

GEOLOGIA E PETROLOGIA DA MINA DE OURO SCHRAMM (GASPAR - SC)

JOÃO CARLOS BIONDI⁽¹⁾, NILTON D. FRANKE⁽²⁾, PAULO R. S. DE CARVALHO⁽²⁾ E SANDRO N. VILLANOVA⁽²⁾

ABSTRACT The highlights of the Schramm gold mine are its position inside a high-angle shear zone and the association of gold with nickel, arsenic and cobalt sulfides in massive veins of siderite-ankerite (dolomite). The quartz-carbonate lodes are not sheared or deformed. They are hosted by gneisses and granulites with intense hypogenic alteration (carbonatization, chloritization, sericitization and silicification). Gold is found free or inside sulfides only in the carbonates lodes, with grades varying from 500 to 2,300 ppm. Together with the gold there is silver (150 to 300 ppm), arsenic (0.15 to 0.60%) and nickel (0.01 to 1.4%). The ore also presents Zn (250 to 1,600 ppm), Pb (100 to 850 ppm) and Co (40 to 750 ppm). The amounts of Sb, Te, Se, W, Mo and Bi are very low. The quartz veins from the lodes show gold grades below 1 ppm and of As, Zn, Pb, Ni, Cu, Co, Mo, Te and Bi between 1 and 50 ppm. Outside the mineralized zones the gold grades are below 50 ppb and the other elements grades are greater than in mineralized zones, varying from 10 and 900 ppm. Rarely rocks with hypogenic alteration have gold and its presence in grades higher than 50 ppb does not increase the grades of the other elements, that vary from 1 and 200 ppm. The total amount of sulfide is about 0.5% of the rock volume. The sulfide paragenesis has galena (rare), chalcocite (little), arsenopyrite (very rare), sphalerite, nickel-cobaltiferous pyrite, pyrite, siegenite-violarite, millerite, gersdorffite, covelite and one unknown Ni-Fe-Co sulfo-arseniate with formulae $(Co, Fe, Ni)_{7.980} As_{9.000} S_{6.000}$ optically similar to gersdorffite, but distinguished by its cream-gray color. The structural formula calculation shows that gold contains 27.5% of silver and that siegenite is an iron-rich variety, transitional to violarite.

Keywords: Schramm mine (Gaspar, SC, Brazil). Shear zone with gold in siderite-ankerite veins. Sulphur-nickel-arsenic paragenesis.

RESUMO A mina Schramm destaca-se por estar em uma zona de cisalhamento de alto ângulo e ter ouro associado a uma paragênese com sulfetos de níquel, arsênio e cobalto contidos em veios maciços de siderita-ankerita (dolomita). Os veios de carbonatos e de quartzo não estão cisalhados nem deformados. O minério concentra-se em bolsões constituídos por veios de carbonatos e de quartzo, em meio a granulitos e gnaisses intensamente carbonatados, cloritizados, sericitizados e silicificados. O ouro ocorre com teores entre 500 e 2.300 ppm, livre ou junto a sulfetos, somente nos veios de carbonatos. Junto ao ouro concentram-se prata (150 a 300 ppm), arsênio (0,15 a 0,60%) e níquel (0,01 a 1,4%). Em menores proporções o minério tem Zn (250 a 1.600 ppm), Pb (100 a 850 ppm) e Co (40 a 750 ppm). Os teores de Sb, Te, Se, W, Mo e Bi são muito baixos, próximos ou menores que 10 ppm. Os veios de quartzo dos bolsões têm teores de ouro de até 1 ppm e de As, Zn, Pb, Ni, Cu, Co, Mo, Te, e Bi entre 1 e 50 ppm. Fora das regiões mineralizadas os teores de Au são menores que 50 ppb e os teores dos outros elementos são maiores que os da zona mineralizada, variando entre 10 e 900 ppm. Raramente as rochas encaixantes têm ouro e a presença do ouro não traz um aumento significativo nos teores dos outros elementos.

A quantidade total de sulfetos é de cerca de 0,5% da rocha, em volume. A paragênese sulfetada que acompanha o ouro é constituida por galena (rara), calcopirita (pouca), arsenopirita (muito rara), esfalerita, pirita níquel-cobaltifera, piritita, siegenita-violarita, millerita, gersdorffita, covelita e um sulfoarseneto de Ni-Fe-Co com fórmula $(Co, Fe, Ni)_{7.980} As_{9.000} S_{6.000}$ semelhante a gersdorffita, mas de cor cinza-creme. O cálculo das fórmulas estruturais mostrou que o ouro tem 27,5% de Ag e que a siegenita é uma variedade rica em Fe, transicional para a violarita.

Palavras chave: Mina Schramm (Gaspar, SC). Ouro em zona de cisalhamento em veios de siderita-ankerita. Paragênese sulfo-níquel-arseniana.

INTRODUÇÃO E LOCALIZAÇÃO A mina de ouro Schramm está situada a 12 Km a NNE de cidade de Gaspar (SC) (Fig. 1), na margem esquerda do ribeirão do Arraial. Em 1986 a MINEPAR - Mineração Gaspar S.A. - localizou 44 veios de quartzo na região. Dentre esses veios, 42 estão em meio a rochas do Grupo Itajaí e apenas dois, o Schramm e o Subida (Fig. 2), estão em meio a rochas do embasamento. A área foi abandonada e reativada várias vezes, até a descoberta, na área do Schramm, no final de 1999, de locais mineralizados com altos teores de ouro.

