

Granitos estaníferos da região de Santa Comba de Rossas, norte de Portugal

Tin-bearing granites from the Santa Comba de Rossas area, northern Portugal

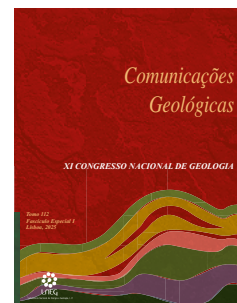
R. J. S. Teixeira¹, M. E. P. Gomes^{1*}, P. B. Silva², C. A. P. Meireles²

DOI: <https://doi.org/10.34637/a8yx-w359>

Recebido em 10/10/2023 / Aceite em 12/04/2024

Publicado online em abril de 2025

© 2025 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP



Artigo original
Original article

Resumo: Na região de Santa Comba de Rossas aflora um complexo granítico (G1-G3) que se instalou durante os estágios sin-cinemáticos da Orogenia Varisca, há $317,9 \pm 8,7$ Ma (datação Rb-Sr de rocha total). Os granitos são intrusivos em metassedimentos de idade silúrica, do Domínio Parautoctone da Zona da Galiza – Trás-os-Montes, instalando-se no núcleo de uma antiforma NW-SE, resultante das fases de deformação D_1 e D_3 , apresentando evidências de uma deformação em regime dúctil e frágil. Os dados geoquímicos e isotópicos sugerem que o granito G1, com biotite > moscovite e o granito G3, com biotite \approx moscovite, correspondem a pulsos magmáticos distintos, que terão resultado da fusão parcial de materiais metassedimentares e sofrido uma diferenciação por cristalização fraccionada. Este processo foi responsável pelo aumento do teor de Sn naqueles granitos e, muito provavelmente, pela ocorrência do granito moscovítico G2, o mais rico em Sn (77 ppm), no exocontacto do plutão granítico G1.

Palavras-chave: Granitos do tipo S, datação Rb-Sr, cristalização fraccionada, estanho, Portugal

Abstract: In the Santa Comba de Rossas area, a granitic complex (G1-G3) was emplaced during the syn-kinematic stages of the Variscan Orogeny, at 317.9 ± 8.7 Ma, as determined by whole rock Rb-Sr dating. The complex is intrusive on Silurian metasediments, from the Parautochthonous Domain of Galicia – Trás-os-Montes Zone, in a NW-SE trending antiform formed during the D_1 and D_3 deformation phases and was itself affected by ductile and brittle deformation. Geochemical and isotopic characteristics suggest that the biotite > muscovite granite G1 and the biotite \approx muscovite granite G3 correspond to distinct pulses of magma formed by partial melting of metasedimentary materials that subsequently evolved by fractional crystallization. This process was responsible for the increase in Sn content in those granites and, most probably, for the occurrence of the G2 muscovite granite, the richest in Sn (77 ppm), in the exocontact of the G1 granite pluton.

Keywords: S-type granites, Rb-Sr dating, fractional crystallization, tin, Portugal

1. Introdução

O estudo das rochas granitóides tem sido fundamental para a compreensão dos mecanismos que controlam a formação e diferenciação crustal, a evolução geodinâmica de cadeias orogénicas, mas também a mobilização e concentração de elementos químicos com interesse mineiro (e.g. Gomes e Neiva, 2002; Lehmann, 2021; Gonçalves *et al.*, 2022). No norte e centro de Portugal ocorrem mineralizações de estanho associadas a granitos fortemente diferenciados, maioritariamente originados por fusão parcial de materiais metassedimentares (Neiva, 2001). De acordo com Chen *et al.* (2022), os mecanismos que conduzem ao enriquecimento deste elemento químico continuam a ser alvo de debate, sendo defendidos essencialmente os seguintes modelos: 1) o enriquecimento em estanho é promovido por processos de cristalização fraccionada, sendo a sua subsequente transferência para fluidos magmático-hidrotermais devida ao elevado coeficiente de partição do Sn entre o fluido e o magma granítico (e.g. Lehmann, 2021; Zhao *et al.*, 2022); 2) o estanho é remobilizado dos granitos por interação com fluidos magmáticos e/ou hidrotermais externos (e.g. Schmidt *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2021).

Neste trabalho serão apresentados dados mineralógicos, petrográficos, geoquímicos e geocronológicos de granitos variscos que afloram na região de Santa Comba de Rossas, os quais permitirão efectuar algumas considerações sobre a sua génese. Por outro lado, procurar-se-á esclarecer que mecanismo terá condicionado o enriquecimento em estanho nos granitos da região, bem como a sua relação com os jazigos filonianos estano-volframíticos de Paredes e Ribeira, integrados no mesmo alinhamento estrutural (Dias, 2019).

