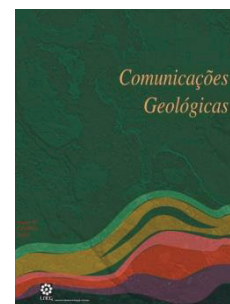


# Estudo de materiais rochosos carbonatados localizados nas áreas de Ançã e Souselas

## Carbonated rock study in Ançã and Souselas areas

Tobar-Torres<sup>1</sup>, P. S. Andrade<sup>2\*</sup>, F. P. Figueiredo<sup>2</sup>



Recebido em 05/03/2018 / Aceite em 16/12/2019

Publicado em agosto de 2020

© 2020 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP

Artigo original  
Original article

**Resumo:** Apresenta-se uma caracterização de calcários e margas carbonatadas localizadas nas áreas de Souselas e Ançã. Na primeira área o material rochoso enquadra-se na Formação de São Gião, pertence ao Toarciano, e corresponde a um conjunto margo-carbonatado. As litologias da segunda área enquadram-se nos Calcários de Ançã, de idade do Bajociano Inferior. Na caracterização dos maciços rochosos recorreu-se ao Rock Mass Rating (RMR). Efetuaram-se ensaios como a determinação da massa volúmica aparente, porosidade aberta, ensaio de desgaste em meio húmido, dureza, resistência à carga pontual, resistência à compressão uniaxial, velocidade de propagação de ultrassons e determinação de módulos de elasticidade dinâmicos. A porosidade das rochas carbonatadas de Souselas e Ançã varia, respetivamente, entre 7,4%, e 9,5%, e entre 11,1% e 14,3%. Os maciços rochosos das áreas estudadas são na sua maioria, de acordo com RMR, classificados como de qualidade mediana. Definiram-se as possíveis relações entre os resultados dos vários ensaios.

**Palavras chave:** Caracterização física, caracterização mecânica, calcários, margas, maciços rochosos.

**Abstract:** A study of limestone and marly limestone of Jurassic age, located in Souselas and Ançã areas, is carried out. Sousela's slope is located 8 km North of Coimbra, while Ançã's Slope is situated 4 km SE of Cantanhede. Sousela's slope is composed by marly limestone that belongs to São Gião Formation of Toarcian age. Ançã's Slope presents compact gray limestone with a layer thickness of 2 to 3 m, followed by white compact limestone with a layer thickness of 0.5 to 1 m, containing ammonites. Ançã's limestone is of Jurassic age and belongs to Lower Bajocian. Rock Mass Rating (RMR) was used to characterize the studied rock masses. Physical and mechanical characterization tests such as density, open porosity, hardness, durability, point load test, uniaxial compressive strength, and ultrasonic pulse velocity tests were carried out. Dynamic young moduli were also defined. Porosity of carbonated rock from Souselas and Ançã slopes, varies, respectively, between 7.4% and 9.5%, and between 11.1% and 14.3%. Longitudinal sonic pulse velocity (Vp) varies between 1883 m/s and 4554 m/s; and between 4360 and 4842 m/s, for Souselas and Ançã rock material, respectively. According to RMR results, the studied rock slopes are generally classified as fair, with values comprehended between 41 and 60. Possible relationships between the measured parameters were established. A linear and direct relation, with a correlation coefficient value of 0.7, was defined between velocity of longitudinal (Vp) and transversal (Vs) waves; and a correlation coefficient value of 0.5 was established between uniaxial compressive strength and velocity of the longitudinal (Vp) values.

**Keywords:** Physical characterization, mechanical characterization, limestone, marls, rock masses.

<sup>1</sup> Instituto de Investigación Geológica y Energética, Av. de la República E7-263 y Diego de Almagro - Edificio Sky, Planta baja, Quito, Equador.

<sup>2</sup> Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra, Rua Silvío Lima – Pólo II, 3030-790 Coimbra, Portugal.

