

GEOQUÍMICA DO BERILO DO CAMPO PEGMATÍTICO DE MARILAC, GOVERNADOR VALADARES - MINAS GERAIS, BRASIL

A. L. Gandini¹, V. R. P. R. O. Marciano², F. M. S. Carvalho³, R. M. da S. Bello³, R. C. Oliveira², L. A. S. Souza⁴, D. P. Svisero³, R. A. S. Cipriano² & J. C. D. A. Figueiredo Jr¹

¹Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, gandini@degeo.ufop.br

²CPMTC, Universidade Federal de Minas Gerais, israel@gold.com.br

³Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, flavio@usp.br

⁴EBA, Universidade Federal de Minas Gerais, conserv@dedalus.lcc.ufmg.br

ABSTRACT

Analyses of 60 beryl samples from the 18 simple or complex zoned pegmatites of the Marilac Pegmatitic Field in the Governador Valadares Pegmatitic District, in the state of Minas Gerais, Brazil, where accomplished by XRD, FTIR, XRF, ICP and further physical and optical tests. Forty-eight beryl polytypes have been determined as tetrahedral and a few as normal. Among the FTIR-identified fluids where H₂O-types I and II, and CO₂ and CH₄. As for the amount of alkalis, those were type 3 and type 1 rare beryls. According to the Na/Li x Cs ratio, pegmatites belonged to the A and B groups.

RESUMO

Análises de 60 amostras de berilo oriundas de 18 pegmatitos zonados simples ou complexos, do Campo Pegmatítico de Marilac, do Distrito de Governador Valadares, Minas Gerais Brasil, foram processadas por DRX, FTIR, FRX, ICP, além de testes físicos e ópticos. Polítipos de 48 berilos foram determinados como tetraédricos e poucos normais. Entre os fluidos identificados por FTIR estão H₂O - tipos I e II, CO₂ e CH₄. Quanto ao teor em álcalis os berilos são do tipo 3 e raros do tipo 1. Os pegmatitos pertencem aos grupos A e B, de acordo com a razão Na/Li x Cs.

INTRODUÇÃO

Os cristais de berilo estudados neste trabalho são procedentes de pegmatitos do Campo Pegmatítico de Marilac, inserido no Distrito Pegmatítico de Governador Valadares (CORREIA NEVES *et al.*, 1986; PEDROSA SOARES *et al.*, 1994), da Província Pegmatítica Oriental do Brasil, em Minas Gerais. A referida província é a principal região produtora de minerais-gemas do Brasil, constituindo sozinha uma das principais províncias gemológicas do mundo.

A área objeto deste estudo está situada no Município de Governador Valadares, a leste da Folha de Marilac (SE.23-Z-B-VI), entre os paralelos 18°40' e 18°50' de latitude sul e os meridianos 42°00' e 42°10' de longitude oeste, correspondendo a uma superfície de ±80 km².

Os corpos pegmatíticos portadores de berilo localizam-se na parte oriental da Faixa Araçuaí e estão encaixados, em sua maioria em xistos da Formação São Tomé do Grupo Rio Doce que, estruturalmente, foi deformado de maneira complexa e metamorfozido no fácies anfibolito. GROSSI SAD *et al.* (1990) sugerem ser do Proterozóico Médio, ou mesmo Proterozóico Inferior a idade do Grupo Rio Doce.

OS PEGMATITOS

O Campo de Marilac possui cerca de 100 pegmatitos, dos quais 33 foram selecionados para estudo. Foram amostrados cristais de berilo em apenas 19 destes pegmatitos.

A estrutura destes pegmatitos varia desde o tipo zonado simples até o complexo, sendo que suas dimensões médias estão entre 10 a 20 m de espessura e 20 a 100 m de comprimento. Apresentam predominantemente formas lenticulares, seguidas das tabulares e exibem atitude concordante com as rochas encaixantes. A mineralogia essencial é constituída por microclina pertitizada, às vezes amazonita, quartzo (hialino, fumê, róseo, leitoso e amarelo), muscovita e albita. Os minerais acessórios são: biotita, berilo (industrial, água-marinha, morganita e goshenita), granada (almandina, espessartita), columbita-tantalita e turmalinas (pretas, verdes, azuis e róseas).

