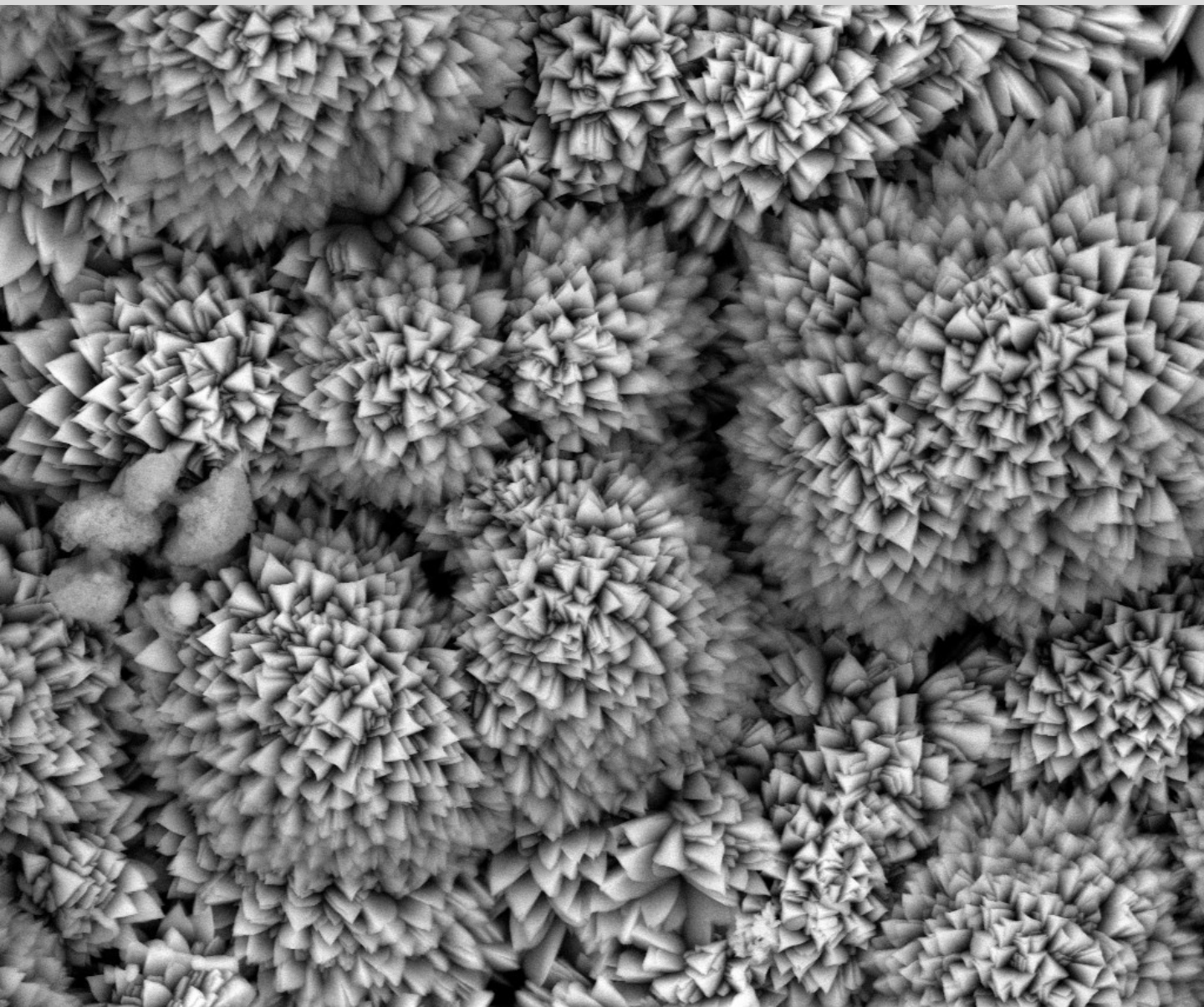


Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História

Volume I

Geologia Clássica



Publicação Comemorativa do "ANO INTERNACIONAL DO PLANETA TERRA"

Associação Portuguesa de Geólogos
Sociedade Geológica de Portugal

J.M. Cotelo Neiva, António Ribeiro, Mendes Victor, Fernando Noronha, Magalhães Ramalho

MINERALOGIA DOS FILÕES APLITO-PEGMATÍTICOS LITINÍFEROS DA REGIÃO DE SEGURA

MINERALOGY OF LI-BEARING GRANITIC APLITE-PEGMATITE VEINS FROM SEGURA

I. M. H. R. Antunes^{1*}, A. M. R. Neiva^{2*}, M. M. V. G. Silva^{2*}, P. B. Silva^{3*}

RESUMO

Na região de Segura, os filões aplito-pegmatíticos litiníferos Variscos intruíram o Complexo Xisto-Grauváquico, Câmbrico. Os filões pegmatíticos são do tipo REL-Li e incluem-se na família dos pegmatitos LCT. A ocorrência de lepidolite, montebrasite, microlite, cassiterite e minerais do grupo da columbite primários sugerem um elevado grau de diferenciação nestes filões. A montebrasite primária é heterogênea e a lacroixite secundária ocorre nas suas zonas enriquecidas em Na. A cassiterite é zonada com alternância de zonas escuras e zonas claras e possui $Mn > Fe$, o que é raro. As zonas escuras são fortemente pleocróicas, com zonamento oscilatório, e possuem teores mais elevados de Nb e Ta do que as zonas claras. As inclusões de moscovite, apatite, ferrotapiolite, ixiolite e microlite foram encontradas em ambas as zonas da cassiterite, mas as exsoluções de ferrocolumbite, ferrocolumbite manganífera e manganocolumbite ocorrem nas zonas escuras.

PALAVRAS-CHAVE: aplito-pegmatitos litiníferos, lepidolite, montebrasite, óxidos de Sn-Nb-Ta

ABSTRACT

At Segura, Variscan Li-bearing granitic aplite-pegmatite veins intruded the Cambrian schist-greywacke complex. The pegmatite veins are REL-Li pegmatites and belong to the LCT family. The occurrence of primary lepidolite, montebrasite, microlite, cassiterite and columbite minerals suggest that Li-bearing pegmatite veins are highly differentiated. Primary montebrasite shows a heterogeneous Na distribution and secondary lacroixite occurs in the enriched zones. Unusual $Mn > Fe$ cassiterite is zoned showing sequences of alternating darker and lighter zones. The darker zones are strongly pleochroic, oscillatory zoned, and have more Nb and Ta than the lighter zones. Cassiterite has inclusions of muscovite, apatite, ferrotapiolite, ixiolite and microlite in both zones and exsolutions of ferrocolumbite, manganiferocolumbite and manganocolumbite in the darker zones.

KEY-WORDS: Li-bearing aplite-pegmatites, lepidolite, montebrasite, Sn-Nb-Ta oxide minerals.

INTRODUÇÃO

Os pegmatitos com lepidolite caracterizam-se pela presença de lepidolite, como o principal mineral de lítio, enriquecimento em Li, F, Rb, Cs, B e P, significativos teores de Sn, Nb, Ta e minerais de Be (Černý et al., 2005). As mineralizações associadas a granitos, pegmatitos e filões hidrotermais indicam um enriquecimento do magma residual em elementos menores (e.g., Be, Ta, Li, Sn, Bi, W, Mo, Cu) e/ou voláteis, particularmente nas fases finais de cristalização (Beurlen et al., 2001). A maioria destes pegmatitos (baixa temperatura e pressão) está associada a granitos peraluminosos diferenciados (Černý, 1992), resulta dos processos de diferenciação magmática (e.g., Černý, 1992; Vieira e Lima, 2005; Leal Gomes, 2006; Silva et al., 2006a) e representa a fracção residual de um magma silicatado (London, 2005). O pegmatito e o granito parental podem estar separados no espaço e o encaixante contaminar o pegmatito granítico (Novák, 2007).

