

## MACIÇO GRANÍTICO ANTÔNIO VICENTE: ESTUDO DE INCLUSÕES FLUIDAS.

Nilson Pinto Teixeira\*

Rosa Maria da Silveira Bello\*\*

Jorge Silva Bettencourt\*\*

\*Centro de Geociências - Universidade Federal do Pará, Caixa Postal 1.611, CEP 66075-110, Belém, PA, noslin@ufpa.br

\*\*Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, C. P. 11.348, CEP 05422-970, São Paulo, SP, rosabello@uol.com.br; jsbetten@usp.br

### ABSTRACT

Eight quartz aqueous saline fluid inclusion groups are distinguished in granite rocks and greisens of the Antônio Vicente massif of the Velho Guilherme Intrusive Suite (South Pará Tin Province - Brazil). They are: two-phase, three-phase and multi-phase aqueous inclusions, at room temperature, with occasional halite daughter crystals and other solid phases. Observed ice melting temperatures from the inclusions vary from  $-2.2^{\circ}\text{C}$  to  $-57.0^{\circ}\text{C}$ , which clearly demonstrate the presence of diluted and highly saline fluids. The initial composition of Group 1 (Na+K+Fe+Cl, and Sn) hydrothermal fluid evolves toward Na + K + Ca + Al  $\pm$  Fe<sup>2+</sup> fluid (Groups 2 and 3), Na+Fe<sup>2+</sup>+Cl  $\pm$  K  $\pm$  Fe<sup>3+</sup> (Group 4), Li + K + Ca + Na + Cl (Groups 5 and 6), Na + K + Ca + Fe<sup>2+</sup> + Cl (Group 7), and Na + K + Ca + Cl  $\pm$  Al (Group 8). Fluorine is always present in all the fluid groups and the suggested fluid evolution is mainly ascribed to the pervasive late to post-magmatic hydrothermal alteration, and changes in chemical parameters which have affected the granites. The observed low homogenization temperatures ( $T_{\text{total}}$ ), varying from  $396.6^{\circ}\text{C}$  (Group 1) to  $95.6$  and  $123.8^{\circ}\text{C}$  (Groups 7 and 8) reflect, not only the pervasive greisenization alteration process, at one end, but also all the following phases of alteration culminating with the argillic stage.

The compositional variation and the scattered nature of the  $T_{\text{total}}$  values occasionally observed, might also be due to the mixing processes between saline magmatic fluids and meteoric or connate waters during the final stages of hydrothermal alteration. Also modification of the fluid inclusions due to intra-crystalline quartz deformation can not be discarded at all.

### 1. INTRODUÇÃO

O Cráton Amazônico foi palco, no Paleoproterozóico, de uma das mais importantes atividades magmáticas anorogênicas do mundo. Ele encerra um grande volume de rochas plutônicas máfico-ultramáficas, intermediárias e félsicas e vulcânicas intermediárias e félsicas (Dall'Agnol et al., 1999a; Bettencourt et al., 1999).

Neste contexto ocorrem diversos maciços portadores de granitos estaníferos, com greisens associados, pertencentes à Suite Intrusiva Velho Guilherme (CPRM/DNPM, 1997; Teixeira et al., 1998), de idade em torno de 1.87 Ga, aflorantes na região sul-sudeste do Estado do Pará (Fig. 1b). Estudos, com diferentes enfoques foram realizados nos diversos maciços (Dall'Agnol, 1980; Teixeira e Dall'Agnol, 1991; Teixeira e Andrade, 1992; Teixeira et al., 1998). Neste trabalho são apresentados dados do estudo de inclusões fluidas realizado em grãos de quartzo, da primeira fase de cristalização (quartzo 1), de granitos do maciço estanífero Antônio Vicente e de greisen a ele associado.