Datações obtidas a partir de amostras de muscovita (Pegmatito do Ferreirinha) e microclina (Pegmatito do Olho-de-Gato) pelo método Rb/Sr forneceram idades 497±13 Ma. e 501±14 Ma., respectivamente. Estes pegmatitos foram formados durante o Ciclo Brasileiro (450 a 650 Ma.) como a grande maioria dos demais pegmatitos brasileiros (MARCIANO, 1985-95).

METODOLOGIA ANALÍTICA

O material selecionado foi estudado por uma combinação de diversos métodos analíticos. A densidade relativa (d) do berilo foi determinada com a utilização de uma balança analítica eletrônica Mettler, modelo H 54AR, do CPMTC/IGC/UFMG, cuja precisão é de 0,0001g e com capacidade de 1.200mg. Os índices de refração do berilo foram medidos por meio de um refratômetro para sólidos, modelo TOPCON, disponível no DEGEO/EM/UFOP. Para o cálculo dos parâmetros unitários do berilo utilizou-se um programa de computação (LCLSQ) em uso no IGC/USP. Os dados utilizados no programa foram os obtidos do diagrama de pó fornecido por um difratômetro Siemens D-5000 (IGC/USP). Os espectros de absorção no infravermelho foram obtidos por meio de FTIR, Bomem/Hartmann & Braun, modelo MB100C23, detector MCT, com célula de diamante SPG466, em atmosfera de nitrogênio.

As análises químicas foram realizadas nos laboratórios do CPMTC - IGC/UFMG. Os elementos maiores e traços das amostras de berilo foram analisados por espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP/AES), espectrofotometria de chama e por espectrometria de fluorescência de raios X (XRF). Na determinação de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , BeO , CaO , MgO , TiO_2 e MnO por ICP/AES foi utilizado um equipamento seqüencial da marca SPECTROFLAME, modelo FMV 05 SCANNER. As amostras foram preparadas por fusão (100mg) com 0,4g de uma mistura de H_3BO_3 e Na_2CO_3 e 0,4g de K_2CO_3 em um cadinho de platina por 30 minutos a 1.000°C . Depois de resfriado o resíduo foi dissolvido com 60 ml de HCl 50% e transferido para balão volumétrico de 250 ml.

Para determinação de Na_2O , K_2O e Li_2O foi utilizado um espectrofotômetro de chama da marca Micronal modelo B260. Um grama de amostra foi dissolvida em uma mistura ácida de HF, HCl e HClO_4 e transferida para balão volumétrico de 100 ml. Os elementos traços Ga, Cs e Rb foram determinados em pastilhas de pó prensado por XRF em um equipamento seqüencial da marca Siemens, modelo SRS-3000.

CRISTALOGRAFIA E PROPRIEDADES FÍSICAS

Os cristais de berilo amostrados exibem hábito prismático hexagonal, terminado por pinacóides. Quanto às dimensões, variam desde 3 a 5 cm de comprimento até dimensões métricas. No Pegmatito do Ferreirinha I foram encontrados prismas de mais de 2 m de comprimento por 1m de diâmetro. As coloração azulada (escória), esverdeada (escória), azuis (água-marinha) são comuns, raramente rósea e incolor. Nos pegmatitos do Escondido e do Jonas Lima II foram coletadas amostras de escória (uso industrial), água-marinha, morganita e goshenita.

Os politipos de 48 cristais de berilo foram determinados a partir de análises de difratometria de raios X, de acordo com BAKAKIN *et al.* (1970) e AURISICCHIO *et al.* (1994), utilizando-se os parâmetros de cela unitária a_0 e c_0 . A partir dos dados obtidos, em números percentuais aproximados, 14% das amostras correspondem a berilo do tipo I, com taxa máxima de substituição nas posições tetraédricas ocupadas pelo elemento Be (t-berilo). O tipo II, correspondendo a 63% das amostras, possui taxa média de substituição do elemento Be (t-berilo). Berilo do tipo III, cuja composição é próxima da ideal (n-berilo), correspondem a 4%. Finalmente, 18% correspondem a berilo de transição entre os tipos II e III, com valores mais próximos ao III. Com estes dados pôde-se também constatar que num mesmo pegmatito há variação do politipo de berilo, segundo a zona do pegmatito a que pertence.