¹ Instituto Politécnico de Castelo Branco, 6001-909 Castelo Branco, Portugal. imantunes@esa.ipcb.pt

² Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, 3000-272 Coimbra, Portugal. neiva@ci.uc.pt; mmvsilva@ci.uc.pt

³ LNEG (ex-INETI), Rua da Amieira, Ap. 1089, 4466-956 S. Mamede de Infesta, Portugal. paulo.bravo@ineti.pt

* Centro de Geociências da Universidade de Coimbra.

Os pegmatitos peraluminosos do tipo LCT resultam predominantemente de granitos do tipo S, embora localmente associados a granitos do tipo I (Černý e Ercit, 2005; London, 2008). Contudo, nem todos os granitos peraluminosos têm pegmatitos associados, dado que exigem um magma rico em boro e lítio (London, 1992; 2008). A abundância dos pegmatitos litiníferos é desconhecida e variável. Nalguns locais podem dominar, embora seja pouco frequente, enquanto que noutros não são encontrados ou estão representados em pequenos e pontuais diques (Černý et al., 2005). Na região norte e centro de Portugal ocorrem zonas enriquecidas em Sn e W, tanto sob a forma de pegmatitos, como de granitos greisenizados com cassiterite e de filões de quartzo com cassiterite, volframite e scheelite (Cotelo Neiva, 1944; 2006; Neiva, 1975; 2002; 2008; Leal Gomes, 1994; Antunes, 1999; Antunes et al., 2002; Silva et al., 2006b). Na região da Guarda existe um extenso campo de filões aplito-pegmatíticos LCT, associado a granitos peraluminosos do tipo S (Ramos et al., 2006). A maioria dos filões aplito-pegmatíticos portugueses relaciona-se com granitos Variscos, sin- a tardi- ou post-D3 (Cotelo Neiva, 2006). Neste trabalho apresenta-se o estudo mineralógico e geoquímico dos minerais dos filões aplito-pegmatíticos litiníferos da região de Segura.

GEOLOGIA

A região de Segura localizada na zona Centro de Portugal (Fig. 1), insere-se na Zona Centro Ibérica e pertence à Cintura Pegmatítica Centro Ibérica (Leal Gomes, 2006). O plutão de Segura, sin-D3, é formado pelo granito de grão médio a grosseiro de duas micas e pelo granito de grão médio a fino moscovítico (Fig. 1). O plutão intruiu o Complexo Xisto-Grauváquico, Câmbrico, com metapelitos e metagrauvaques intercalados com metaconglomerados e mármore, produzindo uma auréola de metamorfismo (Fig. 1).

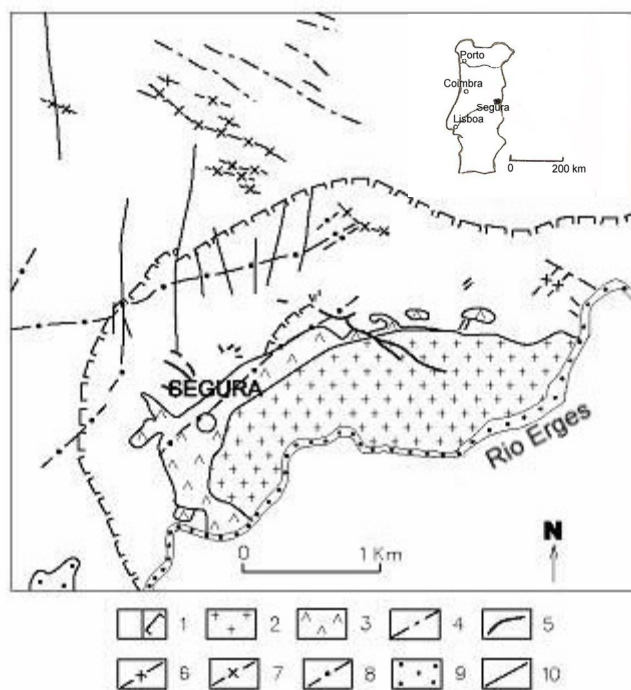


Fig. 1. Mapa geológico de Segura.

1. Complexo Xisto-Grauváquico, auréola de metamorfismo de contacto; 2. granito de duas micas; 3. granito moscovítico; Filões de: 4. pórfiros granodioríticos, 5. aplíticos, 6. aplito-pegmatíticos graníticos litiníferos; Filões de quartzo com: 7. cassiterite e volframite, 8. barite, galena e blenda; 9. arcosos; 10. falhas.

Os pórfiros granodioríticos, N45-60W, intruíram o Complexo Xisto-Grauváquico, enquanto que os aplitos, NW-SE a NNW-SSE, intruíram o Complexo e os granitos. Os filões aplito-pegmatíticos, NE-SW, subhorizontais, com espessura de 15 cm e 300 m de comprimento (Antunes et al., 2002) atravessam o Complexo (Fig. 2a). Os filões de quartzo com Sn e W, NW-SE a WNW-ESE, e os filões de quartzo com Ba-Pb-Zn, ENE-WSW a NNE-SSW, intersectam o Complexo e o granito moscovítico (Fig. 1).

PETROGRAFIA DOS FILÕES APLITO-PEGMATÍTICOS LITINÍFEROS DE SEGURA

Os filões aplito-pegmatíticos litiníferos possuem textura granular subédrica e são constituídos por quartzo, microclina micropertítica, albita, moscovite, apatite, zircão e rútilo (Antunes, 1999). Possuem frequentes cristais de montebrasite, topázio, lepidolite, cassiterite, minerais do grupo da columbite e microlite (Antunes et al., 2007). A lacroixite secundária ocorre associada à montebrasite. Os filões pegmatíticos litiníferos são do tipo REL-Li e incluem-se no grupo dos pegmatitos LCT (Černý e Ercit, 2005).

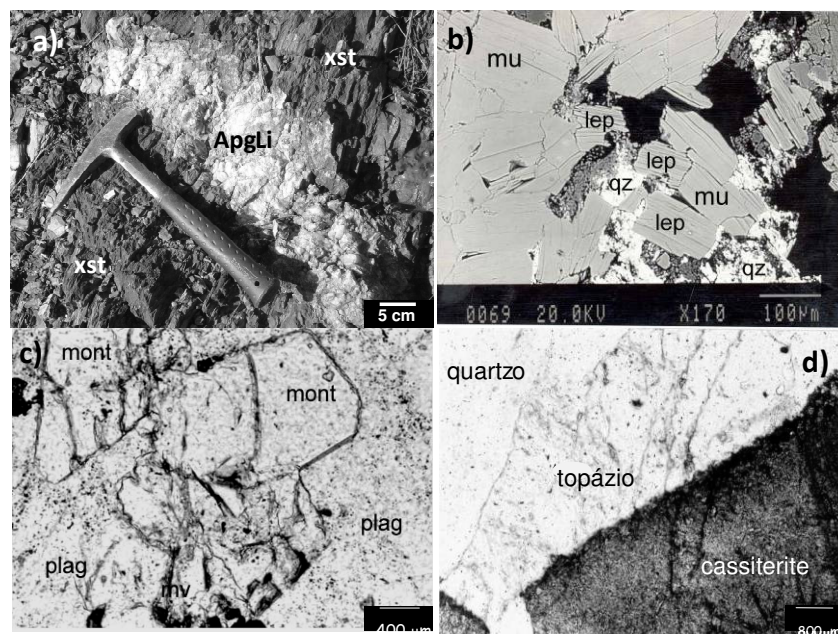


Fig. 2. Características texturais dos filões aplito-pegmatíticos litiníferos de Segura.

a) Filão aplito-pegmatítico litinífero (ApgLi) atravessando o Complexo Xisto-Grauváquico (xst); b) lepidolite (lep) substituindo parcialmente a moscovite (mu), com quartzo (qz) associado; c) montebrasite subédrica (mont) substituída por moscovite (mv) com plagioclase associada (plag); d) topázio associado a quartzo e cassiterite.

