

PRODUTOS METAMÓRFICOS DE SISTEMAS *HIGH-SULFIDATION* OCEÂNICOS
MESOPROTEROZOICOS, GRUPO SERRA DO ITABERABA, SP

Annabel PÉREZ-AGUILAR

Izabella Vicentin MOREIRA

Jacqueline Silva SILLES

Caetano JULIANI

Flávio Machado de Souza CARVALHO

RESUMO

O Grupo Serra do Itaberaba, no segmento central da Faixa de Dobramentos Ribeira (sudeste do Brasil), corresponde a uma sucessão meta-vulcanossedimentar do Mesoproterozoico. As rochas deste grupo foram afetadas por dois eventos metamórficos regionais na fácies anfibolito e um terceiro evento retrometamórfico na fácies dos xistos verdes. Esta sucessão depositou-se, inicialmente, em um ambiente oceânico contendo basaltos com assinaturas do tipo N-MORB, que, posteriormente, evoluiu para um ambiente de retro-arco. Neste grupo são conhecidas quatro ocorrências de rochas ricas em alumina (Guavirituba, Pedra Branca, Itaberaba e Pico Pelado), que afloram na forma de pequenas lentes intercaladas entre metabasitos, rochas metavulcanoclásticas, metatufos e metapelitos. A gênese destas rochas está associada à atividade magmática-hidrotermal oceânica em ambiente de retro arco, vinculada à colocação de pequenos corpos de rochas riolíticas e processos mineralizantes em ouro do tipo *high-sulfidation*. Análises por difração de raios X (DRX) de 15 amostras ricas em alumina, de granulação muito fina, permitiram identificar coríndon, topázio, margarita, rutilo e mica indiferenciada (possivelmente sericita). As associações minerais identificadas possibilitaram reconhecer a atuação de dois eventos de alteração argílica avançada e um terceiro evento de carbonatação ou retrometamórfico nas rochas do Grupo Serra do Itaberaba: o primeiro evento gerou o protolito 1, rico em óxidos de alumínio \pm alunita, que, metamorfisadas, produziram litotipos azuis escuros formados por coríndon \pm sericita; o segundo caracteriza um evento de silicificação que produziu o protolito 2, composto por topázio + zunyita + alunita \pm rutilo ou por andalusita + alunita, correspondendo os seus produtos metamórficos a litotipos de cor marrom e esbranquiçada (ocorrência de Pico Pelado); no evento de carbonatação ou retrometamórfico cristalizou-se margarita a partir da andalusita, cianita ou sillimanita. A soma destes três eventos produziram, durante o metamorfismo ou retrometamorfismo, litotipos de cor marrom, esbranquiçada e heterogênea formados por margarita ou por margarita + sericita \pm coríndon (ocorrências Guavirituba e Pedra Branca). A identificação desses litotipos em campo representa valiosa ferramenta em trabalhos de exploração mineral, uma vez que constituem rochas-guias para a localização de depósitos de ouro em sucessões meta-vulcanossedimentares metamorfisadas em grau médio.

Palavras-chave: Grupo Serra do Itaberaba, topázio, coríndon, margarita, alteração argílica avançada, silicificação.

ABSTRACT

METAMORPHIC PRODUCTS OF MESOPROTEROZOIC OCEANIC HIGH-SULFIDATION SYSTEMS, SERRA DO ITABERABA GROUP, SP. In the central portion of the Ribeira fold belt, southeastern Brazil, the Mesoproterozoic volcanosedimentary Serra do Itaberaba Group was affected by two medium-grade regional metamorphic events and by a third low-grade retrometamorphic event. This succession was deposited in an ocean basin having N-MORB type basalts that evolved to a back-arc environment. Within the group four occurrences of alumina-rich rocks are now known

(Guavirituba, Pedra Branca, Itaberaba and Pico Pelado), which crop out as small lenses intercalated between metabasites and metamorphosed volcanoclastic rocks, tuffs and pelites. Their genesis is related to oceanic magmatic-hydrothermal activity in the back-arc environment that was associated with the emplacement of small rhyolitic bodies and high-sulfidation gold mineralization. X-ray diffraction analysis (XRD) of 15 very fine-grained alumina-rich samples permitted corundum, topaz, margarita, rutile and an undifferentiated mica (possibly sericite) to be identified. Mineral associations allow recognition of two advanced argillic alteration events and a third carbonation or retrometamorphic event that affected rocks of the Serra do Itaberaba Group: the first event generated protolith 1 rich in aluminum oxides \pm alunite that after metamorphism produced dark blue lithotypes composed of corundum \pm sericite; the second event was a silicification event that produced protolith 2 composed of topaz + zunyite + alunite \pm rutile or of andalusite + alunite, with metamorphic products corresponding to brown and whitish lithotypes (Pico Pelado occurrence); during carbonatization or retrometamorphism, margarite crystalized after andalusite, cyanite or sillimanite. The sum of these three events produced, after the metamorphism or retrometamorphism, brown, whitish, and heterogeneous lithotypes composed of margarite or of margarite + sericite \pm corundum (Guavirituba and Pedra Branca occurrences). The identification of similar lithotypes during field work represents a potentially very valuable tool in mineral exploration works as they comprise rock guides for finding gold deposits in medium-grade metamorphosed volcanosedimentary sequences.

Keywords: Serra do Itaberaba Group, topaz, corundum, margarite, advanced argillic alteration, silicification.

1 INTRODUÇÃO

No segmento central da Faixa de dobramentos Ribeira (ALMEIDA *et al.* 1973) aflora o Grupo Serra do Itaberaba (JULIANI & BELJAVSKIS 1995; JULIANI *et al.* 2000, no prelo a), que corresponde a uma sucessão meta-vulcanossedimentar do Mesoproterozoico (Figura 1). Neste grupo foram reconhecidas pequenas lentes de rochas compostas essencialmente por corindon \pm margarita \pm sericita \pm rutilo, correspondendo ao produto metamórfico de protolitos ricos em alumina, sendo atualmente conhecidas quatro ocorrências destas rochas: Pico Pelado, Guavirituba, Itaberaba e Pedra Branca (LEFÈVRE 1956, COUTINHO *et al.* 1982, BARBOUR 1987, JULIANI 1993, PÉREZ-AGUILAR *et al.* 2011) (Figura 2). Estas rochas afloram na forma de pequenas lentes com espessura variando entre 2 e 60 m, intercaladas entre metabasitos, rochas metavulcanoclásticas, metatufos e metapelitos. Possuem similaridade mineral com rochas primeiramente descritas no Greenstone Belt de Barberton por HALL (1920), às quais ele denominou de marunditos, palavra criada para reunir os termos *marguerite* e *corundum*.

Rochas muito ricas em alumina (até cerca de 90% de Al_2O_3) tem despertado grande interesse

da comunidade científica devido à raridade e aos processos geológicos envolvidos na sua gênese (SCHREYER *et al.* 1981, WILLNER *et al.* 1990, JULIANI *et al.* 1994, PÉREZ-AGUILAR *et al.* 2011).

No contexto do Grupo Serra do Itaberaba estes litotipos têm sido interpretados como sendo um produto metamórfico de zonas de alteração argílica avançada que se formaram devido à interação de fluidos magmáticos-hidrotermais vinculados à colocação de pequenos corpos de riolitos no fundo oceânico, e, geneticamente associados a processos mineralizantes em ouro do tipo *high-sulfidation* (JULIANI *et al.* 1994, PÉREZ-AGUILAR *et al.* 2011).

A denominação de “*high-sulfidation*” foi proposta por HEDENQUIST (1996) com base no estado de oxidação-redução (*sulfidation*) do enxofre em fluidos de sistemas geotérmicos atuais. Nestes tipos de sistemas existem fluidos oxidados e ácidos, com enxofre no estado de oxidação +6 ou +4, na forma de SO_4 ou SO_2 , caracterizando fontes termais ácidas próximas a estruturas vulcânicas.

As soluções sulfatadas ácidas podem ser geradas perto da superfície oceânica pelo aporte ao fluido hidrotermal de vapores magmáticos que podem conter SO_4 , H_2S , HCl e HF , os quais são responsáveis

pela geração de zonas de alteração argílica avançada (FULIGNATI & SBRANA 1998, DE RONDE *et al.* 2005, WILLIAM-JONES & HEINRICH 2005, RESING *et al.* 2007). Essas zonas foram caracterizadas por DE RONDE *et al.* (2005) em uma estrutura do tipo caldeira localizada na parte sul do Arco Kermadec, perto da Nova Zelândia. Segundo esses autores, as zonas foram geradas pelo aporte de gases magmáticos ricos em SO_2 ao fluido hidrotermal, os quais interagiram com as rochas encaixantes. RESING *et al.* (2007) caracterizaram descargas no mar de soluções ácidas sulfatadas enriquecidas em S, Fe, CO_2 , Al, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, Mn e ^3He vinculadas à atividade magmática em uma estrutura vulcânica no Arco de Mariana.

