

## CAPÍTULO 6

### OCORRÊNCIAS DE FLUORITA, COMPOSIÇÃO DAS ROCHAS E TEORES DE FLÚOR

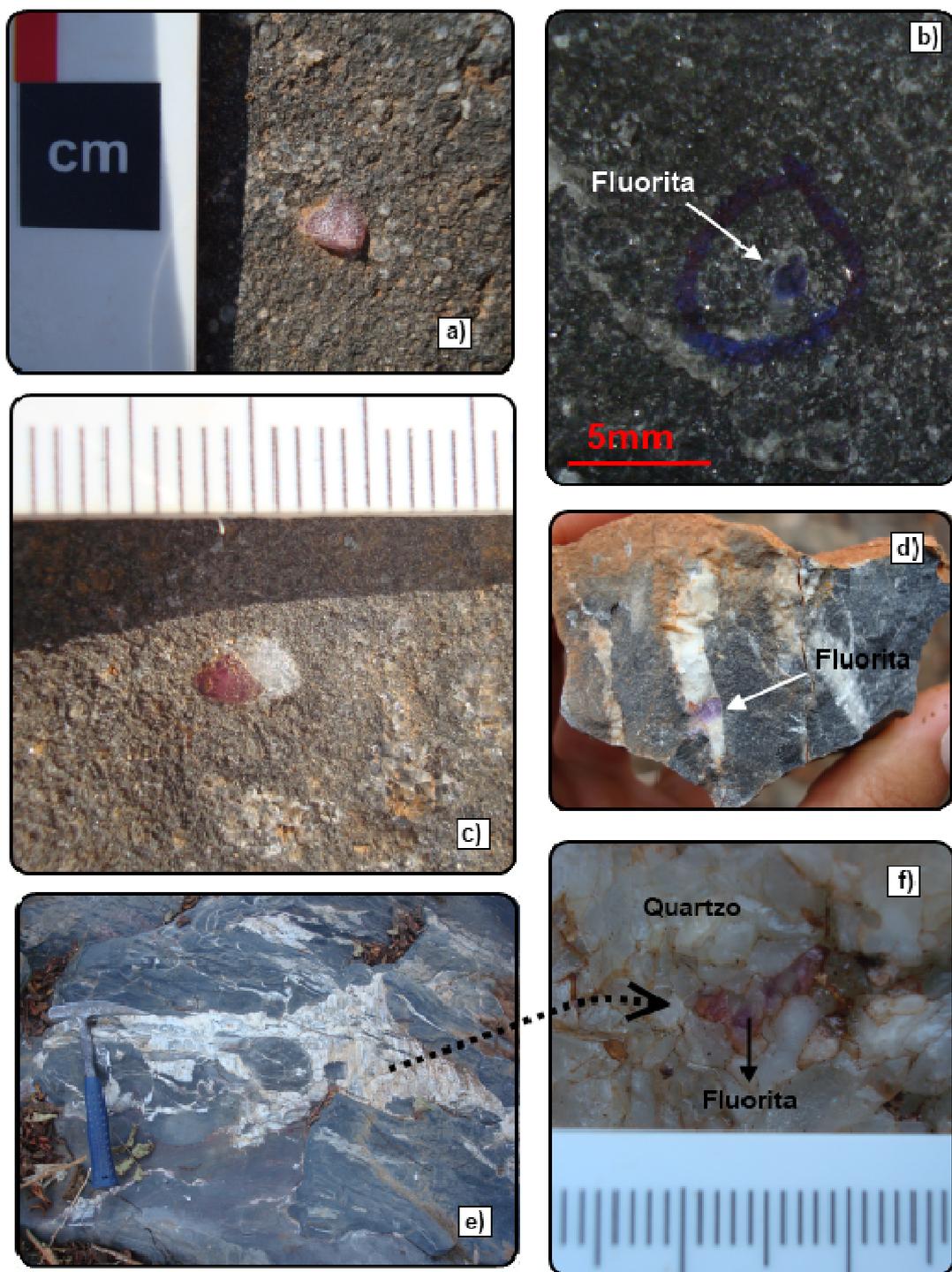
O capítulo anterior apresenta o mapeamento das unidades geológicas e a caracterização faciológica do Grupo Bambuí. Com base nesse estudo foram realizados estudos petrográficos e composicionais das rochas para descrever as fácies microscopicamente e identificar as possíveis fontes de flúor no ambiente geológico. O objetivo desse capítulo é descrever os minerais presentes nas rochas, especialmente as ocorrências de fluorita, e identificar as unidades e as fácies de maior concentração desse elemento.

