

ESTUDO MICROTERMOMÉTRICO DE INCLUSÕES FLUIDAS DO TOPÁZIO IMPERIAL DA JAZIDA DE BOA VISTA, OURO PRETO, MG

Rosa Maria da Silveira Bello*

Antonio Luciano Gandini**

Kazuo Fuzikawa***

Darcy Pedro Svisero****

* Geóloga, MSc., Drª. - IGc/USP

** Engº Geólogo, MSc., Doutorando no Programa de Pós-Graduação IGc/USP, Prof. DEGEO/EM/UFOP.

*** Geólogo, Dr. - CDTN/CNEN/BH.

**** Geólogo, MSc., Dr., Prof. Livre Docente - IGc/USP.

Abstract

Primary fluid inclusion microthermometry of five imperial topaz crystals from the Boa Vista deposit, near Ouro Preto, MG, led to the separation of three different groups according to their Th_{CO_2} and V_{CO_2}/V_{tot} . The obtained corresponding densities (g/cm^3) are: Group 1 - $d_{CO_2} = 0.951-0.954$ and $d_{tot} = 0.961-0.977$; Group 2 - $d_{CO_2} = 0.936-0.942$ and $d_{tot} = 0.956-0.988$; Group 3 - $d_{CO_2} = 0.668$ and $d_{tot} = 1.005$. The estimated salinities from $Tm_{clathrate}$ varied from 3.8 to 7.6 wt% NaCl equivalent in groups 1 and 2. In group 3 the Tm_{ice} indicated a much higher salinity of 11.6 to 14.0 wt% NaCl equivalent. The trapping of fluid inclusions took place under hydrothermal H_2O and CO_2 unmiscible conditions at the following determined P-T values: Group 1 - $T = 230/260^\circ C$ and $P = 1.8/2.25 kbar$; Group 2 - $T = 240/280^\circ C$ and $P = 1.75/2.75 kbar$; Group 3 - $T = 300/320^\circ C$ and $P = 2.2/2.6 kbar$. These data suggest an initial crystallization of topazes from groups 1 and 2 and at a later stage, after losing most of CO_2 and increasing the salinity of the fluid, of gemstones from group 3.

Resumo

Esse trabalho apresenta os resultados dos estudos microtermométricos das inclusões fluidas presentes em cinco cristais de topázio imperial da jazida de Boa Vista, Ouro Preto, Minas Gerais. Os valores de Th_{CO_2} e de V_{CO_2}/V_{tot} permitiram a caracterização de três grupos de amostras com inclusões de diferentes d_{CO_2} e d_{tot} : Grupo 1: $d_{CO_2} = 0,951/0,954$ e $d_{tot} = 0,961/0,977$; Grupo 2: $d_{CO_2} = 0,936/0,942$ e $d_{tot} = 0,956/0,988$; Grupo 3: $d_{CO_2} = 0,668$ e $d_{tot} = 1,005$. As salinidades estimadas a partir das Tf_{CL} variaram de 3,8 a 7,6 equivalentes da porcentagem em peso do NaCl, nos grupos 1 e 2. No caso do grupo 3, as Tf_g indicaram salinidades mais elevadas, equivalentes a 11,6/14,0% em peso do NaCl. O aprisionamento das inclusões deu-se a partir de um sistema heterogêneo de fluidos, em condições compatíveis com uma origem hidrotermal, ou seja: Grupo 1 - $T = 230/260^\circ C$, $P = 1,8/2,25 kbar$; Grupo 2 - $T = 240/280^\circ C$, $P = 1,75/2,75 kbar$; Grupo 3 - $T = 300/320^\circ C$, $P = 2,2/2,60 kbar$. Esses dados sugerem que, inicialmente, foi cristalizado o topázio dos grupos 1 e 2; num estágio posterior, depois da liberação de grande parte do CO_2 e do acréscimo da salinidade do fluido, foram formados os cristais do grupo 3.

Introdução

Entre os diversos depósitos de topázio imperial da região de Ouro Preto (Fig. 1), encontra-se o de Boa Vista, objeto do presente estudo. As mineralizações estão condicionadas a falhamentos normais (N60°W) cortando rochas metamórficas carbonatadas do Supergrupo Minas e distribuem-se ao longo do Sinclinal Dom Bosco, com exceção da jazida de Antônio Pereira, situada no Anticlinal de Mariana.

O topázio ocorre, geralmente, em veios centimétricos ou em geodos decimétricos, quase sempre caulinizados, encaixados em filitos carbonáticos e/ou mármore dolomíticos, intensamente decompostos.