### 2. GEOLOGIA DO MACIÇO ANTÔNIO VICENTE

O maciço granítico Antônio Vicente aflora na extremidade oeste da serra dos Carajás, a 50 km a noroeste da cidade de São Félix do Xingu (Fig. 1). Apresenta forma amebóide e ocupa uma área de  $600 \text{ km}^2$ . É intrusivo em rochas do Complexo Xingu, dos

Grupo São Sebastião e Uatumã e do Granito Parauari (Fig. 2). Tem caráter hololeucocrático a leucocrático, composição sieno a monzogranítica, com termos álcali-feldspato graníticos subordinados. Foi afetado, em diferentes graus, por alterações tardi a pós-magmáticas e hospeda mineralizações de Sn. Teixeira (1999) individualizou quatro domínios petrográficos principais no maciço Antônio Vicente (Fig. 2), tendo sido selecionadas para este estudo amostras do domínio 1, fácies biotita-anfibólio sieno a monzogranito (BASMg) e do domínio 3, fácies biotita sienogranito (BSG), biotita sienogranito intensamente alterado (BSGIA) e clorita-siderofilita-muscovita-quartzo greisen (CMSQGs) associado.

### 3. ESTUDO DE INCLUSÕES FLUIDAS (IFs)

#### 3.1. Procedimentos Analíticos

Os estudos foram efetuados no Laboratório de Microtermometria do Dep. de Mineralogia e Geotectônica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Nas análises microtermométricas utilizou-se a platina CHAIXMECA, modelo MTM-85, visando a caracterização dos fluidos, dos seus parâmetros físico-químicos e das condições mínimas de aprisionamento dos mesmos (Roedder 1984, Shepherd *et al.* 1985). Para o cálculo da salinidade foi considerado, muitas vezes, o limite mínimo de  $T_{fg} = -20,8^{\circ}\text{C}$ , que representa a temperatura eutética do sistema puro  $\text{NaCl-H}_2\text{O}$  utilizado no programa FLINCOR (Brown, 1989) que calcula esse parâmetro, em equivalentes à % em peso do NaCl.

#### 3.2. Tipos, distribuição e natureza das inclusões fluidas

O estudo envolveu 257 IFs de 10 amostra de quartzo 1, que foi selecionado devido sua dimensão e transparência, características óticas das IFs e também por apresentar feições indicativas de várias etapas de evolução das soluções. Foram investigadas inclusões de distribuição aleatória, com feições sugestivas de origem primária (Roedder, 1984), mas com indicações de reequilíbrio durante os estágios de alteração que afetaram as rochas estudadas. São inclusões bifásicas (L+V) e trifásicas a multifásicas (S+L+V), à temperatura ambiente, compostas por soluções aquosas salinas. Possuem morfologia variável, desde prismáticas (cristais negativos) até de contornos irregulares, em alguns casos com feições indicativas de “necking down”, e dimensões desde valores inferiores a  $10\mu\text{m}$  até superiores a  $30\mu\text{m}$ . Podem estar presentes cristais de saturação do tipo halita e/ou silvita.

Os dados microtermométricos revelaram oito grupos distintos de inclusões aquossalinas, com temperaturas eutéticas características, salinidades muito variáveis e temperaturas de homogeneização às vezes com amplos intervalos de valores (Figura 3).

#### 3.3. Evolução dos fluidos

Os diversos grupos de inclusões fluidas mostram uma gradativa variação composicional da fase aquosa, traduzida pelos distintos valores de TE, situados, de modo geral, entre  $-95,8$  a  $-27,0^{\circ}\text{C}$ . A variação nas TE dos grupos distintos de IFs decorrem de mudanças composicionais dos fluidos magmáticos originais, devido a reações com os minerais pré-existentis (Roedder 1984), durante os diversos estágios de alteração pervasiva que afetaram, em diferentes graus, as rochas estudadas. Houve, assim, a desestabilização das fases minerais primárias, como o anfibólio (biotitização, cloritização), biotita (cloritização, muscovitização), feldspato potássico (albitização, muscovitização, argilização), plagioclásio (sericitização, muscovitização, microclinização, albitização), com lixiviação do  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^{-}$  e, possivelmente, do  $\text{Sn}^{2+}$  e  $\text{Sn}^{4+}$ , entre outros, não podendo ser descartada a ocorrência do fluor.

