

ANEXO V – RESUMOS EM CONGRESSOS

The Juzbado-Penalva do Castelo wrench ductile shear zone: a major structure oblique to the main Iberian Variscan trend

Inês Pereira^{1*}, Rui Dias^{1, 2, 3}, Telmo Bento dos Santos^{4, 5}, João Mata^{5, 6}

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

². Centro de Geofísica de Évora, Portugal

³. Departamento de Geologia da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora

⁴. LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia), Portugal

⁵. Centro de Geologia da Universidade de Lisboa

⁶. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia.

*ipereira@estremoz.cienciaviva.pt

The ENE-WSW Juzbado-Penalva do Castelo Shear Zone (JPCSZ), 200 km long and 5-15 km wide, is a first order structure of the Iberian Variscides with a sinistral component emphasized by a 65 km ductile relict of the major D1 structures (Iglesias & Ribeiro, 1981); the NW-SE regional trend (*e.g.* Marão and Tamames structures) changes to E-W (*e.g.* Moncorvo and Poiães synclines) when approaching the JPCSZ and even to ENE-WSW along it (*e.g.* Marofa syncline). Although this sigmoidal pattern clearly post-dated the early structures of the first and main Variscan event (D1), some evidence show that the JPCSZ should have been active since the early Variscan collision (*e.g.* D1 kinematics changes in both sides of the shear zone), or even earlier (*e.g.* it is the most plausible boundary between two major pre-Ordovician lithostratigraphic domains - the Beiras and Douro Groups). We present preliminary structural and petrological data for the Figueira de Castelo Rodrigo area (a key region to study the E-W to ENE-WNW transition) in order to constrain its Variscan evolution.

In the northern part of the studied area, several syn-tectonic granitoids crop out, whereas to the south migmatites, probably part of the Pre-Cambrian to Cambrian Excomungada Formation (Ribeiro, 2001), predominate. These granulite-facies migmatites ($T \geq 800$ °C) contact, to the south, with Ordovician low-grade (biotite zone) metapelites and metaquartzites, materializing a “temperature jump” of at least 400 °C, which, considering a barrovian-type geothermal gradient of about 25 °C.km⁻¹, suggests a vertical offset of 16 km (or 8 km for a 50 °C.km⁻¹ geothermal gradient). In the autochthon of the Central Iberian Zone, it is solely along the JPCSZ that high grade metamorphic rocks are exhumed.

At the Figueira de Castelo Rodrigo area two segments were identified in the Marofa Syncline. The western segment has a clear ENE-WSW direction trend coincident with the JPCSZ, whereas at the eastern segment, E-W trends predominate. The deformation is much more intense in the **western segment**, giving rise to a pervasive sub-vertical slightly wavy fold axis associated with a sub-horizontal to slightly northeast dipping stretching lineation; this deformation is coeval with significant recrystallization and the development of a mylonitic foliation. These strong fabrics, better observed in the metapelites and metapsamites interlayered in the Ordovician metaquartzite sequence, show widespread sinistral shear criteria structures (*e.g.* C-S shear bands, distorted/rotated porphyroclast and consistent asymmetrical folds). This shear sense, also observed in the diatexite lenses inside the JPCSZ, is congruent with the inferred movement from the analysis of the regional structures. The **eastern segment** is characterized by a less intense deformation,

where folds and other related mesoscopic structures are almost absent. Nevertheless, a stretching lineation is often found, ranging from low dip to 50° towards SW. This behavior shows that the eastern segment (E-W trend) has had a predominant thrusting with a sinistral component. The kinematics preserved in this segment was the result of the reworking of previous structures oblique to the main sinistral ENE-WSW shear (JPCSZ), with the consequent induction of a restraining zone along the E-W trend.

References

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, 71p. Ed. Parque Arqueológico do Vale do Côa. Vila Nova de Foz Côa.

Key-Words: Iberian Variscides, Central Iberian Zone, Progressive deformation, Migmatite exhumation

Acknowledgements

Funding provided by the Évora Geophysics Centre (Portugal), Centro de Geologia da Universidade de Lisboa (Portugal) under contracts with FCT: PEst-OE/CTE/UI0078/2011 and Pest-OE/CTE/UI0263/2011 and LNEG (Portuguese Geological Survey) - internal project "PETROGEO".

Interferência de estruturas variscas ao longo do cisalhamento de Juzbado-Penalva do Castelo; um exemplo de deformação progressiva

Interference of variscan structures at the Juzbado-Penalva do Castelo shear; an example of progressive deformation

Inês Pereira^{1*}, Rui Dias^{1,2}, Telmo Bento dos Santos^{3,4}, João Mata^{4,5}

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

². Centro de Geofísica de Évora, Portugal e Departamento de Geologia da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora

³. LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia), Portugal

⁴. Centro de Geologia da Universidade de Lisboa

⁵. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia.

*ipereira@estremoz.cienciaviva.pt

Resumo: Os sinclinais da Marofa e de Ahigal de los Aceiteiros, sendo estruturas D_1 variscas, apresentam uma orientação anómala em relação com a regional, com uma orientação E-W, que resulta da interferência das estruturas D_1 com o movimento esquerdo da ZC Juzbado-Penalva do Castelo em regime dúctil (D_3) e com as fases tardias variscas já em regime frágil a frágil-dúctil. Através da cartografia de grande escala realizada nas formações de quartzitos do Ordovícico, foi possível distinguir diferentes etapas ao longo da evolução da zona de cisalhamento por deformação progressiva, responsável pelas diferentes estruturas agora identificadas.

Palavras-Chave: ZCJuzbado-Penalva do Castelo, quartzitos, deformação progressiva

Abstract: Marofa and Ahigal de los Aceiteiros synclines, as variscan D_1 structures, present an anomalous orientation concerning regional trends, with a E-W trend, as the result of interference of D_1 structures with the sinistral movement of the Juzbado-Penalva do Castelo SZ in a ductile regime (D_3) and with the late variscan phases in a fragile to fragile-ductile regime. Through large scale mapping on Ordovician quartzite formations it was possible to distinguish different stages during the shear zone evolution by progressive deformation, responsible for the different structures now identified.

