



VIII Congresso Ibérico  
de Geoquímica  
XVII Semana  
de Geoquímica

# CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DOS GRANITÓIDES DO PLUTONITO DE PAVIA (ZONA DE OSSA-MORENA), PORTUGAL

## GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE GRANITIC ROCKS FROM THE PAVIA PLUTON (OSSA-MORENA ZONE), PORTUGAL

**Selma M. Lima<sup>1\*</sup>, Ana M.R. Neiva, João M.F. Ramos<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup> Centro de Geociências e Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Largo do Marquês de Pombal, 3000-272 Coimbra, Portugal; <sup>1</sup> selmalima252@gmail.com; <sup>2</sup> neiva@dct.uc.pt

<sup>3</sup> LNEG, Rua da Amieira, Apartado 1089, 4466-901, S. Mamede de Infesta, Portugal; farinha.ramos@ineti.pt

### Resumo

O plutonito de Pavia é um complexo granítico orientado E-W e composicionalmente heterogéneo no seu bordo SW variando entre um tonalito biotítico-anfibólico (tonalito de S. Geraldo) e um granito de duas micas. A datação U-Pb destes granitos (*s.l.*) sugere que estes foram implantados em dois momentos distintos, o primeiro a ~328 Ma e o segundo a ~324 Ma. Com base na geoquímica de rocha total são apresentadas, no presente trabalho, as classificações químicas e tectónicas dos granitóides. Deste modo, as rochas granitóides do plutonito de Pavia são metaluminosas (tonalito de S. Geraldo) a ligeiramente peraluminosas. O tonalito metaluminoso possui diópsido normativo e nos membros peraluminosos o teor de corindo normativo não ultrapassa os 2%. Os granitóides são magnesianos e possuem um carácter cálcico a calco-alcálico. Apresentam composições típicas dos granitos de arco vulcânico (sub-ambiente arco continental normal) e segundo as classificações de Harris *et al.* (1986) e Batchelor & Bowden (1985) são pré-colisionais, à excepção do granito de duas micas, que por ser um leucogranito com moscovite, quimicamente se aproxima mais dos granitos sin-colisionais.

Palavras chave: Geoquímica de rocha total, granitóides, plutonito de Pavia, zona de Ossa-Morena

### Abstract

The Pavia pluton is a granitic complex oriented E-W and compositionally heterogeneous in its SW margin ranging from biotite>amphibole tonalite (S. Geraldo tonalite) to two-mica granite. U-Pb dating revealed that these granites (*s.l.*) were emplaced at two distinct times, the first at ~328 Ma and the second at ~324 Ma. In this work the chemical and tectonic classification of these granitic rocks, based on whole rock geochemistry, are presented. They are metaluminous (S. Geraldo tonalite) to slightly peraluminous. The metaluminous tonalite is diopside-normative and the peraluminous rocks have up to 2% corundum content. Granitoids are magnesian, calcic to calc-alkaline. Their compositions are similar to those of volcanic arc granites (normal continental arc). They are, according to Harris *et al.* (1986) and Batchelor & Bowden (1985) classifications, pre-collisional except for the two-mica granite which has leucogranitic character and contains muscovite and consequently chemically approximates to sin-collisional granite compositions.

Keywords: Granitoids, Ossa-Morena zone, Pavia pluton, whole-rock geochemistry

## ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

O plutonito de Pavia localiza-se na Zona de Ossa-Morena. Esta zona corresponde à parte ocidental da Cadeia Varisca Europeia (Fig. 1a) e é uma das subdivisões tectonoestratigráficas do Maciço Ibérico. O plutonito de Pavia intruiu o Complexo Gnáisso-Migmatítico do Neoproterozóico, metamorizado no Carbónico Inferior e os xistos (Formação de Moura) e metabasitos e metapelitos (Formação do Carvalhal) do Câmbrio Médio/Superior-Ordovícico Inferior (?) (Pereira et al., 2007). Este complexo intrusivo é maioritariamente granítico contudo, na sua margem SW uma variação composicional desde tonalito biotítico-anfibólico (G1) até um granito de duas micas (G6) é observada. Todas as litologias são cortadas por vários pórfiros riodacíticos, microgranitos (*s.l.*) e filões aplito-pegmatíticos e pegmatíticos (Fig. 1b). Ocorrem raros xenólitos de anfibolitos e granodioritos (Enc.) e raros enclaves microgranulares. Dados de geocronologia usando o sistema U-Pb em zircão, titanite e monazite por ID-TIMS permitiu distinguir dois momentos de implantação granítica na área. O primeiro, a ~328 Ma, é caracterizado pela implantação do tonalito de S. Geraldo (G1), trondhjemito e granodioritos associados (G2) e um enclave de granodiorito com biotite e anfibola (Enc), que mais tarde foi incorporado pelo granodiorito biotítico 2 (G5). O segundo evento magmático, a ~324 Ma, é caracterizado pela implantação dos dois granodioritos biotíticos (G3 e G5), do granodiorito de duas micas (G4) e do granito de duas micas (G6).

