



O PLUTÃO ZONADO DE CASTELO BRANCO: GEOQUÍMICA E PETROGÊNESE

THE ZONED PLUTON FROM CASTELO BRANCO: GEOCHEMISTRY AND PETROGENESIS

Isabel M.H.R. Antunes^{1,3*}, Ana M.R. Neiva^{2,3}, Maria M.V.G. Silva^{2,3}

¹ Instituto Politécnico de Castelo Branco, Castelo Branco, Portugal. * imantunes@ipcb.pt

² Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal

³ Centro de Geociências

Resumo

O plutão de Castelo Branco é constituído por cinco granitóides peraluminosos (GI a GV), que se dispõem concentricamente do núcleo para o bordo, com uma idade de implantação de 310 ± 1 Ma, obtida por U-Pb em cristais isolados de zircão e monazite. As suas características estruturais, mineralógicas, geoquímica das rochas e dos minerais, perfis de terras raras e composição isotópica sugerem que o granito de grão médio a fino moscovítico-biotítico (GI, no centro do plutão), o granodiorito de grão médio a fino, levemente porfiróide, biotítico-moscovítico (GII) e o granito de grão grosseiro moscovítico-biotítico (GV, no bordo do plutão) correspondem a três pulsações magmáticas distintas. Estas rochas granitóides resultaram da fusão parcial dos materiais metassedimentares da rocha encaixante. O magma do granodiorito de grão médio a fino, levemente porfiróide, biotítico-moscovítico (GII), originou o granodiorito de grão médio a grosseiro, porfiróide, biotítico-moscovítico (GIII) e o granito de grão médio a grosseiro, porfiróide, de duas micas com quantidades idênticas de biotite e moscovite (GIV) por cristalização fraccionada de plagioclase, quartzo, biotite e ilmenite, dispostos desde o núcleo para o bordo do plutão. Este plutão apresenta um raro zonamento inverso.

Palavras chave: granito de Castelo Branco, granitos de tipo S, zonamento inverso, cristalização fraccionada

Abstract

The Castelo Branco pluton consists of five peraluminous granitoids (GI to GV), which are arranged concentrically from the core to the rim, with an implantation age of 310 ± 1 Ma obtained by U-Pb zircon and monazite crystals. Their structural characteristics, mineralogy, geochemistry of rocks and minerals, REE patterns and isotopic composition suggest that fine- to medium-grained muscovite-biotite granite (GI, in the core), fine- to medium-grained, slightly porphyritic, biotite-muscovite granodiorite (GII) and coarse-grained muscovite-biotite granite (GV, in the rim) correspond to three distinct pulses of magma. These granitoid resulted from partial melting of metasedimentary materials. The fine- to medium-grained, slightly porphyritic, biotite-muscovite granodiorite magma (GII), originated a medium- to coarse-grained, porphyritic, biotite-muscovite granodiorite (GIII) and a medium- to coarse-grained, porphyritic, two-mica granite with equal amounts of biotite and muscovite (GIV) by fractional crystallization of plagioclase, quartz, biotite and ilmenite from the core to the rim. This pluton has a rare reverse zoning.

Keywords: Castelo Branco granite, S-type granites, reversely zoning, fractional crystallization

Introdução

As rochas granitóides fornecem informações dos processos petrogenéticos, constituindo uma importante fonte de zonas profundas da crosta (e.g., Best e Christiansen, 2001). De acordo com a sua origem várias classificações têm sido propostas para as rochas graníticas (e.g., Didier et al., 1982; Chappell e White, 2001; Barbarin, 1990; Ishihara, 2004).

Os plutões graníticos da Zona Centro Ibérica (ZCI) mostram uma vasta diversidade composicional, variando desde tipos peraluminosos a calco-alcálico e sub-alcálicos (e.g., Neiva, 1993; Dias et al., 1998; Silva e Neiva, 2000; Neiva e Gomes, 2001; Antunes et al., 2008). Um plutão com zonamento normal apresenta, desde a periferia para o seu núcleo, um aumento na quantidade de minerais félsicos e um decréscimo nos minerais máficos e no teor de anortite da plagioclase (e.g., Pitcher, 1997; El-Nisr e El-Sayed, 2002). Os plutões com zonamento inverso são bastante raros, possuindo um bordo mais félsico e um núcleo mais máfico (e.g., Allen, 1992; Barbey et al., 2001). O zonamento é mais frequente em plutões graníticos do tipo I, estando nos granitos de tipo S geralmente associado a diferentes composições da fonte metapelítica original e sua fusão parcial (e.g., Pitcher, 1997).

