

Deformação não-coaxial na Faixa Metamórfica Porto-Viseu: Détachement extensional ou par thrust/underthrust contraccional?

Non coaxial deformation in Porto-Viseu Metamorphic Belt: extensional détachement or contraccional thrust/underthrust pair?

J.F. Rodrigues^{1,2*}, T. Bento dos Santos^{2,3}, P. Castro², C. Meireles², P. Ferreira⁴, A. Ribeiro³, E. Pereira¹, & N. Ferreira²

¹ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto;

² LNEG – LGM;

³ Centro de Geologia da Universidade de Lisboa;

⁴ Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

* felic@fe.up.pt

Resumo: Analisam-se as características cinemáticas da deformação varisca polifásica em perfis transversais ao *trend* orogénico entre o Porto e Viseu com o objectivo de tecer algumas considerações sobre as condições de fronteira que presidiram à deformação orogénica na Faixa Metamórfica Porto-Viseu (FMPV). Aqui, a ocorrência de rochas de alto grau, designadamente de migmatitos, é de explicação complexa. Utilizam-se os dados estruturais e metamórficos recolhidos durante trabalhos de cartografia geológica para apresentar um modelo tectónico preliminar possível em que a faixa de rochas de alto grau seria limitada por um par de cisalhamentos dúcteis que, actuando como um par coevo *thrust/underthrust*, teria possibilitado a instalação dos metamorfitos de alto grau no *slate belt* centro-ibérico. Discute-se o fluxo geral da deformação na FMPV comparando-o com os modelos gerais de movimento de massa na Zona Centro-Ibérica, bem como a natureza extensional ou contraccional desta tectónica.

Palavras-Chave: Faixa Metamórfica Porto-Viseu; alto grau; par thrust/underthrust

Abstract: The cinematic features of the poliphasic variscan deformation are analyzed in some cross sections between Porto and Viseu, aiming to make some considerations about the boundary conditions of the orogenic ductile deformation in the Porto-Viseu Metamorphic Belt (PVMB). The occurrence of high grade rocks, namely migmatites, is of complex explanation. We use structural and metamorphic data collected during geological mapping to present a possible preliminary model in which the belt of high grade rocks should be limited by a pair of ductile shear zones which, acting as a coeval thrust/underthrust pair, would have enabled the emplacement of the high grade rocks in the Central Iberian slate belt. It is discussed the general ductile flow in the PVMB, which is compared with the general tectonic mass movements in the Central Iberian Zone, and also the extensional or contraccional nature of these tectonic processes.

Keywords: Porto-Viseu Metamorphic Belt; High grade rocks; thrust/underthrust couple

ENQUADRAMENTO GERAL DO PROBLEMA GEOLÓGICO

A Faixa Metamórfica Porto-Viseu (FMPV) tem sido referida por vários autores como uma anomalia térmica de reduzida largura aflorante e grande extensão longitudinal (e.g. Oen, 1970; Reavy, 1987). Pode observar-se um conjunto de características metamórficas e estruturais contrastantes, entre as rochas de alto grau da FMPV e as unidades de baixo grau aflorantes nas macroestruturas D1, do anticlinal de Valongo - sinclinal de Satão, e do sinclinal deitado de Oliveira de Azeméis – Albergaria-a-Velha que a enquadram, respetivamente, a Este e a Oeste. Salientam-se as seguintes: o evidente contraste de grau metamórfico entre diversas unidades

com afloramento próximo, independentemente dessa diferença de grau se apresentar segundo um gradiente metamórfico contínuo, ou através de um contacto tectónico brusco (Ferreira, 2013); o contraste entre a história deformacional das unidades de alto grau e as unidades de baixo grau; as primeiras com pelo menos três e, localmente, quatro fases de deformação (e.g. Valle Aguado et al., 1993), e as segundas apenas com duas fases de deformação (D1 e D3 centro-ibéricas) (Dias et al., 2013); a faixa de alto grau ocorre à mesma cota das sucessões de baixo grau atrás referidas, o que numa crusta orogénica espessada cria questões pertinentes no que respeita à explicação deste gradiente metamórfico decrescente para um e outro lado da FMPV; D2 na FMPV apresenta com frequência uma lineação mineral com orientação segundo a inclinação maior da foliação (S2) gerada em episódio fortemente não coaxial que gera rochas miloníticas. Na ZCI, as lineações de estiramento estão associadas a fábricas ortorrômbicas de achatamento transversal com alongamento induzido por movimento horizontal *strike-slip* (Dias et al., 2013);

