

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS FLUIDOS ASSOCIADOS AOS VEIOS DE QUARTZO AURÍFEROS DE COSTA SENA - MG

LUIZ H. RONCHI*, GASTON GIULIANI**, CLAIRE BENY*** e ANTONIO C.C. FOGAÇA

ABSTRACT PHYSICO-CHEMICAL EVOLUTION OF THE FLUIDS ASSOCIATED TO THE COSTA SENA GOLD QUARTZ VEINS (MG - BRAZIL). The fluid inclusion study of free-gold-bearing quartz veins from Costa Sena gold occurrences, Minas Gerais, shows that both aquo-carbonic (C₂ and C₁) and the aqueous (L) fluids were present during the mineralizing event. The early stage C₂ fluid (of composition 82,2 mole% H₂O; 16 mole% CO₂; 1,8 mole% NaCl) was progressively diluted, at around 350°C and 2,0-2,5 kbar, by an H₂O fluid (L) with and increase of density (fluid C₁ of composition 94 mole% H₂O; 3,8 mole% CO₂; 2,2 mole% NaCl). The fO₂ conditions of the early aquo-carbonic fluid based on the absence of CH₄, H₂S, N₂, the absence of sulphides and the stability of hematite in the veins, is close to the hematite - magnetite buffer. The role of both the aquo-carbonic and aqueous fluids in the transport and precipitation of gold is discussed: deposition of native gold can be ascribed, at a relatively constant fO₂, to the destabilization of AuCl₂- complex in the circulating fluids, as a result of the mixing of two defined fluid types.

Keywords: Fluid inclusions, quartz veins, gold, Brazil, Raman microprobe, micro-thermometry.

RESUMO O estudo das inclusões fluidas dos veios de quartzo auríferos em Costa Sena, MG, demonstrou que fluidos aquo-carbônicos (C₂ e C₁) e aquosos estavam presentes durante o evento mineralizante. O fluido precoce C₂ (de composição 82,2 mole% H₂O; 16 mole% CO₂; 1,8 mole% NaCl) foi progressivamente diluído, em aproximadamente 350°C e 2,0-2,5 kbar, por um fluido aquoso (L), com um aumento de densidade produzindo o fluido C₁ (de composição 94 mole% H₂O; 3,8 mole% CO₂; 2,2 mole% NaCl). A fO₂ do fluido aquo-carbônico, estimada a partir da ausência de CH₄, H₂S, N₂ e pela ausência de sulfetos nos veios, é próxima às condições do tampão (*buffer*) hematita-magnetita. A deposição do ouro é devida à desestabilização do complexo AuCl₂- em resultado do processo de diluição, conduzindo a um aumento do pH dos fluidos em condições de fugacidade de oxigênio relativamente constantes.

Palavras-chaves: Inclusões fluidas, veios de quartzo, ouro, Brasil, espectrometria Raman, microtermometria.

INTRODUÇÃO As ocorrências auríferas de Costa Sena, situadas a 200 km ao norte de Belo Horizonte (Fig. 1), estão encaixadas numa seqüência metavulcanossedimentar que pertence ao Supergrupo Rio Paraúna. Os trabalhos geológicos desenvolvidos na área de Costa Sena mostraram que as várias fácies litológicas podem ser agrupadas nas seguintes divisões estratigráficas: Complexo Granítico e Supergrupo Serra da Paraúna, ambos de idade arqueana e Supergrupo Espinhaço, pertencente ao Proterozóico Inferior (Fig. 1). Entretanto, Inda *et al.* (1984) apresentam hipóteses diferentes em relação à estratigrafia regional.

O Complexo Granítico (também chamado Granito de Gouveia), que apresenta amplas variações petrográficas, é predominantemente composto por um granito porfiróide com grandes fenocristais de feldspato (microclínio) orientados em matriz hipidiomórfica granular. Alguns autores, como Pflug & Carvalho (1964), o consideram como de origem magmática e intrusiva, ao passo que outros (Hoffman 1980 in Schöhl 1980) o caracterizaram como granito de anatexia disúnto em formação de idade dos micaxistos da região. Inda *et al.* (1984) referem-se a existência de evidências de metassomatismo potássico, que teria originado os pórfiros de feldspato após a formação da matriz da rocha, conforme sugerido por Pflug & Carvalho (1964). Estruturalmente, este complexo granítico apresenta zonas de cisalhamento complexo (e possivelmente desenvolvidos em um estágio dúctil), de direção NNW, que provocaram a formação de protomilonitos e filonitos.

O filonito Rio Paraúna é composto por xistos verdes, mica-xistos com quantidades variáveis de quartzo e cianita, e pequenas camadas de itabiritos e quartzitos. Estruturalmente,

possui forma de quilha com direção NW, bordada pelos granitóides e metassedimentos mais recentes e com um padrão de dobramento isoclinal assimétrico em pequena e grande escala. Pode ainda, preservando parcialmente suas dobras abertas, incluir uma série de falhas inversas, com vergência W, associadas com falhas de deslocamento, na porção leste da área.

No Supergrupo Espinhaço, distinguem-se duas unidades metassedimentares pertencentes à Formação Sopa Brumadinho, a saber: uma, inferior, denominada nível E, composta por quartzitos e metaconglomerados com ocorrências locais de hematita filitos de origem vulcânica, e membro Campo Sampaio, caracterizado por uma sucessão rítmica de filitos e quartzitos micáceos.

Todas estas unidades sofreram intrusões de diques e *stocks* metabásicos de idade pós-Espinhaço.

As pequenas ocorrências de ouro são encontradas geralmente associadas a veios de quartzo em zonas de cisalhamento do Supergrupo Rio Paraúna (Serra do Espinhaço Meridional). O objetivo deste trabalho consiste em investigar a natureza das soluções que transportaram o ouro e caracterizar os processos físico-químicos responsáveis pela sua precipitação, por meio de estudos de inclusões fluidas de ganga de quartzo das três ocorrências auríferas de Costa Sena.

AS MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS DE COSTA SENA A única mina de ouro da região - conhecida como mina do Periquito e distante 4 km a WSW do povoado de Costa Sena - situa-se em terrenos constituídos por xistos do Supergrupo Rio Paraúna (Fig. 1). Atualmente paralizada, ela apre-

* Laboratoire D'Etude des Ressources et Matériaux Minéraux, Ecole Supérieure de L'Énergie et des Matériaux, Université d'Orléans, Boîte Postale 6747, 45067 Orléans Cedex 2, France

** Departamento de Geoquímica e Recursos Minerais, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília/ORSTOM, CEP 70910-900, Brasília, DF, Brasil; CP*G, 15 rue N.D. des Pauvres, 54500 Vandœuvre, France

*** GdR (BRGM-CNRS - Université d'Orléans) Métallogénie et Matériaux Minéraux, 1A rue de la Férolerie, 45071 Orléans 2, France

**** Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, CEP 30000-000, Belo Horizonte, MG, Brasil

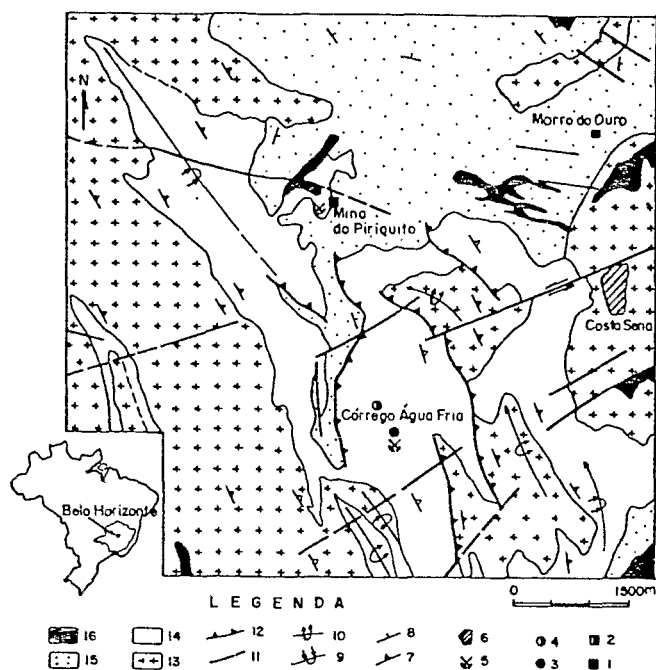


Figura 1 – Mapa geológico da quadrícula da região de Costa Sena. Amostragem para o estudo de inclusões fluidas: 1. CF 553; 2. CF 648; 3. CF 555; 4. CF 98; 5. mina abandonada; 6. vila de Costa Sena; 7. direção e mergulho de xistosidade, foliação cataclástica; 8. direção e mergulho de camada; 9. sinclinal invertido; 10. anticlinal invertido; 11. falha; 12. falha inversa. Terrenos arqueanos: 13. complexo granítico predominantemente cataclasado; 14. Supergrupo Rio Paraúna (seqüência vulcanossedimentar). Terrenos proterozóicos: 15. Supergrupo Espinhaço (Formação Sopa-Brumadinho); 16. Rochas magmáticas intrusivas (diques e massas de rochas básicas metamorizadas)

Figure 1 – Geological map of Costa Sena region. Samples to the FI study: 1. CF 553; 2. CF 648; 3. CF 555; 4. CF 98; 5. Periquito's mine; 6. Costa Sena village; 7. schistosity strike and dip; 8. bedding strike and dip; 9. reversed synclinal; 10. reversed anticlinal; 11. fault; 12. reversed fault. Archean terrain: 13. granitic complex; 14. Rio Paraúna Supergroup; Proterozoic terrain: 15. Espinhaço Supergroup (Sopa-Brumadinho formation); 16. intrusive igneous rocks (dykes and plugs of metabasic rocks)

senta quatro pequenas galerias (5 a 15 m de profundidade) e aparentemente os trabalhos se concentraram nos inúmeros veios de quartzo que recortam os quartzo-clorita xistos e sericita xistos. São veios de quartzo hialinos, com porções muito cisalhadas, geralmente subverticais e direções em torno de N-S, espessuras entre 5 cm e 1,5 m, e que, neste caso, parecem constituir uma única geração.

