

Estilos contrastantes da mineralização bismutífera – equilíbrio e evolução na Província Pegmatítica da Zambézia, Moçambique  
*Contrasting styles of Bi mineralization – equilibrium and evolution in Zambézia Pegmatite Province, Mozambique*

Dias, P. A.<sup>1</sup>; Leal Gomes, C.<sup>1</sup>; Guimarães, F.<sup>2</sup>; Marques, J.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigação Geológica – Universidade do Minho – EC; 4710-057 Braga

<sup>2</sup> Laboratório do INETI – Rua da Amieira; 4466 – 901 S. Mamede de Infesta

<sup>3</sup> Gondwana, Limitada – Caixa Postal 832 - Maputo – Moçambique

[patriciasdias@sapo.pt](mailto:patriciasdias@sapo.pt)

#### SUMÁRIO

O cariz generalizado da ocorrência de minerais de bismuto na Província Pegmatítica da Zambézia deverá expressar uma especialização protolítica bismutífera primordial que foi sequencialmente mobilizada pela instalação e evolução dos magmas granito-pegmatíticos correspondentes aos campos de Melatube, Naípa e Namacotche. Evoluções magmáticas a hidrotermais distintas e o alcance da interacção água-rocha, dependente da maior ou menor abertura dos sistemas, explicam os contrastes paragenéticos observados.

Palavras-chave: Província Pegmatítica da Zambézia, minerais de bismuto, evolução magmática, evolução hidrotermal, interacção água-rocha.

#### SUMMARY

*Widespread occurrence of Bi minerals in Zambézia Pegmatite Province must represent a protolithic Bi - specialisation mobilised by the emplacement and evolution of Melatube, Naípa and Namacotche granite-pegmatite magmas. Distinct magmatic to hydrothermal evolutions and extend of water-rock interaction, in contrasting conditions of close or open system, explain the observed paragenetical variability.*

*Key-words: Zambézia Pegmatite Province, Bi-minerals, magmatic evolution, hydrothermal evolution, water-rock interaction.*

#### Introdução e procedimentos analíticos

Na Província Pegmatítica da Zambézia (região Centro-Norte de Moçambique) as diferentes classes genéticas e geológicas de pegmatitos graníticos estão bem representadas. Apesar dessa diversidade que também é geoquímica, a mineralização em bismuto é ubíqua e independente das composições principais ou enquadramentos geológicos. Assim, conteúdos em Bi altamente anómalos podem ser considerados uma assinatura comum na Província Pegmatítica da Zambézia [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10]. Possivelmente é herdada de horizontes protolíticos geoquimicamente enriquecidos, anteriores à anatexia e à geração dos magmas graníticos, ou pode resultar de uma transferência local para o magma pegmatítico a partir de algumas rochas encaixantes

assimiladas, ricas em Bi. Para uma herança comum, os estilos contrastantes das associações mineralógicas, podem ser atribuídos à variação de condições termodinâmicas locais ou podem resultar de evoluções magmáticas individualizadas. Uma vez que tanto os pegmatitos LCT como os NYF comportam minerais de bismuto, foram seleccionados pelo contraste geoquímico, alguns pegmatitos do tipo LCT do Alto Ligonha – grupos de Naípa e Namacotche – e do tipo NYF de Mocuba – grupo de Melatube (Fig.1). Estes podem revelar as maiores tendências de mobilização e aprisionamento do Bi. A discriminação de fases e análise microtextural dos minerais e seus intercrescimentos teve como ponto de partida a observação de superfícies polidas em microscópio óptico de luz reflectida (MOLR), acompanhada por contraste de

fase em microscópio electrónico de varrimento – electrões retrodifundidos (MEV-ER) e identificação por difractometria de Raios X (Rx). As análises efectuadas em microsonda electrónica permitiram a

determinação precisa das composições dos minerais e eventualmente a descrição da sua variabilidade durante estádios sucessivos de equilíbrio e evolução.

