Domínio do Douro inferior correspondem as Unidades Sub-Autoctones e Autoctones.

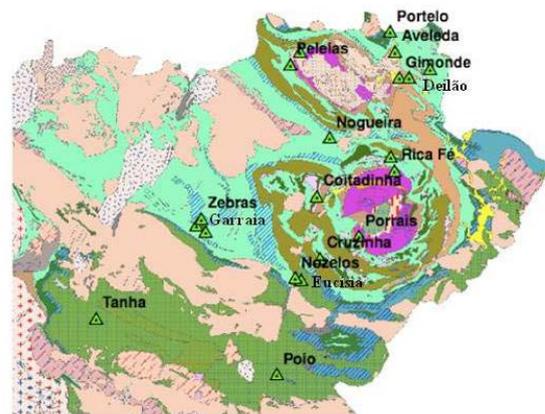


Fig.1 – Localização dos locais seleccionados para estudo (adaptado da Carta Geológica de Portugal à escala 1:500.000, 1992).

### Descrição das actividades

#### *Trabalho de campo e planeamento*

Procedeu-se ao reconhecimento geológico de manchas de formações xistentas já definidas na cartografia geológica publicada e disponível (1/200.000 e 1/50.000), dando prioridade aos locais explorados nos últimos anos através de métodos artesanais. Foram seleccionados 23 sítios para serem estudados (Figura 1 e Tabela 1), representativos não só dos diferentes terrenos metamórficos aflorantes, distribuídos por três grandes domínios estruturais, como das diferentes formações metassedimentares.

Aproveitou-se o trabalho de campo de reconhecimento para observar além das formações xistentas, outro tipo de rochas, nomeadamente rochas verdes deformadas, que apesar de não serem xistentas poderão constituir recurso geológico explorável como rocha industrial.

A distribuição dos casos estudados por tipo de rochas e tendo já em conta os estudos petrográficos e geoquímicos, foi a seguinte:

(i) Complexo Autoctone: Complexo Xisto-Gräuavácico” (CXG) - Formação da Desejosa-Eucísia, Nozelos e Poio; “CXG - Formação do Pinhão- Tanha; “Ordovício- Formação de

Pardelhas”- Pardelhas; (ii) Complexo Parautóctone - Formação dos Quartzitos superiores- Garraia, Zebras e Nogueira; Formação Pelito Grauváquica- Palheiros; (iii) Complexo Sub-autóctone: Formação

de Gimonde- Gimonde e Aveleda; Formação Supra-quartzítica- Deilão e Formação Infra-quartzítica- Portelo; (iv) Complexo Alóctone: Unidades Centro-Transmontanas- Cruzinha.

Tab.1 – Localização geográfica dos sítios seleccionados

	Distrito	Concelho	Freguesia	Lugar
Eucísia	Bragança	Alfândega da Fé	Eucísia	Eucísia
Nozelos	Bragança	Torre de Moncorvo	Adenha	Nozelos
Tanha	Vila Real	Peso da Régua	Vilarinho dos Freires	Alvações de Tanha
Poio	Guarda	Vila Nova de Foz Côa	Vila Nova de Foz Côa	Pedreiras do Poio (Canada do Inferno)
Pardelhas	Vila Real	Mondim de Basto	Pardelhas	Alto do Covelo
Garraia	Vila Real	Murça	Palheiros	Serra da Garraia
Zebras	Vila Real	Valpaços	Vales	Zebras
Nogueira	Bragança	Macedo de Cavaleiros	Espadanedo	Nogueira
Palheiros	Vila Real	Murça	Palheiros	Palheiros
Gimonde	Bragança	Bragança	Gimonde	Gimonde
Aveleda	Bragança	Bragança	Aveleda	Gimonde
Deilão- A.P.	Bragança	Bragança	Deilão	Alto das Pedreiras (Vila Meã)
Portelo	Bragança	Bragança	França	Portelo
Cruzinha	Bragança	Alfândega da Fé	Alfândega da Fé	Cruzinha

No mapa da figura 1, estão assinalados os locais dos sítios seleccionados estando esses locais georreferenciados e fazendo parte de uma base de dados tipo SIG.