Existem muitos estudos sobre os aspectos mineralógicos e geológicos de alguns desses depósitos (Gorceix, 1881, Olsen, 1971,

Pires, 1983, Ferreira, 1983, 1991, Cassedanne, 1989, Gandini et alii, 1992 e Gandini et alii, 1993, Gandini, 1994), sendo as hipóteses genéticas bastante controvertidas. Nesse trabalho, são apresentados resultados microtermométricos de cerca de 280 inclusões fluidas (IF) de cinco cristais da jazida de Boa Vista, que permitiram estabelecer as características físico-químicas da solução mineralizante e, com isso, auxiliar na elucidação de problemas genéticos.

As análises foram efetuadas nas platinas CHAIXMECA dos Laboratórios de Microtermometria do IGc-USP e do CDTN/CNEN-BH.

Inclusões fluidas

Nas amostras estudadas, ocorre um grande número de IF

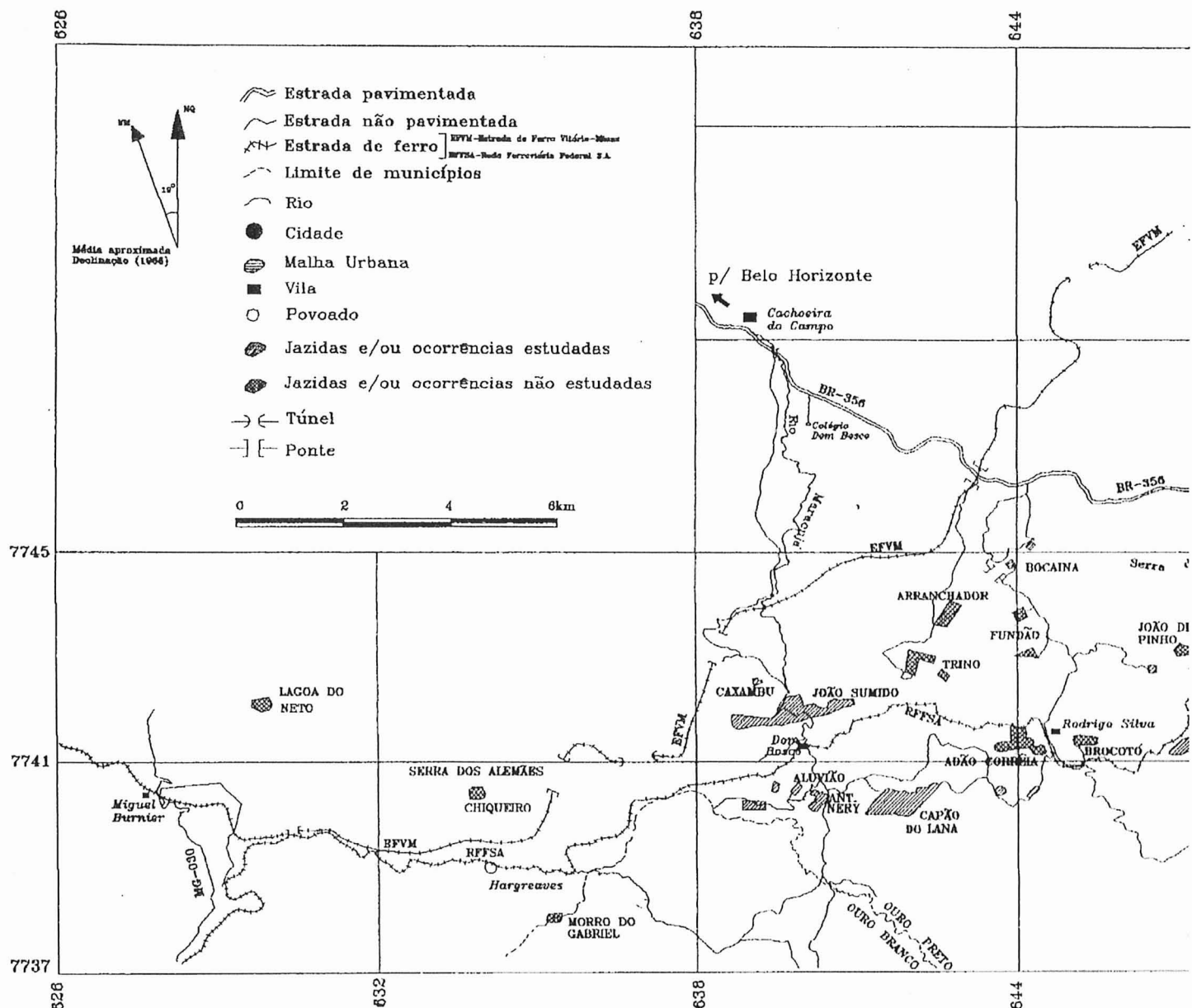


Figura 1 - Localização geográfica das jazidas e/ou ocorrências de topázio imperial da região de Ouro Preto, MG. (Adaptado da

com diversas morfologias, orientações e dimensões, essencialmente compostas por soluções salinas e CO_2 .