Existem ainda duas outras ocorrências: a primeira próxima ao Córrego da Água Fria (a 3,3 km ao sul da mina do Periquito) e a outra no Morro do Ouro. Os veios de quartzo ocorrem ao longo de uma zona de fraturas e possuem direções preferenciais de N20W, 50SW e espessuras variáveis entre 0,4 e 50 cm. Em todos os veios foi constatada a presença de hematita especular.

O ouro é encontrado nas três ocorrências no estado nativo em pequenas pontuações dentro da ganga de quartzo.

AS INCLUSÕES FLUIDAS ASSOCIADAS AO QUARTZO AURÍFERO DE COSTA SENA Amostragem A seleção das amostras estudadas foi feita em função do conhecimento geológico da área em questão e tendo em vista que o estudo das inclusões fluidas é necessariamente complementar aos trabalhos básicos de geologia. Foram coletadas amostras nos

três locais diferentes objetivando um estudo dos tipos de inclusões fluidas e sólidas, e da sucessão dos diversos fluidos presentes ou não nestes três locais.

Das cinco lâminas espessas polidas dos dois lados, duas são provenientes da mina do Periquito (CF 553 a.d.), duas das ocorrências do córrego da Água Fria (CF 98 e CF 555), e a quinta (CF 648) do Morro do Ouro (Fig. 1). Convém ressaltar que estas lâminas foram feitas de maneira a evitar qualquer aquecimento ou fraturação da amostra evitando-se assim danos às inclusões que podem ser, eventualmente, muito frágeis.

As amostras CF 555 e CF 98 foram coletadas nos planos de xistosidade (N30W, 40NE) dos sericita/clorita-xistos com turmalina, os quais são bastante semelhantes aos encontrados na mina do Periquito. É importante ressaltar que não se encontrou indícios da presença de ouro na ocorrência da amostra de quartzo CF 98.

No Morro do Ouro, foi coletada uma amostra de um veio de quartzo rico em hematita encaixado nos quartzitos e metaconglomerados Formação Sopa Brumadinho.

Procedimentos analíticos Os métodos analíticos utilizados durante este estudo de inclusões fluidas foram métodos não-destrutivos como a microscopia petrográfica clássica, a microtermometria e a espectrometria molar Raman.

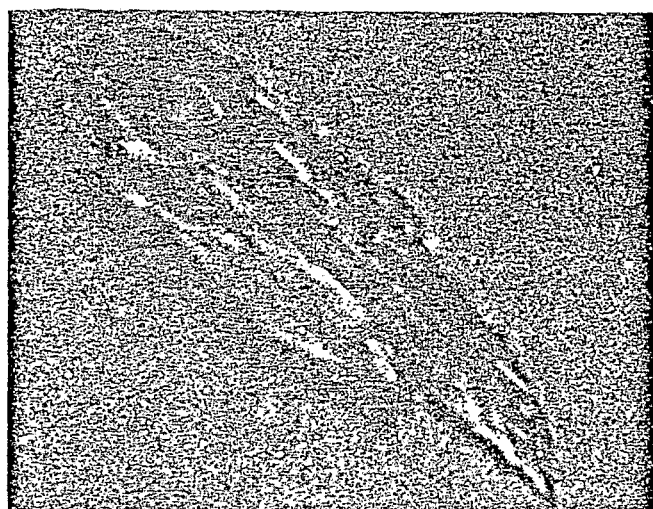
A primeira fase do trabalho, descrição ao microscópio petrográfico, inclui observações sobre as características gerais das inclusões fluidas, tais como forma, tamanho, volume, número de fases presentes, distribuição e frequência das inclusões. Sua importância é fundamental pois permite a classificação e estabelecimento da sucessão dos fluidos presentes.

A microtermometria abrange o aquecimento da inclusão até sua homogeneização, completa (Th), temperatura que, após a correção de calibração do aparelho, constitui a temperatura mínima na qual o fluido foi aprisionado. É possível, também, resfriar a inclusão até o congelamento completo das fases fluidas visando medir, posteriormente, a temperatura de fusão (Tf) do último fragmento de sólido (H₂O gelo ou CO₂ sólido), a qual se relaciona diretamente com a salinidade da água ou pureza do CO₂, respectivamente (Fuzikawa 1985). Para realizar este trabalho foi usada a platina de microtermometria Chaix Méca (Poty *et al.* 1976) que permite teoricamente resfriamentos até -180,0°C e aquecimentos até +600,0°C. A reprodutibilidade das medidas é estimada em aproximadamente 0,5°C.

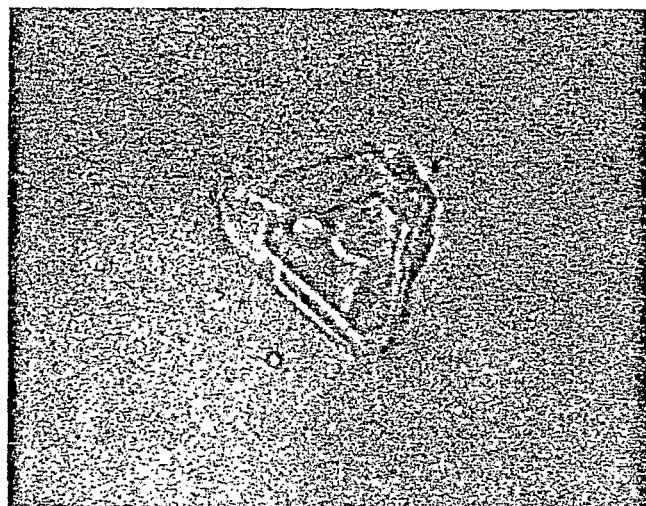
A espectrometria molar Raman, método especialmente apropriado ao estudo das inclusões fluidas na medida em que é não-destrutivo e pontual, permite determinações qualitativas e quantitativas das fases presentes. O efeito Raman se manifesta pelo fato de que a luz monocromática (laser) pode ser difundida nas estruturas poliatômicas em frequências diversas e características das ligações moleculares presentes (Rosasco & Simmons 1974, Delhaye & Dhamelincoourt 1975). Os espectros assim obtidos permitem a identificação das espécies químicas qualquer que seja o estado da matéria. O espectrômetro Raman usado é do tipo U 1000 (Jobin-Yvon) equipado de um microscópio Olympus (CNRS-BRGM - Université d'Orléans, França). A radiação excitatriz necessária à obtenção do efeito Raman possui um comprimento de onda de 514,5 nm e é fornecida por um laser com argônio ionizado (Coherent tipo Innova 90).

Tipos de inclusões fluidas Os tipos de inclusões fluidas observadas nos veios de quartzo nas três ocorrências auríferas à temperatura ambiente foram os seguintes:

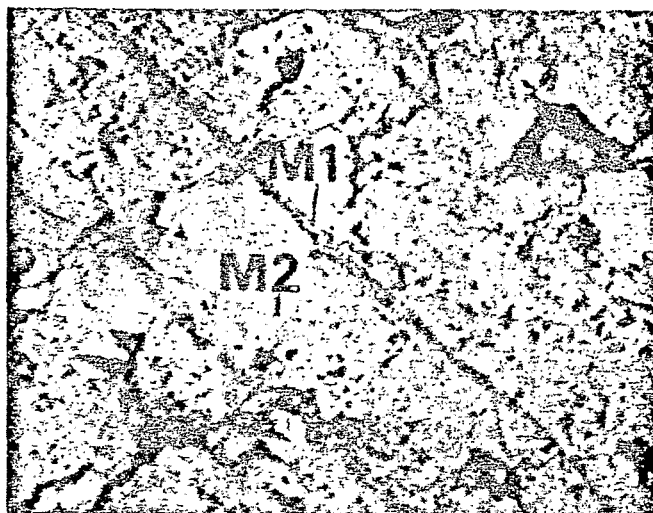
1. Tipo C - Aquo-carbônica, dois subtipos, C₁ e C₂ precoces, geralmente trifásicas a 20°C, eventualmente com sólidos acidentais. H₂O + CO₂ líquido + CO₂ vapor + sólidos acidentais (incolor alta birrefringência; calcita e incolor: quartzo).
2. Tipo Lc - Aquo-carbônica, precoce (primária?), bifásica. H₂O + NaCl + CO₂.



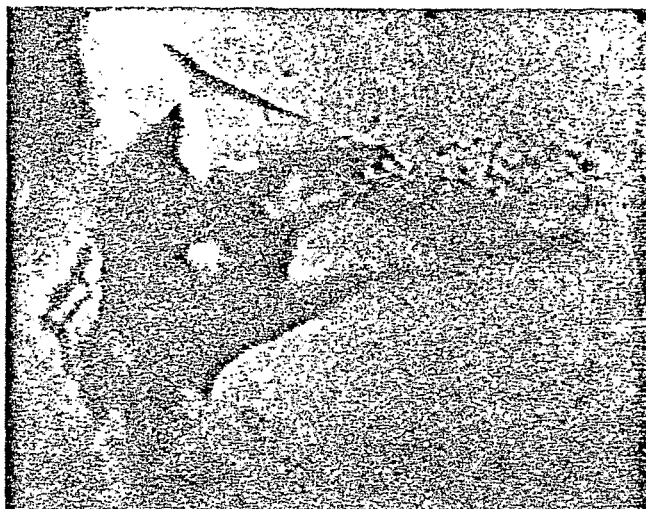
1 60 μm



2 40 μm



3 5 mm



4 70 μm

Prancha 1 – Fotomicrografias: 1. Inclusão fluida aquo-carbônica, tipo C1, amostra CF 555, Córrego da Água Fria. 2. Inclusão fluida aquosa, tipo Lc, amostra CF 555, Córrego da Água Fria. Observar o crescimento helicoidal das paredes da inclusão. 3. Alinhamento de inclusões fluidas, monofásicas, tipo M1 e M2, aquosas, secundárias. 4. Grande inclusão fluida aquosa, encontrada em microgeodo entre grãos de quartzo

Plate 1 – Photomicrographs: 1. Aquo-carbonic fluid inclusion, Type C1, CF 555 sample, Córrego da Água Fria. 2. Aqueous fluid inclusion, Type Lc, CF 555 sample, Córrego da Água Fria. See the helicoidal growth of the inclusion walls. 3. Mono phased fluid inclusions alignments. Types M1 and M2, aqueous, secondaries. 4. Big aqueous fluid inclusion, found as a microfracture

3. Tipo L - Aquosa (L₁ e L₂), tardia (pseudo-secundária?), bifásica. H₂O + NaCl + sólido acidental pontual não-identificado.