## GEOQUÍMICA DE ROCHA TOTAL

### Caracterização química

De um modo geral, a classificação dos granitóides usando o diagrama R1-R2 de La Roche et al. (1980), para as composições químicas, e o diagrama Q'-ANOR de Streckeisen & Le Maitre (1979), para as composições normativas, estão de acordo com as classificações obtidas por determinação das composições modais. O tonalito de S. Geraldo (G1) é metaluminoso, apresentando um valor médio de ASI de 0.97. Os restantes granodioritos e granito são ligeiramente peraluminosos apresentando valores de ASI inferiores a 1.1. G1 possui diópsido normativo e os restantes granitos (*s.l.*) possuem corindo normativo (Tabela 1). Como o índice de saturação em alumínio ( $ASI = Al / (Ca - 1.67P + Na + K)$ ) é determinado, predominantemente, pela composição do protólito e pela natureza do processo de fusão (Frost et al., 2001) e a diferença no grau de saturação em alumina é pouco significativa nestes granitóides é proposto que os protólitos destes granitóides são quimicamente idênticos e/ou estes estarão relacionados por um processo de fusão semelhante.

Todos os granitóides são magnesianos (Fig. 2a), reflectindo afinidade com protólitos e magmas hidratados e oxidantes, consistentes com ambientes relacionados com fenómenos de subducção (Frost et al., 2001), e apresentam um enriquecimento, moderado a forte, em Ca relativamente ao teor em alcális. G5 e G6 são calco-alcálicos, G2 e Enc são cálcicos e G3 e G4 projectam-se próximo do limite dos campos calco-alcálico e cálcico. As amostras de G1 projectam-se em ambos os campos (Fig. 2b).

Tabela 1 – Diópsido e corindo normativos em % das rochas graníticas do plutonito de Pavia.

Granitóide	Di	C
G1	0.11-1.86	
G2		1.18-1.95 (0.25 para o trondhjemito)
Enc		0.83
G3		0.55 – 1.31
G4		0.79 – 1.89
G5		0.95 - 1.25
G6		0.91 - 1.42

Valores calculados usando a Norma CIPW.  
Di – diópsido; C - corindo

Para avaliar o grau de diferenciação dos granitóides em estudo, os teores em Sr, Rb e Ba foram projectados no diagrama ternário de El Bousely & El Sakkary (1975). Neste gráfico os granitóides são projectados maioritariamente no campo dos granodioritos e quartzo-dioritos (Fig. 3), sendo portanto pouco diferenciados. Para além disso, não é evidente qualquer tendência de diferenciação entre as diferentes composições (tonalito a granito) projectadas.

### Caracterização tectónica

Uma primeira aproximação ao carácter tectónico das rochas graníticas em estudo é dada na Fig. 2 onde se observa que todos os granitóides caem dentro do campo definido para os granitos do tipo Cordilheira (orogénicos). Para uma melhor caracterização tectónica foram usados os diagramas discriminatórios de Pearce et al. (1984) que permitem a distinção entre granitos intra-placa, granitos da dorsal oceânica, granitos colisionais e granitos de arco vulcânico. Os granitóides do plutonito de Pavia foram projectados, em todos os diagramas de Pearce et al. (1984), no campo dos granitos de arco vulcânico (Fig. 4). No diagrama geoquímico normalizado em relação ao granito hipotético da dorsal oceânica (Pearce et al., 1984) observa-se que os granitos (*s.l.*) estudados seguem todos a mesma tendência e são enriquecidos em K<sub>2</sub>O, Rb, Ba, Th e Ce relativamente a Ta, Nb, Hf, Zr, Sm, Y e Yb (Fig. 5). Relativamente à composição normalizada, os teores de Y e Yb são muito baixos. Estas tendências são características dos granitos de arco vulcânico.