O quartzo é euédrico a subédrico, apresenta extinção ondulante e está fracturado. Ocorre em diferentes gerações, em que a mais tardia se associa às fracturas de feldspatos. A microclina microperítica e a albite, subédricas a anédricas, estão localmente substituídas por moscovite secundária. A moscovite e lepidolite magmáticas, subédricas, ocorrem associadas e a lepidolite substitui parcialmente a moscovite (Fig. 2b). Os cristais subédricos de montebrasite, com dimensões de 3 x 2 mm, são substituídos por moscovite (Fig. 2c) e mostram zonas enriquecidas em Na, identificadas como lacroixite secundária. Foram encontrados diversos cristais de topázio fracturados e associados a cristais de quartzo, feldspato e localmente cassiterite (Fig. 2d), contendo inclusões de albite.

A cassiterite é euédrica, de dimensões entre 6.2 x 2.1 mm e 18 x 5.6 mm, tem zonas claras translúcidas (Fig. 3a) alternando com zonas escuras pleocróicas (c - castanho avermelhado a ω - incolor) (Fig. 3b). Contudo, também ocorre em cristais não zonados. Possui inclusões de moscovite e apatite (Fig. 3c). Na cassiterite ocorrem inclusões zonadas, subédricas a euédricas, de ferrotapiolite (40 x 30 μm), ixiolite (30 x 15 μm) e microlite (80 x 30 μm) (Fig. 3c) e exsoluções zonadas, subédricas, de ferrotapiolite, ferrocolumbite, ferrocolumbite manganífera e manganocolumbite, com dimensões de 300 x 600 μm (Fig. 3c, d). Alguns cristais apresentam uma composição de ferrocolumbite a manganocolumbite (Fig. 3d).

GEOQUÍMICA DE MINERAIS DOS FILÕES APLITO-PEGMATÍTICOS LITINÍFEROS DE SEGURA

Feldspatos

A microclina tem um teor de ortoclase entre 89 e 97 % e a plagioclase é albite pura ($\text{An}_0\text{-An}_1$) (Antunes et al., 2001). A microclina possui teores médios mais elevados de P_2O_5 (0.67 wt% P_2O_5) do que a plagioclase coexistente (0.39 wt% P_2O_5) (e.g., London, 1992; Kontak et al., 1996; Neiva, 1998, Breiter et al., 2005). O teor de P_2O_5 da microclina não se relaciona com o seu teor de ortoclase e o teor de P_2O_5 da albite não está dependente do conteúdo em anortite (Neiva, 1998), pelo que se relaciona com o conteúdo em fósforo do magma cristalizado (Bea et al., 1994). O coeficiente de distribuição empírico $D[\text{P}]/\text{Kf}/\text{Pl}$ obtido entre a microclina e a plagioclase do aplito-pegmatito é de 1.75 (Antunes et al., 2001), sugerindo que não existe uma fraccionação significativa do fósforo entre feldspatos coexistentes (London, 1992; Neiva, 1998) e estão em equilíbrio (London, 1992).

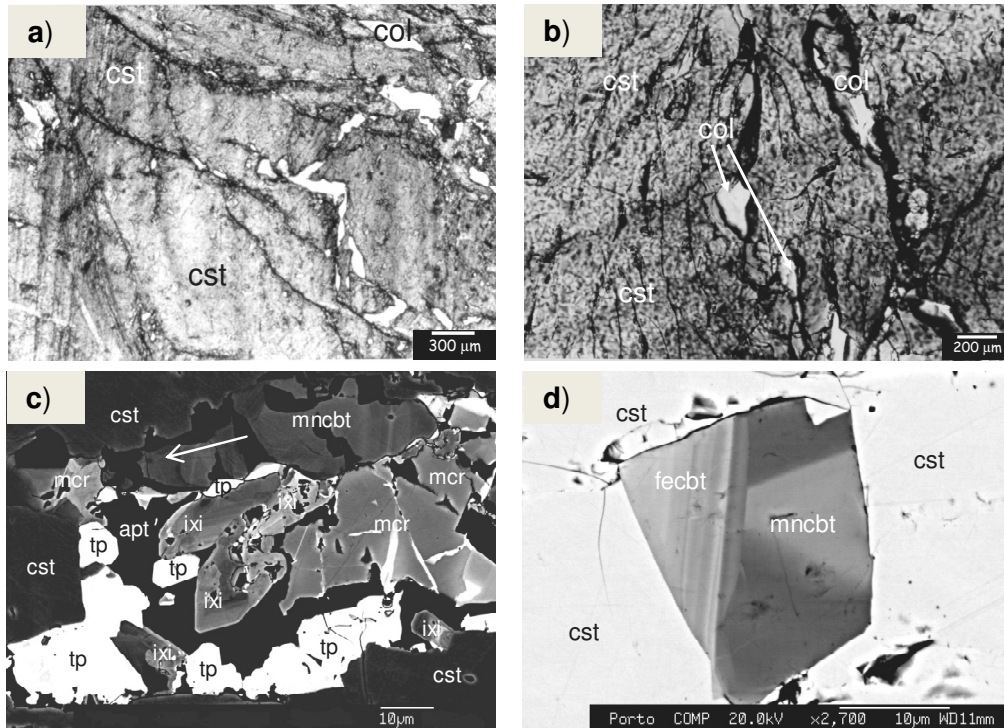


Fig.3. Inclusões e exsoluções na cassiterite dos filões aplito-pegmatíticos litiníferos de Segura.

a) Intercrescimento de zonas claras e zonas escuras da cassiterite (cst) com exsoluções de columbite (col); b) exsoluções de columbite subédrica (col) nas fracturas da cassiterite (cst). Imagens de electrões retrodifundidos (backscattered electron images): c) cassiterite (cst) com inclusões de apatite (apt), ferrotapiolite (tp), ixiolite (ixi) e microlite (mcr) e uma exsolução de manganocolumbite (mncbt); d) exsolução euédrica na cassiterite (cst) com composição variando de ferrocolumbite (fecbt) a manganocolumbite (mncbt).

Moscovite e Lepidolite

A moscovite é magmática, como mostram as características texturais e composição química (Fig. 4) e a lepidolite magmática é o principal mineral de lítio dos filões aplito-pegmatíticos litiníferos de Segura. A composição química representativa de cristais de moscovite e lepidolite magmáticas e as respectivas fórmulas estruturais são apresentadas na Tabela 1.

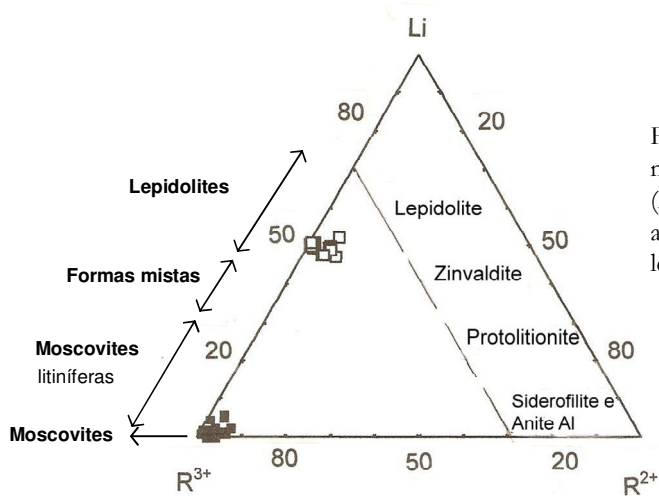


Fig. 4. Projecção das moscovite e lepidolite magmáticas de Segura no diagrama Li - R^{3+} ($Al^{VI}+Ti^{4+}$) - R^{2+} ($Fe^{2+}+Mn+Mg$) de Fleet (2003), adaptado de Foster (1960). Moscovite (■); lepidolite (□).

Tabela 1. Composições químicas representativas e respectivas fórmulas estruturais da moscovite e lepidolite magmáticas dos filões aplito-pegmatíticos litíferos de Segura.