Nas ocorrências de rochas ricas em alumina do Grupo Serra do Itaberaba diferenças de coloração foram atribuídas à existência de variedades de marunditos que, muitas vezes, podem coexistir em uma mesma amostra (PÉREZ-AGUILAR *et al.* 2011). O presente trabalho é direcionado ao reco-

nhecimento por difração de raios X (DRX) das fases minerais metamórficas presentes nessas rochas de granulação muito fina para constatar possíveis semelhanças ou diferenças composicionais vinculadas às variações de cor, visando melhor entender os processos envolvidos em sua gênese.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Grupo Serra do Itaberaba corresponde a uma sucessão meta-vulcanossedimentar do Mesoproterozoico parcialmente recoberta pelo Grupo São Roque, e representado, essencialmente, por uma sucessão meta-siliciclástica do Neoproterozoico (HACKSPACHER *et al.* 2000, 2001). Os dois grupos possuem intrusões de diversos granitoides sin- a pós-colisionais, com idades entre o Neoproterozoico e o Cambriano, e são afetados por várias zonas de cisalhamento com direções preferenciais NE-SW (ALMEIDA *et al.* 1981) (Figuras 1 e 2).

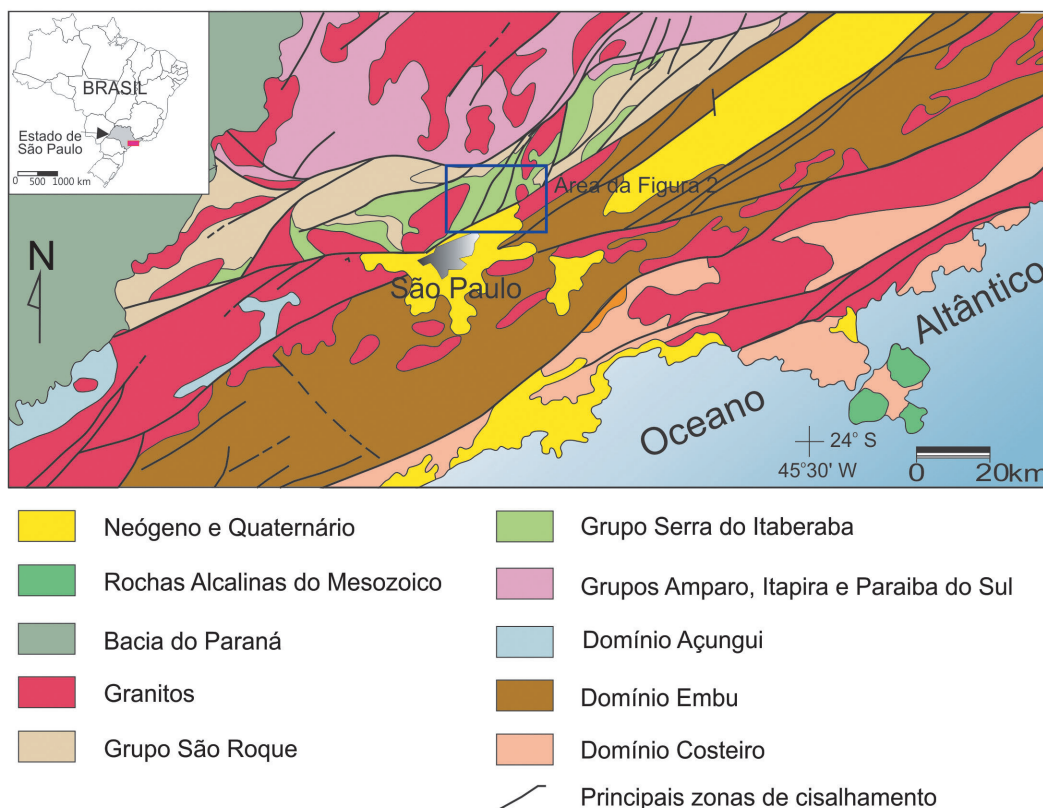


FIGURA 1 – Contexto geológico regional do segmento central da Faixa Ribeira (ALMEIDA *et al.* 1973) (Modificado de SACHS & MORAES 1999, com base em PERROTA *et al.* 2005). O retângulo azul corresponde à área da figura 2.

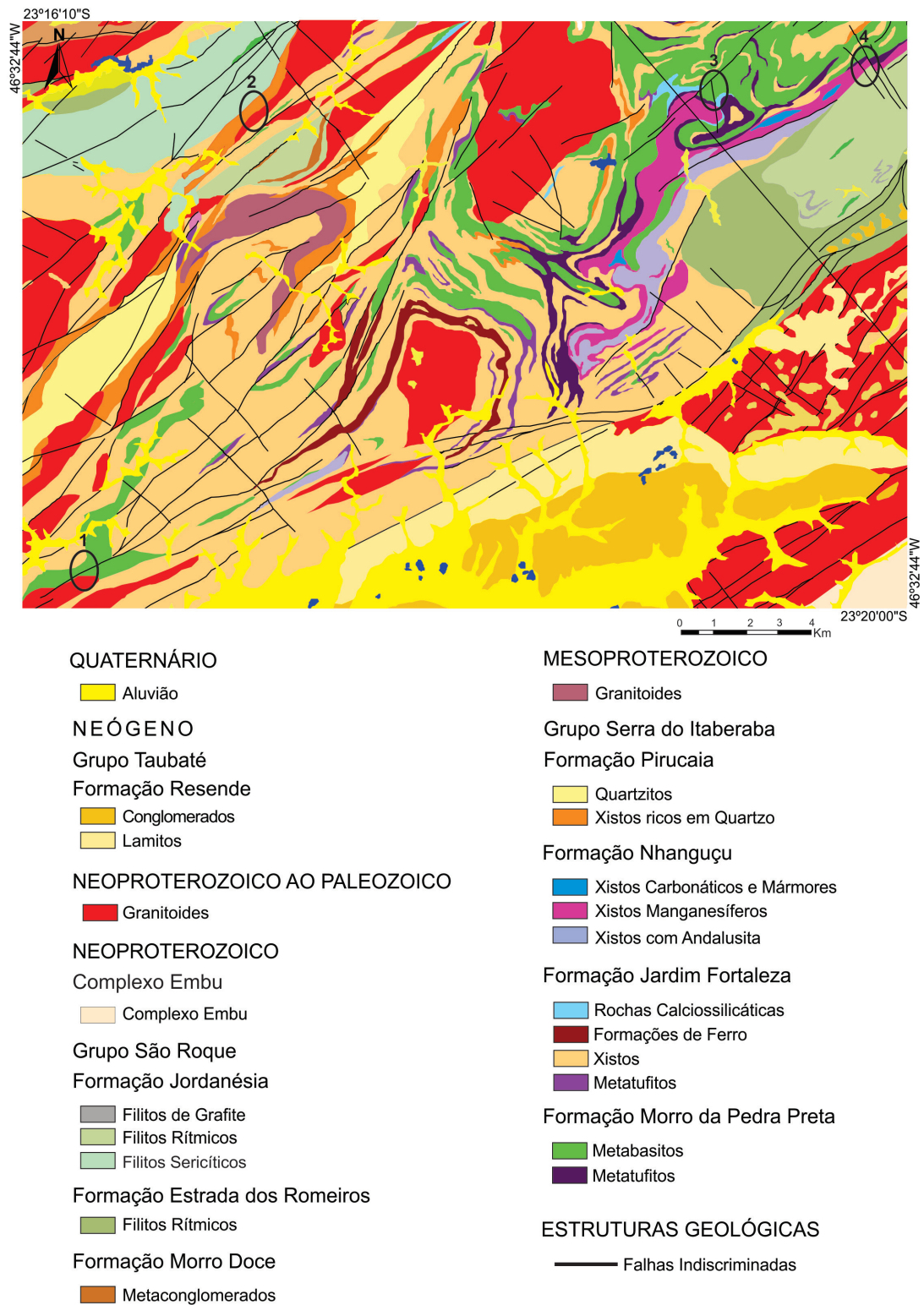


FIGURA 2 – Contexto geológico local, mostrando as unidades associadas aos Grupos Serra do Itaberaba e São Roque (JULIANI *et al.* no prelo a, b). Os círculos pretos correspondem às ocorrências de rochas ricas em alumina: 1 - Pico Pelado, 2 - Guavirituba, 3 - Itaberaba e 4 - Pedra Branca.

As rochas do Grupo Serra do Itaberaba foram afetadas por dois eventos metamórficos regionais de grau médio durante o Mesoproterozoico (490-650 °C; 4-7 kbar) e o Neoproterozoico (500-580 °C; 4-4,7 kbar), seguidos de um evento retrometamórfico de baixo grau (JULIANI *et al.* 1997).