Os resultados microtermométricos obtidos neste estudo sugerem que as soluções, atualmente registradas, refletem apenas os estágios de alteração mais tardios, a partir do processo de greisenização. A ação das soluções ácidas nos minerais primários dos granitos

teria causado a cloritização da biotita e a muscovitização/sericitização dos feldspatos potássicos e plagioclásios, com liberação de  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ . Os elementos liberados nesse estágio foram incorporados à fase fluida que, com o decréscimo da temperatura e aumento da alcalinidade, teria sido responsável pelas demais alterações observadas.

O  $\text{Al}^{3+}$  aparece na fase fluida, provavelmente por não ter sido totalmente consumido nas reações de sericitização e cloritização de plagioclásio e biotita. A existência do ferro torna-se patente em algumas IFs localizadas.

Os estudos realizados mostraram ausência de  $\text{Li}^+$  nas IFs das amostras que sofreram mais intensas alterações (BSGIA) e no próprio greisen (CSMQGs), o que poderia ser explicado pela formação de minerais enriquecidos nesse elemento, que é particularmente concentrado na muscovita e argilo-minerais filitosos (Tardy *et al.* 1972). É digno de nota que as análises químicas de rocha total (Teixeira 1999) mostram um enriquecimento em lítio a partir das variedades menos evoluídas (BASMG) para as mais diferenciadas e seus correspondentes mais alterados (BSG, BSGIA), tendo sido encontrados os maiores valores no greisen. Assim, supõe-se que, nessa mesma seqüência, o fluido tornou-se empobrecido em lítio, o que foi realmente evidenciado pelos valores de TE das IFs dos diversos grupos.

A evolução dos fluidos mencionada foi sugerida com base no decréscimo das maiores  $\text{Th}_{\text{total}}$  obtidas, embora, muitas vezes, essas temperaturas apresentem amplas faixas de variação. As variações de  $\text{Th}_{\text{total}}$  e de salinidade das soluções decorreram de variações na composição dos fluidos salinos durante os estágios de alterações tardi a pós-magmáticas de mais baixas temperaturas, pois estudos de isótopos de oxigênio realizados por Teixeira (1999) em grãos de quartzo, da mesma geração, descartaram a hipótese de mistura com fluidos externos ao sistema. Uma hipótese alternativa a ser considerada, refere-se a modificações nas inclusões originais devido a deformações intracristalinas observadas nos cristais de quartzo estudados. O espalhamento dos valores de  $\text{Th}_{\text{total}}$  e da densidade do fluido (Tab. 2) também poderia ter sido, em parte, decorrente de modificações das inclusões originais por deformações intracristalinas (Kerrick 1976, Wilkins e Barkas 1978, Hollister 1990, Bakker 1992, entre outros), uma vez que os grãos de quartzo estudados exibem extinção ondulante e, localmente, subgrãos. A ausência de correlação entre  $\text{Th}_{\text{total}}$  e  $\text{Tfg}$  evidenciam a influência dessas modificações nas medidas microtermométricas.

### 3.4. Controle dos fluidos sobre as mineralizações de Sn

A cassiterita foi observada no material primário apenas na facies BSGIA e, principalmente, no clorita-siderofilita-muscovita-quartzo greisen (Teixeira, 1999). Os fluidos residuais ricos em voláteis interagiram com as rochas do maciço, lixiviando diversos tipos de cátions, entre eles o  $\text{Sn}^{2+}$  e  $\text{Sn}^{4+}$ . Os dados petrográficos, aliados ao estudo microtermométricos, sugerem que a lixiviação do Sn e a formação de minerais com esse elemento tenha ocorrido, principalmente, a partir de soluções aquosas representadas pelas IFs do grupo 1, presentes apenas no CSMQGs ( $\text{Th}_{\text{total}}$  máxima de  $396,6^\circ\text{C}$ ), tornando-se sistematicamente menos intensa na direção dos grupos 2 e 3 de BSGIA, ( $\text{Th}_{\text{total}}$  até  $250$  e  $230^\circ\text{C}$ , respectivamente).