	<u>Moscovite</u>	<u>Lepidolite</u>		<u>Moscovite</u>	<u>Lepidolite</u>
SiO₂	46.42	52.03	Si	3.077	3.266
TiO₂	0.02	0.03	Al^{IV}	0.923	0.734
Al₂O₃	35.83	24.52	Z	4.00	4.00
Cr₂O₃	0.02	0.03	Al^{VI}	1.877	1.080
FeO	0.80	0.12	Ti	0.001	0.001
MnO	0.13	0.44	Cr	0.001	0.001
MgO	0.04	0.02	Fe	0.044	0.006
CaO	0.01	0.02	Mn	0.007	0.023
Li₂O	0.38*	4.35	Mg	0.004	0.002
BaO	0.02	0.03	Li	0.101	1.098
Na₂O	0.51	0.29	Y	2.03	2.21
K₂O	9.48	9.71	Ca	0.001	0.001
Rb₂O	-	0.84	Ba	0.001	0.001
Cs₂O	-	0.15	Na	0.066	0.035
F	0.97	7.57	K	0.802	0.778
	94.63	100.15	Rb	-	0.033
O=F	0.41	3.18	Cs	-	0.004
Total	94.22	96.97	X	0.87	0.85
			F	0.203	1.503

- Não detectado. O teor de Li da lepidolite foi obtido por absorção atômica em cristais separados com um separador magnético e líquidos densos; * - valores calculados através da equação $Li_2O = 0.3935F^{1.326}$ de Tischendorf et al. (1997). Óxidos em % peso. Número de iões calculado na base de 11 átomos de oxigénio. Analista: I.M.H.R. Antunes.

A lepidolite é mais tardia do que a moscovite, sendo enriquecida em Si, F, Rb, Rb/K mas empobrecida em Al (Fig. 5). A moscovite e lepidolite magmáticas não estão relacionadas e a lepidolite substitui a moscovite (Fig. 2b). Os elevados teores de Li, Rb, Cs e F da lepidolite sugerem fraccionação magmática (Černý et al., 1985; Charoy e Noronha, 1995). Nos filões pegmatíticos litíferos podem ocorrer outros minerais de lítio, como por exemplo, espodumena e petalite, contudo, não foram encontrados em Segura pois são menos estáveis do que a lepidolite (Charoy e Noronha, 1995; Lima et al., 2003; Noronha e Lima, 2006; Ramos et al., 2006).

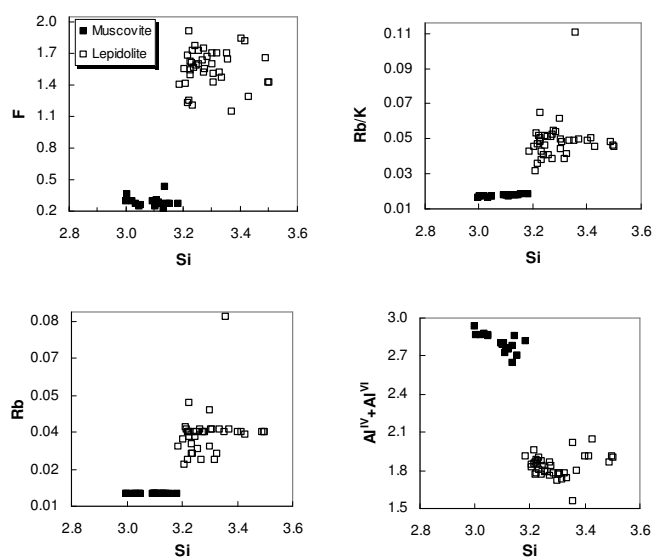


Fig. 5. Diagramas de variação da moscovite e lepidolite magmáticas dos filões aplito-pegmatíticos litíferos de Segura.

Fosfatos

Apatite

O fósforo é um elemento de elevada incompatibilidade e a cristalização de pegmatitos promove uma saturação gradual do magma em P e Li, acompanhada da cristalização de fosfatos, como a apatite e montebrasite (Hu et al., 2007). A hidroxiapatite é um dos fosfatos encontrados nos filões aplito-pegmatíticos de Segura (Antunes, 1999; Antunes et al., 2001).

Grupo da ambligonite – montebrasite

Estes minerais constituem um dos grupos de fosfatos mais representativos de alguns pegmatitos (e.g., Hu et al., 2007; Pirard et al., 2007) e ocorre geralmente em pegmatitos graníticos ricos em F e Li (Groat et al., 2003). A solução sólida da série ambligonite-montebrasite possui como membros terminais: ambligonite $\text{LiAl}(\text{PO}_4)\text{F}$ e montebrasite $\text{LiAl}(\text{PO}_4)(\text{OH})$ (e.g., Gaines et al., 1997). A montebrasite primária dos filões aplito-pegmatíticos apresenta deficiência em Al (Tabela 2), a qual pode ser atribuída a alteração incipiente (Neiva et al., 2000). Os mapas de distribuição do Na e F (Fig. 6) são confirmados pelas análises químicas de microsonda electrónica (Tabela 2) e mostram uma distribuição heterogénea nos cristais de montebrasite, concentrando-se o Na nas zonas de lacroixite secundária, como no pegmatito de Montebras (Pirard et al., 2007) e de Eight Mile Park, Colorado (Fransolet et al., 2007).

Tabela 2. Composições químicas representativas e fórmulas estruturais da montebrasite primária e lacroixite secundária dos filões aplito-pegmatíticos litíferos de Segura.

	Montebrasite		Lacroixite			Montebrasite		Lacroixite	
P₂O₅	49.87	49.73	44.93	45.80	P	1.000	1.000	1.000	1.000
Al₂O₃	34.22	33.60	31.59	32.34	Al	0.956	0.941	0.979	0.983
FeO	-	-	0.02	0.03	Fe	-	-	-	0.001
MnO	-	-	-	-	Mn	-	-	-	-
MgO	-	-	0.03	0.01	Mg	-	-	0.001	-
CaO	-	-	0.02	0.05	Ca	-	-	0.001	0.001
Na₂O	0.25	1.03	15.02	13.19	Na	0.011	0.047	0.766	0.660
LiO₂*	10.38	9.97	2.21	3.27	Li	0.152	0.079	0.868	0.826
F	2.03	1.05	10.44	10.13	F	0.989	0.953	0.234	0.339
H₂O*	4.52	4.69	0.42	0.74					
	101.27	100.07	104.68	105.56	OH	0.714	0.744	0.073	0.127
OH=F	0.85	0.44	4.40	4.27					
Total	100.41	99.63	100.28	101.29					

- Não detectado. * valores calculados. Óxidos em % peso. Número de catiões normalizado para 1P.
Analistas: I.M.H.R.Antunes; P.B. Silva.

Topázio

O topázio dos filões aplito-pegmatíticos litíferos de Segura tem uma composição homogénea, $\text{Al}_{2.1}\text{Si}_{1.0}\text{O}_4(\text{OH}_{0.6}\text{F}_{1.4})\Sigma_2$ (Antunes, 1999). Apresenta teores de F menos elevados (12 – 16%) do que o máximo teórico deste mineral (F – 20.7%) (Chang et al., 1997).

Cassiterite

A cassiterite dos filões aplito-pegmatíticos litíferos de Segura possui $\text{Nb} > \text{Ta}$ e $\text{Mn} > \text{Fe}$ (Tabela 3), o que é raro (Neiva, 1996; Černý et al., 2004). Nos cristais zonados de cassiterite, as zonas escuras são oscilatoriamente zonadas e contêm teores de Nb e Ta mais elevados do que as zonas claras do mesmo cristal, consistindo em SnO_2 quase puro (Tabela 3). Deste modo, o pleocroísmo das zonas escuras estará associado aos teores de Nb e Ta (Neiva, 1996; 2008).