4. Tipo M - Aquosa (M₁ e M₂), secundária, monofásica.

O tipo C, encontrado no Córrego da Água Fria, apresenta formas irregulares e por vezes com contornos rudimentarmente cúbicos ou hexagonais. Algumas são planas e ocorrem isoladamente ou em pequenos grupos; são comuns as evidências de estrangulamento (*necking down*). Os tamanhos variam entre 10 e 80 μm e o volume da fase CO₂ líquido + CO₂ vapor, embora possa variar, geralmente está por volta de 15%. Essas inclusões representam também em torno de 15% do total das inclusões estudadas.

As inclusões aquo-carbônicas encontradas no Morro do Ouro possuem aproximadamente as mesmas características morfológicas do tipo C encontrado no Córrego da Água Fria.

Entretanto, suas evidências de estrangulamento são mais nítidas e as inclusões ocorrem em grupos grosseiramente alinhados (Fig. 2), o volume da fase CO₂ é maior, por volta de 20% e são encontradas proporcionalmente em maior número, representando 20% das inclusões estudadas. Estas diferenças observadas entre as inclusões aquo-carbônicas do Córrego da Água Fria e do Morro do Ouro permitem suspeitar a circulação de dois fluidos com componentes carbônicos, denominados C₁ e C₂ respectivamente.

Não foram observados sólidos de saturação nas inclusões aquo-carbônicas, entretanto ocorrem os seguintes tipos de sólidos acidentais: 1. incolor de alta birrefringência (principalmente nas amostras CF 555 e 648) que também é encontrado como inclusão sólida no quartzo, tendo sido, nos dois casos, identificado como calcita pelo espectrômetro Raman (Fig. 2, inclusões números 1, 3, 5, 12 e 16); 2. sólido incolor, índice de

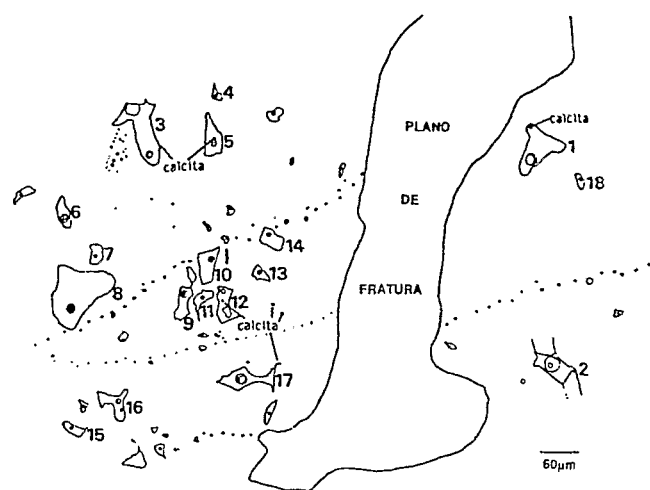


Figura 2 - Distribuição e relações das inclusões fluidas dos tipos C₂ e L na amostra CF 648 (Morro do Ouro)

Figure 2 - The C₂ and L fluid inclusions types in the sample CF 648 (Morro do Ouro)

refração semelhante ao do quartzo hospedeiro (Fig. 2, inclusões 3 e 12) ocorre em proporções variáveis, podendo preencher desde menos de 10% até mais de 70% do volume das inclusões de tipo C. Não se altera durante o aquecimento. O raio laser do Raman ao incidir sobre este sólido apresentou um comportamento semelhante ao observado sobre o quartzo e nitidamente diferente daquele ao incidir sobre o líquido. Este sólido possivelmente do quartzo hospedeiro que, de acordo com a forma ou durante processos de estrangulamento, foi envolvido pelas inclusões criando, conforme o corte efetuado durante a preparação da lâmina polida, a ilusão óptica de um sólido accidental.

Finalmente, o tipo C₁ é considerado precoce por sua ocorrência comumente isolado ou em pequenos grupos e seu tamanho relativamente grande. O tipo C₂ é também considerado precoce por suas inclusões de calcita que são encontradas como inclusões sólidas.

O tipo Lc é diferenciado do tipo C pelo fato de a temperatura ambiente apresentar-se bifásica. A fraca presença de CO₂, característica deste tipo, é identificada apenas pelo espectrômetro Raman. Foram consideradas como precoces pelo nítido crescimento helicoidal de pelo menos uma dessas inclusões. É possível que este tipo tenha se formado pelo estrangulamento do tipo C ou contaminação do tipo L. Porém, convém ressaltar que uma inclusão com crescimento helicoidal e hábito hexagonal, claramente isolada, deve ser uma amostra pontual do fluido mineralizante original.

O tipo L constitui 65% do número total de inclusões fluidas estudadas. Abrange inclusões bifásicas aquosas, com NaCl e provavelmente outros cátions (primeira temperatura de fusão do gelo sempre inferior a -30,0°C). Possui formas poligonais irregulares e arredondadas, sendo em geral menores que os tipos C e Lc, com tamanhos entre 10 e 20 µm. Apresenta entre 10 e 20% do volume total da cavidade. Comumente, formam alinhamentos grosseiros, o que indica sua origem relativamente tardia.

Os tipos C, Lc e L podem eventualmente ocorrer associados em um mesmo alinhamento especialmente no Morro do Ouro (CF 648).

O tipo M, inclusões monofásicas, das quais existem ao menos duas gerações: M₁ - possivelmente a mais antiga, com alinhamentos bem marcados de inclusões monofásicas, por vezes bifásicas, possuem formas arredondadas e tamanhos inferiores a 6 µm. Estes alinhamentos são, aparentemente, cortados por outros alinhamentos de inclusões fluidas monofásicas secundárias, tipo M₂. M₂ - Inclusões fluidas monofásicas

menores que o tipo M₁, tamanhos da ordem de 1 µm, arredondadas e alongadas, formam um alinhamento muito fino e nítido. É possível encontrar inclusões fluidas monofásicas maiores que 10 µm, em geral associadas a pequenos grupos de inclusões dos tipos C ou L, que poderiam ser o resultado de processos de estrangulamento.

Espectrometria Molar Raman Foram realizadas análises nas fases gasosas, líquidas e sólidas em todos os tipos de inclusões. No Córrego da Água Fria, confirmou-se a presença de CO₂ e possíveis traços de CH₄ ao passo que no Morro do Ouro o CO₂ é praticamente puro (Fig. 3).

O CO₂ foi detectado em pequenas proporções no Tipo Lc do Córrego da Água Fria e Morro do Ouro (lâminas CF 555, 648 e 98) não sendo observados picos significativos nas faixas correspondentes ao CH₄, H₂S e N₂. Em contraste, nas inclusões bifásicas do Tipo L nada foi detectado pela espectrometria Raman, tratando-se portanto de inclusões meramente aquosas. Embora não observadas e tendo em vista o pequeno número de análises Raman realizado em amostras da Mina do Periquito, não se descarta a possibilidade da ocorrência deste tipo de inclusões nestas amostras (CF 553a,d).

O único sólido positivamente identificado foi aquele que possui alta birrefringência e ocorre tanto como inclusão sólida no quartzo, como dentro das inclusões de tipo C e L, trata-se de calcita (Fig. 4). Sobre os demais sólidos não foi possível detectar sua composição.

A fase aquosa dos diferentes tipos de inclusões fluidas foi também analisada mas a espectrometria não revelou traços de ânions como CO₃²⁻, HCO₃⁻ ou SO₄²⁻.

RESULTADOS DO ESTUDO MICROTERMOMÉTRICO Os dados microtermométricos obtidos nas inclusões carbônicas do Córrego da Água Fria e do Morro do Ouro revelaram-se diferentes em todos os parâmetros físico-químicos, confirmando a existência de dois fluidos carbônicos, respectivamente, C₁ e C₂ (Tab. 1).

Durante o resfriamento até -130°C, das inclusões C₁ (CF 555), não é possível observar a formação do clatrato, nem do CO₂ sólido, é de maneira imperceptível, supõe-se que ocorra a sublimação da fase CO₂.

Considerando-se que a homogeneização da fase CO₂ (ThCO₂) e total (Th) pode ocorrer da forma líquida (l) ou vapor (v) o tipo C₁ pode ser subdividido em C₁III e C₁VI.