2. Enquadramento geológico

Os granitos da região de Santa Comba de Rossas - Paredes, Bragança, são intrusivos em metassedimentos da Formação Pelito-Grauváquica, de idade silúrica superior, instalando-se no núcleo de uma antiforma WNW-ENE (Parada - Pombares) pertencente ao Complexo de Mantos Parautoctones (Zona da Galiza – Trás-os-Montes) (Pereira, 2006; Meireles, 2013). Com base na cartografia publicada (Pereira, 2000) e nos dados petrográficos distinguem-se dois granitos principais: G1- Granito de grão médio, porfiróide, biotítico > moscovítico e G3- Granito de grão médio a grosseiro, levemente porfiróide, com moscovite \approx biotite (Figs. 1 e 2). O contacto entre os granitos G1 e G3 é gradacional. No exocontacto do plutão granítico G1, ocorre o granito de grão médio a fino, moscovítico G2.

¹ Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) e Pólo da UTAD do CGeo – Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Quinta de Prados, 5000-801 Vila Real, Portugal

² Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Rua da Amieira, Apartado 1089, 4466-901 S. Mamede de Infesta, Portugal

* Corresponding author / Autor correspondente: mgomes@utad.pt

No granito G1 é possível encontrar xenólitos de dimensão decimétrica a métrica e forma irregular, onde é perceptível uma estruturação foliada. O contacto destes xenólitos com o granito pode ocorrer de forma brusca ou apresentar um carácter difuso, evidenciando a sua progressiva interacção com o magma (schlieren). No granito G1 ocorrem também encraves microgranulares máficos, de forma ovóide a arredondada, cujos contactos com o granito hospedeiro são geralmente bruscos, mas por vezes encontram-se encraves de forma mais irregular com contactos lobados.

No bordo norte do plutão granítico G1 ocorrem zonas afectadas por alteração epissienítica na dependência directa de fracturas NNE-SSW, as quais terão facilitado a circulação dos fluidos hidrotermais tardios que lhes deram origem (*e.g.* Jaques *et al.*, 2010).

O campo filoniano onde se enquadram os jazigos de Paredes e Ribeira apresenta direcção aproximada N60°W, encontrando-se as mineralizações preferencialmente alojadas nas fendas de tracção normais ao eixo da antiforma Parada - Pombares e nas suas depressões axiais (Dias, 2019).

3. Materiais e métodos

A preparação das amostras de granitos para a realização de estudos petrográficos e geoquímicos foi efectuada no Laboratório de Geologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

As amostras foram moídas a 200 mesh e enviadas para o Activation Laboratories Ltd., Canadá (Actlabs) para determinação de elementos maiores, por ICP-OES (Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry), e Sn, Rb, Ba, Sr e REE, por ICP-MS (Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry). O método utilizado tem a referência “4 Litho”. Para elementos maiores a incerteza analítica é $\pm 1\%$, enquanto para Sn, Rb, Ba, Sr e REE é inferior a 5%.

Nos Laboratórios do Serviço Geral de Investigação de Geocronologia e Geoquímica Isotópica da Universidade do País Basco, Espanha, foram obtidas análises isotópicas de Rb-Sr em amostras representativas dos granitos G1 ($n=4$) e G3 ($n=2$). As amostras foram sujeitas a um processo de digestão química, segundo a metodologia proposta por Menéndez Martínez (2001), e analisadas por espectrometria de massa de ionização térmica, após separação por cromatografia em colunas de resina extractiva de troca iónica, realizada de acordo com os métodos descritos por Pin e Santos Zaldegui (1997). O espectrómetro utilizado foi um Finnigan MAT 262 equipado com oito colectores Faraday. Na análise isotópica do Sr utilizou-se o padrão internacional NBS 987, obtendo-se o valor de $0,710281 \pm 0,000009$, em 2 medições. Os valores das concentrações de Rb e Sr usados para o cálculo da razão $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ foram determinados por ICP-MS, no Actlabs. O procedimento adoptado para efectuar estes cálculos é descrito por Faure e Mensing (2005). A isócrona foi calculada usando o programa informático ISOPLOT®, versão 3.00 (Ludwig, 2003).

A composição dos feldspatos foi determinada na microsonda electrónica JEOL JXA 8500-F do Laboratório Nacional de Engenharia e Geologia (LNEG), em São Mamede de Infesta. As análises foram realizadas sob uma corrente de emissão de 20 nA e um potencial de aceleração de 15 kV.