Neste trabalho são apresentadas as características geoquímicas do plutão granítico de Castelo Branco e os respectivos processos petrogenéticos que justificam a sua variabilidade composicional.

Geologia

O plutão granítico de Castelo Branco aflora numa área com cerca de 390 km², com um diâmetro médio de 19 km. É constituído por cinco granitóides de idade Varisca que intruíram o Complexo Xisto-Grauváquico e o granodiorito biotítico de Oledo, do Ordovício Inferior (480±2 Ma; Antunes et al., 2009).

O centro do plutão é ocupado por um granito de grão médio a fino, moscovítico-biotítico (GI), rodeado pelo granodiorito de grão médio a fino, levemente porfiróide, biotítico-moscovítico (GII) seguido pelo granodiorito de grão médio a grosseiro, porfiróide, biotítico-moscovítico (GIII), que é rodeado pelo granito de grão médio a grosseiro, porfiróide, de duas micas com quantidades idênticas de biotite e moscovite (GIV). O granodiorito GIII e granito GIV contêm encraves do granodiorito GII. A bordadura do plutão é limitada, a N e NE da área, pelo granito de grão grosseiro, moscovítico-biotítico (GV), que não ocorre na zona S e W do plutão, as quais são ocupadas pelo granito GIV.

O contacto entre o granito GI e o granodiorito GII é brusco. Os granitos GIV e GV apresentam um contacto brusco, mas com grau de alteração considerável.

No granito GIV foi encontrado um xenólito metassedimentar, com dimensão 12.5×8.0 cm. Os encraves micáceos são frequentes no granodiorito GII e no granito GIV, escassos no granito GI e raros no granodiorito GIII. Apresentam dimensões que variam desde 0.5×0.4 cm a 2.4×1.3 cm, ocorrendo o maior no granito GII, com 4.3×1.9 cm. No granito GV, por sua vez, não foram encontrados encraves micáceos.

A instalação do plutão de Castelo Branco originou uma auréola de metamorfismo de contacto com espessura superior a 2 km, tendo produzido corneanas pelíticas na zona mais interna e micaxistos na zona externa.

O Complexo Xisto-Grauváquico e as rochas graníticas são atravessados por veios aplito-pegmatíticos e filões de quartzo.

Mineralogia e Geoquímica

O plutão de Castelo Branco possui composição mineralógica variável, desde granodiorito a granito. As rochas granitóides contêm quartzo, microclina micropertítica, plagioclase, biotite, alguma clorite, moscovite, turmalina, monazite, apatite, zircão, ilmenite e rútilo. O granodiorito GIII e granito GIV possuem, também, andaluzite e cordierite. A silimanite ocorre pontualmente nos granodioritos GII e GIII e no granito GIV. Os granitos GI e GV possuem textura hipidiomórfica granular, enquanto os granodioritos GII e GIII e o granito GIV apresentam uma textura porfiróide, hipidiomórfica granular. O granodiorito GII apresenta fenocristais de microclina com dimensões que variam de 5x15 mm a 21x70 mm. O granodiorito GIII e o granito GIV apresentam fenocristais de microclina e de albite-oligoclase com dimensões compreendidas entre 5x16 mm e 60x92 mm.

As rochas granitóides têm um carácter peraluminoso, com valores de A/CNK entre 1.1 e 1.7 e corindo normativo de 2.7 a 3.8. Segundo a classificação de Frost et al. (2001), são predominantemente rochas magnesianas e alcálico-cálcicas.

De acordo com a classificação de Pearce et al. (1984), enquadra-se no campo dos granitos de colisão sin-tectónicos (Fig. 1).

Os diagramas de variação de SiO₂, MgO, Ba, Ba/K, Li/Mg, Th, Cr, Sr, Rb, K/Rb, Sr/(K+Ca) e Rb/Ba mostram que os granodioritos porfiróides biotítico-moscovíticos GII e GIII, o granito porfiróide de duas micas GIV e o granito moscovítico-biotítico GV definem curvas, sugerindo uma sequência de diferenciação magmática (Antunes et al., 2008). O granito moscovítico-biotítico GI, que intruiu no núcleo do plutão, não se projecta nas curvas, indicando que não pertence a esta sequência (Antunes et al., 2008).