Por outro lado, as inclusões C₂ (CF 648) quando mais "ricas" em CO₂, em regra congelam sua fase aquosa durante o resfriamento entre -35,0 e -45,0°C, fato este que implica em redução do volume da bolha de CO₂ líquido + CO₂ vapor, a qual, geralmente, assume instantaneamente uma forma lenticular. Entre -50,0°C e -60,0°C a parte mais externa desta lente também solidifica-se, este duplo congelamento, de acordo com Collins (1979) é indicio da formação do clatrato (CO₂.5,75 H₂O). O congelamento do CO₂ remanescente, caso ainda exista algum, ocorre por volta de -100,0°C, momento no qual a forma lenticular já desapareceu. A bolha de CO₂ líquido + CO₂ vapor retorna gradualmente à proporção que as fases solidificadas são fundidas durante o reaquecimento da inclusão. A fusão do CO₂ (TF CO₂) ocorre em média a -56,9°C, em temperaturas próximas ao ponto de fusão teórico do CO₂ puro (-56,6°C). A observação da fusão do gelo (H₂O) é dificultada, mas não impedida pela formação do clatrato, e a decomposição deste último é claramente observada em presença de CO₂ líquido e vapor (inclusão é trifásica no momento). A salinidade das inclusões tipo C foi calculada a partir da temperatura de decomposição do clatrato de acordo com Bozzo *et al.* (1973) e Collins (1979).

Os tipos Lc e L, bifásicos à temperatura ambiente, foram encontrados em quase todas as amostras de quartzo de Costa Sena não sendo possível distingui-los por meio da microtermometria.

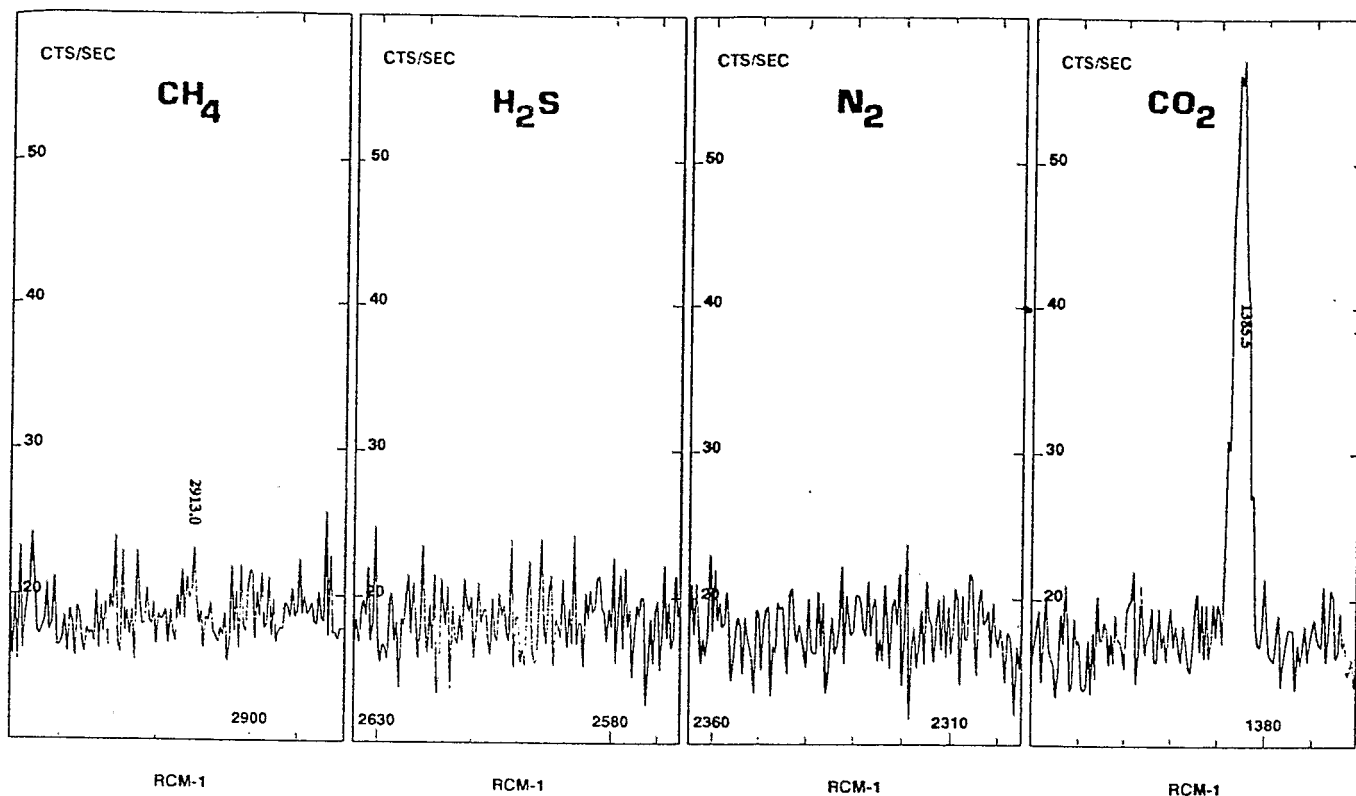


Figura 3 – Espectro Raman de uma inclusão fluida aquo-carbônica, tipo C₁, amostra CF 555, Córrego da Água Fria. Constata-se a presença de CO₂ e possíveis traços de CH₄. Laser power: 514 nm, 800 mw, slits: 500 μ, objetiva x150 água, 1500v, CTS/SEC contagens por segundo, RCM-1 = número de onda relativo em cm⁻¹

Figure 3 – Raman spectrum of a aquo-carbonic fluid inclusion, type C₁, sample CF 555, Córrego da Água Fria. There is CO₂ and possible traces of CH₄. Laser power: 514 nm, 800 mw, slits: 500 μ, objective x 150 water, 1 500 v

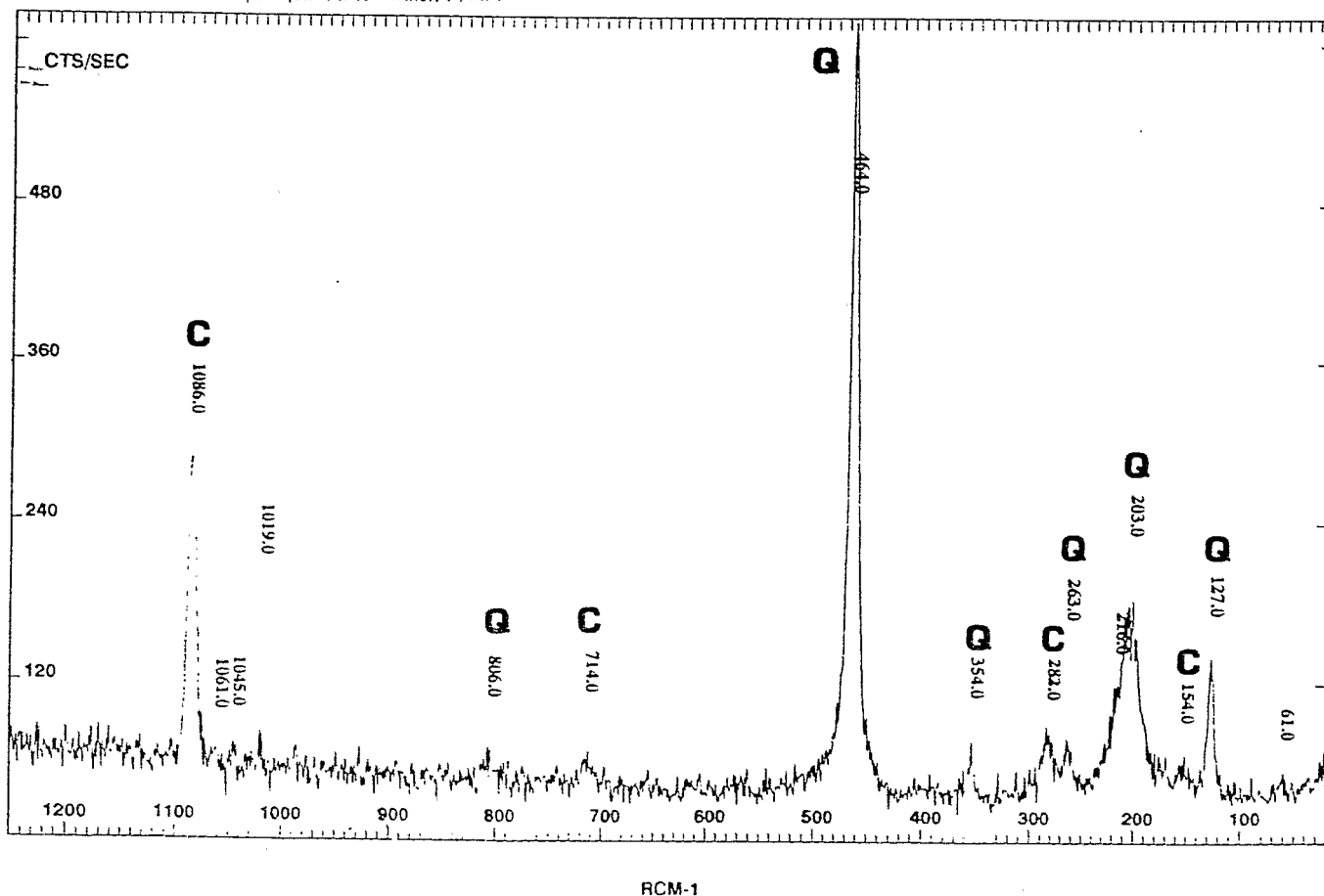


Figura 4 – Espectro Raman sobre a calcita encontrada dentro da inclusão fluida tipo CO₂ (amostra CF 648 - Morro do Ouro)

Figure 4 – Raman spectrum in a calcite trapped crystal in a CO₂ type fluid inclusion (sample CF 648 - Morro do Ouro)

Tabela 1 – Comparação dos dados microtermométricos obtidos nas inclusões carbônicas tipo C₁ (Córrego da Água Fria) e tipo C₂ (Morro do Ouro). VF CO₂% = volume da fase CO₂ (líquida + gasosa); Tf CO₂ °C = temperatura de fusão da fase H₂O gelo em °C; Td clat °C = temperatura de decomposição do clatrato em °C; Th CO₂ °C = temperatura de homogeneização da fase CO₂ em °C, (l - na fase líquida, g - na fase vapor); Th °C = temperatura de homogeneização total em °C, (l - na fase líquida, g - na fase vapor); Tc °C = temperatura de decrepitação em °C; salinidade em % peso equivalente NaCl obtida a partir dos dados de decomposição do clatrato; d CO₂ = densidade da fase CO₂ em g/cm³; d total = densidade total da inclusão em g/cm³. * Inclusão que sofreu vazamento. máx. = valores máximos; mín. = valores mínimos; freq. = número de inclusões estudadas

