

COMPOSIÇÃO E EVOLUÇÃO DOS FLUIDOS NO DEPÓSITO AURÍFERO SÃO FRANCISCO, FAIXA SERIDÓ, PROVÍNCIA BORBOREMA, NORDESTE DO BRASIL

WANILSON LUIZ-SILVA¹, JEAN MICHEL LEGRAND¹ & ROBERTO PEREZ XAVIER²

ABSTRACT *COMPOSITION AND EVOLUTION OF FLUIDS IN THE SÃO FRANCISCO GOLD DEPOSIT, SERIDÓ BELT, BORBOREMA PROVINCE, NORTHEAST BRAZIL* The São Francisco gold deposit is located within the Seridó Belt, Borborema Province, Northeast Brazil. The deposit area consists predominantly of mica schists and minor calc-silicate lenses (Seridó Formation), that are metamorphosed to mid-upper amphibolite facies conditions and cut by pegmatite intrusions. The primary mineralization is considered to have occurred synchronously with the peak metamorphism and is hosted by the sillimanite-muscovite zone confined to a sin-S₃ medium to high angle shear zone, all considered to be Neoproterozoic. Free gold, or associated with Fe ± Cu ± Pb sulfides (especially pyrite), occurs within the veins or host mica schists as interstitial fine grains (primary mineralization) or segmented in millimeter- to centimeter-sized fractures (secondary mineralization). This study, accomplished in auriferous and barren quartz veins, consisted of the investigation in the mode of occurrence of the fluid inclusion populations, their textural relationships and analyses by microthermometry and Raman microspectroscopy. Four types of fluid inclusions have been identified, in decreasing order of abundance: type 1 - CO₂, with subordinate amounts of CH₄ and N₂; type 2 - H₂O, could contain a complex mixture of solutes; type 3 - CH₄-rich; and type 4 - H₂O-CO₂, with low-salinity. Most of the fluid inclusion populations occur along inter- and intragranular healed microfractures. Types 1, 3 and 4 are texturally the earliest and fill low- to moderate-angle microfractures, whereas type 2 inclusions are later and delineate mostly moderate- to high-angle microfractures, all referred to the XZ surface of finite strain ellipsoid. The microfractures host only one fluid inclusion type, except in one barren vein where carbonic (type 1) and aqueous-carbonic (type 4) inclusions were found along the same microfracture. In general, the auriferous veins contain fluid inclusions of types 1, 2 and 3, whereas the barren veins show types 1 and 2 or 1, 2 and 4. Dissolved salts in the aqueous fluid inclusions (type 2) of the barren veins are dominated by NaCl (± KCl), but in the auriferous veins NaCl, CaCl₂ and probably KCl, LiCl, MgCl₂ and FeCl₂ appear as important solutes. The results of this study, combined with structural, petrographic and metamorphic data, demonstrate that the circulation of aqueous-carbonic (low salinity) and aqueous fluids (varied salinity) occurred coevally during peak metamorphism and formation of the São Francisco gold deposit. Most of the inclusions of the aqueous-carbonic fluids suffered dehydration post-entrapment (the current carbonic inclusions) and the variable salinity of the aqueous fluids is consequence of the chemical mobility during the metamorphism. The primary mineralizing fluids were probably low-salinity aqueous-carbonic and both chlorine- (possibly dominant) and sulfur-complexes may have had an important role in the transport of the gold. It is possible that aqueous fluids with complex salts played a prominent role in the remobilization of the primary gold (sulfides) to the fractures. Although further studies are necessary for a better assessment of the processes responsible in the deposition of the primary gold, mixing of fluids, sulfidation and immiscibility within the fluid conduits (veins) appear to have been particularly important.

Keywords: Fluid Inclusions, Microthermometry, Raman Spectroscopy, Economic Geology, Seridó Belt.

