

# ESTRUTURA E GEOQUÍMICA DAS FASES MAGMÁTICA E TARDIMAGMÁTICA EM ZIRCÕES DO MACIÇO GRANÍTICO DE PENEDA-GERÊS (NW PENÍNSULA IBÉRICA)

A.C. Mendes<sup>1</sup>, G. Dias<sup>1</sup> & J.P. Pupin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Ciências da Terra, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal

<sup>2</sup>Z.I.R.C., Laboratoire de Pétrologie-Minéralogie, Institut de Géologie, Parc Valrose, F-06108 Nice Cedex 2, France

## RESUMO

Efectuou-se um estudo da estrutura interna e composição química dos zircões de granitos do maciço de Peneda-Gerês (granitos de Gerês, Paufito, Illa e Carris) com recurso a microscópio electrónico de varrimento (MEV) e microsonda electrónica. Este estudo permitiu caracterizar as fases magmática e tardimagmática e, ainda, constatar a existência de domínios de alteração nas zonas dos cristais mais ricas em elementos vestigiais (U, Th). Esta alteração é claramente mais expressiva nos zircões mais tardios (subtipos S5, G1) do granito de Carris e traduz-se em estruturas com forma botrioidal e de cor escura em imagem de electrões retrodifundidos (MEV).

A grande expressividade destes domínios de alteração nos zircões do granito de Carris, em contraste com a sua limitada expressividade em zircões dos restantes granitos do maciço de Peneda-Gerês, permite supor que este fenómeno de alteração esteja relacionado com a maior abundância de fluidos hidrotermais que afectaram domínios mais susceptíveis dos cristais de zircão. Refira-se que, espacialmente associados ao granito de Carris, ocorrem filões e filonetes quartzosos e quartzo-feldspáticos com mineralizações em volframite, molibdenite, pirite, etc, correspondendo às zonas mais mineralizadas do maciço de Peneda-Gerês.

## ABSTRACT

A study of the internal structure and chemical composition of zircon from the main granitic units of the Peneda-Gerês granitic massif (Gerês, Paufito, Illa and Carris granites) was undertaken. This study permitted to characterize the zircons' magmatic and late-magmatic phases and, additionally, revealed the existence of alteration domains in the zones of the zircons which are richer in trace elements (U, Th). This alteration is notoriously more expressible in the late-crystallizing zircons (subtypes S5, G1) of the Carris granite and appears as botrioidal structures of dark colour in back-scattered electron imagery (SEM).

The important expression of this alteration in the Carris granite, in contrast to the limited expression in zircons of the other granites, permits to envisage that this alteration is associated with a greater abundance of hydrothermal fluids that affected the more susceptible domains of the zircon crystals. It should be referred that spatially associated with the Carris granite occur quartz and quartz-feldspar veins with mineralizations of wolframite, molybdenite, pyrite, etc, corresponding to the most mineralized zone of the Peneda-Gerês massif.

## 1. Introdução

Nas duas últimas décadas inúmeros trabalhos têm incluído o zircão como objecto de estudo e têm levado ao reconhecimento unânime deste mineral como valiosa fonte de informação sobre a história muitas vezes complexa da sua rocha hospedeira. O estudo integrado de características como a morfologia, a estrutura interna e a composição química revelou ser um importante auxílio no esclarecimento da génese e evolução dos magmas graníticos (ex. Pupin, 1992, 1994; Caironi et al., 2000). Foi nesse sentido que se empreendeu o estudo de zircões em quatro das fácies graníticas do maciço granítico de Peneda-Gerês.

## 2. Enquadramento Geológico

O maciço de Peneda-Gerês aflora na região fronteiriça do NW de Portugal e Espanha e constitui um bom exemplo de um maciço Varisco tardi- a pós-orogénico. Este maciço é constituído por seis fácies graníticas principais: os granitos de Gerês, Paufito, Illa, Carris, Calvos e Covas. As relações de contacto observáveis sugerem sincronismo de instalação. Obtiveram-se dados geocronológicos Rb-Sr e U-Pb que apresentam uma boa concordância entre si e que apontam para a implantação do maciço há 290 a 296 Ma (Dias et al., 1998; Mendes, 2001). Os granitos deste maciço são leucogranitos peraluminosos, sendo o carácter peraluminoso mais fraco nos granitos de Gerês, Paufito, Carris e

Covas. Os vários indicadores tipológicos apontam para assinatura subalcalina ferropotássica para as principais fácies graníticas (Mendes e Dias, 1996; Mendes, 2001). Constitui uma excepção o granito de Calvos por apresentar características típicas de granitos de tipo S e de associações aluminopotássicas. Dados geoquímicos e isotópicos revelam que o maciço granítico de Peneda-Gerês resultou da instalação e evolução de três magmas independentes: Gerês-Covas, Paufito-Illa-Carris e Calvos (Mendes, 2001; Mendes e Dias, 2004).