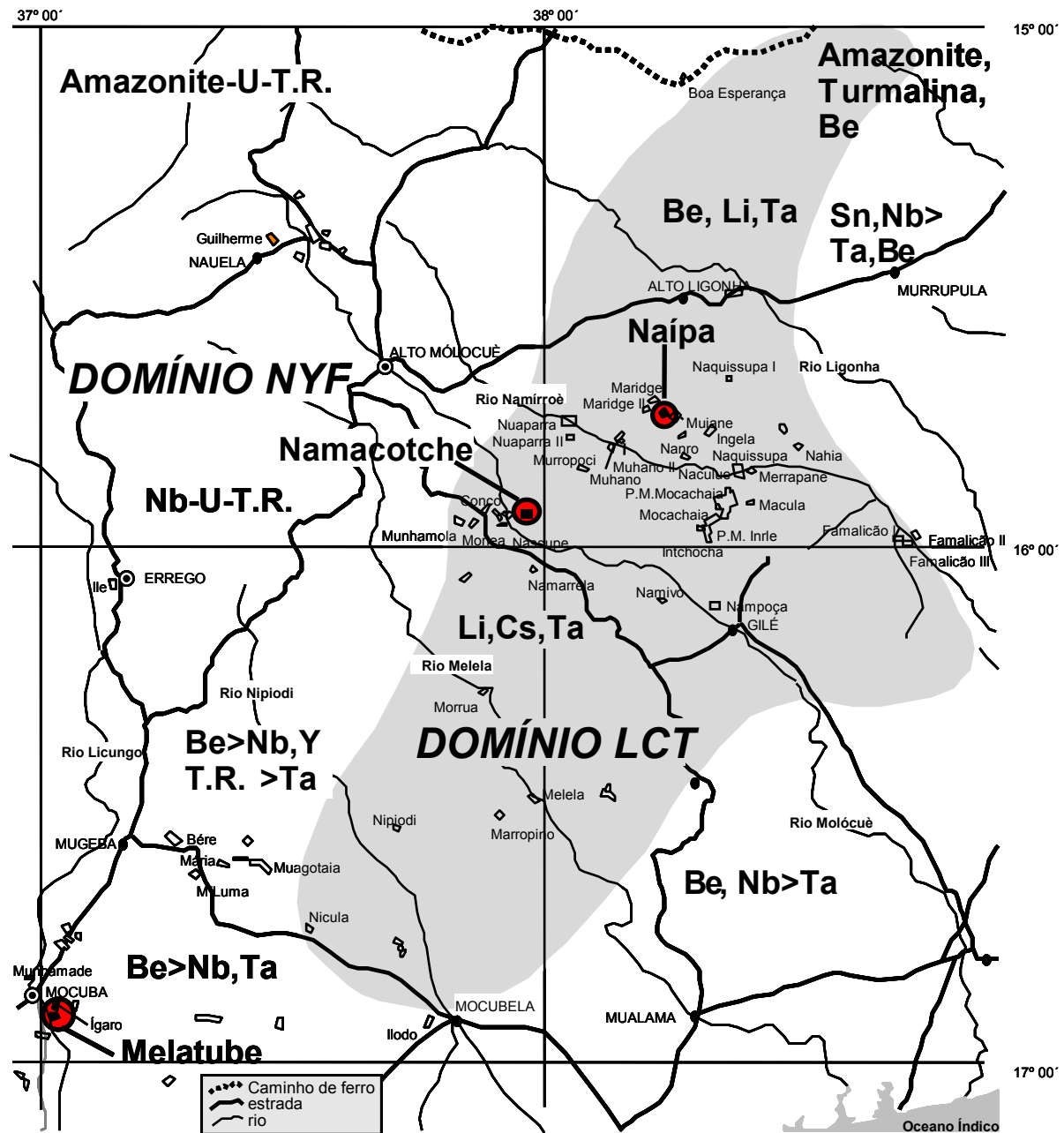


Fig. 1: Província Pegmatítica da Zambézia – sector do Alto Ligonha – distribuição geográfica dos grupos pegmatíticos e localização de Naípa, Namacotche e Melatube; as coordenadas geográficas são indicadas para posicionamento global.