#### 6.1 Ocorrências de fluorita

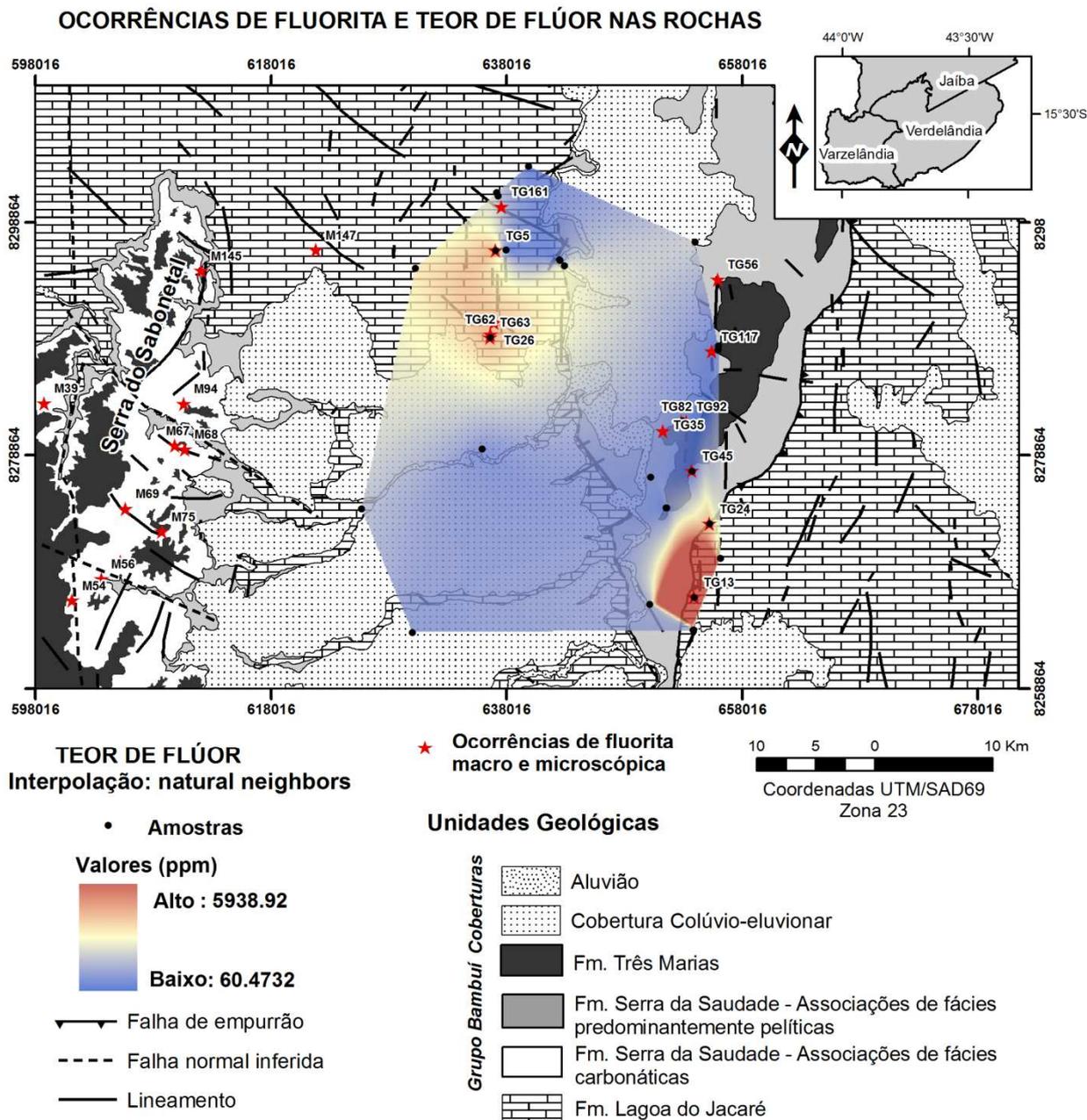
Dados de campo, descrição petrográfica das rochas e dados de Freitas *et al.* (2008) apontam ocorrências de fluorita nas formações Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade (Fig. 6.1 e 6.2).

Na Formação Lagoa do Jacaré encontram-se cristais de fluorita inframilimétricos a milimétricos de cor roxa, lilás e rósea em três formas de ocorrência: (i) substituindo parte dos componentes aloquímicos e do cimento esparítico; (ii) disseminada em veios calcíticos, normalmente de extensão métrica e espessura de poucos centímetros e (iii) associada à calcita e quartzo na superfície estriada de zona de cisalhamento reverso. As ocorrências são observadas principalmente na região central do mapa, próximo ao vale do rio Verde Grande, e nos calcários a sul da serra da Jaíba. Nas associações de fácies de planície de maré, com abundância da fácies calcilutito, não são observados cristais de fluorita.

Nos calcários da Formação Serra da Saudade, na serra da Jaíba, a fluorita está disseminada em veios calcíticos em zonas de charneira de dobras ou em falhas de pequeno rejeito, não tendo sido constatada no arcabouço e nem no cimento/matriz da rocha. Nos calcários correlatos na serra do Sabonetal a fluorita ocorre de forma semelhante aos calcários da Fm. Lagoa do Jacaré: (i) substituindo aloquímicos, (ii) em vênulas irregulares de calcita, por vezes associadas a falhamentos inversos (iii) em vênulas de calcita e quartzo em calcários deformados, com lineação mineral indicando movimento interstratal das camadas.