RESUMO O depósito aurífero São Francisco, situado na Faixa Seridó, Nordeste do Brasil, é constituído por micaxistos com lentes de rocha cálcio-silicática (Formação Seridó), que estão metamorfizados em condições da fácies anfibolito médio-superior e cortados por intrusões de pegmatito. A mineralização primária é contemporânea ao pico do metamorfismo, está alojada na zona da sillimanita-muscovita e ocorre associada com veios de quartzo confinados em uma zona de cisalhamento sin-S₃ (mergulho de médio-alto ângulo), todos referidos ao neoproterozóico. O ouro, livre ou associado com sulfetos de Fe ± Cu ± Pb (especialmente pirita), ocorre dentro dos veios ou encaixantes, como grãos finos intersticiais (mineralização primária) ou segmentados em fraturas milimétricas a centimétricas (mineralização secundária). Este estudo, realizado em veios de quartzo auríferos e estéreis, consistiu na investigação do modo de ocorrência das populações de inclusões fluidas, suas relações texturais e análises por microtermometria e microespectroscopia Raman. Foram identificados quatro tipos de inclusões fluidas, por ordem decrescente de abundância: tipo 1 - CO₂, com concentrações subordinadas de CH₄ e N₂; tipo 2 - H₂O, podendo conter uma mistura complexa de solutos; tipo 3 - ricas em CH₄; e tipo 4 - H₂O-CO₂, com baixa salinidade. A maioria das populações de inclusões fluidas ocorre em microfraturas cicatrizadas inter e intragranulares. Os tipos 1, 3 e 4, texturalmente os mais antigos, estão relacionados a microfraturas de baixo-médio ângulo, com relação XZ do elipsóide de deformação finita, ao passo que o tipo 2 é posterior e encontra-se especialmente em microfraturas de médio-alto ângulo. As microfraturas hospedam apenas um tipo de inclusões fluidas, com exceção de um veio estéril que apresenta inclusões carbônicas (tipo 1) e aquo-carbônicas (tipo 4) em uma mesma microfratura. Em geral, os veios auríferos apresentam inclusões fluidas tipos 1, 2 e 3, enquanto os veios estéreis mostram os tipos 1 e 2 ou 1, 2 e 4. Os sais dissolvidos nas inclusões aquosas (tipo 2) dos veios estéreis são dominados por NaCl (± KCl), mas nos veios auríferos NaCl, CaCl₂ e provavelmente KCl, LiCl, MgCl₂ e FeCl₂ devem ser solutos importantes. Os resultados deste estudo, combinados com dados estruturais, petrográficos e metamórficos, denunciam que fluidos aquo-carbônicos (baixa salinidade) e aquosos (salinidade variada) circularam durante o pico do metamorfismo e formação do depósito aurífero São Francisco. A maioria das inclusões dos fluidos aquo-carbônicos sofreu desidratação pós-aprisionamento (atuais inclusões carbônicas) e a variável salinidade dos fluidos aquosos é consequência da mobilidade química durante o metamorfismo. Os fluidos mineralizantes primários foram provavelmente aquo-carbônicos com baixa salinidade e o ouro pode ter sido transportado tanto na forma de complexos clorados (possivelmente dominantes), quanto na forma de complexos de enxofre. É possível que fluidos aquosos com sais complexos tenham sido importantes na remobilização do ouro (sulfetos) primário para as fraturas. Embora sejam necessários estudos adicionais para um melhor entendimento dos processos responsáveis pela deposição do ouro primário, mistura de fluidos, sulfetação e imiscibilidade de fases dentro dos condutos de fluidos (veios) devem ter exercido um papel importante.

Palavras-chave: Inclusões Fluidas, Microtermometria, Espectroscopia Raman, Geologia Econômica, Faixa Seridó.

INTRODUÇÃO O estudo de inclusões fluidas em minerais tem se consolidado como uma ferramenta importante na obtenção de informações sobre a composição e evolução dos fluidos em sistemas metamórfico-hidrotermais, magmático-hidrotermais ou meteóico-hidrotermais e depósitos minerais associados, e auxiliado na definição da trajetória de pressão e temperatura (e.g. Hollister 1990, Sisson & Hollister 1990, Craw & Norris 1993, Xavier *et al.* 1994, Johnson & Hollister 1995, Olsen & Ferry 1995, Xavier & Foster 1999). Um dos grandes desafios do estudo de depósitos auríferos, em particular os do tipo veio (*lode-gold deposits*) confinados em zonas de cisalhamento, tem sido elucidar os fatores que promoveram as condições de formação das mineralizações em locais preferenciais ao longo das estruturas hospedeiras. Em algumas áreas, estes fatores podem estar ligados à ge-

ometria estrutural (e.g. Robert *et al.* 1990, Groves 1990, Sibson 1990, Sibson & Scott 1998), às características dos fluidos circulantes (e.g. Robert & Kelly 1987) ou a uma combinação de condições físicas e/ou químicas particulares (e.g. Romberger 1990, Kerrich & Cassidy 1994). Contudo, é indiscutível que os fluidos exercem um importante papel no transporte do ouro, cuja deposição está relacionada às mudanças nas variáveis físico-químicas do sistema hidrotermal (cf. Mikucki 1998, McCuaig & Kerrich 1998). Considerando estes aspectos, o estudo de inclusões fluidas constitui uma importante ferramenta para o discernimento dos fatores que causaram a formação de mineralizações.