Key-words: Juzbado-Penalva do Castelo SZ, quartzites, progressive deformation

Introdução

Devido à sua extensão e complexidade, a Zona de Cisalhamento de Juzbado-Penalva do Castelo (ZCJPC) apesar de identificada desde há bastante tempo (Figuerola & Parga, 1968; Iglesias e Ribeiro, 1981), ainda é mal compreendida do ponto de vista geométrico e cinemático, bem como da sua evolução geodinâmica e da sua relação com as rochas de alto grau que se observam a si associadas. Esta zona de cisalhamento constitui uma importante fronteira entre domínios com estilos estruturais e estratigráficos distintos: do ponto de vista estrutural, é de realçar a mudança de vergências das dobras principais D_1 e da lineação de estiramento X_1 associada entre os sectores setentrionais e meridionais (Díez-Balda *et al.*, 1990; Dias *et al.*, 2013); do ponto de vista estratigráfico é de salientar que esta zona de cisalhamento constitui uma fronteira paleogeográfica durante a deposição do Supergrupo Dúrico-Beirão permitindo a individualização entre as bacias onde se depositaram o Grupo do Douro e o das Beiras (Silva *et al.*, 1987; Villar *et al.*, 2000).

A importância deste acidente à escala do Varisco Ibérico está bem patente na distorção do padrão cartográfico dos grandes dobramentos de primeira fase (D_1), que na sua vizinhança passam da orientação geral NW-SE para E-W (e.g. sinclinais de Moncorvo e Poiares e anticlinal de Freixo-de-Espada à Cinta a norte da zona estudada) ou mesmo ENE-WSW (e.g. sinclinais da Marofa e de Ahigal de los Aceiteros na zona estudada). É de salientar que na sua vizinhança junto à fronteira surgem rochas metamórficas de alto grau e grandes extensões de granitos de tipo S, uma particularidade na evolução metamórfica da Zona Centro Ibérica, que é geralmente de baixo grau metamórfico.

As rochas de alto grau que têm sido identificadas (migmatitos *sensu lato*; Carvalhosa, 1960; Ribeiro e Silva, 2000; Meireles *et al.*, 2006) correspondem essencialmente a metassedimentos, com a existência ocasional de calcosilicatadas, que deverão ter estado sujeitos a elevadas temperaturas, na ordem dos 850°C (Pereira *et al.*, 2013, com base em observações de campo e petrografia preliminar) e que contactam, por meio da ZCJPC, com rochas de baixo grau, na zona da biotite (Ribeiro, 2001), materializando um salto metamórfico equivalente a aproximadamente 400°C.

Análise geométrica e cinemática da deformação varisca

No que diz respeito às estruturas D_1 são de destacar (Fig. 1), no sector oeste o Sinclinal da Marofa e, no leste E, o sinclinal de Ahigal de los Aceiteros - Tamames bem marcados pela formação dos Quartzitos Armoricanos; ambos apresentam uma vergência para N e NE acentuada que, de um modo geral origina a inversão do flanco sul. Devido à forte deformação induzida durante a deformação transcorrente D_3 e à recristalização generalizada das bancadas quartzíticas as estruturas D_1 são difíceis de observar, tanto mais que os processos de recristalização frequentemente apagam todas as estruturas ante D_3 , incluindo em muitos casos a própria estratificação. Contudo é possível evidenciar um comportamento distinto ao longo da região:

- A este de Lumbrales o sinclinal de Ahigal de los Aceiteros - Tamames apresenta uma rotação sin- D_3 extremamente importante de NW-SE para ENE-WSW quando se aproxima da ZCJPC, a qual está associada a um estiramento acentuado das formações. Quando a estrutura está NW-SE existe uma lineação de estiramento em S_0 segundo a linha de maior declive (*i.e.* subparalela à direcção da ZCJPC), a qual se mantém com a mesma atitude mesmo quando as estruturas rodam para a direcção ENE-WSW (fig. 1); este comportamento mostra que este estiramento é sin- D_3 , tendo resultado da reactivação de S_0 durante este evento tectónico.

- A oeste de Figueira de Castelo Rodrigo, o sinclinal da Marofa apresenta uma atitude geral que é difícil de evidenciar pelo padrão cartográfico, pois esta macroestrutura D_1 está fortemente afectada por dois processos: a rotação devido à existência da ZCJPC sin- D_3 (que afecta essencialmente o flanco norte do sinclinal, onde se observa uma deformação muito importante com o desenvolvimento de uma foliação milonítica penetrativa e frequentemente associada a dobras em bainha D_3) e a rotação induzida pela movimentação esquerda tardi-varisca das falhas NNE-SSW, que aqui apresentam um carácter mais dúctil do que normalmente é observado no autóctone da Zona Centro-Ibérica. Nos sectores menos afectados pelos processos anteriores, verifica-se que a D_1 tem uma orientação geral ENE-WSW a E-W. A lineação de estiramento X_3 nos planos de S_0 , é pouco inclinada e ENE-WSW, isto é, sub-paralela à ZCJPC; esta lineação está associada a indicadores cinemáticos claros de uma movimentação esquerda.

- O sector entre Figueira de Castelo Rodrigo e a fronteira caracteriza-se por uma orientação geral das estruturas próxima de E-W e por uma clara inversão das camadas evidente pela sobreposição das formações câmbrias às do Ordovício. Apesar da forte rotação de S_0 em relação ao sector anterior, a lineação X_3 observada em S_0 mantém-se ENE-WSW, o que evidencia agora uma cinemática durante a D_3 com uma componente cavalgante importante. Neste sector as formações de baixo grau sobrepõem-se às de alto grau pelo cavalgamento de Santa Bárbara que lamina o flanco norte do sinclinal da Marofa (fig. 1).