**Figura 6.1.** Tipos de ocorrência de fluorita nos calcários da Formação Lagoa do Jacaré e Fm. Serra da Saudade. **a)** Fluorita rosa substituindo aloquímico em calcirrudito oolítico e intraclástico recristalizado, da Fm. Serra da Saudade, ponto M39. **b)** Fluorita lilás substituindo aloquímico em calcarenito oolítico e intraclástico da Fm. Lagoa do Jacaré **c)** Fluorita rosa substituindo parte do aloquímico no calcirrudito oolítico e intraclástico recristalizados da Fm. Serra da Saudade, ponto M39. **d)** Fluorita em vênulas de calcita, Fm. Lagoa do Jacaré. **e)** Fluorita em vênulas de calcita e quartzo em calcário deformado, com lineação mineral indicando movimento interestratal das camadas, Fm. Serra da Saudade, ponto M68. **f)** Detalhe da fluorita junto a cristais de calcita e quartzo.



*Figura 6.2. Mapa de ocorrências de fluorita e teor de flúor nas rochas.*

## 6.2 Composição das rochas e teores de flúor

Nas rochas sedimentares, em geral, os minerais que contêm flúor são a apatita, aragonita, argilominerais, micas e fluorita. Os teores de flúor nas rochas sedimentares são normalmente baixos: arenitos 10 a 270 ppm, calcários 38 a 330 e folhelhos 560 a 700ppm, intervalos retirados de Connor e Shacklette (1975 *in* Brownlow 1979) e Turekian e Wedepohl (1961 *in* Krauskopf e Bird 1995).

O principal mineral que contém flúor observado nas rochas do Grupo Bambuí é a fluorita, entretanto as micas e argilominerais identificados também podem conter flúor. A composição, mineralogia e textura das rochas em cada unidade são descritas adiante (Anexo IV).

### 6.2.1 Formação Lagoa do Jacaré

Os calcários da Formação Lagoa do Jacaré são calcários aloquímicos, ricos em grãos envelopados, e bioconstruções, compostos predominantemente por calcita com quantidades variáveis de quartzo e dolomita. Os aloquímicos e a matriz se encontram recristalizados, e, em alguns casos, essa recristalização oblitera as estruturas primárias. As rochas de textura fina, originalmente compostas por micrita, apresentam a microesparita ou pseudo-microesparita. Os calcarenitos e calcirruditos, em geral, apresentam calcita espática como cimento.

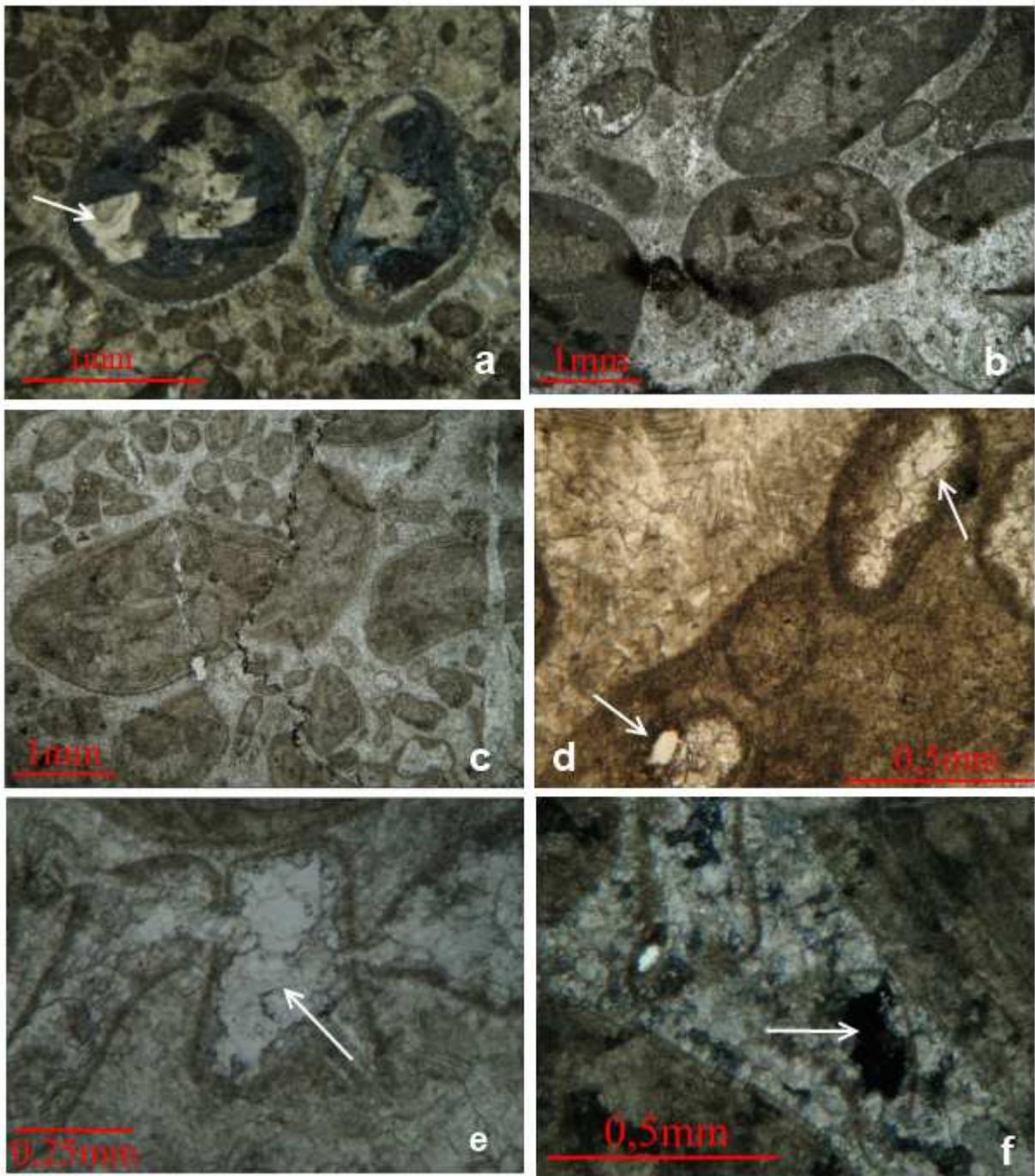
Os cristais de quartzo tem origem detrítica e podem compor menos que 10% a 30% da rocha. Em frações menores que 10% ocorrem feldspatos (plagioclásio e microclina) e moscovita também de origem detrítica, além de argilominerais como produto de alteração.

