



## ***Evolução geodinâmica do Complexo Anatético de Figueira de Castelo Rodrigo-Lumbrales***

*Geodynamic Evolution of the Figueira de Castelo Rodrigo-Lumbrales Anatectic Complex*

I. Pereira<sup>1\*</sup>, T. Bento dos Santos<sup>2,3</sup>, R. Dias<sup>1,4</sup>, J. Mata<sup>3,5</sup>

1. LIRIO (Laboratório de Investigação de Rochas Industriais e Ornamentais da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora), Portugal

2. LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia), Portugal

3. CeGUL (Centro de Geologia da Universidade de Lisboa), Portugal

4. CGE (Centro de Geofísica de Évora), Portugal e DG-ECTUÉ (Departamento de Geologia da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora), Portugal

5. DG-FCUL (Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia), Portugal.

\*ipereira@estremoz.cienciaviva.pt

**Resumo:** O Complexo Anatético de Figueira de Castelo Rodrigo-Lumbrales terá sido durante a D<sub>3</sub> varisca fortemente condicionado pela zona de cisalhamento Juzbado-Penalva. Estimaram-se as condições de pico metamórfico para unidades calcossilicatadas intercaladas em metatexitos deste complexo, obtendo-se 760 ± 50 °C para 5,0 ± 1 kbar. Realizou-se uma modelação de volume de fundidos, tendo-se verificado que para os granitóides e diatexitos existentes, as condições de pico metamórfico deverão ter sido superiores às aqui calculadas para as rochas calcossilicatadas. Nesse sentido, os dados apontam para uma evolução retrógrada por descompressão isotérmica, responsável pela fusão crustal e génese dos granitóides. Durante a D<sub>3</sub> varisca, o complexo anatético terá sido exumado para pressões e temperaturas inferiores, em regime de *simple shear dominated transpression* condicionado por esta zona de cisalhamento.

**Palavras-chave:** Complexo anatético, ZC Juzbado-Penalva do Castelo, fusão crustal, simple shear dominated transpression.

**Abstract:** The evolution of the Figueira de Castelo Rodrigo-Lumbrales Anatectic Complex must have been highly constrained by the Juzbado-Penalva do Castelo Shear Zone, during the variscan D<sub>3</sub>. It has been estimated the metamorphic peak conditions for the calc-silicate units interlayered in the metatexitos of this complex, with 760 ± 50 °C for 5.0 ± 1 kbar. However, modelled melt volume induced by dehydration reaction suggest that during granitoids and diatexitos genesis the temperature peak conditions must have been higher. Our data also point out for a retrograde evolution by isothermal decompression, responsible for crustal melting and granitoids genesis. During the variscan D<sub>3</sub>, the anatectic complex must have been exhumed to lower pressures and temperatures, in a simple shear dominated transpression regimen, conditioned by this shear zone.

**Key-words:** Anatectic Complex, Juzbado-Penalva do Castelo SZ, crustal melting, simple shear dominated transpression.

### **INTRODUÇÃO**

O Complexo Anatético de Figueira de Castelo Rodrigo-Lumbrales (CAFCR-L), inserido no sector setentrional da Zona Centro Ibérica, encontra-se delimitado a ocidente por granitóides tardi-pós-D<sub>3</sub>, a oriente por intrusão de granitos tardi-pós-D<sub>3</sub> ou por cobertura Cenozóica, e a norte e sul, respectivamente, pelas Zonas de Cisalhamento de Huebra e de Juzbado-Penalva do Castelo (ZCJPC),

as quais o separam de regiões de mais baixo grau metamórfico (zona da biotite e clorite; Ribeiro, 2001; Fig. 1).

O CAFCR-L é constituído por rochas em alto grau metamórfico, essencialmente migmatitos de diversas tipologias, que passam gradualmente a granitóides sin-cinemáticos (Fig. 1). Villar *et al.* (2000) consideram os granitóides contemporâneos da movimentação da ZCJPC, durante a D<sub>3</sub> varisca. A ZCJPC estende-se por ≈200 km, com um rejeito entre 65 e 100 km (Iglesias e Ribeiro, 1981; Villar *et al.*, 2000), cuja evolução terá condicionado a instalação supra-crustal do CAFCR-L (Pereira *et al.*, 2014a). Valle Aguado *et al.* (2013), com base em anisotropia da susceptibilidade magnética do maciço Cota-Viseu, consideram que a ZCJPC terá actuado, pelo menos, até há 298 ± 1,2 Ma.