Table 1 – Microthermometric data of the aquo-carbonic inclusions type C₁ and C₂: VF CO₂ % = CO₂ phase volume (liquid + vapor), Tf CO₂ °C = melting temperature of the solid CO₂ phase in °C; Tf H₂O °C = melting temperature of the ice H₂O phase in °C; Td clath °C = decomposition temperature of the clathrate in °C; Th CO₂ °C = Homogenization temperature of the CO₂ phase in °C (l - liquid phase, g - vapor phase); Th °C = total homogenization temperature in °C (l - liquid phase, g - vapor phase); Tc °C = decrepitation temperature in °C; salinity in weight % eq. NaCl calculated in relation of the clathrate temperature decomposition; d CO₂ = CO₂ phase density in g/cm³; d total = inclusion total density in g/cm³. * Inclusion that undergo leakage. máx. = maximum values; mín. = minimum values; freq. = number of studied inclusions

	C1			C2			
	Córrego	Água Fria		Morro do	Ouro		
	CF 555	17 incl		CF 648	52 incl		
	mín	máx	n°med	mín	máx	n°med	
VFCO ₂ %	12	20	15	10	30	45	
TfCO ₂ °C	não	obs.		-57,7	-56,1	13	
TfH ₂ O°C	-7,5	-5,1	16	-15,7	-12	6	
Tdclat°C	6,5	7,2	8	0,07	2,2	33	
ThCO ₂ °C l	22,5	29	3	23,4	30,5	17	
	g	29,3	30,2	5	27,3	31,2	12
Th°C l	142,9	179,5	9	149,8	347	20	
	g			279,2	445,3	5	
Tc°C	153,7	231,5	6	152,5	268,4	5	
Salinidade	6	7	8	13,2	15,1	33	
d CO ₂	0,34	0,75	7	0,28	0,74	20	
d total	0,91	1,014	7	0,93	1,047	20	
% peso CO ₂	4,2	8,9	7	5,9	22,4	20	

Quatro inclusões foram identificadas com o espectrômetro Raman claramente como tipo Lc e apresentaram as seguintes salinidades e temperaturas de crepitação (esta última obtida em apenas duas inclusões): 8,0% peso eq. NaCl e 153,5°C. 10,0% peso eq. NaCl (CF 555); 15,1% peso eq. NaCl (CF 98); e 10,6% peso eq. NaCl e 185,0°C (CF 648). A salinidade destas quatro inclusões é sempre semelhante à de suas vizinhas, e aquela da lâmina CF 648, que ocorre em um alinhamento do tipo L, apresentou sinais de vazamento antes das medidas, o que sugere a hipótese de contaminação para a origem desta inclusão.

Verificando-se os histogramas de temperaturas de fusão do gelo e salinidade, que apresentam dois picos evidentes, um a -5,0°C (salinidade 7 a 8% eq. peso NaCl) e outro a -9,0°C (salinidade 13 a 14% eq. NaCl, Fig. 5 e 6) pode-se subdividir o tipo L, respectivamente em tipos L₁ e L₂ (Tab. 2). No histograma de frequência de temperatura de homogeneização (Fig. 7), a diferença dos tipos L₁ e L₂ é menos marcante devido à dispersão das Th, possivelmente em decorrência dos processos de estrangulamento.

Três medidas de fusão do gelo foram observadas em torno de 0 e -1°C, correspondendo a grandes inclusões, encontradas nos

interstícios dos grão de quartzo, formando microgeadas e com especularita como sólido accidental.

No diagrama de temperaturas de homogeneização x salinidade (Fig. 8), verifica-se que cada um dos tipos definidos (C₁, C₂, L₁ e L₂) ocupa um domínio próprio. O tipo Lc não possui dados confiáveis em número suficiente para ser representado. Entretanto, é interessante ressaltar a distribuição da salinidade destas inclusões que está dispersa entre 8 e 15,1% eq. peso NaCl.

As inclusões monofásicas do tipo M são pequenas demais para fornecerem dados sobre sua salinidade. Entretanto, as citadas inclusões monofásicas maiores e associadas aos tipos L₁ e L₂ apresentaram em média -1,5 (7 medidas) e -8,7 (9 medidas), que se aproximam dos tipos L₁ e L₂ respectivamente. Possivelmente, são inclusões formadas por estrangulamento.

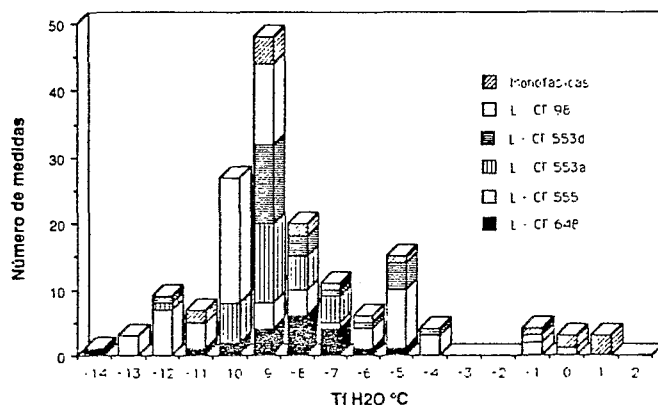


Figura 5 – Distribuição das temperaturas de fusão do gelo (H₂O) das inclusões tipos L, Lc e M. O tipo L₁ possui salinidades entre -4 e -6 °C e o tipo L₂ entre -6 e -14 °C. É impossível diferenciar o tipo Lc do tipo L por meio da microtermometria. CF 98, CF 555: amostras da mina do Córrego da Água Fria, CF 553 a,d: amostras da mina do Periquito, CF 555: amostra do Morro do Ouro

Figure 5 – Histograms of the meltings point of ice of the types L, Lc and M inclusion. The type L₁ has salinities from -4 to -6°C and the type L₂ from -6 to -14°C. There is no difference between types Lc and L only by microthermometric data. CF 98 and CF 555: samples from Córrego da Água Fria, CF 553 a, d: samples from Mine of Periquito, CF 555: sample from Morro do Ouro

INTERPRETAÇÃO DOS DADOS MICROTERMOMÉTRICOS

O estrangulamento (*necking down*) das inclusões é evidenciado por sua morfologia característica (Fig. 2). É também sugerido pela ocorrência de diversas inclusões com salinidade constante e Th variável, formando tendências verticais (Fig. 8), especialmente na ocorrência de quartzo CF 98 do Córrego da Água Fria, cuja salinidade corresponde ao tipo L₂ (Fig. 9). Este tipo de alteração pós-formacional, em geral, faz com que os histogramas de Th sejam achatados e dispersos sem nenhum pico máximo bem definido e pode provocar uma forte dispersão dos valores da densidade (ao alterar o volume da fase CO₂). Entretanto, os dados de salinidade permanecem confiáveis. Em seguida, são discutidas as outras possibilidades de interpretação de tendências verticais.

Outro tipo de alteração pós-formacional, o vazamento (*leakage*) observado de diversas inclusões fluidas, eventualmente, durante o aquecimento de algumas inclusões em todas as amostras estudadas, é caracterizado por um súbito aumento do volume da fase gasosa. Estes dados são registrados como temperatura de crepitação e, apesar de constituírem temperaturas mínimas de formação, não foram usados na construção de histogramas ou diagramas Th x salinidade. Apenas quatro inclusões do tipo C₂ homogeneizaram na fase gasosa (Fig. 8).

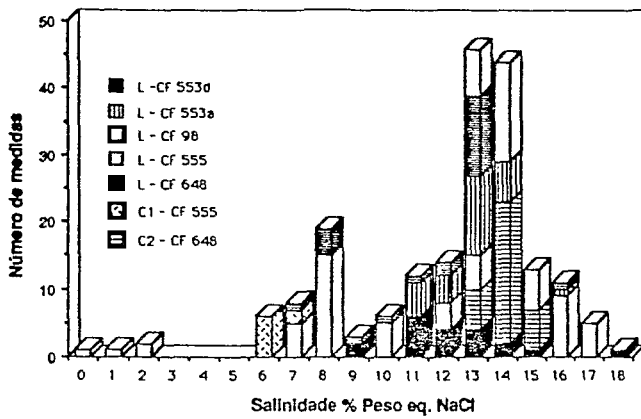


Figura 6 – Distribuição da salinidade observada nas inclusões tipos C₁ e C₂ (calculada a partir da dissolução do clatrato) e L₂ (calculada a partir da fusão do gelo H₂O). L₁ possui salinidade em torno de 8% peso eq. NaCl e L₂ em torno de 13% peso eq. NaCl

Figure 6 – Histogram of the salinity in the types C₁ and C₂ inclusions (from clathrate dissolution) and L (from ice melting). The type L₁ has salinities near of wt. % eq. NaCl and L₂ near 13 wt. % eq. NaCl

Tabela 2 – Comparação dos dados microtermométricos obtidos nas inclusões fluidas aquosas tipos L₁ e L₂ na Mina do Periquito (CF 553 a,d), Córrego da Água Fria (CF 98 e 555) e Morro do Ouro (CF 648). T_f H₂O = temperatura de fusão do gelo (H₂O) em °C; Sal. = salinidade em % peso equivalente NaCl; Th = temperatura de homogeneização total em °C

Table 2 – Microthermometric data of the aqueous fluid inclusion type L₁ and L₂ in Periquito's mine (CF 553 a, d); Córrego da Água Fria (CF 98 and CF 555) and Morro do Ouro (CF 648). T_f H₂O = ice H₂O melting temperature in °C, Sal. = salinity in weight % eq. NaCl; Th = total homogenization temperature in °C