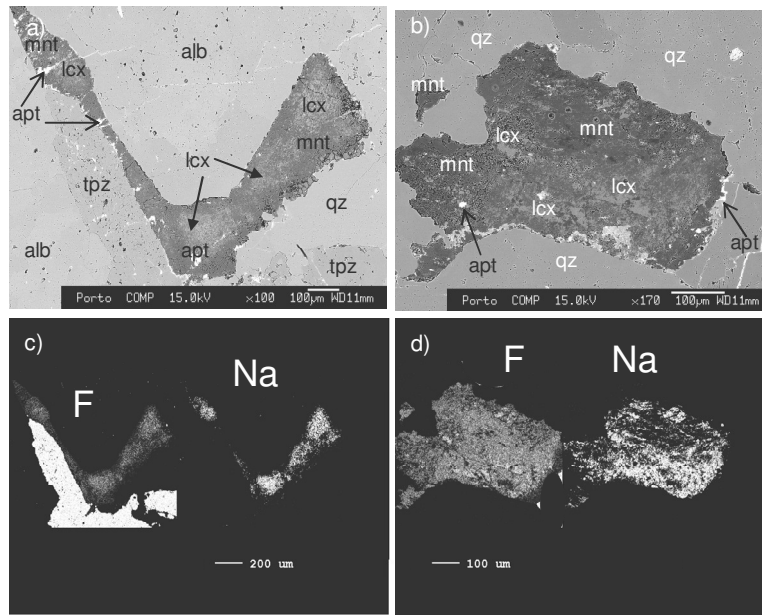


Fig. 6. Zonamento composicional na montebrasite dos filões aplito-pegmatíticos litíniferos de Segura. a), b) Imagens de electrões retrodifundidos de cristais de montebrasite (mnt) com zonas de lacroixite (lcx) e inclusões de apatite (apt). Montebrasite está associada a topázio (tpz), quartzo (qz) e albite (ab). c), d) Mapas raios-X, mostrando a distribuição de Na e F nas zonas com lacroixite dos cristais de montebrasite representados em a) e b), respectivamente. A montebrasite tem uma cor cinzenta escura e a lacroixite é cinzenta clara, nas imagens de electrões retrodifundidos.

Os cristais não zonados de cassiterite têm uma composição química intermédia entre a composição das zonas claras e das zonas escuras dos cristais zonados (Tabela 3).

Tabela 3. Composições químicas representativas e respectivas fórmulas estruturais da cassiterite não zonada e zonada de filões aplito-pegmatíticos litíniferos de Segura.

	Cassiterite					
	Não zonada	Zonada		Zonada		
			1	2	3	4
WO₃	0.31	-	0.34	-	-	0.18
Ta₂O₅	1.22	0.59	1.46	0.15	1.56	2.42
Nb₂O₅	1.23	0.45	2.54	0.52	3.92	5.38
SnO₂	97.16	98.76	95.17	99.28	94.2	92.1
TiO₂	0.05	-	0.04	-	-	-
FeO	0.11	-	0.03	-	0.11	-
MnO	0.1	0.11	0.28	-	0.50	0.45
Total	100.18	99.91	99.86	99.95	100.29	100.53
W	0.002	-	0.002	-	-	0.001
Ta	0.008	0.004	0.010	0.001	0.011	0.016
Nb	0.014	0.005	0.029	0.006	0.044	0.060
Sn	0.966	0.987	0.945	0.991	0.926	0.899
Ti	-	-	0.001	-	-	-
Fe	0.002	-	0.001	-	0.002	-
Mn	0.002	0.002	0.006	-	0.010	0.009
Total	0.994	0.998	0.994	0.998	0.993	0.985
Ta/(Ta+Nb)	0.36	0.44	0.26	0.14	0.20	0.21
Mn/(Mn+Fe)	0.50	1	0.86	-	0.83	1

1. Zona clara, 2. zona escura do mesmo cristal. 3, 4, 5. aumento progressivo da distância (10 μm) a partir de uma exsolução de manganocolumbite na zona escura da cassiterite. – Não detectado. Óxidos em % peso. Número de cationes calculado na base de 2 átomos de oxigénio. Analista: I.M.H.R.Antunes.

A cassiterite não apresenta uma variação regular ao aproximar das inclusões de tapiolite, ixiolite e microlite, mas tem uma variação progressiva e regular próximo das exsoluções de columbite (Tabela 3). Nas zonas escuras da cassiterite, os teores de Nb e Ta aumentam, enquanto que os teores de Sn decrescem com o aumento da distância aos produtos de exsolução (Tabela 3). As inclusões ocorrem nas zonas claras e escuras da cassiterite e os produtos de exsolução estão concentrados nas zonas escuras, particularmente ao longo das suas fracturas.

As composições da cassiterite dos filões aplito-pegmatíticos litiníferos de Segura estão projectadas no diagrama (Sn,W,Ti) – (Nb,Ta) – (Fe,Mn) (Fig. 7a, b) e concentram-se no campo da cassiterite, próximo da substituição ideal $(\text{Fe,Mn})^{2+} + 2(\text{Nb,Ta})^{5+} \rightleftharpoons 3(\text{Sn,Ti})^{4+}$ (Černý et al., 1985), indicando que será este o mecanismo responsável pela incorporação de Fe, Mn, Nb, Ta e Ti na cassiterite, como encontrado em outras cassiterites de Portugal (e.g., Neiva, 1996; 2008).

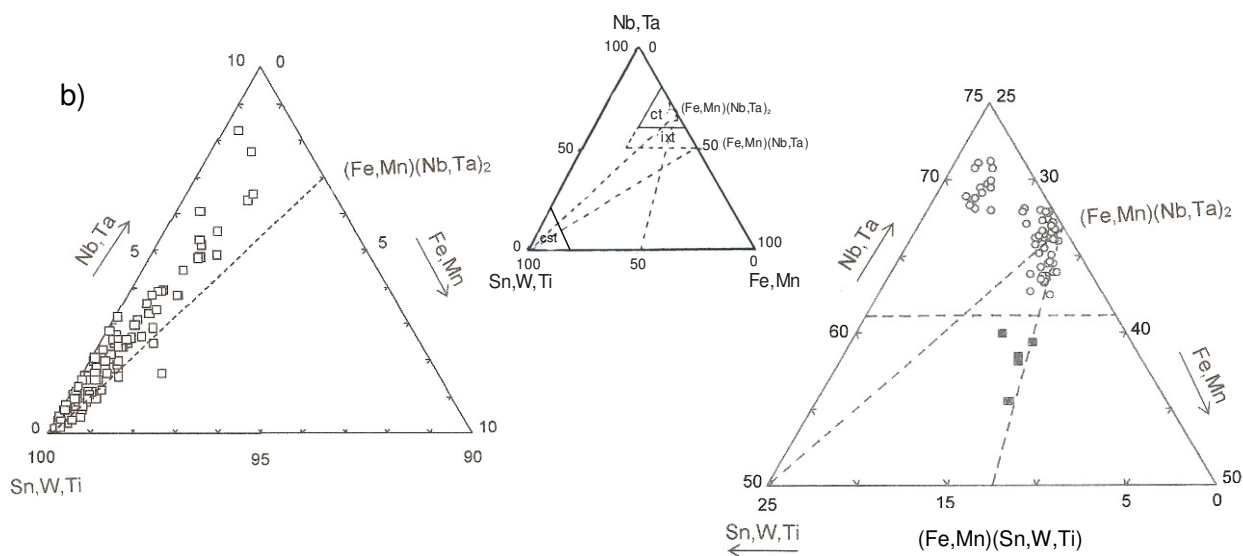


Fig. 7. a) Diagrama (Sn-W-Ti) - (Nb,Ta) - (Fe-Mn) mostrando o campo da cassiterite (cst), columbite (ct) e ixiolite (ixt). Projecção das composições de: b) □ cassiterite, c) ○ columbite e ■ ixiolite dos filões aplítico-pegmatíticos litiníferos de Segura.