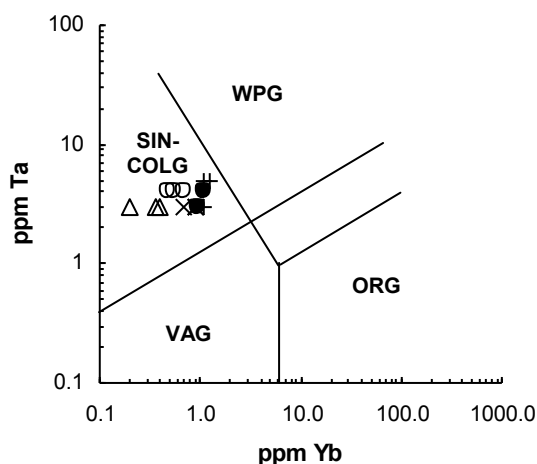


Fig. 1 – Projecção das amostras do plutão de Castelo Branco no diagrama Ta versus Yb de Perace et al. (1984). Abreviaturas: ORG - granitos de cristas oceânicas; VAG – granitos de arcos vulcânicos; WPG – granitos intraplacas; syn-COLG – granitos de colisão sin-tectônicos. Símbolos: Δ – GI; + - GII; ● - GIII; ○ - GIV; X - G5.

Os cinco granitóides GI a GV têm perfis enriquecidos em terras raras leves comparativamente com as terras raras pesadas ($La_N/Lu_N = 7 - 33$) e com anomalias negativas de Eu (Fig. 2), característicos de magmas derivados de protólitos metassedimentares (Nabelek e Glascock, 1995). O granodiorito GII é o mais rico em todas as terras raras, enquanto o granito GV é o mais pobre em terras raras leves e com o menor fraccionamento de terras raras leves em relação às terras raras pesadas ($La_N/Lu_N = 7$) e menor fraccionamento dentro das terras raras pesadas ($Gd_N/Lu_N = 2$) (Fig. 2).

Os granitóides GII, GIII e GIV mostram perfis de terras raras subparalelos com decréscimo de todas as terras raras e aumento na anomalia negativa de Eu do granodiorito biotítico-moscovítico GII para o granito de duas micas GIV (Fig. 2). Os perfis de terras raras de GI e GV cortam-se nas terras raras pesadas, indicando que estes granitos não estão relacionados (Fig. 2).

As rochas granitóides do plutão de Castelo Branco, possuem teores médios de Sn compreendidos entre 11 e 18 ppm (Antunes et al., 2008), mostrando que não são granitos estaníferos (Lehmann, 1990). Em algumas amostras do granito GI, os teores de Sn atingem 28 ppm, as quais apresentam alguns efeitos metassomáticos e os teores de Sn aumentam com a alteração hidrotermal (e.g., Neiva, 2002).

Geoquímica isotópica

A datação isotópica em cristais de zircão e de monazite, por U-Pb ID-TIMS, dos granitóides GI,

GII e GV indicam uma idade de 310 ± 1 Ma para este plutão e que são contemporâneas (Antunes et al., 2010).

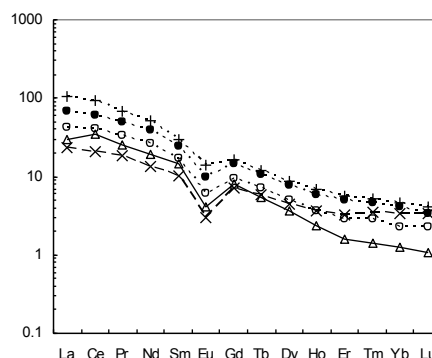


Fig. 2 – Diagrama de terras raras normalizadas para condrito das rochas granitóides do plutão de Castelo Branco. Símbolos como na Fig. 1.

As razões isotópicas ($^{87}Sr/^{86}Sr$)₃₁₀ obtidas para GI (0.7090±0.011), GII (0.7108±0.024), GIII (0.7104), GIV (0.7120) e GV (0.7086±0.020), são variáveis, sugerindo que estas rochas não estavam em completo equilíbrio isotópico no momento de implantação. Este desequilíbrio é apoiado pelos valores heterogêneos de ϵNd_{310} (GI = -3.8; GII = -1.7; GIII = -0.8; GIV = -2.8; GV = -3.0) (Antunes et al., 2008).

Os resultados isotópicos de $\delta^{18}O$ variam entre +12.23 a +13.65 ‰, com um aumento progressivo de GII para GIII, GIV e GV. Estes valores definem uma correlação positiva com SiO₂, Li, Rb e negativa com FeO, Sr e Ba, mas GII, GIII e GIV definem uma tendência curvilínea e GI e GV, embora próximos, não se projectam na sequência (Antunes et al., 2008).