#### *Cartografia geológica e amostragem*

Procedeu-se à cartografia geológica e estrutural dos sítios seleccionados. Identificação das principais estruturas dúcteis e frágeis com eventual influência no comportamento mecânico do xisto pois pode condicionar a sua utilização como rocha ornamental. Os mapas elaborados contêm essencialmente informações litológicas e estruturais. Em complemento foram constituídos ficheiros relativos às características estruturais (estratificação, xistosidades e sistemas de fracturação) e feito o respectivo estudo estatístico.

Em relação a cada sítio foi elaborada uma ficha da qual consta a informação relativa à caracterização da exploração com referência às atitudes da estratificação e de outras anisotropias existentes. Da ficha constam diagramas de frequência relativos aos principais sistemas de fractura.

#### *Estudos laboratoriais*

No laboratório procedeu-se ao estudo petrográfico químico e tecnológico dos diferentes tipos de litologias.

#### *Estudos petrográficos e Análises químicas*

A caracterização petrográfica e mineralógica no presente projecto baseou-se na descrição macroscópica do tipo de rocha na determinação das suas propriedades petrográficas, donde a realização

dos diferentes estudos: mineralógicos e petrográficos em lâminas delgadas recorrendo à microscopia de luz polarizada (MLP). Estes estudos foram complementados, em alguns casos, por difracção de raios X (DRX) e microscopia electrónica de varrimento (MEV) e estudos petrofísicos, com medidas de ASM (com Kappabridge).

As análises químicas dos elementos maiores e de alguns oligoelementos permitiram uma melhor classificação das diferentes litologias e complementaram o estudo petrográfico.

As características petrográficas e mineralógicas, bem como as características químicas, constam de fichas referentes a cada caso estudado. Os resultados das análises químicas de elementos maiores e de elementos menores constam, também da respectiva ficha.

#### *Estudos de ASM*

Foram efectuados estudos de Anisotropia da Susceptibilidade Magnética (ASM) em vários tipos de formações xistentas e em particular na maior Pedreira produtora de “Xisto do Poio” em Vila Nova de Foz Côa, uma vez que oferecia melhores condições de acessibilidade para o trabalho de amostragem. Realizaram-se vários furos orientados com uma sonda portátil.

#### *Ensaio físico-mecânicos*

O conhecimento das características das rochas ornamentais é necessário para se poder dar a cada uma o uso mais adequado. É preciso prever o seu

comportamento uma vez colocada em obra e quando submetida a esforços, à acção dos agentes atmosféricos, à actividade humana e ao passar do tempo.

A avaliação das características obtém-se submetendo as amostras da rocha a uma série de ensaios que directa ou indirectamente fornecem elementos sobre a sua resistência mecânica e sempre tendo em conta o uso que se lhe pretende dar.

A selecção dos ensaios a executar sobre uma determinada pedra natural, deve ter sempre em consideração:

- o tipo de pedra natural;
- o tipo de aplicação (existem actualmente diversos produtos em pedra natural sujeitos a Marcação CE, regulamentada nas respectivas Normas de produto, no seu Anexo ZA;
- as condições ambientais do local onde a pedra natural vai ser aplicada.

Dada a natureza deste Projecto, executaram-se apenas os ensaios considerados de identificação de uma pedra natural. Assim, além do estudo petrográfico e das análises químicas, dos elementos maiores e traço procedeu-se à realização dos seguintes ensaios: Determinação da resistência à compressão; Determinação da resistência à flexão sob carga centrada; Determinação da densidade aparente e da porosidade aberta; Determinação da absorção de água à pressão atmosférica. A estes acrescentaram-se dois ensaios de envelhecimento acelerado, o primeiro tendo em conta uma das aplicações mais comuns para este tipo de rochas – pavimentos - e o segundo considerando, quer as condições climáticas prevaletentes no nosso país, quer a susceptibilidade destas rochas a este ensaio, face às suas características estruturais, texturais e mineralógicas: determinação da resistência ao desgaste e determinação da resistência ao envelhecimento por choque térmico.