		CF 553a		CF 553d		CF 98		CF 555		CF 648	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
T _f H ₂ O	L1			-6	-4,9			-5,5	-4,7	-6	-5,6
	L2	-12,1	-7,2	-12,2	-7,2	-10,9	-9,8	-13,9	-6,4	-14,3	-7,4
Sal.	L1			7,9	9,4			7,5	8,8	9	9,4
	L2	11	16,1	11,8	16,2	13,8	14,9	10	17,9	10,6	15
Th	L1			78,7	111,5			126,6	181,9	98,8	119
	L2	76,5	156,5	97,4	132,8	105,5	159	79,7	170,5	90,5	254,4

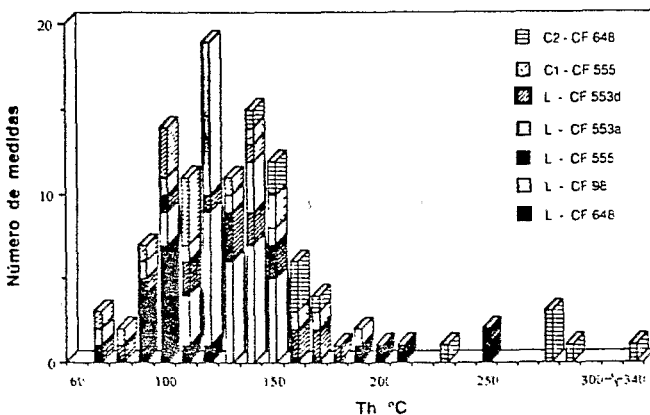


Figura 7 – Distribuição das temperaturas de homogeneização das inclusões tipos L, C₁ e C₂

Figure 7 – Histogram of the homogenization temperature of the types L, C₁ and C₂ inclusions

Considerando que suas Th são anormalmente altas e que seu volume de fase gás antes do aquecimento era de 20%, é evidente que sua homogeneização na fase gasosa é devida a vazamento, possivelmente seguido de rápida cicatrização da fissura que teria permitido este vazamento parcial. Todos os dados suspeitos de vazamento foram desconsiderados.

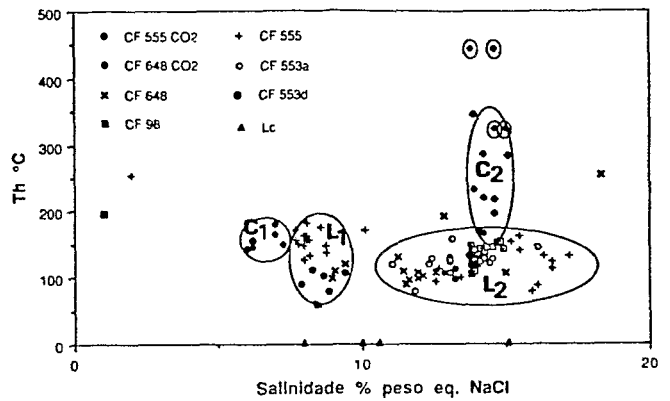


Figura 8 – Diagrama Th x salinidade obtido nas mesmas inclusões. Cada tipo descrito (C₁, C₂, L₁ e L₂) ocupa um campo próprio. As inclusões marcadas com um pequeno círculo apresentaram evidências de vazamento (leakage) durante o aquecimento

Figure 8 – Th x salinity diagram, data from the same inclusions. Each described type (C₁, C₂, L₁ and L₂) occupies his own domain. The encircled inclusion has shown leakage evidences during heating

A dispersão dos dados microtermométricos provocada pelos fenômenos de vazamento e estrangulamento, especialmente quando não-identificados, podem dificultar sobremaneira a sua interpretação, como é possível verificar na figura 9. Mas isto não significa que todos indistintamente devam ser abandonados; se as medidas produzem resultados bem agrupados, forçosamente estes resultados possuem algum significado, que precisa ser conhecido (Weishrod 1984).

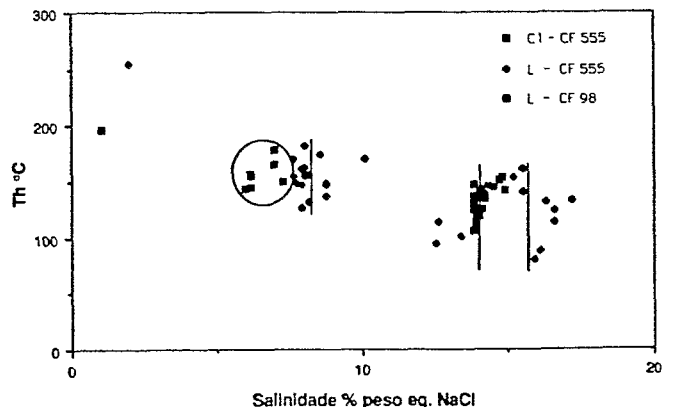


Figura 9 – Diagrama Th x salinidade (amostras CF 555 e CF 98, Córrego da água Fria). As tendências verticais representam estrangulamento. A dispersão dos dados impossibilita a interpretação. Entretanto, os valores de salinidade correspondem aos tipos L₁ e L₂

Figure 9 – Th x salinity diagram (CF 555 and CF 98 samples from Córrego da Água Fria). The vertical trends are necking down evidences; the scattering data troubled the interpretation, although the salinity data show a clearly correspondance with the L₁ and L₂ types

A figura 10, com os resultados obtidos nas amostras do Morro do Ouro e mina do Periquito, apresenta dados razoavelmente bem agrupados para os tipos L₁, L₂ e C₂. Na mina do Periquito, mesmo levando em conta a ausência do tipo aquo-carbônico, as inclusões do tipo L₁ e L₂ superimpõe-se e reforçam os resultados obtidos no Morro do Ouro.

A tendência vertical das inclusões tipo C₂, observada na figura 10, pode resultar de três fatores principais: 1. alterações pós-formationais: estrangulamento, vazamento ou deformação permanente (stretching). Evitou-se utilizar dados provenientes de inclusões onde são evidentes os indícios de alterações pós-

formacionais; 2. diminuição da pressão, temperatura ou ambos ao mesmo tempo; 3. aumento de temperatura devido à elevação do gradiente térmico (intrusão ígnea). Foi construído, também, o diagrama ThCO_2 x salinidade (Fig. 11), o qual permite o uso de um número maior de dados e que reforçam a tendência observada para as inclusões tipo C_2 na figura 10. Estes dados permitem suspeitar que o fluido aquo-carbônico C_2 tenha sofrido uma diminuição de temperatura e/ou pressão sem variar significativamente sua salinidade até atingir as condições de temperatura e salinidade do fluido L_2 . Convém lembrar que os tipos de inclusões C_2 e L são encontrados lado a lado em alinhamentos grosseiros na amostra do Morro do Ouro (CF 648, Fig. 2).

Os fluidos L_2 (quente e salino) e L_1 (relativamente mais frio e menos salino), cujas inclusões ocorrem sistematicamente associadas em alinhamentos e agrupamentos grosseiros nas três ocorrências estudadas, apresentam uma correlação positiva dos dados de Th e salinidade. Esta tendência pode ser interpretada de acordo com Ramboz (1980) e Shepherd *et al.* (1985) como apresentando uma mistura; isto é, diluição de dois fluidos (Fig. 10).

Qual a relação do fluido aquo-carbônico precoce (inclusões tipo C_2) com a mistura de fluidos aquosos tardios (inclusões tipos $L_1 + L_2$)? A constatação de que estes dois tipos de inclusões ocorrem associados em grupos e alinhamentos grosseiros na amostra do Morro do Ouro poderia ser indício de sua cogeneticidade. Assim sendo, em linhas gerais, é possível sugerir a ocorrência de um fluido aquo-carbônico salino em resfriamento que sofre uma mistura mecânica com fluidos aquosos salinos mais frios. A existência de inclusões carbônicas com proporções gradualmente variáveis de CO_2 (de 22,4 a 5,9% peso de CO_2) e de inclusões aquosas com fraca presença de CO_2 apenas detectável pela espectrometria Raman (tipo L_c), poderia constituir mais um indício desta mistura gradual. Esta variação gradual é também sugerida pelos espectros Raman das inclusões fluidas tipos C_1 e C_2 . Neste caso, o fluido carbônico C_1 , mais frio, menos salino, menos denso e com proporções de CO_2 (de 8,9 a 4,2% peso CO_2) menores ou equivalentes às mais fracas do tipo C_2 , pode ser considerado como resultado da mistura do fluido aquo-carbônico original com os fluidos aquosos tardios.

Por outro lado, parece razoável pensar que as variações das proporções de CO_2 possam ser explicadas pelo estrangulamento e/ou avaliações imprecisas do volume da fase CO_2 . Porém, os dados da espectrometria molar Raman, especialmente a existência do tipo L_c constituem um forte indício a favor da ocorrência de uma mistura de fluidos aquosos (tipo L) com fluidos carbônicos (tipo C). Se esta mistura for considerada possível, poderão ser tecidas algumas considerações interessantes sobre a evolução do fluido mineralizante e as condições de transporte e deposição do ouro.