4. Petrografia

Os granitos são constituídos por quartzo, plagioclase, microclina (micropertítica no caso dos granitos G1 e G3), moscovite, zircão, apatite, monazite e ilmenite. Os granitos G1 e G3 contêm ainda biotite e monazite e os granitos G1 e G2 apresentam também turmalina (Figura 2). Nos granitos G1 e G3 a composição da plagioclase varia de albite a oligoclase (1 – 28 moles % An), enquanto no granito G2 corresponde a albite (0 – 1 moles % An). No granito G1 o teor de anortite da plagioclase da matriz (3 – 23 moles % An) é menor do que o da plagioclase do fenocristal respectivo (14 – 28 moles % An) e a microclina da matriz apresenta teores de BaO inferiores (0,00 – 0,06 % peso) aos da microclina dos

fenocristais respectivos (0,02 – 0,53 % peso). Os cristais de plagioclase de maiores dimensões do granito G1 apresentam frequentemente zonamento oscilatório.

Texturalmente, foram identificadas moscovite primária, que é a mais abundante, e também rara moscovite secundária resultante da alteração da plagioclase. Localmente, há evidências de cloritização da biotite, acompanhada pela exsolução de rutilo. A microclinição da plagioclase e a ocorrência de titanite, associada à alteração da biotite, e de rara calcite, associada à alteração da plagioclase, só foram observadas no granito G3.

Os granitos apresentam evidências de deformação no estado sólido, em regime dúctil-frágil, que terá proporcionado a reorientação do quartzo, evidenciada pela extinção ondulante e/ou subgranulação intensa, extinção ondulante e encurvamento dos planos de clivagem das micas e a microfracturação de feldspato e de cristais de quartzo. Nos feldspatos, algumas destas microfracturas estão preenchidas com quartzo, apontando para uma deformação no estado sub-magmático (Fazio *et al.*, 2020). Nas amostras mais deformadas há desenvolvimento incipiente de estruturas sigmoidais e, por vezes, de estruturas C-S bem definidas com direcção N40-60°W (Figura 2).

5. Geoquímica dos granitos

Os granitos são peraluminosos, com ASI = 1,22 – 1,42 e corindo normativo entre 2,32 – 4,32 %. A maioria dos granitos projecta-se no campo dos granitos fortemente diferenciados, ou próximo dele,

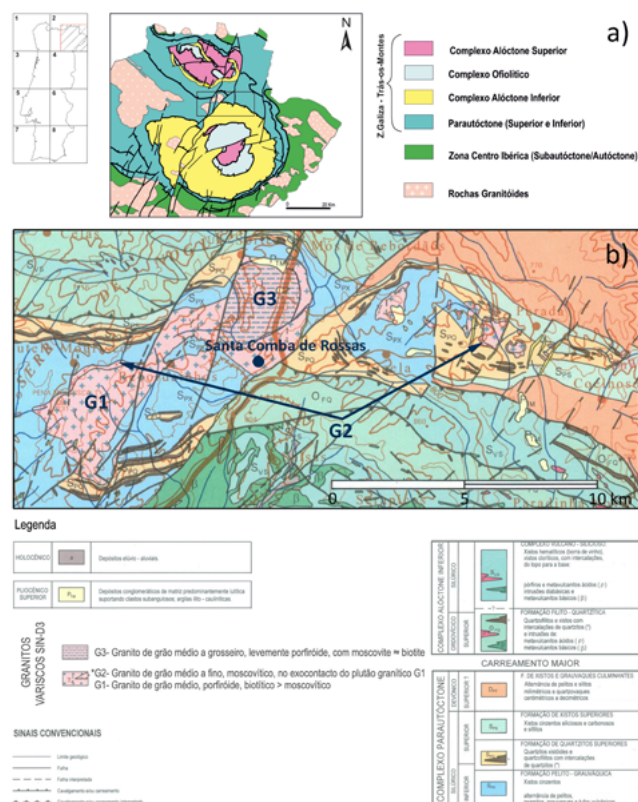


Figura 1. a) Localização da área em estudo na Folha 2 da carta geológica de Portugal à escala 1:200 000 (Meireles, 2013). b) Carta geológica da região de Santa Comba de Rossas, adaptada da Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000 (Pereira, 2000).