#### *Avaliação do recurso*

Considera-se geralmente como recurso geológico qualquer massa de rocha ou mineral que contenha substâncias úteis susceptíveis de exploração em condições técnicas e económicas favoráveis.

Com a finalidade de avaliar os recursos geológicos existentes procedeu-se ao levantamento detalhado de todas as frentes de pedra e tendo em conta a área de expansão possível e uma escavação não superior a 5 metros abaixo do nível actual realizou-se o cálculo de reservas.

Como se sabe a velocidade de propagação das ondas sísmicas é um bom indicador das características mecânicas dos materiais e, por outro lado, perfis de refração sísmica, realizados numa determinada área, resultam em secções de velocidade de propagação sísmica ou seja numa distribuição bidimensional da velocidade. Procedeu-se à análise de espessura de alteração aceitando-se para tal a

velocidade de 800 m/s como um valor consensual para aquilo que se designa como solo e por isso foi este o valor adoptado.

Para a elaboração de um mapa com a distribuição geográfica dos pontos onde foram efectuados os ensaios de refração sísmica, recorreu-se ao software ArcGis. Através desta ferramenta foi possível intersectar os resultados dos dados sísmicos com a respectiva litologia.

A tarefa incluía ainda a concepção e desenvolvimento de uma base de dados geográficos, que incluirá todas as informações colhidas e utilizadas no projecto complementados por características locais que podem influenciar a interpretação dos resultados, compilados como mapas digitais (topografia, geologia, modelos digitais do terreno, inclinações, etc.) num Sistema de Informação Geográfica. Procedeu-se à elaboração de uma base SIG com a carta geológica de Portugal à escala 1:500.000 em formato vectorial. O Norte de Portugal surge ainda coberto pelo formato “raster” das Folhas 1 e 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200.000. As 23 pedreiras registadas pelo nome pelo qual são conhecidas estão guardadas num ficheiro que identifica ainda as suas coordenadas. Para melhor enquadramento das pedreiras, existe a cartografia da altimetria, e hidrografia principal de Portugal, acompanhada dos limites geográficos dos distritos, municípios e freguesias de Portugal na versão CAOP2008. Como apoio a esta cartografia, tem ainda em formato imagem a cartografia geológica à escala 1:50.000 e a cartografia militar à escala 1:25.000 das áreas das pedreiras estudadas. Por último resta salientar que este SIG permite observar as pedreiras em fotografia aérea fornecida pela ESRI em formato on-line (desde que o computador tenha acesso à internet).

#### **Principais resultados**

Foi importante determinar a relação entre deformação e metamorfismo, nomeadamente a sua intensidade e grau respectivamente, pois as implicações sobre as características das rochas exploráveis podem ser determinantes.

Considerando o elevado interesse económico que poderá ter a limitação de sectores pouco deformados nomeadamente nos Xistos do Autóctone do Complexo Xisto-Grauváquico, Grupo do Douro, foram levados a cabo levantamentos de campo tendo em vista a implementação de metodologias adequadas.

A deformação evidenciada nos metassedimentos do Complexo Xisto-Grauváquico - Grupo do Douro, mais concretamente na região do Alto Douro, caracteriza-se pela actuação de uma única fase de deformação, situação que aliás é comum à generalidade do autóctone da ZCI. A deformação está associada à D1 e apresenta um comportamento bastante homogéneo na generalidade do sector norte

do autóctone da ZCI. No que diz respeito à intensidade da deformação, verifica-se que D1 apresenta uma distribuição bastante heterogénea. Esta heterogeneidade traduz-se pela existência de sectores, onde os dobramentos são apertados, por outros que se caracterizam por dobramentos amplos ocorrendo as melhores explorações nessas áreas.