DEFORMAÇÃO VARISCA NA FMPV

As geometrias e cinemáticas da deformação varisca final (D3 e D4) são conhecidas e os seus efeitos são relativamente fáceis de inverter. D1 gera uma xistosidade penetrativa que está, frequentemente, transposta por S2. A sua génese deve estar relacionada com macrodobramentos regionais cuja caracterização geométrica é difícil devido à intensidade de D2, que é ubíqua na FMPV e corresponde a uma fase de deformação fortemente não-coaxial, geradora de mesoestruturas que exibem forte vorticidade induzida por cisalhamento. Podem ser referidas fábricas miloníticas e sistemas de porfiroclastos. A dissimetria monoclinica da fábrica é evidente, tal como a redução de granularidade das rochas por recristalização dinâmica. Estes factos podem ser seguidos em gradientes cartográficos que culminam em faixas de intensa deformação. São acompanhados por uma lineação mineral segundo ou próximo da máxima inclinação de S2 e, conseqüentemente, de movimentação *dip-slip*, ou seja transversal ao *trend* orogénico. A cinemática de D2 mostra, assim, uma claríssima predominância de cisalhamento simples. Em muitos dos casos observados trata-se de um movimento de topo para os quadrantes orientais e, atendendo à inclinação geral de S2 para NE, de cinemática aparentemente normal que, em diversos trabalhos, tem sido relacionada com tectónica extensional (e.g. Valle Aguado et al., 2007; Azevedo e Aguado, 2013). Independentemente da tectónica responsável por esta deformação, ela deve corresponder a uma interpretação macroestrutural de zonas de cisalhamento. Dadas as orientações das lineações minerais, essas zonas de cisalhamento promoverão transporte tectónico de massa transversal ao orógeno, facto que, tanto quanto é do nosso conhecimento, não está relatado em toda a ZCI. Trabalhos já publicados referem a relação de D2 com zonas de cisalhamento regionais em que se verifica o relacionamento espacial estreito, pode até dizer-se coincidente e de aparecimento brusco, de D2 com as faixas de mais alto grau metamórfico (meso e catazonais) (Valle Aguado & Martínez Catálan, 1994). A FMPV é ladeada pelos metassedimentos de baixo grau do anticlinal de Valongo – Sinclinal de Satão a oriente e pelo sinclinal deitado de Oliveira de Azeméis – Albergaria-a-Velha a ocidente, ambos com vergência para SW. Dadas as características de D2, a respectiva interpretação macroestrutural, e os dados do metamorfismo a seguir descritos, é plausível, mesmo com reduzida revisão cartográfica, que a FMPV, seja limitada por duas zonas de cisalhamentos de notável importância à escala da ZCI e grande extensão em termos de profundidade crustal. Neste esquema, e considerando a vergência D1 atrás referida, o movimento destas rochas de alto grau teria vergência também para os quadrantes ocidentais. O limite oriental da FMPV seria um acidente do género *underthrust* e a ocidente haveria um acidente cavalgante. Este par coevo *thrust/underthrust* estaria assim relacionado com uma tectónica contraccional e não extensional. Observações recentes na zona de Ribeira de Fráguas (Albergaria-a-Velha) mostram o sentido de topo para Oeste do cavalgamento ocidental das rochas de mais alto grau sobre as unidades de baixo grau do Paleozóico Inferior centro-ibérico. O tombamento da

estrutura D1 de Oliveira de Azeméis – Albergaria-a-Velha deverá estar relacionada com a instalação desta lâmina de rochas de alto grau.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DO METAMORFISMO