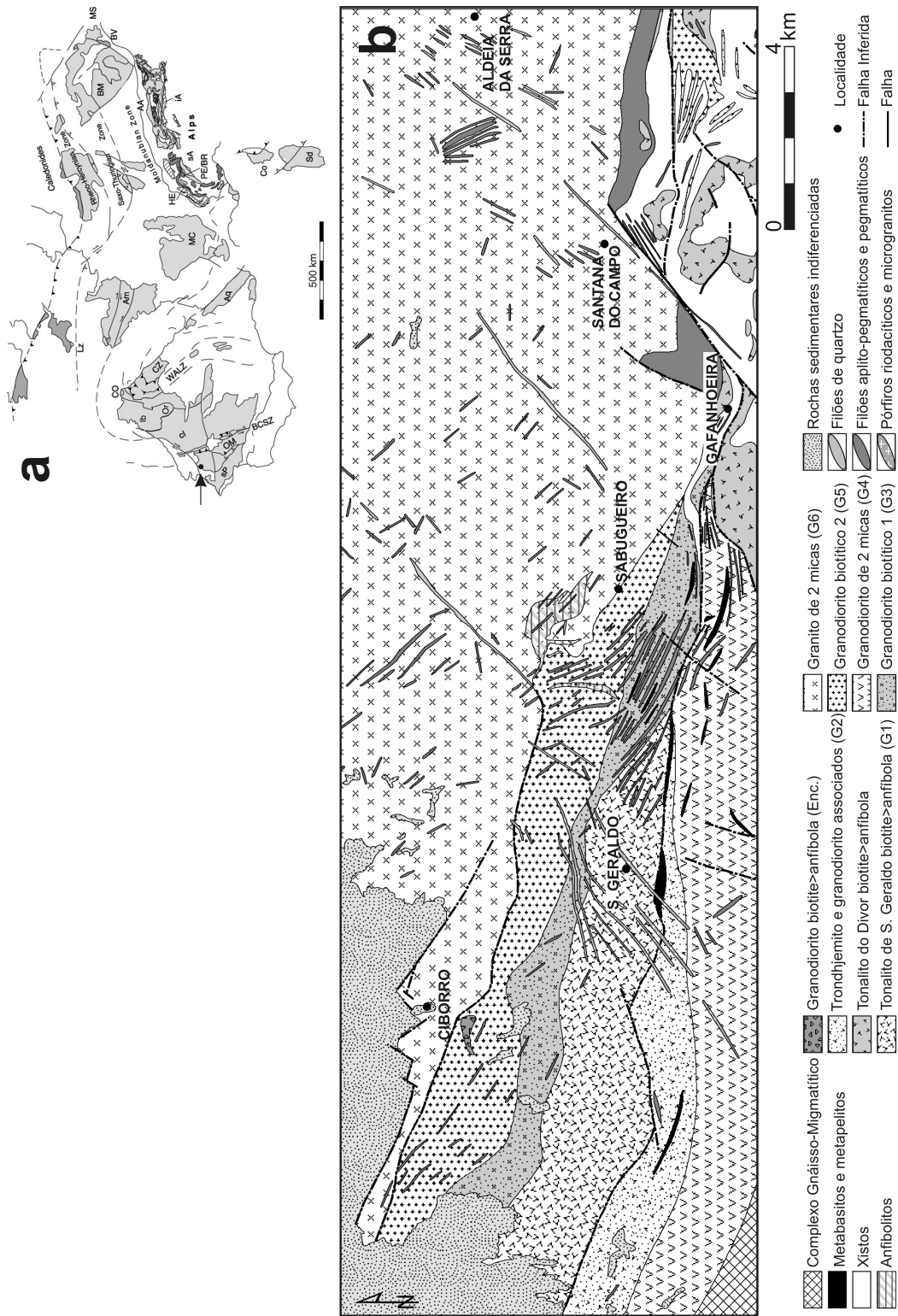


Fig. 1 – a) Localização geográfica do plutonito de Pavia na Cadeia Varisca Europeia (von Raumer et al., 2003); b) Mapa geológico da área estudada.