Este grupo é constituído, da base para o topo, pelas formações Morro da Pedra Preta, Jardim Fortaleza, Nhanguçu e Pirucaia (JULIANI *et al.* no prelo a) (Figura 2). Os litotipos da Formação Morro da Pedra Preta foram depositados em um ambiente oceânico que, posteriormente, evoluiu para um ambiente de retro-arco com presença de paleo-sistemas hidrotermais. Eles são representados principalmente por metabasitos do tipo N-MORB (com presença de lavas almofadadas), rochas meta-vulcanoclásticas e metatufos de composições básicas a ácidas e metatufitos. Os litotipos da Formação Jardim Fortaleza foram depositados em um ambiente de retro-arco com atividade exalativa e sedimentação siliciclástica e estão representados principalmente por xistos, xistos grafitosos, xistos ricos em sulfetos e xistos manganésíferos. Juntam-se ainda metabasitos, metatufos com composição básicas a ácidas, metatufitos, rochas cálcio-silicáticas, formações ferríferas do tipo *Algoma* (BIFs) e turmalinitos. Os litotipos da Formação Nhanguçu foram depositados em um ambiente de retro-arco com atividade exalativa menos intensa e maior aporte de sedimentos siliciclásticos. Estão representados por xistos ferro-manganésíferos e xistos cálcio-silicáticos com intercalações de pequenas lentes de metabasitos, metatufos e mármore, os quais são capeados por andalusita-clorita xistos. A Formação Pirucaia é formada por quartzitos e xistos ricos em quartzo e correspondem a sedimentos da borda da bacia deposicional.

Paleo-sistemas hidrotermais de longa duração desenvolveram-se vinculados à colocação de pequenos corpos de andesitos a riolitos durante a formação da bacia de retro-arco (JULIANI *et al.* 1994; PÉREZ-AGUILAR 1996, 2001; PÉREZ-AGUILAR *et al.* 2000, 2005, 2007, 2011). Estes sistemas geraram extensas zonas de alteração clorítica (ZC1), que estão cortadas por zonas restritas de alteração clorítica (ZC2) e argílica avançada.

Os produtos metamórficos da ZC1 são rochas compostas essencialmente por quantidades variáveis de antofilita, gedrita e/ou cummingtonita \pm Mg cordierita \pm granada \pm quartzo (rochas com cummingtonita/antofilita), enquanto os da ZC2 são constituídas principalmente por Mg-hornblenda + tschermakita \pm Mg-clorita ou por Mg-clorita \pm cummingtonita \pm granada \pm plagioclásio (PÉREZ-

AGUILAR 1996, 2001; PÉREZ-AGUILAR *et al.* 2000, 2005, 2007). A composição química destas rochas é semelhante àquelas vinculadas a depósitos de metais de base do tipo *Kuroko* (e.g. FRANKLIN *et al.* 1981, FRANKLIN 1993, OHMOTO 1996, SHIKAZONO 2003), embora depósitos desta natureza não tenham sido encontrados na região.

Os produtos metamórficos das zonas de alteração argílica avançada são rochas constituídas por coríndon \pm margarita \pm sericita \pm rutilo (JULIANI *et al.* 1994, PÉREZ-AGUILAR *et al.* 2011).

Geneticamente associados aos paleo-sistemas hidrotermais e atividades exalativas também ocorrem turmalinitos, granada anfibolitos, metapelitos ferro-manganésíferos, metapelitos ricos em sulfeto, assim como os produtos metamórficos de zonas carbonatizadas, potassicadas e silicificadas (JULIANI 1993; PÉREZ-AGUILAR 1996, 2001; GARDA *et al.* 2003, 2009; BELJAVSKIS *et al.* 2005; PÉREZ-AGUILAR *et al.* 2005, 2007, 2011).

3 METODOLOGIA

As rochas ricas em alumina que afloram no Grupo Serra do Itaberaba analisadas no presente trabalho foram coletadas em trabalhos de campo de diversos projetos anteriores.

Foram escolhidas amostras ou porções de amostras de granulação muito fina das ocorrências Pico Pelado, Guavirituba e Pedra Branca que apresentam coloração diferenciada: azuis escuras, marrons claras e esbranquiçadas, assim como heterogêneas, formadas pela mistura aleatória dessas cores (Figura 3). Essas rochas podem estar relacionadas a eventos hidrotermais, metamórficos ou retrometamórfico. Duas destas amostras caracterizam a sobreposição de eventos hidrotermais tardios, correspondendo a um veio (AMA 46W) e a um canalículo de percolação de fluidos (PBMA 75). Na tabela 1 são listadas as amostras selecionadas associadas às ocorrências a que pertencem e às suas cores.

A granulometria muito fina dessas amostras dificulta ou impossibilita o reconhecimento das fases minerais pelo microscópio petrográfico ou microsonda eletrônica; já o pequeno volume e a interdigitação de litotipos com cores diferenciadas prejudica a realização de análises químicas (GMA 12 R1, GMA 14B, PBMA 75; Figura 3). O reconhecimento das fases minerais por DRX constitui, portanto, ferramenta imprescindível para caracterizar possíveis variações composicionais associadas à variação de cores nas amostras. Estes resultados foram integrados com observações de campo e de análise petrográfica anteriores (PÉREZ-AGUI-

LAR *et al.* 2011) para refinar a discussão sobre a gênese dessas rochas.

Devido à dureza da maioria das amostras, foram utilizadas brocas diamantadas para a raspagem do material. Evitou-se raspar partes intemperizadas das mesmas e, quando necessário, também se utilizou instrumentos odontológicos, próprios para escarificação e corte, e pinças. Na sequência, os materiais raspados das diferentes amostras foram observados na lupa, visando separar impurezas, óxidos e hidróxidos presentes.

As alíquotas dos materiais separados foram encaminhadas para análise por DRX no Laboratório de Difração de Raios X do Núcleo de Apoio à Pesquisa GeoAnalítica do Instituto de Geociências

da Universidade de São Paulo. Neste laboratório foi utilizado o Difratorômetro Bruker modelo D8 Advance Da Vinci com detector LYNXEYE e ótica TWIN-TWIN, que opera com radiação K-alfa de cobre. Os dados foram coletados no intervalo angular entre 2 e 65° 2 θ , com velocidade angular de 0,2 segundos, tamanho do passo de 0,02° 2 θ , condições de voltagem equivalentes à 40 kW e corrente do tubo de 40 μ A. Foram utilizadas duas fendas Soller de 2,5 mm, uma fenda de espalhamento de 0,2 mm e um detector com abertura angular de 2,19°. Para a identificação das fases minerais, os difratogramas obtidos foram comparados com o banco de dados PDF-2 (versão 2009) fornecidos pelo *The International Centre for Diffraction Data* (ICDD).

TABELA 1 – Relação dos minerais identificados nas amostras analisadas por DRX, relacionando-os a sua cor e ocorrência.

<i>Amostra</i>	<i>Cor</i>	<i>Minerais presentes</i>	<i>Minerais que se destacam na linha de fundo</i>	<i>Ocorrência</i>
AMA 36A1	Azul escura	Coríndon e mica indiferenciada	-----	Pico Pelado
PBMA 48	Azul escura	Coríndon e mica indiferenciada	-----	Pedra Branca
AMA 46W	Azul escura	Coríndon	Epídoto e fosfato	Pico Pelado
PBMA 75	Heterogênea (analisada porção esbranquiçada que corresponde a um canalículo)	Coríndon, margarita e mica indiferenciada	-----	Pedra Branca
AMA 10C	Heterogênea	Coríndon, margarita e mica indiferenciada	-----	Pedra Branca
AMA 10L	Heterogênea	Coríndon, margarita e mica indiferenciada	-----	Pedra Branca
PBMA 6L	Heterogênea	Coríndon, margarita e mica indiferenciada	-----	Pedra Branca
PBMA 6M	Heterogênea	Coríndon, margarita e mica indiferenciada	-----	Pedra Branca
GMA 14B	Heterogênea (analisada porção marrom clara da amostra)	Coríndon, margarita e mica indiferenciada	-----	Guavirituba
GMA 12R1	Heterogênea (analisada porção marrom clara da amostra)	Margarita	Mica indiferenciada e mineral que pode corresponder a clorita, caolinita, esmectita ou vermiculita	Guavirituba
CB 1A	Marrom clara	Topázio, mica indiferenciada e rutilo	-----	Pico Pelado
AMA 45B	Marrom clara	Topázio e mica indiferenciada	-----	Pico Pelado
AMA 46D	Marrom clara	Topázio, mica indiferenciada e rutilo	Feldspato	Pico Pelado
AMA 54	Marrom clara	Topázio e mica indiferenciada	-----	Pico Pelado
AMA 93B	Esbranquiçada	Topázio e mica indiferenciada	-----	Pico Pelado