O estudo aqui apresentado investiga as inclusões fluidas em amostras de veios de quartzo mineralizados e estéreis do depósito aurífero São Francisco, Nordeste do Brasil, com o objetivo de avaliar a nature-

1 Instituto de Química, Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense. Outeiro São João Batista, s/n, 5ª andar, centro, Niterói, RJ. CEP 24020-007. E-mails: wanilsonls@bol.com.br, legrand@geq.uff.br

2 Instituto de Geociências, Departamento de Metalogênese e Geoquímica, Universidade Estadual de Campinas. Caixa Postal 6152, Campinas, SP. CEP 13083-970. E-mail: xavier@ige.unicamp.br

za dos fluidos que circularam no ambiente tectono-metamórfico. A combinação deste estudo com investigações estruturais, petrográficas e metamórficas permite discutir a evolução dos fluidos e sua relação com a formação da mineralização.

AMBIENTE GEOLÓGICO A área de estudo contém o depósito aurífero São Francisco (DASF) e está localizada na Província Borborema (Almeida *et al.* 1977), no domínio da Faixa Seridó, Nordeste do Brasil (Fig. 1). A geologia regional tem sido documentada em vários trabalhos (e.g. Jardim de Sá 1984, Hackspacher *et al.* 1997, Luiz-Silva *et al.* 1997), sendo apresentado a seguir um resumo da mesma.

O embasamento da região é constituído por gnaisses e migmatitos, com idades arqueana e paleoproterozóica (Dantas *et al.* 1995). Sobre este contexto repousa discordantemente uma seqüência de rochas supracrustais de idade neoproterozóica (Van Schmus *et al.* 1996), pertencentes ao Grupo Seridó. De acordo com Jardim de Sá & Salim (1980), a unidade basal deste grupo é a Formação Jucurutu, constituída por gnaisses, anfíbolitos, mármore e rochas cálcio-silicáticas. A unidade intermediária é a Formação Equador, representada por quartzitos e metaconglomerados, e a superior, Formação Seridó, constituída por micaxistos e filitos. Durante a Orogênese Brasileira, o embasamento e a seqüência de rochas supracrustais foram intrudidos por batólitos (*stocks*, soleiras, diques) graníticos a granodioríticos, subordinadamente gabróticos a tonalíticos. A região sofreu uma complexa evolução tectônica durante o Neoproterozóico, marcada por estruturas de baixo e alto ângulos (e.g. foliações S_2 e S_3 , respectivamente), sobre as quais ocorreram cavalgamentos (S_2) e cisalhamentos transcorrentes (S_3). Neste contexto, as condições metamórficas foram da fácies xisto-verde até anfíbolito superior, salientando-se que alguns setores sofreram metamorfismo de contato (localmente fácies granulito) ou anatexia.

A área do DASF situa-se no topo estratigráfico do Grupo Seridó (Formação Seridó) e é composta por uma seqüência de micaxistos feldspáticos, com abundância de minerais índices aluminosos, e com os quais se associam níveis ou lentes centimétricas a decimétricas de rocha cálcio-silicática e corpos métricos de pegmatito (Fig. 2).

A estruturação do DASF tem sido interpretada como resultante de deformação progressiva, marcada especialmente pela inflexão gradual do mergulho da foliação, de 15° para 80° SE (cf. Luiz-Silva *et al.* 1997). Esta inflexão ocorreu segundo um eixo NNE e caracteriza a evolução de S_2 (baixo ângulo) para S_3 (alto ângulo). Não há um limite claro quanto ao final de S_2 e início de S_3 , entretanto, Luiz-Silva *et al.*

(1997) propuseram um limite teórico que seria no mergulho ao redor de 35°, em virtude das características do *rake* da lineação de estiramento mineral. Na foliação com mergulho inferior a 35° (S_2), esta lineação normalmente ostenta *rake* >45°, ao passo que na foliação com mergulho superior a 35° (S_3) a lineação apresenta *rake* <30° (geralmente subhorizontal). As estruturas de alto ângulo apresentam mergulhos predominantemente entre 45° e 80° SE, e aqueles superiores a 55° SE caracterizam os setores mais deformados, que definem as zonas de cisalhamento transcorrente.