GEOLOGIA DA ÁREA **Geologia regional** Os veios de quartzo mineralizados com ouro do Schramm ocorrem em meio a rochas do Complexo Granulítico Luiz Alves, em uma zona de cisalhamento orientada N5-10°E, vertical, localizada muito próximo ao contato com as rochas do Grupo Itajaí (Fig. 1 e 2). Embora a maioria das rochas do Complexo sejam granulitos noríticos a enderbíticos e anfibolitos, são comuns as ocorrências de migmatitos estromáticos, gnaisses felsicos e/ou feldspáticos (rosados), quartzitos e formações ferríferas. Segundo Basei (1985), as rochas do Complexo Granulítico teriam uma idade mínima de 2,8 Ga.

As rochas metamórficas têm uma foliação regional com altitudes em torno de N30°E, 70-80° NW a SE. As zonas miloníticas têm direções entre N30°W e N25°E, com foliação vertical. Em vários locais essas zonas foram reativadas em condições rúpteis. Segundo Babinski et al. (1997), a fase acrecional do cinturão Don Feliciano, a SE da Bacia do Itajaí, ocorreu entre 610 ± 5 e 616 ± 2 Ma. A fase colisional, principal fase transcorrente que afetou a região, teria ocorrido há 594 ± 5 Ma.

O Grupo Itajaí aflora como um conjunto de sedimentos detriticos, encimados e atravessados por riolitos e granitos. Está contido em uma bacia alongada (Fig. 1) e limitada, na maior parte do seu perímetro, por falhas e zonas de cisalhamento que a separam do Complexo

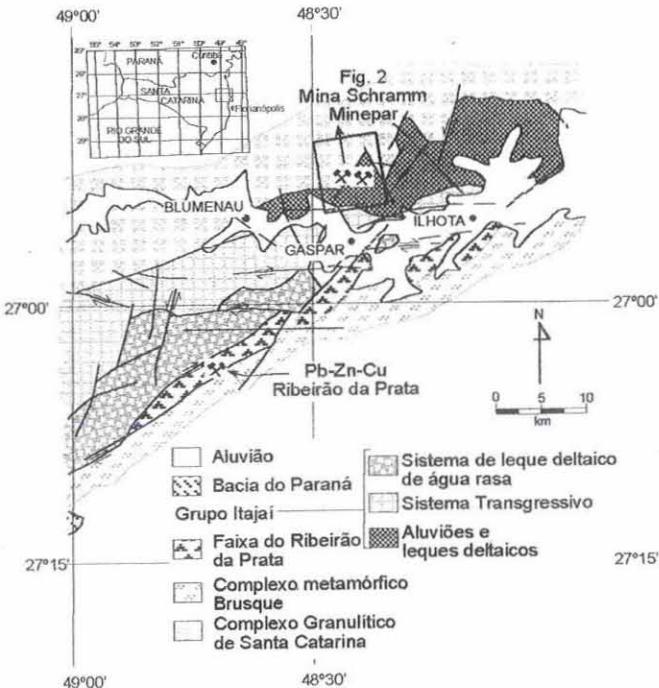


Fig. 1: Localização geográfica e geológica da mina de ouro Schramm (Biondi et al., 1992).

(1) Universidade Federal do Paraná, Depto de Geologia. C.P. 19.001, 81.531-990 (Curitiba-PR) Jcbiondi@geologia.ufpr.br

(2) Gold Standard Minas S.A.. Rua Tibagi 294, salas 1003/1004, 80.060-110 (Curitiba-PR)

Granulítico. Suas rochas têm idades entre 580 ± 40 e 540 ± 10 Ma, e sofreram um anquimetamorfismo a 534 ± 4 Ma (Basci 1985). É possível, portanto, que a fase compressiva que deformou rochas do Grupo Itajaí tenha reativado as trancorrências neoproterozóicas.

Na região da mina Schramm afloram conglomerados polimíticos e arenitos feldspáticos com cores avermelhadas e amarronzadas. Estas rochas estão quase sempre horizontalizadas e, quando inclinadas, têm mergulhos de até 20° para SSE. São recortadas por um sistema de falhas paralelas ENE (Fig. 2) que se prolongam no embasamento. As rochas sedimentares contêm muitas intrusões (apófises e diques) riódacíticas e riolíticas, geralmente orientadas paralelamente às falhas. Segundo Basei (1985), o magmatismo do Itajaí cessou há 541 ± 26 Ma. Os veios de quartzo mineralizados com ouro estão contidos nas falhas ENE, não raro junto a diques riódacíticos (Fig. 2).