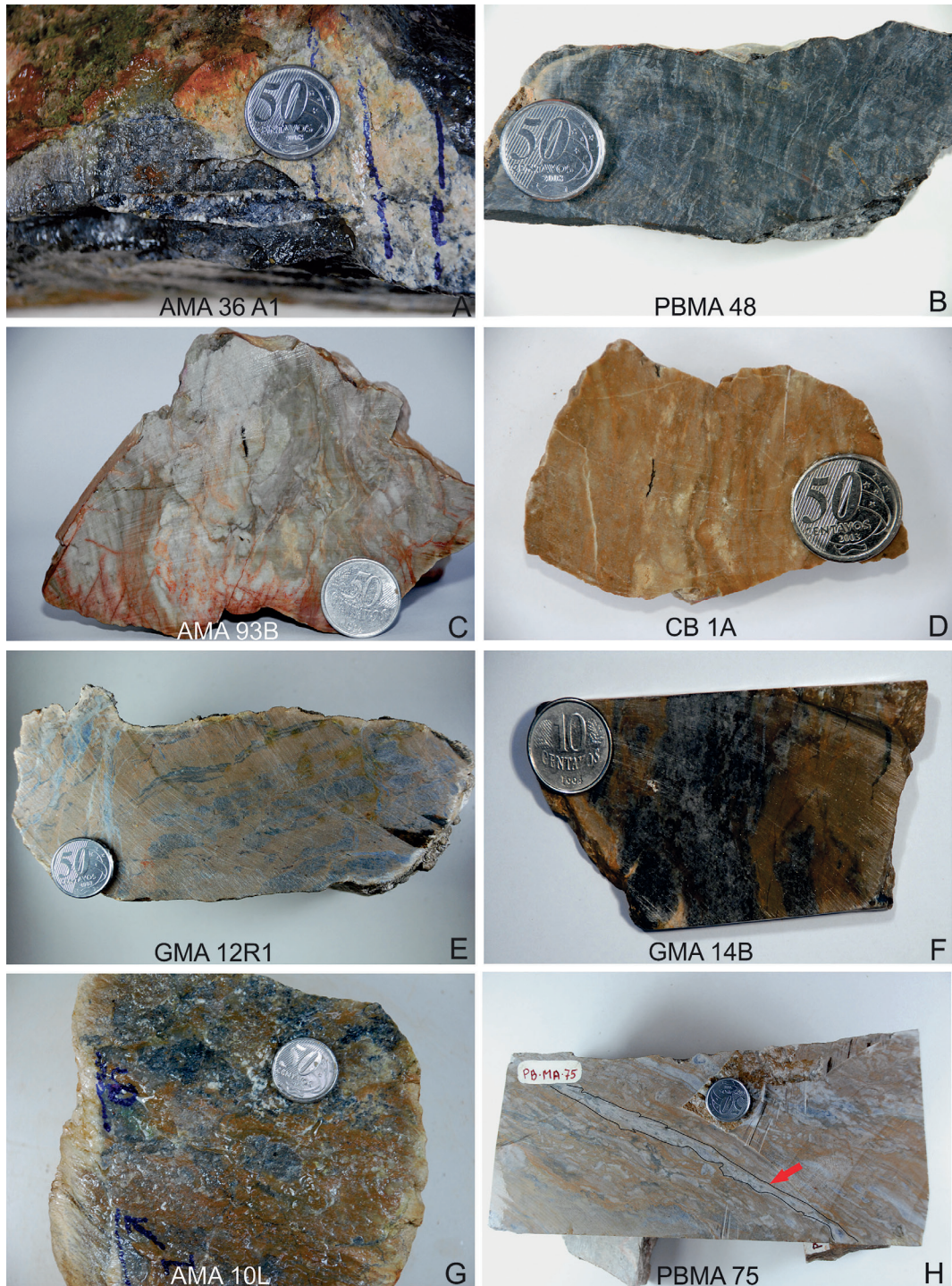


FIGURA 3 – Amostras de rochas ricas em alumina do Grupo Serra do Itaberaba analisadas por DRX. (A) e (B): amostras representativas dos litotipos de cor azul escura (coríndon e sericita). (C) e (D): amostras representativas, respectivamente, dos litotipos de cor esbranquiçada (topázio e sericita) e marrom clara (topázio, sericita e rutilo). (E) e (F): amostras representativas dos litotipos de cor heterogênea; porção marrom composta por margarita (E) e por coríndon, margarita e sericita (F). (G) amostra representativa dos litotipos de cor heterogênea (composição da amostra total: coríndon, margarita e sericita). (H) amostra heterogênea com canaliculo de cor esbranquiçada (seta), composto por coríndon, margarita e sericita.

4 RESULTADOS

As análises por DRX não permitiram quantificar os minerais detectados, apenas identificar as fases minerais presentes nas diversas amostras.

Dentre os minerais do grupo das micas foi possível identificar a margarita, que exibe caracteristicamente dois picos entre os valores de 8 e 9 do ângulo de difração 2θ nos difratogramas (Figuras 4, 6).

Nas 15 amostras analisadas por DRX constatou-se a existência de rochas formadas por:

- coríndon ± mica indeterminada (sericita?): litotipos de cor azul escura (AMA 36A1, PBMA 48, AMA 46W);
- topázio + mica indeterminada (sericita?) ± rutilo: litotipos de cor marrom clara (CB 1A, AMA 45B, AMA 46D, AMA 54) e esbranquiçada (AMA 93B);
- margarita: litotipos de cor marrom clara (GMA 12R1);
- coríndon + margarita + mica indeterminada (sericita?): litotipos de cor marrom clara (GMA 14B), esbranquiçada (PBMA 12R1) e heterogênea (AMA 10C, AMA 10L, PBMA 6L, PBMA 6M).

Os difratogramas das figuras 4, 5 e 6 são representativos dos litotipos de cores azul escura (AMA 36A1), marrom clara (CB 1A, PBMA 12R1), esbranquiçada com coríndon (PBMA 12R1) e topázio (AMA 93B) e os heterogêneos (AMA 10L).

Nos difratogramas obtidos destacam-se na linha de fundo pequenos picos que sugerem a presença de epidoto e fosfato (AMA 46W), feldspato (AMA 46D) e um mineral que pode corresponder a clorita, caolinita, esmectita ou vermiculita, não permitindo uma caracterização precisa pelo método (PBMA 12R1).

A tabela 1 apresenta uma síntese dos minerais identificados nas diferentes amostras por DRX.

Análise petrográfica de litotipos semelhantes do Grupo Serra do Itaberaba de maior granulação mostrou que são formados predominantemente por coríndon ± margarita ± sericita (PÉREZ-AGUILAR *et al.* 2011). Estes estudos permitem inferir que a mica indiferenciada identificada por DRX provavelmente corresponde à sericita, embora não se deva descartar a pirofilita, por representar um filossilicato rico em alumínio tipicamente presente em zonas de alteração argílica avançada.

5 DISCUSSÃO

A *associação mineral coríndon ± sericita* (evento 1) está presente em litotipos de cor azul

escura (Figura 3A, 3B, 4A). O seu respectivo protolito hidrotermal pode ter sido formado por quantidades variadas de coríndon e/ou diásporo e alunita (protolito 1). Durante os eventos metamórficos subsequentes, coríndon cristalizaria a partir dos óxidos de alumínio presentes e, sericita, a partir da quebra da alunita, associada a uma lixiviação seletiva do enxofre. Nas amostras das ocorrências de Pico Pelado, Guavirituba e Pedra Branca é possível observar quantidades variáveis de porções de cor azul escura, desde milimétricas a centimétricas (por exemplo, amostras AMA 10L, GMA 12R1, GMA 14B e PBMA 75; Figura 3), por vezes com presença de cristais milimétricos de coríndon, com textura que indica uma progressiva dissolução dos seus respectivos protolitos pré-metamórficos e telescopagem de pelo menos outro evento de alteração hidrotermal. Dessa forma, conclui-se que os protolitos pré-metamórficos que deram origem aos produtos metamórficos de cor azul escura, compostos por coríndon e sericita, formaram-se previamente aos demais protolitos que formaram os demais litotipos analisados (heterogêneos, marrons claros e esbranquiçados). A assembleia mineral ± coríndon ± sericita caracteriza um sistema mais pobre em sílica, se comparado com sistemas associados à gênese de protolitos do tipo quartzo-alunita em zonas de alteração argílica avançada de sistemas porfíricos continentais (e.g. SILLITOE 2010).

A *associação mineral ± topázio ± sericita ± rutilo* (eventos 1 + 2) foi observada em litotipos de cor marrom clara e esbranquiçada (Figuras 3C, 3D, 5). Esta associação (protolito 2) reflete o produto da dissolução do protolito 1, com incorporação do alumínio e potássio nele presentes. A predominância de topázio indica que o evento teria sido muito rico em sílica e flúor. A cristalização de zunyita ou topázio a partir da combinação da sílica com o alumínio já presente caracterizaria um evento de silicificação gerado também por fluidos ácidos e oxidados. Zonas de alteração argílica avançadas ricas em topázio vinculadas a mineralizações de Cu foram caracterizadas por WINANT (2010) no Arizona. Já a cristalização de maior ou menor quantidade de sericita estaria vinculada à formação de alunita nos produtos de alteração do primeiro ou segundo evento. Em zonas de silicificação ou de sílica residual porosa, o rutilo (amostras CB 1A, AMA 46D) constitui uma fase mineral característica (HEDENQUIST *et al.* 1996), que corroboraria a sobreposição de um evento de silicificação. A coloração marrom dos litotipos é dada por esse mineral.

