

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E LITOQUÍMICA DO MINÉRIO
CUPRO-AURÍFERO DE DEPÓSITOS DO ÓXIDO DE FERRO-COBRE-OURO
DA PROVÍNCIA CARAJÁS

André Vinicius Maion

Orientadora: Prof^a. Dra. Lena Virgínia Soares Monteiro

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF- 2013 / 03)

SÃO PAULO

2013

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E LITOQUÍMICA DO MINÉRIO CUPRO-AURÍFERO DE DEPÓSITOS DO ÓXIDO DE FERRO-COBRE-OURO DA PROVÍNCIA CARAJÁS

de acordo _____

André Vinicius Maion

de acordo _____

Orientadora: Prof^a. Dra. Lena Virgínia Soares Monteiro

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF- 2013 / 03)

SÃO PAULO

2013

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer à minha família por todo apoio, carinho e risadas, que tornam a convivência em família extremamente prazerosa e fez de mim o que sou hoje.

Agradeço a minha orientadora Lena Monteiro, pela paciência e conselhos que foram de vital importância para esse trabalho e para outros que virão.

A Erica Tonetto do IG-UNICAMP que me auxiliou com as análises de MEV desse trabalho.

A todos os professores do Instituto pelos ensinamentos e dedicação em suas atividades.

Aos monitores das disciplinas que tanto auxiliaram nas atividades de sala de aula e de campo.

Agradeço a todos os funcionários do Instituto pelo trabalho e disposição para ajudar. Em especial ao pessoal da gráfica, da biblioteca e a Jordana do Lab-Sed que ajudaram na confecção desse trabalho e de tantos outros durante a graduação.

Agradeço aos meus amigos da Geo. Habiba, Mocinha, Horácio, Vaselina, Planária, Broke, Sifilis, Piriguete, Craca, Nany, Perva, Tasolto, Peluda, Xiliquenta, Funério pelas festas, brincadeiras e longas e divertidas conversas no banco do saguão da Geo que tornaram essa graduação uma experiência de vida, e a Kitu pela paciência e conversas ao pé do ouvido.

Sumário

| | | |
|-------|---|----|
| 1 - | Introdução | 1 |
| 2 - | Objetivos | 2 |
| 3 - | Materiais e Métodos | 2 |
| 4 - | Revisão Bibiográfica | 3 |
| 4.1 - | Contexto geológico da Província Carajás | 3 |
| 4.2 - | Depósitos de cobre-ouro de Carajás | 7 |
| 4.3 - | Geologia dos depósitos IOCG de Carajás | 9 |
| 4.4 - | Características dos minérios de Cu-Au dos depósitos IOCG de Carajás | 15 |
| 5 - | Compilação e novos dados geoquímicos | 30 |
| 6 - | Conclusão | 38 |
| 7 - | Referências Bibliográficas..... | 42 |

RESUMO

A Província Mineral de Carajás, localizada no sudeste do Estado do Pará, no Cráton Amazônico, é considerada uma das mais importantes províncias minerais do mundo, com depósitos minerais de ferro, manganês, níquel, alumínio, ouro e cobre. Entre os últimos ocorrem depósitos cupro-aurífero caracterizados por elevado conteúdo de magnetita-hematita) e por sua associação com extensas zonas de alteração hidrotermal, semelhantes ao da classe dos depósitos de óxido de ferro-cobre-ouro.

Os depósitos de óxido de ferro-cobre-ouro de Carajás compartilham evolução paragenética semelhante, contudo dados geocronológicos recentes não suportam a sincronicidade dos eventos mineralizantes nesses depósitos, sugerindo que os depósitos registram eventos hidrotermais arqueanos e paleoproterozoicos de forma distinta. Esse estudo objetiva caracterizar por meio de estudos petrográficos em luz refletida e transmitida e com uso de microscópio eletrônico de varredura, bem como estudos litoquímicos, a natureza do minério cupro-aurífero nos depósitos Sossego (corpos Sossego e Sequeirinho), Salobo, Bacaba e Alvo 118 e avaliar se as assinaturas químicas do minério refletem processos de interação dos fluidos hidrotermais com rochas arqueanas e paleoproterozoicas.

Os depósitos estudados caracterizam-se pela presença de minerais de ETR, principalmente allanita, e de cobalto e níquel (siegenita, safflorita, cobaltarthurita, linnaeita, millerita). Entretanto, tanto a composição mineralógica como química das amostras de minério desses depósitos refletem diferenças que podem ser relativas a particularidades de sua evolução.

Assinaturas químicas distintas foram caracterizadas para os depósitos arqueanos (Fe, Mo, ETR, Ni e Co), tais como o deposito de Salobo, Bacaba e o Corpo Sequeirinho (Mina do Sossego), e aqueles que registraram eventos hidrotermais paleoproterozoicos (Sn, Nb, Y e U), que incluem o Corpo Sossego (Mina Sossego) e o depósito Alvo 118. O enriquecimento de Sn, Nb e Y nos depósitos paleoproterozoicos pode ser atribuído à interação dos fluidos hidrotermais com granitos do tipo A de ca. 1,88 Ga.

ABSTRACT

The Carajás Mineral Province, located in the southeast of Pará State, in the Amazon Craton, is considered one of the most important mineral provinces in the world, and hosts iron, manganese, nickel, aluminum, gold and copper deposits. Among the latter occur copper-gold deposits characterized by high content of magnetite-(hematite) and their association with extensive hydrothermal alteration zones, similar to those of the iron oxide-copper-gold deposits.

The iron oxide-copper-gold deposits of the Carajás Province share similar paragenetic evolution, but recent geochronological data do not support the synchronicity of mineralizing events in these deposits, recording Archean and/or Paleoproterozoic hydrothermal events. This study aims to characterize the nature of the ore from the Sossego (Sossego and Sequeirinho orebodies), Solobo, Bacaba, and Alvo 118 deposits through petrographic studies in reflected and transmitted light, scanning electron microscope, and lithochemistry. This study also aims to evaluate fluid-rock interaction processes involving Archean and Paleoproterozoic rocks.

The iron oxide-copper-gold deposits of the Carajás Province are characterized by the presence of ETR minerals, especially allanite, and cobalto- and nickel-bearing mineral phases (siegenite, safflorite, cobaltarthurite, linnaeite, millerite). However, both the chemical and mineralogical composition of the ore samples reflect differences that may be related to peculiarities of the evolution of each deposit.

Distinct chemical signatures have been characterized for Archean deposits (Fe-Mo-REE-Ni-Co), such as Salobo, Bacaba and Sequeirinho orebody (Sossego Mine), and those in which Paleoproterozoic hydrothermal events were recorded (Sn-Nb-Y-U), which include the Sossego orebody (Sossego Mine) and the Alvo 118 deposit. The enrichment in Sn, Nb, and Y in the Paleoproterozoic deposits can be attributed to the interaction between the hydrothermal fluids and ca. 1.88 Ga A-type granites.

1 - INTRODUÇÃO

A Província Carajás apresenta a maior concentração conhecida de depósitos de cobre-(ouro) de alta tonelagem, sendo caracterizados por conter elevado conteúdo de magnetita-(hematita) e por sua associação com extensas zonas de alteração hidrotermal. Tais depósitos, que incluem Salobo, Igarapé Bahia/Alemão, Sossego, Cristalino, Alvo 118, têm sido atribuídos à classe dos depósitos de óxido de ferro-cobre-ouro (*iron oxide-copper-gold* ou *IOCG deposits*; Huhn e Nascimento 1997, Réquia *et al.* 2003, Tallarico *et al.* 2005, Monteiro *et al.* 2008, Xavier *et al.* 2012).

Os depósitos IOCG de Carajás compartilham evolução paragenética semelhante, com alteração sódica inicial (albita-escapolita), seguida por estágios de alteração sódica-cálcica (albita-actinolita) e potássica (biotita-ortoclásio), em geral sincrônica à mineralização. Esses depósitos também refletem evolução fluidal similar, com predominância de fluidos hipersalinos e quentes (> 500 °C) nos estágios iniciais e mistura progressiva com fluidos diluídos e mais frios em estágios tardios (Monteiro *et al.*, 2008, Xavier *et al.*, 2012).

A associação de todos esses depósitos com distintas porções de extensos sistemas hidrotermais regionais, contudo, é dificultada, uma vez que dados geocronológicos precisos não suportam a sincronicidade dos eventos mineralizantes nesses depósitos. Na parte norte da Província Carajás, um importante evento metalogenético em ca. 2,57 Ga foi caracterizado nos depósitos de Salobo e Igarapé Bahia (Réquia *et al.* 2003; Tallarico *et al.* 2005). Entretanto, estudos geocronológicos realizados por Moreto *et al.* (2013) nos depósitos do Cinturão Sul do Cobre não permitem associar todos os depósitos IOCG de Carajás a um único evento neoarqueano. Esses estudos revelam a importância de eventos neoarqueanos (ca. 2,70 Ga) associados à formação dos corpos Sequeirinho-Pista da Mina Sossego. Adicionalmente, eventos hidrotermais paleoproterozoicos foram também registrados nos corpos Sossego-Currall (Mina Sossego) em ca. 1,88 Ga, em concordância com a idade atribuída à mineralização do depósito Alvo 118 (Tallarico 2005).

A compreensão da natureza dos múltiplos eventos de formação de depósitos IOCG no contexto da evolução tectônica da Província Carajás, assim como o reconhecimento dos efeitos da sobreposição desses eventos, representam novos desafios. A natureza do minério cupro-aurífero reflete a natureza dos fluidos hidrotermais após processos extensivos de interação fluido-rocha. Dessa forma, diferenças significativas em relação à composição química do minério seria esperada em função da interação com litotipos que refletem a evolução arqueana e paleoproterozoica de Carajás. A integração e reinterpretação do conjunto de dados petrográficos e litoquímicos dos depósitos IOCG de Carajás, a luz dos novos dados geocronológicos, contudo, pode auxiliar a reconstituição da história evolutiva desses depósitos.

Assim, esse estudo apresenta revisão detalhada do contexto geológico dos depósitos IOCG de Carajás, compilação de dados petrográficos e litoquímicos, assim como a obtenção de novos dados analíticos referentes aos diferentes tipos de minério dos depósitos IOCG de Salobo, Sossego, Alvo 118 e Bacaba.

2 - OBJETIVOS

O presente Trabalho de Formatura tem como objetivos apresentar a caracterização petrográfica e litoquímica dos minérios cupro-auríferos de diversos depósitos IOCG da Província Carajás visando à caracterização de possíveis mecanismos de interação fluido-rocha e avaliação da importância da contribuição do magmatismo bimodal neoarqueano (ca. 2,74 Ga, granitos alcalinos e gabronoritos) e da granitogênese do tipo A paleoproterozoica (ca. 1,88 Ga) para a gênese desses depósitos.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos empregados nesse estudo incluíram:

Revisão Bibliográfica: pesquisas bibliográficas foram desenvolvidas durante todo o desenvolvimento do projeto com ênfase no contexto geológico da Província Mineral de Carajás e em estudos relativos à gênese de depósitos tipo IOCG no mundo e em Carajás, além de compilação de dados petrográficos e litoquímica de estudos recentes realizados nos depósitos Salobo, Sossego, Bacaba e Alvo 118.

Estudos Petrográficos em luz transmitida e refletida: nesse estudo foram confeccionadas no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP) seis lâminas delgado-polidas a partir de amostras de minério de alto teor, previamente selecionadas pela orientadora na Mina do Salobo. Estudos petrográficos foram realizados com uso de microscópio petrográfico do Lab Sed da USP, em luz refletida e luz transmitida, documentadas por microfotografias, visando a identificação de minerais de minério e de alteração hidrotermal, assim com suas texturas, relações paragenéticas e possíveis relações com icroestruturas.

Microscopia Eletrônica de Varredura: Análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) acopladas a EDS (*Energy Dispersive X-Ray Spectrometer*) foram realizadas em seis amostras da Mina do Salobo no Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (IG-UNICAMP), visando à identificação de fases minerais acessórias não reconhecidas ao microscópio óptico, possíveis inclusões minerais ou mudança composicional nos minerais de minério a partir da obtenção de imagens de elétrons retroespelhados e análises químicas semi-quantitativas pontuais por EDS.

Análises Geoquímicas: uma parte das mesmas amostras da Mina do Salobo caracterizadas petrograficamente e por MEV, mais uma amostra do depósito Bacaba, foram preparadas no Laboratório de Preparação de Amostras do IGc-USP com uso de prensa

hidráulica e moinho de ágata. As amostras foram enviadas ao laboratório ACME Laboratories (Vancouver, Canadá) e analisadas (Anexo 1) segundo os mesmos métodos também utilizados para as amostras dos demais depósitos (Sossego, Alvo 118 e Bacaba) visando à comparação e análise conjunta dos dados. Os elementos maiores foram analisados por ICP-ES e os elementos menores, traços e elementos terras raras (ETR) por ICP-MS após fusão com metaborato/tetraborato de lítio e digestão com ácido nítrico. Enxofre e carbono foram analisados por LECO. Os dados litoquímicos foram integrados e analisados em planilha Excel.

4 - REVISÃO BIBIOGRÁFICA

4.1 - Contexto geológico da Província Carajás

A Província Carajás localiza-se no sudeste do Estado do Pará, na porção sudeste do Cráton Amazônico que representa uma grande placa litosférica continental, estabilizada por volta de 1,0 Ga. (Santos 2003). A evolução do cráton é interpretada como resultante de sucessivas acreções crustais durante o Paleoproterozóico e o Mesoproterozóico, em torno de um núcleo mais antigo estabilizado no fim do Arqueano (Santos 2003).

A Província Carajás representa um núcleo arqueano bem preservado e é considerada umas das maiores províncias minerais do planeta, com importantes depósitos de ferro, cobre, ouro, manganês, níquel, alumínio, entre outros (Santos 2003). Segundo a proposta de Tassinari e Macabira (2004), essa província mineral seria parte da província geocronológica Amazônia Central, subdividida nos blocos Carajás e Xingu-Iricoumé. Na concepção de Santos *et al.* (2000) e Santos (2003), adotada por Vasquez *et al.* (2008) no mapeamento geológico mais recente do Estado do Pará, em escala 1:1.000.000, a Província Carajás (3000 - 2500 Ma) representa uma das províncias tectônicas que compõem o Cráton Amazônico, sendo subdividida nos domínios Rio Maria e Carajás (figura 1).

No Domínio Rio Maria, localizado na região sul da Província Carajás, são conhecidas rochas mesoarqueanas (2,85 - 3,05 Ga), que incluem sequências de *greenstone belts* e rochas TTG.

O Domínio Carajás (figura 2), localizado na porção norte da Província Carajás, é constituído por uma associação de rochas metamorfisadas em alto grau, que representa o embasamento mesoarqueano, sequências metavulcanossedimentares neoarqueanas, complexos máfico-ultramáficos e granitos alcalinos neoarqueanos (Vazquez *et al.* 2008). A cobertura sedimentar, depositada em uma plataforma continental neoarqueana, recobre as unidades metavulcanossedimentares. Granitos do tipo A orosirianos ocorrem por toda a Província Carajás, tanto no Domínio Rio Maria como no Domínio Carajás (Santos 2003).

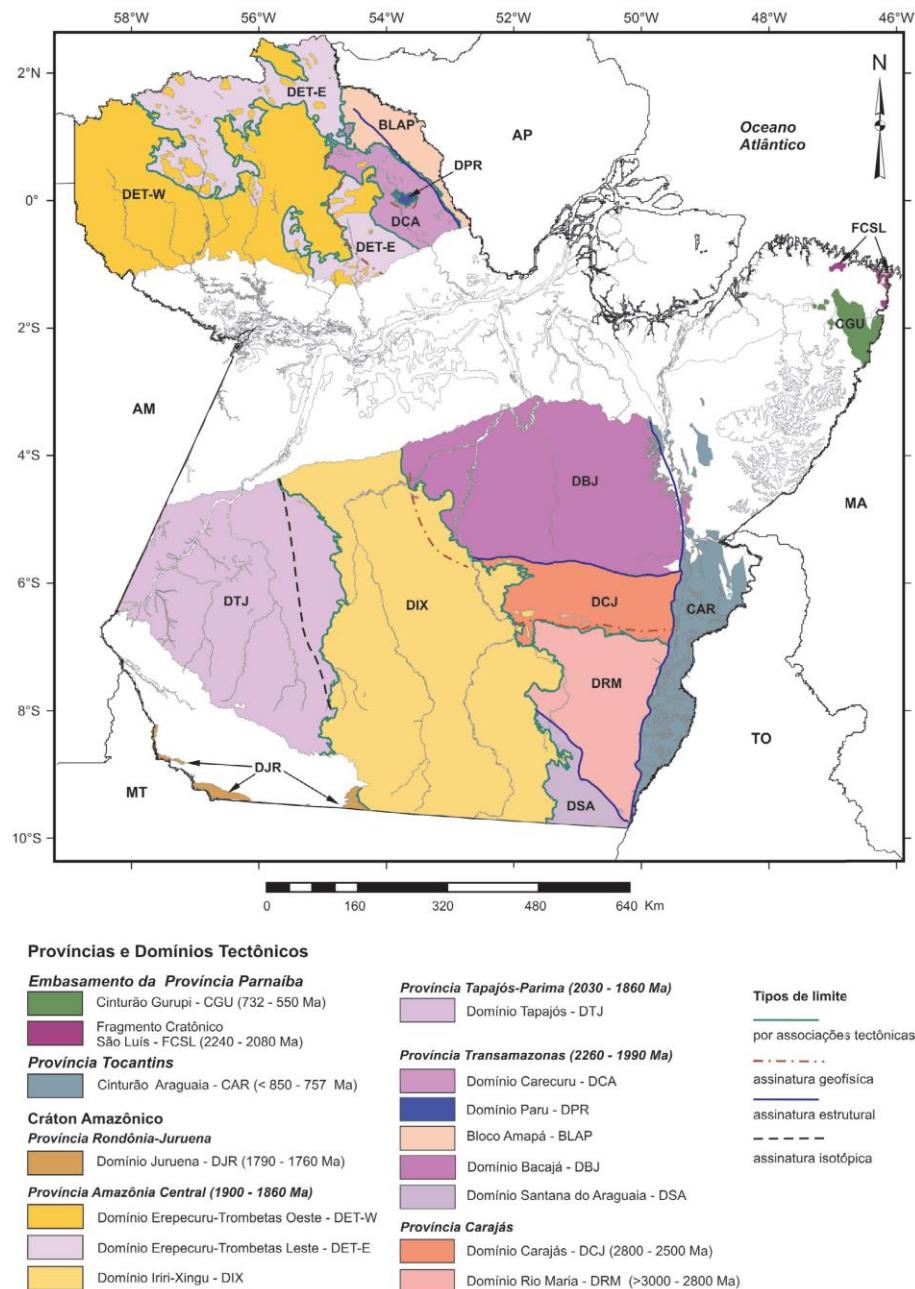


Figura 1. Mapa do Estado do Pará com as subdivisões em províncias tectônicas e domínios (Vasquez *et al.* 2008).

O Domínio Carajás apresenta unidades geológicas geralmente alongadas na direção E-W em sua parte sul, enquanto na parte norte, são orientadas nas direções E-W e N75W (Hasui 2012). O domínio apresenta zonas de cisalhamentos de alto ângulo de mergulho, transcorrentes, de direção regional E-W e ESE-WNW representadas na porção norte pelos sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento (Araújo *et al.* 1988).

No Domínio Carajás, as rochas do embasamento são consideradas como pertencentes ao Complexo Pium composto por ortogranulitos, enderbitos e gnaisses charnockíticos com idade de cristalização dos protólitos de ca. 3,0 Ga (U-Pb em zircão; Pidgeon *et al.* 2000) e pelo Complexo Xingu composto por ortognaisses, migmatitos e

granitoides com idade de 2859 ± 2 Ma, interpretada como relativa ao último evento de migmatização (Machado *et al.* 1991).

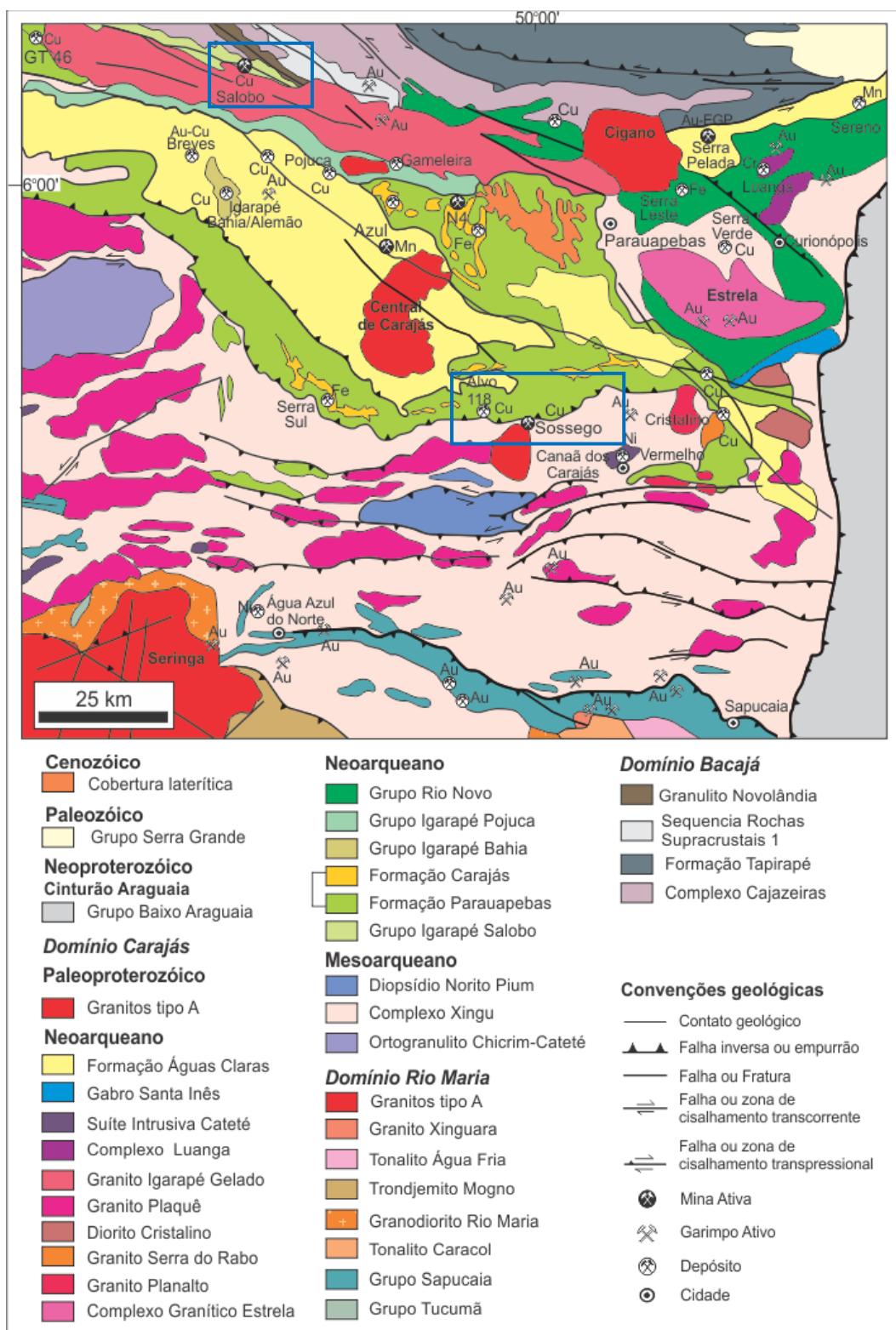


Figura 2. Mapa geológico do Domínio Carajás da Província Carajás e áreas adjacentes (modificado de Vasquez et al., 2008) com localização de depósitos de óxido de ferro-cobre-ouro, com destaque para os depósitos de Sossego e Alvo 118, localizados no Cinturão Sul do Cobre, e Salobo, localizado no Sistema Transcorrente Cinzento.

Oliveira *et al.* (2010) identificaram noritos, gabros e dioritos datados em ca. 2,74 Ga na área tipo do Complexo Pium e os designaram de Diopsidio-norito Pium. As rochas metamórficas de alto grau antes atribuídas a esse complexo foram reconhecidas por esses autores apenas nas proximidades da aldeia dos índios Chicrim-Cateté, sendo então denominadas de Ortogranulito Chicrim-Cateté. Adicionalmente, na área de ocorrência do Complexo Xingu, foram individualizadas outras unidades mesoarqueanas (ca. 3,0 Ga a 2,84 Ga), também atribuídas ao embasamento, tais como o Tonalito Bacaba (Moreto *et al.* 2011), o Granito Canaã dos Carajás (Feio *et al.* 2012), o Trondjemito Rio Verde e os granitos Bom Jesus, Cruzadão e Serra Dourada (Moreto *et al.* 2011; Feio *et al.* 2012), além de granitoides foliados na região de Serra Leste (Barros *et al.* 2010).

As sequências metavulcanossedimentares que preencheram a Bacia Carajás são representadas pelo Grupo Rio Novo (Hirata *et al.* 1982) e pelo Supergrupo Itacaiúnas (DOCEGEO 1988). O último é subdividido nos grupos Grão Pará, Igarapé Salobo, Igarapé Bahia (2.758 ± 75 Ma; Santos 2002) e Igarapé Pojuca (2.732 Ma; Machado *et al.* 1991). O Grupo Rio Novo inclui anfibolitos, xistos, metagrauvacas, rochas metavulcânicas tholeíticas e gabros. O Grupo Igarapé Salobo é representado por paragnaisse, anfibolitos, meta-arcóseos e formações ferríferas bandadas (Wirth *et al.* 1986). O Grupo Igarapé Bahia é composto por rochas metavulcânicas, metapiroclásticas e formações ferríferas, além de unidades metassedimentares siliciclásticas (DOCEGEO 1988). O Grupo Igarapé Pojuca apresenta rochas metavulcânicas básicas, xistos pelíticos, anfibolitos e formações ferríferas metamorfisadas em fácies xisto verde a anfibolito (DOCEGEO 1988). Grupo Grão Pará é composto por derrames basálticos intercalados a jaspilitos, riolitos, rochas vulcanoclásticas e diques/*sills* de gabros subordinados (Zucchetti 2007). Esse último grupo é dividido em Formação Parauebas (2.760 Ma; Trendall *et al.* 1998) com rochas metavulcânicas, rochas vulcanoclásticas, itabiritos, jaspilitos e xistos e Formação Carajás (2.740 ± 8 Ma, 2.743 ± 11 Ma; Trendall *et al.* 1998), que inclui formações ferríferas bandadas (BIFs).