### Diversidade mineralógica

No grupo pegmatítico de Naípa, a expressão do Bi restringe-se à ocorrência de bismite, esferobismite e bismutite com electrum acessório raro (Fig. 2) – em unidades tardias. Também em unidades tardias, o grupo pegmatítico de Namacotche apresenta os minerais raros, bismutostibiconite, clinobisvanite e pucherite (Fig. 3), que ocorrem em agregados complexos, aprisionados em sítios transpressivos e

transpressivos em hospedeiros bismite/bismutite, associando-se alguma beyerite e vanuralite. Apesar da ocorrência extensiva de bismutite-bismite em todas as paragénese, os pegmatitos de Melatube são o exemplo de uma persistência particular rara – em equilíbrio metaestável – de sulfuretos de Bi precoces. Aqui as principais fases são: bismutinite, galenobismutite/cannizzarite, gladite, wittichenite, covelite, zavaritskyte, esferobismite, bismite, plumbobismite, bismuto nativo e electrum (Fig. 4). A wittichenite não é estequiométrica aceitando até

2% de Ag –  $\text{Cu}_{2.79-2.94}\text{Ag}_{0.1}\text{Bi}_{0.77-1.04}\text{S}_3$ . Na proximidade da bismite pode também conter até 4% de Pb. A covelita pode considerar-se portadora de Ag –  $\text{Cu}_{7.1}\text{Ag}_{0.3}\text{Bi}_{0.9}\text{S}_7$ .

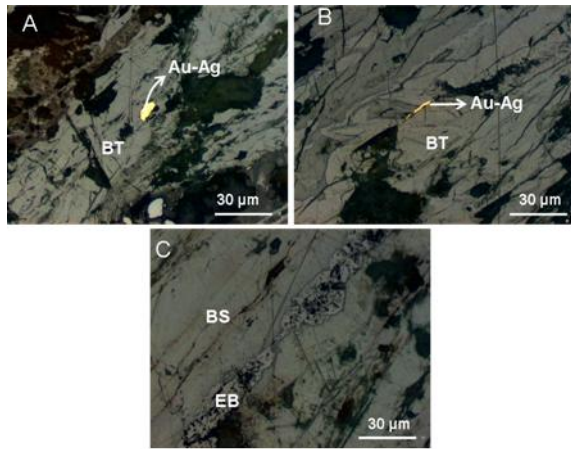


Fig. 2: Expressão mineralógica e textural do bismuto no grupo pegmatítico de Naípa – observação em MOLR. A - electrum automórfico zonado (Au-Ag) (com bordadura rica em Bi) hospedado em bismutite (BT) provável; B - electrum venular veiculado a microfracturas da bismutite; C - intercrescimento esferobismite (EB) – bismite (BS) correspondente à relação de inversão referida no texto.

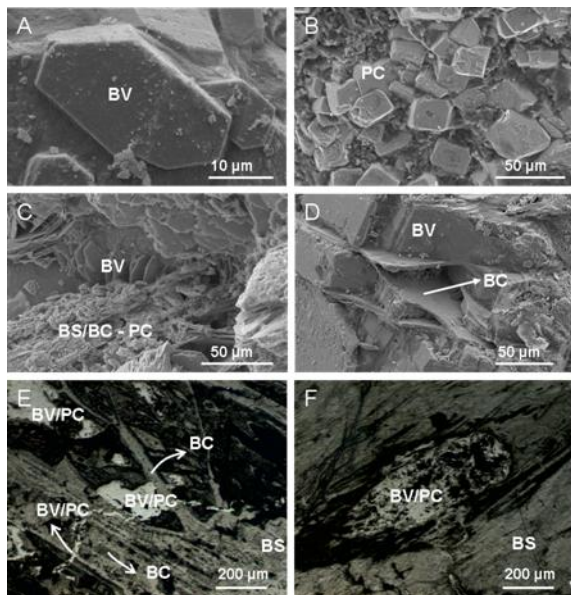


Fig. 3: Expressão mineralógica e textural do bismuto em Namacotche – coexistência e intercrescimentos entre bismutite/bismite, bismutostibiconite e clinobisvanite/pucherite. Observação em MEV-ES e MOLR. A – clinobisvanite (BV); B – pucherite (PC); C, D e E - intercrescimentos lamelares entre bismite (BS) e bismutostibiconite (BC) atravessados por clinobisvanite/pucherite; F - nucleação de clinobisvanite/pucherite sobre bismite em cavidade de dissolução.

Em todos os pegmatitos estudados, a bismite é o principal produto de oxidação e o mais generalizado. A transição intermédia bismutinite - wittichenite promove a mobilização do Pb e favorece a formação de produtos de oxidação ricos em Pb, os quais surgem intercrescidos com metais nativos. A esferobismite é um produto de oxidação precoce e com alto Bi, intimamente relacionada com a transição bismutinite - covelita e nos estádios mais evoluídos pode inverter, ela própria, para bismutite ou bismite com exsoluções de Bi nativo, com ou sem electrum acessório (Fig. 2 e 4).