Minerais opacos, possivelmente óxidos e sulfetos de ferro foram observados em lâmina normalmente disseminados, em cristais isolados ou em agregados. Os opacos são observados na matriz, no interior de aloquímicos ou associados a vênulas de calcita. Outros minerais identificados, mas de ocorrência rara são a goethita e clorita.

Sílica microcristalina, dolomita e fluorita, possivelmente de origem diagenética, ocorrem substituindo a calcita na matriz e no interior de aloquímicos. A substituição por dolomita (Fig. 6.3a) parece ser mais intensa nas fácies de planície de marés com presença de estruturas microbianas (ex. amostras V6A, V8A e V141, respectivamente: biolitito, calcilutito microbiano e calcirrudito com oncólitos). Outras feições diagenéticas identificadas são: compactação mecânica (Fig. 6.3b), com quebra e/ou contato côncavo-convexo de grãos, compactação química e dissolução por pressão (evidenciada pela abundância de estilólitos, Fig. 6.3c) .

A fluorita, como observado macroscopicamente, também ocorre substituindo a calcita nos grãos aloquímicos e na matriz, principalmente nas fácies calcarenito com oólitos e intraclastos (fácies Coi e Cio, Fig. 6.3 d, e, f).

Entre as fácies analisadas nessa unidade as fácies Coi e Cio apresentam os maiores teores de flúor (Tab. 6.1), valores iguais a 900ppm e um valor anômalo de 6.000ppm. A amostra V8A (fácies calcilutito laminado e microbiano intercalado com a fácies calcarenito intraclástico e oolítico) e a amostra V9A (fácies calcirrudito intraclástico) também apresentam teor de flúor superior ao valor máximo do intervalo normal para calcários (Tab. 6.2). As demais fácies apresentaram teores menores que 330ppm.



**Figura 6.3.** Fácies da Fm. Lagoa do Jacaré em lâmina delgada. **a)** Amostra 147A, Luz Polarizada (LP) – Substituição do núcleo e bordas dos oólitos por sílica microcristalina com cristais de dolomita (seta) no centro. **b)** Amostra V141, Luz Natural (LN) - Contato côncavo-convexo entre oólitos poli-compostos com cimento de calcita espática. **c)** Amostra V5A, LN. Estilólito e grãos dissolvidos (compactação química). **d)** Amostra V63C, LN - Cristais de fluorita (setas) no interior de oólitos no calcarenito. **e)** Amostra V5A, LN –Cristal de fluorita (seta) no interior do intraclasto **f)** AmostraV5A, LP – Calcarenito intraclástico e oolítico com substituição de aloquímico por fluorita (seta).