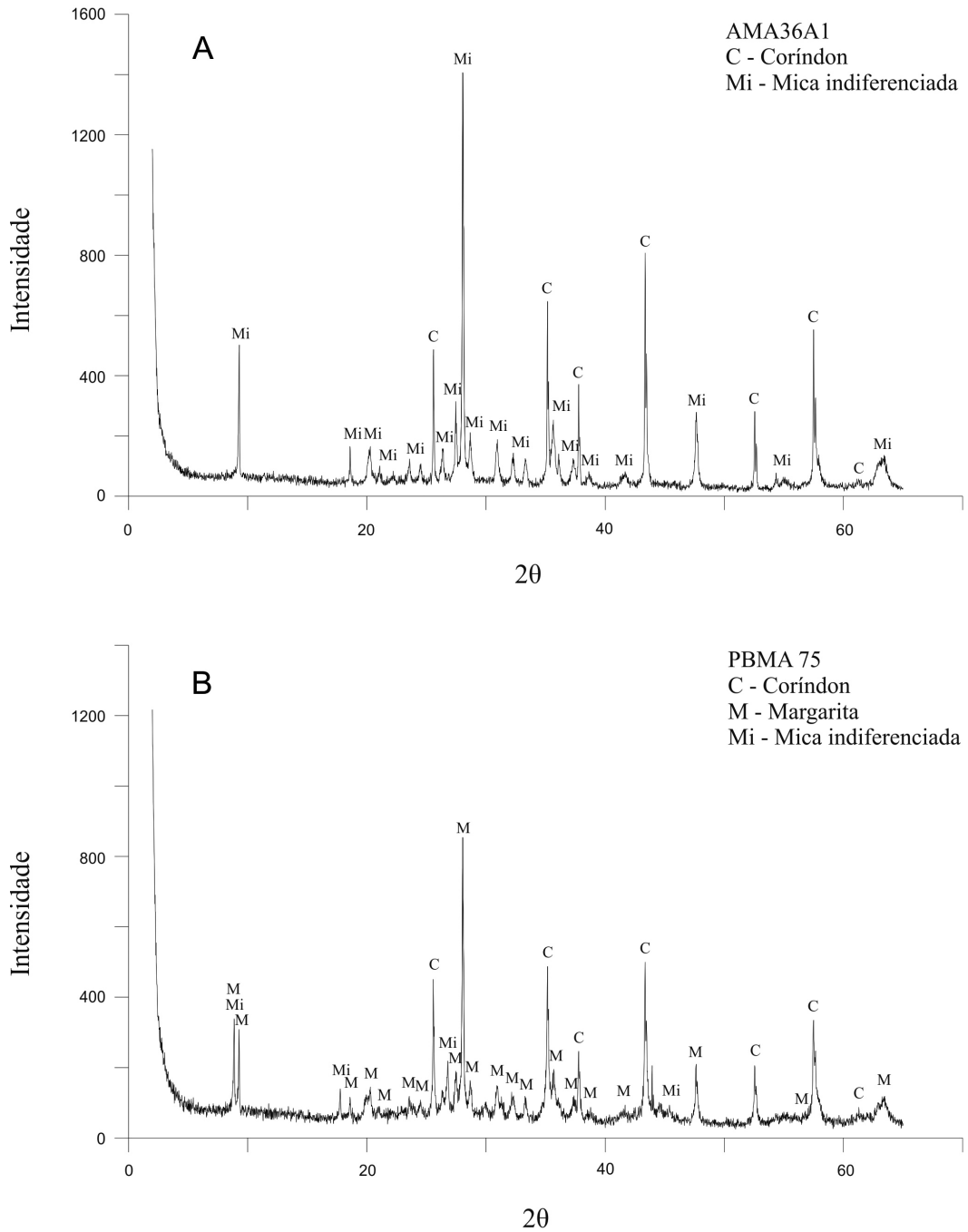


FIGURA 4 – Difratoigramas de intensidade vs. ângulo de difração 2θ das amostras AMA 36A1 (A) e PBMA 75 (B), constituídas por coríndon e mica indiferenciada (sericita?) (litotipo de cor azul escura - A) e por coríndon, margarita e mica indiferenciada (sericita ?) (litotipo esbranquiçado de canalículo - B). Em (B): observa-se dois picos característicos da margarita entre o intervalo 8 a 10 do ângulo de difração 2θ .

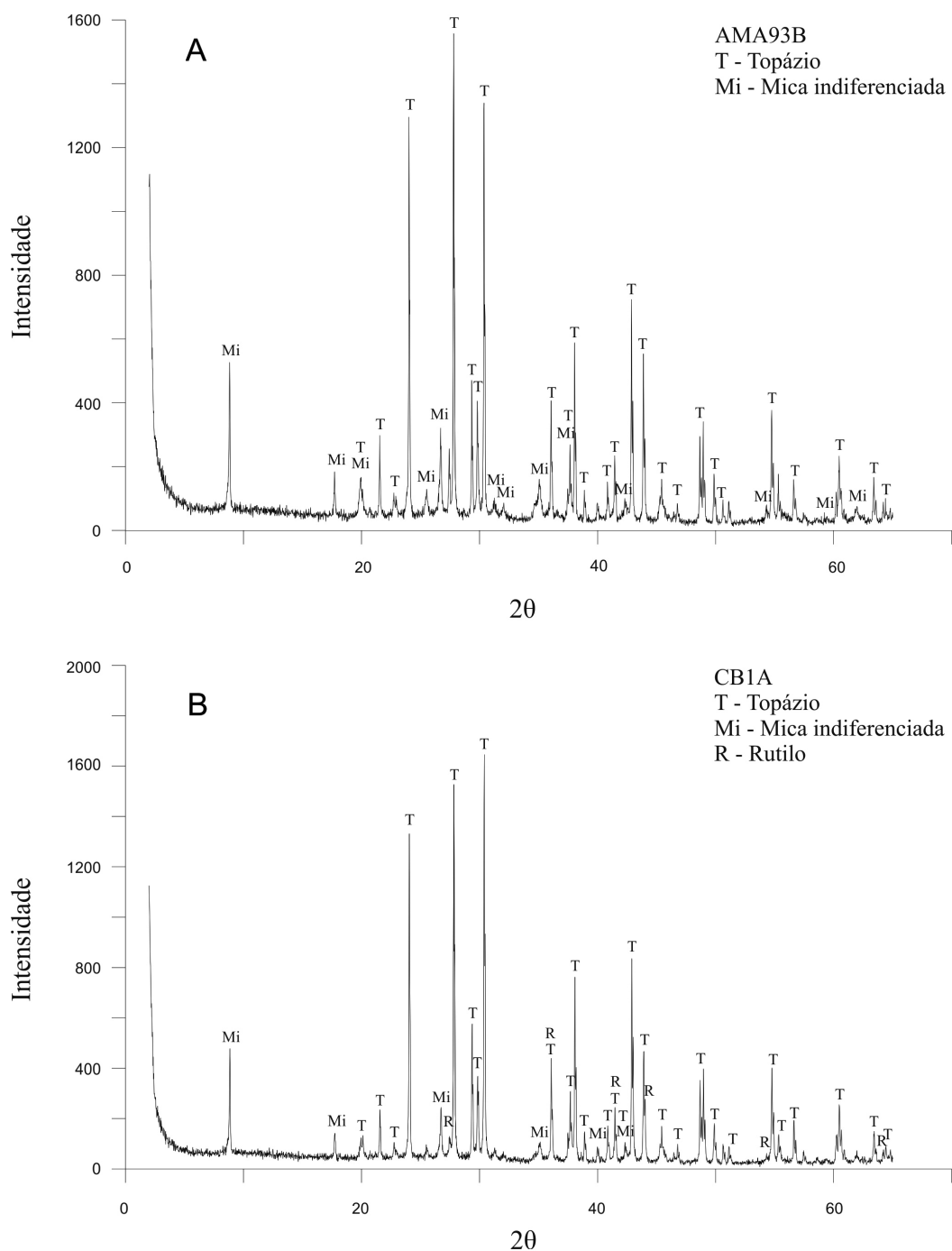


FIGURA 5 – Difratogramas de intensidade vs. ângulo de difração 2θ das amostras AMA 93B (A), constituída por topázio e mica indiferenciada (sericita?) (litotipo de cor esbranquiçada), e CB1A (B), composta por topázio, mica indiferenciada (sericita?) e rutilo (litotipo de cor marrom clara).