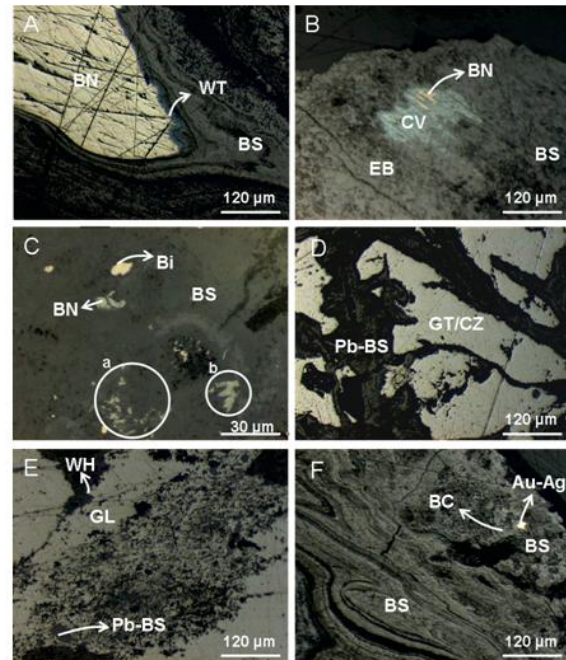


Fig. 4: Principais fases portadoras de bismuto e seus intercrescimentos observados em Melatube – MOLR. A - evolução reaccional bismutinite (BN) – wittichenite (WT) – bismite; B - auréola difusa de covelita (CV) em torno de bismutinite e aspectos da transição para esferobismite e bismite; C – dispersão de pequenos cristais de Bi-nativo e bismutinite - a bismutinite comporta evolução precoce para wittichenite (a) e mais tardia para covelita (b); D - coexistência entre cannizzarite (CZ) ou galenobismutite (GT) e plumbobismite (Pb-BS); E - sobrecrescimento reaccional de wittichenite sobre gladite (GL) e aspectos texturais da evolução pseudomórfica para plumbobismite; F – exsolução de electrum isométrico (Au-Ag) albergado em intercrescimentos bismutostibiconite - bismite.

No grupo de Melatube, devido a uma mais complexa e estável combinação dos metais, tanto o estágio sulfuretado como o estágio de deposição de óxidos e metais, estão bem preservados. A evolução das paragéneses de Bi pode ser seguida desde a deposição precoce da bismutinite e da galenobismutite em condições hidrotermais de alta temperatura, até episódios tardios, correspondentes às temperaturas mais baixas de estabilidade da

bismutite+bismite. A expressão dos sulfuretos e sulfossais de Bi-Pb-Cu é consistente com a maior fraccionação destes constituintes, própria da especialização NYF, que parte de altos conteúdos de U, Th, TR, Nb, Y e F e converge para concentrações anómalas de Pb em soluções hidrotermais tardias (altos conteúdos de amazonite com centros cromóforos determinados pelo chumbo são um aspecto característico destes pegmatitos - [9]). Esta herança geoquímica e os efeitos da interacção água-rocha em sistema fechado, determinam a persistência de fases sulfuretadas durante os estádios de oxidação e permite a sua coexistência com hidróxi-carbonatos. Assim, a extensão da oxidação é menor em Melatube – vários minerais primários típicos de condições fortemente redutoras são salvaguardados. No extremo oposto da variabilidade paragenética, as ocorrências de Namacotche, resultam provavelmente de uma circulação muito aberta, focada na porosidade gerada pela dilatação associada a cisalhamentos polifásicos. A mineralização bismutífera de Namacotche exhibe especialização contrastante em Sb e V, expressa pela bismutostibiconite ou clinobisvanite/pucherite. A primeira fase tipo representa a tendência de enriquecimento em Sb em sistema fechado, esperada no culminar paroxismal da evolução LCT, particularmente em pegmatitos mineralizados em Cs como é o caso (hiperalcalino, empobrecido em sílica e portador de polucite). A segunda deverá ser explicada por migração de V a partir do exterior e combinação com Bi mobilizado hidrotermalmente a baixa temperatura. As soluções contaminadas por V podem resultar da decomposição de espinelas ricas em V, presentes nos horizontes meta – ultrabásicos das rochas regionais.