As propriedades físicas do berilo variam em função do seu quimismo. No caso das propriedades ópticas, um acréscimo no teor de álcalis é seguido de um aumento no valor dos índices de refração e da densidade. O acréscimo de outros elementos químicos, como Ca^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Cr^{3+} , V^{3+} , Ti^{4+} entre outros, aumenta a birrefringência e o parâmetro a_0 , permanecendo constante o valor de c_0 (CERNÝ & HAWTHORNE, 1976). Com base no valor de $n\omega$, CERNÝ & SIMPSON (1977), sugerem em qual zona do pegmatito o berilo pertence.

O índice de refração $n\omega$ variou entre 1,576 e 1,582 enquanto o $n\epsilon$ entre 1,581 e 1,590, referente a 21 cristais. A amostra de morganita (5649 morg) foi a que apresentou o maior valor de $n\omega = 1,590$ enquanto o maior valor de $n\epsilon = 1,582$ pertencente à amostra 5577 ber1, azul

claro. A birrefringência está compreendida entre 0,005 para cristais azulados e 0,009 para o cristal róseo.

A densidade aumenta com o acréscimo de álcalis. Por meio do diagrama exibido em DEER *et al.* (1981), pode-se observar um aumento na variação da densidade acompanhado de um acréscimo no teor de álcalis. Nos berilos selecionados para este trabalho, os valores da densidade estão compreendidos entre 2,714 (5635 ber - incolor) e 2,847 (5649 morg - rósea).

QUIMISMO DO BERILO

Apenas duas das 48 amostras estudadas por difratometria de raios X podem ser referidas pela composição química $Al_2Be_3Si_6O_{18}.zH_2O$, denominadas por AURISICCHIO *et al.* (1988) como berilo normal. O berilo do tipo tetraédrico cujo membro externo pode ser representado pela fórmula $R_f^+Al_2Be_2LiSi_6O_{18}.zH_2O$ é aquele característico da área de estudo, constituindo aproximadamente, 80% do total dos cristais analisados. Os elementos alcalinos (R_f^+) encontrados foram Na (17.879 – 371 ppm), Li (2.844 - <42 ppm), K (2.573 – 415 ppm), Cs (33.262 – 345 ppm) e Rb (560 – 24 ppm), sendo colocados em destaque os valores máximos e mínimos das análises químicas.

A relação entre Li_2O e BeO salienta a substituição do Be por Li no sítio tetraédrico, bem como o fracionamento ocorrido durante a cristalização das diferentes zonas, exemplificado por 5 cristais de berilo do Pegmatito do Escondido. Neste corpo os valores percentuais obtidos para Li_2O foram 0,03; 0,08; 0,16; 0,23 e 0,26 correspondendo, respectivamente, às seguintes porcentagens de BeO : 11,3; 10,9; 10,3; 10,1 e 10,1.

A partir dos dados químicos e utilizando o diagrama de TRUEMAN & CERNÝ (1982), que considera a relação Na/Li versus Cs pôde-se observar que há, predominantemente, uma transição entre dois tipos principais de pegmatitos nesta região: o mais abundante é do tipo estéril, portador de Be, Nb, Ta e pobre em álcalis raros e o outro, com Be, Nb, Ta e enriquecido em álcalis raros. Os berilos se enquadram no tipo 3 segundo a classificação de HAWTHORNE & CERNÝ (1977), ou seja, berilo-Na onde o sódio predomina (0,2 a 1,1%) e ocorrem em pegmatitos ricos em albita mas muito pobres em álcalis raros. Poucos são do tipo 4, sendo classificados como berilo sódio-litínífero que ocorrem em pegmatitos litíníferos e com teores de Na entre 0,07 e 0,25%, Li de 0,01 a 0,3% e Cs <0,5%. Dentre os elementos cromóforos, o Fe_2O_3 varia de 0,02 na morganita do Pegmatito do Jonas Lima II à 1,51 na água-marinha do Pegmatito do Jonas Lima I e o MnO varia de 0,004 do Pegmatito do Ferreirinha II à 0,013 no Pegmatito do Olho-de-Gato, sendo que nos dois últimos as amostras exibem cor azulada.