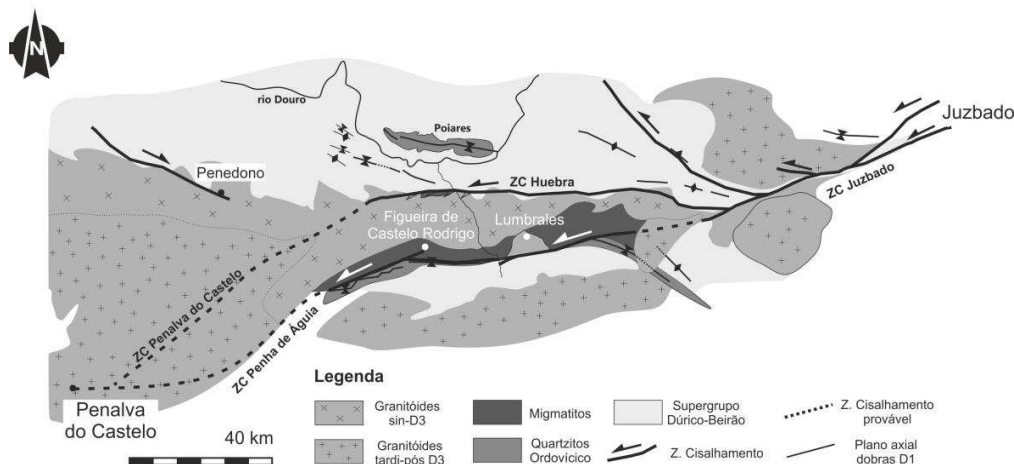


Figura 1. Mapa geológico das principais estruturas associadas ao CAFCR-L (Pereira *et al.*, 2014).

### CONDIÇÕES METAMÓRFICAS E ANATEXIA

A caracterização petrográfica dos vários litótipos do CAFCR-L revelou que apenas as rochas calcossilicatadas apresentam paragénese propícias ao cálculo das condições geotermobarométricas (Pereira *et al.*, 2014b). Para este litótipo, fizeram-se análises químicas das fases minerais utilizando a microsonda electrónica JEOL JXA 8200 do Lab. Microsonda Electrónica da FCUL, tendo a modelação das condições de pressão e temperatura sido feita fazendo uso do software THERMOCALC v3.33 (Powell e Holland, 1998).

As granadas ( $X_{py}=0.04-0.05$ ,  $X_{spss}=0.12-0.13$ ,  $X_{gr}=0.25-0.29$  e  $X_{alm}=0.52-0.55$ ), associam-se a clinopiroxena ( $X_{wo}=0.47-0.48$ ,  $X_{en}=0.24$  e  $X_{fs}=0.27-0.29$ ) e a anfíbola cálcica (12-10 mol% Ca), apresentando  $\#Mg \approx 0.4-0.5$ , para valores de Si  $\approx 6.5$  e  $7.5$  a.f.u. (ferrohorneblendas). Para esta paragénese foi possível determinar as condições de pressão e temperatura de equilíbrio, obtendo-se  $T = 761 \pm 50$  °C para  $P = 5,0 \pm 1$  kbar. Note-se que estas condições não correspondem aos valores máximos de pressão e temperatura atingidos durante o desenvolvimento do complexo anatético. De facto as unidades calcossilicatadas encontram-se intercaladas nos metatexitos, que correspondem às unidades de menor temperatura do CAFCR-L onde ocorrem volumes significativos de granitóides e diatexitos produzidos por anatexia. Com base na modelação das condições de fusão parcial induzida por reações de desidratação da moscovite, biotite e estauroлите estimou-se (Fig. 2) um volume de



fundidos entre 16 e 28 %, apontando para condições de pico metamórfico ( $\approx 800$  °C) superiores às anteriormente aqui estimadas.