O metamorfismo na área do DASF tem sido interpretado como regional e hidrotermal. O regional está relacionado às transformações minerais, durante as quais a circulação de fluidos não foi significativa. A cristalização mineral esteve condicionada à deformação (Luiz-Silva 1995). Os micaxistos representativos são constituídos especialmente por biotita (Fe/Mg ~1) + quartzo + plagioclásio ($X_{an} \sim 0,23$ a 0,30) + granada ($X_{alm} \sim 0,7$) e caracterizam a zona da granada (Fig. 2).

A infiltração de fluidos nos micaxistos da zona da granada resultou na cristalização significativa de minerais índices aluminosos, especialmente cordierita, estauroлита, andaluzita, muscovita e silimanita, caracterizando o metamorfismo hidrotermal, documentado ao longo de toda Formação Seridó (e.g. Legrand & França 1989, França & Legrand 1989, Cunha de Souza *et al.* 1991, Legrand *et al.* 1992, 1995, Luiz-Silva 1995, Luiz-Silva *et al.* 1993, 1994, Cunha de Souza 1996). Cálculos de balanço de massa indicam que a geração destes minerais ocorreu em meio à mobilidade expressiva de alguns componentes químicos (e.g. Si, Ca, Na, K, H, O) e imobilidade ou baixa mobilidade de outros (e.g. Al, Ti, Fe, Mn, Mg; Legrand *et al.* 1992, Cunha de Souza 1996, Luiz-Silva *et al.* 2000, Luiz-Silva em prep.). A participação do magmatismo brasileiro neste episódio, como fonte termal e de fluidos, tem sido admitida como de grande importância. O desenvolvimento de zonas de cisalhamento, aliado à característica físsil dos micaxistos, teve um papel fundamental para a mobilização de fluidos em escala regional. O metamorfismo hidrotermal foi responsável, na área do DASF, pela geração das zonas da cordierita-andaluzita (localmente ocorre estauroлита) e silimanita-muscovita (Fig. 2). A primeira zona representa o início do hidrotermalismo, enquanto a zona da silimanita-muscovita, o ápice.

Dados geotermobarométricos, com base na química mineral, revelam que as zonas metamórficas da área investigada foram submetidas a semelhantes condições de P ($3,5 \pm 0,7$ kbar) e T ($574 \pm 30^\circ$ C), e a cristalização de diferentes minerais índices aluminosos foi controlada particularmente pela atividade de elementos químicos na fase fluida (Luiz-Silva & Legrand 1996).

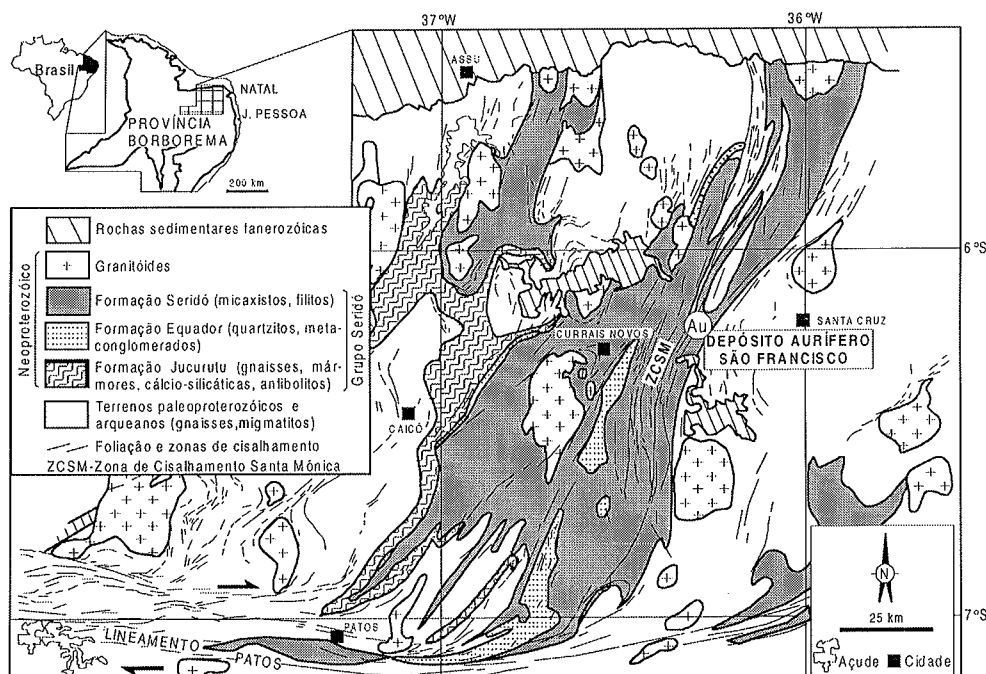


Figura 1 - Localização e esboço geológico da região do depósito aurífero São Francisco na Faixa Seridó (Modificado de Lima *et al.* 1980, Archanjo 1993 e Jardim de Sá 1994).