Conclusões

As observações efectuadas, bem como o padrão cartográfico da região mostram que a ZCJPC (em especial ao longo do bordo sul e sudeste desta zona de cisalhamento) apresenta uma complexidade estrutural com ramos ENE-WSW ligados por sectores com orientação geral E-W. Apesar destas diferentes orientações, a cinemática sin- D_3 , evidenciada pela lineação de

estiramento X_3 marcada em S_0 , é sempre compatível, correspondendo a uma componente essencialmente transcorrente nos sectores ENE-WSW e esquerda-cavalgante nos sectores E-W. Apesar da compatibilidade cinemática, a intensidade da deformação parece ser maior nos sectores ENE (em especial no ramo a W de figueira de Castelo Rodrigo, que denominámos de Penha de Águia) do que no sector do cavalgamento de Santa Bárbara. Esta situação parece indicar que o cavalgamento de Santa Bárbara poderá ser ligeiramente mais tardio durante o processo de evolução da ZCJPC podendo ter resultado essencialmente de um processo de *restraining* no sector de sobreposição (*i.e. overlap*) entre as terminações de 2 zonas de cisalhamento ENE-WSW com cinemática esquerda.

Finalmente é de referir que apesar de haver sobreposição de formações de baixo grau sobre outras de alto grau, a cinemática da estrutura de Santa Bárbara é cavalgante, havendo que ter cuidado em utilizar o grau metamórfico para inferir o tipo de movimentação devido à possibilidade de existência de cavalgamentos fora de sequência (*i.e. out-of-sequence*).

Referências bibliográficas

- Carvalhosa, A. 1960. Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, folha 15-D (Figueira de Castelo Rodrigo).
- Dias, R., Ribeiro, A., Coke, C., Pereira, E., Rodrigues, J., Castro, P., Moreira, N., Rebelo, J., 2013. Evolução estrutural dos sectores setentrionais do autóctone da Zona Centro-Ibérica. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg (Eds), Geologia de Portugal, vol. 1, Escolar Editora, 73-147.
- Diez Balda, M., Vegas, R., Gonzalez Lodeiro, F., 1990. Autochthonous sequences of Centro Iberian zone: In Dallmeyer, D. and Martinez Garcia, E. (eds.) Pre-Mesozoic Geology of Iberia. Springer-Verlag, 172-188.
- Figuerola, L.C. e Parga, R. 1968. Sobre los ortoneises de Traguntía-Juzbado (Salamanca) y su significación tectónica, Acta Geológica Hispánica, TIII (3), 69-72.
- Iglesias, M. e 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.
- Meireles, C., Pereira, E., Ferreira, N., Castro, P. 2006. O Ordovícico da Serra da Marofa: novos dados litoestratigráficos e estruturais. In: Mirão, J. & Balbino, A. (Coords.), Livro de Actas, VII Congresso Nacional de Geologia, Vol. II. Paleontologia 645-648. Pólo de Estremoz da Univ. de Évora.
- Pereira, I., Dias, R., Bento dos Santos, T., Mata, J. 2013. The Juzbado-Penalva do Castelo wrench ductile shear zone: a major structure oblique to the main Iberian Variscan trend, in the 19th International Conference on deformation mechanisms, rheology & tectonics conference book, p.80
- Ribeiro, M.L. 2001. Notícia explicativa: Carta Geológica Simplificada do Parque Arqueológico do Vale do Côa. Instituto Geológico e Mineiro, 71p. Ed. Parque Arqueológico do Vale do Côa. Vila Nova de Foz Côa.
- Ribeiro, M.L. e Ferreira da Silva, A. 2000. 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.
- Silva, A. F., Romão, J.M., Sequeira, A.J.D., Ribeiro, M.L., 1987-89. Geotransversal no Grupo das Beiras (Complexo Xisto-Grauváquico) entre os sinclínios de Mação e Penha Garcia (Centro-Oeste de Portugal. X Reunião de Geologia do Oeste Peninsular, Bragança.
- Villar Alonso, P., EscuderViruete, J., Martínez Catalán, J.R. 1992. La Zona de Cizalla de Juzbado-Penalva do Castelo en el sector Español, III Cong. Geol. Esp. Simp. T2, 446-456.
- Villar Alonso, P., Fernández Ruiz, J., Bellido, F., Carrasco, R.M., Rodriguez Fernández, L.R. 2000. Mapa geológico de España 1:50000, Lumbrales, série magna, 1ªed, 2ªsérie, pp107, Madrid, ISBN: 84-840-401-8