\* Autor correspondente/corresponding author: pandrade@dct.uc.pt

## 1. Enquadramento geográfico e geológico

Os dois locais de estudo encontram-se na área central de Portugal (Fig. 1). O talude de Souselas situa-se a 8 km a N da cidade de Coimbra, enquanto o talude de Ançã (Tobar-Torres, 2017) após "localidade de Cantanhede. O material rochoso do talude de Souselas enquadra-se na Formação de São Gião (Azerêdo *et al.*, 2003), pertencente ao Toarciano e corresponde a um conjunto margo-carbonatado. As litologias do talude de Ançã pertencem aos Calcários de Ançã e apresentam estratos de 2 a 3 m de calcário micrítico de tonalidade cinzenta, seguido de calcários compactos de cor branca e micríticos cujos estratos têm uma espessura de 0,5-1 m. Os Calcários de Ançã enquadram-se no Bajociano inferior e apresentam cor branca, grão fino e estão ligeiramente meteorizados, com uma textura de deposição de transição entre wackstone a packstone segundo Dunham (1962).

## 2. Metodologia

Procedeu-se à utilização da classificação Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski (1989) e de acordo com Tobar-Torres *et al.* (2017). Para os materiais rochosos realizaram-se ensaios como: massa volúmica aparente (MVA) e porosidade aberta, ensaio de desgaste em meio húmido, ensaio de determinação de dureza através do martelo de Schmidt, resistência à compressão uniaxial, ensaio de resistência à carga pontual, velocidade de propagação de ultrassons e definição dos módulos de elasticidade. Averiguou-se ainda a possível existência de relações entre os resultados dos diferentes ensaios.

## 3. Aplicação da metodologia e considerações finais

Para o material rochoso de Souselas, definiram duas zonas (Souselas Z1 e Souselas Z2) e utilizaram-se 10 amostras de calcário

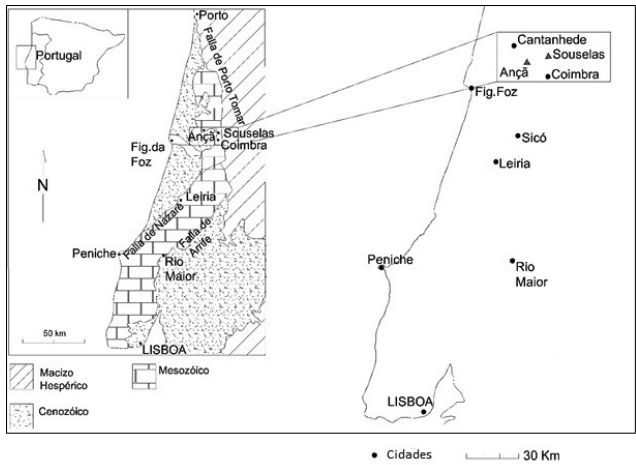


Figura 1. Locais de estudo (Souselas e Ançã).  
Figure 1. Location of study areas (Souselas and Ançã).

margoso. Estes calcários, de textura mudstone (Dunham, 1962) são essencialmente constituídos por calcite e dolomite. Na caracterização da zona de Ançã recorreu-se a 60 amostras de calcário branco, de grão fino, ligeiramente alterado e com textura de transição entre wackstone e packstone (Dunham, 1962).

Os valores médios da MVA e da porosidade aberta de Souselas Z1 variam, respetivamente, entre 2504 kg/m<sup>3</sup> e 2559 kg/m<sup>3</sup> e entre 7,7% e 9,5%. Para Souselas Z2 obtiveram-se valores médios de MVA de 2502 kg/m<sup>3</sup> a 2517 kg/m<sup>3</sup> e porosidade aberta de 7,4% a 7,8%. Os valores médios da MVA e da porosidade aberta para Ançã são, respetivamente, de 11,1% a 14,3% e de 2306 kg/m<sup>3</sup> a 2406 kg/m<sup>3</sup>. No ensaio de desgaste em meio húmido utilizaram-se 50 amostras rochosas para o material de Souselas e 30 para o de Ançã. Os resultados médios do Índice de Durabilidade do segundo ciclo (Id<sub>2</sub>) são de 99,0% a 99,3% para Souselas Z1, enquanto para Souselas Z2 são de 99,5% a 99,6%, para o material de Ançã estão compreendidos entre 99,3% a 99,6%. Para a definição da dureza de Schmidt, realizaram-se 320 ensaios na área de Souselas, 160 na direção perpendicular à estratificação (R<sub>⊥</sub>) e outros 160 na direção paralela (R<sub>||</sub>). Para a área de Ançã efetuaram-se 200 medições, metade na direção perpendicular à estratificação (R<sub>⊥</sub>) e metade na