PRINCIPAIS ASPECTOS DA MINERALIZAÇÃO AURÍFERA

Os aspectos da mineralização do DASF estão detalhados em Luiz-Silva (1995), sendo resumidas a seguir as principais características com algumas informações apresentadas em Luiz-Silva (em prep.). O minério está encaixado em granada-silimanita-muscovita-biotita xistos feldspáticos (zona da silimanita-muscovita), normalmente bastante deformados. O evento mineralizante primário é interpretado como sin-metamórfico, em condições da fácies anfíbolito, e sin-S₃.

A faixa mineralizada (Fig. 2) está inserida na zona de cisalhamento São Francisco, denominação local (Luiz-Silva 1995) de um dos segmentos do cisalhamento regional Santa Mônica (Fig. 1). As reservas totais do minério alcançaram em 1987, 4 toneladas de ouro contido, com um teor médio de 2,5 a 6,6 ppm, localmente 100 ppm (Ferran 1988).

A mineralização pode ser dividida em primária (estágios 1 e 2) e secundária. Ocorre também uma faixa supergênica, normalmente intemperizada (capeamento superficial irregular do *trend* mineralizado, com 1 a 5 m de espessura), marcada pela alteração de sulfetos (goetitização/limonitização de pirita é comum) e não é considerada nesta síntese.

Mineralização primária O estágio 1 da mineralização primária é caracterizado pela presença de ouro livre ou associado com pequena quantidade de pirita, pirrotita e ocasionalmente calcopirita. Esta forma de ocorrência está associada com setores dos micaxistos encaixantes normalmente bastante deformados. O ouro pode ser visível a olho nu e geralmente constitui grãos finos, mas foram observados exemplares ligeiramente esféricos ou irregulares com 1 a 4 mm (dimensão mais longa). O ouro livre ou associado com sulfetos ocorre de forma intersticial no interior de veios de quartzo, na interface destes com os micaxistos encaixantes, ou em meio à foliação destas rochas. Quando relacionado com os veios de quartzo, o ouro constitui grãos geralmente subesféricos, ao passo que nos micaxistos constitui escamas acomodadas no plano de foliação S₃ (delgadas placas, com < 1 a 3 mm de dimensão mais longa, paralelas à S₃). As escamas podem ser constituídas essencialmente de ouro ou conter pequena quantidade de pirita

(pirrotita, calcopirita).

Os veios relacionados com o estágio 1 geralmente são pouco espessos (<10 cm), sendo aqueles com espessura inferior a 2 cm bastante frequentes. Muitas vezes o ouro disseminado na foliação dos micaxistos encaixantes está associado com vênulas quartzosas, mas em várias situações este metal ocorre livre na foliação, sem conotação com mobilizados silicosos.

O estágio 2 da mineralização primária é representado por veios de quartzo com agregados intersticiais de sulfetos. Ao contrário do estágio anterior, o estágio 2 é caracterizado pelo conteúdo significativo de sulfetos, dominados por pirita, seguindo-se galena (localmente abundante), calcopirita e pirrotita. A molibdenita ocorre raramente associada com galena. Os sulfetos também ocorrem em níveis milimétricos a submilimétricos confinados na foliação S₃ dos micaxistos encaixantes. O ouro é difícil de ser observado em amostras do estágio 2, mas as análises geoquímicas de rocha total revelam sua presença (Luiz-Silva em prep.). Pelo menos um grão de ouro muito fino foi observado ao microscópio, na forma de inclusão em pirita intemperizada. Os veios sulfetados apresentam normalmente espessura entre 10 e 15 cm, mas podem formar bolsões com até 25 cm de espessura.

RELAÇÃO ENTRE OS ESTÁGIOS 1 E 2 O estágio 1 está ligado aos setores estruturais geralmente bastante deformados, os quais apresentam a foliação S₃ proeminente, e é o mais rico em ouro. O estágio 2 ocorre de forma intermitente em meio ao estágio 1 e está associado com setores normalmente menos deformados, sendo possível identificar foliações pré-S₃. A presença marcante de pirita (galena, calcopirita, pirrotita) no estágio 2, aliada à diminuição da concentração do ouro, revela uma característica importante do minério do DASF: quanto maior a concentração de sulfetos, menor o conteúdo aurífero.