As IF primárias possuem desde morfologias regulares (inclusões alongadas sub-retangulares), até bastante irregulares, muitas vezes com feições que sugerem dissolução preferencial do mineral, controlada por certas direções cristalográficas. Distribuem-se com diversas orientações no interior do cristal, podendo constituir arranjos paralelos, inclinados ou mesmo perpendiculares ao eixo cristalográfico c do topázio. Também ocorrem inclusões fluidas pseudo-secundárias com morfologias relativamente regulares, dispostas ao longo de planos de fraturas cicatrizadas limitadas ao interior dos cristais.

Nas inclusões primárias, o comprimento do maior eixo varia de 4 a 460 μm , tendo sido estudadas apenas aquelas situadas entre 10 e 50 μm . As pseudo-secundárias, por outro lado, possuem

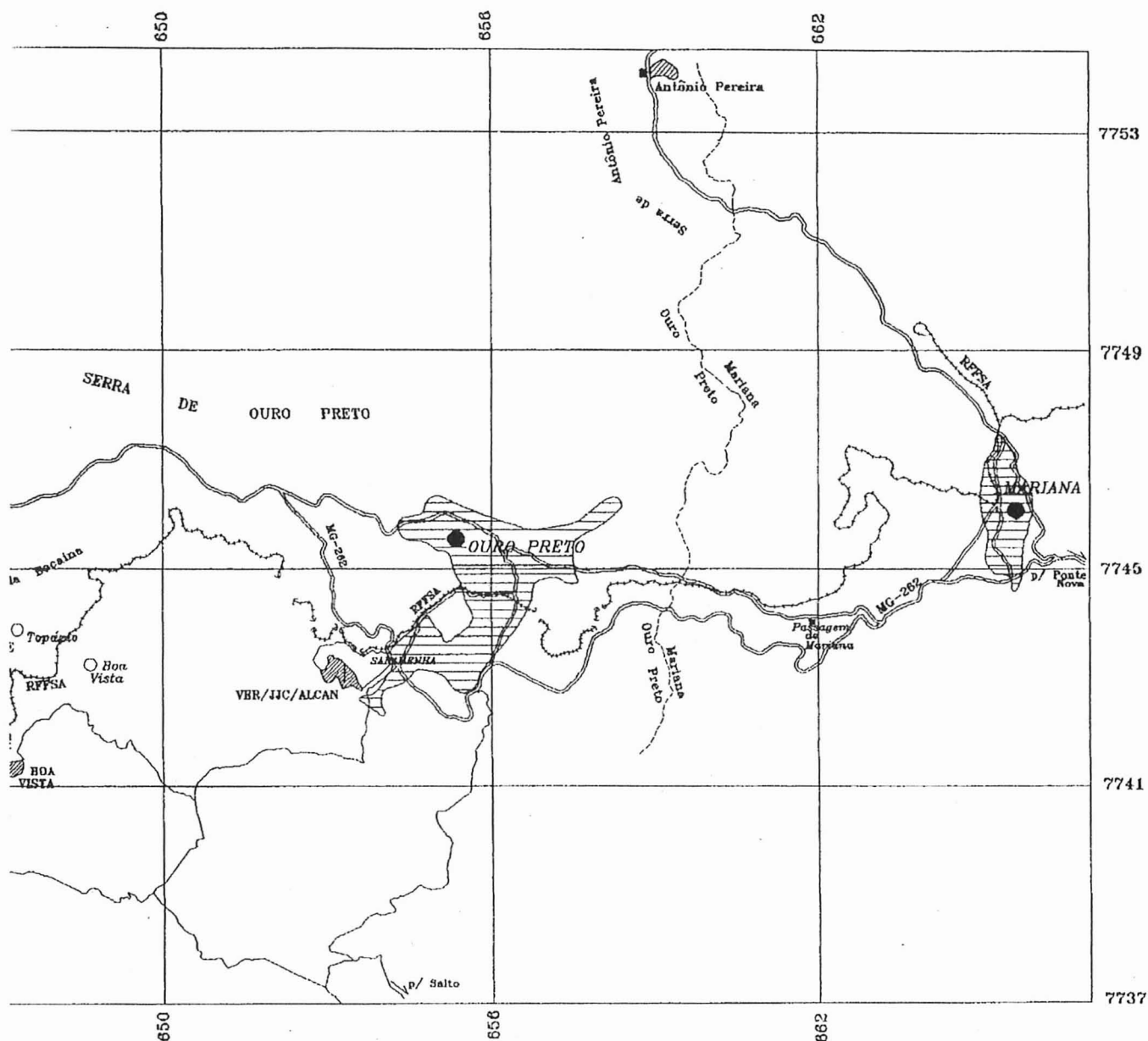
dimensões menores, em torno de 10 μm .