A área entre o Porto e Viseu apresenta rochas com evoluções tectono-metamórficas distintas com condições termobarométricas distintas que sugerem uma evolução descontinuada no tempo com posterior justaposição até à situação em que se apresentam em afloramento. Esta análise centrou a atenção na observação dos minerais índice do metamorfismo, sendo ubíqua a transição brusca dos sectores de baixo grau metamórfico para rochas de alto a muito alto grau metamórfico. Constatou-se nos afloramentos analisados que as sequências, essencialmente metapelíticas, caracterizam-se, do topo para a base, por duas sequências metamórficas:

a) Filitos e xistos biotíticos incipientemente deformados na: 1) zona da clorite, que nos metapelitos apresenta a associação mineral: quartzo + albite + clorite + moscovite ± óxidos de ferro; e 2) zona da biotite, que nos metapelitos apresenta a associação mineral: quartzo + albite + clorite + moscovite + biotite ± óxidos de ferro;

b) Milonitos com porfiroclastos centimétricos de estaurolite com ou sem granada, micaxistos e milonitos com sillimanite e migmatitos, incluindo metatexitos e, por vezes, diatexitos. Apresentam as seguintes zonas tipomórficas: 1) zona da estaurolite (associação mineral: quartzo + plagioclase + moscovite + biotite + estaurolite ± granada ± andalusite ± sillimanite ± óxidos de ferro ± grafite); 2) zona da sillimanite (associação mineral: quartzo + plagioclase + moscovite + estaurolite + sillimanite + ilmenite ± biotite ± granada ± andalusite ± óxidos de ferro ± grafite); 3) zona da sillimanite + feldspato potássico com a associação de quartzo + plagioclase + moscovite + feldspato potássico + sillimanite + ilmenite ± estaurolite ± andalusite ± clorite ± óxidos de ferro ± grafite em metapelitos e a associação de quartzo + plagioclase + tremolite-actinolite + titanite + dióxido de ferro ± calcite ± granada ± moscovite ± clorite ± olivina ± apatite nas rochas calco-silicatadas.

A transição de rochas de baixo grau metamórfico (zona da clorite/biotite) para rochas de alto grau metamórfico (zona da estaurolite/sillimanite e metatexitos/diatexitos) é sempre muito brusca, chegando a ocorrer a passagem da zona da biotite a migmatitos em apenas 20m. Esta transição é marcada por acidentes tectónicos, bem como pela mudança drástica de feições estruturais sobrepostas às rochas.

A primeira sequência metamórfica representa o nível de base metamórfica da Zona Centro Ibérica que se caracteriza pelo baixo grau metamórfico, enquanto a segunda sequência encontra-se sempre em contacto com as rochas de baixo grau metamórfico através de um contacto tectónico. A segunda sequência apresenta também contactos tectónicos internos. A paragénese metamórfica prógrada da sequência de alto grau encontra-se ocasionalmente perturbada por evidências da evolução retrometamórfica (pseudomorfoses de andalusite a substituir estaurolite porfiroclástica e coroas de andalusite + biotite a rodear a estaurolite). Esta sequência é, no entanto, uma típica sequência metamórfica do tipo Barroviano (com espessamento crustal significativo) e apresenta um percurso P-T-t directo, envolvendo uma fase descompressiva importante após o estabelecimento do pico metamórfico à qual se seguiu arrefecimento rápido por reajustamento térmico com os níveis crustais superiores (Valle Aguado et al., 2006; Ferreira et al., 2010).