O sector escolhido para esta abordagem foi o da região entre Lamego e Peso da Régua, considerado favorável por se suspeitar haver a possibilidade da estrutura nessa região ser semelhante à de Vila Nova de Foz Côa. A selecção desse sector veio a revelar-se acertada pois os dados recolhidos revelaram uma estrutura semelhante à identificada nos trabalhos realizados mais a Este na Pedreira do Poio (Moreira et al. 2010).

A coexistência lateral de faixas pouco deformadas alternando com faixas onde a deformação é mais intensa, é de extrema importância a nível regional uma vez que as explorações de “xistos” do CXG estão, no essencial, localizadas nas faixas pouco deformadas, é o caso de Tanha e do Poio que são actualmente as explorações de maior dimensão para produção de xisto. As faixas mais deformadas limitam blocos onde a fraca deformação os torna propícios para a exploração como rocha industrial e/ou ornamental.

A análise petrográfica garantiu informações para avaliar o potencial de reactividade aos álcalis, conforme estabelecido em especificações diferentes. Com efeito a análise petrográfica das rochas xistentas pelíticas revelou a existência de várias formas de sílica que, segundo a recomendação RILEM AAR-1 (2003) e a especificação portuguesa LNEC E 461 (2007), são consideradas como sendo potencialmente reactivas aos álcalis presentes no cimento usado para o fabrico de betão. Entre estas formas de sílica encontram-se o quartzo altamente deformado, o quartzo recristalizado, crisptocristalino e microcristalino. Todas estas formas de sílica foram observadas em grande quantidade na grande maioria das amostras. Para além deste facto, o grão fino destes xistos contribui para o aumento da reactividade aos álcalis na medida em que concorre para um aumento da área de superfície total dos grãos de quartzo disponível para reacção (Wigum et al., 2000). A deformação patente nos filossilicatos pode, igualmente, contribuir para a reactividade aos álcalis (Kerrick and Hooton, 1992). Deste modo, o uso das rochas xistentas estudadas, tendo em vista o seu uso como agregado para betão, não é aconselhado.

A susceptibilidade magnética média encontrada foi de  $282 \times 10^{-6}$  SI. Este valor é compatível com um comportamento paramagnético das amostras de “Xisto do Poio”, devido à presença de silicatos

portadores de ferro, e indicando que a magnetite não está presente entre os minerais opacos acessórios.

O grau de anisotropia expresso pelo parâmetro  $P'$ , que relaciona a susceptibilidade máxima com a susceptibilidade mínima, é de 1,222 o que está de acordo com os valores encontrados por Hrouda (1982) para ardósias.

O parâmetro T (Jelinek, 1981) indicador da forma do elipsóide é de -0,664 o que indica um elipsóide de ASM com forma constricta (“prolate ellipsoid”) que é um reflexo da estrutura que estas litologias apresentam e já antes referida.

Os estudos geoquímicos constituíram um auxiliar importante na classificação das rochas estudadas que como referimos, apresentam uma granularidade muito fina. Os teores em elementos maiores, nomeadamente em  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e em elementos traço, como por exemplo V e Zr, permitem discriminar a abundância relativa das componentes pelítica e psamítica das “rochas xistentas”. Quanto maiores forem os teores em  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e V maior foi a componente argilosa envolvida, contrariamente ao que acontece com  $\text{SiO}_2$  e Zr que são mais abundantes quando a componente psamítica é mais abundante. A título de exemplo refere-se a geoquímica dos filitos de Tanha, Eucísia e Nozelos, o primeiro atribuído à Formação do Pinhão e os restantes à Formação da Desejosa.

Com efeito a exploração de Tanha está localizada na Formação do Pinhão em cartografia realizada por Sousa (1984), apesar de na exploração não serem observáveis níveis de xistos com cristais de magnetite que ocorrem na parte média da sequência (Sousa, 1982). Pode assim assumir-se que, dada a sua ausência, os xistos explorados são do topo da sequência.