Geologia da área da mina Schramm A mina Schramm (Fig. 3) lava ouro em veios de siderita-ankerita e de quartzo (Fig. 4), orientados $N10^\circ$ - 15° W, 80° - 85° NE, alojados em uma zona de cisalhamento vertical NS (Fig. 2). As galerias atravessam rochas granulíticas básicas e ultrabásicas, muito foliadas e alteradas, que contêm lentes de gnaisses com larguras métricas. Há gnaisses felsíticos (quartzosos), gnaisses róseos (ricos em feldspato potássico) e os "magnéticos", com bandas escuras de magnetita e hematita alternadas com bandas claras quartzo-feldspáticas. Todas as rochas estão carbonatadas (siderita, ankerita e dolomita). Os gnaisses estão silicificados e muscovitizados e os granulitos estão cloritizados e albitizados. A intensidade da alteração cresce em direção aos veios, tornando irreconhecíveis as texturas originais das rochas a distâncias menores que 1,0-1,5 metros dos contatos.

O corpo mineralizado é constituído por veios maciços de siderita e ankerita, com espessuras centimétricas a decimétricas e cores creme amarronzadas, que ocorrem isolados (Fig. 4 A), margeando (Fig. 4 B, C e D) ou mesclados a veios, também maciços, de quartzo leitoso com aglomerados de carbonatos e de cloritas. Há um conjunto principal de veios, cuja largura varia entre 0,4 e 1,5 metros (Fig. 3 e 4), e um con-

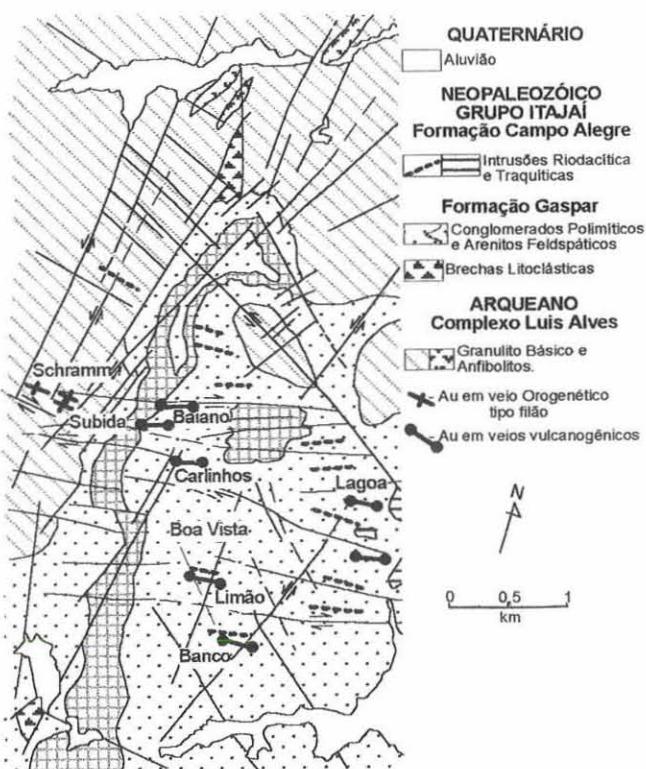


Fig. 2: Mapa geológico da região da mina de ouro Schramm. A mina lava veios de carbonato e quartzo orientados $N10^\circ$ - 15° W, 80° - 85° NE situados em uma zona de cisalhamento NS, muito próximo ao contato de rochas do Grupo Itajaí (Biondi et al., 1992).