Foram também observadas feições indicativas de modificações posteriores ao aprisionamento (vazamento e estrangulamento). Por isso a seleção das inclusões apropriadas para análise exigiu microscopia cuidadosa.

Microtermometria

Os dados microtermométricos relativos às inclusões primárias e pseudo-secundárias e os parâmetros físico-químicos obtidos para os fluidos mineralizadores encontram-se nas Tabelas 1 e 2.

Observou-se que, em uma dada amostra, IF dispostas segundo as diversas orientações apresentaram o mesmo comportamento, tendo sido, portanto, tratadas conjuntamente. Por outro lado, em função das temperaturas de homogeneização do CO_2 ($T_{h\text{CO}_2}$) e das



Companhia Energética de Minas Gerais, 1987).

relações volumétricas V_{CO_2}/V_{tot} , puderam ser caracterizados os três grupos distintos de cristais, relacionados nas Tabelas 1 e 2, contendo IF com densidades de CO_2 (d_{CO_2}) e densidades totais (d_{tot}) distintas.

Tabela 1 - Dados microtermométricos referentes às inclusões fluidas do topázio da jazida de Boa Vista.

GR	Tf _{CO₂} (°C)	Th _{CO₂} > freq. (°C)	V _{CO₂} /V _{tot}	Th _{cl} (°C)		Tf _g (°C)	Tf _{tot} (°C)	Th _{tot} > freq. (°C)
				VAR.	> freq.			
1	- 57,4 a - 56,8	- 5,2 a - 3,6	70 a 90	5 a 9	7 a 9	-	200 a 280	230 a 260
2	- 57,8 a - 57,0	- 2,8 a - 1,2	50 a 80	6 a 9	7 a 9	-	180 a 300	240 a 280
3	- 57,4 a - 57,0	26,8 a 28,4	20	-	-	-10/- 8	> 300	-

GR = grupo; VAR = Variação

Nas amostras dos dois primeiros grupos, constatou-se que as Th_{CO₂} ocorreram a temperaturas inferiores às de dissociação dos clatratos. Nesses casos, os valores dessas Th e, conseqüentemente, das d_{CO₂} não são significativos, uma vez que o volume ocupado pelos sólidos altera a pressão interna das inclusões. Assim as Th_{CO₂} significativas (Fig. 2 e Tab. 1) foram determinadas na condição metaestável de ausência de clatratos, a partir de um lento resfriamento da inclusão apenas até a nucleação da fase CO₂ gás, que ocorreu de -9 a -15°C e, portanto, antes da formação daqueles compostos (-35 a -45°C).

O CO₂ homogeneizou-se, em todos os casos, para o estado líquido,

Tabela 2 - Parâmetros calculados a partir dos dados microtermométricos.

GR	d_{CO_2} (g/cm ³)	d_{H_2O} (g/cm ³)	d_{tot} (g/cm ³)	salin eq% peso NaCl	composição		
					X_{H_2O}	X_{NaCl}	X_{CO_2}
1	0,9507/0,9541	1,0247/1,0313	0,9608 a 0,9765	4,2 a 7,6	0,2181 a 0,5163	0,0034 a 0,00	810,7785 a 0,4766
2	0,9359/0,9416	1,0313/1,0377	0,9560 a 0,9882	3,8 a 7,2	0,3869 a 0,7105	0,0061 a 0,001	340,6068 a 0,2777
3	0,6675	1,0890	1,0047	11,6 a 14,0	0,8953	0,0407	0,0646