A Formação Águas Claras, com idade limitada ao arqueano obtida pela datação de um *sill* de gabbro intrusivo na unidade (2.645 ± 12 Ma U-Pb, Dias *et al.* 1996), é representada por meta-conglomerados, meta-arenitos, metapelitos, além de mármore dolomítico, filito carbonoso e sericita quartzito, cujos protólitos foram depositados em ambiente fluvial e litorâneo (Nogueira *et al.* 1995).

Magmatismo granítico neoarqueano (2,75 a 2,74 Ga), restrito ao Domínio Carajás, é representado por granitoides do tipo A das suítes Plaquê, Planalto, Estrela, Igarapé Gelado e Serra do Rabo (Huhn *et al.* 1999, Avelar *et al.* 1999, Barros *et al.* 2010, Sardinha *et al.* 2006, Feio *et al.* 2012). O Granito Old Salobo (2,57 Ga; Machado *et al.* 1991) e Itacaiúnas seriam representativos de magmatismo neoarqueno mais novo, de ocorrência conhecida apenas ao longo do Sistema Transcorrente Cinzento.

Intrusões máfico-ultramáficas acamadas neoarqueanas são representadas pelo Complexo Máfico-Ultramáfico Luanga (2.763 ± 6 Ma; Machado *et al.* 1991) e pela Suíte Intrusiva Cateté (2.766 ± 6 Ma Lafon *et al.* 2000) constituída por piroxenitos, peridotitos, dunitos, serpentinitos, noritos e gabros. Essas unidades hospedam depósitos de Níquel e EGP (Macambira e Vale 1997).

O magmatismo orosiriano (1,88 Ga), presente em toda a Província Carajás, é representado por granitos alcalinos a sub-alcalinos do tipo A e metaluminosos a levemente peraluminosos, que inclui a Suíte Intrusiva Serra dos Carajás no Domínio Carajás (granitos Central de Carajás, Young Salobo, Cigano, Pojuca, Breves e Rio Branco), de acordo com Machado *et al.* (1991), Tallarico (2003), Dall'Agnol *et al.* (2005) e Dall'Agnol & Oliveira (2007).

4.2 - Depósitos de cobre-ouro de Carajás

A Província Carajás contém grandes reservas minerais de ferro, cobre, ouro, níquel laterítico, alumínio, entre outros. Entre os depósitos de cobre, alguns dos importantes exemplos, tais como Salobo, Sossego, Cristalino e Igarapé Bahia/Alemão, caracterizam-se por apresentar grandes quantidades de magnetita associada. Huhn e Nascimento (1997) relacionaram esses depósitos pela primeira vez à classe de depósitos minerais proposta por Hitzman *et al.* (1992), denominada de *Iron Oxide Cu-Au-(U-REE)* ou IOCG. Posteriormente, Hitzman (2000) também reconheceu tais depósitos como pertencentes a essa classe, e atualmente considera-se que a Província Carajás hospeda a maior quantidade conhecida de depósitos dessa classe, totalizando reservas de mais de dois bilhões de toneladas com teores médios de 0,96 e 1,4% Cu (Williams *et al.* 2005; Monteiro *et al.* 2008; Groves *et al.* 2010; Xavier *et al.* 2012).

A classe dos depósitos de óxido de ferro-cobre-ouro foi definida por Hitzman *et al.* (1992) considerando Olympic Dam, na Austrália, seu depósito tipo. Segundo Cox & Singer (2007), esses depósitos caracterizam-se por veios e corpos de brechas com hematita e/ou magnetita com sulfetos disseminados. A assinatura do minério reflete enriquecimento em Cu \pm Au \pm Ag \pm Pb \pm Pt \pm Ni \pm U \pm ETR e os óxidos de ferro têm razão Fe/Ti baixa, o que os difere dos óxidos de ferro de origem magmática (Williams *et al.* 2005).

As principais características desses depósitos incluem:

Idade: variável, uma vez que não parece haver épocas metalogenéticas mais favoráveis para formação dos depósitos IOCG (Hitzman, 2000).

Ambientes tectônicos: os depósitos conhecidos associam-se a ambientes diversos, porém com predominância de: (I) margens continentais ativas com feições extensionais locais. Esse ambiente pode formar riftes, que propiciam a deposição de conglomerados, *redbeds* e evaporitos que podem representar fonte dos fluidos hidrotermais salinos e oxidados que tem como fonte de calor intrusões associadas aos arcos magmáticos

coexistentes. Esses fluidos salinos e aquecidos são capazes de lixivar e transportar cobre e ouro (Cox & Singer 2007); (II) ambiente com magmatismo em bacias intracratônicas. Os granitos intrudem rochas depositadas em bacias sedimentares, deformando-as, metamorfisando-as e gerando salmouras, que devido ao calor das intrusões, são mobilizadas lixiviando metais e depositando-os em falhas e brechas (Cox & Singer 2007).

Rochas relacionadas: os depósitos, em sua maioria, estão relacionados a significativos eventos magmáticos, com intrusões de rochas sem uma determinada composição, podendo ser félscicas, alcalinas, intermediárias e maficas (Williams et al. 2005). Porém, os depósitos não aparentam ter uma relação espacial direta com uma intrusão específica (Williams et al. 2005). As rochas hospedeiras são predominantemente vulcânicas e sedimentares falhadas e deformadas, além de brechas tectônicas (Cox & Singer 2007).

Controle estrutural: os depósitos de óxido de ferro-cobre-ouro estão localizados em zonas de falhas, que geralmente são subsidiárias em relação à falhas maiores, de escala crustal (Hitzman 2000). A extensão e o grau de permeabilidade das falhas e das brechas nas rochas hospedeiras estão diretamente relacionados ao tamanho do depósito (Cox & Singer 2007).

Mineralogia: os principais minerais hidrotermais são a hematita, magnetita e siderita, além de biotita, minerais cálcio-silicáticos, quartzo, apatita, escapolita, albíta, fluorita, calcita, barita e turmalina. Os óxidos de ferro tem uma razão Fe:Ti baixa em relação a óxidos de ferro de outros depósitos. A associação mineral de minério comum é composta por calcopirita, bornita, calcocita, ouro e, frequentemente, pirita ou pirrotita (Cox & Singer 2007).

Morfologia dos corpos de minério: segundo Hitzman (2000), o minério pode ocorrer de diversas formas desde *stratabound* até discordantes, do tipo *stockwork* e em zonas de brecha. Cox & Singer (2007) descreve que os minerais de minério ocorrem em veios e disseminados nos corpos constituídos por óxido de ferro, formam corpos lenticulares ou alongados, preenchem espaços na matriz de pipes de brechas ou gerados em tension gashes, além de constituir o cimento de brechas irregulares.

Alteração Hidrotermal: de acordo com Hitzman (2000), os depósitos IOCG são geralmente associados com alterações sódico-potássica, potássica ou hidrolítica. Em geral extensiva, a alteração sódica e sódica-cálcica e os corpos de magnetititos com apatita são associados à milonitização e ocorrem em rochas em níveis crustais profundos, enquanto alteração potássica é típica de níveis intermediários e a alteração hidrolítica de níveis crustais rasos a superficiais (Hitzman et al. 1992; Hitzman 2000).

Tonelagem: os maiores depósitos estão hospedados em brechas e em grandes zonas de cisalhamento e estão associados com intrusões de composição intermediária a félscica (Willians et al 2005), enquanto depósitos menores ocorrem em veios controlados por falhas (Cox e Singer 2007). As tonelagens de minério dos depósitos tipo IOCG variam muito, Olympic Dam, na Austrália tem depósitos estimados em 3,8 bilhões de toneladas, enquanto

na Província Carajás são conhecidos vários depósitos de cobre-(ouro) com mais de 100 milhões de toneladas com aproximadamente 1% de Cu (Williams *et al.* 2005)

4.3 - Geologia dos depósitos IOCG de Carajás

A Província Carajás hospeda depósitos de cobre de classe mundial, tais como Salobo, Sossego, Cristalino, Igarapé Bahia e Alvo 118, além de vários outros menores (Bacaba, Bacuri, Castanha, Visconde, e Jatobá). Os depósitos de óxido de ferro-cobre-ouro de Carajás apresentam similaridades, incluindo: (i) associação com zonas de cisalhamento; (ii) proximidade de intrusões (granito, diorito, gabbro e diques porfiríticos de composição dacítica ou riolítica), sendo que apenas alguns depósitos tem clara relação espacial com as intrusões; (iii) intensas alterações hidrotermais, incluindo a sequência geral com alteração inicial sódica, sódica-cálcica e potássica, além de cloritização, turmalinização e silicificação mais tardias; (iv) formação de magnetita seguida por precipitação de sulfetos e (v) um amplo intervalo de temperaturas de homogeneização (100-570°C) e salinidades (0 a 69% eq. peso NaCl) em inclusões fluidas em minerais de ganga relacionados aos minerais de minério, indicando a mistura de fluidos de origens diversas (Monteiro *et al.* 2008), além da assinatura geoquímica rica em ETR, P, U, Co e Ni (Huhn & Nascimento 1997).

4.3.1 - Depósito Igarapé Bahia/Alemão

O depósito de óxido de ferro-cobre-ouro Igarapé Bahia, com reservas estimadas em 219 Mt (com 1,4 wt.% Cu, 0,8 g/t Au; Tallarico *et al.* 2005), é formado por quatro corpos de minério denominados Furo Trinta, Acampamento Sul, Acampamento Norte e Alemão (Dreher *et al.* 2008). Suas rochas encaixantes são metavulcanossedimentares pertencentes ao Grupo Igarapé Bahia datadas em 2748 ± 34 Ma (U-Pb em zircão; Tallarico *et al.* 2005). Datações U-Pb SHRIMP em monazita da matriz das brechas mineralizadas resultaram em idades de 2.575 ± 12 Ma (Tallarico *et al.* 2005), indicando caráter epigenético da mineralização hidrotermal.

Os principais tipos de alteração hidrotermal identificados nas rochas encaixantes e hospedeiras incluem intenso metassomatismo férrico, responsável por formação de fayalita, grunerita e/ou magnetita e hematita, carbonatação intensa, com formação de siderita, e cloritização, mais comum (Tallarico, 2000).

Os sulfetos no depósito de Igarapé Bahia são encontrados disseminados na matriz de brechas hidrotermalizadas ou como lentes de sulfeto maciços (Dreher *et al.* 2008). Nas brechas são reconhecidos fragmentos de rochas vulcânicas, vulcanoclásticas e formação ferrífera bandada com magnetita, siderita e, mais comumente, clorita na matriz juntamente com os minerais de minério. Esses incluem calcopirita, ouro e em menor quantidade cobaltita, bornita, molibdenita, digenita, cuprita e piritita, associados a lorencita, crandalita e rhabdophanita (Dreher *et al.* 2008, Tallarico *et al.* 2005).

A assinatura geoquímica da mineralização é representada pela associação de Fe, Cu, Au, F, U, Mo, Ag, Ce, La, S, P, Ba, Sn, V, Zn, Ni e CO₂ (Dreher *et al.* 2008).

4.3.2 - Depósito Sossego

Segundo Monteiro *et al.* (2008), o depósito de óxido de ferro-cobre-ouro Sossego (245 Mt com 1,1wt.% Cu, 0,28 g/t Au) é composto por dois grupos de corpos de minérios, Sequerinho-Baiano-Pista e Sossego-Currall. Esses corpos não apresentam as mesmas associações minerais, tipos e intensidade de alteração hidrotermal, o que pode mostrar condições de formações distintas. Novos dados isotópicos publicados por Moreto (2013) datam o minério dos corpos de minério Sequeirinho-Pista-Baiano em $2.712,3 \pm 4,7$ Ma (U-Pb LA-MC-ICPMS em monazita) e o minério do e Sossego-Currall em $1.904 \pm 5,2$ Ma (U-Pb LA-MC-ICPMS em monazita) .Tais dados sugerem que os grupos de corpos de minério e Sossego-Currall não são cogenéticos. A gênese dos corpos Sequeirinho-Pista-Baiano teria ocorrido no arqueano, enquanto Sossego-Currall teriam se formado durante o Paleoproterozóico após exumação progressiva dos sistemas arqueanos (Moreto 2013). Alteranativamente, as idades paleoproterozoicas poderiam refletir remobilização do minério preeexistente.

Os corpos Sequeirinho e Baiano são hospedados pelo Granito Sequeirinho (3,0 Ga (U-Pb LA-MC-ICPMS em zircão; Moreto 2013) e pelo Gabronorito Sossego ($2.739 \pm 5,9$ Ma; U-Pb SHRIMP IIle em zircão; Moreto 2013), enquanto que o corpo Pista é hospedado por rocha metavulcânica ácida intercalada a lentes de rocha metaultramáfica (2.968 ± 15 U-Pb SHRIMP IIle em zircão; Moreto 2013). Os corpos Sossego e Currall são hospedados pelo Granito Granofírico Sossego (2.740 ± 26 U-Pb LA-MC-ICPMS; Moreto 2013) e pelas mesmas rochas gabróicas hospedeiras do Corpo Sequeirinho (Moreto 2010) submetidas a intensidades variáveis de deformação, exibindo foliação milonítica paralela à estrutura E-W regional.

Nos corpos de minério Sequerinho–Baiano-Pista predominam um padrão de alteração hidrotermal, semelhante ao encontrado mundialmente nas porções crustais mais profundas dos depósitos IOCG. São zonas de alteração sódica (albita-hematita) e sódica-cálcica (rica em actinolita) com a formação de corpos massivos de magnetita-(apatita). Nesses corpos, a alteração potássica ocorre em áreas restritas do corpo, gradando nas zonas mais externas para alteração clorítica associada às brechas mineralizadas. Tais brechas apresentam predominância de calcopirita na matriz envolvendo fragmentos de actinolítitos/magnetititos e de cristais de actinolita, apatita e magnetita, comumente também hidrotermalizados (Monteiro *et al.* 2008).

Os Corpos Sossego-Currall apresentam alteração potássica intensa, seguida por alteração clorítica, que predomina nos halos externos, e alteração hidrolítica, típicas de zonas rasas a superficiais dos sistemas IOCG (Monteiro *et al.* 2008). No Corpo Sossego, as

brechas ocorrem associadas a *pipes* verticais com expressão circular em superfície. Apresentam fragmentos da rocha hospedeira hidrotermalizada envolvidos por magnetita e matriz com calcopirita, carbonatos e quartzo com texturas de preenchimento de espaços abertos que denotam condições rúpteis (Monteiro *et al.* 2008; Figura 3).

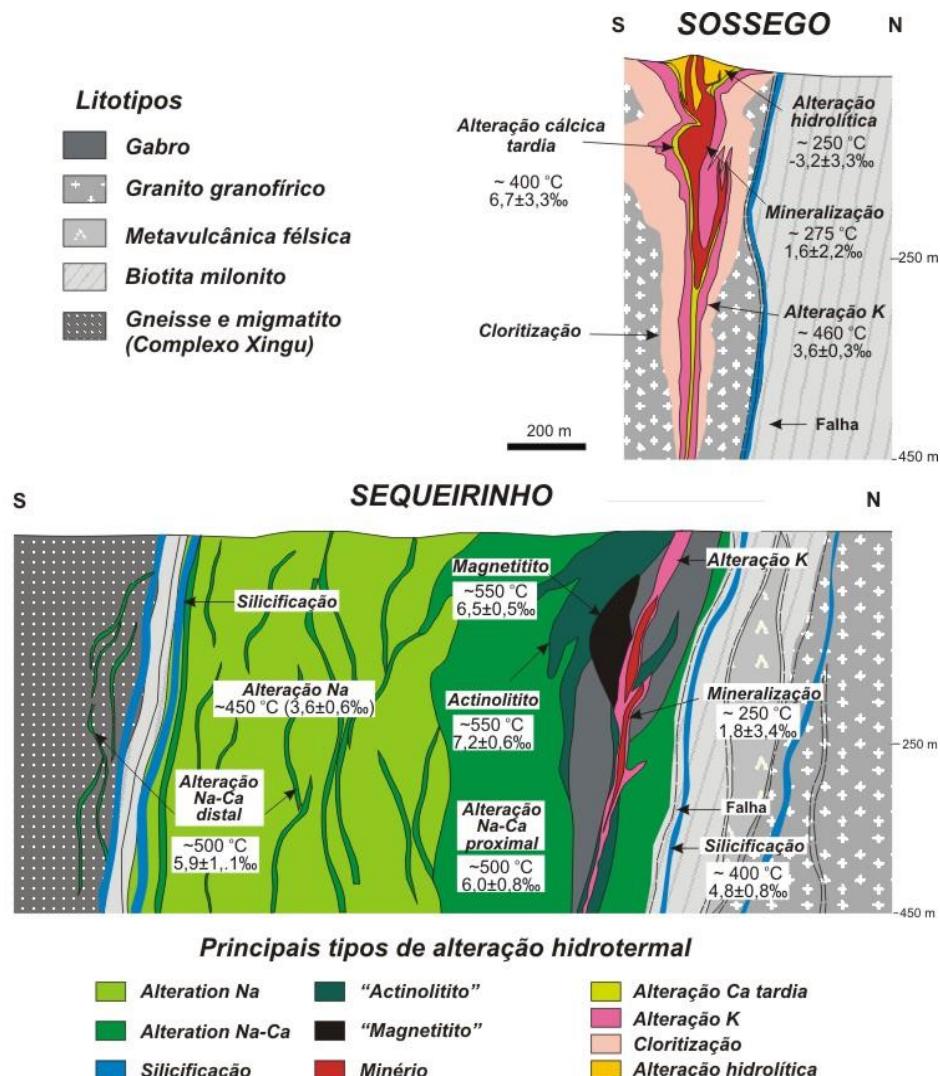


Figura 3. Seção esquemática dos corpos Sequeirinho e Sossego, mostrando a distribuição das zonas de alteração hidrotermais e temperaturas e assinatura isotópica de oxigênio dos fluidos hidrotermais estimadas para cada estágio de alteração (Monteiro *et al.* 2008a).

4.3.3 - Depósito Alvo 118

No depósito Alvo 118 (70 Mt @ 1.0% Cu; 0.3 g/t Au (Rigon *et al.* 2000), com idades 1.868 ± 7 (U-Pb em xenotima; Tallarico 2003), são conhecidos dois corpos de minério, tabulares e sub-verticais alongados na direção NW-SE, denominados *Trend Principal* e *Trend 2*. Esses corpos de minério são hospedado por rochas metavulcânicas máfica e félscicas, gabro e tonalito (2.743 ± 3 Ma; Pb-Pb SHRIMP II em zircão; Tallarico, 2003), que são truncados por diques tardios de pórfiros com composição dacítica e riolítica (2.654 ± 9 Ma, Pb-Pb SHRIMP II em zircão; Tallarico, 2003).

As rochas hospedeiras apresentam evidências de (1) alteração sódica, fracamente desenvolvida, com albite e escapolita; (2) alteração potássica, que se sobrepõe à alteração sódica, é proximal à mineralização e associada com silicificação e formação de óxidos de ferro; (3) alteração clorítica pervasiva, que representa halo ao redor do principal corpo de minério, e (4) alteração quartzo-serícita posterior à mineralização. A alteração sódica é a mais distal e a alteração clorítica a mais proximal em relação ao corpo de minério. O principal mineral de minério é a calcopirita com bornita e hematita associada (Torresi *et al.* 2012). A assinatura geoquímica do minério é caracterizada por Fe-Cu-Au-P-F-ETR-(Te-Ag-Pb-Sn) (Figura 4).

Moreto (2013) propôs que a intensa granitogênese paleoproterozóica do tipo A teria fornecido calor suficiente para a circulação dos fluidos hidrotermais em escala regional, causando uma intensa interação e lixiviação das rochas hospedeiras regionais e posterior deposição dos corpos de minério Cu-Au com expressivo conteúdo de hematita do depósito Alvo 118.

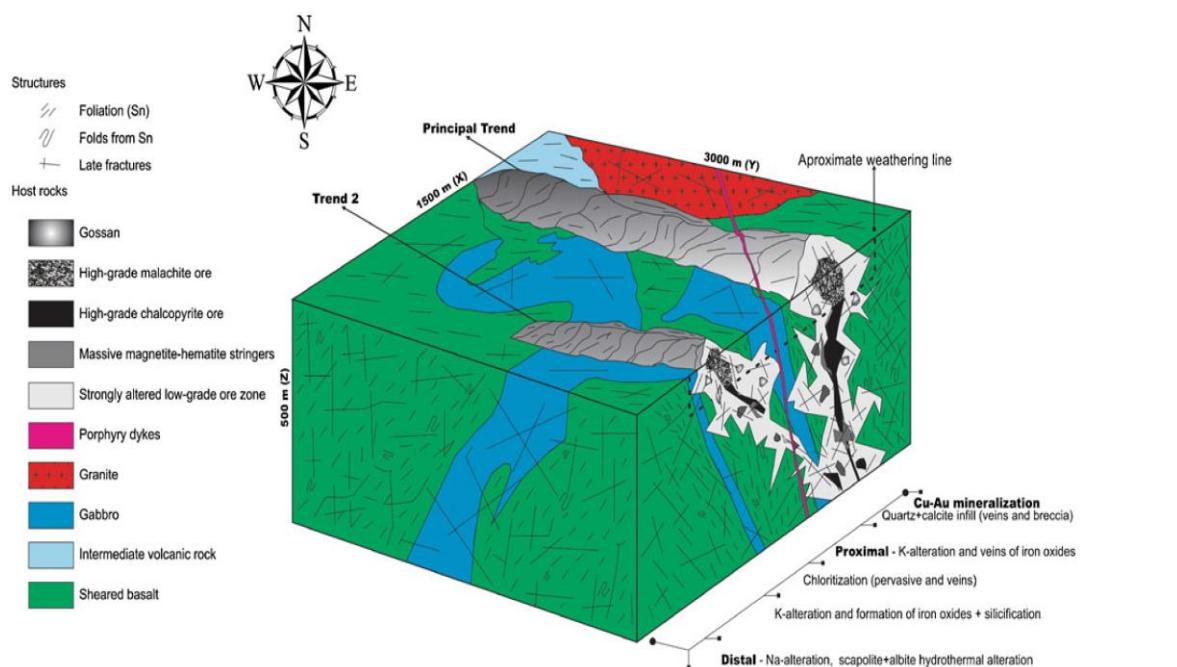


Figura 4. Esquema tridimensional do depósito Alvo 118, mostrando os corpos de minério e as alterações hidrotermais proximais e distais (Torresi *et al.* 2012)

4.3.4 - Depósito Bacaba

O depósito Bacaba (Fig. 5) é hospedado por gabros e granitoides, representados pelo Granito Serra Dourada e pelo Tonalito Bacaba (Moreto *et al.*, 2011).

Diferentemente da maioria dos depósitos IOCG de Carajás, a clara associação espacial desse depósito com rochas granitoides, permitiu averiguar, segundo Moreto (2013), que suas hospedeiras félsicas provavelmente não foram responsáveis pelo estabelecimento do sistema magmático-hidrotermal associado com a gênese do depósito Bacaba, pois as hospedeiras félsicas datadas em 2,86 Ga (Granito Serra Dourada) e 3,0 Ga (Tonalito

Bacaba) são mais antigas do que mineralização Cu-Au, datada em 2.681 ± 11 (U-Pb LA-MC-ICPMS em monazita; Moreto 2013).

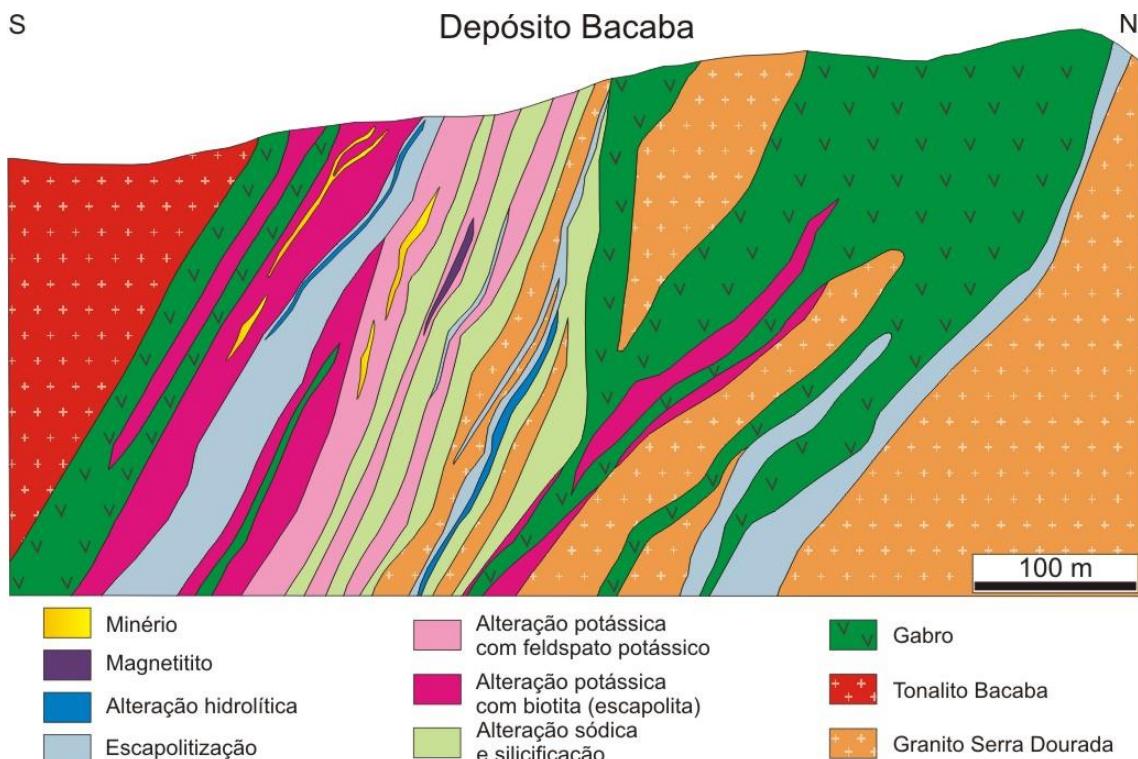


Figura 5 – Perfil geológico do Depósito Bacaba com as zonas de alteração hidrotermal e as rochas hospedeiras do depósito (Moreto *et al.* 2011).

As rochas encaixantes evidenciam alteração hidrotermal: **1**) sódica inicial (albita e hematita); **2**) escapolitização; **3**) potássica intensa e formação de magnetita; **4**) cloritização/epidotização; **5**) mineralização cuprífera e **6**) sericitização tardia (Figura 5; Augusto *et al.* 2008).

A mineralização encontra-se principalmente associada à intensa cloritização, em geral, concordante com a foliação milonítica. As zonas de cloritização sobrepõem-se às zonas de alteração potássica, marcando o domínio da mineralização cuprífera (Augusto *et al.* 2008).