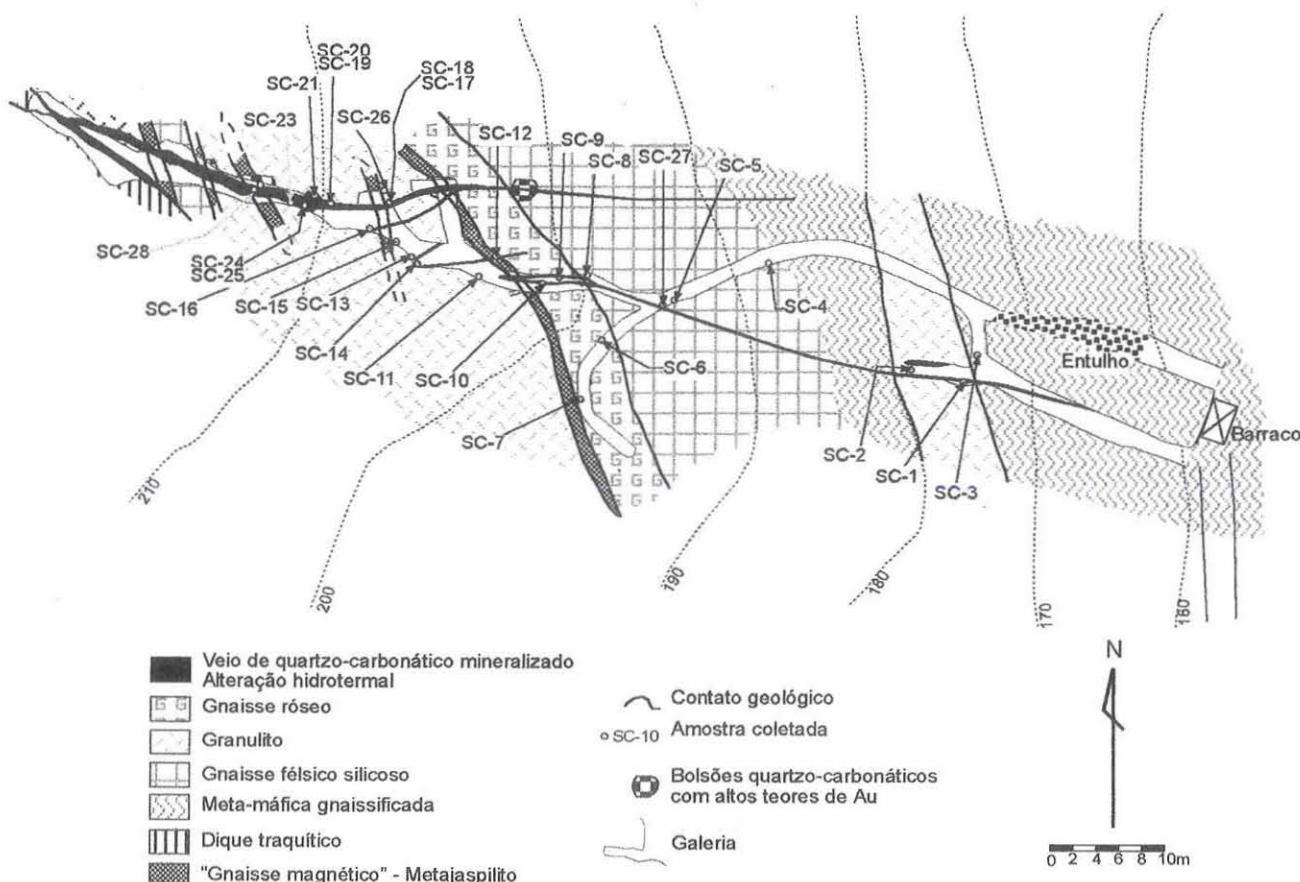


Fig. 3: Mapa geológico da mina de ouro Schramm. O ouro está em veios de siderita-ankerita (altos teores) e de quartzo (teores muito baixos) encaixados por granulitos básicos e ultrabásicos e por gnaisses. Toda a região mineralizada está carbonatada, cloritizada e muscovitizada.

junto secundário, com somente veios de quartzo (sem veios de carbonato), formado por um enxame de veios e vênulas cujas espessuras individuais não ultrapassam 0,1 m. Na maior parte das vezes os veios de quartzo têm aspecto manchado devido a presença de aglomerados centimétricos de siderita-ankerita (Fig. 4 B e C). É comum que os contatos entre a parte carbonatada e a parte quartzosa dos veios sejam ressaltados por uma franja de ripidolita-brunsvigita com cores negra e verde-escura (Fig. 4 D). Essas cloritas, como os carbonatos, também formam aglomerados dentro do quartzo.

O ouro concentrou-se em locais onde formaram-se bolsões alongados (Fig. 3 e 4 A), nos quais se misturam vênulas e veios de quartzo e carbonato. Esses bolsões apresentam-se verticalizados, com diâmetros médios entre 1,0 e 4,0 metros e comprimentos de uma a três dezenas de metros. Ocorrem em locais onde as encaixantes são granulitos ultrabásicos ou gnaissés magnéticos. Nesses locais o ouro está praticamente todo nos veios de carbonato, cujos teores variam entre 500 e cerca de 2.300 ppm. Nos veios de quartzo os teores raramente alcançam 1,0 ppm. A ausência de foliações ou deformações nos veios de