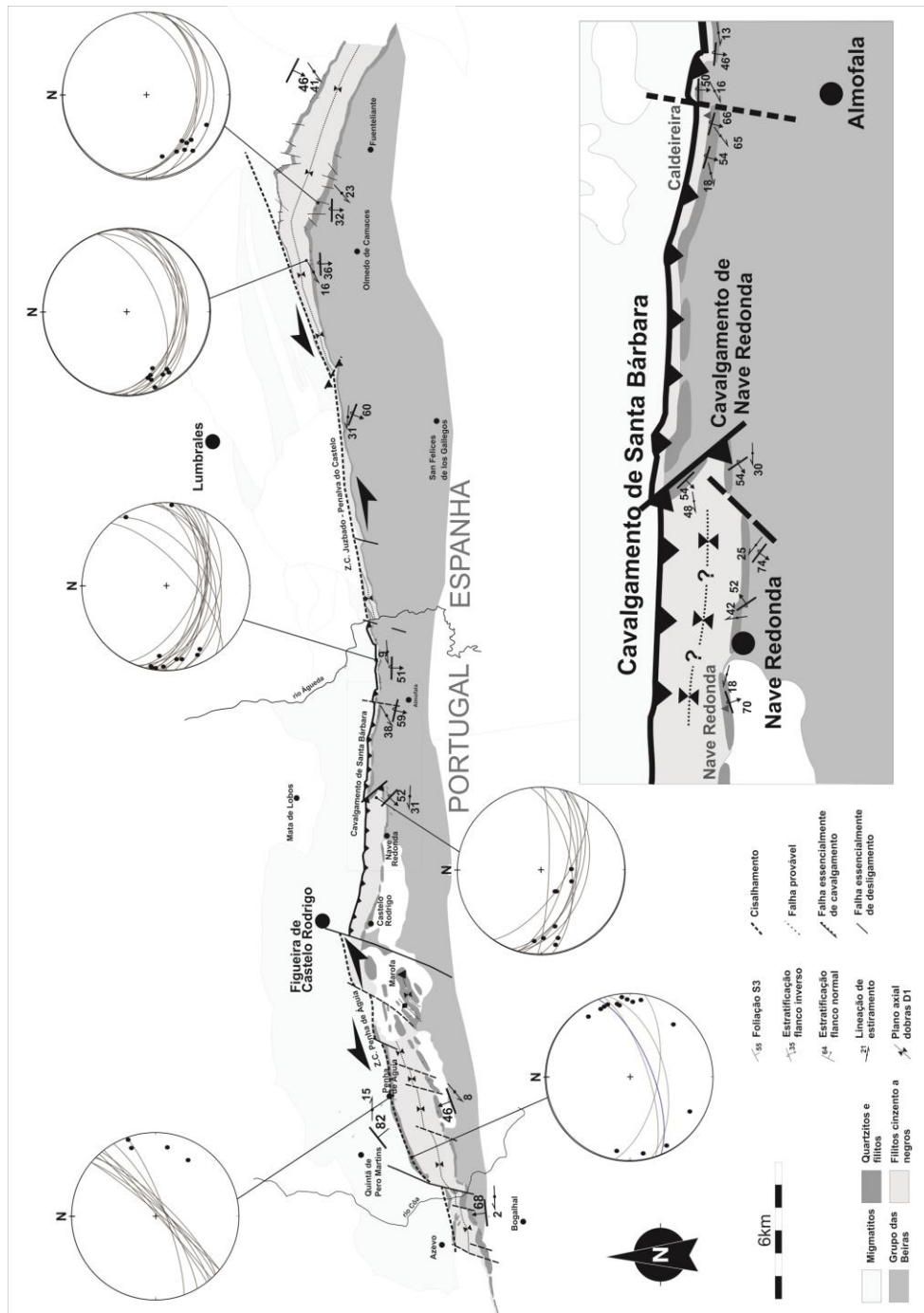


Fig. 1. Esboço estrutural da Zona de Cisalhamento de Juzbado-Penalva do Castelo na região em torno de Figueira de Castelo Rodrigo. As projecções estereográficas referem-se ao comportamento dos cisalhamentos e do estiramento em sectores escolhidos e o mapa de pormenor realça as estruturas cavalgantes no sector Nave Redonda - Almofala.

FIGUEIRA DE CASTELO RODRIGO – LUMBRALES ANATECTIC COMPLEX (CENTRAL IBERIAN ZONE): NEW GEOTHERMOBAROMETRIC DATA

Inês Pereira^{1*}, Telmo M. Bento dos Santos^{2,3}, Rui Dias^{1,4}, João Mata^{3,5}

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. Centro de Geologia da Universidade de Lisboa

⁴. Centro de Geofísica de Évora, Portugal e Departamento de Geologia da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora

⁵. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia.

*ipereira@estremoz.cienciaviva.pt

At the Central Iberian Zone (Iberian Massif), it is notorious a significant change on the variscan D_1 trend from the dominant NW-SE to E-W (Marofa and Ahigal de los Aceiteros synclines). This change is due to the 65 to 100 km sinistral movement of the Juzbado - Penalva do Castelo Shear Zone (JPCSZ), which, as demonstrated recently (Pereira et al., 2013), is a composite structure where several shear bands formed as result of a progressive deformation regime. Despite some uncertainties, the JPCSZ has been considered active during the variscan D_3 , syn- to post-regional metamorphic peak (Villar et al., 2000). The JPCSZ is responsible for the exhumation of the Figueira de Castelo Rodrigo Anatectic Complex (FCR-LAC), resulting on its juxtaposition to low-grade (350-450 °C) metasediments. FCR-LAC is essentially composed of metatexites, diatexites and 2-mica anatectic granites.

Quantitative results of the peak metamorphism/anatexis are yet to be obtained. Therefore, we present new geothermobarometric data in order to better constrain the regional metamorphic climax, as well as the evolution of this first-order variscan tectonic accident.

Mineral analyses were conducted on a JEOL JXA-8200 electron microprobe and P-T estimates were obtained using THERMOCALC software (Holland and Powell, 1998), version 3.33.

Due to lack of garnet in the migmatites, peak metamorphism calculations were estimated using interlayered calc-silicate rocks. These rocks have a mineral assemblage of plagioclase + biotite + amphibole + clinopyroxene + garnet ± titanite ± apatite ± zircon ± oxides. These minerals are chemically unzoned, displaying flat rim-core-rim chemical profiles.

Garnet is grossular-rich ($X_{Alm} = 0.51$; $X_{Py} = 0.05$; $X_{Gr} = 0.31$; $X_{Spss} = 0.13$), whereas clinopyroxene is essentially hedenbergitic ($X_{En} = 0.25$; $X_{Fs} = 0.28$; $X_{Wo} = 0.47$). Peak paragenesis is also composed of plagioclase ($X_{An} = 0.95$) and ferrohornblende.

P-T estimates using garnet-pyroxene-amphibole-plagioclase equilibrium reactions establish metamorphic peak conditions at 725 ± 50 °C and 5.4 ± 1 kbar.

These new results are compatible with a geothermal gradient (36 °C·km⁻¹) slightly higher than the prevailing at typical barrovian-type conditions, implying relatively shallow depths for crustal anatexis during variscan orogenic events. These new results provide an explanation for the absence of garnet in the anatectic pelites, whereas the absence of mineral zoning in the peak parageneses suggests fast exhumation of FCR-LAC induced by the JPCSZ. If the low-grade rocks were formed under the same geothermal gradient, the

vertical exhumation of migmatitic rocks from their local of generation to the final juxtaposition with greenschist facies rocks is estimated to be over 12 km.

References

Pereira, I., Dias, R., Bento dos Santos, T., Mata, J., 2013. Interferência de estruturas variscas ao longo do cisalhamento de Juzbado-Penalva do Castelo; um exemplo de deformação progressiva. *Livro de Actas da 9ª Conferência Anual do GGET-SGP*, 123-126.

Holland, T.J.B., Powell, R., 1998. An internally consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology* 16, 309-344.

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.