As rochas granitóides de Castelo Branco representam um plutão zonado de rochas peraluminosas, do tipo S.

A distribuição dos resultados isotópicos mostra variabilidade dentro de cada unidade e revela a contribuição de três magmas isotópicos distintos (GI, GII e GV).

Petrogênese

As variações geoquímicas encontradas nas rochas granitóides do plutão de Castelo Branco e seus minerais (Antunes et al., 2008) sugerem um processo de cristalização fraccionada para estas rochas desde o granodiorito GII ao granito GIV.

A modelização de elementos maiores e menores destas rochas, mostra que a quantidade de quartzo no cumulado, os valores de Rb, Rb/Sr e Rb/Ba calculados das rochas aumentam, enquanto a de plagioclase do cumulado e de Sr calculado nas rochas diminui

ao longo do processo de cristalização fraccionada desde GII a GIV (Antunes et al., 2008). O granito GV, por sua vez, projecta-se fora desta sequência, pelo que corresponderá a uma pulsação magmática distinta. O magma granodiorítico GII, originou o granodiorito GIII e o granito GIV por um processo de cristalização fraccionada, com a separação de plagioclase, quartzo, biotite e ilmenite. O granito GV não pertence a esta sequência de diferenciação e representa uma pulsação magmática distinta (Antunes et al., 2008).

O granito GI, localizado no núcleo do plutão, corresponde a uma pulsação magmática distinta, como indicado pelas características geoquímicas e o contacto brusco com GII.

As características estruturais, mineralógicas e geoquímicas das rochas granitóides do plutão de Castelo Branco indicam que estão representadas três pulsações magmáticas distintas. As razões isotópicas iniciais ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)₃₁₀ confirmam que os granitóides GII, GIII e GIV são cogenéticos e que o processo de cristalização fraccionada decorreu ao longo de cerca de 4 Ma (Antunes et al., 2008).

As características geoquímicas da rocha e dos minerais e quociente mais elevado de ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)₃₁₀ obtido para o granito GV, que ocupa as partes externas do plutão e se projecta próximo da sequência de cristalização fraccionada definida, sugerem que poderá ter resultado da assimilação de metassedimentos acompanhada de cristalização fraccionada (processo AFC). A modelização utilizando o teste AFC não foi possível, pelo que GV corresponderá a uma pulsação magmática granítica distinta (Antunes et al., 2008).

As idades obtidas em cristais de zircão e monazite de 310 ± 1 Ma, nos granitóides GI, GII e GV mostram que estas rochas são contemporâneas.

Os diferentes valores de ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)₃₁₀ e ϵNd_{310} obtidos para GI, GII e GV confirmam que representam três pulsações magmáticas distintas. As rochas granitóides são peraluminosas e as suas características indicam que são derivadas de materiais metassedimentares e que correspondem a granitos do tipo S (Chappell e White, 1992).

As diferenças químicas encontradas entre GI, GII e GV são atribuídas à heterogeneidade da fonte metassedimentar de origem, pois estão implantadas no Complexo Xisto-Grauváquico Câmbrico, que consiste em filitos com intercalações de metagrauvaques e mármore.

O plutão de Castelo Branco mostra um zonamento inverso resultante da fusão parcial dos materiais pelíticos heterogéneos da rocha encaixante e da cristalização fraccionada do magma granodiorítico GII. O granito GI, que ocorre no núcleo do plutão, foi o primeiro a intruir e corresponde a uma pulsação magmática independente. Este granito está

rodeado pelo granodiorito GII que originou o granodiorito GIII e o granito GIV por um processo de diferenciação magmática, formados para o exterior do plutão. O granito GV, forma algumas das partes mais externas do plutão, e corresponde a uma pulsação magmática distinta tendo sido último a intruir (Antunes et al., 2008).

Agradecimentos

Os autores exprimem o seu agradecimento ao Prof. R. Nesbitt e Prof. I.W. Croudace (Southampton Oceanographic Centre, U.K.), Prof. B.J. Wood (Universidade de Bristol, U. K.), Prof. A. Cuesta Fernández (Universidade de Oviedo, Espanha), Prof. F. Bea e Prof. P. Montero (Universidade de Granada, Espanha) e Prof. F.J. Longstaffe (University of Western Ontario, Canada), Prof. Fernando Corfu (Universidade de Oslo, Noruega) pelo apoio na obtenção dos dados analíticos. I.M.H.R. Antunes beneficiou de uma bolsa da FCT SFRH/BD/2885/2000. Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Portugal.