Figure 1. a) Location of the studied area on the Sheet 2 of the geological map of Portugal at 1:200 000 scale (Meireles, 2013). b) Geological map of Santa Comba de Rossas, adapted from the Sheet 2 of the Geological Map of Portugal at 1:200 000 scale (Pereira, 2000).

no diagrama Rb-Ba-Sr de El Bouseily e El Sokyary (1975; Figura 3a). Os granitos G1 e G3 apresentam valores de K_2O (4,33 – 5,43 %) superiores aos de Na_2O (2,29 – 3,29 %), razões baixas de CaO/Na_2O (0,19 – 0,53), perfis de terras raras enriquecidos em LREE em relação às HREE e anomalia negativa de Eu, sugerindo tratar-se de magmas derivados de protólitos de natureza supra-crustal (tipo S) (Neiva *et al.*, 2011; Gomes *et al.*, 2014; Teixeira *et al.*, 2021; Figura 3b).

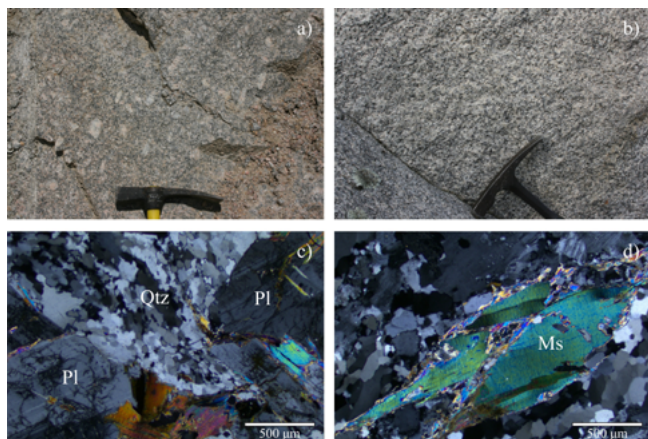


Figura 2. a) Aspecto mesoscópico do granito G1, onde são visíveis fenocristais de plagioclase e microclina. b) Aspecto mesoscópico do granito G3, com esparsos fenocristais de feldspato. c) Recristalização dinâmica de quartzo (Qtz) por cristais de plagioclase (Pl) mais resistentes à deformação no granito G1 (nicóis \times). d) Deformação plástica intracristalina em moscovite (Ms) no granito G3 (nicóis \times).

Figure 2. a) Mesoscopic appearance of granite G1, where phenocrysts of plagioclase and microcline are visible. b) Mesoscopic aspect of granite G3, with sparse phenocrysts of feldspar. c) Dynamic recrystallization of quartz (Qtz) by plagioclase (Pl) crystals, resistant to the deformation in granite G1 (\times nicols). d) Intracrystalline plastic deformation in muscovite (Ms) in granite G3 (\times nicols).

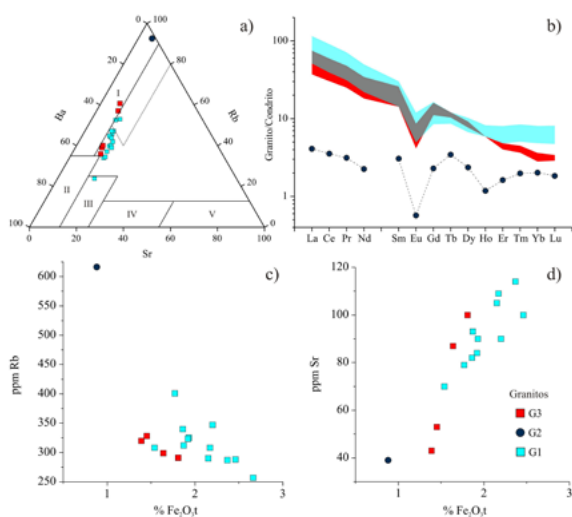


Figura 3. Projecção dos granitos da região de Santa Comba de Rossas: a) no diagrama Rb-Ba-Sr de El Bouseily e El Sokyary (1975), com a extensão do campo dos granitos fortemente diferenciados de Biste (1979) (a pontilhado). b) no diagrama de terras raras normalizadas para o condrito. c) e d) em diagramas de variação selecionados.

Figure 3. a) Granites of Santa Comba de Rossas region plotted on: a) the Rb-Ba-Sr diagram of El Bouseily e El Sokyary (1975), with the field extension of Biste (1979) for strongly differentiated granites (dotted line). b) the rare earth diagram normalized to the chondrite. c) and d) selected variation diagrams.