Zona de Cisalhamento de Juzbado-Penalva do Castelo no sector de Figueira de Castelo Rodrigo: implicações para a exumação de rochas metamórficas de alto grau

Juzbado-Penalva do Castelo Shear Zone in the Figueira de Castelo Rodrigo sector: implications for the exhumation of high grade metamorphic rocks

Inês Pereira^{1*}, Rui Dias^{1,2}, Telmo M. Bento dos Santos^{3,4} e João Mata^{4,5}

- ¹. LIRIO (Laboratório de Investigação de Rochas Industriais e Ornamentais da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora), Portugal
 - ². Centro de Geofísica de Évora, Portugal e Departamento de Geologia da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora
 - ³. LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia), Portugal
 - ⁴. Centro de Geologia da Universidade de Lisboa
 - ⁵. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia.
- *ipereira@estremoz.cienciaviva.pt

Título curto: Zona de Cisalhamento de Juzbado-Penalva do Castelo
Running title: Juzbado-Penalva do Castelo Shear Zone

Resumo

A Zona de Cisalhamento Juzbado-Penalva do Castelo (Zona Centro Ibérica) separa unidades com distintas características estruturais, metamórficas e litoestratigráficas, revelando-se como um acidente tectónico de primeira ordem durante a evolução da Cadeia Varisca Ibérica. A realização de cartografia geológica e estrutural detalhada em sectores escolhidos e a sua extrapolação regional, colocou em evidência o carácter progressivo da deformação durante a evolução desta zona de cisalhamento. O novo padrão cartográfico proposto é discutido no contexto da evolução desta zona de cisalhamento em regime transcorrente esquerdo e no quadro do seu papel na exumação do Complexo Anatético de Figueira de Castelo Rodrigo-Lumbrals.

Palavras-Chave: ZC Juzbado-Penalva do Castelo; deformação progressiva; CAFCR-L.

Abstract

The Juzbado-Penalva do Castelo shear zone (Central Iberian Zone) separates units with different structural, metamorphic and lithostratigraphic characteristics, being a major accident during the evolution of the Iberian Variscan Chain. After a detailed structural and geological analysis in selected areas and its regional extrapolation, this shear zone testifies a clear progressive deformation mechanism in its evolution. The new geological pattern for this region is discussed in the context of the evolution of this shear zone in a sinistral transcurrent regimen and of its role on the exhumation of the Figueira de Castelo Rodrigo-Lumbrals Anatectic Complex.

Keywords: Juzbado-Penalva do Castelo SZ; progressive deformation; FCR-LAC.

Introdução

Com 200 km de extensão, 5 a 15 km de largura e um rejeito entre 65 km e 100 km (Iglesias e Ribeiro, 1981; Villar *et al.*, 2000), a Zona de Cisalhamento de Juzbado-Penalva do Castelo (ZCJPC) representa um acidente tectónico varisco (s.l.) de primeira ordem e uma importante singularidade no quadro geológico da Zona Centro Ibérica. As intrusões de granitóides tardi- a pós-

variscos têm dificultado a interpretação/compreensão deste importante acidente, ao ponto da definição rigorosa do seu traçado não ser isenta de dificuldades (Fig. 1).

Esta estrutura, já identificada por Figuerola e Parga (1968) e por Iglesias e Ribeiro (1981), foi alvo de vários estudos durante a década de 80, principalmente no sector espanhol, mas, devido à sua complexidade, ainda persistem muitas dúvidas. Neste trabalho apresentam-se e discutem-se os resultados de trabalhos de cartografia geológica e análise estrutural detalhada no sector de Figueira de Castelo Rodrigo (Pereira *et al.*, 2013).

Enquadramento

A importância deste acidente à escala da Cadeia Varisca Ibérica está bem marcada na distorção do padrão cartográfico dos grandes dobramentos de primeira fase (D_1), que ao aproximarem-se da zona de cisalhamento passam da orientação geral NW-SE para E-W (e.g. sinclinais de Moncorvo e Poiães e anticlinal de Freixo-de-Espada à Cinta a norte da zona estudada) ou mesmo ENE-WSW (e.g. sinclinais da Marofa e de Ahigal de los Aceiteiros - Tamames).

A inflexão do sinclinal de Ahigal de los Aceiteiros – Tamames (Fig. 1) e os múltiplos critérios cinemáticos observados à escala macro, meso e microscópica revelam uma movimentação essencialmente sinistrógiro (Iglesias e Ribeiro, 1981; Jiménez Ontiveros e Hernández Enrile, 1983; Pereira *et al.*, 2013).

Além dos aspectos estruturais, o salto metamórfico existente entre as unidades de alto grau do Complexo Anatético de Figueira de Castelo Rodrigo – Lumbrals (CAFCL; migmatitos na fácies granulítica; Villar *et al.*, 2000) a norte da ZCJPC e os terrenos a sul (formações do Ordovícico na zona da biotite; Ribeiro, 2001), também apontam para a significativa importância deste acidente, materializando um salto metamórfico de pelo menos 350 °C, o que considerando um gradiente geotérmico do tipo barroviano (25 °C.km⁻¹), sugere um deslocamento vertical entre 12 a 16 km. Este processo de exumação deverá ter ocorrido durante a D_3 , após o pico metamórfico e magmatismo sin- D_3 , e antes da instalação das intrusões tardi- a pós- variscas (Villar *et al.*, 2000; Valle Aguado *et al.*, 2005). Iglesias e Ribeiro (1981) sugerem que a ZCJPC poderia ser a responsável pela individualização das bacias do Grupo do Douro e Grupo das Beiras, que apresentam características lito-estratigráficas distintas. Esta ideia é suportada pela heterogeneidade das estruturas a norte e sul deste acidente, nomeadamente as variações de vergência das dobras D_1 e das lineações de estiramento X_1 associadas (Díez-Balda *et al.*, 1990; Dias *et al.*, 2013).

Este modelo, que implica o movimento desta zona de cisalhamento desde fases precoces do ciclo Varisco, é ainda discutível, dada a ocorrência a sul da ZCJPC (Almofala, Vermiosa) da formação de Bateiras (Sousa, 1981), pertencente ao grupo do Douro (Carvalhosa, 1960; Regêncio Macedo, 1988; Ribeiro, 2001; Meireles *et al.* 2006).