4.3.5 - Depósito de Salobo

O depósito de óxido de ferro-cobre-ouro Salobo (Figura 6) (789 Mt @ 0.96% Cu, 0.52 g/tAu; Dardenne and Schobbenhus 2001), é hospedado pelas rochas metavulcanossedimentares do Grupo Igarapé Salobo, que apresentam-se intensamente deformadas, com foliação milonítica subvertical. Tais rochas são intrudidas, na área do depósito, pelos granitos *Old Salobo* ($2,573 \pm 2$ Ma; Machado *et al* 1991) e *Young Salobo* ($\sim 1,88$ Ga; Cordani, 1981).

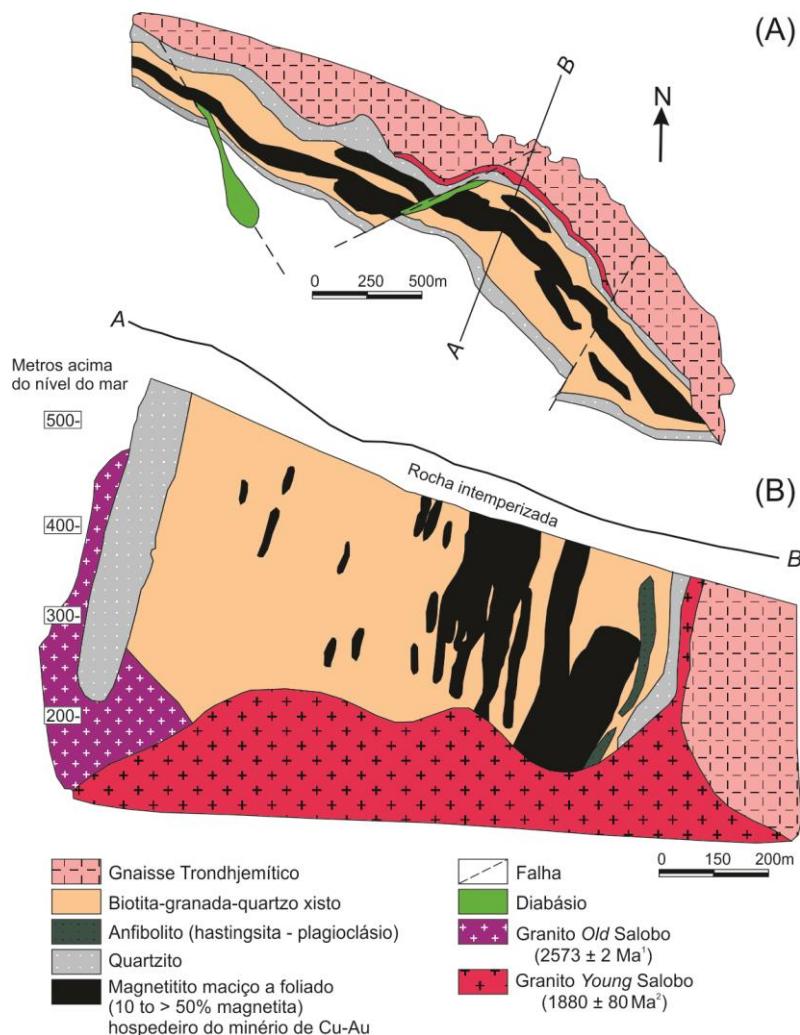


Figura 6. (a) Mapa geológico e (b) Perfil geológico do depósito Salobo (modificado de Vieira et al., 1988; Lindenmayer 2003; Villas & Santos 2001).

Zonas com intensa alteração potássica e enriquecimento em ferro hospedam predominantemente o minério de óxido de ferro-cobre-ouro, sendo que as zonas mais ricas do minério situam-se nas zonas mais alteradas (Réquia et al. 2003).

As rochas hospedeiras do depósito sofreram intensa alteração hidrotermal, com o desenvolvimento de uma alteração sódica incipiente, seguida por uma intensa alteração potássica com biotita associada à mineralização e por último intensa cloritização (Réquia et al. 2003).

Idades Re-Os em molibdenita de 2576 ± 8 Ma e 2562 ± 8 Ma, foram interpretadas como de formação da mineralização de cobre-ouro (Réquia et al. 2003), sincrônica à idade de colocação do granito Old Salobo (2573 ± 2 Ma; U-Pb em zircão; Machado et al. 1991). Entretanto, essa idade também é contestada, uma vez que o magmatismo de ca. 2,57 Ga é extremamente restrito no Domínio Carajás, e presente somente no Cinturão Norte do Cobre (Moreto 2010). Segundo Teixeira et al. (2010), essa idade seria próxima da atribuída ao desenvolvimento do Sistema Transcorrente Cinzento (2.555 ± 4 Ma; Machado et al., 1991) ao longo da qual situa-se o depósito de Salobo. Idades mais antigas (2.705 ± 42 Ma; Pb-Pb

em calcocita Tassinari *et al.* 2003) e mais novas (2.112 ± 12 Ma; Pb-Pb em magnetita Tassinari *et al.* 2005) que as da colocação do granito Old Salobo, podem indicar evolução mais complexa para o depósito de Salobo, que poderia inclusive incluir sobreposição de evento hidrotermal no Paleoproterozoico.

4.4 - Características dos minérios de Cu-Au dos depósitos IOCG de Carajás

4.4.1 - Depósito Sossego

No depósito de Sossego os corpos mineralizados são representados por brechas hidrotermais, nas quais os sulfetos cimentam clastos das rochas hospedeiras ou fragmentos de minerais hidrotermais formados em estágios prévios de alteração hidrotermal (Monteiro *et al.* 2008).

Nos corpos Sossego-Currall as brechas apresentam fragmentos angulosos do granito granofírico hospedeiro previamente alterados por alteração potássica. Esses fragmentos são envolvidos por magnetita e a matriz das brechas é constituída por calcopirita associada à calcita, quartzo, actinolita, apatita, biotita, clorita, epidoto e allanita. Nos corpos Sequeirinho-Baiano-Pista, as brechas apresentam fragmentos de cristais de actinolita, apatita e magnetita formados previamente, enquanto a matriz das brechas é constituída por calcopirita associada com epidoto, clorita e allanita.

Os principais minerais de minério tanto nos corpos Sossego-Currall como Sequeirinho-Baiano-Pista são representados por calcopirita, que perfaz cerca de 80% do minério, além de pirita, siegenita (figura 7), millerita e magnetita, essa última sendo por vezes substituída por hematita (figuras 7, 8, 9 e 10). Pirrotita foi identificada apenas no Corpo Pista, enquanto cassiterita é uma fase mineral comum nos corpos Sossego-Currall (Mizuno 2009).

A assinatura química do minério, interpretada com base nos minerais de minério, é representada por Cu-Fe-Au-Co-Ni-Pd-P-ETR-U (Monteiro *et al.* 2008).

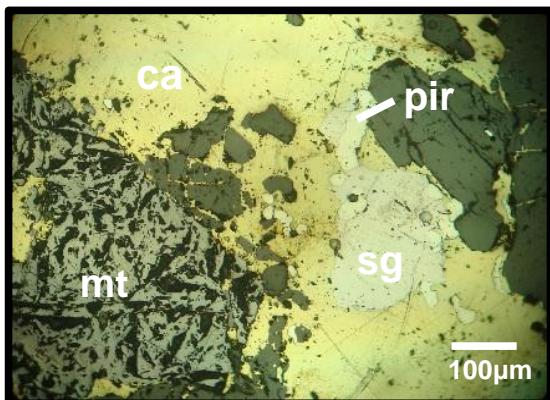


Figura 7 – Depósito Sossego – Associação de magnetita (mt), calcopirita (ca), siegenita (sg) e pirita (pir).

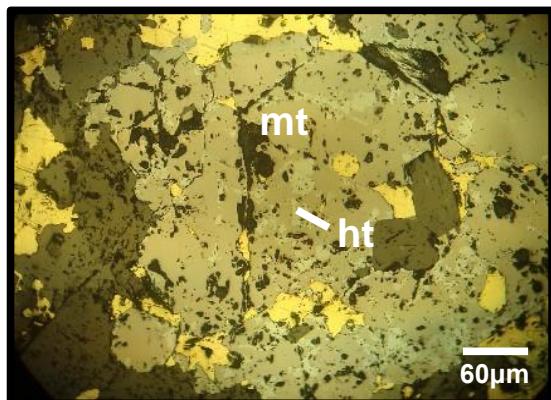


Figura 8 – Depósito Sossego – Substituição de magnetita (mt) por hematita (ht).

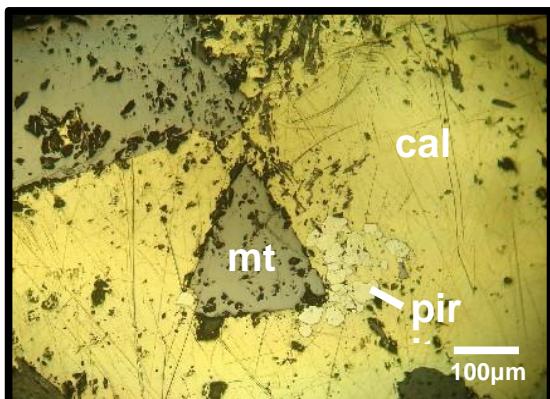


Figura 9 – Depósito Sossego – Cristal euédrico de magnetita (mt) envolto por massa de calcopirita (ca) e pequenos grãos de pirita (pir).

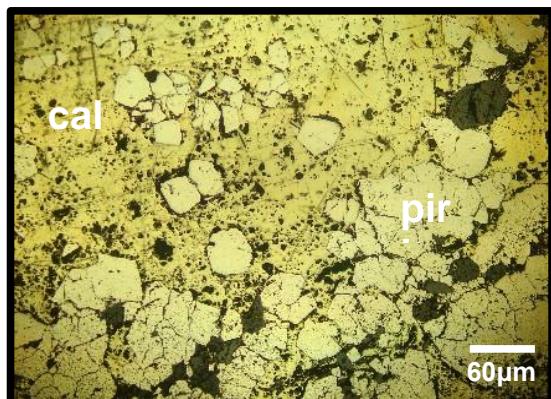


Figura 10 – Depósito Sossego – Associação de pirita (pir) e calcopirita (ca).

Fotomicrografias : Mizuno 2009.

4.4.2 - Depósito Bacaba

O principal mineral de minério do depósito Bacaba é a calcopirita, representando 80% do minério, seguido pela bornita e magnetita, que não ultrapassam 20% do minério. Em menor proporção ocorrem calcocita, covellita, esfalerita, e hematita em quantidades menores que 5%. Bornita e magnetita ocorrem inclusas na massa de cristais de calcopirita (figura 12, 13 e 16). Covellita altera a bornita (figuras 11 e 12). Tanto hematita lamelar (figura 13) como magnetita euhédrica a subeuhédrica (figuras 14 e 16) são reconhecidas no depósito. Entretanto, também pode ser reconhecida musketovita, que representa magnetita com hábito lamelar indicativo de substituição de hematita inicial (figura 15). A presença de hematita substituindo a musketovita ao longo de suas bordas (figura 15), de forma semelhante ao observado nos cristais de magnetita euhédrica (figura 14), sugere variações nas condições de fO_2 do fluido, de condições mais oxidantes iniciais, passando para condições relativamente mais reduzidos, e novamente oxidadas.

As principais associações paragenéticas do depósito Bacaba são representadas por

calcopirita-magnetita e calcopirita-bornita (Mizuno 2009). Galena, teluretos (melonita, hessita, altaita) e óxidos (magnetita, hematita, uraninita, cassiterita) representam fases minerais subordinadas. Significativos conteúdos de ETR, Th e P são evidenciados pela ocorrência de allanita, apatita, monazita e cheralita (Augusto et al. 2008).

4.4.3 - Depósito Alvo 118

A mineralização de cobre no depósito Alvo 118 é representada principalmente por calcopirita e, subordinadamente, bornita. O minério ocorre em brechas e zonas de *stockwork* preenchendo espaços vazios. Os minerais de minério são representados por calcopirita, bornita, hematita e magnetita, além de pequenas quantidades de ouro nativo, calcocita, galena, esfalerita, cassiterita e minerais com Bi, Te, Au e Ag (Torresi et al. 2012).

Há frequente presença de hematita bordejando a calcopirita em zonas de minério maciço. A ocorrência de relictos de magnetita sugere progressiva oxidação do sistema hidrotermal. Também ocorrem inclusões de prata nativa, hessita e ouro nativo em calcopirita. O minério contém, subordinadamente, calcocita, galena, esfalerita, cassiterita, altaíta, stutzita, petzita, fluorita, thorita e minerais de ETR, tais como apatita, allanita e monazita. É notável no depósito Alvo 118 o enriquecimento em ítrio, que ocorre na yttrialita, britholita e xenotima, além de elementos terras raras pesados (Tallarico 2003; Torresi, 2008; Torresi et al., 2011).

4.4.4 - Depósito Salobo

Estudos prévios relativos ao depósito de Salobo, realizados por Mizuno (2009) descrevem as associações de minério magnetita-bornita-calcocita (figura 17), mais comum, e magnetita-calcopirita-bornita (figuras 18, 19, 20, 21 e 22). Magnetita representa aproximadamente 70% do minério seguida pela associação de bornita e calcocita que juntas representam os 30% restantes, com sutil predominância de bornita (17%) sobre calcocita (13%). A calcocita e bornita ocorrem comumente nos interstícios e fraturas na magnetita euédrica (figura 17 e 21). É comum a presença de texturas de intercrescimentos mimerquíticos entre calcocita e bornita (Figuras 19 e 22). A calcopirita envolve os cristais euédricos de magnetita com bornita (figura 20; Mizuno 2009). Fases subordinadas identificadas como inclusões na calcocita e na bornita incluem molibdenita, cobaltita, safflorita, niquelina, siegenita e covelita (Réquia et al. 2003).

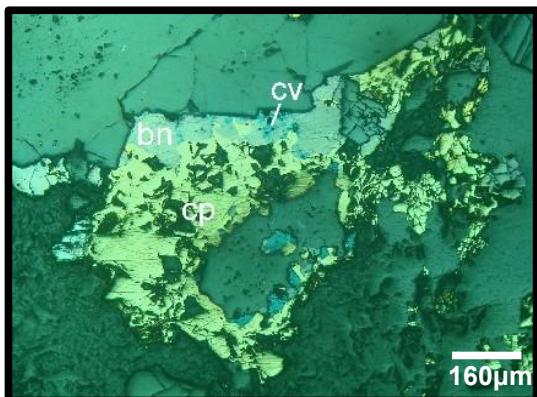


Figura 11 – Depósito Bacaba - Associação de calcopirita (cp) e bornita (bn), que mostra substituição por covelita (cv).

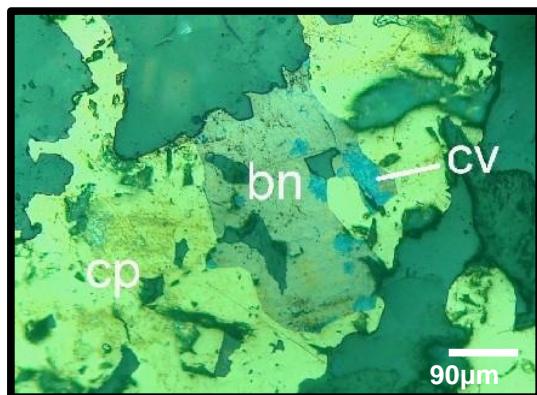


Figura 12 – Depósito Bacaba - Substituição de bornita (bn) por covelita (cv) ao longo de suas bordas.



Figura 13 – Depósito Bacaba - Cristais lamelares de hematita (hm) envoltos por massa de calcopirita (cp).

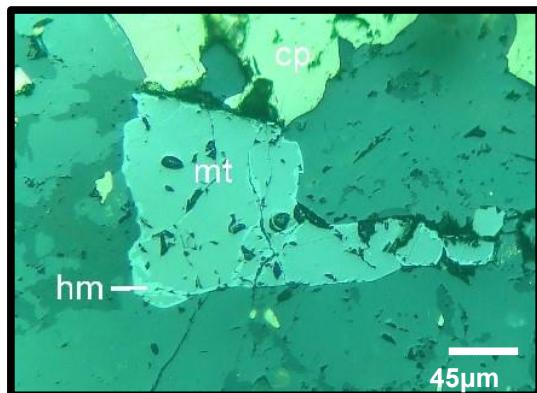


Figura 14 – Depósito Bacaba - Substituição de magnetita (mt) por hematita (hm).

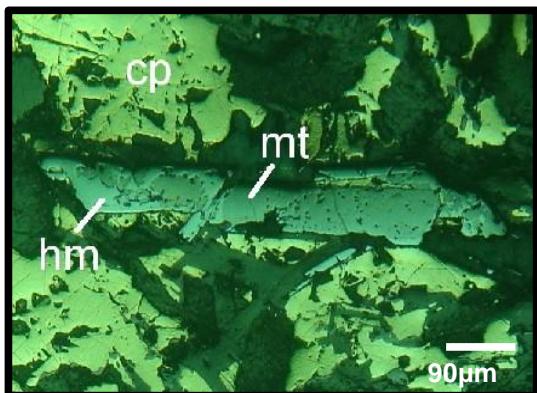


Figura 15 – Depósito Bacaba - Cristal de magnetita (mt) lamelar, indicando substituição prévia de hematita, com substituição de hematita (hm) ao longo das bordas.

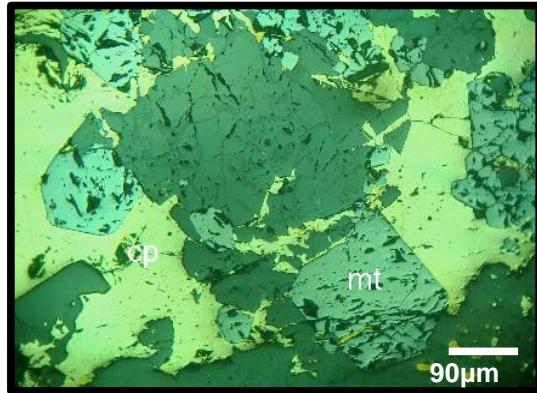


Figura 16 – Depósito Bacaba - Grãos idiomórficos de magnetita (mt) envolvidos por calcopirita (cp) que também preenche fraturas na magnetita.

Fotomicrografias do depósito de Bacaba: Mizuno 2009.

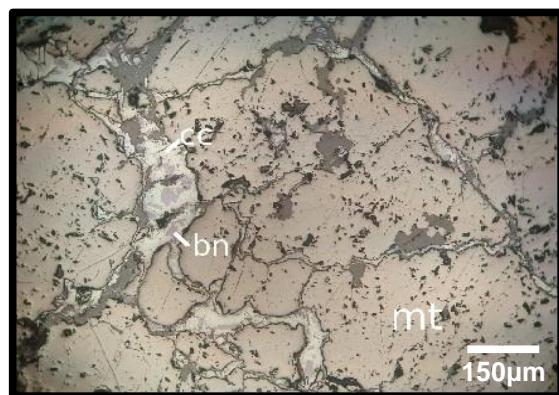


Figura 17 – Depósito Sossego - Associação de calcocita (cc) e bornita (bn) preenchendo espaços e fraturas entre cristais de magnetita.

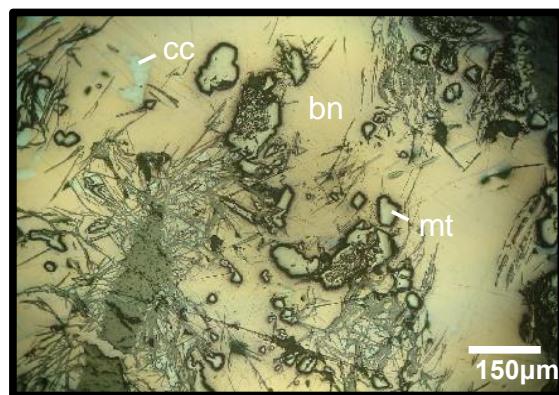


Figura 18 – Depósito Sossego - Associação de calcocita (cc), bornita (bn) e magnetita (mt) associados a cristais aciculares de anfíbolio.

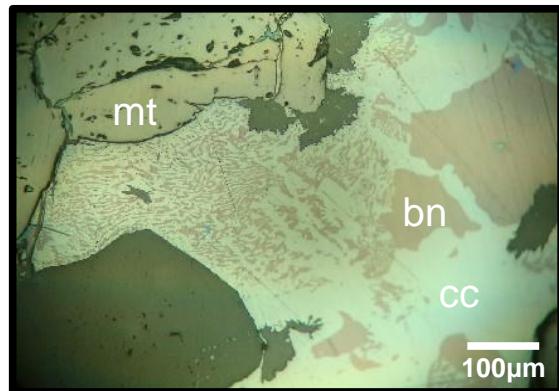


Figura 19 – Depósito Sossego - Textura de exsolução entre calcocita (cc) e bornita (bn).

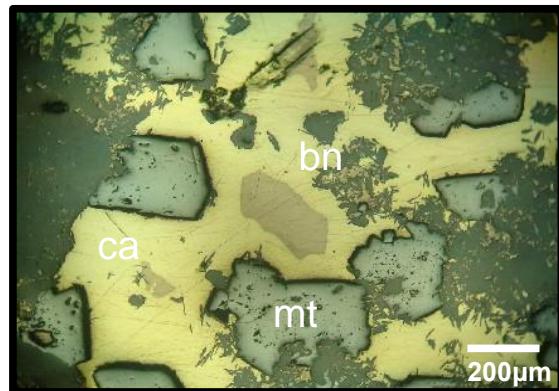


Figura 20 – Depósito Sossego - Cristais euédricos de magnetita (mt) envoltos por massa de calcopirita (ca) com bornita (bn) inclusa.

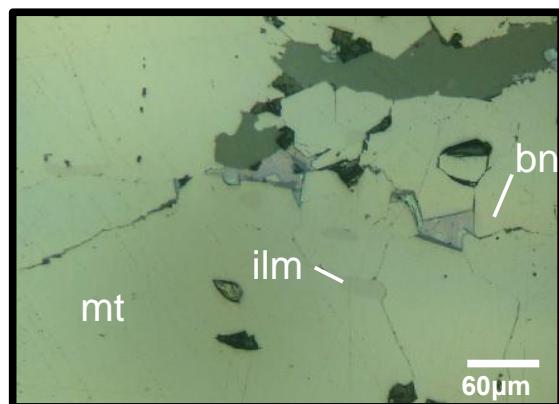


Foto 21 — Depósito Sossego - Ilmenita (ilm) granoblástica inclusa em cristal de magnetita (mt)

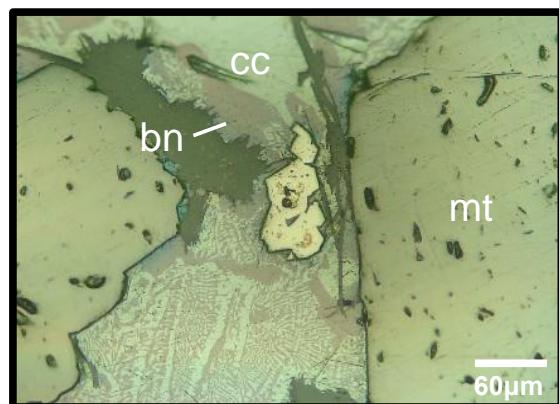


Foto 22 — Depósito Sossego - Textura de exsolução entre calcocita (cc) e bornita (b), entre cristais de magnetita (mt).

Fotomicrografias do depósito Sossego: Mizuno 2009.

Diferentemente da literatura, nas lâminas analisadas confeccionadas a partir do minério de alto teor da mina, não foi identificada a paragênese com a calcopirita. A predominância de magnetita sobre os demais minerais só foi constatada na amostra SALOB 5 (figura 17), que é enriquecida em magnetita (60%) e apresenta menores quantidades dos minerais de cobre, tais como calcocita (15%) e bornita (5%), e minerais de ganga (20%). As demais amostras apresentam paragênese de calcocita-bornita-magnetita nas quais a calcocita representa em média 30% da amostra, seguida pela bornita, com 20%, magnetita com 25%, sendo o restante constituído por minerais de alteração hidrotermal.

As descrições das lâminas realizadas nesse estudo são apresentadas a seguir:

Lâmina SALOB1

A amostra SALOB 1 é composta por calcocita (35%), bornita (20%), magnetita (15%) e minerais de ganga (30 %).

A lâmina é composta por duas partes (figura 27). Uma parte apresenta predominância de calcocita. A calcocita e a bornita tem contatos lobados a interlobados entre si com uma textura grossa. A magnetita, rara, é subédrica a anédrica até arredondada (figura 23), e ocorre em contato com stilpnomelano $[KFe^{2+}_{4.3}Mg_{1.4}Fe^{3+}_{2.3}Si_{10}Al_2O_{24}(OH)_3 \cdot 2(H_2O)]$ (figura 26) subédrico e ripiforme (figura 29 e 31), que aparenta ter sido parcialmente consumida pela calcocita e bornita (figura 28 e 31) ou substituí-los (figura 30).

No outro setor da lâmina, há predominância de stilpnomelano em vénulas e em cristais subédricos, anédricos e prismáticos em contato com a calcocita. Localmente, o stilpnomelano orienta-se ao longo da foliação da rocha. Raros cristais de allanita subédricos alterados e ferro-pyrosmalita $[(Fe,Mn)_8Si_6O_{15}(OH,Cl)_{10}]$ subédrica também compõem a ganga.

Lâmina SALOB2

A lâmina SALOB2 é predominantemente formada por calcocita (40%) e bornita (30%) além de magnetita (10%) e minerais de ganga (20%).

A bornita e calcocita tem contatos lobados e interlobados com granulação grossa e aparentemente ocorrem consumindo os minerais de ganga e magnetita que ocorre na forma de cristais sub-euédricos a anédricos (figuras 33, 34 e 35).

Stilpnomelano ocorre como cristais prismáticos com granulação média e cristais muito finos, que são alterados pelos minerais de minério de cobre (figura 32), e raros cristais de quartzo subédricos.

Lâmina SALOB 3

Essa lâmina maciça apresenta domínio de minerais de ganga (45%) e magnetita (35%) em relação aos minerais de cobre, tais como, bornita (5%) e calcocita (15%).

Em grande parte da lâmina a magnetita tem textura grossa com contatos lobados e interlobados e é cortada por veios, vênulas e bolsões irregulares preenchidos com bornita calcocita e minerais de ganga (figura 39). A bornita e calcocita apresentam contatos irregulares ameboidais e texturas muito finas de intercrescimentos mimerquíticos (figura 37). Os minerais de ganga apresentam textura muito fina e hábito ripiforme ou fibroso, e comumente apresentam-se deformados e dobrados (figuras 39 e 41).

Os minerais de ganga são representados por stilpnometano (20%), muscovita (10%), quartzo (2%), epidoto (10%), allanita (traço) e apatita (traço).

O stilpnometano é fibroso, com tamanho de 0,1 mm a < 0,01mm e associa-se com a muscovita com textura média (figura 41).