GR = grupo

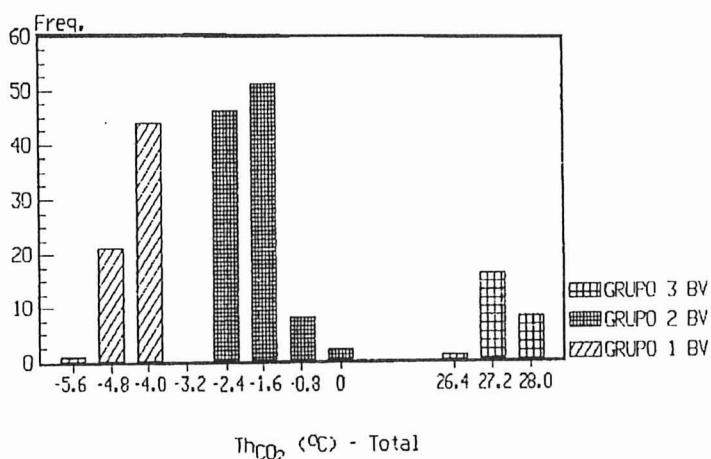


Figura 2 - Histograma de frequência de medidas das temperaturas de homogeneização do CO₂, referentes aos três grupos de amostras.

permitindo estabelecer, para as IF dos grupos 1, 2 e 3, densidades médias de CO₂ de: 0,95g/cm³, 0,94g/cm³ e 0,66g/cm³, respectivamente.

Considerando-se os três grupos de amostras, observou-se que as temperaturas de fusão do CO₂ (Tf_{CO2}) variaram de -57,8 a -56,8°C, indicando que, junto ao CO₂, ocorrem quantidades subordinadas de outros voláteis. Esses não puderam ser detectados pela microtermometria, suspeitando-se, no entanto, da presença de CH₄ e N₂, obtidos por espectroscopia microrraman e infravermelho, em IF de outras jazidas da região (Gandini et alii, 1993, Gandini, 1994).

Como nas IF dos grupos 1 e 2, o clatrato sofreu dissociação apenas na presença de CO₂ líquido, a salinidade das soluções não pode ser determinada diretamente a partir do processo discutido por Collins (1979). Esse autor estabeleceu uma relação entre as temperaturas de fusão dos clatratos (Tf_{CL}) e as salinidades, apenas sobre a curva CO₂(l)-CO₂(g) do diagrama de fases para o sistema H₂O+NaCl+CO₂; desse modo, para a determinação direta das salinidades, o clatrato, quando sofre dissociação, deveria estar associado a essas duas fases do CO₂ e às soluções aquosas, o que não ocorreu no presente caso.

Diamond (1992), a partir de trabalhos experimentais, expandiu o método de Collins (1979) para regiões acima e abaixo da curva de equilíbrio CO₂(l)-CO₂(g), estabelecendo relações entre as Tf_{CL} e as Th_{CO2} reais com as salinidades das soluções aquosas. Desse modo é possível a determinação das salinidades também nos campos que definem as associações clatrato + H₂O + CO₂(l) ou clatrato + H₂O + CO₂(g).

As salinidades das soluções aquosas das IF presentes nos cristais dos grupos 1 e 2 foram, portanto, obtidas a partir das Tf_{CL} associadas às Th_{CO2} reais (Fig. 2), utilizando-se o diagrama correspondente à homogeneização do CO₂ para o estado líquido (Diamond, 1992), apresentado na Figura 3. Foram assim determinadas salinidades equivalentes a 4,2/7,6% em peso do NaCl, para inclusões de amostras do grupo 1 e a 3,8/7,6% em peso do

NaCl, para as do grupo 2.

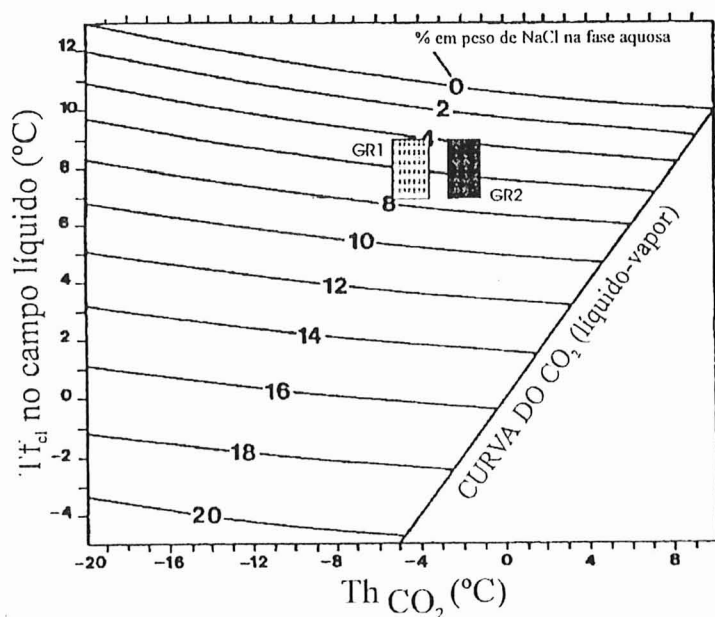


Figura 3 - Diagrama Tf_{CL} X Th_{CO2} (Diamond 1992), mostrando as faixas de salinidades obtidas para as soluções aquosas presentes nas inclusões fluidas de amostras dos grupos 1 e 2.