Os diagramas de Harker sugerem a existência de dois pulsos magmáticos independentes (G1 e G3), facto que é apoiado pela ocorrência de intercepções, nas terras raras médias, entre os perfis dos granitos, com razões Tb_N/Yb_N bem distintas (G1- 3,21 – 3,74 e G3- 1,50 – 2,00; Figs. 3b, c, d). Os mesmos dados sugerem uma evolução desses magmas por cristalização fraccionada. Com efeito, verifica-se que, em cada granito, há, em geral, aumento em Rb e decréscimo em Sr com o decréscimo em Fe_2O_3t e uma tendência para o subparalelismo dos perfis de REE, acompanhado por decréscimo geral em todas as REE com o aumento do grau de diferenciação (Figura 3b, c, d). O decréscimo em LREE é devido a fraccionação de monazite, enquanto o decréscimo em MREE é atribuído a fraccionação da apatite e zircão, mas o decréscimo em HREE é devido a fraccionação do zircão (Bea, 1996).

No granito G2 o grau do efeito tetrada (*tetrad effect*) TE_{13} nas terras raras (em que $TE_{13} = ((Ce/Ce^t \times Pr/Pr^t)^{0.5} \times (Tb/Tb^t \times Dy/Dy^t)^{0.5})^{0.5}$; Irber, 1999) é superior a 1,10 (G3- 1,38), indicando que terá ocorrido uma importante interacção entre o magma residual e fluidos hidrotermais coexistentes (e.g. Monecke *et al.*, 2002). Nos granitos G1 e G3 os valores de TE_{13} são inferiores a 1,10 (G1- 1,00 – 1,09; G3- 1,07 – 1,10), evidenciando o papel da fraccionação de minerais acessórios durante a evolução magmática ou na transição magmático-hidrotermal (Shuai *et al.*, 2021).

Apesar de existir um grande intervalo de composição entre o granito G2 e os granitos G1 e G3, as relações de campo indicam que o granito G2 possa estar relacionado com o granito G1, embora apresente os efeitos de posteriores interacções com fluidos hidrotermais que, eventualmente, terão mascarado a sua filiação. Os valores médios de $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ para os granitos G1 e G3 são, respectivamente, $0,7123 \pm 0,0005$ e $0,7181 \pm 0,0007$, confirmando que os granitos G1 e G3 terão resultado da fusão parcial de materiais metassedimentares compatíveis com uma assinatura isotópica idêntica aos metassedimentos do sector norte da Zona Centro Ibérica (Teixeira *et al.*, 2012; Villaseca *et al.*, 2014). Para o granito G1, obteve-se uma isócrona de $317,9 \pm 8,7$ Ma, $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i = 0,7123 \pm 0,008$ e MSWD = 0,98 (Figura 4).

No entanto, a ocorrência de encraves microgranulares no granito G1 é sugestiva de alguma interacção/mistura com magmas máficos.

6. Importância da cristalização fraccionada na concentração de estanho

As mineralizações de estanho estão normalmente associadas a fases fortemente diferenciadas de granitos que resultaram da fusão de materiais metassedimentares em condições redutoras (Lehmann, 1990, 2021; Zhao *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2023).

Os granitos da região estudada são do tipo S e considerados estaníferos pois possuem teores médios de Sn superiores a 18 – 26 ppm (Lehmann, 1990): G1- 25 ppm; G2- 77 ppm; G3- 24 ppm (Figura 5a). Com o objectivo de estudar o papel da diferenciação magmática na concentração de estanho, representaram-se os granitos nos diagramas logarítmicos de Lehmann (1990), verificando-se que do granito G1 para o granito G2, e nas amostras dos granitos G1 e G3, os teores em Sn aumentam com o aumento em Rb/Sr (Figura 5b) e diminuem com o aumento em Fe_2O_3t e TiO_2 e (Figs. 5a, c). Comportamentos idênticos foram descritos por Neiva (2001), Gomes e Neiva (2002) e Neiva *et al.* (2011) em outros granitos estaníferos portugueses. Para além disso, as correlações encontradas para os granitos G1 e G3 intersectam as composições dos xistos com teores de Sn inferiores a 10 ppm e da crosta superior. Estes resultados destacam o papel exercido pelo processo de cristalização fraccionada no enriquecimento em Sn do granito G2, colhido no exocontacto do plutão granítico G1 nas imediações da aldeia de Paredes, o que é consistente com os resultados obtidos por Dias (2019) no jazigo filoniano associado à cúpula granítica existente nessa área. Nestes granitos não foi encontrada cassiterite ao microscópio óptico, pelo que o estanho estará concentrado nas suas micas (Gomes e Neiva, 2002; Chen *et al.*, 2022). Desta forma, o enriquecimento progressivo em estanho verificado do granito G1

para o granito G2, e das amostras mais ricas em Fe_2O_3 para as mais pobres em Fe_2O_3 dos granitos G1 e G3 (Figura 5a), pode ser explicado pelo aumento do teor deste elemento na biotite e moscovite primária que contém.