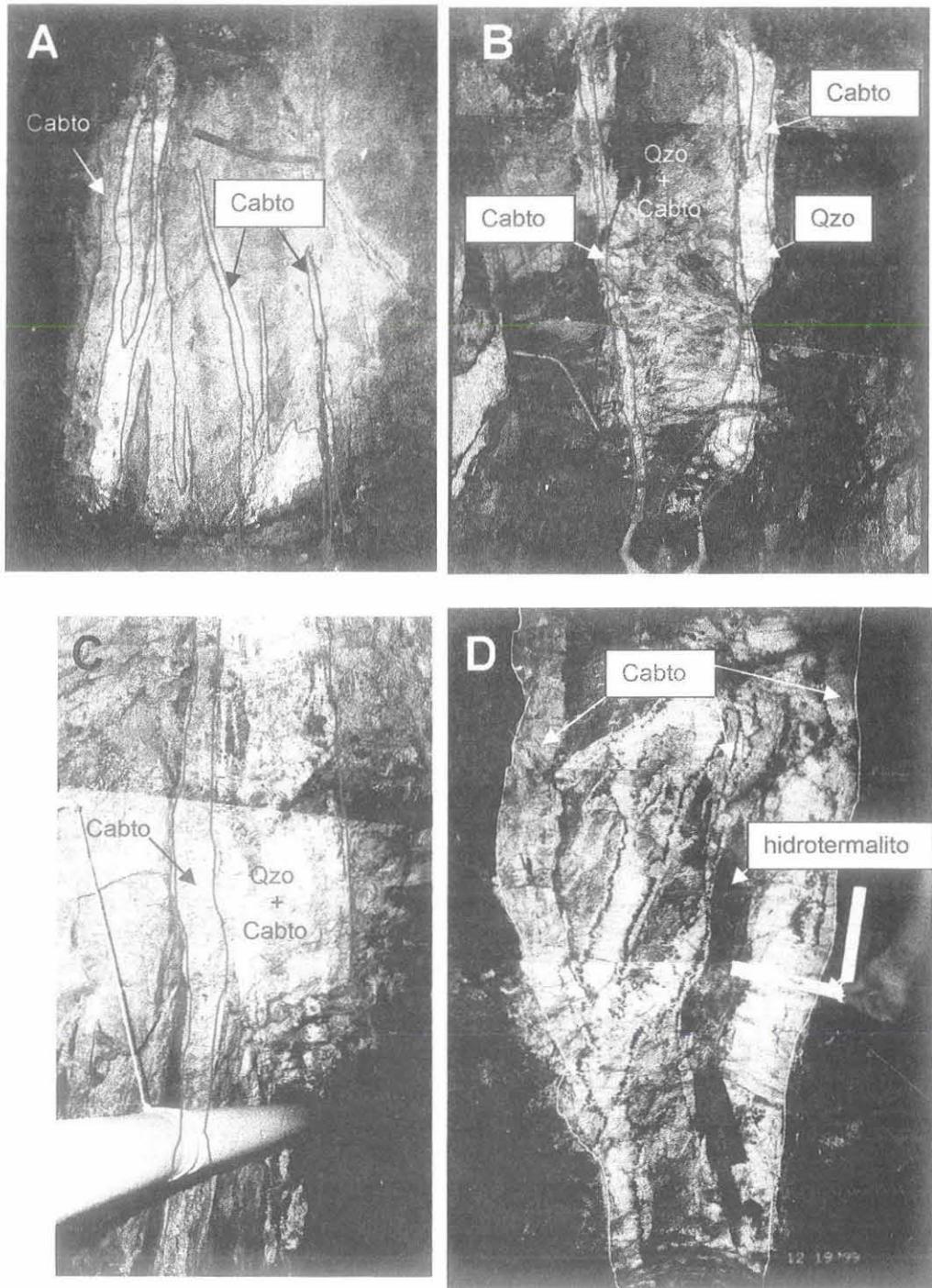


Fig. 4: Fotografias dos corpos mineralizados nas galerias da mina de ouro Schramm. São veios e vênulas de siderita-ankerita e de quartzo leitoso com aglomerados de carbonatos e clorita. (A) Bolsão com alto teor de Au, com cerca de 1,5 m de largura, no qual os veios de carbonato e de quartzo se misturam. (B) Veio central de quartzo e carbonato margeado, a esquerda, por veio maciço de siderita-ankerita e, a direita, por outro veio de quartzo. (C) Veio maciço de siderita-ankerita em contato com veio de quartzo e carbonato. (D) Veios de carbonato ladeando veio de quartzo com lentes de carbonato e de granulito carbonatizado. Os limites entre o quartzo (branco) e o carbonato (cinza) são marcados por uma franja negra ou verde escura de clorita (ripidolita-brunsvigita). Abreviações: Cabto = carbonatos (siderita, ankerita e dolomita); qzo = quartzo.

carbonato e de quartzo e nas suas encaixantes indicam que, após terem sido gerados, a região da mina Schramm não mais foi metamorfisada ou tectonizada.

Controle estrutural Biondi et al. (1992) apresentaram um estudo sobre as estruturas rígidas das áreas da Minepar, antiga proprietária do “veio do Schramm”, cujas conclusões foram confirmadas pelas medidas feitas nas novas galerias da mina Schramm. Nesse estudo, falhas NS (Fig. 2) foram consideradas as principais transcorrências da área. Submetidas a uma compressão de SE para NW, inicialmente em regime transpressional levógiro, formou-se um sistema com sintéticas com moda N3°W, 87° NE, antitéticas a N75°-85°E, 87° NW, falhas reversas a N18°-55°E, 6°-15°SE e falhas extensionais a N45°-68°W, 72°NE a verticais. Nessa primeira fase de cisalhamento as fraturas extensionais, abertas (Schramm e Subida), foram mineralizadas. Ao final da compressão, o relaxamento do sistema causou a reversão localizada de algumas dessas falhas. Agora em regime transtensional dextrógiro, as mesmas falhas NS geraram um sistema onde as sintéticas têm altitudes N30°-35°E, 79°-87°NW, as antitéticas N45°-68°W, 72°NE, as falhas compressionais são N33°W, 43° SW e N19°E, 31° NW e as extensionais N75°-85°E, 87° NW, coincidentes com as altitudes dos veios de quartzo e dos diques riódacíticos do Grupo Itajaí. Ao final dessa fase, as falhas tensionais da primeira fase ocupam posições de antitéticas, com pequenos deslocamentos reversos, tendo sido, por esse motivo, pouco acessíveis aos fluidos silicosos que geraram os veios de quartzo do Grupo Itajaí.

PETROLOGIA DAS ROCHAS E DO MINÉRIO Os veios mineralizados da mina Schramm estão em meio a rochas intensamente alteradas pelo fluidos que geraram os veios e a mineralização. As descrições de rochas inalteradas foram feitas sobretudo a partir de amostras coletadas fora da área da mina.