Calcocita localmente é predominante e envolve os cristais de magnetita euédricos, subédricos e anédricos (arredondados), que apresentam-se localmente orientados ao longo da foliação milonítica. Esta orientação não é respeitada pelos minerais de ganga que tem formato ripiforme ou formam veios que truncam a foliação (figura 36).

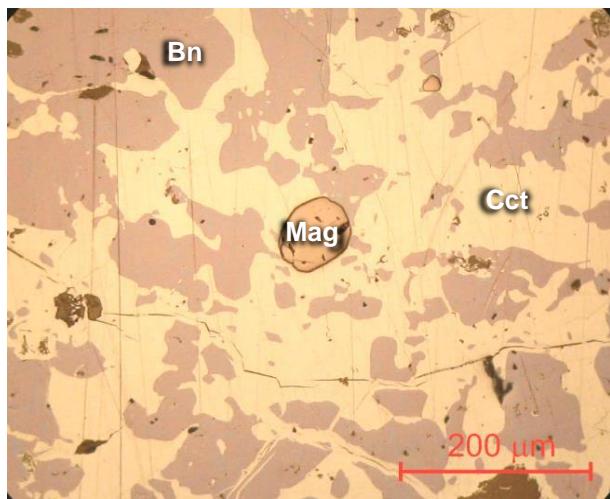


Figura 23 – SALOB 1, luz refletida – foto bornita (Bn) intercrescida à calcocita (Cct) com contatos lobados a interlobados e magnetita (Mag) anédrica a arredondada

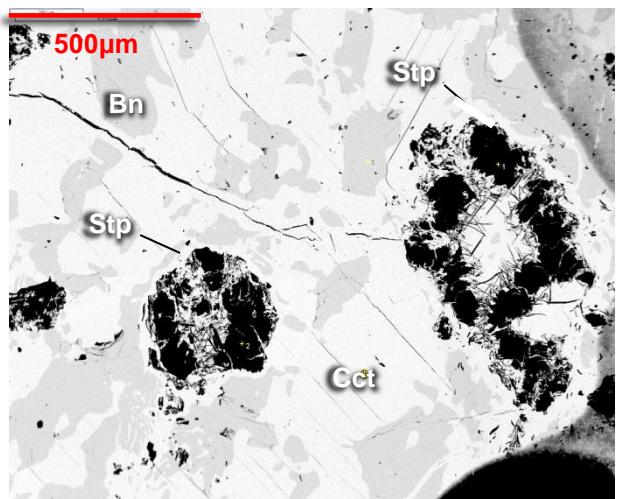


Figura 28 – SALOB 1, MEV mostrando stilpnomelano (Stp) envolvido e parcialmente alterado por calcocita (Cct) e bornita (Bn).

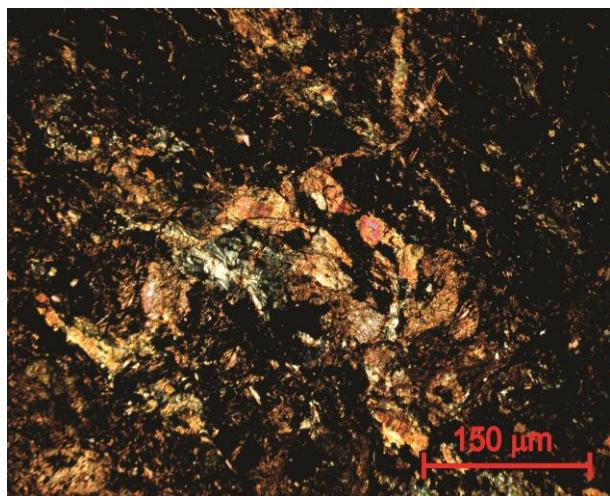


Figura 26 – SALOB 1, luz transmitida – fotomicrografia mostrando stilpnomelano e greenalita associados a sulfetos de cobre.

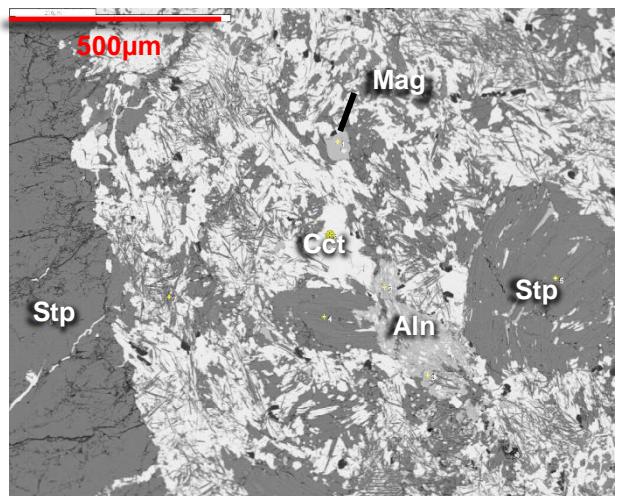


Figura 29 – SALOB 1, MEV mostrando stilpnomelano (Stp) fibroso e fino que ocorre em vênulas. Allanita (Aln) ocorre muito alteradas e magnetita (Mag) anédrica

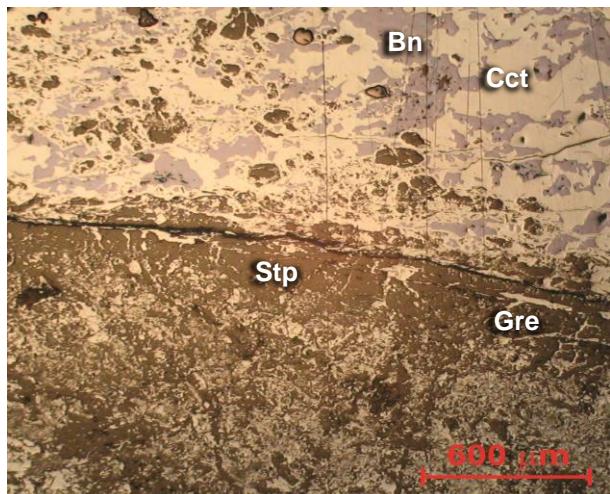


Figura 27 – SALOB 1, luz refletida – lâmina com 2 partes, sendo a parte superior constituída por bornita (Bn) e calcopirita (Cct) em contatos lobados a interlobados com magnetita anédrica subordinada e a parte inferior constituída por stilpnomelano (Stp) e greenalita (Gre)

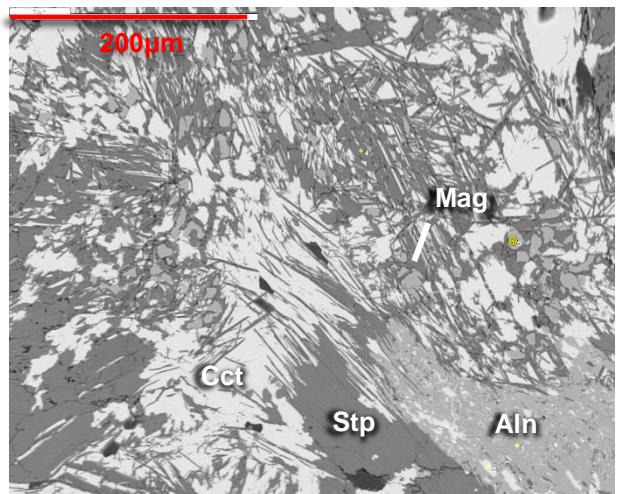


Figura 30 – SALOB 1, MEV mostrando stilpnomelano (Stp) fibroso aparentemente orientado em uma direção preferencial. Magnetita anédrica e allanita (Aln) alterada

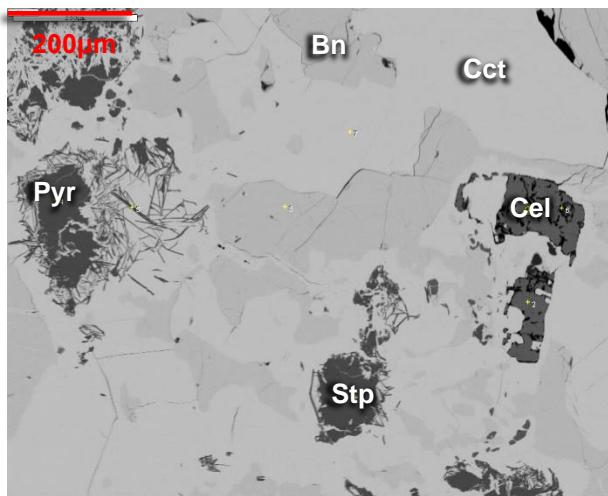


Figura 31 – SALOB 1, MEV apresentando celadonita (Cel), stilpnomelano (Stp) e Ferro-pyrosmalita (Pyr) envolvidos por bornita (Bn) e calcocita(Cct).

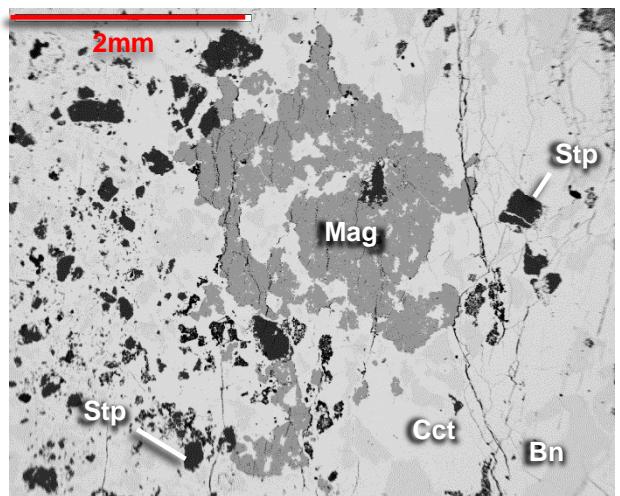


Figura 34 – SALOB 2, MEV magnetita (Mag), anédrica, e stilpnomelano (Stp), subédricos a anédricos sendo envolvido por calcocita (Cct) e bornita (Bn)

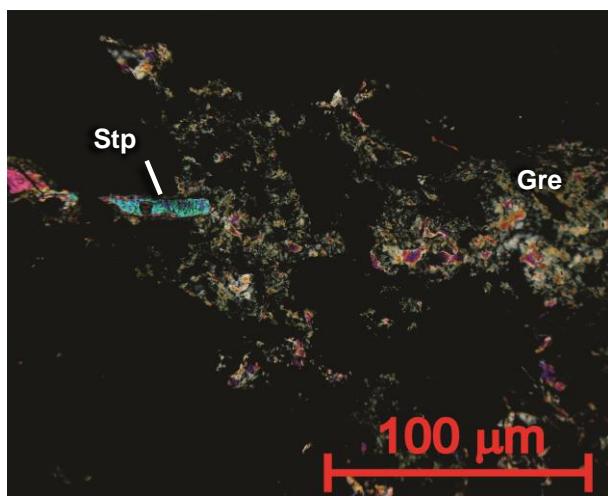


Figura 32 – SALOB 2, luz transmitida – Minerais de ganga, com textura de grossa a muito fina, que forma uma massa constituída por stilpnomelano (Stp) de granulação grossa e greenalita (Gre).

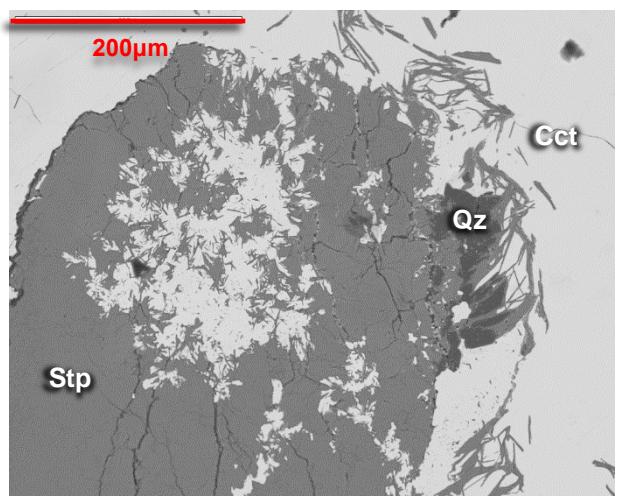


Figura 35 – SALOB 2, MEV, Imagem mostrando - stilpnomelano (Stp) e quartzo (Qz) envolvidos por calcocita (Cct).

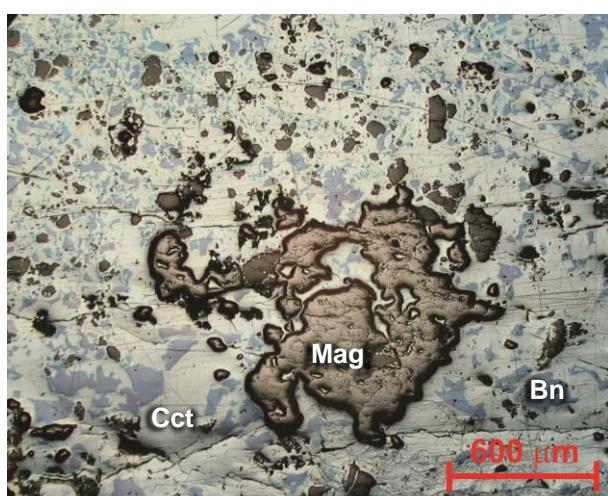


Figura 33 – SALOB 2, luz refletida – magnetita (Mag) anédrica com contato irregular, lobado a interlobado, envolta por intercrescimentos de calcocita (Cct) e bornita (Bn).

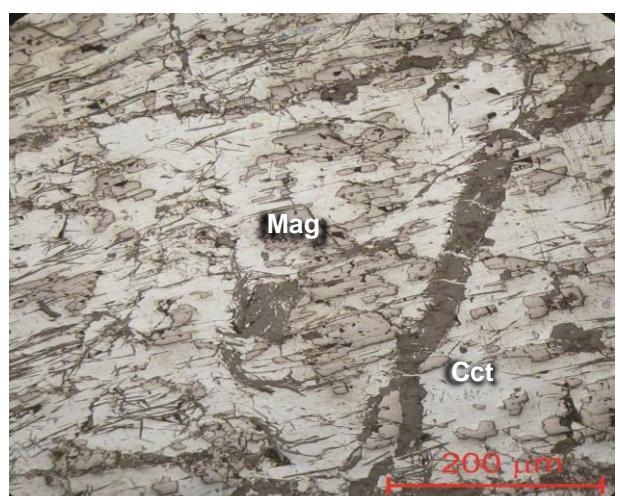


Figura 36 – SALOB 3, luz refletida – Magnetita (Mag) orientadas em uma direção preferencial, envoltas por calcocita(Cct). Silpnomelano (Stp) fibroso apresenta-se, por vezes, deformado ou formando vênulas.

Lâmina SALOB 4

A lâmina SALOB4 é composta por bornita (20%), calcocita (30%), magnetita (25%) e minerais de ganga (25%), representados por stilpnomelano (10%), greenalita (10%), grunerita (5%), quartzo (traço) e allanita (traço). Subordinadamente, foram caracterizados safflorita (1%), uraninita (2%), gilpinita(tr) e cobaltarthurita (traço), além de finas inclusões de outros minerais cobaltíferos nos sulfetos de cobre.

A bornita e calcocita apresentam-se como cristais anédricos ameboidais com texturas grossa e texturas finas de intercrescimento mimerquítico (figura 40). Intercrescimentos entre esses dois minerais preenchem os interstícios entre os cristais de magnetita e silpnomelano (figura 42)

A magnetita pode ser encontrada tanto envolta por bornita e calcocita quanto envolvida por ganga. Quando esse mineral é envolto por ganga, costuma apresentar cristais anédricos com formato bem arredondado com granulação média a grossa (figura 38), porém quando a magnetita é envolta por bornita e calcocita apresenta cristais euédricos de granulação média e cristais anédricos de granulação fina (figura 44).

O stilpnomelano ocorre em finos cristais com hábito fibroso (figuras 38 e 38b), sendo comumente substituído por greenalita - $(Fe^{2+}, Fe^{3+})_{2-3}Si_2O_5(OH)_4$ – filossilicato do Grupo das Serpentinas (figuras 43 45 e 47).

O anfibólio grunerita - $Fe^{2+}_7(Si_8O_{22})(OH)_2$ - ocorre como cristais subédricos, as vezes com magnetita em suas bordas. Também foram identificados sulfetos de cobalto com composição intermediária entre a da linnaeita $[Co_2S_4]$ e da carrolita $[Cu(Co, Ni)_2S_4]$ inclusos na bornita, safflorita $[(Co, Fe)As_2]$ com contatos irregulares, além de minerais uraniníferos, tais como uraninita (UO_2) sayrita $[Pb_2(UO_2)_5O_6(OH)_2 \cdot 4(H_2O)]$, produto de oxidação da uraninita, e gilpinita- $[(Cu, Fe)(UO_2)_2(SO_4)_2(OH)_2 \cdot 6H_2O]$, que ocorrem com granulação fina a muito fina espalhada por toda a lâmina.

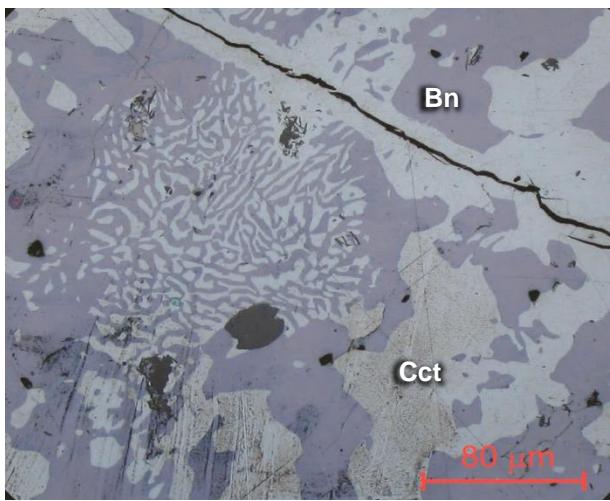


Figura 37 – SALOB 3, luz refletida – calcocita (Cct) e bornita (Bn) com contatos lobados a interlobados e com textura fina de intercrescimento

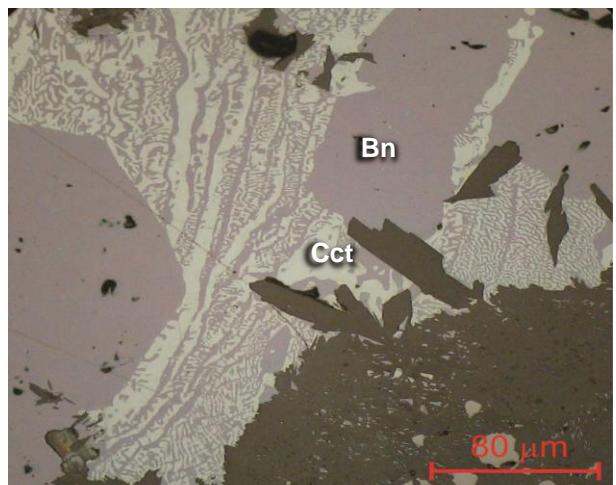


Figura 40 – SALOB 4, luz refletida – cristais de bornita (Bn) euédricos com textura grossa e intercrescimentos mimerquíticos entre bornita e calcocita (Cct).

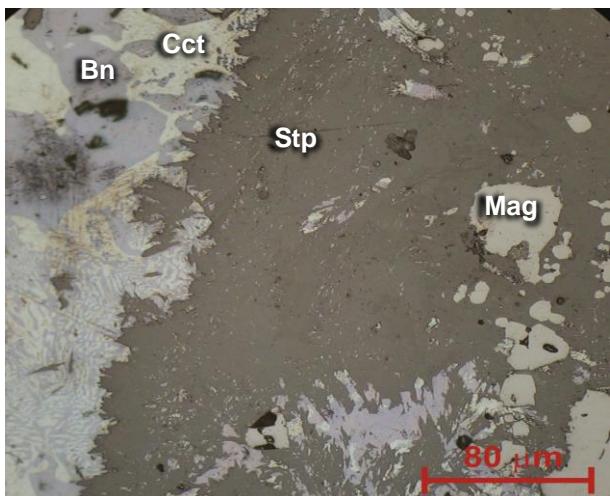


Figura 38 – SALOB 4, luz refletida – bornita e calcocita com contatos lobados a interlobados e textura muito fina de intercrescimento mimerquítico e cristais de magnetita subédricos a anádricos, por vezes arredondados, associados a stilpnomelano.

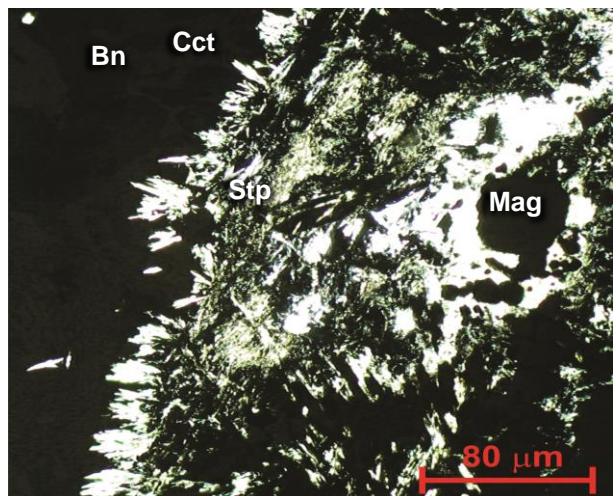


Figura 38b – SALOB 4, luz transmitida – stilpnomelano e celadonita placóides associados com os sulfetos de cobre e parcialmente substituídos por cloritas com textura muito fina, anádrica.

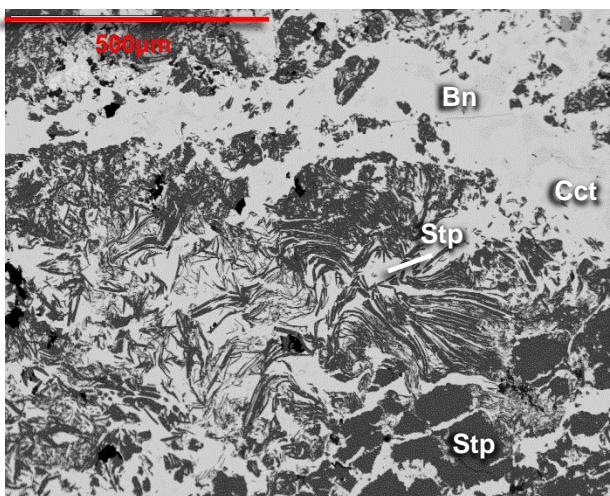


Figura 39 – SALOB 3, MEV – calcocita (Cct) e bornita (Bn) preenchem os interstícios entre os cristais de stilpnomelano (Stp) que ocorrem subédricos e fibrosos, e que por vezes se encontram dobradas.

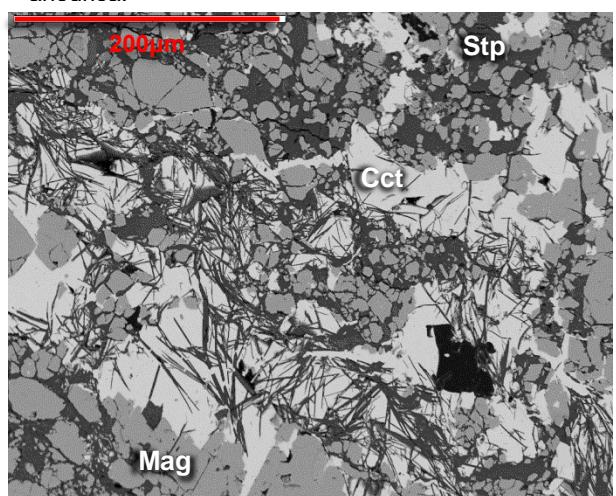


Figura 41 - SALOB 3, MEV- mostrando calcocita (Cct) ocorre intersticial entre cristais de magnetita (Mag). Stilpnomelan (Stp) ocorre sobrecrecido na calcocita ou em meio a magnetita e quartzo.



Figura 42 – SALOB 4, luz refletida – Imagem mostra magnetita (Mag) subédrica a anédrica em contato com safflorita (Saf) bem alterada.

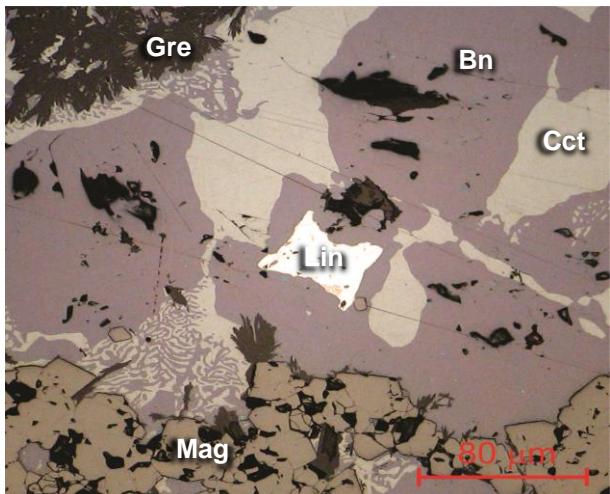


Figura 43 – SALOB 4, luz refletida – Greenlita (Gre) fibrorradiada. Bornita (Bn) e calcocita (Cct) em contatos irregulares e intercrescimento mimerquítico com inclusão de mineral de cobalto possivelmente do grupo da Linnaeita (Lin).