A avaliação da importância relativa de eventos magmáticos e hidrotermais ainda é uma matéria crítica na conceptualização de modelos metalogenéticos. Deste modo, é importante referir que têm sido propostos modelos alternativos, que enfatizam o papel dos fluidos hidrotermais na remobilização do estanho existente em granitos (Neiva, 2001; Schmidt *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2021).

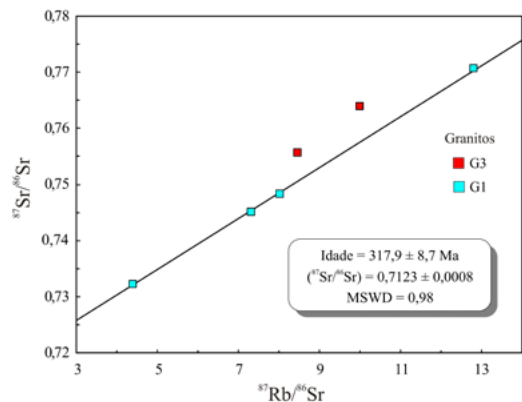


Figura 4. Isócrona Rb-Sr de rocha total obtida para o granito G1.

Figure 4. Whole rock Rb-Sr isochron diagram for granite G1.

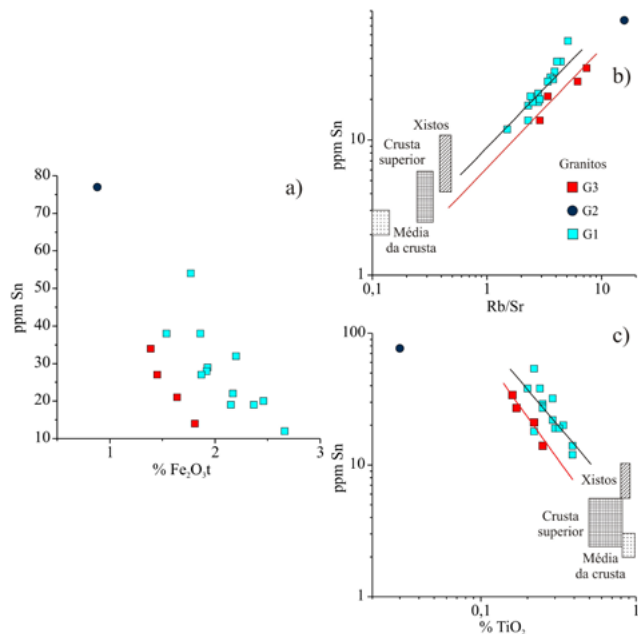


Figura 5. a) Diagrama de variação Sn versus Fe_2O_3 t dos granitos da região de Santa Comba de Rossas. b) e c) Diagramas log Sn versus Rb/Sr e log Sn versus log TiO_2 , com a representação dos granitos da região de Santa Comba de Rossas e dos campos de referência globais propostos por Lehmann (1990). As rectas representam a regressão linear para os granitos G1 e G3.

Figure 5. a) Sn versus Fe_2O_3 t variation diagram of granites from Santa Comba de Rossas region. b) and c) log Sn versus Rb/Sr and log Sn versus log TiO_2 diagrams with the representation of granites from Santa Comba de Rossas region and the global reference fields from Lehmann (1990). The lines represent the linear regression for granites G1 and G3.

7. Conclusões

1) Atendendo ao enquadramento estrutural e à idade obtida, verifica-se que os granitos da região de Santa Comba de Rossas pertencerão ao grupo dos granitóides sin- D_3 (320 – 310 Ma), proposto por Azevedo e Valle Aguado (2006). A idade obtida aproxima-se da idade de 320 Ma proposta pelas mesmas autoras para o início da fase de deformação varisca D_3 na Zona Centro Ibérica, particularmente no norte de Portugal, justificando-se assim as texturas que evidenciam uma deformação dúctil a frágil, típicas dos estados tardi-magmático e sólido;

2) Os granitos G1 e G3 correspondem a pulsos magmáticos distintos, resultantes da fusão parcial de metassedimentos (tipo S), embora o granito G1 apresente evidências de interação com um magma máfico;

3) Os granitos G1 e G3 mostram uma evolução subsequente por cristalização fraccionada;

4) As relações de campo sugerem que o granito G2 esteja geneticamente relacionado com o granito G1, mas os efeitos da interação com fluidos hidrotermais dificultam a determinação da sua filiação;

5) Os granitos G1, G2 e G3 possuem teores médios de Sn superiores a 18 - 26 ppm, sendo considerados estaníferos;

6) O enriquecimento em estanho do granito G1 para o granito G2, e das amostras mais ricas em Fe_2O_3 para as mais pobres em Fe_2O_3 dos granitos G1 e G3 pode ser explicado por processos de cristalização fraccionada;

7) No futuro, será necessário realizar estudos de maior detalhe de modo a confirmar o mecanismo petrogenético exposto.