Petrologia das rochas encaixantes dos veios mineralizados Os granulitos do Complexo do Luiz Alves têm composições muito variadas, com 30-65% de plagioclásios, 0-42% de ortoclásio, 0-50% de microclínio, 0-40% de quartzo, 0-10% de diopsídio, 0-60% de hornblenda, 0-10% de ortopiroxênio, 0-7% de biotita e até 4% de ilmeno-magnetita. Localmente foram identificados apatita, zircão, rutilo, clorita, epidoto, esfeno, actinolita, hematita, talco, serpentina e sericita. As porções básicas, noríticas, têm cores cinza esbranquiçadas, que variam até cores negras ou verde escuas nas partes com composições ultrabásicas, geralmente anfíbolíticas (Fig. 2) ou enderbíticas. Em meio aos granulitos, geralmente em zonas falhadas e/ou cisalhadas, ocorrem lentes com dimensões variadas entre o metro e algumas centenas de metros, de migmatitos, de gnaisses rosados, de biotita gnaisses, de quartzitos e de formações ferríferas, além de blastomilonitos e protomilonitos derivados dessas rochas. Os veios da mina Schramm são quase todos encaixados por granulitos, mas tam-

bém por gnaisses e por formações ferríferas bandadas (“gnaisses magnéticos”). Os gnaisses magnéticos são metajaspilites granulares, bandados, com alternância de bandas escuras de magnetita e, algumas vezes, hematita (Fig. 9 A), e bandas de quartzo e albite (pouca). Em meio a magnetita há pirita e calcopirita anédricas (Fig. 9 B). Pirita euédrica, de cristalização tardia, provavelmente relacionada à mineralização, ocorre dispersa nessa e em outras rochas próximas aos veios da mina Schramm. O Tabela 1 resume a mineralogia atual dessas rochas, após modificadas pelas alterações hipogênicas, e os Tabelas 2, 3 e 4 mostram as sucessões das cristalizações dos seus minerais.

A mineralogia da alteração hipogênica varia conforme a rocha original, mas a siderita e a ankerita estão sempre presentes e constituem a fase mineral que ocorre em maior volume. Esses carbonatos ocorrem em vénulas, junto ao quartzo (Fig. 5 C), ou como aglomerados ou cristais individuais dispersos na rocha (Fig. 5 B, D e E). Nos gnaisses, a matriz é sericitizada, silicificada e pouco cloritizada (Fig. 5 C), enquanto nos granulitos a cloritação predomina em relação a sericitização. Nos magnetita-gnaisses, embora cloritizados, sericitizados e carbonatizados, foi mantida a estrutura original do metajaspilite, com bandas paralelas alternadas de magnetita-hematita e de quartzo. A presença constante de cloritas, sericita, carbonatos e quartzo caracteriza uma paragênese de baixa temperatura, embora a presença de berilo nos biotita-gnaisses alterados sugira a possibilidade de terem ocorrido alguns fluxos fluidos de alta temperatura, talvez no início da fase de alteração (Tabelas 1 e 4). Os metajaspilites (Tabelas 1 e 2) têm pirita, pirrotita e calcopirita intergranulares, anédricos, provavelmente originais da rocha. A alteração hipogênica cristalizou uma pirita euédrica tardia, também encontrada nos gnaisses alterados (Tabelas 1 e 4). A oxidação pervasiva dos gnaisses e granulitos (Tabelas 3 e 4), observada localmente, e a caulinização, também local, dos gnaisses, identificam uma fase de alteração hipogênica de menor temperatura que aquela que causou a carbonatação-sericitização-cloritação.

As Tabelas 5, 6 e 7 apresentam os teores das rochas inalteradas, das rochas com alterações hipogênicas e dos veios de carbonato e de quartzo da mina Schramm. A partir dos teores mostrados no Tabela 5 foi feita a figura 6, na qual A, K e F correspondem aos números de moles de Al_2O_3 , de $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO}$ e de $\text{FeO}^*+\text{MgO}+\text{MnO}$, respectivamente. Como a alteração hipogênica dominante na mina Schramm é a carbonatação (siderita e ankerita), seguida da cloritação (ripidolita e brunsvigita), os pontos correspondentes as rochas com maior intensidade de alteração hipogênica devem ficar mais próximos do polo F. A figura 6 mostra que há uma variação contínua da intensidade da alteração hipogênica desde os granítoides (gnaisses), mais distantes de F, até os veios de carbonato maciços, com altos teores de Fe, Mg e Mn e por isso situados próximos ao vértice F. Os granulitos e os metajaspilites, mais ricos em Fe e Mg que a os granítoides, estão situados nas laterais do domínio ocupado pelas rochas alteradas. Notar que os pontos correspondentes aos veios de quartzo formam um domínio

Tabela 1: Paragêneses das rochas encaixantes alteradas devido ao alojamento dos filões de carbonatos e de quartzo que constituem os corpos mineralizados da mina Schramm (SC).

Metajaspilite (gnasse a magnetita)		Metamáfica (granulito básico)		Granítóide (biotita gnasse)	
Minerais Transparentes	Minerais metálicos	Minerais transparentes	Minerais metálicos	Minerais transparentes	Minerais metálicos
Quartzo (***)	Magnetita (***)	Augita	Ilmenita	Quartzo (***)	Magnetita
Siderita (***)	Hematita (*)	Hornblenda	Óxido de ferro (**)	Microclínio (*)	Hematita
Ankerita (**)	Pirita euédrica (*)	Bitowinita		Albita (**)	Pirita euédrica (*)
Ripidolita (**)	Pirita intergra-nular	Biotita		Muscovita (***)	Óxido de ferro (**)
Brunsvigita (*)	Calcopirita	Ripidolita (***)		Clinocloro (*)	
Penina (**)		Brunsvigita (**)		Penina (*)	
Stilpnomelano		Siderita (***)		Siderita (**)	
Biotita		Ankerita (**)		Ankerita (*)	
Esfeno		Albita (**)		Berilo	
Muscovita (**)				Pirofilita	

(***) Muita (**) Comum (*) Pouco () Raro

Tabela 2: Sucessão de cristalização dos minerais de alteração hipogênica dos metajaspilitos encaixantes dos veios mineralizados na mina Schramm.