**Tabela 6.1- Teores de flúor nas rochas do Grupo Bambuí na região de Verdelândia**

| Fm.                                       | Amostra   | Fácies     | F ppm | Min. | Max. | Média | Med. | dp. |  |
|---|---|------------|-------|------|------|-------|------|-----|--|
| LAGOA DO JACARÉ                           | V5A - Calcarenito intraclástico e oolítico                        | Cio        | 900   |      |      |       |      |     |  |
|   | V6A - Biolito (estromatólito colunar)                             | BIO        | 130   |      |      |       |      |     |  |
|   | V8A - Calcilito laminado e microbiano intercalado com calcarenito | CLmb + Cio | 700   |      |      |       |      |     |  |
|   | V9B - Calcirrudito  | Cri        | 400   |      |      |       |      |     |  |
|   | V13 - Calcarenito intraclástico oolítico                          | Cio        | 6000* | 130  | 900  | 508   | 400  | 340 |  |
|   | V24A - Calcarenito oolítico e intraclástico                       | Coi        | 900   |      |      |       |      |     |  |
|   | V29A - Calcilito laminado   | CL         | 300   |      |      |       |      |     |  |
|   | V31F - Calcarenito  | Cio        | 200   |      |      |       |      |     |  |
|   | V63C - Calcarenito oolítico e intraclástico                       | Coi        | 900   |      |      |       |      |     |  |
|   | V141 - Calcirrudito psolítico e oncolítico                        | CRpo       | 140   |      |      |       |      |     |  |
| SERRA DA SAUDADE                          | fácies pelíticas  |            |       |      |      |       |      |     |  |
|   | V1A - Ritmito   | RT         | 230   |      |      |       |      |     |  |
|   | V14- Ritmito  | RT         | 320   |      |      |       |      |     |  |
|   | V81A - Ritmito  | RT         | 200   | 130  | 620  | 300   | 230  | 191 |  |
|   | V88 - Ritmito   | RT         | 620   |      |      |       |      |     |  |
|   | V89A- Siltito laminado  | SI         | 130   |      |      |       |      |     |  |
|   | fácies carbonáticas   |            |       |      |      |       |      |     |  |
|   | V73C- Calcilito intercalado com calcarenito                       | CLcp       | 130   |      |      |       |      |     |  |
|   | V73F- Calcilito microbiano/ calcarenito fino                      | CLmb       | 320   | 130  | 320  | 223   | 220  | 101 |  |
|   | V116A - Calcilito intercalado com calcarenito                     | CLcp       | 300   |      |      |       |      |     |  |
| V116C - Calcarenito intraclástico rudáceo | Cir   | 140        |       |      |      |       |      |     |  |
| TRES MARIAS                               | V37A - Arcósio  | AC         | 100   |      |      |       |      |     |  |
|   | V115 - Arcósio  | AC         | 130   | 100  | 130  | 120   | 130  | 17  |  |
|   | V133F- Arcósio conglomerático                                     | Accg       | 130   |      |      |       |      |     |  |

\*O valor anômalo de 6.000 ppm não foi considerado na estatística.

**Tabela 6.2 Valores de referência para o teor de flúor nas rochas sedimentares**

| Referência | Connor e Shacklette (1975)* | Turekian e Wedepohl (1961)** |
|------------|-----------------------------|------------------------------|
| Calcários  | 38-100                      | 330                          |
| Folhelhos  | 700                         | 600                          |
| Calcários  | 38-100                      | 330                          |
| Arenitos   | 9,8-120                     | 270                          |

\* Citado por Brownlow (1979); \*\*Citado por Turekian e Wedepohl

### 6.2.2 Formação Serra da Saudade

Compõem essa unidade associações de fácies predominantemente pelíticas, com calcários e margas associados, e associações de fácies carbonáticas.

Entre as associações predominantemente pelíticas foram selecionados as fácies compostas por siltitos e ritmitos para análises (Figura 6.4 a e b). Os ritmitos e siltitos contêm principalmente quartzo (50 a 60%), micas detríticas e micas resultante do metamorfismo dos argilominerais (clorita, moscovita e raramente biotita), proporções variadas de carbonato (como componente detrítico e localmente como cimento) e feldspatos detríticos (principalmente albita). Minerais mais raros são siderita e caolinita provavelmente resultantes dos processos de alteração.

Os teores de flúor nessas rochas variam de 130 a 620ppm. Exceto a amostra V88A (teor de flúor igual a 620ppm) as demais amostras apresentam valores inferiores ao intervalo normal esperado para folhelhos.

Os calcários aflorantes no topo da Fm. Serra da Saudade na serra da Jaíba são compostos por calcita (micrita recristalizada para microesparita ou pseudomicroesparita), com cerca de 10% ou menos de grãos de quartzo, albita e micas (moscovita e clorita). Opacos também ocorrem disseminados. Observam-se frequentemente estilólitos e uma foliação incipiente. Esses calcários apresentam teores de flúor entre 130 a 320ppm, dentro do intervalo normal esperado para calcários (Tab. 6.2).