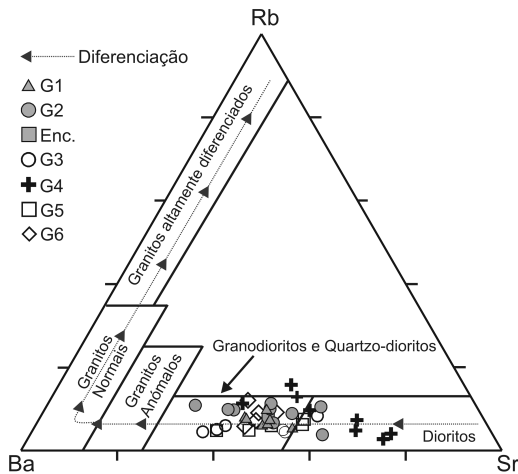
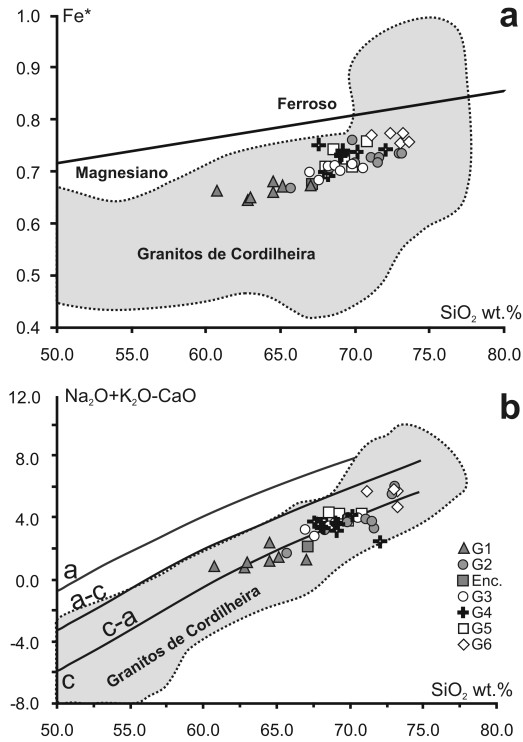


Fig. 3 - Diagrama ternário Sr-Rb-Ba de El Bouseily & El Sokyry (1975).

Este tipo de ambiente pressupõe que a intrusão dos granitos (s.l.) seja anterior à colisão. Harris et al. (1986) concluíram que, petrograficamente, os granitos de arco vulcânico são similares aos granitos tardi a pós-colisionais e, quimicamente, apesar das intrusões tardi a pós-colisionais apresentarem valores médios de  $Ta/Hf$  e  $Ta/Zr$  e  $^{87}Sr/^{86}Sr$  mais elevados existe uma marcada sobreposição entre estes e as intrusões de arco

vulcânico maturos. Por esta razão, Harris et al. (1986) desenvolveram o diagrama ternário 3Ta-Rb/30-Hf que permite uma melhor discriminação entre estes ambientes e que confirma que os granitóides do plutonito de Pavia têm afinidade com intrusões de arco vulcânico (Fig. 6).

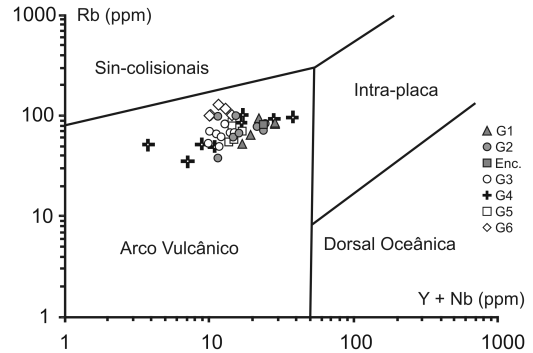


Fig. 4 - Diagrama discriminatório Rb-(Y+Nb) de Pearce et al. (1984).