Óxidos de Nb e Ta

As composições químicas obtidas para as inclusões de ferrotapiolite, ixiolite e microlite e exsoluções de ferrocolumbite, ferrocolumbite manganífera e manganocolumbite da cassiterite dos filões aplito-pegmatíticos litiníferos de Segura são apresentadas na Tabela 4. Os elementos menores Sn, Ti, Sc e Mg são os mais abundantes nestas inclusões e exsoluções. Na distinção entre os minerais da série columbite-tantalite e da série ixiolite-wodginite foi utilizado o critério químico definido por Neiva (1996).

As inclusões de ixiolite contêm Nb>Ta, Fe>Mn e W>Sn>Ti (Tabela 4) e correspondem a W-ixiolite, enquanto que as exsoluções de columbite possuem Nb>Ta. Entre as exsoluções de ferrocolumbite a manganocolumbite foi encontrada uma evolução composicional (Fig. 8). A maioria dos óxidos de Nb e Ta apresentam um zonamento ténue impossível de caracterizar.

A ixiolite projecta-se entre os alinhamentos (Sn,Ti,W)-(Fe,Mn)(Nb,Ta)₂ e (Fe,Mn)(Nb,Ta)₂-(Fe,Mn)(Sn,W,Ti), mas aproxima-se mais do último por ter uma quantidade significativa de W (Neiva, 1996). A ixiolite tem menos (Nb+Ta) e mais (Fe+Mn) e (Sn+W+Ti) do que a columbite.

Tabela 4. Composições representativas e fórmulas estruturais de inclusões e exsoluções da cassiterite dos filões aplito-pegmatíticos litiníferos de Segura.

	Inclusões de:			Exsoluções de:			Inclusões de:			Exsoluções de:	
	Fe_tp	Ixiolite		Fe_cbt	MnFe_cbt		Fe_tp	Ixiolite		Fe_cbt	MnFe_cbt
WO ₃	-	7.84	9.79	1.99	1.59	W	-	0.187	0.239	0.033	0.027
Ta ₂ O ₅	75.18	40.87	42.42	26.6	36.62	Ta	1.647	1.022	1.086	0.463	0.654
Nb ₂ O ₅	6.69	31.15	26.71	49.07	43.59	Nb	0.244	1.295	1.136	1.421	1.293
UO ₂	-	0.06	0.01	-	nd	U	-	0.001	-	-	nd
ZrO ₂	0.06	0.05	0.05	-	nd	Zr	0.002	0.002	-	-	nd
SnO ₂	1.71	1.38	2.04	2.23	0.27	Sn	0.055	0.051	0.077	0.057	0.007
TiO ₂	0.54	0.56	0.49	0.28	0.63	Ti	0.033	0.039	0.035	0.013	0.031
Sc ₂ O ₃	0.56	0.32	0.35	0.21	nd	Sc	0.039	0.026	0.029	0.012	nd
Bi ₂ O ₃	-	0.03	-	-	nd	Bi	-	0.001	-	-	nd
FeO	14.39	12.47	12.82	13.2	8.82	Fe	0.969	0.959	1.009	0.707	0.484
MnO	0.40	5.53	5.27	5.55	8.85	Mn	0.027	0.431	0.420	0.301	0.492
MgO	0.32	0.24	0.21	0.26	nd	Mg	0.038	0.033	0.03	0.024	nd
Total	99.85	100.5	100.16	99.39	100.37	Total	3.054	4.047	4.061	3.031	2.988
						Ta/(Ta+Nb)	0.87	0.44	0.49	0.25	0.34
						Mn/(Mn+Fe)	0.03	0.31	0.29	0.30	0.50

Fe_tp – ferrotapiolite; Fe_cbt – ferrocolumbite, MnFe_cbt – ferrocolumbite manganífera. – não detectado, nd – não determinado. Óxidos em peso %. Número de catiões calculado na base de 6 átomos de oxigénio para a ferrotapiolite e columbite e de 8 átomos de oxigénio para a ixiolite. Analistas: P.B. Silva; I.M.H.R. Antunes.

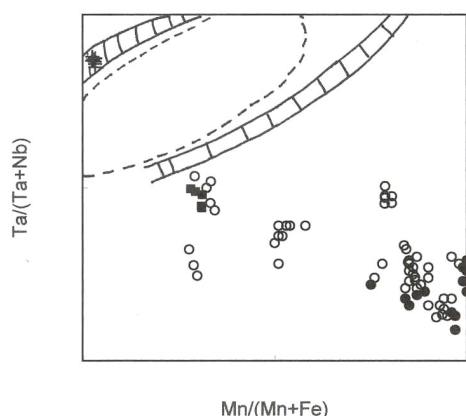


Figura 8. Projecção das composições de ferrotapiolite, ixiolite e columbite dos filões aplito-pegmatíticos litiníferos de Segura (Černý et al., 1992). Inclusões de: + - ferrotapiolite, ■ - ixiolite; exsoluções de: o - columbite zonada, ● - columbite não zonada.

As inclusões de microlite são enriquecidas em Ta, com valores da razão Ta/(Ta+Nb) variando entre 0.89 e 0.90, e em F (cerca de 4.6 wt. %), mas a maioria não tem Ti na sua composição (Tabela 5). Embora com composição semelhante, a microlite de Segura contém mais F do que a microlite do pegmatito de Varuträsk (Černý et al., 2004), mas menos F do que a das soleiras aplito-pegmatíticas litiníferas do Seixo Amarelo-Gonçalo (Ramos, 1998).

DISCUSSÃO

Os filões aplito-pegmatíticos litiníferos Variscos de Segura possuem moscovite, lepidolite, topázio, hidroxiapatite, montebrasite e microlite (Tabelas 1, 2, 5), indicando que são pegmatitos enriquecidos em Li, F e P; à semelhança de outros pegmatitos (e.g., Pal et al., 2007). Estes elementos químicos promovem um decréscimo da temperatura de cristalização (até valores inferiores a 500°C) e da viscosidade do magma (London, 1992; 2008); pelo que revelam um elevado grau de diferenciação. A turmalina não foi encontrada nos filões aplito-pegmatíticos litiníferos de Segura (Antunes, 1999), o que pode ser justificado pela abertura do sistema durante as fases tardias de cristalização e a consequente migração do boro para o encaixante, cristalizando turmalina metassomática, como nos aplito-pegmatitos de Veiros (Neiva et al., 2007).

Tabela 5. Composições representativas e fórmulas estruturais respectivas de inclusões de microlite na cassiterite dos filões aplito-pegmatíticos litiníferos de Segura.

		Microlite			
WO₃	0.46	0.78	U⁴⁺	0.024	0.026
Ta₂O₅	74.55	74.84	Ca⁴⁺	0.933	0.921
Nb₂O₅	4.85	5.27	Ba²⁺	0.005	-
TiO₂	0.09	0.11	Mn²⁺	0.013	0.015
UO₂	1.20	1.36	Fe²⁺	0.010	0.015
CaO	9.86	9.90	Sn²⁺	0.026	0.023
MnO	0.17	0.21	Pb²⁺	0.001	0.004
FeO	0.14	0.21	Na⁺	0.806	0.787
SnO	0.66	0.60	SA	1.818	1.791
BaO	0.14	-	W⁶⁺	0.010	0.018
PbO	0.05	0.19	Ta⁵⁺	1.790	1.768
Na₂O	4.71	4.68	Nb⁵⁺	0.194	0.207
F	4.57	4.37	Ti⁴⁺	0.006	0.007
	101.45	102.52	SB	2	2
O≡F	1.92	1.83	F⁻	1.276	1.199
Total	99.53	100.69	(OH)⁻	-	-
			O²⁻	5.800	5.829
			Σ aniões	7.076	7.028
			Ta/(Ta+Nb)	0.90	0.89

- Não detectado. Fórmulas estruturais calculadas na base de (Ta+Nb+Ti+W) = 2;
(OH) - recalculado como balanço de cargas para Σ aniões = 7. Sc₂O₃, Sb₂O₃, Bi₂O₃ e
Cs₂O não foram detectados. Óxidos em peso %. Analistas: P.B. Silva, I.M.H.R. Antunes.