Análise geométrica e cinemática

Os estudos no âmbito deste trabalho foram inicialmente conduzidos ao longo da crista quartzítica ordovícica que liga a Serra da Marofa a Olmedo de Camaces. As estruturas então identificadas permitiram reinterpretar este ramo da ZCJPC, em especial ao longo do bordo SW e S das unidades de alto grau (Fig.2).

A este de Lumbrals, o sinclinal de Ahigal de los Aceiteiros - Tamames apresenta uma rotação sin- D_3 de NW-SE para ENE-WSW, junto da ZCJPC, associado a um estiramento acentuado das formações nas proximidades da zona de cisalhamento. A lineação de estiramento desenvolvida em

S_0 encontra-se sub-paralela à direcção geral ENE-WSW da ZCJPC, quer quando as estruturas regionais se encontram NW-SE, quer quando rodam para a direcção ENE-WSW (Fig. 2). Tal comportamento indica que esta lineação de estiramento é sin- D_3 (X_3), tendo resultado da reactivação de S_0 durante esta fase de deformação.

A homogeneidade da orientação ENE-WSW de X_3 independentemente da variação da orientação da ZCJPC implica que a cinemática seja essencialmente transcorrente nos sectores ENE-WSW e cavalgante-esquerda nos sectores com geometria E-W (de Castelo Rodrigo até à fronteira com Espanha). Neste sector as formações de baixo grau (a sul) sobrepõem-se às de alto grau (a norte). Outro aspecto importante é a variação na intensidade da deformação; os sectores mais a este e oeste (isto é, onde a ZCJPC apresenta uma orientação ENE-WSW) apresentam maior deformação, com o desenvolvimento de dobras em bainha, lineações de estiramento pervasivas e foliação milonítica, enquanto no sector intermédio (E-W) há uma menor deformação associada. Tal, sugere a existência de diferentes ramos na zona de cisalhamento: o cisalhamento de Penha de Águia a W e o cisalhamento de Juzbado a E, interligados pelo cavalgamento de Santa Bárbara (Fig. 2).

No que diz respeito à orientação das estruturas associadas à ZCJPC, no ramo de Penha de Águia, as lineações X_3 oscilam entre 11° , S68W e 11° , N79E, com foliação milonítica N68E, 68° S. No cisalhamento de Juzbado, os valores de X_3 são 16° , S65W em estratificações N87E, 36° S, compatíveis com movimento essencialmente esquerdo, tal como inferido pelos critérios cinemáticos mesoscópicos (Fig.2).

Análise cartográfica e reinterpretação da ZCJPC

Com base na informação previamente existente e nos dados recolhidos propõe-se uma reinterpretação da ZCJPC.

Desde logo, os dados recolhidos permitem evidenciar a existência de várias ramificações da ZCJPC (Fig.1), com deformação importante a si associada, o que tem sido descrito noutras zonas de cisalhamento importantes (Quesada e Dallmeyer, 1994; Carreras *et al.*, 2010).

Tanto no sector português como no espanhol é identificado um complexo anatécico, com rochas de alto grau metamórfico a bordejar granitos de tipo S (Ribeiro, 2001; Villar *et al.*, 2000). Este complexo surge a norte da ZCJPC e a sul da ZC de Huebra (Fig.1), que apresenta continuidade em Portugal (Silva e Ribeiro, 1991; 1994; Rodríguez Fernández *et al.*, 2000). Nesta última, foram identificadas lineações de estiramento E-W mergulhantes para oeste, indicando uma componente esquerda, cavalgante do bloco sul para norte o que explica a sobreposição das rochas de baixo grau metamórfico (zona da biotite) pelas de alto grau na fácies granulítica.

Em relação aos processos associados à exumação de rochas em alto grau metamórfico os dados agora obtidos indicam que o modelo proposto para a exumação do CAFCR-L terá que ser capaz de explicar:

- que os afloramentos de alto grau estão limitados apenas ao interior do CAFCR-L, encontrando-se separados das formações de baixo grau (a norte e a sul) por zonas de cisalhamento com deformação muito intensa (Penha de Águia, Huebra, Juzbado);
- a provável ascensão vertical de 12 a 16 km do CAFCR-L;
- a sobreposição de formações de baixo grau sobre o alto grau ao longo do cavalgamento de Santa Bárbara.

Tentando integrar os dados existentes num único modelo coerente, propõe-se uma deformação progressiva durante a D_3 regional (e.g. Dias *et al.*, 2013) na qual, apesar de tudo, é possível evidenciar diferentes impulsos.

O essencial da deformação ao longo dos vários troços da ZCJPC é feita num primeiro estágio (D_{3a}) que se caracteriza por uma cinemática essencialmente de desligamento esquerdo, mas onde devido à inclinação suave ($< 15^\circ$) da lineação de estiramento, tende a ocorrer igualmente a subida preferencial dos blocos ocidentais. Durante este evento tectónico a deformação na ZCJPC terá ocorrido em regime transpressivo com predominio da componente de cisalhamento simples (*i.e. simple shear dominated transpression* de Tikoff e Teyssier, 1994). Atendendo à extensão do movimento ocorrido (*i.e.* 65 a 100 km) os níveis mais profundos foram exumados. Esta exumação é facilitada pela baixa viscosidade das formações, como resultado da fusão parcial ocorrida em profundidade (Godin *et al.*, 2006) e pela ascensão desses níveis associada ao espessamento crustal em regimes transcurrentes (Saint Blanquat *et al.*, 1998). Terá sido também nesta altura que ocorreu a exumação para SW da Faixa Metamórfica Porto-Viseu (FMPV; Rodrigues *et al.*, 2014). De facto quando a deformação se concentra segundo uma direcção E-W, a componente cavalgante acentua-se; esta componente terá ocorrido quer durante a fase de deformação principal (D_{3a}) mais dúctil (*e.g.* zona de cisalhamento de Huebra) quer nos mais frágeis tardios (D_{3b} ; *e.g.* cavalgamento de Santa Bárbara).