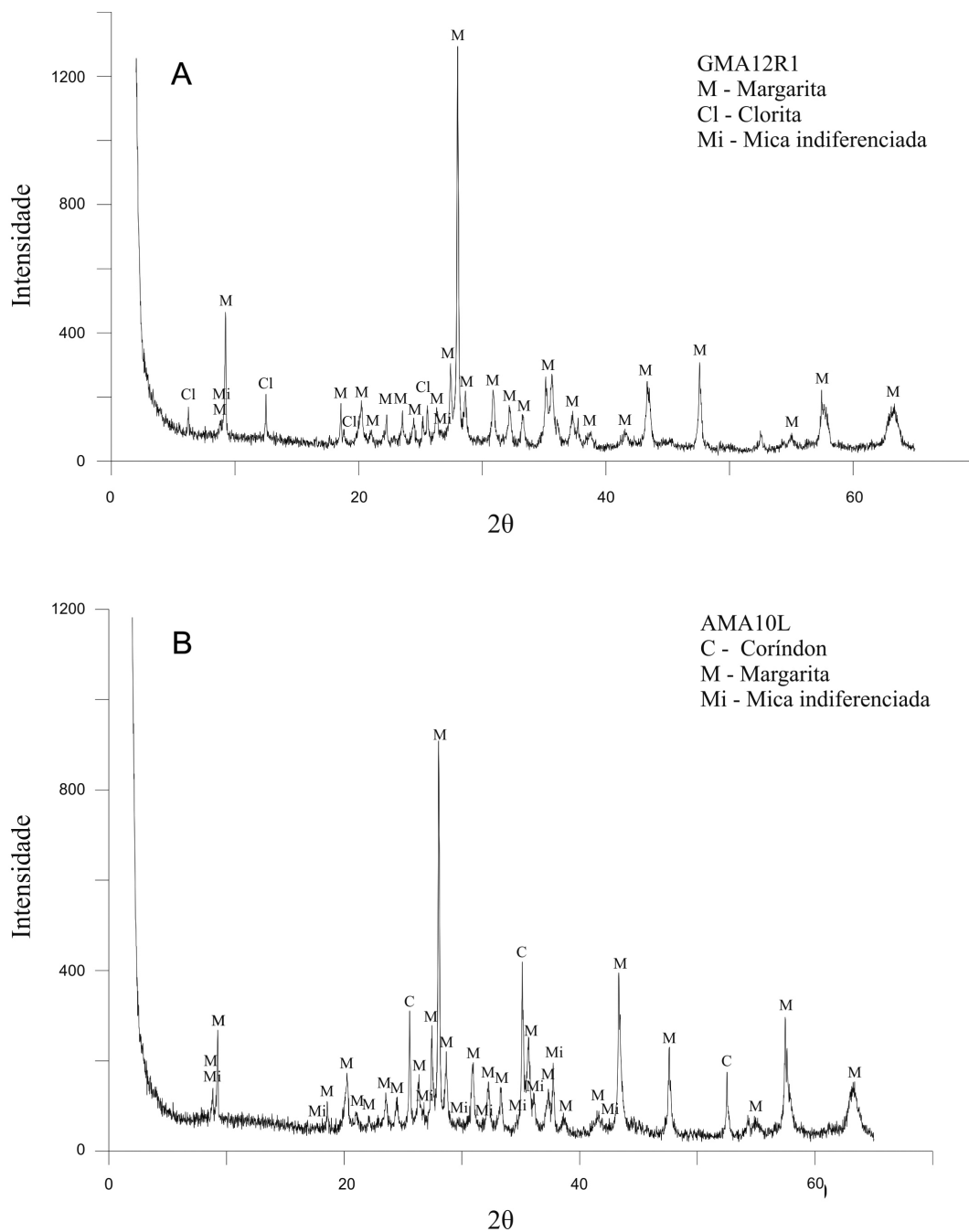


FIGURA 6 – Difrátogramas de intensidade vs. ângulo de difração 2θ da parte marrom clara da amostra GMA 12R1 (A), composta por margarita, e da amostra heterogênea AMA 10L (B), constituída por margarita, coríndon e mica indiferenciada (sericita?). Em (A) pequenos picos na linha de fundo sugerem presença de mica indiferenciada e de mineral que pode corresponder a clorita, caolinita, esmectita ou vermiculita (Cl).

Margarita (eventos 1 + 2 + 3) foi caracterizada como mineral constituinte da parte marrom clara da amostra GMA 12R1 (Figuras 3E, 4A). A cristalização de margarita reflete um sistema com disponibilidade de alumínio, sílica e cálcio, sendo que o alumínio pode ter sido herdado da dissolução do protolito 1.

A entrada de sílica pode ser explicada devido à sobreposição de um evento de silicificação, de modo análogo ao discutido para a assembleia mineral formada por topázio + sericita ± rutilo. O aporte de sílica em um segundo evento de alteração hidrotermal permitiria a cristalização de protolitos 2 ricos em andalusita, devido à ausência de flúor. Ressalta-se que a andalusita e o topázio possuem a mesma relação Al:Si de 2:1. Segundo VELDE (1971) a cristalização de margarita está restrita a sistemas químicos pobres em sílica, o que pode ser constatado pela ausência de quartzo livre nos diversos litotipos analisados, caracterizando um evento de silicificação incipiente.

A entrada de cálcio no sistema pode ser atribuída tanto à sobreposição de um evento de carbonatação, ou retrometamórfico, associado à remobilização de cálcio da pilha dos basaltos encaixantes. No caso da sobreposição de um evento de carbonatação, margarita cristalizaria a partir da andalusita gerando um protolito 3; ambos os minerais possuem também a mesma relação Al:Si de 2:1.

Alternativamente, atribuindo-se a mobilização de Ca ao evento retrometamórfico que afetou as rochas do Grupo Serra do Itaberaba e sem estabelecer correlações paragenéticas, margarita poderia ter cristalizado a partir de cianita ou sillimanita, que se cristalizaram durante o primeiro e o segundo evento metamórfico, respectivamente (JULIANI 1993), assim como o epidoto (amostra AMA 46W).

A associação mineral ± coríndon ± sericita ± margarita (eventos 1 + 2 + 3) foi caracterizada nas amostras de cor heterogênea, em uma de cor marrom clara (GMA 14B) e outra esbranquiçada (PBMA 75) (Figuras 3F, 3G, 3H, 4B, 6A, 6B). Esta assembleia também é o produto da sobreposição de um evento de silicificação e de carbonatação ou retrometamórfico após a gênese do protolito 1. Este protolito teria contribuído com óxidos de alumínio + alunita e na sobreposição do processo de silicificação teria cristalizado andalusita ± alunita ± óxidos de alumínio residuais do protolito 1. Um terceiro evento de carbonatação ou retrometamórfico cristalizaria margarita.

A paragéne coríndon + margarita é estável em uma ampla faixa de temperatura e depende da razão $a_{\text{Ca}^{2+}}/a_{\text{H}^{+}}$ (ROSING *et al.* 1987), tornando-se instável ao redor de 580 °C e $P=P_{\text{H}_2\text{O}} = 5$ kbar, onde

se limita com a paragéne coríndon + plagioclásio. Considerando a existência de um evento de carbonatação, essa paragéne pode ser associada ao primeiro evento metamórfico que afetou as rochas do Grupo Serra do Itaberaba e que também foi responsável pela cristalização de cianita em abundância (JULIANI 1993). A presença de cianita permite deduzir que as rochas com esta paragéne foram metamorfisadas em temperaturas máximas ao redor de 580 °C, compatível com a presença de estauroлита próximo à ocorrência de Pedra Branca (início da fácies anfibolito). Não se exclui a possibilidade de cristalização de pequenas quantidades de margarita como produto metamórfico de argilas aluminosas enriquecidas em cálcio (e.g. RESING *et al.* 2007) incorporadas durante o evento de silicificação.

De modo alternativo, coríndon + margarita podem ter se cristalizado em equilíbrio durante o evento retrometamórfico, de modo análogo ao verificado por FEENSTRA (1985) em marunditos de Naxos.

Rochas heterogêneas com maior abundância de porções de cor azul escura registram a presença de restos do protolito 1 (amostra AMA 10L), enquanto as com maiores porções marrons registram preferencialmente o evento de silicificação e de carbonatação ou retrometamórfico (amostra GMA 14B). A presença de canaliculo esbranquiçado na amostra PBMA 75 (Figura 3H) denota a sobreposição de vários pequenos pulsos de alteração hidrotermal, uma vez que corta rochas geradas a partir da dissolução do protolito 1 e, o veio de cor azul escura (AMA 46W), a recorrência dos processos formadores de protolitos 1.

Pequenas quantidades de esmectita, vermiculita, caolinita ou clorita podem estar presentes nestas amostras (amostra GMA 12R). Caolinita pode resultar do intemperismo do coríndon e das micas, enquanto clorita ou esmectita podem ser produtos herdados de zonas de alteração clorítica às quais se sobrepueram zonas de alteração argílica avançada (PÉREZ-AGUILAR *et al.* 2011).