A cassiterite, com Mn > Fe (Tabela 3), é encontrada apenas em pegmatitos graníticos enriquecidos em lítio (Černý et al., 2004) e a substituição teórica (Fe,Mn)²⁺ + 2(Nb,Ta)⁵⁺ ↔ 3(Sn,Ti)⁴⁺ é o mecanismo responsável pela incorporação de Fe, Mn, Nb, Ta e Ti nas cassiterites de Segura, como encontrado em outras cassiterites portuguesas (e.g., Neiva, 1996; 2008). As exsoluções de columbite são enriquecidas em Ta, Nb e Mn comparativamente com a cassiterite onde ocorrem (e.g., Černý et al., 1985; 1986; Neiva, 1996; 2008). Os resultados obtidos (Tabelas 3, 4) sugerem um equilíbrio entre a cassiterite hospedeira e as exsoluções de columbite. A solubilidade da manganocolumbite e manganotantalite no magma granítico aumenta com o aumento dos teores em F e Li (Linnen, 1998). Consequentemente, na presença de Li e F, a cristalização da tantalite declina em detrimento da precipitação de columbite (Linnen, 1998); o que pode justificar a ausência de tantalite no aplito-pegmatítico litinífero de Segura.

A evolução do magma promove um aumento na actividade do flúor, evidenciado pela composição da microlite (Tabela 5), e a fraccionação do magma *in situ* estará associada à ocorrência de minerais enriquecidos em elementos menores e em lítio, tal como encontrado nos pegmatitos da área de Separation Lake, Ontário (Tindle e Breaks, 2000). A presença de microlite em pegmatitos sugere um elevado grau de fraccionação e a sua composição indica a ocorrência de elementos voláteis no magma parental (Tindle e Breaks, 2000). A microlite primária é um mineral rico em Ta e possui mais Ta do que os minerais do grupo da columbite coexistentes (Tabela 4, 5), como encontrado em outras áreas estudadas (e.g., Černý et al., 1986; 2004; Wise e Černý, 1990).

Os filões aplito-pegmatíticos litiníferos de Segura estão associados a granitos Variscos do tipo S, particularmente ao granito de duas micas, dominante no plutão de Segura, com o qual se relaciona espacialmente, como sugerido pelas características geoquímicas das rochas e dos seus minerais constituintes (Antunes, 1999).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Professor Machado Leite, Doutor J. Farinha Ramos e Eng^a Fernanda Guimarães pelas facilidades concedidas na obtenção de imagens e análises químicas nz microsonda electrónica do LNEG (S. Mamede de Infesta) e ao Professor B.J. Wood pela utilização da microsonda electrónica na Universidade de Bristol, programa EUGF-Bristol.

REFERÊNCIAS

- Antunes, I.M.H.R. (1999) – “Impacte ambiental de antigas explorações mineiras na região de Segura”. Tese de Mestrado na Universidade de Coimbra, 162 pp.
- Antunes, I.M.H.R., Neiva, A.M.R., Silva, M.M.V.G. (2001) – “Phosphorus in minerals from granitic rocks and quartz veins from Segura, Central Portugal”. Vol. de Actas Cong. Ibérico de Geoquímica (M. Lago, E. Arranz & C. Galé, eds.), Zaragoza, pp. 317-320.
- Antunes, I.M.H.R., Neiva, A.M.R., Silva, M.M.V.G. (2002) – “The mineralized veins and the impact of old mine workings on the environment at Segura, central Portugal”. *Chem. Geol.*, 190, pp. 417-431.
- Antunes, I.M.H.R., Neiva, A.M.R., Silva, M.M.V.G. (2007) – “Geochemistry of minerals from Li-bearing granitic aplite-pegmatite veins of Segura area (Castelo Branco, Portugal)”. *Mem. n.º 8, Granitic pegmatites: The State of the Art* (T. Martins & R. Vieira, eds.), Porto, pp. 28-29.
- Bea, F., Pereira, M.D., Corretgé, L.G., Fershtater, G.B. (1994) – “Differentiation of strongly peraluminous phosphorus granites. The Pedrobernado pluton, central Spain”. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58, pp. 2609-2628.
- Beurlen, H., Marcelo, R.R.S., Castro, C. (2001) – “Fluid inclusions in Be-Ta (Li-Sn)-bearing pegmatites from the Borborema Province, Northeast Brazil”. *Chem. Geol.*, 173, pp. 107-123.
- Breiter, K., Müller, A., Leichmann, J., Gabašová (2005) – “Textural and chemical evolution of a fractionated granitic system: the Podlesí stock, Czech Republic”. *Lithos*, 80, pp. 323-345.
- Černý, P. (1992) – “Geochemical and petrogenetic features of mineralization in rare-element granitic pegmatites in the light of current research”. *Appl. Geochem.*, 7, pp. 393-426.
- Černý, P., Chapman, R., Ferreira, K., Smeds, S.A. (2004) – “Geochemistry of oxide minerals of Nb, Ta, Sn and Sb in the Varuträsk granitic pegmatite, Sweden: the case of an anomalous columbite-tantalite trend”. *Am. Mineral.*, 89, pp. 505-518.
- Černý, P., Ercit, T.S. (2005) – “The classification of granitic pegmatites revisited”. *Can. Mineral.*, 43, 2005-2026.
- Černý, P., Ercit, T.S., Wise, M.A. (1992) – “The tantalite-tapiolite gap: natural assemblages versus experimental data”. *Can. Mineral.*, 30, pp. 587-596.
- Černý, P., Goad, B.E., Hawthorne, F.C., Chapman R. (1986) – “Fractionation trends of the Nb- and Ta- bearing oxide minerals in the Greer Lake pegmatitic granite and its pegmatite aureole, southeastern Manitoba”. *Am. Mineral.*, 71, pp. 501-517.
- Černý, P., Massau, M., Goad, B.E., Ferreira, K. (2005) – “The Greer Lake leucogranite, Manitoba, and the origin of lepidolite-subtype granitic pegmatites”. *Lithos*, 80, pp. 305-321.
- Černý, P., Meintzer, R.E., Anderson, A.J. (1985) – “Extreme fractionation in rare-element granitic pegmatites: selected examples of data and mechanisms”. *Can. Mineral.*, 23, pp. 381-421.
- Chang, L.L.Y., Howie, R.A., Zussman, J. (1997) – “Rock Forming Minerals – Orthosilicates”. Vol I-A. 2nd Edition, pp. 801-815.
- Charoy, B., Noronha, F. (1995) – “A multistage model for growth of a rare element, volatile rich microgranite: the example of Argemela (Portugal)”. *J. Petrol.*, 37, pp. 73-94.
- Cotelo Neiva, J.M. (1944) – “Jazigos Portugueses de cassiterite e volfrâmio”. *Com. Serv. Geol. Port.*, 25, 1-251.
- Cotelo Neiva, J.M. (2006) – “Estruturas de aplitos e pegmatitos graníticos”. VII Cong. Nac. Geol. (J. Mirão & A. Balbino, eds.), Estremoz, pp. 1149-1155.
- Fleet, M.E. (2003) – “Rock forming minerals – Micas”, vol. 3A, 2nd Ed., pp. 651-690.
- Foster, M.D. (1960) – “Interpretation of the composition of lithium micas”. *U. S. Geol. Surv. Prof.*, 354-B, 1-49.
- Fransolet, A.M., Fontan, F., Parseval, P. (2007) – “Natromontebasite, a discredited mineral species”. *Can. Mineral.*, 45, pp. 391-396.
- Gaines, R.V., Skinner, H.C.W., Foord, E.E., Mason, B., Rosenzweig, A. (1997) – “Dana’s New Mineralogy”. 8th Edition. John Wiley & Sons, INC.
- Groat, L.A., Chakoumakos, B.C., Brouwer, D.H., Hoffman, M., Fyfe, C.A., Morell, H., Schultz, A.J. (2003) – “The amblygonite (LiAlPO₄F)-montebasite (LiAlPO₄OH) solid solution: A combined powder and single-crystal neutron diffraction and solid-state Li MAS, CP MAS and REDOR NMR study”. *Am. Mineral.*, 88, pp. 195-210.
- Hu, H., Wang, R.C., Fontan, F., Zhang A., Chen, J. (2007) – “Phosphate minerals from the Nanping pegmatite, SE China”. *Mem. n.º 8, Granitic pegmatites: The State of the Art* (T. Martins & R. Vieira, eds.), pp. 46-47.
- Kontak, D.J., Martin, R.F., Richard, L. (1996) – “Patterns of phosphorous enrichment in alkali feldspar, South Mountain Batholith, Nova Scotia, Canada”. *Eur. J. Mineral.*, 8 (4), pp. 805-824.
- Leal Gomes, C. (1994) – “Estudo estrutural e paragenético de um sistema pegmatóide granítico – o campo aplito-pegmatítico de Arga Minho, Portugal”. Tese de Doutoramento na Universidade do Minho, 695 pp.
- Leal Gomes, C. (2006) – “Análise paragenética das transições de estado e paroxismos evolutivos observados em sistemas pegmatíticos diversificados – Uso de indicadores estruturais, mineralógicos e geoquímicos expressos na Cintura pegmatítica Centro-Ibérica”. VII Cong. Nac. Geol. (J. Mirão & A. Balbino, eds.), Estremoz, pp. 1169-1175.
- Lima, A.M.C., Vieira, R.C., Martins, T.C., Noronha, F., Charoy, B. (2003) – “A ocorrência de petalite como fase litífera dominante em vários filões do campo aplito-pegmatítico do Barroso-Alvão”. *Cienc. Terra, Lisboa*, n.º V esp., pp. F52-F55.
- Linnen, R.L. (1998) – “The solubility of Nb-Ta-Zr-Hf-W in granitic melts with Li and Li+F: constrains for mineralization in rare metal granites and pegmatites”. *Econ. Geol.*, 93, pp. 1013-1025.
- London, D. (1992) – “The application of experimental petrology to the genesis and crystallization of granitic pegmatites”. *Can. Mineral.*, 30, pp. 499-540.
- London, D. (2005) – “Geochemistry of alkali and alkaline earth elements in Ore-forming granites, pegmatites and rhyolites”. *Rare Element Chemistry and Mineral Deposits* (L. Linnen & I.M. Sampson, eds.), pp. 175-199.
- London, D. (2008) – “Pegmatites”. *Can. Mineral.*, Sp publ., 10, 347 pp.
- Neiva, A.M.R. (1975) – “Geochemistry of muscovite in the pegmatites of northern Portugal”, *IMA Papers, Spec. Issue: 9th Meeting, Berlin*, pp. 303-315.
- Neiva, A.M.R. (1996) – “Geochemistry of cassiterite and its inclusions and exsolution products from tin and tungsten deposits in Portugal”. *Can. Mineral.*, 34, pp. 745-768.