direção paralela (R<sub>||</sub>) (Tabela 1). Os valores do índice de resistência à carga pontual corrigido para um diâmetro de 50 mm (*Is*<sub>(50)</sub>) foram determinados com a carga perpendicular (*Is*<sub>(50)</sub>⊥) e paralela à estratificação (*Is*<sub>(50)</sub>||) (Tabela 1). A resistência à compressão uniaxial (RCU), obtidos pela rotura de provetes de Souselas 1, Souselas 2 e Ançã variam, respetivamente, entre 26 e 31 MPa, 41 e 45 MPa, 28 e 43 MPa.

Os valores da velocidade das ondas P (*Vp*) e das ondas S (*Vs*) para Souselas 1 estão compreendidos, respetivamente, entre 1883 e 4165 m/s e entre 646 e 2474 m/s. Para Souselas 2 determinou-se que *Vp* varia de 3110 a 4554 m/s e *Vs* de 691 a 2920 m/s. Para Ançã, os valores de *Vp* estão compreendidos entre 4360 e 4842 m/s, e os de *Vs* entre 2042 e 2659 m/s. O módulo dinâmico de Young (*Ed*) de Souselas Z1 varia entre 2,9 e 33,6 GPa, o que corresponde a valores baixos a elevados, enquanto o *Ed* de Souselas Z2 está compreendido entre 3,5 a 48,1 GPa. Para os calcários de Ançã, o *Ed* tem uma variação entre 9,7 e 16,9 GPa. Os resultados da MVA e da porosidade aberta, de acordo com IAGG (1979), de Souselas Z1 e Z2 são considerados médios, para os materiais de Ançã e de acordo com a mesma classificação definiu-se a MVA como baixa a elevada e a porosidade aberta como média. Para o Id<sub>2</sub> e tendo em atenção Gamble (1971), a durabilidade dos materiais rochosos é muito alta. Considerando Bieniawski (1979), os valores do *Is*<sub>(50)</sub> foram definidos como médios para Souselas Z1 e Ançã, e médios a elevados para Souselas Z2. A resistência à compressão uniaxial (RCU) das amostras rochosas de Souselas Z1, Souselas Z2 e Ançã foi classificada como moderada. Os maciços dos taludes de Souselas e Ançã, apresentam-se, de acordo com RMR, na sua maioria como de qualidade mediana, com a maior parte dos valores entre 41 e 60.

Para a relação entre *Vp* e *Vs* consideraram-se 42 amostras, verificando-se uma relação positiva e linear entre os valores das velocidades (Figura 2), em que o coeficiente de correlação (*r*) é igual a 0,7. A relação entre a RCU e a *Vp*, envolvendo 16 amostras, é também positiva e linear, e com um valor de *r* de 0,5.

Agradecimentos

Pelo apoio financeiro da FCT-MEC através de fundos nacionais e, quando aplicável cofinanciado pelo FEDER no âmbito da parceria PT2020, através dos projetos de investigação UID/Multi/00073/2013 e OE/CTE/UI0073/2011 e 2014 do Centro de Geociências.