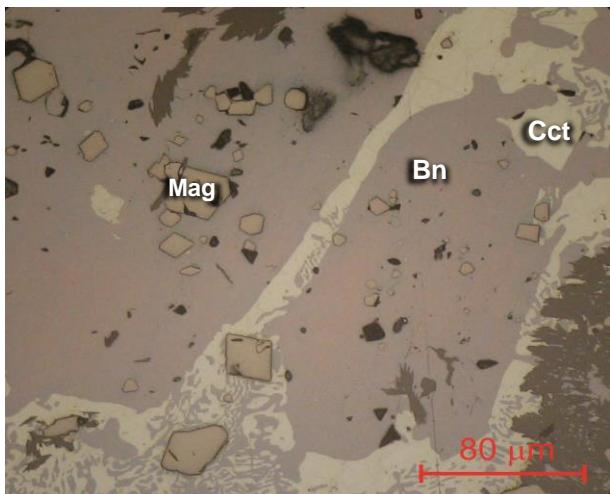


Figura 44 – SALOB 4, luz refletida – magnetita (Mag) euédrica a anédrica (arredondada) associadas com bornita (Bn) e calcocita (Cct) com intercrescimentos mimerquítico

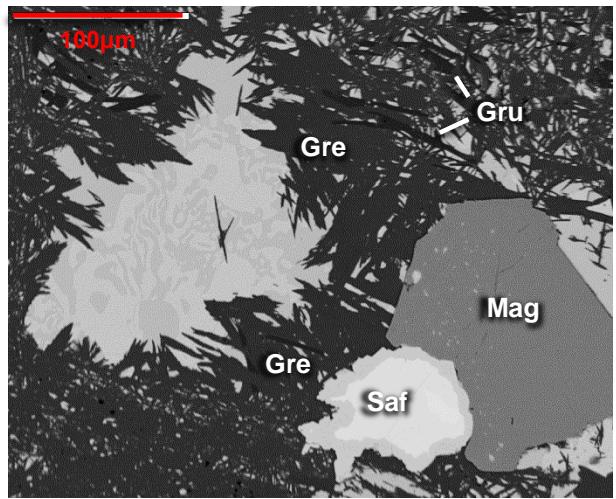


Figura 45 – SALOB 4 - MEV – calcocita (Cct) e bornita (Bn) com intercrescimentos mimerquíticos envolvidos por greenalita (Gre) e grunerita (Gru). Mineral de arsênio, possivelmente safflorita (Saf) em contato com a magnetita

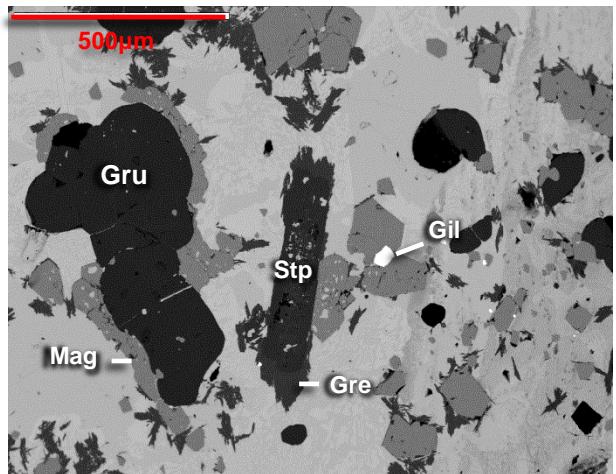


Figura 46 – SALOB 4 MEV – bornita (Bn) e calcocita (Cct) envolvendo todos os minerais. Stilpnomelano (Stp) prismático é substituído nas bordas por greenalita (Gre) com cloro. Magnetita (Mag) euédrica a anédrica com inclusões de gilpinita (Gil)

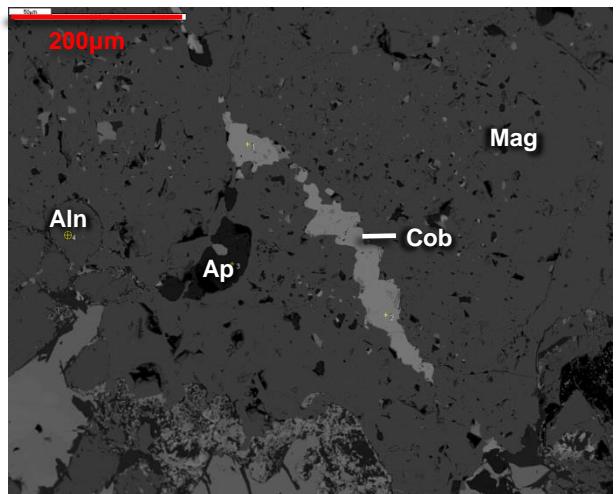


Figura 47 – SALOB 5, MEV – Cobaltarthurita (Cob), tem contato irregular incluso em magnetita. Apatita (Ap) e allanita (Aln) subédricas também ocorrem inclusas na magnetita (Mag).

Lâmina SALOB5

Essa lâmina é constituída em sua grande maioria por magnetita (60%), que é cortada por veios, vênulas e bolsões constituídas por minerais de ganga e por bornita e calcocita (figuras 48 e 49).

A bornita (5%) e calcocita (15%) são intersticiais com contato lobados e interlobados (figura 50). A ganga (20%) é constituída por stilpnomelano (5%), chamosita (5%), monazita (Tt), apatita (3%) e allanita (traço). Também foram identificados com uso de MEV uraninita (2%) e cobaltarthurita (traço).

Stilpnomelano e chamosita (clorita rica em ferro, - $\text{Fe}^{2+}_3\text{Mg}_{1.5}\text{AlFe}^{3+}_{0.5}\text{Si}_3\text{AlO}_{12}(\text{OH})_6$), ocorre em cristais fibrosos a fibrorradiados, sobrecrecidos sobre os minerais de cobre, e como uma “massa” de cristais com textura muito fina, por vezes, cortados por vênulas com bornita e calcocita (figuras 52 e 53). A uraninita, anédrica e fina, ocorre disseminada por toda a lâmina (figura 51), enquanto monazita e apatita ocorrem inclusa na magnetita. Cobaltarthurita $[(\text{Co},\text{Mg})\text{Fe}_2(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ também ocorre inclusa na magnetita.

Nessa lâmina também foi constatada a presença de ouro incluso em magnetita formando uma liga com a prata (7,75% de prata) (figura 53)

Devido à predominância de magnetita sobre os demais minerais pode-se chamar essa rocha de Magnetitito

Lâmina SALOB6

A lâmina SALOB6 é formada por duas partes distintas, uma rica em minerais de cobre e a outra por minerais de ganga, que são divididas por uma vênula com quartzo, Fe-pyrosmalita, stilpnomelano e poucos cristais de apatita (figuras 56 e 59).

A primeira parte é constituída principalmente por bornita e calcocita além de magnetita e ganga. Bornita e calcocita apresentam textura grossa com contatos lobados a interlobados e texturas finas de intercrescimento mimerquítico, e preenchem os espaços intersticiais entre os demais minerais. A magnetita ocorre como cristais subédricos, com contatos lobados a interlobados, e anédricos, bem arredondados com tamanho máximo 1 mm. Os minerais de ganga são raros, e representados por quartzo, stilpnomelano com hábito ripiforme não orientado, com textura muito fina, allanita. Esses minerais e são envolvidos pelos sulfetos de cobre.

A segunda parte tem predomínio de magnetita com textura grossa com contatos lobados a interlobados. Os interstícios entre os cristais de magnetita são preenchidos por calcocita e celadonita (mica do grupo da muscovita - $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})(\text{Fe},\text{Al})[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$; figuras 56 e 57). Veios e vênulas com stilpenomelano e almandina cortam todo a esse setor da lâmina e são por sua vez também cortados por vênulas com bornita e calcocita. (figura 58).



Figura 48 – SALOB 5, luz refletida – Magnetita (Mag) cortada por vénulas com os interstícios preenchidos com calcocita (Cct)

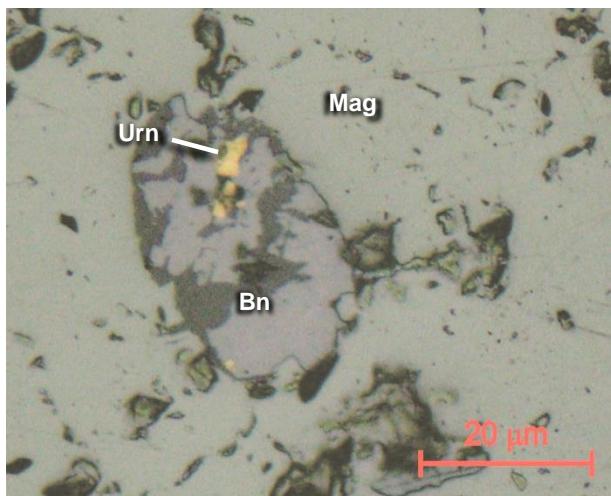


Figura 51 – SALOB 5, luz refletida – magnetita (Mag) englobando cristal de bornita (Bn) com inclusão de uraninita (Urn), identificado em análise de MEV

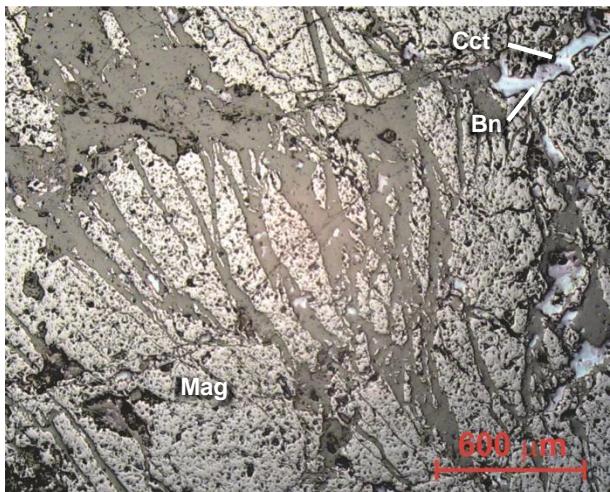


Figura 49 – SALOB 5, luz refletida – Magnetita cortada por vénulas de stilpnomelano (Stp) e com os interstícios preenchidos com bornita (Bn) e calcocita (Cct)

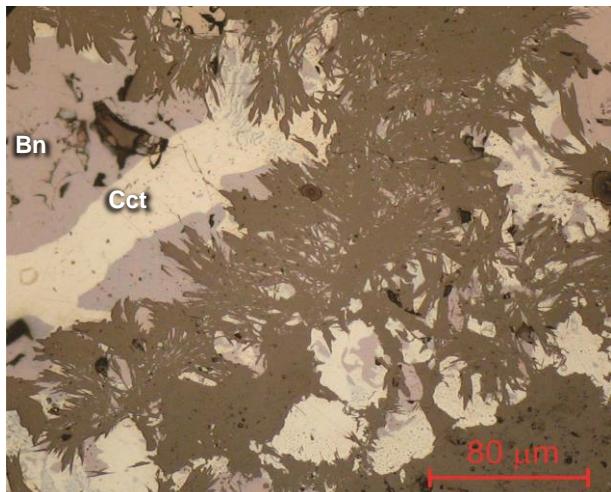


Figura 52 – SALOB 5, luz refletida – calcocita (Cct) e bornita (Bn) em contato lobado a interlobado. Stilpnomelano com diversas orientações e por vezes com hábito fibrorradiado corta os sulfetos

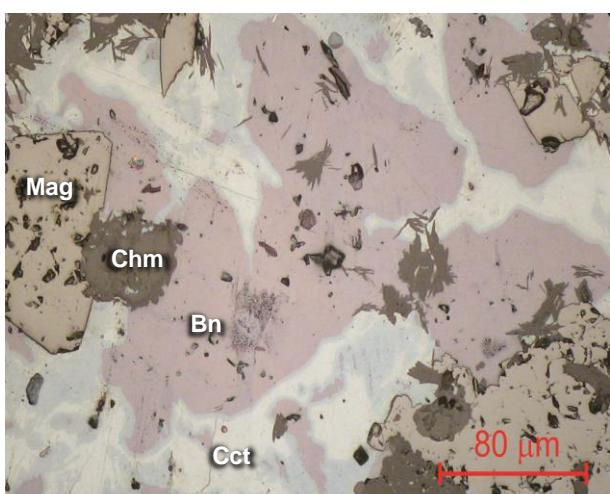


Figura 50 – SALOB 5, luz refletida – Bornita (Bn) e calcocita (Cct) com contatos lobados a interlobados em contato com magnetita subédrica a euédrica e chamosita (Chm) prismáticos com textura muito fina, por vezes apresentando-se fibrorradiados

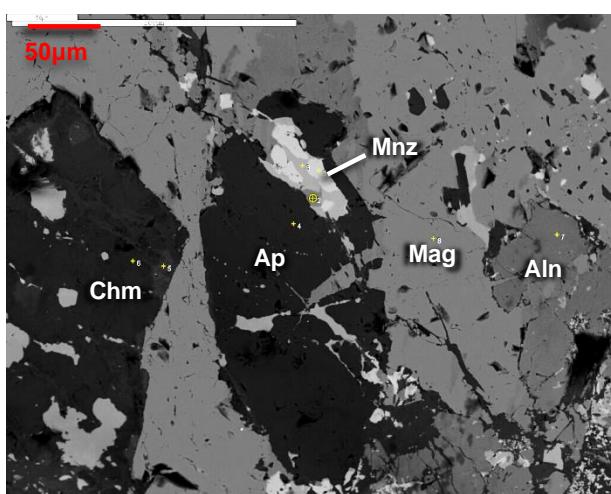


Figura 53 – SALOB 5, MEV – foto de magnetita(Mag) com inclusões de chamosita (Chm), allanita (Aln) subédrica e apatita (Ap) que por sua vez, apresenta inclusões de monazita (Mnz).

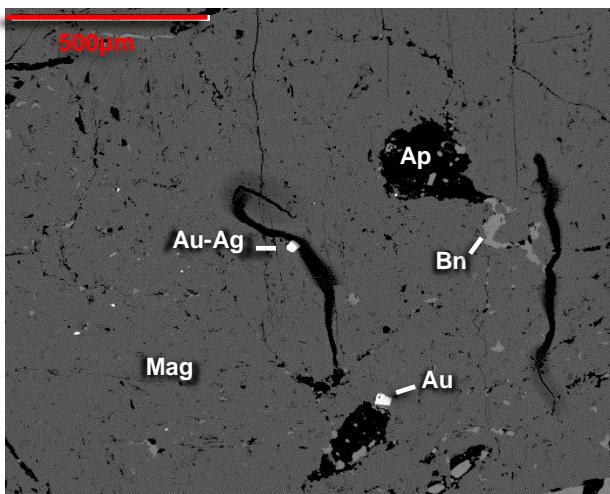


Figura 54 – SALOB 5 - MEV – Magnetita com inclusões de liga de ouro-prata, ouro nativo, bornita (Bn) e apatita (Ap).

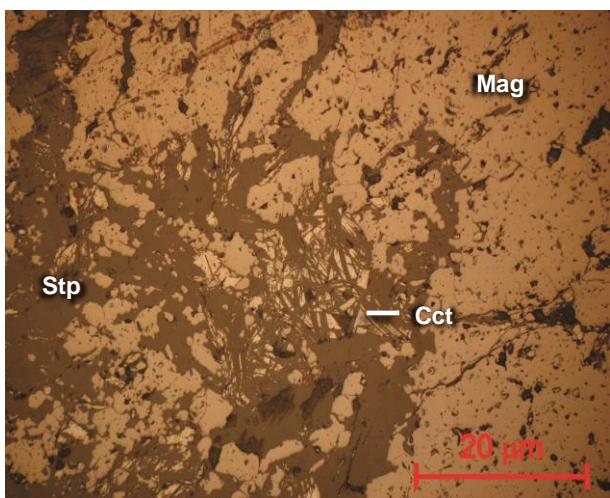


Figura 55 – SALOB 6 – luz refletida – Magnetita (Mag) em formato subédrico a anédrico e stilpnomenelano (Stp) ripiforme. Nos interstícios ocorre cristais de calcocita (Cct)

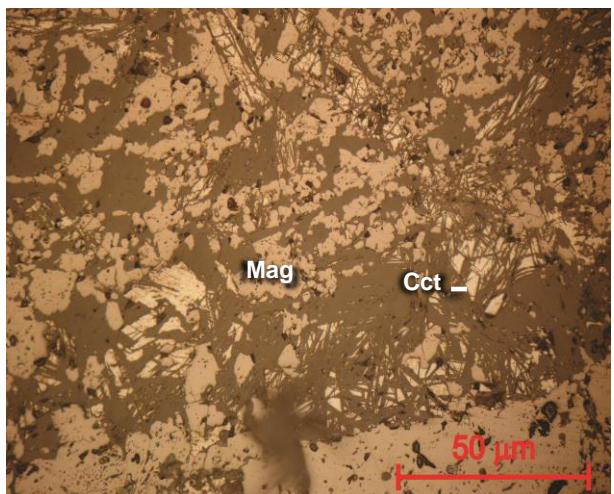


Figura 57 – SALOB 6, luz refletida – minerais de magnetita (Mag) em formato subédrico a anédrico e minerais de ganga que ocorrem em bolsões ou em formato ripiforme. Nos interstícios ocorre cristais de calcocita (Cct)

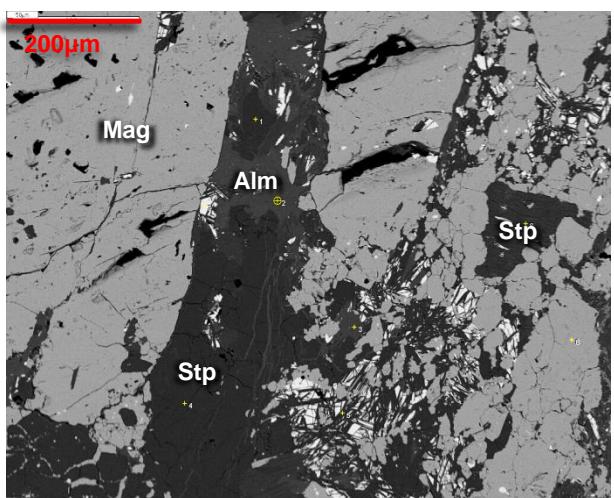


Figura 58 – SALOB 6, MEV – magnetita (Mag) intrudida por um veio composto por stilpnomenelano (Stp) e almandina (Alm). Calcocita (Cct) ocorre nos interstícios dos minerais de ganga

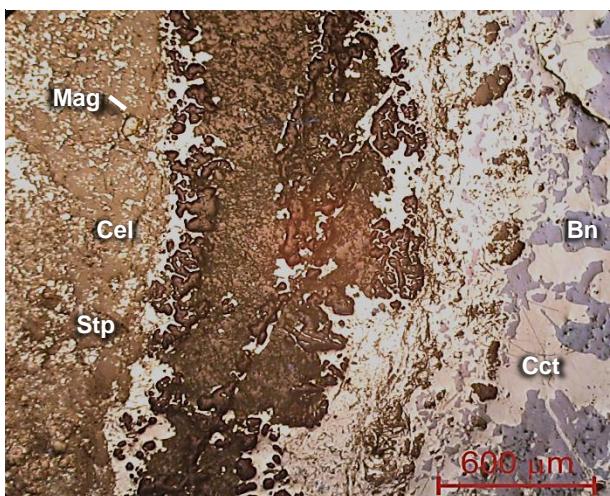


Figura 56 – SALOB 6, luz refletida – foto mostrando uma lâmina com uma parte rica em bornita (Bn) e calcocita (Cct) com contatos irregulares, lobados e interlobados a direita e à esquerda parte da lâmina rica em celadonita (Cel), stilpnomenelano (Stp) e magnetita (Mag). (olhar figura 59)

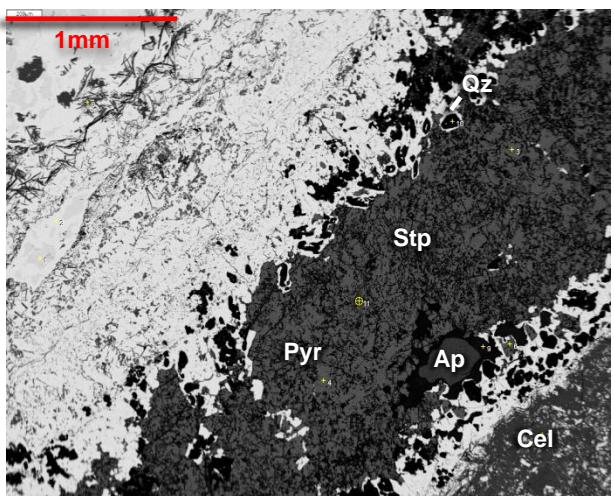


Figura 59 – SALOB 6, MEV – veio composto principalmente por Fe-pyrosmalita (Pyr), quartzo (Qz) e stilpnomenelano (Stp) subédricos a anédricos, de apatita (Ap)

5 - COMPILAÇÃO E NOVOS DADOS GEOQUÍMICOS

Os dados geoquímicos referentes a amostras de minério de depósitos Alvo 118, Bacaba, Sossego (corpo Sossego e Sequeirinho) da Província Carajás foram compilados e estão apresentados em anexo. Nesse trabalho foram obtidas 7 novas análises geoquímicas, sendo 6 de amostras da Mina Salobo, denominadas SALOB 1, SALOB 2, SALOB 3, SALOB 4, SALOB 5, SALOB 6 e 1 do depósito Bacaba, denominada BACD04. Esses dados foram incluídos na tabela de dados juntamente com os demais depósitos.

Nos gráficos, os óxidos foram plotados em porcentagem e os elementos em ppm, com exceção do ouro que foi medido em ppb. O cobre apresentou concentração acima do limite de detecção (>10.000 ppm) do método ICP-MS, assim sua concentração foi calculada mediante a soma de todos os compostos analisados e subtraído de 100%.

Alvo 118

A partir da observação dos gráficos é notável que as amostras de minério do depósito Alvo 118 ($n = 5$) apresentam altos conteúdos de Au (até 5065 ppb), de Ag (até 22,7ppm), Y (até 1147 ppm), Sn (até 159 ppm), Cu (até 47,09%), Nb(até 21,5ppm) e de Bi+Nb+Y+Ta (até 1161,1ppm). Esse depósito é o único entre os estudados que apresenta conteúdo também elevado de Be (até 239ppm). Entretanto, os conteúdos de Fe_2O_3 (4,17%) e ETR (La+Nd = ~25 ppm) são os mais baixos entre todos os depósitos. Os conteúdos de SiO_2 são semelhantes (~13%) a dos demais depósitos e mostra tendências de correlação positiva com o Mo (figura 61), Y (figura 62) e com a soma dos elementos Bi + Ta + Nb + Ta, como apresentado na figura 64, e correlação negativa com o Cu (figura 66) e com o Sn (Figura 67), e possivelmente com o Au (figura 70), embora essa última não seja clara, devido ao reduzido número de amostras.

Observando os gráficos e a tabela é notável enriquecido em cobre no depósito Alvo 118 em comparação com os depósitos Bacaba e Sossego (corpos Sequeirinho e Sossego), semelhante ao do depósito de Salobo. Correlação negativa do Cu com o U (figura 71) e positiva com o Sn (figura 72) são também sugeridas. O Nb também apresenta maiores conteúdos no minério do Alvo 118

Depósito Bacaba

Os gráficos desse depósito, devido ao número limitado de amostras ($n = 3$), são inconclusivos. Talvez com um número maior de amostras outras interpretações fossem possíveis e algumas adotadas sejam contestadas. Porém, esses dados geralmente se integram aos dados do corpo de minério Sequeirinho, ajudando a aumentar a nuvem de dados desse depósito, assim certas observações e interpretações sobre esse depósito

tomam como base o comportamento da nuvem de dados na qual os dados do depósito Bacaba estão inseridos.

Pode se destacar que as amostras analisadas do minério do Bacaba mostram que o depósito é enriquecido em Fe_2O_3 (até 44,41%) e Ta (até 1,5ppm) e apresenta menores teores de Au (13 ppb), Ag+Zn+Pb (9,1 ppm), Ni (28,3 ppm), sendo possível a observação de correlações positivas nos gráficos que relacionam SiO_2 com Mo (figura 61), negativas de Fe_2O_3 com relação ao cobre (figura 73) e ao molibdênio (figura 75). Também pode ser observada que uma amostra difere das outras duas, devido aos seus conteúdos mais elevados de ETRL (La+Nd) e Nb.

Depósito Sossego

Corpo Sequeirinho

No minério do Corpo Sequeirinho ($n = 6$) são notáveis os altos conteúdos de Ni (~574 ppm,), Co (~133,92 ppm), V (~353,4ppm), e P_2O_5 (até 7,4%), com destaque para a amostra SOS004 que apresenta valores anômalos de Ni (3511,9 ppm) e de Co (582,9 ppm), e baixos conteúdos de U (0,1 ppm), Sn (3 ppm) e Bi+Ta+Nb+Y (59,8ppm) em comparação com os resultados das amostras dos demais depósitos estudados. As concentrações de SiO_2 (~23%) desse depósito são muito parecidas com a dos demais depósitos e apresenta correlação positiva com os seguintes elementos: Mo (figura 61), Nb (figura 77) e negativa com Au (figura 70). Já o Fe_2O_3 apresenta tendência de correlação positiva com Cu (figura 73) e Ag (figura 79) e negativa com o Mo (figura 75).

Tendências de correlações positivas também foram observadas entre Cu e Au (figura 78) e Cu e Ag+Zn+Pb (figura 80) e negativa entre V e Au (figura 81).

Corpo Sossego

Os gráficos referentes às amostras do Corpo Sossego ($n = 6$) mostram conteúdos elevados de U (até 21,3 ppm) em comparação com os demais depósitos. A amostra SOS007 merece destaque, pois apresenta a maior concentração de ouro dentre todas as outras amostras analisadas (33891 ppb), aparecendo nos gráficos como um “ponto fora da curva”. Para facilitar a interpretação e leitura dos gráficos se fez necessário o ocultamento desse dado.

Os gráficos que relacionam o Fe_2O_3 com o Cu (figura 73), o Mo (figura 75) e com Ni+Co (figura 82) apresentam correlações negativas, enquanto a correlação entre SiO_2 e Mo é positiva (Figura 61).

Muitos gráficos mostram agrupamento das amostras do Corpo Sossego em dois grupos de 3 amostras. Por vezes esse grupos apresentam correlações distintas entre os elementos analisados. Exemplos disso são apresentados nos gráficos V vs. Au (figura 81) e

Fe_2O_3 vs. La+Nd (figura 83). Em outros casos, as amostras se agrupam de forma distinta, porém não apresentam nenhuma correlação notável, como mostrado nos gráficos Cu vs. La+Nd (figura 84), SiO_2 vs. Bi+Ta+Nd+Y (figura 65), SiO_2 vs. Y (figura 62) e SiO_2 vs. Nb (figura 76). Por vezes esses grupos de amostras apresentam ter afinidade com diferentes depósitos, configurando um comportamento geoquímico híbrido desse depósito, como ilustrado no gráfico V vs. Au (figura 81).

Destacam-se também algumas diferenças importantes entre a composição química do minério do Corpo Sossego em relação ao Corpo Sequeirinho do mesmo depósito (Mina do Sossego). Conteúdos, em geral, mais elevados de Sn, Y, (Bi + Ta + Nb +Y), Nb além de U no minério do Corpo Sossego, o diferenciam. Contudo, o minério dos dois corpos apresenta composição semelhante em relação aos conteúdos de Cu e Fe_2O_3 (figura 73), Mo (figura 74), SiO_2 (figura 60), ETRL (La+Nd; figura 85), Ni + Co (figura 86). O Corpo Sequeirinho apresenta conteúdo mais elevados de Ag (figura 79), em relação ao Corpo Sossego.