EVOLUÇÃO DO FLUIDO MINERALIZANTE As citadas variações quantitativas da composição química dos fluidos foram determinadas por meio do cálculo da composição das inclusões. Os parâmetros utilizados nestes cálculos foram aqueles obtidos a partir dos dados microtermométricos e interpretados em relação aos dados experimentais do sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ (Potter 1977, Potter *et al.* 1978) e do sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ (Hollister & Burrus 1976, Swanenberg 1979), cujos resultados estão agrupados nas tabelas 1 e 2. As composições globais das inclusões aquo-carbônicas C_2 e C_1 caracterizam uma fase da evolução do sistema hidrotermal, definida pelo aprisionamento sucessivo de inclusões carbônicas cujo teor em água aumenta progressivamente sem incorporar CH_4 e outros voláteis ($C_2 \rightarrow C_1$, Fig. 12A). Uma tal evolução de composição traduz, sem dúvida, uma diluição progressiva dos fluidos carbônicos dentro de um progresso sem variações notáveis da $f\text{O}_2$. Esta diluição está relacionada à introdução dos fluidos L , fenômeno este que se efetuou durante uma evolução termo-

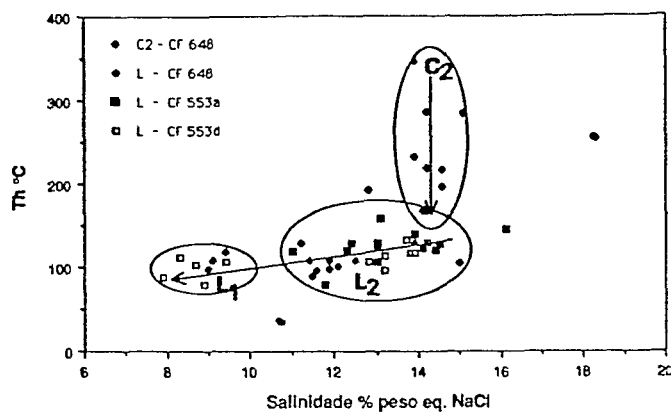


Figura 10 – Superposição dos dados Th x salinidade da Mina do Periquito (CF 553a, d) e do Morro do Ouro CF 648)
Figure 10 – Th x salinity diagram of the Periquito's mine (CF 553 a, d) and of Morro do Ouro (CF 648)

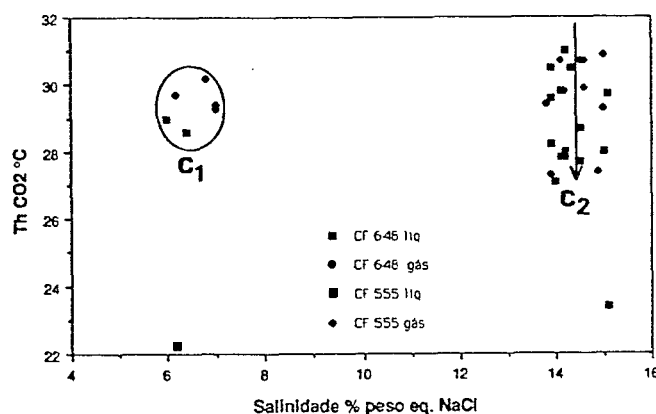


Figura 11 – Diagrama Th CO_2 x salinidade das amostras CF 648 (Morro do Ouro) e CF 555 (Córrego da Água Fria). liq. homogeneização na fase líquida, gás. homogeneização na fase vapor

Figure 11 – CO_2 homogenization temperature x salinity diagram (CF 648 - Morro do Ouro and CF 555 - Córrego da Água Fria). liq. liquid phase homogenization, gas. vapor phase homogenization

barométrica regular caracterizada pelo aprisionamento de fluidos subcríticos. As condições de pressão e temperatura deste processo devem ser estabelecidas próximo às condições críticas que permitem a mistura dos fluidos C_2M (máximo) e o fluido L_2 , isto é, por volta de 350°C e com uma pressão de 2,0 a 2,5 kbar (Fig. 12B). As condições da evolução $C_2 \rightarrow C_1$ desenvolveram-se com a diminuição da salinidade (de 15 a 6% eq. peso NaCl) e também de temperatura e pressão com o aprisionamento do fluido C_1m (mínimo) em aproximadamente 150°C 3 1,8 kbar de pressão.

A presença das inclusões tipo L_c comprova esta mistura mecânica de fluidos com uma variação notável das salinidades distribuídas entre 8 e 15% eq. peso NaCl. A figura 12A ilustra esta evolução de composição dos fluidos $C_2M \rightarrow C_1m$ e L_c .

As inclusões fluidas dos filões de quartzo auriferos de Sena registram uma evolução termobarométrica regular caracterizada pela circulação de fluidos aquo-carbônicos precoces, ricos em CO_2 e de salinidade média a forte, para temperaturas de $400-450^\circ\text{C}$ e pressões de cerca de 3 kbar (estágio hipotermal do sistema hidrotermal). Estes fluidos aquo-carbônicos precoces exibem uma evolução físico-química caracterizada por um aumento do teor em água do fluido e um abaixamento do teor em CO_2 durante um decréscimo regular das condições termobarométricas. Esta evolução pode ser interpretada como uma diluição progressiva das inclusões aquo-carbônicas em condi-

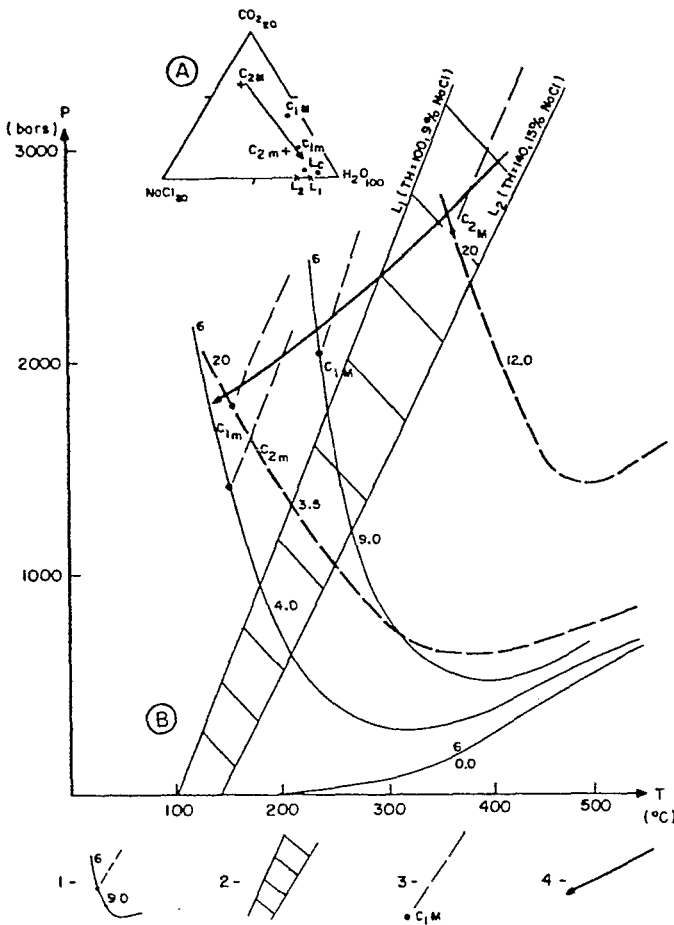


Figura 12 – Reconstrução das condições P-T-X da evolução dos fluidos aquo-carbônicos (tipo C_2 , C_1) e aquosas (L_2 , L_1) A. Evolução da composição química dos fluidos no diagrama triangular CO_2 - H_2O - $NaCl$. Os dados das inclusões C_2M (C_2 máximo); C_2m (C_2 mínimo), C_1M , C_1m ; L_1 , L_2 e Lc correspondem àqueles das tabelas 1 e 2. A seta mostra a evolução da composição dos fluidos com o desaparecimento do CO_2 (fluidos Lc , L_2 e L_1). B. Evolução termobarométrica dos fluidos no diagrama $P \times T$. 1. curva crítica do sistema H_2O - CO_2 - $NaCl$ para uma composição de 6% eq. peso $NaCl$; 9,0 moles % do CO_2 ; 2. isócoras dos fluidos L_2 e L_1 com o domínio de possível circulação destes fluidos; 3. isócora para o fluido C_1M da tabela 1; 4. provável evolução P-T do fluido aquo-carbônico

Figure 12 – Reconstruction of aqueous (L_2 , L_1 types) and aquo-carbonic fluids (C_2 , C_1 types) P-T-X evolution. A. Evolution of the fluids chemical composition in the CO_2 - H_2O - $NaCl$ triangular diagram. The C_2M ($M = \text{maximum}$), C_2m ($m = \text{minimum}$), C_1M , C_1m ; L_1 , L_2 and Lc inclusion data are in the tables 1 and 2. The arrow shows the fluids composition evolution with CO_2 proportions decrease (Lc , L_2 and L_1 fluids). B. Thermobarometric fluids evolution in the $P \times T$ diagram. 1. critical curve of the system H_2O - CO_2 - $NaCl$ to a composition of 6 weight % $NaCl$; 9.0 mol % CO_2 ; 2. L_2 and L_1 fluids isochores, 3. C_1M fluid isochore; 4. probable P-T evolution of the aquo-carbonic fluid

ções oxidantes. Fluidos aquosos de salinidade fraca são aprisionados durante os estágios mais tardios da evolução (estágio mesotermal do sistema hidrotermal).