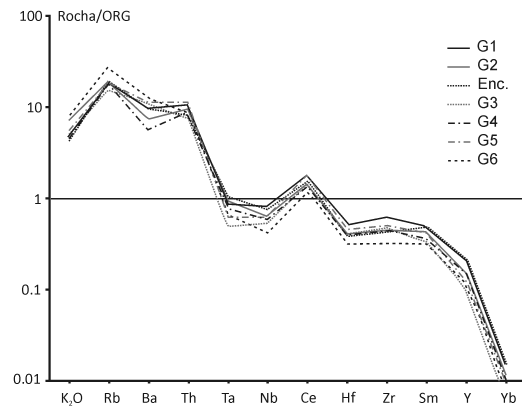


Fig. 5 - Perfis geoquímicos dos granitóides do plutonito de Pavia normalizados para o granito hipotético da dorsal oceânica (Pearce et al., 1984).

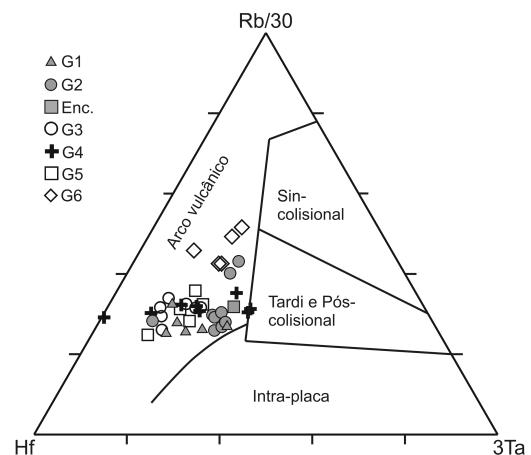


Fig. 6 - Projecção dos granitos (s.l.) do plutonito de Pavia no diagrama ternário 3Ta-Rb/30-Hf de Harris et al. (1986).

Esta classificação é ainda confirmada pelo diagrama R1-R2 de La Roche et al. (1980) modificado por Batchelor & Bowden (1985) (Fig. 7) onde os granodioritos e tonalito são projectados no campo definido para os granitos (s.l.) pré-colisionais. Contudo, o granito de duas micas (G6) e duas amostras do granodiorito biotítico 1 (G2), segundo o mesmo diagrama, são sin-colisionais. Esta diferença poderá estar relacionada com o carácter leucogranítico e pela abundância de moscovite característicos dos granitos sin-colisionais, normalmente do tipo S (Batchelor & Bowden, 1985; Harris et al., 1986). Contudo, as idades obtidas para os granitóides indicam que se tratam de granitóides tardi-colisionais (Ribeiro et al., 2007). Por outro lado, e segundo os mesmos autores, entre ~330 e 325 Ma o rápido uplift/erosão junto do limite entre a Zona de Ossa-Morena e a Zona Sul Portuguesa foi responsável pela redução significativa da força crustal favorecendo a mistura de magmas anatécicos (desta idade) com magmas pré-existentes derivados do manto, o que poderá justificar a assinatura pré-colisional observada.

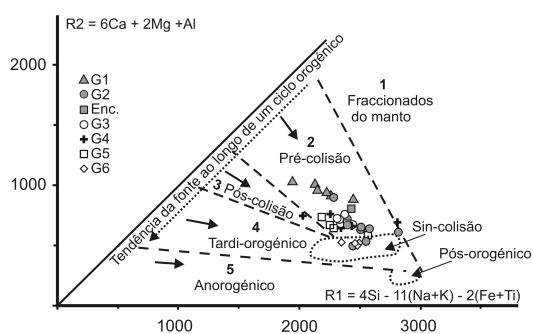


Fig. 7 – Projecção dos granitos (s.l.) do plutonito de Pavia no diagrama R1-R2 de La Roche et al. (1980) modificado por Batchelor & Bowden (1985).