### **3. Metodologia**

Foram seleccionadas amostras das principais fácies graníticas do maciço: três amostras do granito de Gerês (G11, G63 e G88), duas amostras do granito de Paufito (M21 e M67), duas do granito de Illa (Mm56 e Mm57) e uma amostra do granito de Carris (F45).

Os concentrados de zircão foram obtidos utilizando o método clássico. Para o estudo geoquímico, concentrados de zircão das 8 amostras acima mencionadas foram montados sobre lâminas que foram seguidamente polidas. As lâminas foram depois revestidas a carbono. Alguns dos cristais nas lâminas polidas foram seguidamente analisados em microsonda electrónica. Antes de proceder à análise química, para cada cristal observado foi determinada, sempre que possível, a sua tipologia de modo a ter-se uma ideia do seu período de cristalização. Foi ainda observada a estrutura interna do cristal, procedendo-se ao alargamento do feixe da microsonda. Nestas condições foi possível reconhecer as fases constituintes do cristal. Uma vez observado o cristal e identificadas preliminarmente as fases nele presentes, procedeu-se a análises químicas pontuais. Os 98 cristais analisados foram ainda objecto de uma observação complementar por microscopia electrónica de varrimento (MEV), em imagem de electrões retrodifundidos. Para a quase totalidade dos cristais obteve-se registo fotográfico das imagens em electrões retrodifundidos e em microscópio petrográfico.

### **4. Morfologia do Zircão**

Em estudo anterior (Mendes, 1994) procedeu-se à caracterização tipológica de populações de zircão de algumas das fácies graníticas do maciço de Peneda-Gerês. O estudo tipológico efectuado permitiu constatar que não há diferenças muito significativas entre os zircões das fácies graníticas estudadas. Nesse estudo tipológico verificou-se que, no que se refere às faces piramidais, a grande maioria dos zircões observados apresentam as faces {101} mais desenvolvidas do que as faces {211}. Este facto aponta para um carácter mais alcalino do que aluminoso do meio de cristalização (Pupin, 1976, 1980). Refira-se, no entanto, que em alguns dos granitos, sobretudo nos granitos de Illa e de Calvos, se observa também a presença de zircões com as pirâmides {211} tanto ou mais desenvolvidas do que as pirâmides {101}. Há portanto, nestas duas fácies graníticas, uma maior heterogeneidade na tipologia dos zircões. Esta presença de zircões com características morfológicas que apontam para condições antagónicas no teor relativo em Al e elementos alcalinos do meio de cristalização é um indício de que terá havido certamente uma história magmática complexa. Para além das faces piramidais {101} e {211}, observou-se também a face {301} em algumas amostras dos granitos de Gerês e de Paufito. Esta face está presente mais raramente e apresenta-se pouco desenvolvida. É em meios alcalinos que esta face suplementar surge bem desenvolvida (Pupin, 1976, 1980).

No que diz respeito às faces prismáticas, verifica-se que a predominância de zircões com as faces {100} ou {110} mais desenvolvidas varia conforme as amostras são, respectivamente, menos ou mais evoluídas geoquimicamente. É o caso, por exemplo, da amostra menos evoluída do granito de Gerês em que há um predomínio claro de zircões de cristalização precoce (subtipo S25), enquanto que numa amostra mais evoluída do mesmo granito os subtipos de cristalização mais tardia são frequentes.

Merecem uma referência adicional os zircões do granito de Covas em que é notória uma elevada abundância de cristais com sobrecrecimentos tardios que lhes conferem uma coloração castanha, com faces e arestas não visíveis e, por isso, tipologicamente indetermináveis. A grande abundância de sobrecrecimentos nestes zircões está em consonância com o carácter geoquímico extremamente evoluído deste granito (Mendes, 2001; Mendes e Dias, 2004).

### **5. Estrutura Interna e Geoquímica**

A observação da estrutura interna do zircão permite identificar a(s) fase(s) constituinte(s). Distinguem-se três tipos de fases: fase herdada, fase magmática e fase tardimagmática. Num cristal poderão ou não existir as três fases. Considera-se como fase herdada ou fase 1 uma fase pré-existente,

constituindo um núcleo herdado. O núcleo poderá corresponder a um xenocristal ou ter sido herdado do protólito (Pupin, 1995) e poderá ser discordante ou concordante, relativamente ao resto da estrutura do cristal. Os núcleos discordantes são naturalmente mais fáceis de identificar. No caso dos núcleos concordantes, a sua distinção é possível quando apresentam características geoquímicas díspares relativamente ao resto do cristal.