Essa hipótese baseia-se nos seguintes argumentos: 1) a presença de cassiterita é restrita à facies BSGIA e ao CSMQGs; 2) as IFs do grupo 1, com maiores  $\text{Th}_{\text{total}}$ , ocorrem apenas nas amostras do greisen; 3) as IFs dos grupos 2 e 3 ocorrem em amostras da variedade BSGIA e possuem temperaturas mínimas de aprisionamento ( $\text{Th}_{\text{total}}$ ) coerentes com a formação mais tardia desse mineral. Considerando-se a presença de cassiterita em BSGIA, bem como a semelhança nas composições das IFs dos grupos 2 e 3, é razoável supor que a formação desse mineral esteja também vinculada a esses sistemas.

Levando-se em consideração que nos demais grupos de IFs descritos as  $\text{Th}_{\text{total}}$  são inferiores e que nas outras amostras estudadas pertencentes às fácies BASMG e BSG não

foi identificada a cassiterita, acredita-se que as soluções correspondentes (grupos 4, 5, 6, 7, 8) ou não continham estanho ou, se esse elemento estava presente, as temperaturas não foram suficientes para a formação daquele mineral.

#### 4. CONCLUSÕES

Os baixos valores de  $Th_{total}$  obtidos para todos os grupos de IFs, mesmo representando as temperaturas mínimas de aprisionamento, foram interpretados como expressões dos estágios de alteração tardi a pós-magmáticas, a partir da greisenização, uma vez que aquelas relativas ao estágio magmático deveriam ser mais elevadas e, ao que tudo indica (Teixeira 1999), acima de 600°C. Isso também é corroborado pelos valores das temperaturas de greisenização discutidos na literatura, as quais encontram-se aproximadamente situadas entre 330 e 470°C. A evolução dos fluidos durante os estágios de alteração teria sido registrada, nas IFs do quartzo 1, devido à sua percolação e aprisionamento durante os reequilíbrios sofridos por esse mineral nas etapas relacionadas às alterações.

#### 5. REFERÊNCIAS

- Bakker R.J. 1992. On modification of fluid inclusions in quartz. *Geol. Ultraiectina*, **94**:1-85.
- Brown P.E. 1989. FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data. *Amer. Mineral.*, **74**:1390-1393.
- CPRM/DNPM. 1997. Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais, de Solo e de Vegetação para a Área do Projeto Grande Carajás- Sub-Programa Mapas metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais. Folha São Felix do Xingu-SB-22-Y-B. CPRM, Superintendência Regional de Belém (Relatório Final).
- Dall'Agnol R. 1980. *Etudes sur des granites du type "Rondonian" en Amazonie Orientale et leurs transformations tardi-magmatiques*. Labor. Geol. Petrol./Univ. Paul Sabatier, Toulouse. Tese de Doutorado, 348p.
- Hollister L.S. 1990. Enrichment of CO<sub>2</sub> in fluid inclusions in quartz by removal of H<sub>2</sub>O during crystal-plastic deformation. *J. Struct. Geol.*, **12**:895-901.
- Kerrick R. 1976. Some effects of tectonic recrystallization on fluid inclusions in vein quartz. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **59**:195-202.
- Roedder E. 1984. *Fluid Inclusions*. P.H. Ribbe (ed), Mineral. Soc. Am. *Reviews in Mineralogy*. vol.12, 641p.
- Shepherd T.J., Rankin A.H., Alderton D.H.H. 1985. *A practical guide to fluid inclusions studies*. New York, Blackie and Son Ltda, 239p.
- Tassinari C.C.G. 1996. *O mapa geocronológico do Craton Amazônico no Brasil: revisão dos dados isotópicos*. Inst. de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Livre Docência, 139p.
- Tardy Y., Kremp G., Trauth N. 1972. Le lithium dans les minéraux argileux des sédiments et des sols. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **36**:397-412.
- Teixeira N.P. 1999. *Contribuição ao Estudo das Rochas Granitoides e Mineralizações associadas da Suite Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará*. Inst. de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 508p. (+ anexos).
- Teixeira N.P. & Dall'Agnol R. 1991. Geologia e petrografia do Maciço Granítico Antônio Vicente. Região de São Félix do Xingu/PA. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra, CNPq*, **3**:45-73.
- Teixeira, N. P.; Andrade, W. L. G.-1992- Caracterização Petrográfica dos "stocks" graníticos Benedita e Ubim/Sul. Região de São Felix do Xingu/PA. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra, CNPq*, **4**:3-33.
- Teixeira N.P., Bettencourt J.S., Moura C.A.V., Dall'Agnol, R. 1998. Pb-Pb and Sm-Nd constraints of the Velho Guilherme Intrusive Suite and volcanic rocks of the Uatumã