A maioria dos diagramas de espectroscopia no infravermelho mostrou água do tipo I predominante sobre a do tipo II, ocorrendo ainda entre os componentes fluidos o CO_2 e raramente CH_4 , diferindo do berilo do Distrito de Santa Maria de Itabira em Minas Gerais, pelo maior conteúdo em CO_2 e CH_4 (MARCIANO *et al.*, 1994; CÉSAR-MENDES *et al.*, 1998). Com relação às inclusões fluidas, ainda em estudo, estas apresentam morfologias idênticas aos cristais de berilo de Teixeira de Freitas (Bahia), também pertencentes a província, estudadas por BELLO *et al.* (1997) e GANDINI *et al.* (1997).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os pegmatitos do Campo de Marilac, são corpos pouco diferenciados tanto por sua mineralogia como também pela classificação química de seus berilos, de idade Brasileira.

A razão Co/ao enquadra os cristais de berilo estudados como do tipo tetraédrico e raramente normal, concordando com os dados de infravermelho que apresentam H_2O-I dominante sobre H_2O-II , e ainda com os dados ópticos e os de peso específico.

A relação entre Na/Li x Cs permite enquadrar os pegmatitos como do grupo A, estéreis e portadores de Be, Nb e Ta sendo pobres em álcalis raros, com alguns corpos apresentando um enriquecimento nestes últimos elementos, pertencendo portanto ao grupo B de TRUEMAN & CERNÝ (1982).