- Neiva, A.M.R. (1998) – “Phosphorous in highly peraluminous granites between Douro and Tamega valleys, northern Portugal”. *Acta Univers. Carolinae-Geologica*, 42(1), pp. 80-82.
- Neiva, A.M.R. (2002) – “Portuguese granites associated with Sn-W and Au mineralizations”. *Bull. Geol. Soc. Finland*, 74 (1-2), pp. 79-101.
- Neiva, A.M.R. (2008) – “Geochemistry of cassiterite and wolframite from tin and tungsten quartz veins in Portugal”. *Ore Geol. Rev.*, 33, pp. 221 – 238.
- Neiva, A.M.R., Silva, M.M.V.G., Antunes, I.M.H.R., Ramos, J.M.F. (2000) – “Phosphate minerals of some granitic rocks and associated quartz veins from northern and central Portugal”. *J. Czech Geol. Soc.*, 45/3-4, pp. 35-43.
- Neiva, A.M.R., Silva, M.M.V.G., Gomes, M.E.P. (2007) – “Crystal chemistry of tourmaline from Variscan granites, associated tin-tungsten and gold deposits, and associated metamorphic and metassomatic rocks from northern Portugal”. *N. Jb. Miner. Abh.*, 184/1, pp. 45-76.
- Noronha, F., Lima, A. (2006) – “Da génese à aplicação tecnológica dos aplito-pegmatitos litiníferos da região do Barroso-Alvão e de Almendra”. *Proc. VII Nat. Geol. Cong. (J. Mirão & A. Balbino, eds.)*, pp. 1183-1188.
- Novák, M. (2007) – “Contamination in granitic pegmatites; examples from the Moldanubicum, Czech Republic”. *Mem. n° 8, Granitic pegmatites: The State of the Art (T. Martins & R. Vieira, eds.)*, Porto, pp. 9-12.
- Pal, D.C., Biswajit, M., Bernhardt, H.J. (2007) – “Mineralogy and geochemistry of pegmatite-hosted Sn-, Ta-Nb- and Zr- Hf-bearing minerals from the southeastern part of the Bastar-Malkangiri pegmatite belt, Central India”. *Ore Geol. Rev.*, 30, pp. 30-55.
- Pirard, C., Hatert, F., Fransolet, A.M. (2007) – “Alteration sequences of aluminium phosphates from Montebres pegmatite, Massif Central, France”. *Mem. n° 8, Granitic pegmatites: The State of the Art (T. Martins & R. Vieira, eds.)*, Porto, pp. 74-75.
- Ramos, J.M.F. (1998) – “Mineralização de metais raros do Seixo Amarelo – Gonçalo (Guarda)”. *Tese de Doutoramento na Universidade de Lisboa, Parte II*, pp. 473-479.
- Ramos, J.M.F., Silva, P.B., Neiva, A.M.R., Gomes, M.E.P. (2006) – “Evolução geoquímica de pegmatitos LCT da região centro de Portugal no sentido do enriquecimento em lepidolite”. *VII Cong. Nac. Geol. (J. Mirão & A. Balbino, eds.)*, Estremoz, pp. 1193-1198.
- Silva, P.B., Neiva, A.M.R., Ramos, J.M.F. (2006a) – “Geoquímica de aplito-pegmatitos de Pega (Sabugal, Centro de Portugal)”. *VII Cong. Nac. Geol. (J. Mirão & A. Balbino, eds.)*, Estremoz, pp. 1203-1206.
- Silva, P.B., Leal Gomes, C., Neiva, A.M.R. (2006b) – “Tendências de fraccionamento complexas e oscilatórias em óxidos de Nb e Ta de pegmatitos graníticos da região de Gouveia”. *VII Cong. Nac. Geol. (J. Mirão & A. Balbino, eds.)*, Estremoz, pp. 1199-1201.
- Tindle, A.G., Breaks, F.W. (2000) – “Columbite-tantalite mineral chemistry from rare-element granitic pegmatites: Separation Lake area, NW Ontario, Canada”. *Mineral. Petrol.*, 70, pp. 165-198.
- Tischendorf, G., Gottesmann, B., Förster, H.J., Trumbull, R. (1997) - “On Li-bearing micas: estimating Li from microprobe analyses and an improved diagram from graphical representation”. *Min. Mag.*, 61, pp. 809-834.
- Vieira, R.C., Lima, A.M.C. (2005) – “Relação geoquímica entre os aplito-pegmatitos da região de Almedra-Souto e os granitos envolventes (NE Portugal)”. *Actas VIII Cong. Geol. Países Ling. Port.*, vol I, pp. 189-193.
- Wise, M.A., Černý, P. (1990) – “Primary compositional range and alteration trends of microlite from the Yellowknife pegmatite field, Northwest Territories”. *Mineral. Petrol.*, 43, pp. 83-98.