A impossibilidade de identificação do tipo de feldspato e fosfato possivelmente presentes (amostras AMA 46D e AMA 46W) não permite realizar discussões quanto a sua gênese, uma vez que estes dois minerais são comuns em diversos tipos de rochas. Cabe destacar que em zonas de alteração argílica avançada a alunita comumente pode estar intercrescida com alumino-fosfatos-sulfatos (SILLITOE 2010).

A síntese das fases de cristalização dos minerais associados aos eventos de alteração do tipo *high-sulfidation*, metamorfismo e retrometamorfismo ou carbonatação que afetaram as rochas do Grupo Serra do Itaberaba pode ser observada na tabela 2.

TABELA 2 – Relação da cristalização dos diferentes minerais associados aos eventos de alteração argílica avançada, metamorfismo e retrometamorfismo ou carbonatação, que afetaram as rochas do Grupo Serra do Itaberaba.

<i>Minerais</i>	<i>Alteração argílica avançada com Óxidos de Al + Alunita</i>	<i>Alteração argílica avançada com Sílica</i>	<i>Metamorfismo</i>	<i>Carbonatação ou retrometamorfismo</i>
Alunita 1	_____			
Alunita 2		_____		
Diásporo	_____			
Coríndon 1	_____			
Coríndon 2 *		_____		
Coríndon 3			_____	
Argilas aluminosas com Ca		_____		
Topázio 1		_____		
Topázio 2			_____	
Zunyata		_____		
Rutilo 1		_____		
Rutilo 2			_____	
Andalusita		_____		
Cianita ou sillimanita			_____	
Sericita			_____	
Margarita 1			_____	
Margarita 2			_____	_____

*Coríndon 1 residual que pode ter recrystalizado durante o processo de silicificação

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ferramenta de DRX mostrou-se útil na caracterização das associações minerais de rochas ricas em alumina de granulação muito fina do Grupo Serra do Itaberaba.

A associação mineral coríndon ± sericita caracteriza a atuação de um primeiro evento de alteração argílica avançada do tipo *high-sulfidation*, que gerou protolitos 1 formados por óxidos de alumínio ± alunita que, durante o metamorfismo, produziram os litotipos de cor azul escura. A associação mineral topázio + sericita ± rutilo (ocorrência de Pico Pelado) também caracteriza um evento de alteração argílica avançada do tipo *high-sulfidation*, diferenciando-se por estar vinculado a um processo de silicificação incipiente. Durante este evento foram gerados protolitos 2, compostos por topázio + zunyata + alunita ± rutilo, responsáveis pela presença de litotipos metamórficos de coloração marrom clara e esbranquiçada.

A presença de rochas formadas por margarita ou por ± coríndon ± sericita ± margarita caracteriza a sobreposição de um evento de silicificação e outro de carbonatação ou retrometamórfico após a gênese de protolitos 1 (ocorrências de Guavirituba e Pedra Branca). Nestas rochas o processo de silicificação foi responsável pela cristalização de andalusita e o

evento de carbonatação ou retrometamórfico pela formação de margarita, a partir da andalusita, cianita ou sillimanita, produzindo, ao metamorfismo e/ou retrometamorfismo, litotipos de cor marrom clara, heterogêneos e esbranquiçados, apresentando os heterogêneos restos metamórficos do protolito 1. Atribui-se a cor marrom clara à presença de pequenas quantidades de rutilo como produto metamórfico da cristalização de óxidos de titânio, associado ao processo de silicificação.

Nas ocorrências de Pico Pelado, Guavirituba e Pedra Branca os processos de formação de protolitos ricos em óxidos de alumínio e alunita e o evento de silicificação incipiente são coevos e podem ser correlacionados. Já o evento de carbonatação ou retrometamórfico está restrito às ocorrências de Guavirituba e Pedra Branca. Nestas duas últimas ocorrências a sobreposição de um evento de silicificação e outro evento de carbonatação ou retrometamórfico foram responsáveis pela presença de marunditos.

A cristalização de andalusita, topázio ou margarita, que possuem a mesma relação Al:Si de 2:1, evidenciam sistemas relativamente ricos em alumínio e pobres em sílica, se comparados com sistemas continentais equivalentes onde a cristalização de abundante caolinita, dickita ou pirofilita reflete uma maior disponibilidade relativa em sílica.

Durante trabalhos de mapeamento geológico atenção especial deve ser dada à presença de rochas constituídas pelas associações coríndon, margarita e sericita ou topázio, sericita e rutilo, uma vez que representam uma valiosa ferramenta em trabalhos de exploração mineral, constituindo rochas-guias para a localização de depósitos de ouro em sucessões meta-vulcanossedimentares metamorfisadas em grau médio.

7 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) processo 2007/00405-0; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC-IG); ao Núcleo de Apoio à Pesquisa GeoAnalítica da Universidade de São Paulo; aos relatores cujas sugestões em muito melhoraram o trabalho.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M.; AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. 1973. The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of Amazon River. *In*: A.E.M. Nairn & F.G. Stehli (ed.) The ocean basin and margins. New York, Plenum, 1, p. 411-446.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; MELO, M.S.; BISTRICHI, C.A. 1981. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000 – Nota Explicativa, v.1, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo.
- BARBOUR JR., E. 1987. Prospecção de ouro na área Morumbi-Mairiporã - SP. IPT/PRÓ-MINÉRIO, São Paulo, 50 p. (Relatório 25.437).
- BELJAVSKIS, P.; GARDA, G.M.; MANSUETO, M.; SILVA, D. 2005. Os turmalinitos vulcanogênicos da Formação Morro da Pedra Preta, Grupo Serra do Itaberaba (SP): petrografia, composição química da turmalina e implicações metalogenéticas. *Geologia USP, Série Científica*, 5(1): 1-18.
- COUTINHO, J.M.V.; RODRIGUES, E.P.; SUEMITSU, A.; JULIANI, C.; BELJAVSKIS, P.; PEROSA, P.T.Y. 1982. Geologia e Petrologia da sequência vulcanossedimentar do Grupo São Roque na Serra de Itaberaba -SP. *In*: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Salvador, *Anais*, 2: 624-640.
- DE RONDE, C.E.J.; HANNINGTON, M.D.; STOFFERS, P.; WRIGHT, I.C.; DITCHBURN, R.G.; REYES, A.G.; BAKER, E.T.; MASSOTH, G.J.; LUPTON, J.E.; WALKER, S.L.; GREENE, R.R.; SOONG, C.W.R.; ISHIBASHI, J.; LEBON, G.T.; BRAY, C.J.; RESING, J.A. 2005. Evolution of a submarine magmatic-hydrothermal system: Brothers volcano, Southern Kermadec arc, New Zealand. *Economic Geology*, 100: 1097-1133.
- FEENSTRA, A. 1985. Metamorphism of bauxites on Naxos, Greece. *Geologica Ultraiectina*, 39: 206.
- FRANKLIN, J.M. 1993. Volcanic-associated massive sulphide deposits. *In*: R.V. Kirkham, W.D. Sinclair, R.I. Thorpe, J.M. Duke (ed.). Mineral deposit modeling. Geological Association of Canada, Special Paper, 40: 315-334.
- FRANKLIN, J.M.; LYDON, J.W.; SANGSTER, D.F. 1981. Volcanic-associated massive sulfide deposits. *Economic Geology*, 75th Anniversary Volume: 485-627.
- FULIGNATI, P.; SBRANA, A. 1998. Presence of native gold and tellurium in the active high-sulfidation hydrothermal system of the La Fossa Vulcano (Vulcano, Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 87(1-4): 187-198.
- GARDA, G.M.; BELJAVSKIS, P.; JULIANI, C.; SILVA, D. 2003. Geochemistry of tourmalines associated with iron formation and quartz veins of the Morro da Pedra Preta Formation, Serra do Itaberaba Group (São Paulo, Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 75(2): 209-234.
- GARDA, G.M.; TRUMBULL, R.B.; BELJAVSKIS, P.; WIEDENBECK, M. 2009. Boron isotope composition of tourmalinite and vein tourmalines associated with gold mineralization, Serra do Itaberaba Group, central Ribeira Belt, SE Brazil. *Chemical Geology*, 264(1-4): 207-220.