Mineralização secundária A mineralização secundária é caracterizada pela concentração do ouro ± sulfetos (especialmente pirita) em fraturas, com tamanho milimétrico (ocasionalmente centimétrico), geralmente oblíquas à direção de S₃. As fraturas ocorrem tanto nos veios da mineralização primária, quanto nos micaxistos encaixantes e

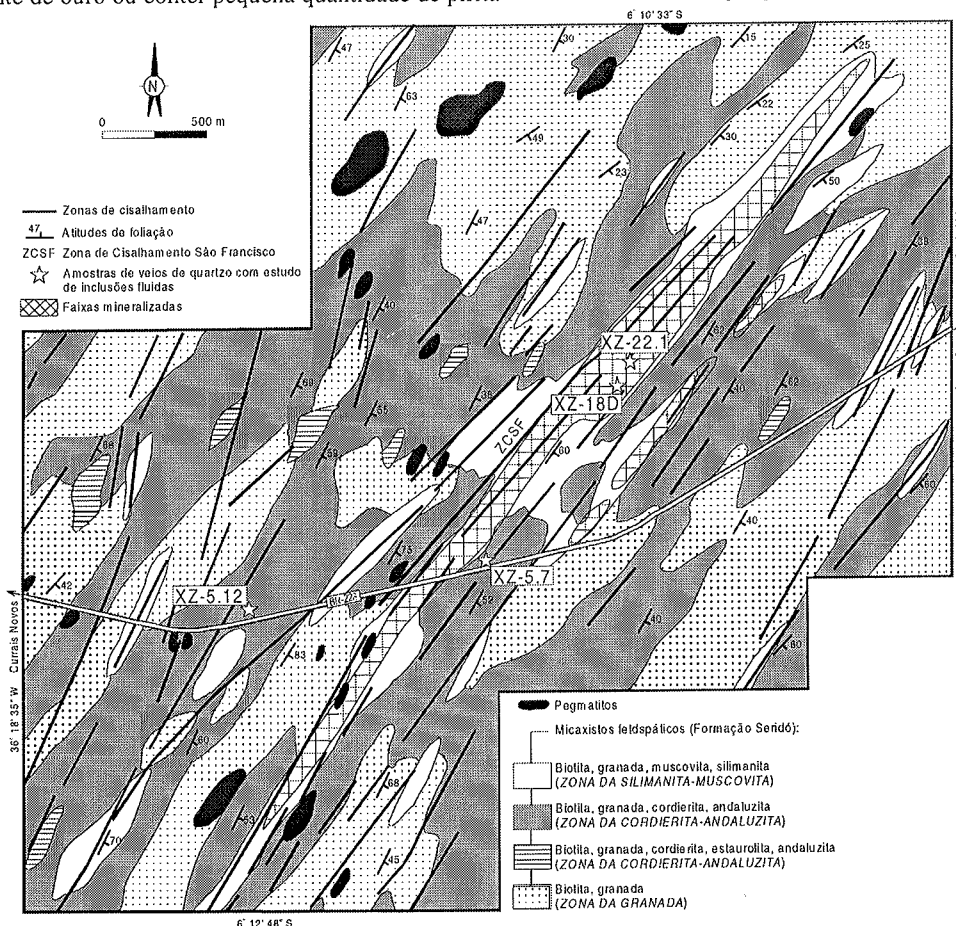


Figura 2 - Mapa metamórfico-estrutural simplificado da área do depósito aurífero São Francisco, com a localização das amostras investigadas (Modificado de Luiz-Silva 1995).

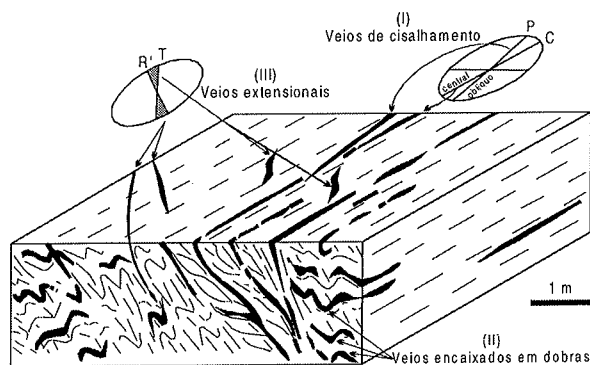


Figura 3 - Representação esquemática dos tipos geométricos de veios que ocorrem na área investigada: tipo (I) - veios de cisalhamento central (C) e oblíquo (P); tipo (II) - veios encaixados em dobras; e tipo (III) - veios extensionais.

o ouro foi observado como grãos segmentados, livres ou associados com pirita. Esta forma de mineralização é interpretada como consequência de remobilização do ouro e sulfetos primários.