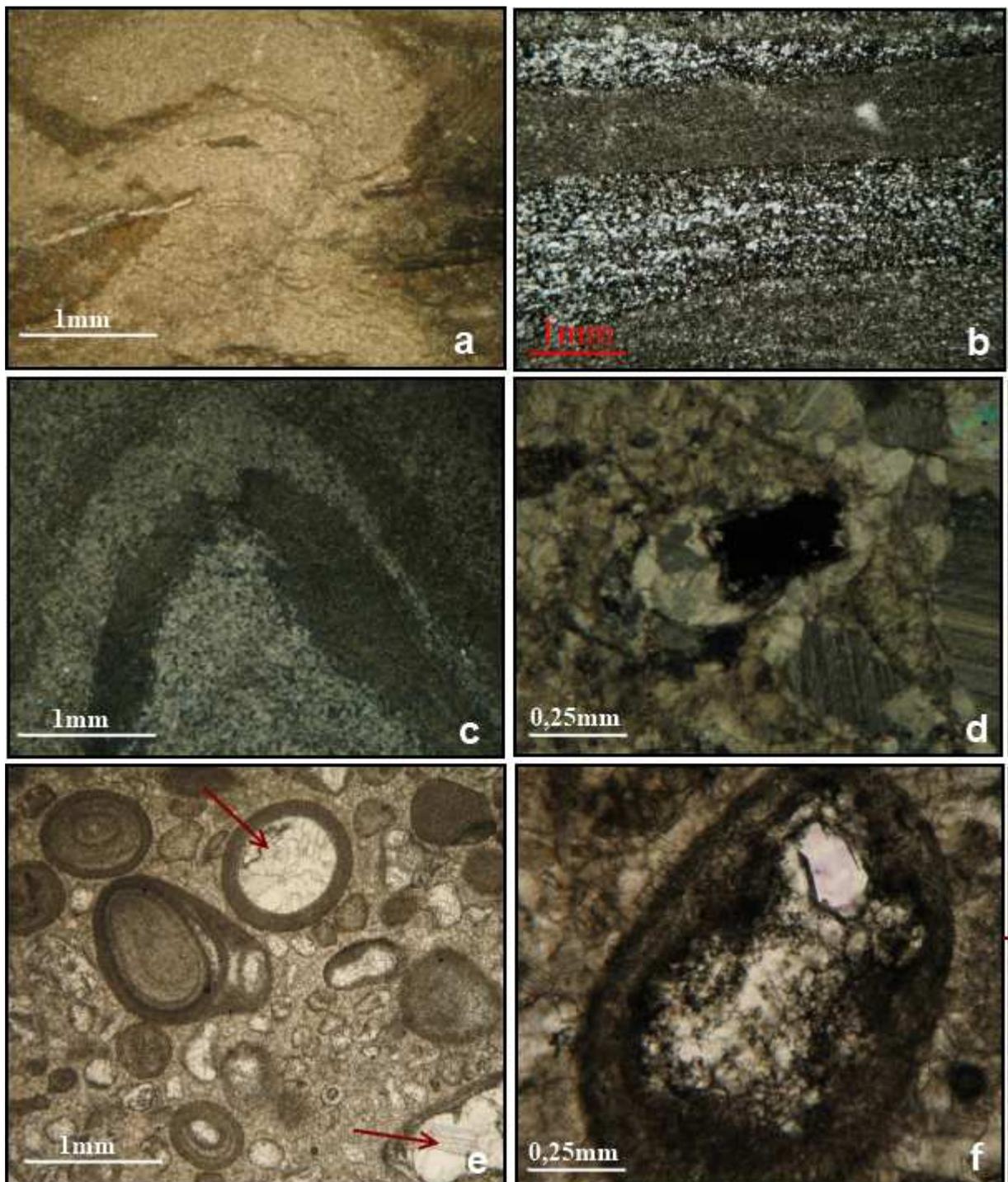
As amostras dessa unidade foram analisadas após a retirada dos veios calcíticos com fluorita, o que confirma que a rocha apresenta poucos minerais portadores de flúor em seu arcabouço.

As rochas carbonáticas do topo da Fm. Serra da Saudade na serra do Sabonetal são calcários aloquímicos de granulometria areia a grânulo ricos em grãos envelopados, oólitos, pisólito e mais raramente oncólitos, com calcilutitos intercalados e mais raramente estromatólitos colunares (Fig.6.4 c). São semelhantes textural e composicionalmente aos calcários da Formação Lagoa do Jacaré. São calcíticos, muito recristalizados, com predominância de cimentação por calcita espática. Grãos de quartzo, mica detrítica, argilominerais compõe aproximadamente 10% da rocha. Opacos ocorrem disseminados na matriz, no interior ou próximo as bordas dos aloquímicos ou ainda associados a vênulas de calcita. A compactação mecânica e química é bastante evidente (grãos quebrados e frequência de estilólitos).

Observa-se com muita frequência nas fácies Coi e Cio substituição de aloquímicos por sílica microcristalina, fluorita e calcita (Fig. 6.4 d a f). Apesar de não terem sido realizadas análises do teor de flúor nessas rochas é muito provável que os teores de flúor sejam bem maiores que 330ppm, semelhantes aos teores medidos nos calcarenitos com oólitos e intraclastos (com substituição por fluorita) observados na Fm. Lagoa do Jacaré.