Depósito Salobo

A partir da observação dos gráficos e da tabela dos resultados geoquímicos constata-se que o minério do Depósito Salobo ($n = 6$) é relativamente enriquecido em Mo (até 76,1 ppm), Ag (>100 ppm), U (~6,3 ppm), Bi (~5,4 ppm) e As (até 23,2 ppm). Dentre esses elementos destaca-se a prata que apresentou nas amostras SALOB 1, SALOB 2, SALOB 3 e SALOB 6 concentrações acima do limite de detecção do método de analítico (>100 ppm). A amostra SALOB 5 merece destaque por apresentar concentração muito alta de Fe_3O_2 (77,4%) e concentrações mais elevadas de alguns elementos que destoam das outras amostras, como os conteúdos de urânio (37,1 ppm) e molibdênio (109,3 ppm), que são as maiores concentrações dentre todas as amostras de todos os depósitos estudados. Essa amostra também apresenta a maior concentração de estanho entre as amostras de minério do Salobo e a menor concentração de prata (37 ppm). Outra amostra que merece destaque é a SALOB 2, uma vez que representa uma amostra de minério de cobre tão rica que suas porcentagens de Cu (66,29%) e de Fe_2O_3 (5%) assemelham com as porcentagens esperadas na fórmula ideal do mineral bornita (Cu_5FeS_4) com 63,3% de Cu e 11,1% de Fe.

Dentre os gráficos confeccionados, foram observadas tendências de correlação positiva entre SiO_2 com Nb (figura 76), Y (figura 63), (Bi+Ta+Nb+Y) (figura 65) e entre U vs. (La+Nd; figura 84) e Fe_2O_3 vs. (Ni+Co) (figura 82). Correlações negativas do Fe_2O_3 e SiO_2 com o cobre (figuras 66 e 73) e do cobre com (Ag+Zn+Pb; figura 80), U (figura 71) e (La+Nd; figura 84) foram também notadas.

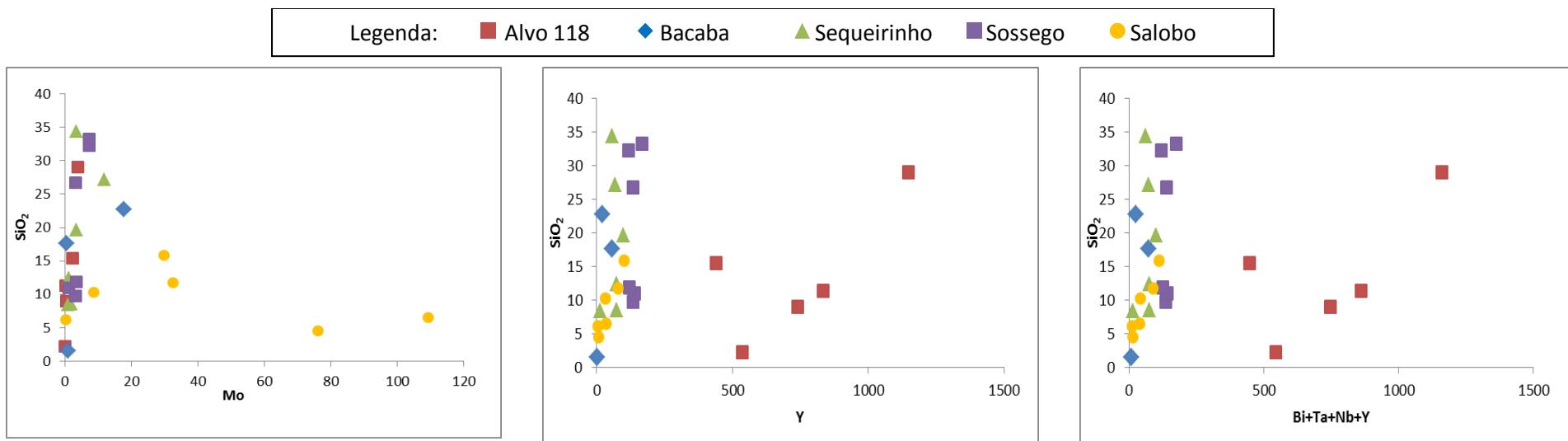


Figura 60 – Gráfico Mo vs SiO_2 mostrando o depósito de Salobo é muito rico em molibdênio em relação aos demais

Figura 62 - . Gráfico mostrando as relações entre Y e SiO_2 , apresenta correlação positiva entre as amostras do depósito Alvo 118

Figura 64. Gráfico $\text{Bi}+\text{Ta}+\text{Nb}+\text{Y}$ vs. SiO_2 , destacando o enriquecimento de $\text{Bi}+\text{Ta}+\text{Nb}+\text{Y}$ no depósito Alvo 118

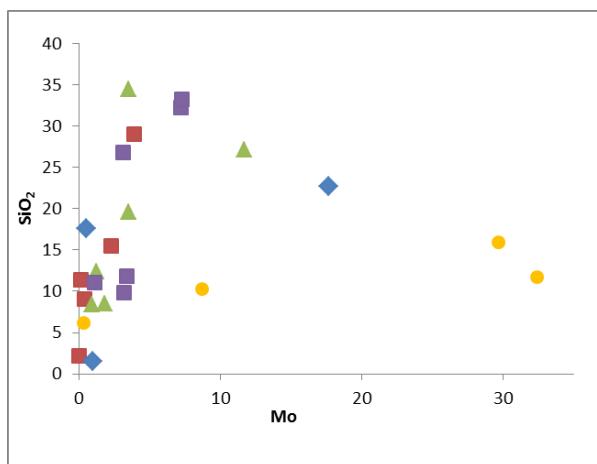


Figura 61 - gráfico Mo vs SiO_2 . Esse gráfico oculta duas amostras com anomalia de Mo (109,3 ppm e 76,1ppm) do depósito Salobo

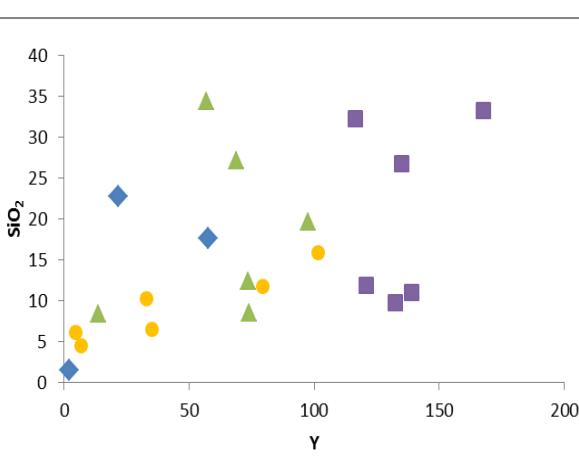


Figura 63 - . Gráfico mostrando as relações entre Y e SiO_2 , - ocultando os dados do depósito Alvo 118 ,para uma melhor leitura do gráfico

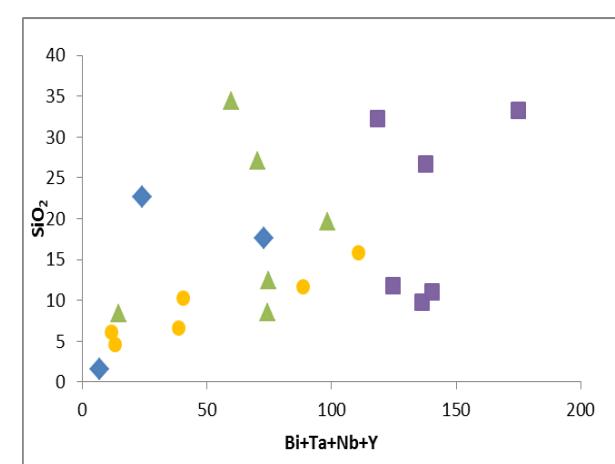


Figura 65 – O gráfico relaciona SiO_2 e $\text{Bi}+\text{Ta}+\text{Nb}+\text{Y}$ e oculta os dados do depósito Alvo 118.

Legenda: ■ Alvo 118

◆ Bacaba

▲ Sequeirinho

■ Sossego

● Salobo

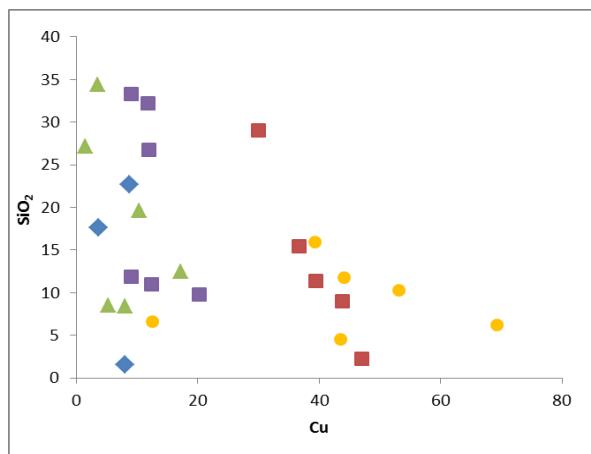


Figura 66 – O gráfico SiO₂ vs Cu apresenta que os depósitos Salobo e Alvo 118 são enriquecidos em Cu e tem correlação negativa

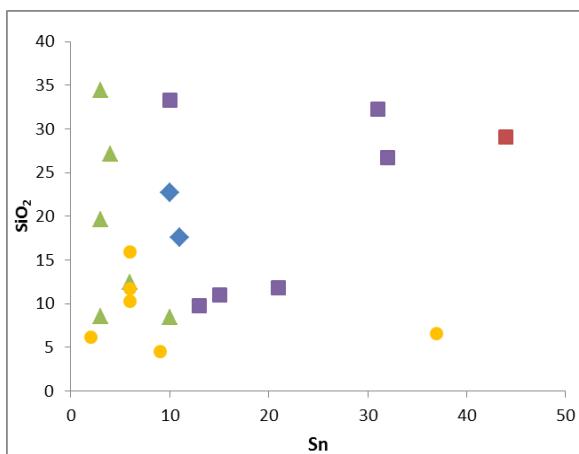


Figura 68 – O gráfico compara concentrações de SiO₂ com as amostras mais enriquecidas do depósito Alvo 118 ocultadas

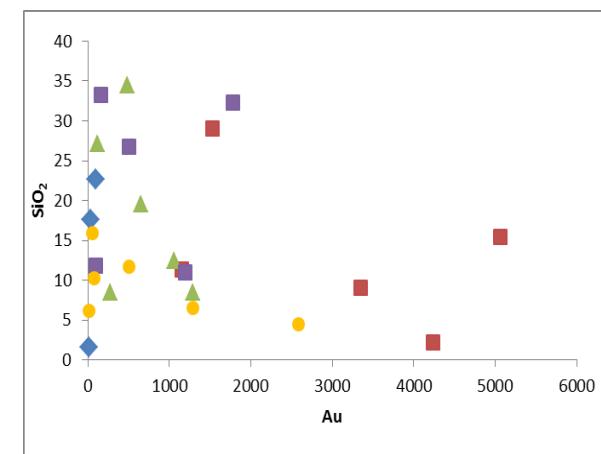


Figura 70 – O gráfico SiO₂ vs Au oculta um resultado anômalo positiva de ouro (33891 ppb) do Corpo Sossego

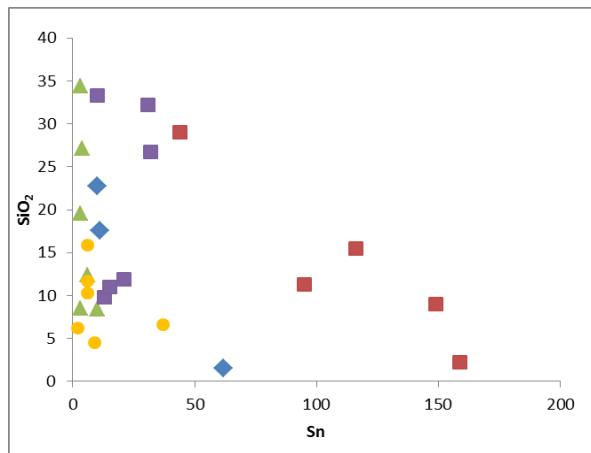


Figura 67 – O gráfico compara concentrações de SiO₂ com concentrações de Sn evidenciando assim o depósito Alvo 118 como mais enriquecido em estanho em relação aos demais estudados.

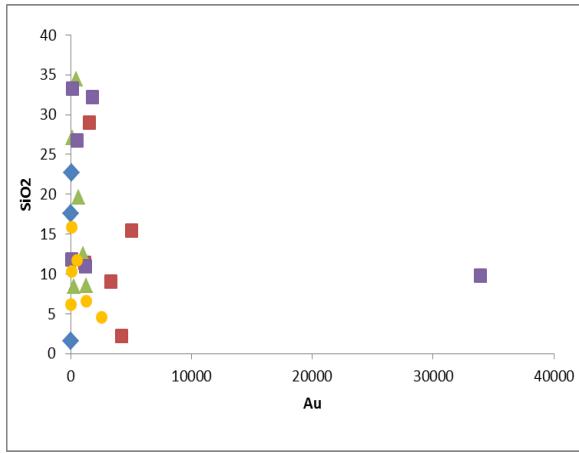


Figura 69 – O gráfico SiO₂ vs Au apresenta um resultado anômalo positiva de ouro (33891 ppb) do Corpo Sossego

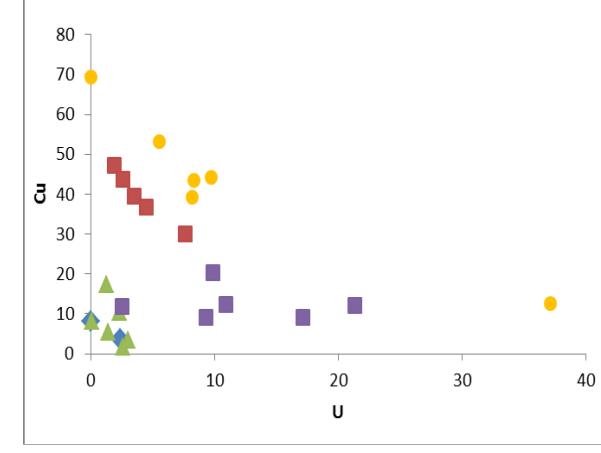
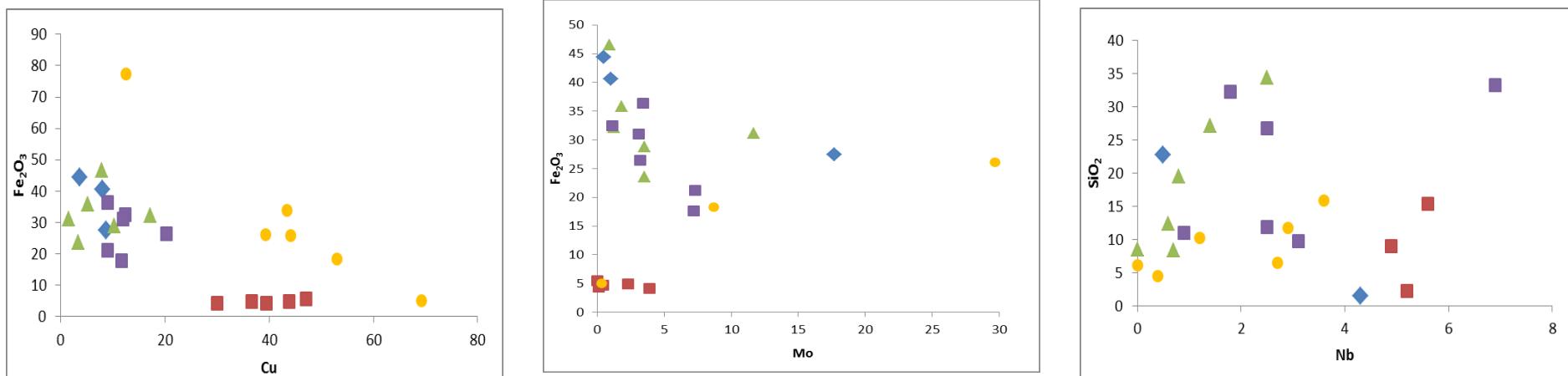
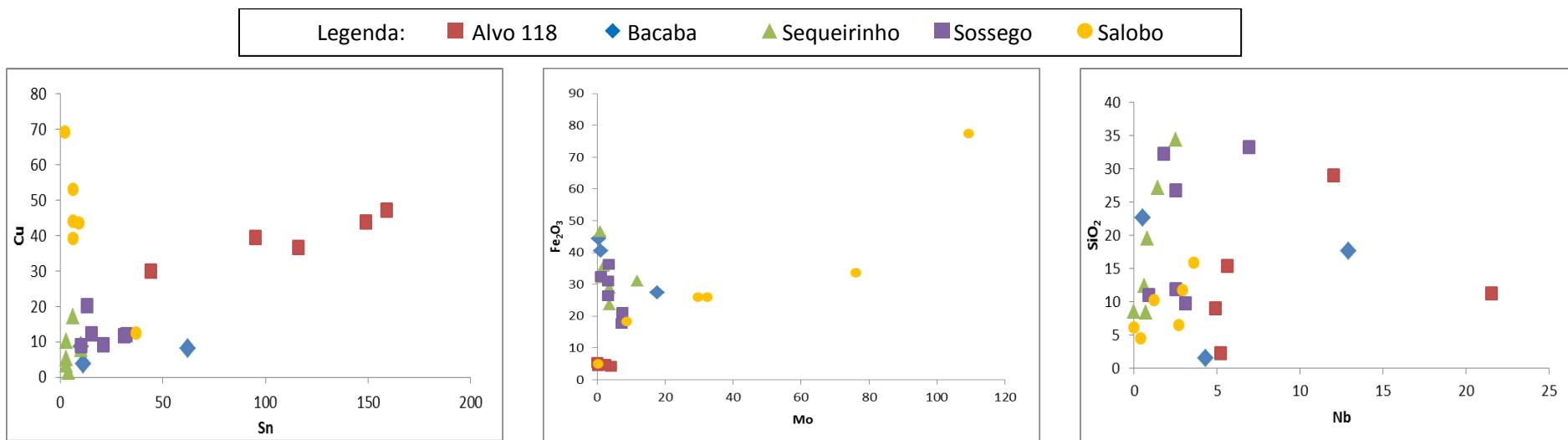


Figura 71 – O gráfico que relaciona concentrações de Cu e U apresenta um resultado de uma amostra do depósito Salobo com concentração anômala de urâno (37,1ppm)



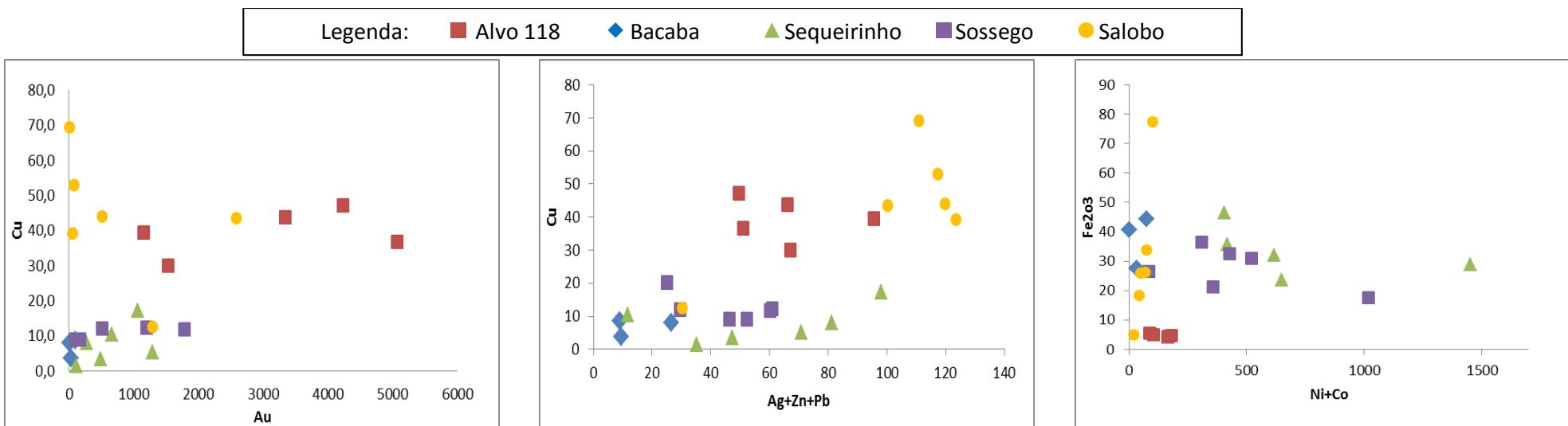


Figura 78 – O gráfico Cu vs Au apresenta o depósito Alvo 118 enriquecido em Au

Figura 80 O gráfico Cu vs Ag+Zn+Pb mostra amostras do Salobo enriquecidas em Ag+Zn+Pb, entretanto as amostras que excederam o limite de 100ppm de Ag foram plotadas com limite detectável

Figura 82 –o gráfico Fe₂O₃ vs Ni+Co oculta o valor de concentração anomala positiva de (Ni+Co) (4094,8ppm) do depósito Sequeirinho

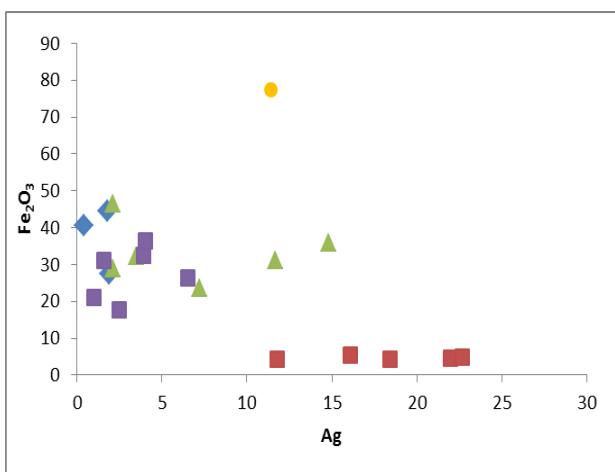


Figura 79 - O depósito Solobo é uma anomalia de Prata pois em suas análises químicas apresentou valores acima do limite de detecção (100ppm) por isso suas amostras foram ocultadas

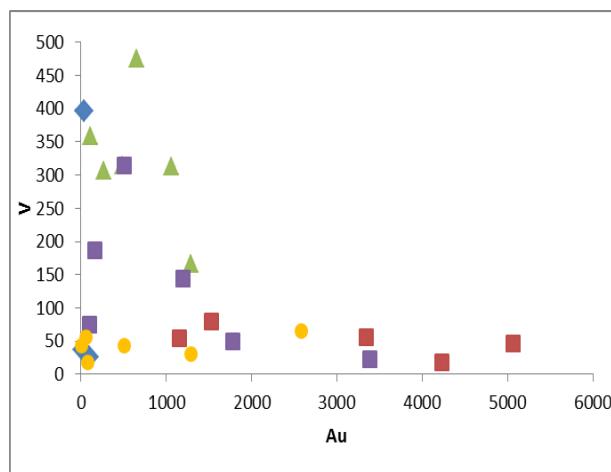


Figura 81 gráfico V vs Au oculta a anomalia positiva de ouro(33891ppb)do depósito Sossego

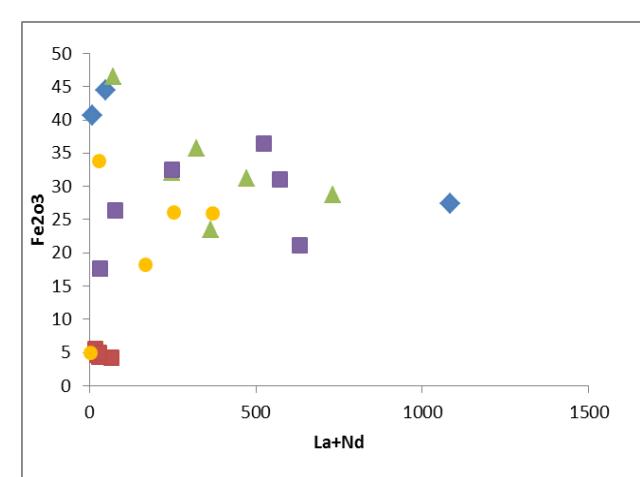


Figura 83 O gráfico oculta a anomalia positiva de ferro do depósito Salobo (77,4%).

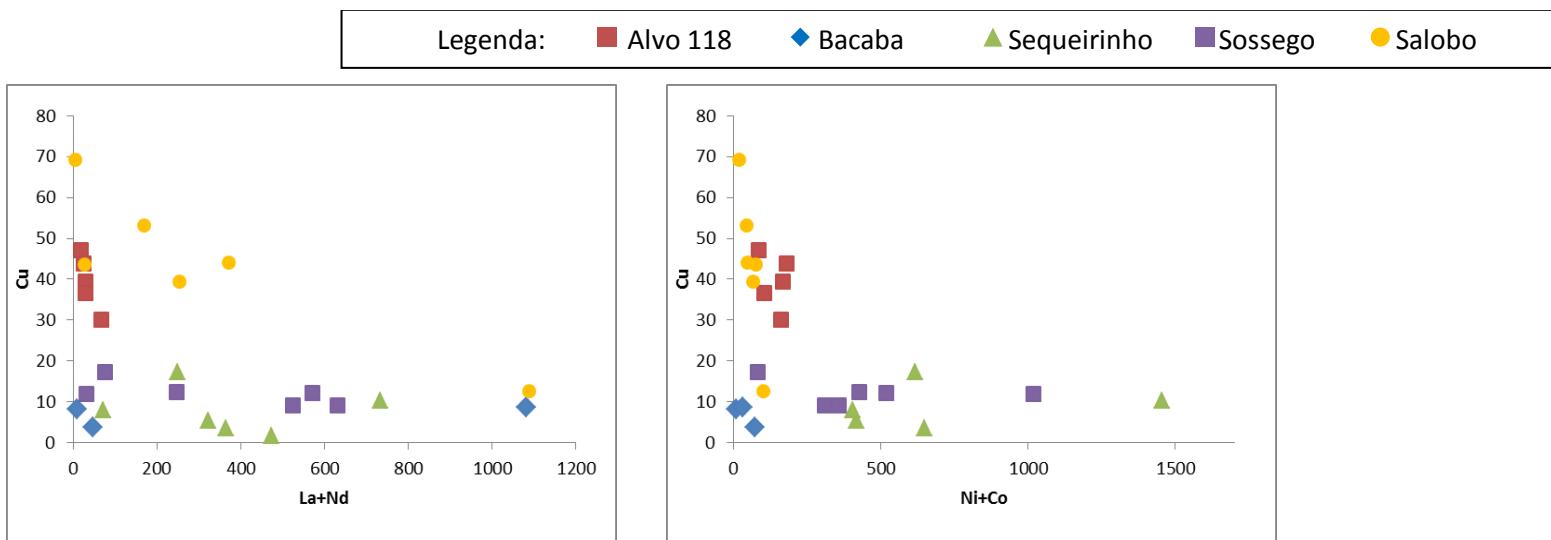


Figura 84 O gráfico Cu vs La+Nd demonstra que os depósitos Sequeirinho, Sossego e Bacaba tem comportamento diferente do que os depósitos Alvo 118 e Salobo

Figura 86 os depósitos Sequeirinho e Sossego comportamento diferente do que os depósitos Alvo 118 Bacaba e Salobo. Gráfico acima oculta a anomalia positiva de (Ni+Co) (4094,8ppm) do depósito Sequeirinho.