Foi também observado o crescimento secundário de moscovite e intensa cloritização da biotite nos migmatitos, resultado do processo de retrogradação. A possível presença de cordierite sin- e pós-tectónica, não confirmada ao microscópio, aponta que essa retrogradação poderá ter decorrido em condições de mais baixa pressão.

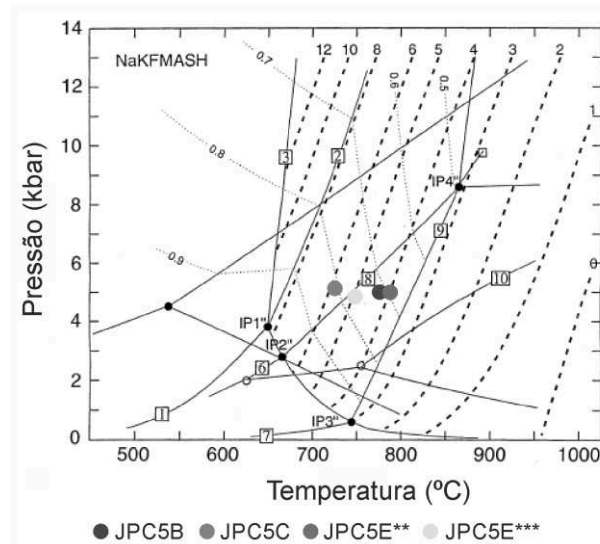


Figura 2. Grelha de pressões e temperaturas para o sistema NaKFMASH. A tracejado a percentagem de  $H_2O$  dissolvida no *melt*; projecção das estimativas de pressão e temperatura. Adaptado de Spear *et al.* (1999).

## ANÁLISE GEOMÉTRICA E CINEMÁTICA

Embora o sinclinal da Marofa seja tradicionalmente considerado uma estrutura  $D_1$  NW-SE que, durante a movimentação  $D_3$  da ZCJPC, rodou paralelizando-se a esta zona de cisalhamento, estudos recentes (Pereira *et al.*, 2014) revelaram uma evolução mais complexa. Durante a  $D_3$  a orientação do sinclinal roda para E-W, sendo a orientação ENE-WSW o resultado do rejogo frágil-dúctil durante o tardi-varisco. No entanto, esta análise refere-se apenas ao bordo sul do CAFCR-L, ao ramo da ZCJPC.

No bordo norte (Fig. 1), associado à Zona de Cisalhamento de Huebra, desenvolve-se uma foliação milonítica  $S_{3a}$   $N82^\circ W$ ,  $60^\circ S$  a  $80^\circ N$ , a que se associam duas lineações de estiramento; a mais antiga  $X_{3a}$   $18^\circ$ ,  $S84^\circ W$  e a mais tardia, com carácter mais frágil,  $X_{3b}$   $10^\circ$ ,  $S85^\circ E$ . No contacto com os granitos isótopos (bordo sul desta zona de cisalhamento), a foliação torna-se incipiente, com planos C espaçados  $N88^\circ W$ ,  $65^\circ N$  e  $C'$   $N65^\circ E$ ,  $82^\circ N$  a indicarem cinemática esquerda, com uma  $X_3$   $25^\circ$ ,  $N88^\circ W$ , e com uma deformação associada mais frágil.

A Norte do cisalhamento a deformação é também marcada pela laminação dos flancos das dobras  $D_1$  por uma foliação  $S_3$  bem mais penetrativa que a  $S_1$  local, até desaparecer algumas centenas de metros mais a Norte, em direcção a Barca d'Alva. Estes dados apontam para a atuação da ZCJPC durante um longo período de tempo na  $D_3$ , com fases mais precoces e dúcteis ( $D_{3a}$ ) a controlar a

ascensão dos migmatitos (*s.l.*) e a mais tardia e frágil-dúctil (D<sub>3b</sub>), a ascensão dos granitos mais tardios do CAFCR-L.