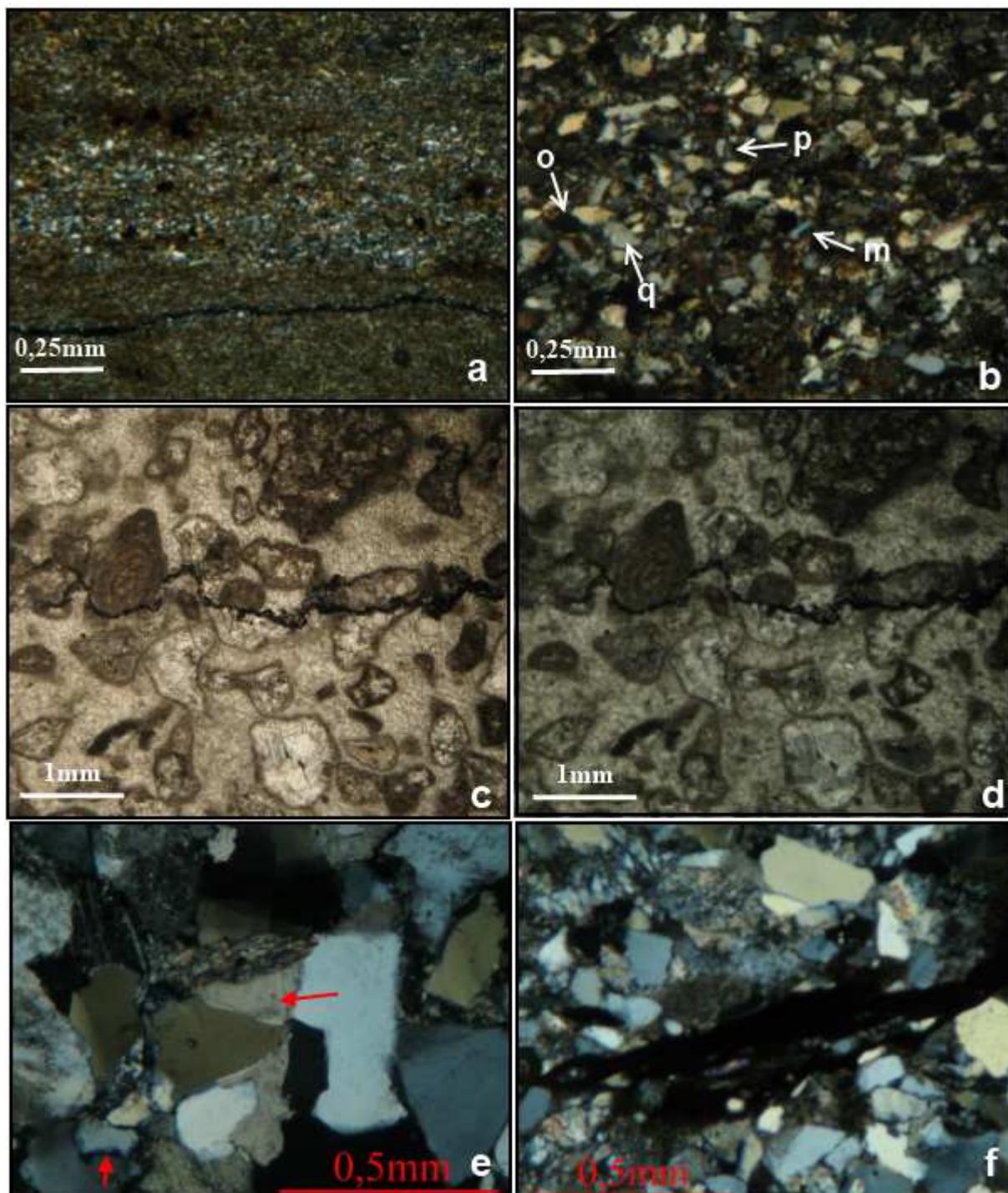
### *6.2.3 Formação Três Marias*

São característicos da Fm. Três Marias arcóseos, arcóseos conglomeráticos, subarcóseos, arenitos, siltitos e lentes de calcário subordinadas (Figura 6.5 a a f). Os psamitos são constituídos principalmente por quartzo com proporções variadas (10 a 30%) de feldspatos (albita e microclina). Nessas fácies são comuns micas (clorita e moscovita), uma pequena fração carbonática normalmente associada ao cimento, além de opacos e argilominerais resultante da alteração dos feldspatos e carbonatos.



**Figura 6.4.** *Fácies da formação Serra da Saudade em lâmina delgada. a) Amostra P61A, LN– Siltito com estrutura de fluidização. b) Amostra V88, LP – Ritmito com lâminas silto-argilosas e arenosas. c) Amostra P42C, LP – Coluna estromatolítica, com laminação de calcilutito impuro e argila. d) Amostra P54A, LP – Fluorita (seta) substituindo aloquímico no calcarenito oolítico e intraclástico. e) Amostra P54A, LN – Calcarenito oolítico e intraclástico com núcleo substituído por calcita. f) Amostra P39B, LN – Fluorita rosa (seta) no núcleo de oólito em calcarenito oolítico e intraclástico.*

As fácies arenosas na serra do Sabonetal apresentam menor proporção de feldspatos e a granulometria é mais fina. Os siltitos e arenitos aflorantes no topo dessa serra são ferruginosos e apresentam-se muito alterados, o que dificulta a identificação dos minerais em lâmina.



**Figura 6.5.** Fácies da Formação Três Marias em lâmina delgada. **a)** Amostra P13G, LP - Siltito laminado com lâminas argilo-carbonáticas e lâminas quartzosas. **b)** Amostra P27B, LP – Subarcósio fino. As setas indicam os minerais quartzo (q), plagioclásio (p), mica (m) e opaco(o). **c)** e **d)** Amostra P13F, (LN e LP respectivamente) – Calcarenito oolítico e intraclástico, recrystalizado com estilólito. **e)** Amostra V115, LP – Arcósio com cimento carbonático (seta) e contatos suturados. **f)** Amostra V133F, LP – Arcósio conglomerático, clasto de pelito (mancha escura) no centro.