MINERAIS	SUCESSÃO
Quartzo (rocha)
Magnetita
Feldspato K
Albita
Esfeno
Sericita
Quartzo (veios de quartzo)
Pirita intergranular
Caleopirita intergranular
Pirita
Pirita euhídrica
Sulfomanganato
Ripidolita-Brunsvigita
Siderita-Ankerita
Quartzo (veios de quartzo+carbonato)

Tabela 3: Sucessão de cristalização dos minerais de alteração hipogênica das metamáficas (granulitos básicos) encaixantes dos veios mineralizados na mina Schramm.

MINERAIS	SUCESSÃO
Augita
Biotilita
Hornblenda
Bisnita
Penita
Ripidolita-Brunsvigita
Hemotita fibrosa ou acicular
Siderita-Ankerita
Hidroxido de ferro

que envolve o dos veios carbonáticos e é envolvido pelo das rochas alteradas, o que indica que sempre há siderita e ankerita misturadas ao quartzo dos veios.

Os teores em elementos traços (Tabelas 6), após normalizados com os chondritos de Thompson (1982), foram usados para construir a figura 7. Comparando rochas inalteradas com as alteradas, nota-se que: (a) As formas gerais dos diagramas de distribuição dos elementos litófilos e incompatíveis das rochas alteradas e inalteradas são sempre

Tabela 4: Sucessão de cristalização dos minerais de alteração hipogênica dos granitóides encaixantes dos veios mineralizados na mina Schramm.

MINERAIS	SUCESSÃO
Quartzo (rocha)
Micoschistos
Albita
Esfeno
Silpouciano
Magnetita
Berilo
Sericita/muscovita
Hematita
Quartzo (indistintos)
Clevita (Clinoclorito)
Vénidas de quartzo
Vénidas de carbonato
Siderita/Ankerita
Pirita euhídrica
Hidroxido de ferro
Caolinita

Tabela 5: Mina Schramm – Teores das rochas e dos veios de minério em elementos maiores. Atenção: (a) Teores em Fe ou em Fe_2O_3 que estão entre parênteses não integram o total da análise. Em todas as amostra o ferro foi analisado como “ferro total”, na forma de Fe_2O_3 (ferro oxidado, em silicatos, carbonatos e óxidos) ou de Fe (ferro reduzido, em sulfetos). (b) Análises feitas por FRX = fluorescência de raios X - não têm valores de “perda ao fogo” – P.F. = n.d.. O “fechamento” dessas análises (total dos teores) pode ser incompleto ou > 100%.