- HACKSPACHER, P.C.; DANTAS, E.L.; SPOLADORE, A.; FETTER, A.H.; OLIVEIRA, M.A.F. 2000. Evidence for neoproterozoic Backarc Basin development in the central Ribeira Belt, southeastern Brazil: New geochronological and geochemical constraints from the São Roque-Açungui groups. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1): 110-114.
- HACKSPACHER, P.C.; JULIANI, C.; FETTER, A.; DANTAS, E.L. 2001. Evolution of the Central Ribeira Belt, Brazil: implications for the assembly of west Gondwana. *Gondwana Research*, 4(4): 626-627
- HALL, A.L. 1920. Corundum in the northern and eastern Transvaal. Geological Survey of South America, Memoir, 223 p.
- HENDEQUIST, J.W.; IZAWA, E.; ARRIBAS, A.; WHITE, N.C. 1996. Epithermal gold deposits: styles, characteristics, and exploration. The Society of Resources Geology, Resources Geology Special Publication, nº 1, 15 p.
- JULIANI, C. 1993. Geologia, petrogênese e aspectos metalogênicos dos grupos Serra do Itaberaba e São Roque na região das serras do Itaberaba e da Pedra Branca, NE da cidade de São Paulo, SP. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 2 v.
- JULIANI, C.; BELJAVSKIS, P. 1995. Revisão da litoestratigrafia da faixa São Roque/Serra do Itaberaba (SP). *Revista do Instituto Geológico*, 16: 33-58.
- JULIANI, C.; SCHORSCHER, H.D.; PÉREZ-AGUILAR, A. 1994. Corundum-margarite schists ("marundites") in the Precambrian Serra do Itaberaba Group, São Paulo, Brazil: geological relationships and petrogenesis. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 66: 498.
- JULIANI, C.; PÉREZ-AGUILAR, A.; MARTIN, M.A.B. 1997. Geotermobarometria e evolução metamórfica P-T-d do Grupo Serra do Itaberaba (SP). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 69: 441-442.
- JULIANI, C.; HACKSPACHER, P.C.; DANTAS, E.L.; FETTER, A.H. 2000. The mesoproterozoic volcano-sedimentary Serra do Itaberaba Group of the Central Ribeira Belt, São Paulo, Brazil: implications for the age of overlying São Roque Group. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1): 82-86.
- JULIANI, C.; FERNANDES, C.M.D.; PÉREZ-AGUILAR, A.; MONTEIRO, L.V.S.; SALAZAR, A.; LONDOÑO, A.B.; FREITAS, F.C.; MOLINA, A.C.; RENDON, P.; PIACENTINI, T.; ROSENSAFT, M. Geologia da Folha Leste de Atibaia (SF-23-Y-D-I) – Escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil – Levantamentos Geológicos Básicos. IGc-USP/CPRM/MME-SGMTM, no prelo a.
- JULIANI, C.; MONTEIRO, L.V.S.; FERNANDES, C.M.D.; PÉREZ-AGUILAR, A.; LONDOÑO, A.B.; FREITAS, F.C.; PIACENTINI, T.; ROSENSAFT, M. Geologia da Folha Atibaia (SF-23-Y-C-III) – Escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil – Levantamentos Geológicos Básicos. IGc-USP/CPRM/MME-SGMTM, no prelo b.
- LEFÈVRE, V. 1956. Relatório das atividades do Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo, durante o exercício de 1955, apresentado ao Excelentíssimo Senhor Secretário da Agricultura pelo Engenheiro Valdemar Lefèvre, diretor do Instituto. IGG, São Paulo, 113 p.
- OHMOTO, H. 1996. Formation of volcanogenic massive sulfide deposits: the Kuroko perspective. *Ore Geology Reviews*, 10: 135-177.
- PÉREZ-AGUILAR, A. 1996. Geologia, petrografia e gênese dos granada-cordierita-cummingtonita/antofilita anfíbolitos e rochas associadas do Grupo Serra do Itaberaba, SP. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 168 p.
- PÉREZ-AGUILAR, A. 2001. Petrologia e litoquímica de rochas de paleossistemas hidrotermais oceânicos mesoproterozóicos da sequência metavulcanossedimentar do Grupo Serra do Itaberaba, SP. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 223 p.
- PÉREZ-AGUILAR, A.; JULIANI, C.; MARTIN, M.A.B. 2000. Mesoproterozoic paleo-hydrothermal system in the Morro da Pedra

- Preta Formation, Serra do Itaberaba Group, São Paulo State, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30: 413-416.
- PÉREZ-AGUILAR, A.; JULIANI, C.; MONTEIRO, L.V.S.; FALLICK, A.E.; BETTENCOURT, J.S. 2005. Stable isotopic constrains on Kuroko-type paleo-hydrothermal systems in the Mesoproterozoic Serra do Itaberaba Group, São Paulo State, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 18: 305-321.
- PÉREZ-AGUILAR, A.; JULIANI, C.; MONTEIRO, L.V.S. 2007. Petrografia de zonas de alteração hidrotermal mesoproterozóicas do tipo Kuroko no Grupo Serra do Itaberaba (SP) e seu uso na exploração mineral. *Revista Brasileira de Geociências*, 27-28(1/2): 31-52.
- PÉREZ-AGUILAR, A.; JULIANI, C.; MONTEIRO, L.V.S.; BETTENCOURT, J.S.; FALLICK, A.E.; BARROS, E.J.; ANDRADE, M.R.; OLIVEIRA, A.M.S. 2011. Mineralização high-sulfidation submarina mesoproterozóica no Grupo Serra do Itaberaba, SP: implicações metalogenéticas em cinturões metamórficos. In: J.C. Franz, J.C. Marques, H. Jost (ed.) *Contribuições à metalogenia do Brasil*. Porto Alegre, UFRGS, p.149-174.
- PERROTTA, MM; SALVADOR, E.O.; LOPES, R.C.; O'AGOSTINO, L.L.; PERUFFO, N.; GOMES, S.O.; SACHS, L.L.B.; MEIRA, V.T.; LACERDA FILHO, J.V. 2005. Geologia e Recursos Minerais do Estado de São Paulo, escala 1 :750.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, CPRM, São Paulo.
- RESING, J.A.; LEBON, G; BAKER, E.T.; LUPTON, J.E.; EMBLEY, R.W; MASSOTH, G.J.; CHADWICK Jr., W.W.; DE RONDE, C.E.J. 2007. Venting of acid-sulfate fluids in a high-sulfidation setting at NW Rota-1 submarine volcano on the Mariana Arc. *Economic Geology*, 102(6): 1047-1061.
- ROSING, M.T.; BIRD, D.K.; DYMEK, R.F. 1987. Hydration of corundum-bearing xenoliths in the Qôrquut Granite Complex, Godthaabsfjord, West Greenland. *American Mineralogist*, 72: 29-38.
- SACHS, L.L.B.; MORAIS, S.M. 1999. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Integração Geológica da Folha São Paulo. Escala 1:250.000, SF-23-Y-C, Estado de São Paulo. CPRM, São Paulo.
- SCHEREYER, W.; WERDING, G.; ABRAHAM, K. 1981. Corundum-fuchsite rocks in Greenstone Belts of Southern Africa: petrology, geochemistry, and possible origin. *Journal of Petrology*, 22: 191-231.
- SHIKAZONO, N. 2003. Geochemical and tectonic evolution of back-arc hydrothermal systems – implication for the origin of Kuroko and epithermal vein-type mineralizations and the global geochemical cycle. New York, Elsevier, 463 p.
- SILLITOE, R.H. 2010. Porphyry copper systems. *Economic Geology*, 105: 3-41.
- VELDE B. 1971. The stability and natural occurrence of margarite. *Mineralogical Magazine*, 38: 317-323.
- WILLIAMS-JONES, A.E.; HEINRICH, C.A. 2005. Vapor transport of metals and the formation of magmatic-hydrothermal ore deposits. *Economic Geology*, 100: 1287-1312.
- WILLNER, A.; SCHREYER, W.; MOORE, J.M. 1990. Peraluminous metamorphic rocks from the Namaqualand Metamorphic Complex (South Africa): Geochemical evidence for an exhalation-related, sedimentary origin in a Mid-Proterozoic rift system. *Chemical Geology*, 81(3): 221-240.
- WINANT, A. R. 2010. Sericitic and advanced argillic mineral assemblages and their relationship to copper mineralization, Resolution Porphyry Cu-(Mo) Deposit, Superior District, Pinal County, Arizona. Disponível em: <http://www.geo.arizona.edu/Antevs/Theses/WinantARMS2010.pdf>. Acessado em 29 out.2014.

Endereço dos autores:

Annabel Pérez-Aguilar – Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Rua Joaquim Távora, 822, CEP 04015-011, São Paulo, SP, Brasil. *E-mail:* annabel.perez.aguilar@gmail.com

Izabella Vicentin Moreira – Universidade Federal de São Paulo, Avenida Conceição, 329, CEP 09920-000, Diadema, SP, Brasil. *E-mail:* izabella.vicentin@gmail.com

Jacqueline Silva Silles – Faculdade de Tecnologia de São Paulo, Praça Coronel Fernando Prestes, 30, CEP 01124-060, São Paulo, SP, Brasil. *E-mail:* jacsilles@yahoo.com.br

Caetano Juliani e Flávio Machado de Souza Carvalho – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 562, CEP 05508-080, São Paulo, SP, Brasil. *E-mails:* cjuliani@usp.br, flavioms@usp.br

Artigo submetido em 7 de outubro de 2014, aceito em 10 de dezembro de 2014.