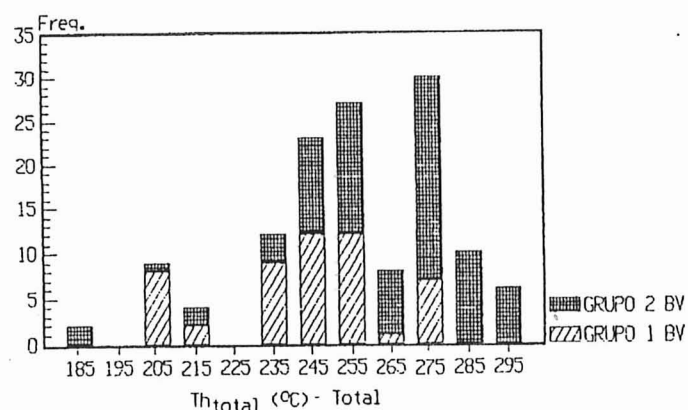


Figura 4 - Histograma de frequência de medidas das temperaturas de homogeneização total (Grupos 1 e 2).

No caso do grupo 3, salinidades equivalentes a 11,6/14,0% em peso do NaCl foram determinadas diretamente a

partir das temperaturas de fusão do gelo, pois, nessas amostras, não foi observada a formação de clatratos. No entanto, esse grupo encontra-se ainda pobremente definido, havendo a necessidade de estudos complementares.

Os valores das temperaturas de homogeneização total (Th_{tot}) das IF apresentaram, de modo geral, algumas dispersões. No entanto, no caso dos dois primeiros grupos de amostras puderam ser caracterizadas regiões de maiores frequências de medidas, definindo intervalos relativamente estreitos, (Tab. 1, Fig. 4), tendo a homogeneização ocorrido pela expansão da fase CO_2 . Nas amostras do grupo 3, as inclusões homogeneizaram pela contração da fase CO_2 , tendo sido obtidos alguns valores de Th_{tot} situados entre 300 e 320°C, embora muitas tenham sofrido crepitação nessa mesma faixa de temperaturas, quando se encontravam próximo à homogeneização. Por isso apenas pode ser definido para as Th_{tot} um valor mínimo de 300°C.

Discussões

As composições relativas às IF de cada grupo (em frações molares dos componentes), as faixas de variação das densidades e as respectivas isócoras foram calculadas através de equações de estado do sistema $H_2O+NaCl+CO_2$, presentes em Nicholls e Crawford (1985) e Brown (1989).

A Tabela 2 mostra que ocorrem diferenças nas composições das IF de grupos distintos de amostras, havendo acréscimo das frações molares de H_2O e $NaCl$ na direção do grupo 3. As composições também variam dentro de cada grupo, sendo condicionadas pelas diferenças nas relações volumétricas V_{CO_2}/V_{tot} e nas salinidades.

Notou-se ainda que, apesar da existência de variações em V_{CO_2}/V_{tot} em cada conjunto de amostras, as Th_{CO_2} e, portanto d_{CO_2} , permaneceram relativamente constantes, sugerindo um aprisionamento a partir de fluidos originalmente imiscíveis, de modo semelhante ao que foi constatado em outras jazidas da região (Gandini et alii, 1992, Gandini, 1994). Tal processo também poderia explicar as variações nas Th_{tot} , cujos valores mínimos seriam representativos das temperaturas reais de aprisionamento, embora a densidade dos fluidos e as pressões reinantes durante a formação das IF não possam ser perfeitamente estabelecidas quando são aprisionados os dois componentes do sistema, em diferentes proporções (Roedder, 1984).