Contudo, a composição química dos filitos de Tanha é idêntica à dos filitos explorados na Eucísia e em Nozelos e estes, na Folha 2 à escala 1/200.000 são considerados como pertencentes à Formação da Desejosa pelo que a pertencerem a esta formação estão na sua base dada a similitude geoquímica com os de Tanha. Porém, os xistos do Poio considerados como indubitavelmente pertencentes à formação da Desejosa são geoquimicamente diferentes do conjunto Tanha+Eucísia+Nozelos pelo que somos levados a crer que este conjunto pertence ao topo da Formação do Pinhão pelo menos sob o ponto de vista geoquímico. Com efeito os Xistos do Poio, que podem ser diferenciados em Xistos Amarelos e Xistos Azuis, são mais ricos em  $\text{SiO}_2$  (69,29 e 68,38 respectivamente) que os xistos de Tanha (60,78), Eucísia (59,2 a 60,68) e Nozelos (58,97). Estes últimos são também os que revelam teores mais altos em alumínio, 20,59, o que marca uma maior contribuição da componente pelítica, contra os teores mais baixos do Xisto do Poio Amarelo, 13,81

que é o mais silicioso e portanto com maior componente psamítica (silte silicioso). Na tabela 2 constam os resultados obtidos nos ensaios físico-mecânicos realizados para cada uma das amostras das litologias estudadas.

Da realização dos ensaios conclui-se que qualquer das rochas estudadas possui características para vários domínios de aplicação (Tabela 3).

Tab.2 – Resultados dos ensaios físico-mecânicos

	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à flexão (Mpa)	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Porosidade aberta (%)	Absorção de água (%)	Resistência ao desgaste Máquina de Capon (mm)	Resistência ao envelhecimento por choque térmico (%)
Eucízia 1	53	16,3	2520	9,3	1,2	26	-0,01
Eucízia 2	51	9,8	2670	3,9	1,6	24,5	0,09
Nozelos	78	40,1	2740	1,3	0,6	24,5	0,02
Tanha	110	42,9	2760	1,3	0,5	26,5	-0,01
Poio Am	136	45,5	2700	1,1	0,5	20	0,03
Poio Az	114	61	2760	0,4	0,2	22	0,02
Pardelhas	42	55	2800	0,3	0,1	17,5	n.d.
Garraia 1	150	35,6	2630	1,6	0,7	19	0,07
Zebras 1	89	29,6	2630	0,8	0,3	18,5	0,01
Zebras 2	87	37,7	2650	0,8	0,3	16,5	0,03
Nogueira	76	26,7	2570	3,6	1,4	21	0,02
Palheiros	213	35,2	2670	1,2	0,5	18,5	0,00
Gimonde	39	10,5	2510	5,6	2,3	31,5	0,13
Aveleda	221	33,3	2670	1,4	0,5	17,5	0,27
Deilão	60	27,4	2560	5,6	2,2	25,5	0,19
Portelo	31	77,6	2740	2,2	0,9	28,0	n.d.
Cruzinha	51	18,2	2880	1,5	0,6	21,5	0,02

Tab.3 – Utilizações mais recomendadas

	Alvenarias rústicas	Alvenarias resistentes/Pilares	Lintéis	Pavimentos	Revestimento de paredes	Coberturas <sup>1)</sup>
Eucízia 1	X	X ?		X (B)	X (I)	
Eucízia 2	X	X ?		X (B)	X (I)	
Nozelos	X	X	X	X (C)	X	
Tanha	X	X	X	X (A)		X
Poio Amarelado	X	X	X	X (E)	X	
Poio Azulado	X	X	X	X (C)	X	
Pardelhas	X	X	X	X (A)	X	X
Garraia 1	X	X		X (H)	X (I)	
Zebras 1	X	X		X (G)	X	
Zebras 2	X	X		X (I)	X	
Nogueira	X	X		X (F)		
Palheiros	X	X		X (G)	X	
Gimonde	X				X (I)	X ?
Aveleda	X	X	X	X (I)		
Deilão	X	X		X (B)	X (I)	X ?
Portelo	X			X (B)	X (I)	X
Cruzinha	X	X ?		X (E)	X	