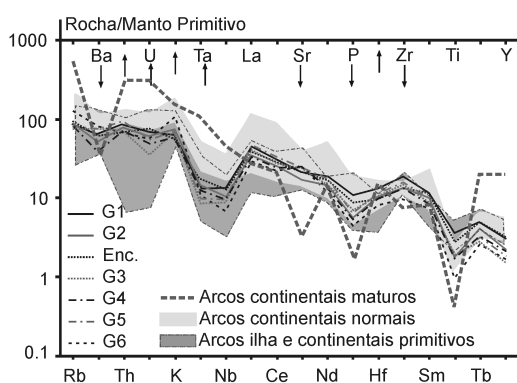


Fig. 8– Perfis geoquímicos dos granitóides do plutonito de Pavia normalizados para os valores do manto primitivo (Wood et al., 1979). As setas representam as tendências principais observadas com o aumento da "maturidade do arco" de acordo com Brown et al. (1984).

As intrusões de ambiente de arco vulcânico podem ser divididas, de acordo com Brown et al. (1984), em três sub-ambientes: 1) arcos ilha e arcos continentais primitivos; 2) arcos continentais normais; e 3) arcos continentais maduros. As composições médias de cada granitóide foram normalizadas para os valores de Wood et al. (1979) para o manto primitivo. As rochas graníticas em estudo mostram um afastamento considerável relativamente aos granitos (s.l.) de arcos continentais maduros e seguem a mesma tendência que os granitos (s.l.) de arcos continentais normais (Fig. 8). Estes distinguem-se dos granitos (s.l.) de arcos ilha e continentais primitivos pelas pequenas anomalias negativas em Ba, U, Sr, P e uma forte anomalia negativa em Ti. As rochas plutónicas deste sub-ambiente são ainda caracterizados por baixas taxas HFSE/LILE. Esta classificação está de acordo com o carácter metaluminoso a ligeiramente peraluminoso e composição cálcica a calcoalcalina dos granitos (s.l.) estudados (Brown et al., 1984).

## Agradecimentos

O primeiro autor beneficia da bolsa de doutoramento SFRH/BD/39948/2007 concedida pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

## Referências Bibliográficas

- Batchelor, R.A., Bowden, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chem. Geol.*, 48, 43-55.
- Brown, G.C., Thorpe, R.S., Webb, P.C. 1984. The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources. *J. Geol. Soc. London*, 141, 413-426.
- El Bouseily, A.M., El Sokkary, A.A. 1975. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chem. Geol.*, 16 (3), 207-219.
- Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Ellis, D.J., Frost, C.D. 2001. A Geochemical Classification for Granitic Rocks. *J. Petrol.*, 42 (11), 2033-2048.
- Harris, N.B., Pearce, J.A., Tindle, A.G. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward, M.P., Ries, A.C. (Eds.). *Collision Tectonics*. Geol. Soc. London, Special Publications, 19, 67-81.
- La Roche, H., Leterrier, J., Grand Claude, P., Marchal, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagrams and major element analyses – its relation ship with current nomenclature. *Chem. Geol.*, 29, 183-210.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25 (4), 956-983.

- Pereira, M.F., Silva, J.B., Chichorro, M., Moita, P., Santos, J.F., Apraiz, A., Ribeiro, C. 2007. Crustal growth and deformational processes in the northern Gondwana margin: Constraints from the Évora Massif (Ossa-Morena zone, southwest Iberia, Portugal). In: Linnemann, U., Nance, R.D., Kraft, P., Zulauf, G. (Eds.), *The Evolution of the Rheic Ocean: From Avalonian-Cadomian active margin to Alleghenian-Variscan collision*. GSA Special Paper 423, 333-358.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Dias, R., Mateus, A., Pereira, E., Ribeiro, L., Fonseca, P., Araújo, A., Oliveira, T., Romão, J., Chaminé, H., Coke, C., Pedro, J. 2007. Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides. *Tectonics*, 26, TC6009, 24 p.
- Streckeisen, A., Le Maitre. 1979. A chemical approximation to the modal QAPF classification of igneous rocks. *Neues Jahrb Mineral Abh*, 136, 169-206.
- von Raumer, J.F., Stampfli, G.M., Bussy, F. 2003. Gondwana-derived microcontinents – the constituents of the Variscan and Alpine orogens. *Tectonophysics*, 365, 7-22.
- Wood, D.A., Joron, J.-L., Treuil, M., Norry, M., Tarney, J. 1979. Elemental and Sr isotope variation in basic lavas from Iceland and the surrounding ocean floor. *Contr. Mineral. Petrol.*, 70, 319-339.