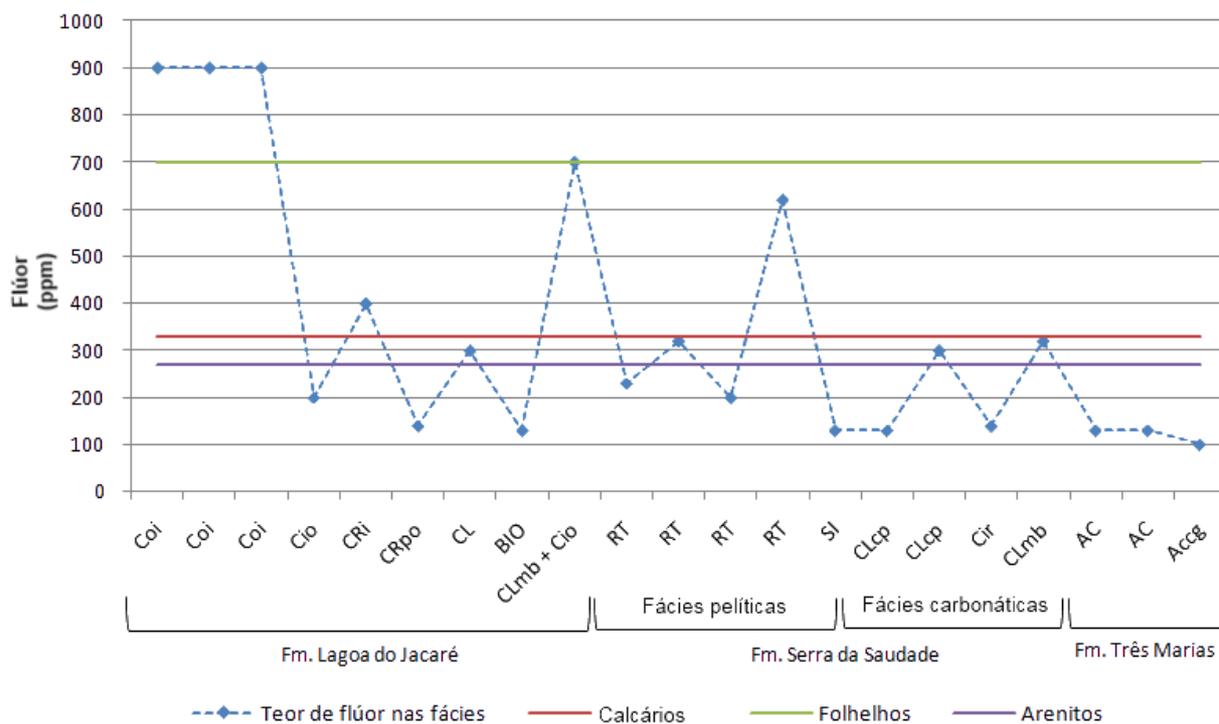
As fácies carbonáticas dessa unidade, na serra do Sabonetal, contêm calcita recrystalizada e apresentam aloquímicos com substituição por sílica. Entretanto não foram observados cristais de fluorita nesses calcários.

Os teores de flúor dos arcósios e subarcósios da Fm. Três Marias variam entre 100 e 130ppm, semelhantes aos valores de referência para arenitos.

Conclui-se, portanto, que os teores mais elevados de flúor encontram-se nos calcários da Formação Lagoa do Jacaré (teores quase três vezes maiores que o teor máximo do intervalo normal para calcários). É provável que as fácies carbonáticas do topo da Fm. Serra da Saudade, especialmente calcarenito e calcirruditos com oólitos e intraclastos com presença de fluorita, sejam mais enriquecidas semelhantemente às fácies Coi e Cio amostradas na Fm. Lagoa do Jacaré. Em ambos os casos são encontradas fluorita macroscópica e microscópica.

As fácies siltito e ritmito da Formação Serra da Saudade e os arcósios e subarcósios da Fm. Três Marias apresentam rochas com teores de F dentro ou abaixo do intervalo médio indicado na literatura.

Nas fácies carbonáticas o principal mineral de flúor é a fluorita, já nos siltitos, ritmitos, arenitos e arcósios é provável que o flúor esteja adsorvido em minerais de argila ou presente nas micas no lugar do OH<sup>-</sup>, como descrito na literatura.



**Figura 6.6** Teores de flúor nas fácies e unidades litoestratigráficas do Grupo Bambuí. As linhas contínuas indicam os intervalos de teores normais máximos para calcários, folhelhos e arenitos segundo Connor e Shacklette (1975 in Brownlow 1979) e Turekian e Wedepohl (1961 in Krauskopf e Bird 1995).

A discriminação das fácies foi importante para amostrar e analisar de forma mais precisa a fim de identificar a variação do teor de flúor dentro das unidades litoestratigráficas do Grupo Bambuí. A distribuição da fluorita parece ser o principal controle do teor de flúor nas rochas e as

ocorrências principais macro e microscópica desse mineral são na fácies calcarenito oolítico intraclástico (Coi) calcarenito intraclástico e oolítico (Cio) e ocorrências macroscópicas em veios de calcita e quartzo que preenchem fraturas ou estão associados a dobramentos, zonas de cisalhamento e falhas.