CONDIÇÕES DE TRANSPORTE E DEPOSIÇÃO DO OURO

O transporte do ouro pode ser relacionado ao fluido aquo-carbônico, e o processo de diluição progressiva assinalado foi provavelmente favorável à sua precipitação no estado nativo. Estes processos de diluição implicam em variações das composições dos fluidos (Ramboz 1980, Giuliani 1984), assim como o aumento do pH, que são susceptíveis

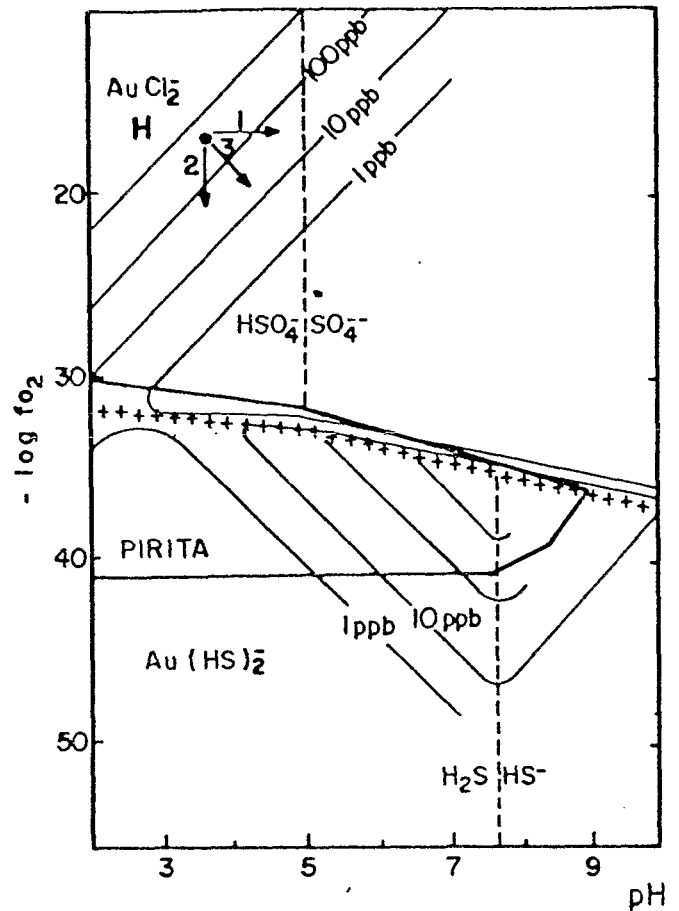


Figura 13 – Diagrama $\log fO_2$ - pH apresentando as curvas de solubilidade do ouro na forma $AuCl_2^-$ e $Au(HS)_2^-$ a $T = 250^\circ C$, $\Sigma s = 0,02 \mu$ (Seward & Barnes 1987 in Touray 1987); H. campo de estabilidade da hematita; os traços fortes delimitam o campo de existência da pirita

Figure 13 – $fO_2 \times pH$ diagram showing the $(AuCl_2^- \text{ and } Au(HS)_2^-)$ gold solubility curves at $T = 250^\circ C$, $\Sigma s = 0,02 \mu$ (Seward & Barnes 1987 in Touray 1987); H. stability domain of hematite, the strong lines shown the pyrite domain

de diminuir a solubilidade dos elementos, como o ouro (Touray 1987 in Touray, J-C.), especialmente na faixa de temperatura determinada para este estudo (entre 150 e $350^\circ C$). Os dados sobre a solubilidade do ouro nos diagramas $\log fO_2$ -pH (Seward & Barnes 1987), com as espécies complexantes $AuCl_2^-$ e $Au(HS)_2^-$, e nos intervalos de temperatura do estudo mostram (Fig. 13): a total ausência da pirita na paragénese e a presença constante de fato este que deve ser correlacionado também com a ausência de CH_4 e outros voláteis como H_2S e N_2 nos fluidos. Estas constatações implicam em condições de fugacidade de oxigênio elevadas que correspondem, na figura 13, ao campo de estabilidade da hematita (domínio H-). Neste domínio, onde predominam HSO_4^- e SO_4^{2-} , o ouro é solúvel sob a forma de $AuCl_2^-$. Os mecanismos de precipitação possíveis do ouro serão: 1. uma elevação do pH, 2. uma diminuição da fO_2 , ou 3. ambos (percursos 1, 2 e 3 da figura 13). A mistura dos fluidos se desenvolveu de acordo com uma evolução termobarométrica regular com diminuição de P e T, sem variação da composição química do componente carbônico (CO_2 puro). Portanto, esta evolução foi realizada a fO_2 constante; e, neste caso, a precipitação do ouro resultou do aumento do pH da solução (trend I, Fig. 13), fenômeno este favorecido pelo processo de diluição do fluido carbônico inicial.

CONCLUSÕES Apesar das dúvidas levantadas pela ocorrência de alterações pós-formationais e da cronologia dos diversos tipos de inclusões não ser absolutamente clara, ocorrem para todas as amostras estudadas: (1) inclusões fluidas aquo-carbônicas - correspondem às inclusões fluidas precoces cuja temperatura de homogeneização situa-se entre +150 e +300°C e as salinidades entre 6 e 14% eq. peso NaCl. Tratam-se de fluidos com CO₂ puro e possíveis traços de CH₄; (2) aquosas - são inclusões aquosas tardias, bifásicas em temperatura ambiente, com Th entre 70 e 200°C, e salinidades variáveis, entre 8 e 13% eq. peso NaCl.

A análise dos dados microtermométricos e Raman relativos às inclusões fluidas dos veios de quartzo auríferos de Costa Sena permitiu a caracterização de alguns parâmetros físico-químicos dos fluidos responsáveis pelo transporte e deposição do ouro. As proporções gradualmente variáveis de CO₂ e a existência do tipo Lc verificada pela espectrometria Raman permitem supor uma evolução do sistema hidrotérmal caracterizada pelo aprisionamento sucessivo de inclusões

fluidas aquo-carbônicas cujo teor em água aumenta progressivamente. Este processo característico de um fenômeno de diluição se desenvolveu em condições de fO₂ constante, durante diminuição de salinidade, temperatura e pressão.

A ausência de pirita e a presença de hematita implicam em alta fO₂, que é o domínio de predominância de HSO₄⁻ e SO₄²⁻, no qual o ouro é solúvel sob a forma de AuCl₂. Nas condições de fugacidade de oxigênio constante é mais provável supor que o ouro tenha se precipitado devido a um aumento do pH da solução, processo este favorecido pela diluição do fluido carbônico original.

Agradecimentos Este trabalho foi possível graças ao apoio do CNPq e do convênio CAPES/COFECUB mediante concessão de bolsa, e da infra-estrutura fornecida pela Universidade de Brasília e CNRS - Orléans, França, especialmente na pessoa do Dr. Ph. Rossi. Agradecemos, também, as sugestões do Dr. J.-C. Touray.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOZZO, A.T.; CHIEN, J.R.; BARDUHN, A.J. 1973. The properties of hydrates of chlorine and carbon dioxide. In: INTER. SYMP. FRESH WATER FROM THE SEA, 4. 1973. *Proceedings...* v. 3, p. 437-451.
- COLLINS, P.F.L. 1979. Gas hydrates in CO₂-bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity. *Econ. Geol.* (6): 1435-1444.
- DELHAYE, M.C. & DHAMELICOURT, P. 1975. Raman microprobe and microscope with laser excitation. *J. Raman Spectros.*, 3:33.
- FUJIKAWA, K. 1985. Inclusões fluidas: métodos usuais de estudo e aplicações. In: *Contribuições à Geologia e à Petrologia*. Belo Horizonte, SBG/ NMG. p. 29-44.
- GIULIANI, G. 1984. Les concentrations filoniennes à tungstène-étain du massif granitique des Zaër (Maroc Central): minéralisations et phases fluides associées. *Mineral. Deposita*, 19(2):193-201.
- HOLLISTER, L.S. & BURRUS, R.C. 1976. Phase equilibria in fluid inclusions from the Khtada lake metamorphic complex. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 40(2):163-175.
- INDA, H.A.C.; SCHORSCHER, H.D.; DARDENNE, M.A.; SCHOBENHAUS, C.; HARÁLYI, N.L.E.; BRANCO, P.C.A.; RAMALHO, R. 1984. O Cráton do São Francisco e a faixa de dobramentos Araçuaí. In: SCHOBENHAUS C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, GR., ASMUS, H.E. (coord.). *Geologia do Brasil*. Rio de Janeiro, DNP. p. 193-248. (Capítulo 5).
- PFLUG, R. & CARVALHO, R.T. 1964. *A Evolução Estrutural da Região de Gouveia, Serra do Espinhaço, M.G.* Rio de Janeiro, DNP/MDGM. (Boletim 213).
- POTTER, R.W. 1977. Pressure corrections for fluid inclusions homogenization temperatures based on the volumetric properties of the system NaCl-H₂O. *J. Res. U.S. Geol. Survey*, 5(5):603-607.
- POTTER, R.W.; CLYNNE, M.A.; BROWN, D.L. 1978. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. *Econ. Geol.*, 73(2):284-285.
- POTY, B.; LEROY, J.; JACHIMOWICZ, L. 1976. Un nouvel appareil pour la mesure des températures sous le microscope: l'installation thermométrique Chaixmecca. *Bull. Soc. Fr. Miner.*, 99(2-3):182-186.
- RAMBOZ, C. 1980. *Géochimie et Étude des Phases Fluides de Gisements et Indices d'Étain-Tungstène du Sud du Massif Central (France)*. Nancy. 278 p. (Thèse 3^{ème} cycle, INPL).
- ROSASCO, G.J. & SIMMONS, J.H. 1974. Investigation of gas content of inclusions by Raman scattering spectroscopy. *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 53(9):626-630.
- SCHÖLL, W.U. 1980. Estratigrafia, sedimentologia com paleogeografia na região de Diamantina (Serra da Espinhaço, MG, Brasil). *Münstersche Forsch. Geol. Paläontol.*, 51:223-40.
- SHEPHERD, T.S.; RANKIN, A.H.; ALDERTON, D.H.M. 1985. *A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies*. London, Ed. Blackie. 239 p.
- SWANENBERG, H.E.C. 1979. Phase equilibria in carbonic systems and their application to freezing studies of fluid inclusions. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 68:303-306.
- TOURAY, J.-C. 1987. Transport et dépôt de l'or dans les fluides de la croûte continentale, l'apport des études d'inclusions fluides. *Chron. Rech. Min.*, 55(488):43-53.
- WEISBROD, A. 1984. Utilisation des inclusions fluides en géothermobarométrie et Barométrie Géologiques. *Soc. Franç. Min. Cristal.*, 2:413-459.

MANUSCRITO A690

Recebido em 26 de janeiro de 1991

Revisão do autor em 6 de fevereiro de 1992

Revisão aceita em 26 de fevereiro de 1992