AGRADECIMENTO

Este trabalho foi suportado financeiramente pela Finep e pela Capes e desenvolvido nos laboratórios do Centro de Pesquisa Prof. Manoel Teixeira da Costa CPMTc - IGC/UFMG, apoiado por outros laboratórios citados no texto. A pesquisadora R.M.S. Bello agradece ao CNPq (Processo 303872/85-3).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHTSCHIN, A.B.; COSTA, K. DE V. & REIS, L.B. (1996) - Controle litoestrutural do Pegmatito Ipê. Belo Horizonte, *Trabalho de Graduação*, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 90 pp.
- AURISICCHIO, C.; FIORAVANTI, G.; GRUBESSI, O. & ZANAZZI, P.F. (1988) - Reappraisal of the crystal chemistry of the beryl. *American Mineralogist*, 73: 826-837.
- AURISICCHIO, C.; GRUBESSI, O. & ZECCHINI, P. (1994) - Infrared spectroscopy and crystal chemistry of the beryl group. *Canadian Mineralogist*, 32(1), pp. 55-68.
- BAKAKIN, V.V.; RYLOV, G.M. & BELOV, N.V. (1970) - X-ray diffraction data for identification of beryl isomorphs. *Geochemistry International*, 7(6), pp. 924-933.
- BELLO, R.M. DA S.; FUZIKAWA, K.; GANDINI, A.L.; DANTAS, M.S.S.; MANO, E.S.; SVISERO, D.P. & CÉSAR-MENDES, J. (1997) - Caracterização e composição química das inclusões fluidas em água-marinha e heliodoro de Vila de Água-Marinha, município de Teixeira de Freitas, Bahia. *REM. Revista Escola de Minas*, 50(2), pp. 33-39.
- CERNÝ, P. & HAWTHORNE, F.C. (1976) - Refractive indexes versus alkali contents in beryl: general limitations and applications to some pegmatitic types. *Canadian Mineralogist*, 14(4), pp. 491-497.
- CERNÝ, P. & SIMPSON, F.M. (1977) - The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Manitoba. IX. Beryl. *Canadian Mineralogist*, 15(4), pp. 489-499.
- CÉSAR-MENDES, J.; GANDINI, A.L.; MARCIANO, V.R.P.R.O. & SVISERO, D.P. (1997) - Berilos da Província Pegmatítica Oriental: um indicador metalogenético. *Simpósio De Geologia De Minas Gerais 9*, Anais, SBG - Núcleo Minas Gerais, Ouro Preto, 14: 127-129.
- CÉSAR-MENDES, J.; GANDINI, A.L.; MARCIANO, V.R.P.R.O. & SVISERO, D.P. (1998) - Correlações genéticas entre berilos da Província Pegmatítica Oriental Brasileira. *REM. Revista Escola de Minas*, 51(1), pp. 34-39.
- CORREIA NEVES, J.M.; MONTEIRO, R.L.B.B. & DUTRA, C.V. (1984) - Composição química de berilos pegmatíticos do Brasil e seu significado petrológico e metalogenético. *Revista Brasileira de Geociências*, 14(3), pp. 137-146.
- CORREIA NEVES, J.M.; PEDROSA SOARES, A.C. & MARCIANO, V.R.P.R.O. (1986) - A Província Pegmatítica Oriental do Brasil à luz dos conhecimentos atuais. *Revista Brasileira de Geociências*, 16(1), pp. 106-118.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. (1981) - Minerais constituintes das rochas - uma introdução. *Fundação Calouste Gulbenkian*, Lisboa, 559 pp.
- GANDINI, A.L.; CÉSAR-MENDES, J.; BELLO, R.M.S.; MARCIANO, V.R.P.R.O.; FUZIKAWA, K.; PIMENTA, M.A. & SVISERO, D.P. (1997) Químismo das inclusões fluidas de berilos da borda leste da Província Pegmatítica Oriental Brasileira. *Semana De Geoquímica 10./ Congresso De Geoquímica Dos Países De Língua Portuguesa 4*, Actas, Universidade do Minho, Braga, 183-186 pp.
- GANDINI, A.L.; MARCIANO, V.R.P.R.O.; CARVALHO, F.M.S. & SVISERO, D.P. (1998) - Geoquímica de berilos do Campo Pegmatítico de Marilac, Governador Valadares, Minas Gerais - Brasil. *Terra Nostra, Geowissenschaftliches Lateinamerika-Kolloquium*, 16, Actas, Bayreuth, Alemanha, 40-41 pp.
- GROSSI SAD, J.H.; CHIODI FILHO, C.; SANTOS, J.F.; MAGALHÃES, J.M.M. & CARELOS, P.M. (1990) - Duas suítes graníticas da borda sudeste do Cráton San Franciscano, em Minas Gerais: petroquímica e potencial metalogenético. *Congresso Brasileiro De Geologia 36*, Anais, SBG - Núcleo Nordeste, Natal, 4: 1836-1848.
- HAWTHORNE, F.C. & CERNÝ, P. (1977) - The alkali-metal positions in Cs-Li beryl. *Canadian Mineralogist*, 15(3), pp. 414-421.
- MARCIANO, V.R.P. DA R.O. (1985) - Contribuição ao estudo da mineralogia e geoquímica de pegmatitos da região de Governador Valadares, Minas Gerais. *Dissertação Mestrado*, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 213 pp.
- MARCIANO, V.R.P. DA R.O. (1995) - O Distrito Pegmatítico de Santa Maria de Itabira, MG: mineralogia, geoquímica e zoneografia. *Tese Doutorado*, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 216 pp.
- MARCIANO, V.R.P.R.O.; RIOS, F.J.; ACHTSCHIN, A.B.; CORREIA NEVES, J.M. & SVISERO, D.P. (1994) - Berilos de pegmatitos de Santa Maria de Itabira, Minas Gerais. *Geonomos*, 2(2), pp. 41-50.
- PEDROSA SOARES, A.C.; DARDENNE, M.A.; HASUI, Y.; CASTRO, F.D.C. DE & CARVALHO, M.V.A. DE (1994) - Nota explicativa dos mapas geológico, metalogenético e de ocorrências minerais do Estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000. Belo Horizonte, *SEME/COMIG*, 97 pp.
- RIBEIRO, J.H. (1997) - Folha Marilac SE.23-z-B-VI - Escala 1:100.000. *CPRM/COMIG*, 48 pp.
- TRUEMAN, D.L. & CERNÝ, P. (1982) - Exploration for rare element granitic pegmatites. In: CERNÝ, P. (Ed.) *Granitic pegmatites in science and industry*. Winnipeg, Mineralogical Association of Canada, 8: 463-493. (Short course handbook.).