NATUREZA DOS VEIOS E AS AMOSTRAS SELECIONADAS PARA O ESTUDO DE INCLUSÕES FLUIDAS

Os veios da área do DASF situam-se especialmente no contexto das zonas de cisalhamento com mergulho em alto ângulo ($\sin-S_3$), podem ser essencialmente quartzosos ou conter pequena quantidade de plagioclásio, biotita, sillimanita, muscovita e turmalina. Apresentam espessura geralmente inferior a 20 cm e, quanto à geometria, são classificados nos seguintes tipos (Fig. 3): (I) veios paralelos a levemente oblíquos com relação à direção de S_3 - veios de cisalhamento; (II) veios que acompanham pequenas estruturas dobradas; e (III) veios extensionais.

Os veios tipo I constituem os principais hospedeiros da mineralização aurífera e correspondem aos veios de cisalhamento central (tipo C, paralelos à S_3) e oblíquo (tipo P), respectivamente, de acordo com a classificação de Hodgson (1989). Foram gerados simultaneamente, sendo o oblíquo posicionado de 5° a 15° sinistrogiro à direção de S_3 . São contínuos por dezenas de metros ou descontínuos (*boudins*), estão associados com faixas mais deformadas e ocorrem como enxames ou isoladamente.

Os veios tipo II são tão frequentes quanto os tipo I e ocasionalmente constituem corpos mineralizados. Quando observados segundo cortes subhorizontais nos afloramentos, os veios tipo II mostram-se concordantes com a direção de S_3 e confundem-se com os tipo I. A distinção é feita nos cortes verticais, em virtude da forma dobrada dos veios tipo II (dobras desenhadas por S_1 ou S_2). Admite-se que estes veios não foram necessariamente dobrados, mas injetados em uma foliação dobrada, ou em curso de dobramento (Luiz-Silva *et al.* 1997). Sua geração é interpretada como consequência da fuga de SiO_2 das zonas de alta pressão (cisalhamentos) para sítios de alívio de pressão, durante a formação de S_3 . Os veios tipo II ocorrem em faixas com poucos metros de espessura, ladeadas por zonas com intensa deformação.

Os veios tipo III posicionam-se em ângulos superiores a 37° com relação à direção de S_3 , são estéreis e os menos numerosos. Ocorrem segundo fraturas T e R³ (raramente R) em segmentos retilíneos ou em forma de "S", com extensão inferior a 1 m.

As inclusões fluidas foram analisadas em quatro seções polidas nas duas faces, cortadas paralelas ao plano XZ do elipsóide de deformação finita e assim distribuídas: (1) duas amostras de veios de quartzo auríferos tipo I (amostras XZ-22.1 e XZ-18D; mineralização primária, estágios indistintos); (2) uma amostra de veio de quartzo estéril tipo I (amostra XZ-5.12); e (3) uma amostra de veio de quartzo estéril tipo III (amostra XZ-5.7). Os veios auríferos ocorrem no interior da zona da sillimanita-muscovita, ao passo que os estéreis, particularmente os investigados, na zona da cordierita-andaluzita, salientando-se que veios estéreis também ocorrem nas zonas da sillimanita-muscovita e granada (Luiz-Silva *em prep.*).

Nas amostras dos veios tipo I (auríferos e estéreis), os grãos de quartzo exibem microestruturas tais como lamelas de deformação e formação de subgrãos e grãos, indicando a ação da deformação dúctil, posterior à geração dos veios. Estas feições são incipientes na amostra do veio tipo III, na qual predominam grandes cristais de quartzo com

extinção ondulante. Em adição a estas microestruturas, ocorrem microfraturas que não necessariamente denunciam ambiente rúptil, lembrando que a alta pressão de fluidos pode agir como atenuante da pressão litostática, proporcionando condições frágeis mesmo em ambiente dúctil (e.g. Etheridge *et al.* 1984).