Por esse motivo, não foi possível a determinação das densidades dos fluidos originais, para cada grupo de amostras, mas apenas de seus intervalos de variação em função das diferenças em V_{CO_2}/V_{tot} , conforme discussões de Brown e Lamb (1986, 1989). Como as relações V_{CO_2}/V_{tot} não variaram de modo significativo em cada grupo, as densidades obtidas distribuíram-se segundo uma faixa estreita de valores (Tab. 2) que, em média, representam as densidades reais dos fluidos mineralizantes. As isócoras correspondentes e os valores aproximados das temperaturas de aprisionamento permitiram a definição dos limites extremos das pressões envolvidas (Fig. 5), caracterizando-se, para as IF dos três grupos de amostras, as seguintes condições de aprisionamento, compatíveis com uma origem hidrotermal: Grupo 1 - $T = 230/260^\circ C$ e P entre 1,8 a 2,25kbar, Grupo 2 - $T = 240/280^\circ C$ e P entre 1,75 e 2,75kbar e Grupo 3 - $T =$

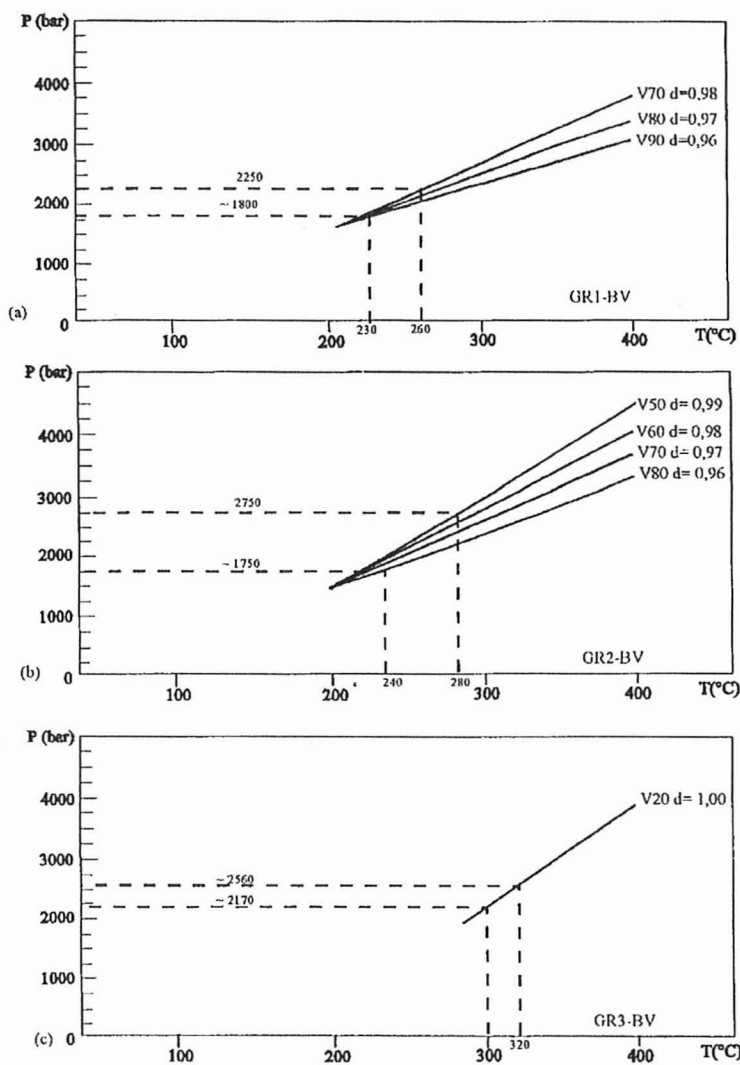


Figura 5 - Diagramas P-T mostrando as isócoras representativas das inclusões dos três grupos de amostras e as faixas de variação das condições de aprisionamento.

300/320°C e P de 2,2 a 2,60kbar.

Considerando-se a evolução normal de um fluido heterogêneo composto de $H_2O+NaCl+CO_2$, o gás carbônico seria o primeiro a sofrer dissipação, deixando o fluido remanescente mais rico em H_2O e $NaCl$. O maior tempo de permanência desse fluido aquoso nas rochas contribuiria também para o aumento da salinidade. Essa parece ser, precisamente, a situação dos fluidos contidos nas inclusões das amostras do grupo 3, se comparados com aqueles presentes nas inclusões dos outros grupos. Assim, o topázio do grupo 3 seria de cristalização mais tardia que os demais. Os valores mais elevados de P e T , obtidos para esse grupo, podem ser decorrentes de oscilações térmicas do sistema hidrotermal, com variações de algumas dezenas de graus nas temperaturas de aprisionamento, como as verificadas no presente caso (Tab. 1).

Desse modo, além dos dados sugerirem um sistema original de fluidos heterogêneos, as características diferenciadas das IF, nos três grupos de amostras, parecem indicar condições e etapas ligeiramente distintas de aprisionamento e, portanto, de cristalização do topázio.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Prof. Dr. José Vicente Valarelli, pelas discussões e sugestões e ao CNPq pelo auxílio prestado à Dr^a Rosa Maria da Silveira Bello (Proc. 303872/85-3) e ao Dr. Kazuo Fuzikawa (Proc. 300045/92-1).