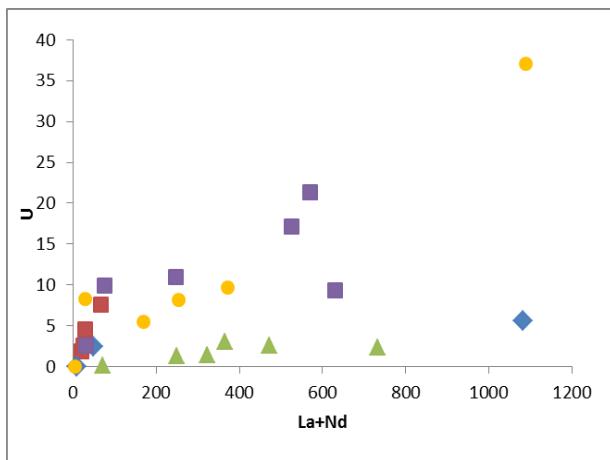


Figura 85 Gráfico que relaciona as concentrações de U e La+Nd apresenta uma amostra com concentração anômala de urâno (37,1ppm) do depósito Salobo

Discussões

Os dados de geoquímica são bastante coerentes com a composição mineralógica das mesmas amostras de minério, como foi possível constatar em relação à Mina do Salobo. A grande concentração de Fe_2O_3 e baixo conteúdo de cobre da amostra SALOB 5 é reflexo da grande porcentagem de magnetita e pequena porcentagem de minerais de cobre (bornita e calcocita) encontrados na lâmina. Nessa mesma amostra a presença de minerais de urânio (uraninita; UO_2), com arsênio (cobaltarthurita - $[(\text{Co},\text{Mg})\text{Fe}_2(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$) e ouro encontrados em lâmina e constatados em análise de MEV são condizentes com os conteúdos mais elevados desses elementos.

O inverso ocorre na amostra SALOB 2, extremamente rica em cobre e pobre em ferro, que é reflexo de sua composição mineralógica, rica em minerais de cobre e com rara magnetita. Em outras amostras também foi constatada a presença de outras fases minerais com As e Co, como a safflorita $[(\text{Co},\text{Fe})\text{As}_2]$, e de Co, como a linnaeita (Co_3S_4). Contudo, embora o conteúdo de Mo seja elevado em algumas amostras, molibdenita não foi observada nas amostras como uma fase maior.

O depósito de Sossego (corpos Sequeirinho e Sossego) destaca-se dos demais pelos elevados conteúdos de Ni+Co, presentes principalmente na siegenita $[(\text{Ni},\text{Co})_3\text{S}_4]$ e, subordinadamente, na millerita (NiS) e melonita (NiTe_2). Os conteúdos mais elevados de Sn do Corpo Sossego em relação ao Corpo Sequeirinho são devidos às inclusões de cassiterita (SnO_2) na calcopirita, também descritas no depósito Alvo 118. Esse último também destaca-se por seus conteúdos mais elevados de Y, presente na ytrialitta, britholita e xenotima, e de U, presente na uraninita. Os elevados conteúdos de ETR nesses depósitos são correlacionáveis à presença de allanita principalmente, mas também de monazita.

Os gráficos mostram que em alguns casos as amostras de determinados depósitos se agrupam no mesmo campo dentro do gráfico, demonstrando assim comportamento geoquímico e concentrações químicas semelhantes. Outras vezes as amostras de dado depósito definem campos ou tendências distintas. A composição química dos minérios dos depósitos de óxido de ferro-cobre-ouro pode refletir a natureza dos fluidos hidrotermais, parâmetros físico-químicos (T , $f\text{O}_2$, $f\text{S}_2$, pH), bem como a composição das rochas com as quais os fluidos interagiram, uma vez que todos os depósitos associam-se a extensas zonas de alteração hidrotermal. Dessa forma, metais podem ter sido lixiviados de rochas de diferente composição em cada caso estudado. Assim, diferenças significativas em relação à composição química do minério seria esperada em função da interação com litotipos que refletem a evolução arqueana e paleoproterozoica de Carajás.

No gráfico que relaciona SiO_2 com estanho (figuras 67 e 68) é possível observar que os depósitos nos quais idades paleoproterozoicas (ca. 1,88 Ga) foram obtidas a partir de datação U-Pb de minerais inclusos nos sulfetos (e.g. xenotima no Alvo 118; Tallarico, 2003; monazita no Corpo Sossego; Moreto 2013) o estanho apresenta conteúdos mais elevados,

sendo o minério do Alvo 118 o mais enriquecido. Os depósitos com menores conteúdos de estanho são os depósitos com idades arqueanas, como o depósito Bacaba (ca. 2,7 Ga; U-Pb em monazita, Moreto, 2013), o Corpo Sequeirinho (ca. 2,7 Ga; U-Pb em monazita, Moreto, 2013) e o depósito de Salobo (ca. 2,57 Ga; Re-Os em molibdenita; Réquia *et al.*, 2003).

O gráfico que relaciona cobre com urânio (figura 71) também mostra semelhanças entre os depósitos Alvo 118 e Corpo Sossego, que registram idades paleoproterozóicas. A distribuição desses elementos compõe uma nuvem indicativa de correlação negativa. Os depósitos arqueanos (Corpo Sequeirinho e Bacaba) do Cinturão Sul do Cobre mostram concentrações relativas mais baixas de cobre e urânio, enquanto Salobo, localizado no Cinturão Norte do Cobre, assemelha-se mais aos depósitos paleoproterozoicos.

O gráfico que relaciona SiO_2 e cobre (figura 66) mostra um zoneamento entre os depósitos estudados. O depósito Alvo 118 e o depósito Salobo são os mais enriquecidos em cobre, embora o Alvo 118 represente um depósito paleoproterozoico e o Salobo neoarqueano, é o único depósito estudado pertencente ao Cinturão Norte do Cobre.

Entre os depósitos do Cinturão Sul do Cobre, o mais enriquecido em cobre é o Alvo 118, contrastando com o Corpo Sossego, também paleoproterozoico, que apresenta conteúdos de cobre mais baixos. Uma possível explicação pode estar em outro gráfico, que relaciona cobre e estanho (figura 72), mostrando correlação positiva entre esses elementos no Alvo 118, sugerindo a importância dos mecanismos de lixiviação e reconcentração de metais no evento paleoproterozóico. Nesse evento rochas paleoproterozóicas e arqueanas preexistentes podem ter sido lixiviadas, incluindo zonas mineralizadas preexistentes.

O gráfico que relaciona os conteúdos de Fe_2O_3 com o cobre (figura 73) mostra semelhanças entre os depósitos Bacaba e Sossego. Nesse caso, o minério dos depósitos com influência de processos paleoproterozoicos (Alvo 118 e Corpo Sossego) não apresentam semelhanças. Os corpos Sossego e Sequeirinho apresentam não apenas conteúdos semelhantes de Fe_2O_3 e Cu, como tendências análogas. Isso pode refletir uma herança das características do minério arqueano no Corpo Sossego, o que seria coerente com a remobilização do minério durante o Paleoproterozoico, sem formação de minério com características químicas distintas em termos desses elementos.

Comportamento geoquímico semelhante entre os corpos Sossego e Sequeirinho e o depósito Bacaba, e distinto dos depósitos Alvo 118 e Salobo, também pode ser observado na relação Cu vs. Ag+Zn+Pb (figura 80), embora o Corpo Sequeirinho apresente conteúdos mais elevados de Ag em relação ao Corpo Sossego. Situação análoga à anterior é observada em relação à distribuição de Cu vs. Ni+Co (figura 86). No gráfico da figura 86 também pode ser observado agrupamento das amostras dos corpos Sossego e Sequeirinho, que diferenciam-se dos depósitos Salobo e Alvo 118, devido aos seus mais altos teores de Ni + Co.

No gráfico que relaciona SiO_2 com Nb (figura 77) destacam-se os maiores conteúdos de Nb no depósito paleopreterozoico Alvo 118, enquanto o Depósito Salobo e o Corpo Sossego apresentam resultados híbridos entre os obtidos para o Corpo Sequeirinho e os relativos ao depósito Alvo 118, sugerindo que os fluidos paleoproterozóicos podem não ter agido de forma restrita em Carajás, mas regionalmente.

A relação entre SiO_2 e ítrio (figura 62) também destaca os maiores valores de Y do depósito Alvo 118 com valores partir de 500 ppm. O minério do Corpo Sossego apresenta valores de Y intermediários (100 a 200ppm) entre os do Alvo 118 e do Corpo Sequeirinho (até 100 ppm). Assumindo-se que o Y relaciona-se ao evento de colocação dos granitos do tipo A, em ca. 1,88 Ga, é possível que o Corpo Sossego não tenha sofrido tanta influência desse evento quanto o depósito Alvo 118, pois suas concentrações são intermediárias entre os depósitos arqueanos e paleoproterozoicos.

6 - CONCLUSÃO

Os depósitos Salobo, Sossego, Alvo 118 e Bacaba caracterizam-se pela presença de magnetita-(hematita), sulfetos de cobre (calcopirita nos depósitos do Cinturão Sul do Cobre e calcocita-bornita no Cinturão Norte do Cobre), além de minerais de ETR, principalmente allanita, e de cobalto e níquel (siegenita, safflorita, cobaltarthurita, linnaeita, millerita). Entretanto, tanto a composição mineralógica como química das amostras de minério desses depósitos refletem diferenças que podem ser relativas a particularidades de sua evolução, relacionadas à história de evolução dos fluidos hidrotermais e de sua interação com rochas de natureza diversa, tanto no Paleoproterozoico como no Arqueano.

As amostras de minério desses depósitos registram idades distintas em ca. 2,70 Ga (Corpo Sequeirinho e Bacaba), ca. 2,57 Ga (Salobo) e ca. 1,88 Ga (Alvo 118 e Corpo Sossego), que podem refletir eventos hidrotermais distintos, não necessariamente mineralizantes. Nos depósitos que registram idades paleoproterozoicas são notáveis os conteúdos mais elevados em Sn, Nb, Y e U nas amostras de minério.

O enriquecimento de Sn, Nb e Y no depósito Alvo 118 e no Corpo Sossego pode ser atribuído à interação dos fluidos hidrotermais com os granitos do tipo-A de ca. 1,88 Ga, que apresentam especialização metalogenética em Sn e W. A participação de fluidos magmáticos relacionados a essa importante granitogênese reconhecida na Província Carajás na gênese do minério nesses depósitos, contudo, é discutível, devido à natureza reduzida do magma e, consequentemente, do fluido exsolvido a partir da sua cristalização. Contudo, a colocação dos granitos pode ter representado importante fonte de calor, necessária para a circulação dos fluidos hidrotermais que lixiviaram os granitos.

O Corpo Sossego, contudo, apresenta também semelhanças em relação ao Corpo Sequeirinho, tais como os conteúdos de cobre, ferro, molibdênio, SiO_2 , ETR, Ni e Co,

refletindo possível herança dos processos arqueanos ou apenas remobilização do minério preexistente no Paleoproterozoico. O depósito de Salobo apresenta tendências de covariância semelhantes entre SiO₂ e Cu, Cu e Ni+Co e Cu e U às do depósito Alvo 118, paleoproterozoico, mas não apresentam a típica assinatura de enriquecimento em Nb-Y-Sn do evento Paleoproterozoico.

Dessa forma, a assinatura geoquímica do minério nos depósitos de óxido de ferro revela aspectos importantes para a compreensão da evolução dos sistemas hidrotermais responsáveis pela gênese desses depósitos, tais como assinaturas distintas para os depósitos arqueanos (Fe, Mo, ETR, Ni e Co) e aqueles que registraram eventos hidrotermais paleoproterozoicos (Sn, Nb, Y e U).

Sugestões

As interpretações decorrentes desse estudo foram tomadas a partir de poucos dados de química de rocha total de poucos depósitos (ou corpos de minério) sendo três arqueanos: Bacaba (ca. 2,70 Ga), Sequeirinho (ca. 2,70 Ga) e Salobo (ca. 2,57 Ga) e dois paleoproterozoico: Sossego (ca. 1,88 Ga) e Alvo 118 (ca. 1,88 Ga). Para melhorar a compreensão dos processos responsáveis pela formação dos processos, sugere-se a inclusão de dados de outros depósitos arqueanos do Cinturão Norte do Cobre, como Igarapé Bahia-Alemão, e do Cinturão Sul do Cobre, como o depósito Cristalino, assim como realizar análises químicas em um número mais representativo de amostras.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo O.J.B., Maia R.G.N., Jorge-João X.S., Costa J.B.S. 1988. A megaestruturação da folha Serra dos Carajás. In: Congr. Latino Americano de Geologia, 7, *Proceedings*, p. 324–333.
- Augusto R.A., Monteiro L.V.S., Xavier R., Souza Filho C.R. 2008. Zonas de alteração hidrotermal e paragênese do minério de cobre do Alvo Bacaba, Província Mineral de Carajás (PA). *Rev. Bras. Geoc.*, **38**(2): 263-277.
- Avelar V.G., Lafon J.M., Correia JR F.C., Macambira E.M.B. 1999. O Magmatismo arqueano da região de Tucumã-Província Mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. *Rev. Bras. Geoc.*, **29**(4): 453-460
- Barros C.E.M., Nascimento, V.M. do, Medeiros Filho, C.A. 2010. Revisão da estratigrafia das rochas da Serra Leste, Província Mineral de Carajás. *Rev. Bras. Geoc.*, **40**: 167-174
- Carvalho D.C. 2011. Caracterização geoquímica das zonas de alteração hidrotermal do depósito cuprífero de Alvo Castanha, Província Mineral de Carajás Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.80p.
- Carvalho, E.R., 2009. Caracterização geológica e gênese das mineralizações de óxido de Fe-Cu-Au e metais associados na Província Mineral de Carajás: estudo de caso do depósito de Sossego. Dissertação de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 141p.
- Cox D.P. & Singer D.A. 2007. Descriptive and Grade-Tonnage Models and Database for Iron Oxide Cu-Au Deposits. Open-File Report 2007-1155. USGS. 13 p.
- Dardenne M.A. e Schobbenhaus C.S. 2001. Metalogênese do Brasil., Brasília, 392 pp.
- Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Rämö O.T., Moura C.A.V., Macambira M.J.B., Oliveira D.C. 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic, rapakivi, A-type granites of the Archean Carajás Metallogenic Province, Brazil. *Lithos*, **80**: 101–129.
- Dall'Agnol R. & Oliveira D.C. 2007. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos*, **93**, 215–233.
- Dias G.S., Macambira M.B., Dall'Ágnol R., Soares A.D.V., Barros C.E.M. 1996. Datações de zircões de sill de metagabro: comprovação de idade arqueana da Formação Águas Claras, Carajás, Pará. In: SBG, Simp. Geol. Amazônia, 5, *Atas*, p. 376-378.
- DOCEGEO. 1988. Revisão litoestratigráfica da província mineral de Carajás.In: CVRD/SBG, Cong. Bras. Geol., 35, *Província Mineral de Carajás – Litoestratigrafia e principais depósitos minerais: Anexo aos anais*, p.11-59.
- Dreher A.M., Xavier R.P., Taylor B.E., Martini S. 2008. New geologic, fluid inclusion and stable isotope studies on the controversial Igarapé Bahia Cu-Au deposit, Carajás Province, Brazil. *Mineralium Deposita*, **43**:161-184.
- Feio G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Gomes A.C.B., Sardinha A.S., Oliveira D.C., Santos R.D., Santos P.A. 2012. Geochemistry, geochronology, and origin of the Neoarchean Planalto Granite suite, Carajás, Amazonian craton: A-type or hydrated charnockitic granites?. *Lithos*, **151**: 57-73

Groves D.I., Bierlein F.P., Meinert L.D., Hitzman M.W. 2010. Iron Oxide Copper-Gold (IOCG) Deposits through Earth History: Implications for Origin, Lithospheric Setting, and Distinction from Other Epigenetic Iron Oxide Deposits. *Economic Geology*, **105**: 641-654

Hasui Y. 2012. Cráton Amazônico: províncias Rio Branco e Tapajós *In:* Hasui Y., Carneiro C.D.R., Almeida F.M.M., Bartorelli A. (Eds) *Geologia do Brasil*. Becca, 1, p.:138-175

Hirata W.K., Rigon J.C., Kadekaru K., Cordeiro A.A.C., Meireles E.A. 1982. Geologia Regional da Província Mineral de Carajás. *In:* SBG/NO, Simp. Geol. Amaz., 1, *Anais*, v 1, p. 100-110.

Hitzman M.W. 2000. Iron oxide-Cu-au deposits: what, where, when, and why. *In:* Porter T.M. (ed.) *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: a global perspective*. Austral. Miner. Fund, Adelaide, p. 9-25.

Hitzman M.W., Oreskes N., Einaudi M.T. 1992. Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits. *Precambrian Research*, **58**, 241-287.

Huhn S.R.B. & Nascimento, J.A.S. 1997. São os depósitos cupríferos de Carajás do tipo Cu-Au-U-ETR? *In:* SBG, Costa, M.L., Angélica, R.S. (Coord.). *Contribuições à geologia da Amazônia*, **1**: 143-160.

Huhn S.R.B., Souza C.I.J., Albuquerque M.C., Leal E.D., Brustolin V. 1999. Descoberta do depósito Cu(Au) Cristalino: Geologia e mineralização associada região da Serra do Rabo - Carajás – PA. *In:* SBG, Simp. Geol. Amazônia, **6**, Atas p.140–143.

Lafon J.M., Macambira M.J.B., Pidgeon R.T. 2000, Zircon U-Pb SHRIMP dating of Neoarchean magmatism in the southwestern part of the Carajás Province (eastern Amazonian Craton, Brazil). *In:* International Geological Congress, 31, *Resumos*, [CD-ROM].

Lindenmayer Z.G. 2003. Depósito de Cu-Au do Salobo, Serra dos Carajás: Uma revisão. *In:* Ronchi L.H., Althoff F.J. (Eds.) Caracterização e modelamento de depósitos minerais. Unisinos, pp 69–98

Macambira E.M.B. & Vale A.G. 1997. São Félix do Xingu: folha SB.22-Y-B, Estado do Pará, escala 1:250.000. Texto Explicativo. Brasília, CPRM, Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. 344 p.

Machado N., Lindenmayer D.H., Krough T.E., Lindenmayer Z.G. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research*, **49**:329-354

Mizuno T.A. 2009. Estudo das paragêneses de minério de depósitos de óxido de ferro-cobre-ouro da Província Mineral de Carajás. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade estatal de Campinas

Monteiro L.V.S., Xavier R.P., Carvalho E.R., Hitzman M.W., Johnson C.A., Souza Filho C.R., Torresi I. 2008. Spatial and temporal zoning of hydrothermal alteration and mineralization in the Sossego iron oxide–copper–gold deposit, Carajás Mineral Province, Brazil: paragenesis and stable isotope constraints. *Mineralium Deposita*, **43**: 129–159.

Moreto C.P.N. 2010. O depósito de óxido de ferro-cobre-ouro Bacaba, Província Mineral de Carajás: Geocronologia U-Pb das rochas hospedeiras. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. 85 p.

Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S., Xavier R.P., Amaral W.S., Santos T.J.S., Juliani C., and Souza Filho C.R. 2011. Mesoarchean (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide-Cu-Au Bacaba deposit, Carajás Mineral Province: U-Pb geochronology and metallogenetic implications. *Mineralium Deposita*, **46**: 789-811.

Moreto C.P.N 2013. Geocronologia e geoquímica isotópica aplicada à evolução metalogenética do Cinturão Sul do Cobre da Província Mineral de Carajás. Dissertação de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 215p.

Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S., Xavier R.P., Melo G.H.C., Silva M.A.D. 2013. Multiple hydrothermal and iron oxide Cu-Au systems in the Southern Copper Belt, Carajás Province. In: Simp. Bras. de Metalogenia, 3, *Anais*, p.235

Nogueira A.C.R., Truckenbrodt W., Pinheiro R.V.L. 1995. Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás: redescrição e redefinição litoestratigráfica. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, **7**:177-277.

Oliveira D.C., Santos P.J.L., Gabriel E.O., Rodrigues D.S., Faresin A.C., Silva M.L.T., Sousa S.D., Santos R.V., Silva A.C., Souza M.C., Santos R.D., Macambira M.J.B. 2010, Aspectos geológicos e geocronológicos das rochas magmáticas e metamórficas da região entre os municípios de Água Azul do Norte e Canaã dos Carajás – Província Mineral de Carajás, In: SBG, Cong Bras de Geol, **45**, CDrom

Pidgeon R.T., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 2000. Th-UPb isotopic systems and internal structures of complex zircons from the pium complex, Carajás Province, Brazil: evidence for the ages of the granulite facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology*, **166**:159-171

Réquia K., Stein H., Fontboté L., Chiaradia M. 2003. Re-Os and Pb-Pb geochronology of the Archean Salobo iron oxide copper-gold deposit, Carajá Mineral Province, northern Brazil. *Miner Deposita*, **38**:727–738

Rigon J.C., Munaro P., Santos L.A., Nascimento J.A.S., Barreira C.F., 2000. Alvo 118 copper-gold deposit: geology and mineralization, Serra dos Carajás, Pará, Brazil. In 31st International Geological Congress, Volume de Resumos.

Roscito F.G. 2009. Caracterização geoquímica e balanço de massa das zonas de alteração hidrotermal do depósito cuprífero Alvo Bacaba, Província Mineral de Carajás. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 81p.

Santos M.G.S., 2002. Estudo dos isótopos de Pb e Nd do depósito de Cu- Au (U-Etr) Alemão, Província Mineral de Carajás (PA). Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pará, 126p.

Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2000. A new understanding of the provinces of Amazon Craton based on field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, **3**: 453-488

Santos J.O.S. 2003. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In: Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J. H. (Ed.). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG. CPRM, p.: 169-226.

Sardinha A.S., Barros C.E. de M., Krymsky M., 2006. Geology, geochemistry and U-Pb geochronology of the Archean (2.74Ga) Serra do Rabo granite stocks, Carajás Metallogenetic Province, northern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **20**, 327–339.

Tallarico F.H.B., Oliveira C.G., Figueiredo B.R. 2000. The Igarapé Bahia Cu-Au mineralization, Carajás Province: *Rev. Bras. de Geoc.*, **30**, p. 230-233

Tallarico F.H.B. 2003. O cinturão cupro-aurífero de Carajás, Brasil. Dissertação de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 229p

Tallarico F.H.B., Figueiredo B.R., Groves D.I., Kositcin N., McNaughton N.J., Fletcher I.R., Rego J.L. 2005. Geology and SHRIMP U-Pb geochronology of the Igarapé Bahia deposit, Carajás copper-gold belt, Brazil: an Archean (2.57 Ga) example of iron-oxide Cu-Au-(UREE) mineralization. *Econ. Geol.*, **100**:7-28.

Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C. D. R., Brito-Neves B.B. (Ed.). Geologia do continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Beca, p.: 471-485.

Tassinari C.C.G., Tachibana J., Tilio M., Livio R., Gaia C. 2005. Geologia isotópica aplicada nas mineralizações de Cu-Au do greenstone belt da Serra dos Gradaús, Província Mineral de Carajás, Cráton Amazônico: exemplo de mineralizações policíclicas. In: Simpósio Brasileiro de Metalogenia, 1, Atas[CD-ROM]

Teixeira J.B.G., Lindenmayer Z.G., Silva M.G. 2010. Depósitos de Óxido de Fe, Cu-Au de Carajás. In: R.S.C. Brito, M.G. Silva, R.M. Kuyumjian. (Eds.). Modelos de depósitos de cobre do Brasil e sua resposta ao intemperismo, 1, ed. Brasilia, p.: 15-48.

Torresi I, Bortholoto D.F.A., Xavier R.P., Monteiro L.V.S. 2012. Hydrothermal alteration, fluid inclusions and stable isotope systematics of the Alvo 118 iron oxide-copper-gold deposit, Carajás Mineral Province (Brazil): implications for ore genesis. *Mineralium Deposita*, **47**: 299-323.

Trendall A.F., Basei M.A.S., De Laeter J.R., Nelson D.R. 1998. SHRIMP U-Pb constraints on the age of the Carajás formation, Grão Pará Group, Amazon Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, **11**: 265-277.

Vasquez M.L. & Rosa-Costa L.T. 2008. *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará*. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Superintendência Regional de Belém, 328 p.

Vieira, E.A.P., Saueressig, R., Siqueira, J.B., Silva, E.R.P., Rego, J.L., Castro, F.D.C. 1988. Caracterização geológica da jazida polimetálica do Salobo 3a – reavaliação. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Anexo aos Anais, SBG, p. 165.

Villas R.N., Santos M.D. 2001. Gold deposits of the Carajás Mineral Province: deposit types and metallogenesis. *Mineralium Deposita*, **36**:300–331.

Williams P.J., Barton M.B., Johnson D.A., Fontboté L., Haller A., Mark G., Oliver N.H., Marschik R. 2005. Iron oxide copper-gold deposits: geology, space-time distribution, and possible modes of origin. *Economic Geology* 100th Anniversary Volume, p. 371-405.

Wirth K.R., Gibbs A.K., Olszewski W.J.Jr. 1986. U-Pb ages of zircons from the Grão Pará Group and Serra dos Carajás granite, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* **16**: 195–200.

Xavier R.P., Wiedenbeck M., Trumbull R.B., Dreher A.M., Monteiro L.V.S., Rhede D., Araújo C.E.G., Torresi I. 2008. Tourmaline B-isotopes fingerprint marine evaporites as the source of high-salinity ore fluids in iron oxide-copper-gold deposits, Carajás Mineral Province (Brazil). *Geology*, **36**:743-746

Xavier R.P., Monteiro L.V.S., Moreto C.P.N., Pestilho A.L.S., Melo G.H.C., Silva M.A.D., Aires B., Ribeiro C., Silva F.H.F. 2012. The Iron Oxide Copper-Gold Systems of the Carajás Mineral Province, Brazil. In: Hedenquist J.W. Harris M. Camus F. (Eds.) *Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: a Tribute To Richard Sillitoe*. Littleton, Society of Economic Geologists, Special Publications number 16,433-455.

Zucchetti M. 2007. Rochas maficas do grupo Grão Pará e sua relação com a mineralização de ferro dos depósitos N4 E N5, Carajás, PA: Dissertação de doutorado, Instituto de Geociências Universidade Federal de Minas Gerais, 165p.