Atendendo à geometria e cinemática da ZCJPC a este, à exumação para SW da FMPV numa cinemática essencialmente cavalgante, bem como a conjugação destas estruturas na região de Viseu, a ZCJPC poderá ter actuado como uma rampa lateral deste processo de exumação ocorrido mais a W.

Agradecimentos

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

Referências Bibliográficas

Carreras, J., Czeck, D.M., Druguet, E., Hudleston, P.J., 2010. Structure and development of an anastomosing network of ductile shear zones. *Journal of Structural Geology*, 32,5, 656-666.

Carvalhosa, A., 1960. Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, folha 15-D (Figueira de Castelo Rodrigo). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Dias, R., Ribeiro, A., Coke, C., Pereira, E., Rodrigues, J., Castro, P., Moreira, N., Rebelo, J., 2013. Evolução estrutural dos sectores setentrionais do autóctone da Zona Centro-Ibérica. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg (Eds), *Geologia de Portugal*, vol. 1, Escolar Editora, 73-147.

Diez Balda, M., Vegas, R., Gonzalez Lodeiro, F., 1990. Autochthonous sequences of Centro Iberian zone: In Dallmeyer, D. and Martinez Garcia, E. (eds.) *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer-Verlag, 172-188.

Figuerola, L.C., Parga, R., 1968. Sobre los ortoneises de Traguntía-Juzbado (Salamanca) y su significación tectónica. *Acta Geológica Hispánica*, III, 3, 69-72.

Godin, L.G., Rujic, R.D., Law, R.D., Searle, M.P., 2006. Channel flow, ductile extrusion and exhumation in continental collision zones: an introduction in Law, R. D., Searle, M. P., Godin, L. (eds) *Channel Flow, Ductile Extrusion and Exhumation in Continental Collision Zones*. Geological Society, London, Special Publications, 268, 1-23.

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.

Jimenez Ontiveros, P., Hernández Enrile, J.L., 1983. Rocas miloníticas indicadoras de la deformación progresiva en la zona de cizalla hercínica de Juzbado-Penalva do Castelo. *Studia Geologica Salmanticensia*, 18, 139-158.

Meireles, C., Pereira, E., Ferreira, N., Castro, P., 2006. O Ordovícico da Serra da Marofa: novos dados litoestratigráficos e estruturais. In: Mirão, J. & Balbino, A. (Coords.), Livro de Actas, VII Congresso Nacional de Geologia, Vol. II. Paleontologia, Pólo de Estremoz da Univ. de Évora, 645-648.

Pereira, I., Dias, R., Bento dos Santos, T., Mata, J., 2013. Interferência de estruturas variscas ao longo do cisalhamento de Juzbado-Penalva do Castelo; um exemplo de deformação progressiva. Livro de Actas da 9ª Conferência Anual do GGET-SGP, 123-126.

Quesada, C., Dallmeyer, R.D., 1994. Tectonothermal evolution of the Badajoz-Córdoba shear zone (SW Iberia): characteristics and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age constraints. *Tectonophysics*, 231, 195-213.

Regêncio Macedo, C.A., 1988. Granitóides, complexo xisto-grauváquico e ordovícico na região entre Trancoso e Pinhel : geologia, petrologia, geocronologia. Tese de doutoramento, Mus. Lab. Min. Geol., Univ.Coimbra, 430p.

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

Rodrigues, J.F., Bento dos Santos, T., Castro, P., Meireles, C., Ferreira, P., Ribeiro, A., Pereira, E., Ferreira, N., 2013. Deformação não-coaxial na Faixa Metamórfica Porto-Viseu: Détachment extensional ou par thrust/underthrust contraccional? Livro de Actas da 9ª Conferência Anual do GGET-SGP, 131-134.

Rodríguez-Fernández, L.R., Díez Montes, A., Escuder, J., Carrasco, R.M., Sanz Santos, M.A., 2000. Mapa geológico de España 1:50000, Vilvestre (hoja 449), série magna, 1ªed, 2ªsérie, Madrid.

Saint Blanquat, M., Tikoff, B., Teyssier, C., Vigneresse, J., 1998. Transpressional kinematics and magmatic arcs. In R. Holdsworth, R. Strachan, J. Dewey (eds). *Continental transpression and transtensional tectonics*. Special Publication. Geological Society of London, London, 327-340.

Silva, A.F., Ribeiro, M.L., 1991. Notícia Explicativa da Folha 15-A (Vila Nova de Foz Côa). Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.

Silva, A.F., Ribeiro, M.L., 1994. Notícia Explicativa da Folha 15-B (Freixo de Espada à Cinta). Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.

Sousa, M., 1981. Complexo Xisto-Grauváquico do Douro – A formação de Bateiras: fácies, ocorrência e significado litoestratigráfico. *Cuad. Geol. Ib.* 7, 645-651.

Tikoff, B., Teyssier, C., 1994. Strain modeling of displacement-field partitioning in transpressional orogens. *Journal of Structural Geology*, 16, 1575-1588.

ValleAguado, B., Azevedo, M., Schaltegger, U., Martínez Catalán, J., Nolan, J., 2005. U-Pb zircon and monazite geochronology of Variscanmagmatism related to syn-convergence extension in Central Northern Portugal. *Lithos*, 82, 169–184.

Villar Alonso, P., Fernández Ruiz, J., Bellido, F., Carrasco, R.M., Rodríguez Fernández, L.R., 2000. Memoria del mapa geológico de España 1:50000, Lumbrals (Hoja 475), série magna, 1ªed, 2ªsérie, 107p, Madrid.