Os estudos petrográficos e de química mineral realizados na sequência de alto grau permite a individualização das paragénese consistentes com pico metamórfico (M_1), bem como a individualização das associações minerais que resultaram da fase retrometamórfica que se seguiu (M_2). O uso integrado desta informação com o auxílio do software Thermocalc (Holland & Powell, 1998), versão 3.36, que utiliza uma base de dados com consistência interna, nos xistos estaurolíticos com granada permitiu estabelecer que M_1 esteve a condições de $T = 635$ °C e $P = 5.7$ kbar e o estágio retrometamórfico M_2 passou pelas condições de $T = 437$ °C e $P =$

4.9 kbar. Estes resultados, obtidos nos xistos estaurolíticos são, no entanto, valores mínimos para as condições de T e P do pico metamórfico, pois não foram obtidos nas rochas de mais alto grau metamórfico. Estudos geotermobarométricos nos migmatitos estão em curso.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados estruturais recolhidos em trabalhos de revisão cartográfica permitem formular algumas considerações sobre o fluxo plástico do material durante a deformação varisca nesta região. Podem evidenciar-se algumas mudanças substanciais na deformação que são agora interpretadas como respondendo a distintas condições de fronteira que, por sua vez, podem corresponder a acidentes discretos que delimitam blocos no interior dos quais predominou um determinado regime de deformação distinto daquele que se verifica nos blocos adjacentes. Deste modo, sugere-se a possibilidade de esta faixa estar delimitada por dois acidentes cisalhantes de 1ª importância à escala da ZCI de actuação coeva e de cinemática relativa aparentemente antitética. Justificariam a implantação/instalação das rochas de alto grau da FMPV no seio da sucessão varisca de baixo grau da ZCI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azevedo, M. R., Valle Aguado, B., 2013. Origem e instalação de Granitóides Variscos na Zona Centro-Ibérica. In R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J. C. Kullberg (Eds.), *Geologia de Portugal, Vol. I – Geologia Pré-mesozóica de Portugal*, 377-401.
- 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. I – Geologia Pré-mesozóica de Portugal*, 73-147.
- Ferreira, P., 2013. Aspetos cartográficos, estruturais e metamórficos da Faixa Metamórfica Porto-Viseu: transversal na região entre a foz do rio Sousa e a barragem Crestuma-Lever. Tese de Mestrado, Fac. Ciências Univ. Porto, 116 pp.
- Ferreira, N., Godinho, M., Neves, L., Pereira, A., Sequeira, A., Castro, P., Bento dos Santos, T., 2010. *Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000, Notícia Explicativa da Folha 17A – Viseu*. Laboratório de Geologia e Minas, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Lisboa, 66.
- Holland, T. J. B., Powell, R., 1998. An internally-consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest. *Journ. Metam. Geology*, 16:309-344.
- Oen, I. S., 1970. Granite intrusion, folding and metamorphism in central northern Portugal. *Boletín Geológico y Minero*, LXXXI-II-III: 271-289.
- Reavy, J., 1987. Na investigation into the controls of granite plutonism in the Serra da Freita region, Northern Portugal. Tese de doutoramento, Univ. St Andrews, 199pp.
- Valle Aguado, B., Arenas, R., Martínez Catalán, J. R., 1993. Evolución metamórfica hercínica en la región de la Serra de Arada (Norte de Portugal). *Com. Inst. Geol. e Mineiro*, 79: 41-61.
- Valle Aguado, B., e Martínez Catalán, J. R., 1994. Contribución para el conocimiento del Complejo Esquisto-grauváquico de la región de Arouca (N de Portugal). *Com. Inst. Geol. Mineiro*, 80: 27-34.
- Valle Aguado, B., Martínez Catalán, J. R., Azevedo, M. R., 2000. Structure of the western termination of the Juzbado-Penalva do Castelo shear zone (Western Iberian Massif). Variscan–Appalachian dynamics: the building of the Upper Paleozoic basement, A Coruña, Spain, Program and Abstracts. *Basement Tectonics* 15, pp. 287– 291.
- Valle Aguado, B., Azevedo, M.R., 2006. Trajectórias PTt na cintura metamórfica de Porto Viseu: implicações no magmatismo granítico. *Actas do VII Congresso Nacional de Geologia*, Estremoz, 3, 1215-1218.
- Valle Aguado, B., Azevedo, M. R., Nolan, J., Martínez Catalán, J. R., 2007. Extensão varisca D2 na cintura metamórfica de Porto-Viseu: Dados geocronológicos $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. VI Cong. Ibérico de Geoquímica / XV Semana de Geoquímica, UTAD, 166-169 pp.