Referências Bibliográficas

- BROWN, P.E. FLINCOR: a fluid inclusion data reduction and exploration program (abstr.). PACROFI II. Prog. with Abstr., 14, 1989.
- BROWN, P.E., LAMB, W.M. Mixing of H_2O - CO_2 in fluid inclusions; Geobarometry and Archean gold deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.50, p. 847-852, 1986.
- BROWN, P.E., LAMB, W.M. P-V-T properties of fluids in the system $H_2O \pm CO_2 \pm NaCl$: new graphical presentations and implications for fluid inclusion studies. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 53, p. 1209-1221, 1989.
- CASSEDANNE, J.P. Famous minerals localitiess: the Ouro Preto topaz mines. *Mineralogical Record*, v. 20, n. 3, p. 221-233, 1989.
- COLLINS, P.L.F. Gas hydrates in CO_2 -bearing fluids and the use of freezing data for estimation of salinity. *Economic Geology*, v. 74, n. 6, p. 1435-1444, 1979.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Ortofoto folhas: Itabirito 42-11-20, Ouro Preto 42-12-10 a 42-12-12 e de 42-12-14 a 42-12-20, Mariana 43-07-05, 43-07-09, 43-07-10, 43-07-13 e 43-07-14. Esc. 1:10.000. [Curitiba], Esteio/Belo Horizonte, CEMIG. (Projeto 03/86), 1987.
- DIAMOND, L.W. Stability of CO_2 clathrate hydrate + CO_2 liquid + CO_2 vapour + aqueous KCl-NaCl solutions: experimental determination and application to salinity estimates of fluid inclusions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 56, n. 1, p. 273-280, 1992.
- FERREIRA, C.M. Vulcanismo ácido no Quadrilátero Ferrífero e sua relação com algumas ocorrências e/ou depósitos minerais. In: SIMP.GEOL. MG, 2, 1983. Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SBG, 1983. Bol. 3, p. 128-133.
- FERREIRA, C.M. Topázio de Ouro Preto, Minas Gerais. In: SCHOBENHAUS, C., QUEIROZ, E.T., COELHO, C.E.S. *Principais depósitos minerais do Brasil*, V.IV, Parte A: *Gemas e Rochas Ornamentais*. Brasília: DNPM/CPRM, 1991. p. 303-308.
- GANDINI, A.L. *Mineralogia, inclusões fluidas e aspectos genéticos do topázio imperial da região de Ouro Preto, Minas Gerais*. São Paulo: 1994. 212p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/USP).
- GANDINI, A.L., BELLO, R.M., FUZIKAWA, K., GASPAR, J.C., BOTELHO, N.F., COELHO, S.V.; MARCIANO, V.R.; PIMENTA, M.A.; SVISERO, D.P. Aspectos mineralógicos, geoquímicos e genéticos do topázio imperial a região e Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. In: IX SEMANA E GEOQUÔMICA E II CONGRESSO DE GEOQUÔMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 1993. Porto. *Memórias...* Porto, 1993. n. 3, p. 233-237.
- GANDINI, A.L., BELLO, R.M.S., FUZIKAWA, K., SVISERO, D.P., FERREIRA, C.M., VALARELLI, J.V. Estudos microtermométricos de inclusões fluidas em topázios imperiais da jazida de Caxambu, Ouro Preto, MG. *Revista Escola de Minas*, v. 45, n. 1/2, p. 191-193, 1992.
- GORCEIX, H. Estudo geológico das jazidas de topázio da Província de Minas Gerais, Brasil. *Anais da Escola de Minas de Ouro Preto*, v.1, p. 13-34, 1881.
- NICHOLLS, J., CRAWFORD, M.L. Fortran programs for calculation of fluid properties from microthermometric data on fluid inclusions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 11, n. 5, p. 614-645, 1985.
- OLSEN, D.R. Origin of topaz deposits near Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil. *Economic Geology*, v.66, n.4, p.627-631, 1971.
- PIRES, F.R.M., FREITAS, C.O., PALERMO, N., SARCIÁ, M.N.G. Geologia e gênese dos depósitos de topázio do Distrito de Ouro Preto - Minas Gerais. In: SIMP. GEOL. MG. 2, 1983. Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SBG, 1983. v. 3, p. 283-296.
- ROEDDER, E. Fluid inclusions. *Reviews in Mineralogy*, v. 12, p. 1-644, 1984.

Artigo recebido em 31 de março de 1995