Referências Bibliográficas

- Allen, C.M. 1992. A nested diapir model for the reversely zoned Turtle Pluton, southeastern California. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences* 83, 179 – 190.
- Antunes, I.M.H.R., Neiva, A.M.R., Silva, M.M.V.G. 2010. Petrologia e geoquímica de rochas granitóides da área de Castelo Branco-Idanha-a-Nova (centro de Portugal). Ed. Coteló Neiva et al. *Ciências Geológicas: ensino, investigação e história*. Vol 1, 123-133.
- Antunes, I.M.H.R., Neiva, A.M.R., Silva, M.M.V.G., Corfu, F. 2009 The genesis of I- and S-type granitoid rocks of the Early Ordovician Oledo pluton, Central Iberian Zone (central Portugal). *Lithos* 111 3-4, 168-185.
- Antunes, I.M.H.R., Neiva, A.M.R., Silva, M.M.V.G., Corfu, F. 2008 Geochemistry of S-type granitic rocks from the reversely zoned Castelo Branco pluton (central Portugal). *Lithos*, 103, 445-465.
- Barbarin, B. 1990. Granitoids: main petrogenetic classification in relation to origin and tectonic setting. *Geol. J.* 25, 227 – 238.
- Barbey, P., Nachit, H., Pons, J. 2001. Magma-host interactions during differentiation and emplacement of a shallow-level, zoned granitic pluton (Tarçovate pluton, Morocco): implications for magma emplacement. *Lithos* 58, 125 – 143.
- Best, M.G., Christiansen, E.H. 2001. *Igneous Petrology*. Oxford Blackwell Science. 480 pp.

- Chappell, B.W., White, A.J.R. 1992. I- and S-type granites in the Lachland Fold Belt. *Trans. Roy. Soc. Edinb. Earth Sciences* 83, 1 – 26.
- Dias, G., Ferreira, N., Leterrier J., Pereira E. 1998. Petrogénese de associações ácidas-básicas no contexto do plutonismo tardi-hercínico: o exemplo do maciço granítico de Celorico de Basto (Norte de Portugal). *Comunicações do IGM* 84 (1), B51 – B54.
- Didier, J., Duthou, J.L., Lameyre, J. 1982. Mantle and crustal granites: genetic classification of orogenic granites and the nature of their enclaves. *J. Volcanol. Geother. Research* 14, 125 – 132.
- El-Nisr, S.A., El-Sayed, M.M. 2002. The role of fractional crystallization and assimilation in the evolution of the zoned Mukhattata Pluton, Eastern Desert, Egypt. *Chem. Erde* 62, 216 – 236.
- 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, 2033 – 2048.
- Ishihara, S. 2004. The redox state of granitoids relative to tectonic setting and earth history: The magnetite – ilmenite series 30 years later. *Trans. Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 95, 23 - 33.
- Lehmann, B. 1990. Metallogeny of tin. *Lectures notes in Earth Sciences*, 32. Springer – Verlag. 211 pp.
- Nabelek, P.I., Glascock, M.D. 1995. REE-depleted leucogranites, Black Hills, South Dakota: a consequence of disequilibrium melting of monazite bearing schists. *J. Petrol.* 36, 1055 - 1071.
- Neiva, A.M.R. 1993. Geochemistry of granites and their minerals from Gerez Mountain, Northern Portugal. *Chem. Erde* 53, 227 – 258.
- Neiva, A.M.R., Gomes, M.E.P. 2001. Diferentes tipos de granitos e seus processos petrogenéticos: granitos hercínicos portugueses. *Memórias da Academia das Ciências de Lisboa* XXXIX, 53 – 95.
- Neiva, A.M.R. 2002. Portuguese granites associated with Sn-W and Au mineralizations. *Bul. Soc. Geol. Finland* 74, 79 – 101.
- 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, 956 – 983.
- Pitcher, W.S. 1997. The nature and origin of granite. Chapman and Hall Ed (2nd Ed), London. 387 pp.
- Silva, M.M.V.G., Neiva, A.M.R. 2000. Geochemistry of Hercynian Peraluminous granites and their minerals from Carregal do Sal – Nelas – Lagares da Beira area, central Portugal. *Chem. Erde* 59, 329 – 349.