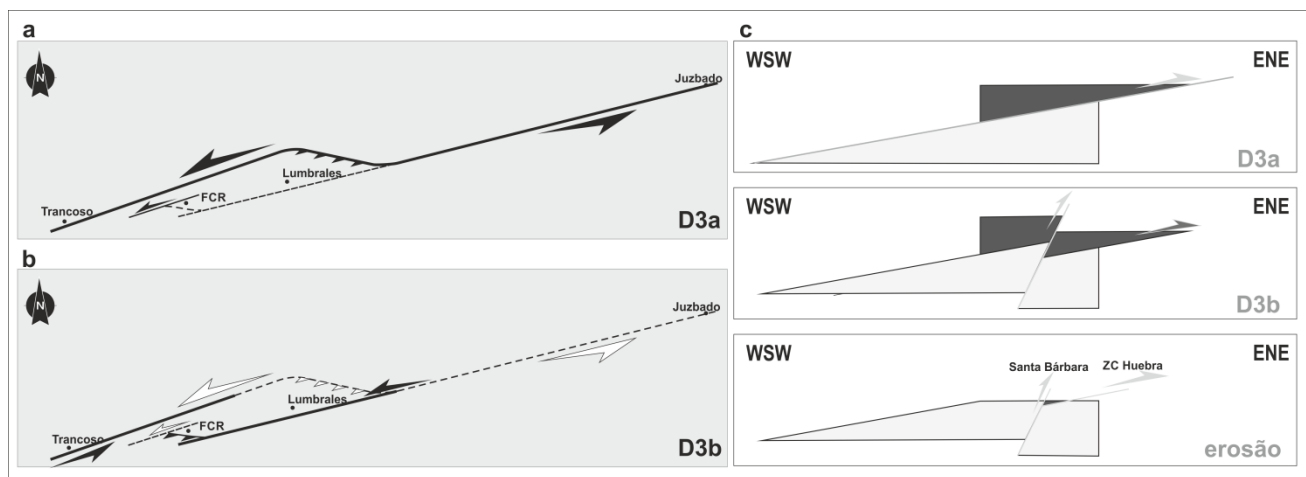
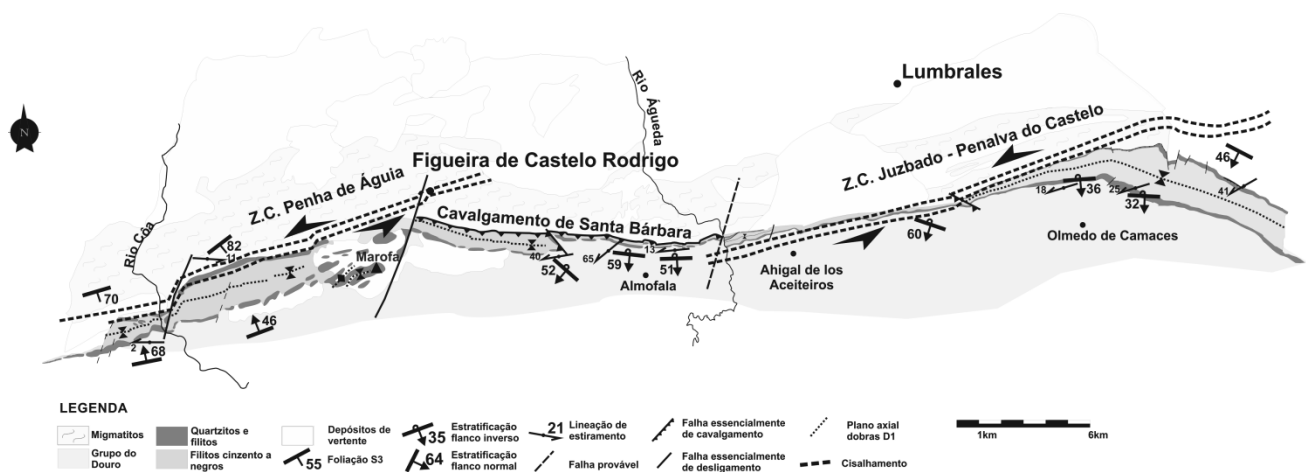
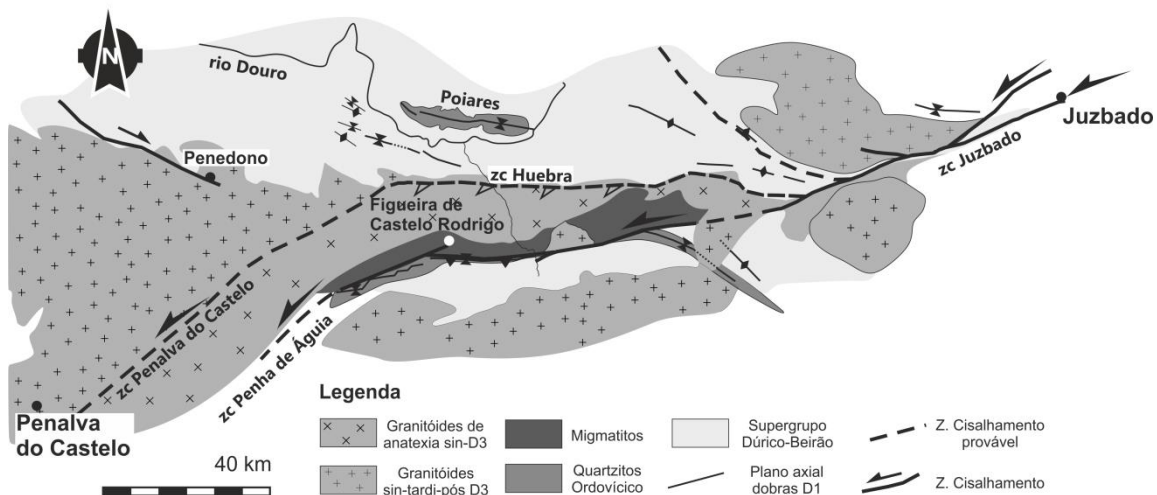


Figura.1 – Mapa com as principais estruturas associadas à ZCJPC.

Figure.1 – Map of the major structures along the Juzbado-Penalva do Castelo shear zone (JPCSZ)

Figura.2 – Mapa das estruturas principais na região de Figueira de Castelo Rodrigo – Lumbrales.

Figure.2 – Map of major structures on the Figueira de Castelo Rodrigo – Lumbrales region.

Figura.3 – Esquema interpretativo da evolução geodinâmica para a exumação do CAFCR-L.

Figure.3 – Interpretative scheme of the geodynamic evolution for the CAFCR-L exhumation.