### PROPOSTA DE EVOLUÇÃO GEODINÂMICA DURANTE O TARDI-D<sub>2</sub> - D<sub>3</sub>

Após o pico metamórfico alcançado durante a D<sub>2</sub> (Azevedo e Valle Aguado, 2013), em condições de pressão equivalentes a profundidades compreendidas entre 25 e 27 km (considerando um gradiente geotérmico barroviense de 30 °C/km, para T ≈ 760-800 °C), deverá ter ocorrido uma forte decompressão isotérmica até profundidades de 18 km, condições que terão proporcionado a intensa anatexia verificada no CAFCR-L e que é observada em alguns sectores da ZCI (*e.g.* Domo de Tormes). Posteriormente, o CAFCR-L terá sido exumado de 18 km para profundidades entre os 10 e os 13 km através da movimentação transcorrente da ZCJPC durante a D<sub>3</sub>. Atendendo ao carácter polifásico e de deformação progressiva observado na região em análise, deduz-se a predominância de um regime de *simple shear dominated transpression*. Este mecanismo poderá justificar a limitação do CAFCR-L entre unidades em baixo grau metamórfico e por dois ramos de cisalhamento sinistrogiros sub-verticais, bem como pela ascensão de 5 a 8 km do CAFCR-L, constrangida por dois bordos rígidos (D<sub>3a</sub>). Posteriormente, após o parcial arrefecimento do CAFCR-L, ter-se-ão instalado alguns dos granitóides anatéticos de carácter não autóctone do CAFCR-L, que apenas evidenciam deformação nos estádios mais tardios (D<sub>3b</sub>).

### Agradecimentos

Este trabalho é uma contribuição para os projectos PETROGEO (LNEG) e Pest Programme (FCT-Pest-OE/CTE/UI0263/2011; PEST- OE/CTE/UI0263/2012-2013). Inês Pereira agradece ainda à FCT pela atribuição da bolsa SFRH/BGCT/52033/2012.

### Bibliografia

- IGLESIAS, M., RIBEIRO, A. (1981). La zone de cisaillement ductile Juzbado (Salamanca) - Penalva do Castelo (Viseu): un linéament réactivé pendant l'orogénèse hercynienne? *Com. Serv. Geol de Portugal*, 67,1, 89-93.
- RIBEIRO, M.L. (2001). *Notícia explicativa: Carta Geológica Simplificada do Parque Arqueológico do Vale do Côa*. Instituto Geológico e Mineiro, Ed. Parque Arqueológico do Vale do Côa. Vila Nova de Foz Côa, 71p.
- VILLAR ALONSO, P., FERNÁNDEZ RUIZ, J., BELLIDO, F., CARRASCO, R.M., RODRIGUEZ FERNÁNDEZ, L.R. (2000). *Memoria del mapa geológico de España 1:50000, Lumbrales (Hoja 475)*, série magna, 1ªed, 2ªsérie, 107p, Madrid.
- SPEAR, F.S., KOHN, M., CHENEY, J. (1999). P-T paths from anatectic pelites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 164, 17-32.
- POWELL, R, HOLLAND, T.J.B. (1988). An internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations: 3: application methods, worked examples and a computer program. *Journal of Metamorphic Geology* 6, 173-204
- VALLE AGUADO, B., AZEVEDO, M.R., MEDINA, J., NOLAN, J., MARTÍNEZ CATALÁN, J.R. (2013). *O papel da zona de cisalhamento de Juzbado-Penalva do Castelo na intrusão de granitos variscos tardi-pós-D3 da região de Viseu (Zona Centro-Ibérica)*. IX Conferência Anual do GGET, Estremoz, 127-130.
- AZEVEDO, M.R., VALLE AGUADO, B. (2013). *Origem e instalação de granitóides Variscos na Zona Centro Ibérica* in Geologia de Portugal (R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha & J. Kullberg Eds.) Escolar Editora.
- PEREIRA, I., DIAS, R., BENTO DOS SANTOS, T., MATA, J. (2014a). *Juzbado-Penalva do Castelo Shear Zone in the Figueira de Castelo Rodrigo sector: implications for the exhumation of high grade metamorphic rocks*. Livro de Actas do IX Congresso Nacional de Geologia.
- PEREIRA, I., BENTO DOS SANTOS, T., MATA, J., DIAS, R. (2014b). *Figueira de Castelo Rodrigo – Lumbrales Anatectic Complex, Central Iberian Zone: preliminary analysis of the metamorphism and geochemistry*. Livro de Actas do IX Congresso Nacional de Geologia.