Legenda: X- Possibilidade de utilização <sup>1)</sup> Sob a forma de placas mais ou menos espessas, excepto para a ardósia de Pardelhas que também é utilizável sob a forma de soletos X ?- Possibilidade de utilização com reservas.(1)- Interiores, de preferência. (A)- Tráfego fraco; (B)- Tráfego fraco, de preferência em interiores; (C)- Tráfego moderado; (D)- Tráfego moderado, de preferência em interiores; (E)- Tráfego forte a moderado; (F)- Tráfego forte a moderado, de preferência em interiores; (G)- Tráfego forte; (H)- Tráfego forte, com reservas para exteriores; (I)- Tráfego intenso; (J)- Tráfego intenso, com reservas para exteriores.

Pela prospecção sísmica verificou-se que a espessura de solo, até à velocidade de 800 m/s, para formações como xistos, grauvaques e quartzitos, atinge em

média profundidades menores do que a maioria das outras formações.

Através dos estudos de prospecção sísmica, realizados pôde concluir-se que o grau de alteração das rochas condiciona a velocidade de propagação das ondas sísmicas compressivas bem como a

espessura de materiais com velocidades baixas. Verificamos que as formações metassedimentares atingem espessuras, com velocidades de ondas compressivas até aos 800 m/s, menores em valor absoluto e menores em valor médio do que todas as restantes formações litológicas que analisamos na amostragem disponível. O valor médio de espessura de solo em formações metassedimentares situa-se nos 4,4m com um máximo de 9,3m e um mínimo de 1,1m.

### Conclusões

O projecto garantiu um aumento do conhecimento sobre as características estruturais, mineralógicas, petrográficas, petrofísicas, químicas e tecnológicas de XISTOS do interior do Norte de Portugal, o que permitirá promover a sua exploração e utilização para construção e como rochas ornamentais. Identificaram-se os principais factores que têm uma influência no comportamento mecânico do xisto condicionando a sua utilização como rocha ornamental ou industrial. Contribuiu-se para o conhecimento e caracterização das diferentes litologias e para mostrar como a relação entre deformação e metamorfismo, o grau de metamorfismo e a intensidade da deformação têm implicações nas características das rochas e no tipo e dimensão da exploração, bem como na identificação de novas áreas com recursos potenciais. Os resultados sobre o comportamento físico e químico dos xistos são fontes de novas informações para a comunidade científica com interesse.

A Indústria Mineira em Portugal foi perdendo, gradualmente, importância na economia nacional a partir da década de setenta do século passado. Entre os factores que contribuíram para o declínio no sector mineiro destacam-se: a descapitalização crescente que afectou o sector, a taxa de mecanização inadequada, o mau desempenho económico e a pequena dimensão das explorações, a subordinação da exploração aos sectores de transformação. Depois de um período de reconversão, está numa fase de lenta recuperação. Como os recursos minerais metálicos perderam a sua importância, principalmente a Norte do País, a mudança deveu-se à exploração de rochas e em particular de rochas ornamentais.

A situação actual da exploração mineira em Trás-os-Montes e Alto Douro (TOM-AD) está marcada por uma clara ruptura com a exploração de minerais metálicos e também do ferro, devido à concorrência de qualidade e preço dos minérios estrangeiros. O volfrâmio e o estanho trouxeram grandes benefícios, graças às suas cotações, até que em Outubro de 1985 a baixa brusca das cotações causou o colapso do mercado, arrastando para o fecho as minas e fundições. O mesmo destino já tinham tido os recursos de minerais de ferro.

A exploração de rochas industriais, que vinha tendo um crescimento constante, devido ao impulso dado pelos agregados (“inertes”) para a construção, sofreu um abrandamento do mesmo modo que aquele sector. O mesmo aconteceu ao quartzo industrial, utilizado para o fabrico de ferro-silício, feldspatos para a indústria cerâmica e o caulino para as indústrias do papel e cerâmica.

O futuro da Indústria Mineira em TOM-AD e em Portugal passa também pelo sector da pedra natural e rocha ornamental. O sector de rochas ornamentais tem adquirido nos últimos anos um grande dinamismo, e é agora o que traz uma maior produção de riqueza e de vendas.