MODO DE OCORRÊNCIA E TIPOS DE INCLUSÕES FLUIDAS

As amostras investigadas dos veios auríferos, além de quartzo, contêm pirita e calcopirita, ao passo que as dos estéreis contêm essencialmente quartzo. A maioria das inclusões fluidas examinadas localiza-se em microfraturas cicatrizadas que podem ser classificadas, com relação à superfície XZ do elipsóide de deformação finita, nos seguintes estilos: (a) microfraturas de baixo-médio ângulo (ocasionalmente subhorizontais); e (b) microfraturas de médio-alto ângulo (ocasionalmente subverticais). As microfraturas normalmente cruzam limites de grãos (intergranulares), podendo eventualmente se restringirem a um grão (intragranulares). A observação de casos de truncamento de microfraturas de baixo-médio ângulo por outras de médio-alto ângulo sugere que estas últimas são mais jovens. Com base nos critérios de Roedder (1984), a maioria das inclusões estudadas pode ser interpretada como secundária e pseudo-secundária (e.g. inclusões alojadas em microfraturas inter e intragranulares, respectivamente). Em poucos casos, inclusões primárias foram investigadas, ocorrendo isoladas ou agrupadas em arranjos desordenados no interior e nos limites de grãos de quartzo.

Com relação à composição, as inclusões observadas podem ser classificadas em quatro tipos: carbônicas (tipo 1), aquosas (tipo 2), ricas em CH_4 (tipo 3) e aquo-carbônicas (tipo 4), em ordem decrescente de abundância. As microfraturas de baixo-médio ângulo estão relacionadas normalmente às inclusões tipos 1, 3 e 4, ao passo que as microfraturas de médio-alto ângulo estão preenchidas pelas inclusões tipo 2. Os agrupamentos primários (menos frequentes) geralmente são compostos pelos tipos 1 ou 2 e não foram evidenciados agrupamentos compostos pelos dois tipos. Nos veios auríferos foram encontradas inclusões fluidas tipos 1, 2 e 3, ao passo que nos veios estéreis os tipos 1 e 2, e, excepcionalmente no veio extensional, o tipo 4. Embora mais de um tipo de inclusões fluidas tenha sido encontrado em uma mesma amostra, as microfraturas são constituídas por apenas um tipo, exceto o veio extensional que pode acomodar, em uma mesma microfratura, inclusões carbônicas e aquo-carbônicas.

O tamanho das inclusões fluidas investigadas pode chegar a 30 μm (dimensão mais longa), mas a maioria apresenta menos de 12 μm . São predominantemente irregulares, podendo exibir formas de cristal negativo e tubo (Fig. 4). Em temperatura ambiente ($\sim 20^\circ C$), as inclusões carbônicas apresentam uma ou duas fases (líquido e vapor; Figs. 4a-b); e as aquosas podem conter de uma a três fases (líquido, vapor e cristal de halita; Figs. 4c-e).

As inclusões ricas em CH_4 e as aquo-carbônicas não ocorrem com frequência. Em temperatura ambiente, as inclusões ricas em CH_4 são monofásicas (vapor) e as aquo-carbônicas apresentam três ou, ocasionalmente, duas fases: H_2O líquido + CO_2 líquido + CO_2 vapor ou H_2O líquido + CO_2 líquido. A razão $H_2O:CO_2$ nas inclusões aquo-carbônicas oscila muito, com a fração aquosa constituindo normalmente de 30% do volume até uma película entre a fase carbônica e as paredes da inclusão. Entretanto, em algumas situações, o H_2O pode ocupar até 90% do volume da inclusão. Algumas inclusões fluidas associadas às microfraturas que alojam inclusões carbônicas ou ricas em CH_4 parecem ter sido crepitadas naturalmente (inclusões pretas, Fig. 4b).

MICROTHERMOMETRIA Os dados de microtermometria foram obtidos em uma platina LINKAM THMSG600, do Laboratório de Microanálise do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista. A calibração do instrumento foi realizada com substâncias químicas com pontos de fusão conhecidos: inclusões naturais de CO_2 puro ($\sim -56,6^\circ C$), água deionizada ($\sim 0^\circ C$), KNO_3 ($\sim 335^\circ C$) e $K_2Cr_2O_7$ ($\sim 398^\circ C$). As temperaturas de fusão final do CO_2 congelado (T_{f,CO_2}) e do gelo ($T_{f,gelo}$), e da primeira fusão do gelo (temperatura do eutético - T_e) foram medidas usando uma taxa de aquecimento de $1^\circ a 2^\circ C/minuto$. As temperaturas de homogeneização total do CH_4 (Th_{CH_4}), CO_2 (Th_{CO_2}) e da fusão final de clatratos foram obtidas mediante uma taxa de aquecimento de $2^\circ a 5^\circ C/minuto$. A reprodução das medidas situou-se geralmente entre $\pm 0,2^\circ C$. A obtenção da temperatura de homogeneização total de inclusões aquosas (Th_{H_2O}) ocorreu com uma taxa de aquecimento da ordem de $5^\circ a 10^\circ C/minuto$, com reprodução dos resultados entre $\pm 2^\circ C$.