#### **Disponibilização do Bi e estádios metalogénicos**

No grupo de Melatube, as rochas calcossilicatadas encaixantes, revelam bismutite e bismite abundantes. Provavelmente, a ocorrência generalizada de oxí-carbonatos de Bi em concentrados de prospecção aluvionar não está apenas relacionada com fontes pegmatíticas mas depende também de fases bismutíferas presentes em quantidades significativas nos metaexalitos e rochas calcossilicatadas regionais. Assim, a forte assinatura em Bi dos pegmatitos da Zambézia pode expressar uma especialização protolítica que foi sequencialmente mobilizada pela evolução dos magmas granito-pegmatíticos. Nos sistemas pegmatíticos a diversidade das associações com Bi é explicada através de dois estádios paragenéticos principais: 1) estádio sulfuretado precoce; 2) estádio tardio de deposição de óxidos e metais nativos. A bismutitização generalizada é um fenómeno extensivo relacionado com a interacção de sulfuretos hipotermiais percursos com soluções aquosas, em condições epitermais a supergénicas. As pseudomorfoses de bismutite e bismite resultam da substituição dos sulfuretos. As crostas concrecionais

a cavernosas representam a última precipitação convergente a partir da drenagem hidrotermal, focada em poros dos pegmatitos estruturalmente dilatados, quando afectados por cisalhamento. O ouro aprisionado nos sulfuretos é libertado como co-produto durante a oxidação/precipitação das associações bismite/bismutite, sendo a bismite a armadilha mineralógica mais adequada à sua adsorção e enclausuramento.

#### **Referências bibliográficas**

- [1] Aires de Barros, L. (1966) Sobre algumas ocorrências de bismutite em Moçambique. *Garcia de Orta*, 14, pp. 589-594.
- [2] Bandy, M. C. (1951) The Ribáuè - Alto Ligonha pegmatite district, Portuguese East Africa. *Rocks and minerals*, Peekskill, N. Y., 26, pp 512-521.
- [3] Behier, J. (1957) Minerais da Província de Moçambique. *Bol. Serv. Geol. Minas Moçambique*, 22.
- [4] Correia Neves, J. M.; Lopes Nunes, J. E.; Lucas, D. B. (1971) Mineralogy and geochemistry of pegmatites from Mozambique (P.E.A.). *Rev. Ciênc. Geol. Lourenço Marques*, 4, Sér. A, pp. 1-11.
- [5] Correia Neves, J. M.; Lopes Nunes, J. E.; Sahama, TH. G.; Lehtinen M.; v. Knorring, O. (1974) Bismuth and antimony minerals in the granite pegmatites of northern Mozambique. *Rev. Ciênc. Geol. Lourenço Marques*, 7, Sér. A, pp. 1-37.
- [6] Cotelo Neiva, J. M.; Correia Neves, J. M. (1960) Pegmatites of Alto Ligonha (Mozambique – Portuguese East Africa). *XXI Int. Geol. Cong. Section*, 17, pp. 35-62.
- [7] v. Knorring, O.; Sahama, TH. G.; Lehtinen, M.; Rehtijärvi, P. (1973) Natural bismuth vanadate from the Mutala pegmatite area, Mozambique. *Contrib. Mineral. and Petrology*, 41, pp. 325-331.
- [8] v. Knorring, O. (1973) Mineralogical reconnaissance of some pegmatites in Madagascar and Mozambique. *Ann. Rep. Res. Inst. African geol.*, 17, pp 31-33.
- [9] Lopes Nunes, J. (1977) Amazonites de Moçambique – novos dados sobre a sua composição. *Comun. Serv. Geol. Portugal*. TLXIV pp. 71-79.
- [10] Sahama, TH. G.; Lehtinen, M. (1968) Bismutite of the granite pegmatites of Zambézia, Mozambique. *Bull. Geol. Soc. Finland*, 40, pp. 145-150.

#### **Agradecimentos**

Às empresas EuroExport, Lda. (Exploração Mineira), SOMIPE e SOMINA, pelo hospitaleiro acolhimento durante as missões de campo na Zambézia.