Tabela 1. Valores de dureza de Schmidt (R), resistência à compressão uniaxial (RCU) definida através do valor de R e da massa volumica aparente, índice de resistência à carga pontual corrigido para um diâmetro de 50 mm (*Is*<sub>(50)</sub>). Valores determinados perpendicularmente (⊥) e paralelamente à estratificação (||).  
Table 1. Schmidt hardness rebound (R) values, uniaxial compressive strength (RCU) obtained from R and density values, point load strength corrected to a specimen diameter of 50 mm (*Is*<sub>(50)</sub>). Tests with the loading applied normal (⊥) and parallel (||) to the stratification.

| Amostras    | R ⊥<br>(n° ensaios) | R   <br>(n° ensaios) | RCU ⊥<br>(MPa),<br>Definida a partir<br>de R ⊥ | RCU   <br>(MPa)<br>Definida a partir<br>de R | <i>Is</i> <sub>(50)</sub> ⊥<br>(MPa)<br>(n° de amostras) | <i>Is</i> <sub>(50)</sub>   <br>(MPa)<br>(n° de amostras) |
|-------------|---------------------|----------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Souselas Z1 | 27 – 36<br>(80)     | 26 – 34<br>(80)      | 55 – 61                                        | 46 – 61                                      | 2,0 – 3,5<br>(25)                                        | 2,4 – 3,6<br>(20)                                         |
| Souselas Z2 | 30 – 32<br>(80)     | 31 – 38<br>(80)      | 48 – 51                                        | 51 – 70                                      | 3,8 – 4,1<br>(25)                                        | 3,8 – 4,2<br>(20)                                         |
| Ançã        | 23 – 36<br>(100)    | 30 – 41<br>(100)     | 38 – 55                                        | 55 – 70                                      | 2,8 – 3,2<br>(27)                                        | 2,8 – 3,0<br>(27)                                         |

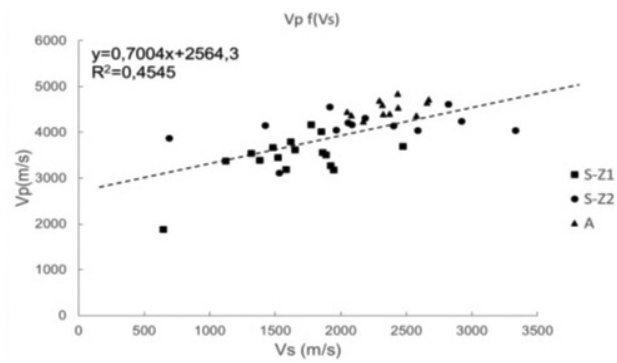


Figura 2. Relação entre as velocidades das ondas longitudinais (Vp) e das ondas transversais (Vs) para amostras de Souselas Z1 (S-Z1), Souselas Z2 (S-Z2) e Ançã (A).

Figure 2. Relation between velocity of longitudinal (Vp) and transversal (Vs) waves of samples from Souselas Z1 (S-Z1), Souselas Z2 (S-Z2) and Ançã (A).

## Referências

- Azerêdo, A. C., Duarte, L. V., Henriques, M. H., Manuppella, G., 2003. Da dinâmica continental no Triásico aos Mares do Jurássico Inferior e Médio. *Cadernos de Geologia de Portugal*, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 45.
- Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*. John Wiley and Sons, 272.
- Dunham, R. J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W. E. (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks*, *Am. Assoc. Pet. Geol. Mem.*, 1:108-121.
- Gamble, J. C., 1971. *Durability plasticity Classification of Shales and other Argillaceous Rocks*. Ph.D. Thesis. University of Illinois-Urbana, USA, 171.
- IAEG, 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping Part1-rock and soils materials. *Bulletin of the International Association Engineering Geology*, 19:355-371.
- Tobar-Torres, J., 2017. *Estudo da Escavabilidade de Maciços Rochosos. Calcários das áreas de Ançã e Souselas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica e de Minas. Departamento de Ciências da Terra da FCT da Universidade de Coimbra, Portugal, 155.
- Tobar-Torres, J., Andrade, P. S., Figueiredo, F. P. O., 2017. Metodologia de estudo da escavabilidade de maciços rochosos calcários das áreas de Ançã e Souselas. Proceedings XXII Bienal de la Real Sociedad de Historia Natural, In: *Los Mapas de la Natureza - Libro de Resúmenes de la XXII Bienal de la Real Sociedad de Historia Natural*, Coimbra, Portugal, 282-283.