A porção do cristal gerada durante o período de cristalização da rocha hospedeira do zircão constituirá as fases magmática (fase 2) e/ou tardimagmática (fase 3). A fase tardimagmática distingue-se da fase magmática por ser a fase de cristalização mais tardia e que se caracteriza geoquimicamente por ser uma fase mais rica em elementos vestigiais (sobretudo Hf e U). Esses teores mais elevados induzem uma metamictização preferencial dessa porção do zircão que, por esse motivo, se apresenta bastante mais zonada e com coloração mais acentuada. Estas características da fase 3 permitem que ela seja distinguida opticamente da fase 2. Em zircões de cristalização mais tardia, como os de subtipo G1 ou L5, a fase 2 está frequentemente ausente, existindo apenas uma fase 3 e, por vezes, uma fase 1.

Para todos os zircões analisados confrontaram-se as características das zonas analisadas, por exemplo, zonamento e intensidade de emissão de electrões retrodifundidos em microscópio electrónico de varrimento (que, nestas preparações, depende apenas do número atómico médio do material), com as respectivas composições em elementos vestigiais (Hf, Y, U, Th). Tal procedimento permitiu precisar o limite entre as fases 2 e 3. Por vezes a passagem da fase 2 à fase 3 é menos brusca, havendo zonas com características transicionais (fase 2,3). A fase 2 caracteriza-se por teores em  $\text{HfO}_2$  a partir de 10000 ppm, teores em  $\text{Y}_2\text{O}_3$  relativamente baixos (em geral inferior a 6000 ppm) e teores em  $\text{UO}_2$  (em geral <3000 ppm) e  $\text{ThO}_2$  (em geral <1000 ppm) sempre bastante inferiores ao observado na fase 3. Na fase 3 há um aumento substancial em elementos vestigiais, sobretudo nos teores em  $\text{HfO}_2$  e em  $\text{UO}_2$ .

No granito de Carris observou-se nos sobrecrescimentos (fase 3), caracteristicamente bem desenvolvidos nos cristais mais tardios, a existência de estruturas com forma botrioidal ou irregular, bem visíveis em imagem de electrões retrodifundidos (MEV), mas não perceptíveis aquando do uso de luminescência electrónica na microsonda electrónica (fig. 1).

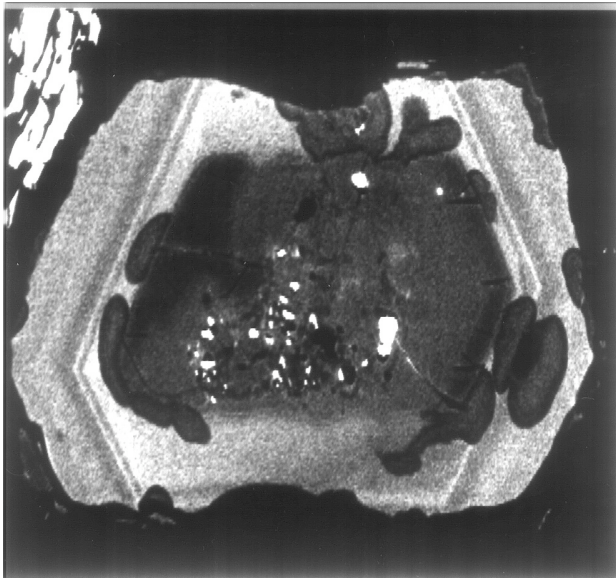


Fig. 1. Imagem em MEV (electrões retrodifundidos) de zircão (subtipo S5) de granito de Carris. Observam-se numerosas inclusões no núcleo. Sobretudo no limite entre o núcleo (mais escuro) e a fase magmática mais clara e zonada observam-se estruturas de alteração de cor escura e com forma botrioidal que se desenvolvem na zona mais clara.

A fraca intensidade de emissão de ER dessas estruturas, que se traduz na sua cor escura, indica um baixo número atómico médio nessas zonas. Na literatura existem escassas referências a este tipo de estruturas (ex. Bertrand et al., 1992; Zeck et al., 2004), que são referidas como zonas de alteração secundária, ricas em elementos como Y, Yb, Ca, P e/ou Fe. Nas estruturas de alteração observadas verificou-se que, de facto, havia um claro acréscimo em Ca, comparativamente à zona envolvente. Verificou-se ainda que tais estruturas estavam presentes em alguns cristais dos restantes granitos do maciço de Peneda-Gerês, mas de forma muito menos expressiva e normalmente associadas a fracturas ou inclusões nos cristais. Em todos os casos as estruturas de alteração encontram-se claramente em

zonas mais ricas em elementos vestigiais, como é o caso comum dos sobrecrecimentos. Foi possível identificar em luz transmitida (microscópio petrográfico) vários cristais em que estas estruturas de alteração estavam presentes, dado que nesses domínios o cristal tem o aspecto de “bolhas”. A presença das estruturas de alteração foi posteriormente confirmada em MEV. Foi possível constatar que em sobrecrecimentos de cristais mais precoces (subtipo S20) do granito de Carris, a alteração também era pouco expressiva.