ANEXO

Tabela 1: Análise química de rocha total de elementos maiores (%)

| AMOSTRAS DE MINÉRIO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | TiO ₂ | P ₂ O ₅ | MnO | Cr ₂ O ₃ | LOI | C/TOT | S/TOT | Total Maiores | Cu (calc) |
|---|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|------|--------------------------------|-------|-------|-------|---------------|-----------|
| Depósito Alvo 118 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F3880321,8 | 29,02 | 4,82 | 4,17 | 4,42 | 1,91 | 0,02 | 0,27 | 0,21 | 0,55 | 0,05 | 0,03 | 9,60 | 0,00 | 14,53 | 69,596 | 29,99 |
| F4430182,0 | 2,23 | 0,71 | 5,50 | 0,90 | 0,21 | 0,02 | 0,28 | 0,02 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 13,40 | 0,00 | 29,03 | 52,356 | 47,09 |
| F4430184,3 | 9,01 | 2,36 | 4,69 | 2,97 | 1,30 | 0,01 | 1,00 | 0,07 | 0,09 | 0,02 | 0,01 | 10,70 | 0,09 | 23,37 | 55,685 | 43,79 |
| F4430205,7 | 11,34 | 3,76 | 4,34 | 4,12 | 1,64 | 0,01 | 0,23 | 0,12 | 0,27 | 0,05 | 0,01 | 12,20 | 0,04 | 22,11 | 60,237 | 39,46 |
| F4530279,7 | 15,46 | 2,73 | 4,91 | 2,78 | 2,22 | 0,00 | 0,02 | 0,25 | 0,48 | 0,04 | 0,01 | 11,80 | 0,33 | 21,64 | 62,669 | 36,70 |
| Deposito Bacaba | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BAC017/ore | 1,55 | 0,33 | 40,62 | 0,01 | 0,30 | 0,08 | 0,05 | 0,07 | 0,12 | 0,01 | 0,01 | 15,40 | 0,02 | 33,31 | 91,875 | 8,10 |
| BAC020/ore | 17,60 | 6,64 | 44,41 | 0,20 | 9,41 | 0,90 | 1,92 | 0,63 | 4,96 | 0,02 | 0,01 | 2,30 | 0,00 | 7,07 | 96,073 | 3,71 |
| BACD 04 | 22,71 | 7,23 | 27,41 | 0,25 | 0,44 | 1,53 | 2,97 | 0,01 | 0,16 | 0,00 | 0,00 | 8,20 | 0,03 | 20,00 | 90,94 | 8,69 |
| Deposito Sossego (Corpo Sequeirinho) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SOS001 | 19,58 | 1,06 | 28,77 | 4,82 | 17,20 | 0,09 | 0,02 | 0,20 | 5,78 | 0,02 | 0,00 | 2,70 | 0,01 | 8,97 | 89,221 | 10,32 |
| SOS002 | 8,43 | 0,28 | 46,53 | 2,19 | 2,71 | 0,01 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 10,60 | 0,02 | 20,96 | 91,882 | 7,98 |
| SOS003 | 12,42 | 0,28 | 32,08 | 3,26 | 14,03 | 0,01 | 0,00 | 0,12 | 1,02 | 0,02 | 0,00 | 4,80 | 0,03 | 14,39 | 82,46 | 17,25 |
| SOS004 | 27,13 | 1,06 | 31,13 | 2,86 | 11,29 | 0,02 | 0,02 | 0,21 | 6,24 | 0,02 | 0,00 | 5,30 | 0,01 | 12,62 | 97,913 | 1,54 |
| SOS005 | 8,51 | 0,30 | 35,77 | 2,08 | 12,41 | 0,04 | 0,04 | 0,07 | 7,40 | 0,01 | 0,00 | 9,60 | 0,03 | 18,18 | 94,44 | 5,25 |
| SOS006 | 34,40 | 5,41 | 23,52 | 4,72 | 12,70 | 2,67 | 0,12 | 0,33 | 1,74 | 0,03 | 0,01 | 3,10 | 0,02 | 7,52 | 96,288 | 3,46 |
| Deposito Sossego (Corpo Sossego) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SOS007 | 9,79 | 0,39 | 26,41 | 1,20 | 20,03 | 0,03 | 0,03 | 0,07 | 1,18 | 0,12 | 0,00 | 0,00 | 1,98 | 18,07 | 79,301 | 17,21 |
| SOS008 | 11,01 | 0,38 | 32,50 | 0,35 | 16,41 | 0,03 | 0,04 | 0,14 | 5,05 | 0,04 | 0,00 | 2,00 | 3,71 | 15,72 | 87,381 | 12,36 |
| SOS009 | 32,25 | 0,61 | 17,68 | 0,87 | 17,64 | 0,09 | 0,14 | 0,09 | 4,35 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 2,47 | 11,55 | 87,872 | 11,77 |
| SOS010 | 26,75 | 0,63 | 31,05 | 4,60 | 12,52 | 0,02 | 0,26 | 0,29 | 1,43 | 0,05 | 0,00 | 2,30 | 1,47 | 6,35 | 87,722 | 12,02 |
| SOS011 | 11,85 | 0,36 | 36,38 | 2,39 | 8,26 | 0,04 | 0,02 | 0,08 | 2,88 | 0,02 | 0,00 | 9,20 | 0,52 | 18,71 | 90,712 | 9,08 |
| SOS013 | 33,26 | 2,17 | 21,17 | 4,24 | 17,04 | 0,08 | 0,23 | 0,27 | 2,75 | 0,12 | 0,00 | 3,10 | 2,43 | 3,85 | 90,712 | 8,99 |
| Deposito Salobo | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SALOB 1 | 15,89 | 2,55 | 26,10 | 0,68 | 0,12 | 0,00 | 0,76 | 0,12 | 0,08 | 0,29 | 0,01 | 3,60 | 0,08 | 10,30 | 60,575 | 39,30 |
| SALOB 2 | 6,17 | 0,52 | 5,00 | 0,22 | 0,03 | 0,00 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 2,60 | 0,00 | 15,80 | 30,68 | 69,29 |
| SALOB 3 | 11,73 | 1,69 | 25,96 | 0,47 | 0,14 | 0,00 | 0,56 | 0,10 | 0,08 | 0,21 | 0,00 | 2,80 | 0,05 | 11,90 | 55,69 | 44,12 |
| SALOB 4 | 4,54 | 0,25 | 33,77 | 0,17 | 0,13 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,07 | 0,02 | 2,60 | 0,02 | 14,50 | 56,195 | 43,50 |
| SALOB 5 | 6,58 | 1,07 | 77,40 | 0,25 | 0,33 | 0,00 | 0,09 | 0,06 | 0,19 | 0,18 | 0,00 | -0,70 | 0,12 | 1,50 | 87,072 | 12,51 |
| SALOB 6 | 10,32 | 1,30 | 18,26 | 0,40 | 0,07 | 0,00 | 0,46 | 0,06 | 0,04 | 0,20 | 0,00 | 2,70 | 0,03 | 13,00 | 46,84 | 53,08 |

Tabela 2: Análise química de rocha total de elementos menores e traço (ppm)

| AMOSTRAS DE MINÉRIO | Ba | Rb | Sr | Cs | Ga | Tl | Ta | Nb | Hf | Zr | Y | Th | U | Ni | Co | Sc |
|---|--------|--------|--------|------|-------|------|------|-------|------|--------|---------|-------|-------|---------|--------|-------|
| Depósito Alvo 118 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F3880321,8 | 30,00 | 11,40 | 6,20 | 0,30 | 17,10 | 0,00 | 0,20 | 12,00 | 0,20 | 9,90 | 1147,00 | 7,00 | 7,60 | 123,80 | 40,10 | 14,00 |
| F4430182,0 | 9,00 | 29,40 | 1,60 | 0,20 | 4,00 | 0,00 | 0,00 | 5,20 | 0,00 | 1,30 | 537,10 | 2,90 | 1,90 | 47,60 | 40,10 | 2,00 |
| F4430184,3 | 23,00 | 106,30 | 2,40 | 0,70 | 13,30 | 0,10 | 0,10 | 4,90 | 0,00 | 1,20 | 740,00 | 4,30 | 2,60 | 132,10 | 48,70 | 5,00 |
| F4430205,7 | 14,00 | 17,60 | 5,40 | 0,20 | 18,30 | 0,00 | 0,60 | 21,50 | 0,20 | 3,30 | 835,00 | 3,90 | 3,50 | 132,70 | 36,10 | 8,00 |
| F4530279,7 | 3,00 | 0,90 | 8,60 | 0,00 | 11,90 | 0,00 | 0,20 | 5,60 | 1,10 | 26,20 | 440,90 | 3,20 | 4,50 | 83,90 | 21,30 | 8,00 |
| Deposito Bacaba | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BAC017/ore | 11,00 | 17,00 | 5,20 | 0,00 | 1,70 | 0,00 | 0,30 | 4,30 | 0,10 | 4,30 | 2,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,80 | 2,00 |
| BAC020/ore | 205,00 | 606,00 | 314,10 | 0,00 | 17,30 | 0,00 | 1,50 | 12,90 | 7,40 | 262,80 | 57,50 | 7,50 | 2,40 | 55,00 | 19,70 | 2,00 |
| BACD 04 | 714,00 | 101,20 | 33,10 | 0,00 | 4,90 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 0,00 | 8,40 | 21,80 | 28,10 | 5,60 | 28,30 | 5,90 | 2,00 |
| Deposito Sossego (Corpo Sequeirinho) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SOS001 | 4,10 | 0,00 | 54,40 | 0,00 | 23,90 | 0,00 | 0,00 | 0,80 | 0,00 | 7,50 | 97,50 | 12,20 | 2,30 | 1266,50 | 186,40 | 7,00 |
| SOS002 | 3,20 | 2,70 | 5,00 | 0,00 | 14,30 | 0,00 | 0,00 | 0,70 | 0,00 | 1,70 | 13,60 | 0,60 | 0,10 | 266,00 | 140,40 | 2,00 |
| SOS003 | 2,30 | 0,00 | 62,30 | 0,00 | 18,10 | 0,00 | 0,00 | 0,60 | 0,00 | 1,20 | 73,70 | 6,90 | 1,30 | 493,50 | 124,20 | 5,00 |
| SOS004 | 4,80 | 0,60 | 43,80 | 0,00 | 15,10 | 0,00 | 0,00 | 1,40 | 0,00 | 6,20 | 68,70 | 7,40 | 2,60 | 3511,90 | 582,90 | 6,00 |
| SOS005 | 0,00 | 2,10 | 35,20 | 0,10 | 7,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,50 | 74,00 | 3,10 | 1,40 | 308,40 | 109,30 | 1,00 |
| SOS006 | 14,00 | 2,80 | 28,30 | 0,20 | 11,40 | 0,00 | 0,00 | 2,50 | 1,20 | 32,70 | 57,00 | 10,50 | 3,00 | 539,40 | 109,30 | 10,00 |
| Deposito Sossego (Corpo Sossego) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SOS007 | 4,60 | 1,50 | 75,50 | 0,00 | 2,90 | 0,00 | 0,20 | 3,10 | 0,00 | 2,50 | 132,60 | 1,40 | 9,90 | 76,00 | 7,40 | 6,00 |
| SOS008 | 6,20 | 3,90 | 38,80 | 0,10 | 4,20 | 0,00 | 0,00 | 0,90 | 0,00 | 5,40 | 139,00 | 7,20 | 10,90 | 390,50 | 36,60 | 4,00 |
| SOS009 | 4,60 | 22,40 | 49,30 | 0,20 | 3,20 | 0,10 | 0,00 | 1,80 | 0,00 | 3,70 | 116,30 | 1,30 | 2,50 | 977,60 | 39,60 | 5,00 |
| SOS010 | 5,30 | 64,90 | 37,30 | 0,40 | 18,00 | 0,10 | 0,30 | 2,50 | 0,00 | 9,70 | 134,90 | 6,10 | 21,30 | 412,80 | 107,30 | 7,00 |
| SOS011 | 0,00 | 1,40 | 35,00 | 0,00 | 7,10 | 0,10 | 0,10 | 2,50 | 0,00 | 5,50 | 120,80 | 8,30 | 17,10 | 275,70 | 34,60 | 2,00 |
| SOS013 | 20,00 | 41,50 | 78,00 | 0,30 | 16,60 | 0,10 | 0,30 | 6,90 | 1,30 | 29,30 | 167,50 | 16,20 | 9,30 | 314,00 | 44,70 | 13,00 |
| Deposito Salobo | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SALOB 1 | 75,00 | 59,60 | 2,70 | 2,90 | 7,40 | 0,00 | 0,00 | 3,60 | 0,50 | 16,60 | 101,60 | 1,50 | 8,20 | 22,80 | 46,30 | 9,00 |
| SALOB 2 | 17,00 | 17,70 | 2,00 | 0,50 | 1,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 4,40 | 0,00 | 0,00 | 4,60 | 14,50 | 7,00 |
| SALOB 3 | 49,00 | 42,40 | 1,70 | 1,80 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 2,90 | 0,00 | 12,40 | 79,30 | 2,20 | 9,70 | 16,00 | 33,60 | 8,00 |
| SALOB 4 | 0,00 | 0,70 | 1,20 | 0,00 | 5,40 | 0,00 | 0,00 | 0,40 | 0,00 | 1,50 | 6,80 | 0,20 | 8,30 | 25,60 | 50,40 | 11,00 |
| SALOB 5 | 4,00 | 4,10 | 3,00 | 0,00 | 7,50 | 0,00 | 0,00 | 2,70 | 0,00 | 7,70 | 35,00 | 0,80 | 37,10 | 32,00 | 69,10 | 5,00 |
| SALOB 6 | 38,00 | 33,70 | 1,90 | 1,60 | 4,00 | 0,00 | 0,00 | 1,20 | 0,20 | 5,20 | 32,80 | 0,40 | 5,50 | 13,90 | 30,30 | 7,00 |

Tabela 2 (Continuação): Análise química de rocha total de elementos menores e traço (ppm)

| AMOSTRAS DE MINÉRIO | V | Pb | Zn | Bi | Cd | Sn | W | Mo | Be | Ag | Au(ppb) | Hg | As | Se | Sb | La |
|---|--------|-------|-------|------|------|--------|------|--------|--------|--------|----------|------|-------|-------|------|--------|
| Depósito Alvo 118 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F3880321,8 | 80,00 | 3,80 | 45,00 | 1,90 | 0,00 | 44,00 | 1,40 | 3,90 | 239,00 | 18,40 | 1526,00 | 0,00 | 1,20 | 20,50 | 0,00 | 31,20 |
| F4430182,0 | 18,00 | 15,50 | 18,00 | 2,70 | 0,00 | 159,00 | 2,10 | 0,00 | 68,00 | 16,10 | 4235,00 | 0,00 | 1,20 | 27,90 | 0,00 | 4,60 |
| F4430184,3 | 55,00 | 28,20 | 16,00 | 1,40 | 0,10 | 149,00 | 0,60 | 0,40 | 87,00 | 22,00 | 3343,00 | 0,00 | 1,30 | 23,40 | 0,00 | 3,70 |
| F4430205,7 | 54,00 | 21,80 | 62,00 | 3,70 | 0,10 | 95,00 | 1,20 | 0,10 | 95,00 | 11,80 | 1156,00 | 0,00 | 1,20 | 22,20 | 0,00 | 3,90 |
| F4530279,7 | 46,00 | 8,40 | 20,00 | 0,60 | 0,00 | 116,00 | 0,00 | 2,30 | 64,00 | 22,70 | 5065,00 | 0,00 | 0,70 | 23,40 | 0,00 | 6,80 |
| Deposito Bacaba | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BAC017/ore | 37,00 | 14,30 | 12,00 | 0,30 | 0,00 | 62,00 | 0,60 | 1,00 | 0,00 | 0,40 | 13,10 | 0,00 | 0,00 | 20,20 | 0,00 | 6,20 |
| BAC020/ore | 397,00 | 1,80 | 6,00 | 0,80 | 0,00 | 11,00 | 5,50 | 0,50 | 0,00 | 1,80 | 33,50 | 0,00 | 0,00 | 9,50 | 0,00 | 18,30 |
| BACD 04 | 26,00 | 5,20 | 2,00 | 1,50 | 0,00 | 10,00 | 0,60 | 17,70 | 7,00 | 1,90 | 100,20 | 0,00 | 0,00 | 23,90 | 0,00 | 728,10 |
| Deposito Sossego (Corpo Sequeirinho) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SOS001 | 475,00 | 4,70 | 5,00 | 0,10 | 0,10 | 3,00 | 2,90 | 3,50 | 1,00 | 2,10 | 655,70 | 0,01 | 4,00 | 12,60 | 0,00 | 401,80 |
| SOS002 | 306,00 | 6,20 | 73,00 | 0,10 | 0,40 | 10,00 | 4,20 | 0,90 | 0,00 | 2,10 | 271,30 | 0,03 | 0,00 | 29,20 | 0,00 | 40,30 |
| SOS003 | 313,00 | 3,50 | 91,00 | 0,20 | 0,40 | 6,00 | 1,60 | 1,20 | 1,00 | 3,50 | 1059,60 | 0,00 | 1,00 | 22,80 | 0,10 | 115,00 |
| SOS004 | 359,00 | 9,60 | 14,00 | 0,10 | 0,30 | 4,00 | 0,70 | 11,70 | 0,00 | 11,70 | 115,20 | 0,03 | 3,10 | 16,50 | 0,10 | 254,20 |
| SOS005 | 166,00 | 7,10 | 49,00 | 0,30 | 0,40 | 3,00 | 1,60 | 1,80 | 0,00 | 14,80 | 1289,30 | 0,01 | 5,30 | 20,70 | 0,10 | 151,10 |
| SOS006 | 314,00 | 3,10 | 37,00 | 0,30 | 0,10 | 3,00 | 1,20 | 3,50 | 2,00 | 7,20 | 487,40 | 0,00 | 3,30 | 13,10 | 0,10 | 200,70 |
| Deposito Sossego (Corpo Sossego) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SOS007 | 23,00 | 6,50 | 12,00 | 0,50 | 0,10 | 13,00 | 2,30 | 3,20 | 0,00 | 6,50 | 33891,00 | 0,03 | 0,00 | 21,40 | 0,00 | 35,40 |
| SOS008 | 144,00 | 9,00 | 48,00 | 0,40 | 0,20 | 15,00 | 0,40 | 1,10 | 0,00 | 3,90 | 1199,80 | 0,04 | 0,00 | 16,70 | 0,10 | 113,30 |
| SOS009 | 49,00 | 3,70 | 54,00 | 0,30 | 0,10 | 31,00 | 3,40 | 7,20 | 0,00 | 2,50 | 1783,70 | 0,05 | 0,00 | 12,60 | 0,10 | 10,20 |
| SOS010 | 315,00 | 1,90 | 26,00 | 0,20 | 0,10 | 32,00 | 7,00 | 3,10 | 1,00 | 1,60 | 508,00 | 0,01 | 0,00 | 10,30 | 0,10 | 315,00 |
| SOS011 | 75,00 | 9,40 | 33,00 | 1,20 | 0,90 | 21,00 | 1,80 | 3,40 | 0,00 | 4,00 | 96,00 | 0,01 | 0,00 | 25,90 | 0,10 | 290,20 |
| SOS013 | 186,00 | 11,40 | 40,00 | 0,20 | 0,50 | 10,00 | 2,80 | 7,30 | 2,00 | 1,00 | 164,40 | 0,00 | 0,00 | 6,10 | 0,00 | 371,10 |
| Deposito Salobo | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SALOB 1 | 56,00 | 3,50 | 20,00 | 5,40 | 0,00 | 6,00 | 2,60 | 29,70 | 3,00 | 100,00 | 56,70 | 0,00 | 6,50 | 12,80 | 0,00 | 185,80 |
| SALOB 2 | 43,00 | 1,00 | 10,00 | 7,30 | 0,00 | 2,00 | 3,90 | 0,30 | 0,00 | 100,00 | 9,50 | 0,00 | 0,00 | 24,20 | 0,00 | 5,00 |
| SALOB 3 | 43,00 | 3,70 | 16,00 | 6,50 | 0,00 | 6,00 | 0,90 | 32,40 | 3,00 | 100,00 | 507,70 | 0,00 | 3,40 | 16,60 | 0,00 | 268,80 |
| SALOB 4 | 65,00 | 7,70 | 6,00 | 6,00 | 0,10 | 9,00 | 3,00 | 76,10 | 3,00 | 86,70 | 2584,30 | 0,00 | 23,20 | 47,20 | 0,00 | 21,40 |
| SALOB 5 | 30,00 | 2,00 | 17,00 | 0,70 | 0,00 | 37,00 | 5,40 | 109,30 | 2,00 | 11,40 | 1291,60 | 0,00 | 15,80 | 8,20 | 0,00 | 768,90 |
| SALOB 6 | 18,00 | 2,30 | 15,00 | 6,50 | 0,00 | 6,00 | 1,30 | 8,70 | 0,00 | 100,00 | 74,50 | 0,00 | 9,30 | 18,70 | 0,00 | 121,60 |

Tabela 2 (Continuação): Análise química de rocha total de elementos menores e traço (ppm)

| AMOSTRAS DE MINÉRIO | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
|---|---------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Depósito Alvo 118 | | | | | | | | | | | | | |
| F3880321,8 | 58,00 | 8,43 | 35,50 | 24,89 | 9,20 | 80,82 | 20,97 | 151,70 | 37,73 | 104,00 | 17,42 | 96,95 | 14,06 |
| F4430182,0 | 6,60 | 2,04 | 14,80 | 13,50 | 3,63 | 36,04 | 9,20 | 67,18 | 16,80 | 46,90 | 7,76 | 44,19 | 6,76 |
| F4430184,3 | 10,00 | 2,94 | 21,00 | 18,93 | 5,35 | 51,62 | 12,84 | 95,17 | 23,34 | 66,34 | 11,63 | 64,69 | 9,72 |
| F4430205,7 | 12,10 | 3,46 | 24,90 | 21,30 | 6,01 | 57,90 | 14,81 | 105,70 | 26,59 | 75,63 | 12,99 | 71,64 | 10,84 |
| F4530279,7 | 18,20 | 4,02 | 22,50 | 15,65 | 4,12 | 35,55 | 8,47 | 57,17 | 14,06 | 38,51 | 6,20 | 35,30 | 5,31 |
| Deposito Bacaba | | | | | | | | | | | | | |
| BAC017/ore | 7,20 | 0,65 | 2,90 | 0,71 | 0,20 | 0,73 | 0,10 | 0,52 | 0,07 | 0,20 | 0,03 | 0,14 | 0,02 |
| BAC020/ore | 42,90 | 6,35 | 30,10 | 10,81 | 3,13 | 15,26 | 2,46 | 12,63 | 2,17 | 4,69 | 0,62 | 3,52 | 0,46 |
| BACD 04 | 1230,60 | 117,00 | 354,60 | 38,44 | 8,31 | 18,88 | 1,98 | 6,78 | 0,75 | 1,22 | 0,13 | 0,58 | 0,06 |
| Deposito Sossego (Corpo Sequeirinho) | | | | | | | | | | | | | |
| SOS001 | 773,80 | 85,81 | 331,10 | 47,60 | 3,92 | 33,03 | 3,99 | 18,10 | 3,06 | 7,17 | 0,90 | 4,95 | 0,66 |
| SOS002 | 83,10 | 9,18 | 31,70 | 5,00 | 0,55 | 3,88 | 0,59 | 2,71 | 0,47 | 1,08 | 0,13 | 0,98 | 0,13 |
| SOS003 | 252,00 | 31,61 | 134,30 | 27,40 | 2,26 | 24,04 | 3,00 | 13,54 | 2,33 | 5,69 | 0,70 | 3,52 | 0,49 |
| SOS004 | 0,20 | 61,86 | 218,70 | 31,30 | 4,01 | 23,76 | 3,11 | 13,95 | 2,28 | 4,96 | 0,62 | 3,27 | 0,47 |
| SOS005 | 574,00 | 45,08 | 171,90 | 28,60 | 1,92 | 23,44 | 3,25 | 14,51 | 2,52 | 5,41 | 0,67 | 3,47 | 0,46 |
| SOS006 | 371,70 | 41,66 | 165,00 | 25,80 | 3,15 | 20,60 | 2,36 | 10,75 | 1,91 | 4,62 | 0,53 | 3,38 | 0,43 |
| Deposito Sossego (Corpo Sossego) | | | | | | | | | | | | | |
| SOS007 | 375,20 | 10,15 | 41,20 | 10,90 | 2,30 | 16,01 | 3,49 | 21,74 | 4,64 | 12,15 | 1,87 | 11,95 | 1,83 |
| SOS008 | 82,10 | 35,50 | 134,30 | 24,70 | 2,70 | 27,19 | 4,58 | 24,91 | 5,16 | 12,20 | 1,72 | 9,66 | 1,60 |
| SOS009 | 302,40 | 3,94 | 21,10 | 8,60 | 1,57 | 15,93 | 3,45 | 20,06 | 4,36 | 10,42 | 1,48 | 9,83 | 1,39 |
| SOS010 | 26,30 | 68,49 | 256,30 | 40,20 | 4,39 | 32,68 | 4,66 | 23,82 | 4,38 | 11,27 | 1,49 | 9,07 | 1,35 |
| SOS011 | 617,50 | 68,85 | 235,10 | 36,60 | 4,15 | 29,53 | 4,58 | 22,97 | 4,12 | 9,78 | 1,40 | 7,51 | 1,14 |
| SOS013 | 964,30 | 68,39 | 259,90 | 43,90 | 4,69 | 37,98 | 5,50 | 29,32 | 5,47 | 14,49 | 2,01 | 11,91 | 1,73 |
| Deposito Salobo | | | | | | | | | | | | | |
| SALOB 1 | 249,60 | 23,04 | 68,80 | 12,70 | 7,04 | 12,08 | 2,40 | 17,33 | 4,49 | 13,01 | 1,72 | 8,17 | 0,79 |
| SALOB 2 | 2,20 | 0,20 | 0,40 | 0,00 | 0,28 | 0,37 | 0,10 | 0,85 | 0,23 | 0,51 | 0,08 | 0,33 | 0,03 |
| SALOB 3 | 365,40 | 33,24 | 103,20 | 17,31 | 8,28 | 14,36 | 2,40 | 16,23 | 3,68 | 9,44 | 1,21 | 5,85 | 0,50 |
| SALOB 4 | 24,90 | 2,22 | 7,00 | 1,77 | 0,55 | 2,30 | 0,32 | 1,36 | 0,33 | 0,79 | 0,09 | 0,52 | 0,08 |
| SALOB 5 | 1082,70 | 100,16 | 319,90 | 48,64 | 19,69 | 34,49 | 4,23 | 17,49 | 2,14 | 3,56 | 0,33 | 1,36 | 0,15 |
| SALOB 6 | 167,00 | 14,95 | 48,20 | 7,20 | 3,85 | 6,02 | 0,97 | 6,35 | 1,40 | 3,75 | 0,53 | 2,52 | 0,27 |