Group. South-Southeast Pará-Brasil. In: *Granite Systems and Proterozoic Lithospheric Processes*. Wisconsin (EUA), Inter. Geol. Corr. Project 426: III, p. 178-180.

Wilkins R.W.T. & Barkas J.P. 1978. Fluid inclusions, deformation and recrystallization in granite tectonites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **65**:293-299.

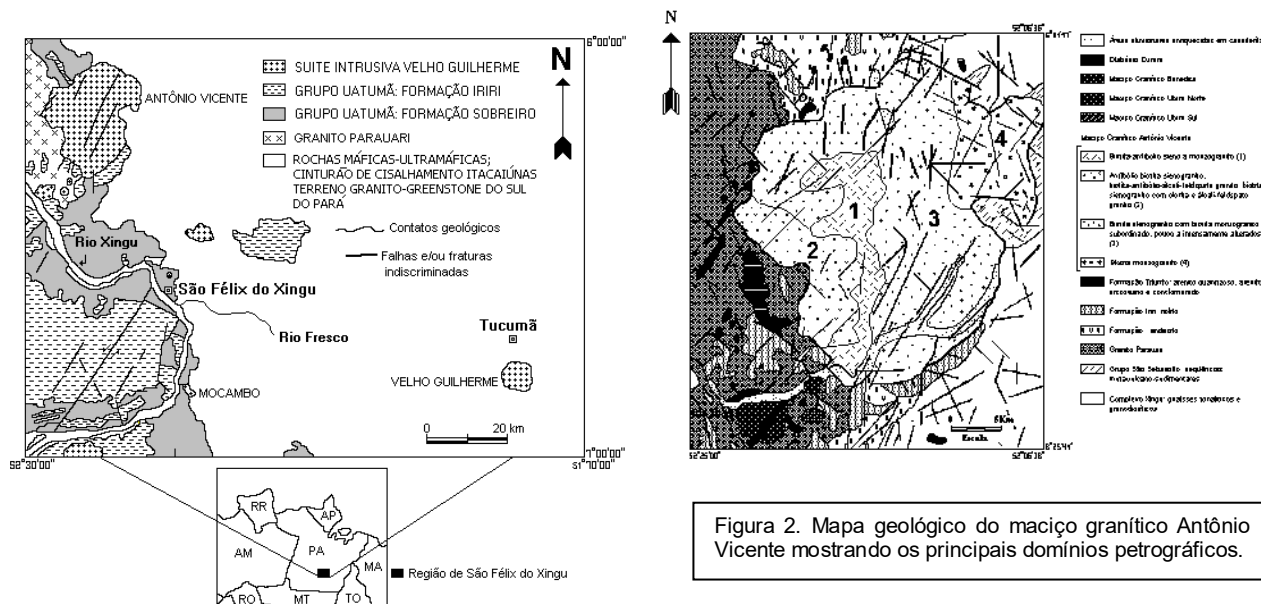
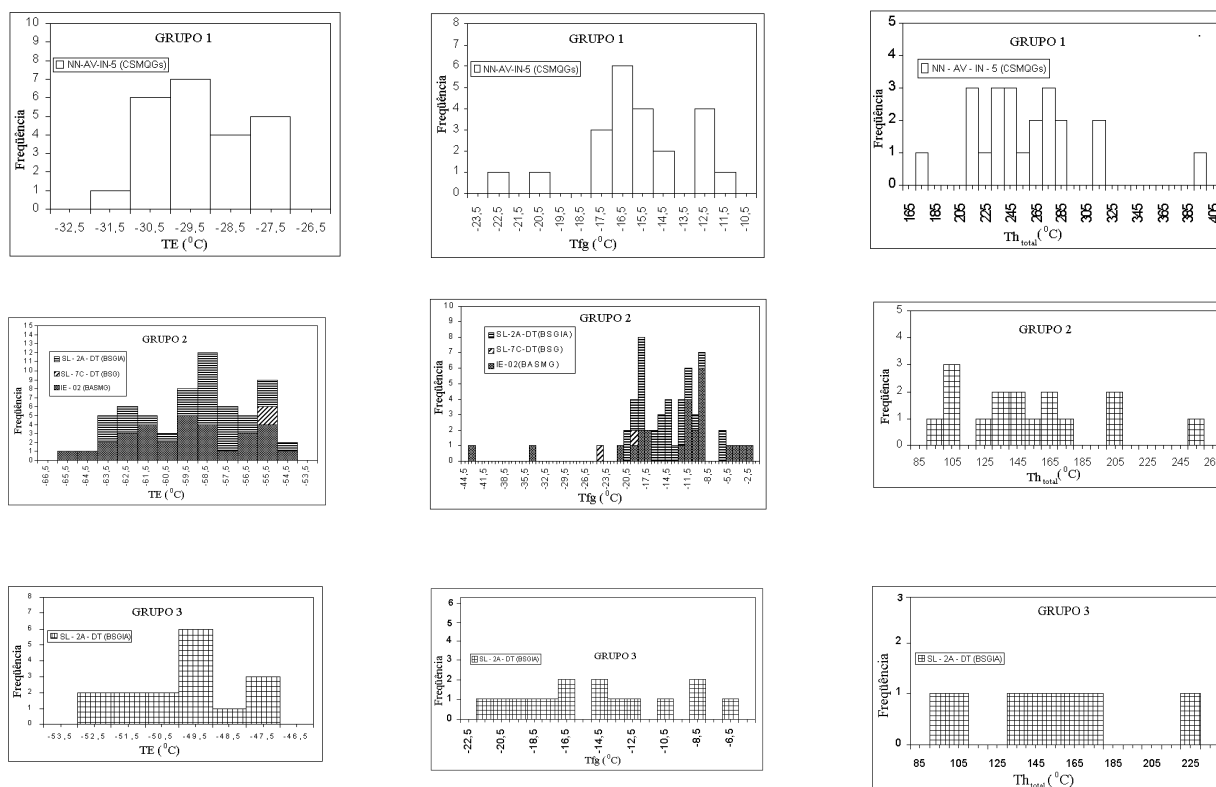


Figura 1. Mapa geológico da Folha SB-22-Y-B (Folha São Félix do Xingu) mostrando a área de ocorrência dos maciços graníticos Antônio Vicente, Velho Guilherme e Mocambo (CPRM/DNPM 1997, modificado).