Agradecimentos

Este estudo foi apoiado por fundos portugueses da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. no âmbito dos projetos UIDB/00073/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/00073/2020>) e UIDP/00073/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDP/00073/2020>) da unidade de I&D do Centro de Geociências (CGeo). À Professora Ana Margarida R. Neiva e ao Professor J. M. Cotelto Neiva (in memoriam) pelo incentivo e apoio para iniciar o estudo desta área. Os autores agradecem os comentários efectuados pela Prof. Doutora Elsa Gomes e por um revisor anónimo, que contribuíram para a melhoria deste trabalho.

Referências

- Azevedo, M.R., Valle Aguado B., 2006. Origem e instalação de granitóides variscos na Zona Centro-Ibérica. In Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J. (Eds.). *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*. Universidade de Évora. 107-121.
- Bea, F., 1996. Residence of REE, Y, Th and U in granites and crustal protoliths; implications for the chemistry of crustal melts. *Journal of Petrology*, **37**(3): 521-552. <https://doi.org/10.1093/ptrology/37.3.521>
- Biste, M., 1979. Die Anwendung geochemischer Indikatoren auf die Zinn-Hoeffigkeit herznishcer granite in Süd-Sardinien. *Berliner Geowissenschaften Abhandlungen*, **18**:1-109. <https://doi.org/10.23689/figdeo-5273>
- Chen, S.-C., Yu, J.-J., Bi, M.-F., Lehmann, B., 2022. Tin-bearing minerals at the Furong tin deposit, South China: Implications for tin mineralization, *Geochemistry*, **82**(1):125856. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2021.125856>
- Dias, M.A., 2019. Factores que condicionam o enriquecimento em Sn nos diversos granitos greisenizados da área de prospecção e pesquisa de Argozelo. Tese de mestrado, Universidade de Lisboa.