A comunidade em geral pode aumentar o conhecimento sobre os recursos geológicos da região de TOM-AD. Espera-se que com a divulgação dos “Xistos de Trás-os-Montes e Alto Douro” junto das Autarquias locais e de empresas e organismos públicos ligados aos recursos geológicos possa vir a verificar-se o aumento do interesse por este “Recurso Endógeno”.

O projecto constituiu uma excelente oportunidade de estudar um Recurso Geológico e de divulgar o seu potencial. Como principais objectivos atingidos por este projecto temos: - um melhor conhecimento de um material abundante, o xisto; - redescoberta de um recurso geológico regional com potencial; - possibilidade de geração de valor acrescentado numa região economicamente desfavorecida do interior de Portugal.

### Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela FCT, PTDC/CTE-GIN/70704/2006, projecto “SCHISTRESOURCE - Xistos como recurso. Sua caracterização e avaliação como rocha ornamental e/ou material de construção”

### Referências Bibliográficas

- Dias, R., Coke, C. e Ribeiro, A. (2006). Da deformação na Serra do Marão ao zonamento do autóctone da Zona Centro Ibérica. Em: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. e Kulberg, J. (Eds.), *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria* (pp.35-61). Évora: Univ. Évora. ISBN: 972-778-094-6.
- Especificação LNEC E 461 (2007). “Betões. Metodologias para prevenir reacções expansivas internas”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, p. 6.
- Hrouda, F. (1982). Magnetic anisotropy of rocks and its application in geology and geophysics. *Geophys. Surv.* 5: 37-82.
- Jelinek, V. (1981). Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics* 79, 63-67.
- Kerrick, D., Hooton, R. (1992). “ASR of concrete aggregate quarried from a fault zone: results and petrographic interpretation of accelerated mortar bar tests”. *Cement and Concrete Research*, Vol. 22, 949-960.

Moreira, N., Burcio, M., Dias, R., Coke, R. 2010. Partição da deformação Varisca nos sectores de Peso da Régua e Vila Nova de Foz Côa (autóctone da zona Centro Ibérica). *Comunicações Geológicas*, t 97, pp. 147-162.

Pereira, E. (2000). Coordenador, Carta Geológica de Portugal à escala 1/200000, Folha 2, IGM.

Pereira (2006). Unidades metassedimentares. In. E. Pereira, coord. Carta Geológica de Portugal. Notícia Explicativa da Folha 2. 15-32

Pereira, E, Ribeiro, A. (2006). Unidades Alóctones. In. E. Pereira, coord. Carta Geológica de Portugal. Notícia Explicativa da Folha 2. 33-42

Ribeiro A., 1974. Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes Oriental. *Mem.Serv.Geol.Portugal*, N.S., 24: 168 pp.

Ribeiro, A., Pereira, E. & Dias, R. (1990). Structure in the Northwest of the Iberian Peninsula. In R.D. Dallmeyer & E. Martinez-Garcia (Eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, (pp. 220-236). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

RILEM AAR-1 (2003). "Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – Petrographic method". TC 191-ARP: Alkali-reactivity and prevention – Assessment, specification and diagnosis of alkali-reactivity, prepared by I. Sims and P. Nixon, *Materials and Constructions*, Vol. 36, 472-479.

Sousa, M. B. (1982). Litoestratigrafia e estrutura do Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico – Grupo do Douro (NE Portugal). Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra, 222 p.

Sousa, M. B., Sequeira, A. D., Coteló Neiva, J., Neiva, A. e Azevedo, M.. Colaboração de Ferreira, N. (1987). Folha 10-D (Alijó) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.

Wigum, B. J., Hagelia, P., Haugen, M. Broekmans, M.A.T.M. (2000). "Alkali aggregate reactivity of Norwegian aggregates assessed by quantitative petrography". In: Bérubé, M.A., Fournier, B., Durand, B. (Editors). *Proceedings of the 11th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, Québec, Canada, June 11-16, 533-542.