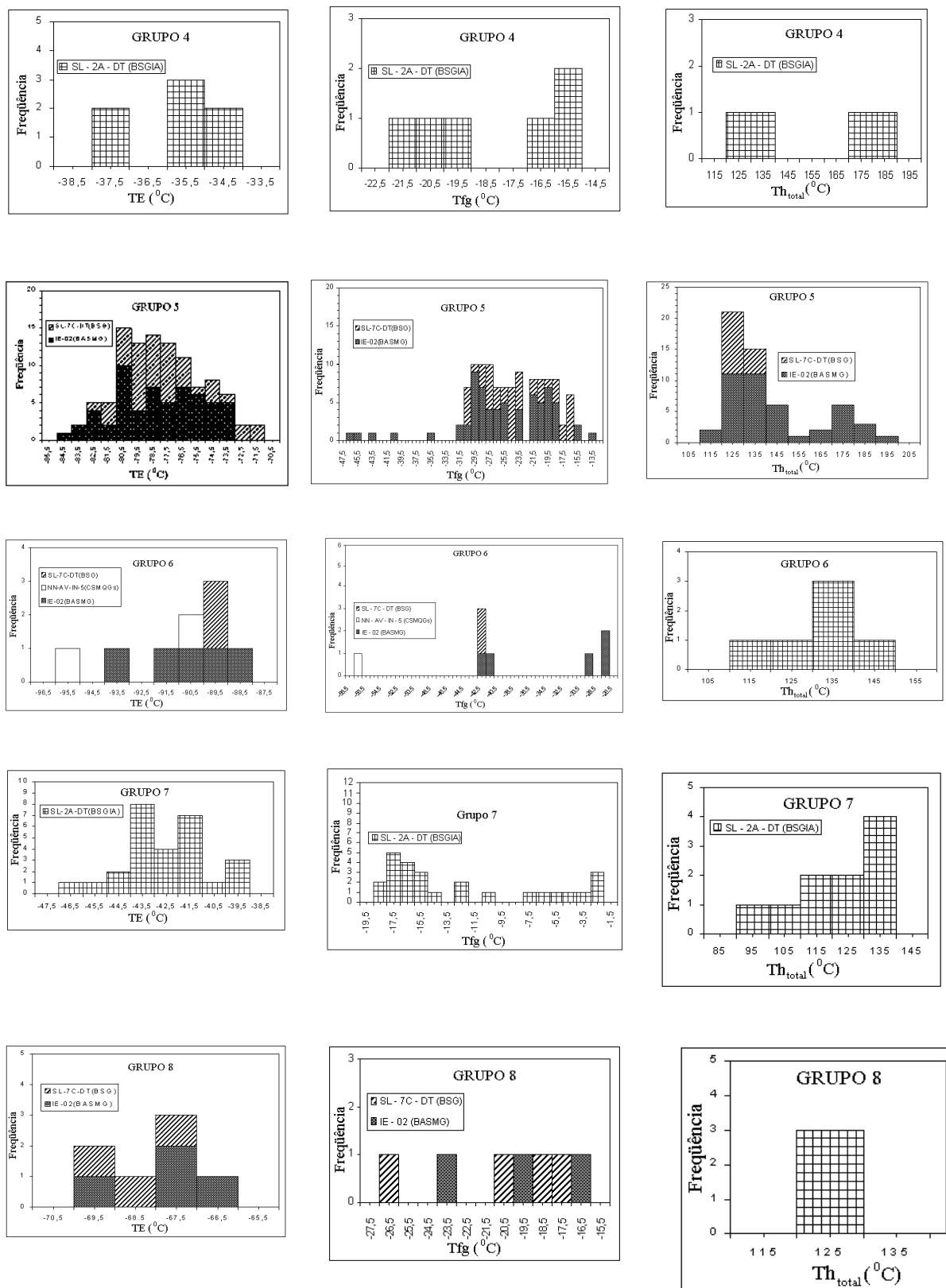


Figura 3. Histogramas envolvendo Frequência vs. TE<sup>0</sup>C, Frequência vs. Tfg<sup>0</sup>C e Frequência vs. Th<sub>total</sub><sup>0</sup>C, relativos aos oito grupos de inclusões fluidas estudados.