- El Bouseily, A., El Sokkary, A.A., 1975. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chemical Geology*, **16**:207-219. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(75\)90029-7](https://doi.org/10.1016/0009-2541(75)90029-7)
- Faure, G., Mensing, T.M., 2005. *Isotopes - Principles Applications* (3ª edição). New Jersey: Wiley.
- Fazio, E., Fiannacca, P., Russo, D., Cirrincione, R., 2020. Submagmatic to solid-state deformation microstructures recorded in cooling granitoids during exhumation of Late-Variscan crust in north-eastern Sicily. *Geosciences*, **10**(8):311. <https://doi.org/10.3390/geosciences10080311>
- Gomes, M.E.P., Neiva, A.M.R., 2002. Petrogenesis of tin-bearing granites from Ervedosa, northern Portugal: the importance of magmatic processes. *Chemie der Erde*, **62**:47-72. <https://doi.org/10.1078/0009-2819-00002>
- Gomes, M.E.P., Teixeira, R.J.S., Neiva, A.M.R., Corfu, F., 2014. Geoquímica e geocronologia dos granitóides da região de Bemposta-Picote, Nordeste de Portugal. *Comunicações Geológicas*, **101**, 115-118.
- Gonçalves, A., Sant'Ovaia, H., Noronha, F., 2022. Role of Variscan granites in the genesis of Freixo de Numão W(Sn) district (Northern Portugal). *Journal of Iberian Geology*, **48**:309-353. <https://doi.org/10.1007/s41513-022-00195-2>
- Irber, W., 1999. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **63**:489-508. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(99\)00027-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(99)00027-7)
- Jaques, L., Bobos, I., Noronha, F., 2010. Study of fluids related to hydrothermal alteration of biotite granites from Gerês and Guarda (Portugal). *Comunicações Geológicas*, **97**:81-98.
- Lehmann, B., 1990. *Metallogeny of Tin*. Lecture Notes in Earth Sciences. Springer, Berlin.
- Lehmann, B., 2021. Formation of tin ore deposits: a reassessment. *Lithos* **402-403**, 105756. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105756>
- Li, X., Zheng, Y.C., Shen, Y., Wu, C.-da, Xu, P.-yan, Yang, Y.-shen, Wang, L., Hou, Z.-qian., 2023. Petrogenesis of Sn-related granitoids and implications for the formation of the world-class Gejiu Sn district, South China: Insights from whole-rock and accessory mineral geochemistry. *Lithos*, **448-449**: 107166. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2023.107166>
- Ludwig, K.R., 2003. *Users manual for ISOPLOT 3.00*. Berkeley Geochronology Center Special Publication, **4**.
- Meireles, C. A. P., 2013. Litoestratigrafia do Paleozóico do Sector a Nordeste de Bragança (Trás-os-Montes). Instituto Universitário de Geologia "Isidro Parga Pondal", Univ. Coruña, Serie Nova Terra, 42. anexos, 1 mapa geológico. <https://www.udc.es/files/iux/almacen/Nova%20Terra%2042%20ebook/files/assets/basic-html/index.html#page1>.
- Menéndez Martínez, M., 2001. Petrogénesis del macizo de Guitiriz (NO de la Península Ibérica). Implicaciones en la génesis de granitoides y en procesos de hibridación mantélico-corticales. Tese de doutoramento, Universidade do País Basco.
- Monecke, T., Kempe, U., Monecke, J., Sala, M., Wolf, D., 2002. Tetrad effect in rare earth element distribution patterns: a method of quantification with application to rock and mineral samples from granite-related rare metal deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **66**:1185-1196. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(01\)00849-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(01)00849-3)
- Neiva, A. M. R., 2001. Geochemistry of granites from northern and central Portugal associated with tin and tungsten mineralizations. Colóquio - Geoquímica e petrogénese de rochas granitóides. Memórias da Academia das Ciências de Lisboa, **XXXIX**: 145-159.
- Neiva, A. M. R., Silva, P. B., Corfu, F., Ramos, J. M. F., 2011. Sequential melting and fractional crystallization: granites from Guarda-Sabugal area, central Portugal. *Geochemistry*, **71**(3):227-245. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2011.06.002>
- Pereira, E. (coordenação de), 2006. Notícia explicativa da Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação.
- Pereira, E. (coordenador geral), 2000. Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000 (Folha 2). Instituto Geológico e Mineiro.
- Pin, C., Santos Zalduegui, J. F., 1997. Sequential separation of light rare-earth elements, thorium and uranium by miniaturized extraction chromatography: application to isotopic analyses of silicate rocks. *Analytica Chimica Acta*, **339**(1-2):79-89. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(96\)00499-0](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(96)00499-0)
- Schmidt, C., Romer, R. L., Wohlgemuth-Ueberwasser, C. C., Appelt, O., 2020. Partitioning of Sn and W between granitic melt and aqueous fluid. *Ore Geology Reviews*, **117**:103263. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103263>
- Shuai, X., Li, S.-M., Zhu, D.-C., Wang, Q., Zhang, L.-L., Zhao, Z., 2021. Tetrad effect of rare earth elements caused by fractional crystallization in high-silica granites: An example from central Tibet. *Lithos*: **384-385**. 105968. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2021.105968>
- Teixeira, R. J. S., Neiva, A. M. R., Gomes, M. E. P., Corfu, F., Cuesta, A., Croudace, I. W., 2012. The role of fractional crystallization in the genesis of early syn-D₃, tin-mineralized Variscan two-mica granites from the Carrazeda de Ansiães area, northern Portugal. *Lithos*: **153**, 177-191. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.04.024>
- Teixeira, R. J. S., Neiva, A. M. R., Gomes, M. E. P., Corfu, F., Cuesta, A., Croudace, I. W., 2021. The importance of sequential partial melting and fractional crystallization in the generation of syn-D₃ Variscan two-mica granites from the Carrazeda de Ansiães area, northern Portugal. *Journal of Iberian Geology*. **47**: 281-305. <https://doi.org/10.1007/s41513-020-00160-x>
- Villaseca, C., Merino, E., Oyarzun, R., Orejana, D., Pérez-Soba, C., Chicharro, E., 2014. Contrasting chemical and isotopic signatures from Neoproterozoic metasedimentary rocks in the Central Iberian Zone (Spain) of pre-Variscan Europe: implications for terrane analysis and Early Ordovician magmatic belts. *Precambrian Research*, **245**:131-145. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2014.02.006>
- Xu, R., Romer, R.L., Glodny, J., 2021. External fluids cause alteration and metal redistribution in the granite-hosted Tangziwa Sn-Cu deposit, Gejiu district, China. *Lithos*, **382-383**(2):105937. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105937>
- Zhao, P.L., Zajacz, Z., Tsay, A., Yuan, S.D., 2022. Magmatic-hydrothermal tin deposits form in response to efficient tin extraction upon magma degassing. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **316**:331-346. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2021.09.011>