## 6. Conclusões

O estudo integrado (tipológico, de estrutura interna e geoquímico) de zircões do maciço de Peneda-Gerês permitiu identificar as fases herdada (fase 1), magmática (fase 2) e tardimagmática (fase 3) em cristais deste mineral, bem como caracterizar as fases 2 e 3 e estabelecer o limite composicional entre estas fases. A fase 3 caracteriza-se por teores significativamente mais elevados em elementos vestigiais, sobretudo em  $\text{HfO}_2$  (> 16000 ppm),  $\text{Y}_2\text{O}_3$  (> 6000 ppm),  $\text{UO}_2$  (> 3000 ppm) e  $\text{ThO}_2$  (> 1000 ppm).

O estudo realizado permitiu, ainda, identificar em imagens de electrões retrodifundidos (MEV) a existência de estruturas de cor escura e com forma botrioidal que afectam sobretudo as zonas do cristal mais ricas em elementos vestigiais tais como U e Th. Estas estruturas são interpretadas como zonas de alteração secundária, verificando-se serem de forte expressividade em zircões mais tardios do granito de Carris (subtipos G1, S5). A associação desta fácies granítica com mineralizações em W e Mo, em filões e filonetes quartzosos e quartzo-feldspáticos, permitem admitir uma maior abundância de fluidos hidrotermais responsáveis pelas estruturas de alteração observadas.

## Agradecimento

Trabalho realizado no âmbito do Centro de Ciências da Terra da Universidade do Minho, unidade de investigação inserida no Programa de Financiamento Plurianual da FCT.

## Referências Bibliográficas

- Bertrand J.M., Roddick J.C., Allé P., 1992. Comportement du zircon dans une zone de cisaillement granulitique (Orogène de Tromgat, Protérozoïque inférieur du Labrador). Résumé Séminaire sur Zircon: Morphologie et Structure Interne, Nancy, França.
- Caironi V., Colombo A., Tunesi A., Gritti C., 2000. Chemical variations of zircon compared with morphological evolution during magmatic crystallization: an example from the Valle del Cervo Pluton (Western Alps). *Eur. J. Mineral.*, 12, 779-794.
- Dias G., Leterrier J., Mendes A., Simões P.P., Bertrand J.M., 1998. U-Pb zircon and monazite geochronology of syn- to post-tectonic Hercynian granitoids from the Central Iberian Zone (Northern Portugal). *Lithos*, 45, 349-369.
- Mendes A.C., 1994. O maciço granítico de Peneda-Gerês. *Petrologia, mineralogia e geoquímica*. Provas de APCC (não publicado), Universidade do Minho, Braga, 157p.
- Mendes, A.C., 2001. Geocronologia e petrogénese do maciço granítico pós-tectónico de Peneda-Gerês (ZCI, Norte de Portugal e Galiza). Tese de doutoramento, Univ. do Minho, Braga, 275 pp.
- Mendes A.C., Dias G., 1996. Petrology and geochemistry of late-Hercynian subalkaline plutonism in the Central Iberian Zone: the Peneda-Gerês granitic massif. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 323, 665-672.
- Mendes A.C., Dias G., 2004. Mantle-like Sr-Nd isotope composition of Fe-K subalkaline granites: the Peneda-Gerês Variscan massif (NW Iberian Peninsula). *Terra Nova*, 16, 109-115.
- Pupin J.P., 1976. Signification des caractères morphologiques du zircon commun des roches en pétrologie. Base de la méthode typologique. Applications. Thèse Doct. ès Sciences, Univ. Nice, 394p.
- Pupin J.P., 1980. Zircon and granite petrology. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73, 207-220.
- Pupin J.P., 1992. Les zircons des granites océaniques et continentaux: couplage typologie-géochimie des éléments en traces. *Bull. Soc. Géol. France*, 163-4, 495-507.
- Pupin J.P., 1994. Caractérisation des protolithes des migmatites et granites anatectiques crustaux d'après l'étude des zircons. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 319, série II, 1191-1197.
- Pupin J.P., 1995. Discordant cores in zircons and granite genesis. *Abstr., III Hutton Symp., EUA*.
- Zeck H.P., Wingate M.T.D., Pooley G.D., Ugidis J.M., 2004. A sequence of Pan-African and Hercynian events recorded in zircons from an orthogneiss from the Hercynian belt of Western Central Iberia – an ion microprobe U-Pb study. *Journ. Petrol.*, 45, 1613-1629.