Amostra	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	P.F. (%)	S (%)	Total (%)
<i>Rochas, não alteradas, encaixantes dos veios de quartzo e carbonato</i>													
SC-41	74,5	14,3	0,13	2,0	0,05	0,45	2,6	3,9	1,6	0,04	0,73	0,02	100,32
SC-34	50,8	12,2	0,89	13,1	0,26	8,3	10,6	2,5	0,75	0,09	0,12	0,05	99,65
SC-32	65,8	3,4	0,53	20,1	0,49	6,4	1,0	0,64	0,11	0,08	<0,01	0,27	98,82
SC-39	75,7	13,4	0,04	2,1	0,03	<0,10	0,36	3,2	4,6	0,02	1,03	0,01	100,49
SC-33	74,0	13,4	0,08	1,3	0,02	<0,10	0,29	2,5	6,4	<0,01	0,40	<0,01	98,39
SC-10	70,6	15,20	0,20	2,9	0,29	0,45	2,12	2,28	4,47	0,06	n.d.	<0,01	98,61
SC-07	73,7	13,83	0,19	2,0	0,06	0,36	1,41	3,8	3,6	0,04	0,76	0,02	99,77
<i>Rochas com alterações hipogênicas</i>													
SC-31B	38,43	12,34	1,97	34,23	1,33	5,57	0,91	0,04	0,28	0,33	n.d.	1,30	86,44
SC-28E	50,6	0,78	0,09	41,7	1,2	0,93	0,79	0,01	0,10	2,73	0,60	n.d.	99,53
SC-24B	48,56	20,14	0,65	12,80	2,07	2,28	1,79	0,13	5,87	0,46	n.d.	0,43	95,18
SC-24A	6,8	0,48	0,01	44,42	13,6	4,97	10,98	0,02	0,10	0,00	31,9	0,09	99,93
SC-22	57,2	17,2	0,55	5,00	0,45	2,4	5,92	2,7	2,5	0,22	6,01	0,09	98,74
SC-21	43,6	17,6	1,69	7,43	0,31	3,5	5,26	2,1	4,1	1,06	n.d.	0,11	92,90
SC-20	45,96	17,92	1,33	13,55	1,98	2,66	3,65	0,12	5,12	0,84	n.d.	1,18	94,31
SC-19	46,76	12,11	0,98	19,63	4,86	3,62	1,38	0,08	3,58	0,63	n.d.	0,42	94,06
SC-18	49,86	15,17	1,18	17,01	0,96	4,76	4,86	4,39	0,45	0,74	n.d.	<0,01	99,39
SC-17	44,08	18,43	1,50	14,90	2,82	2,79	3,48	0,11	5,25	1,44	n.d.	0,93	95,73
SC-16	49,4	14,4	0,86	6,29	0,17	7,6	9,29	2,7	0,76	0,13	n.d.	0,06	95,45
SC-15	49,13	2,97	1,43	44,64	0,17	2,81	2,37	0,05	0,02	0,16	n.d.	1,13	104,88
SC-14	43,84	10,05	0,72	24,03	0,38	12,19	4,59	0,08	0,77	0,15	n.d.	<0,01	96,80
SC-13B	39,54	6,79	1,30	32,60	2,71	3,86	4,92	0,04	0,59	0,25	n.d.	3,09	95,69
SC-13A	46,08	20,64	1,29	13,50	0,79	5,27	5,19	1,75	3,46	0,33	n.d.	0,30	98,60
SC-12	49,01	7,10	0,67	29,87	0,20	4,31	3,42	0,78	0,34	0,20	n.d.	1,87	97,77
SC-11	45,3	2,0	1,1	48,7	0,08	2,0	0,24	0,05	0,09	0,13	n.d.	0,03	99,72
SC-09	67,89	11,59	0,22	4,80	0,72	0,58	0,26	0,09	3,95	0,04	n.d.	0,33	90,47
SC-02	63,06	3,85	2,58	25,72	0,18	1,22	0,05	0,04	0,00	0,01	n.d.	0,51	97,22
SC-01A	58,25	1,09	0,84	40,82	0,42	0,55	0,17	0,04	0,03	0,06	n.d.	<0,01	102,27
<i>Veio de quartzo</i>													
SC-28M	93,85	0,13	0,01	1,97	0,11	0,20	0,16	0,06	<0,01	<0,01	n.d.	<0,01	96,49
SC-28L	78,69	0,30	0,01	10,01	3,13	1,57	1,20	0,04	<0,01	<0,01	n.d.	<0,01	94,96
SC-28K	93,1	0,20	0,01	6,4	0,12	0,19	0,13	0,06	0,01	<0,01	n.d.	<0,01	100,25
SC-28J	76,55	0,38	0,01	14,85	4,43	2,31	2,07	0,04	0,01	<0,01	n.d.	0,19	100,65
SC-25B	81,12	0,90	0,01	13,32	1,44	0,52	2,76	0,04	<0,01	<0,01	n.d.	0,15	100,26
SC-25A	92,2	0,30	0,01	5,14	0,32	0,20	0,43	0,06	0,05	<0,01	2,29	<0,01	99,47
SC-23A	92,87	0,34	0,01	2,76	0,12	0,39	0,48	0,05	<0,01	<0,01	n.d.	<0,01	97,02
<i>Veio de carbonato (siderita + ankerita + dolomita)</i>													
SC-28O	1,7	0,16	0,01	66,41	12,50	6,2	0,49	0,04	<0,01	<0,01	33,7	0,16	101,37
SC-28N	1,2	0,19	0,01	66,94	13,10	5,6	0,56	0,02	0,01	<0,01	33,7	0,18	101,42
SC-28G	1,8	0,19	0,01	60,71	12,59	7,3	0,85	0,04	<0,01	<0,01	n.d.	1,19	84,71
SC-23B	12,05	0,90	0,02	47,41	10,72	6,73	6,78	0,05	0,01	<0,01	n.d.	<0,01	84,67

muito parecidas, com exceção dos teores de potássio. A alteração hipogênica, portanto, não acarretou mudanças significativas nos teores. (b) A figura 7A mostra que, nos granulitos, a alteração hipogênica aumentou os teores de todos os elementos litófilos e incompatíveis. (c) Nos gnaissés a alteração causou a lixiviação do K e aumentou os teores de Zr, Ti, Y e Yb (Fig. 7 B). (d) O K, junto do Ce, Nd e do Yb, foi, também, lixiviado dos metajaspilitos (Fig. 7D), enquanto os teores de Zr aumentaram.

Petrologia dos veios de carbonato e de quartzo (minérios) ELEMENTOS TRAÇOS DE TENDÊNCIAS LITÓFILAS E INCOMPATÍVEIS

COMPATÍVEIS Os teores em elementos litófilos e incompatíveis (Tabela 6) da siderita-ankerita dos veios (Fig. 7 C) praticamente não mudam quando o veio é estéril ou é mineralizado. Esses carbonatos têm anomalias positivas, fortes, em Rb, Ce e Nd e negativa de Ba e de P. Comparando as figuras 7C e 7E nota-se que o padrão de distribuição dos elementos traços nos carbonatos dos veios é muito diferente daquele do quartzo, o que sugere que esses veios se formaram a partir de fluidos diferentes.

ELEMENTOS TRAÇOS DE TENDÊNCIAS CALCÓFILAS E METAIS RAROS

O Tabela 7 mostra os teores em elementos de tendências

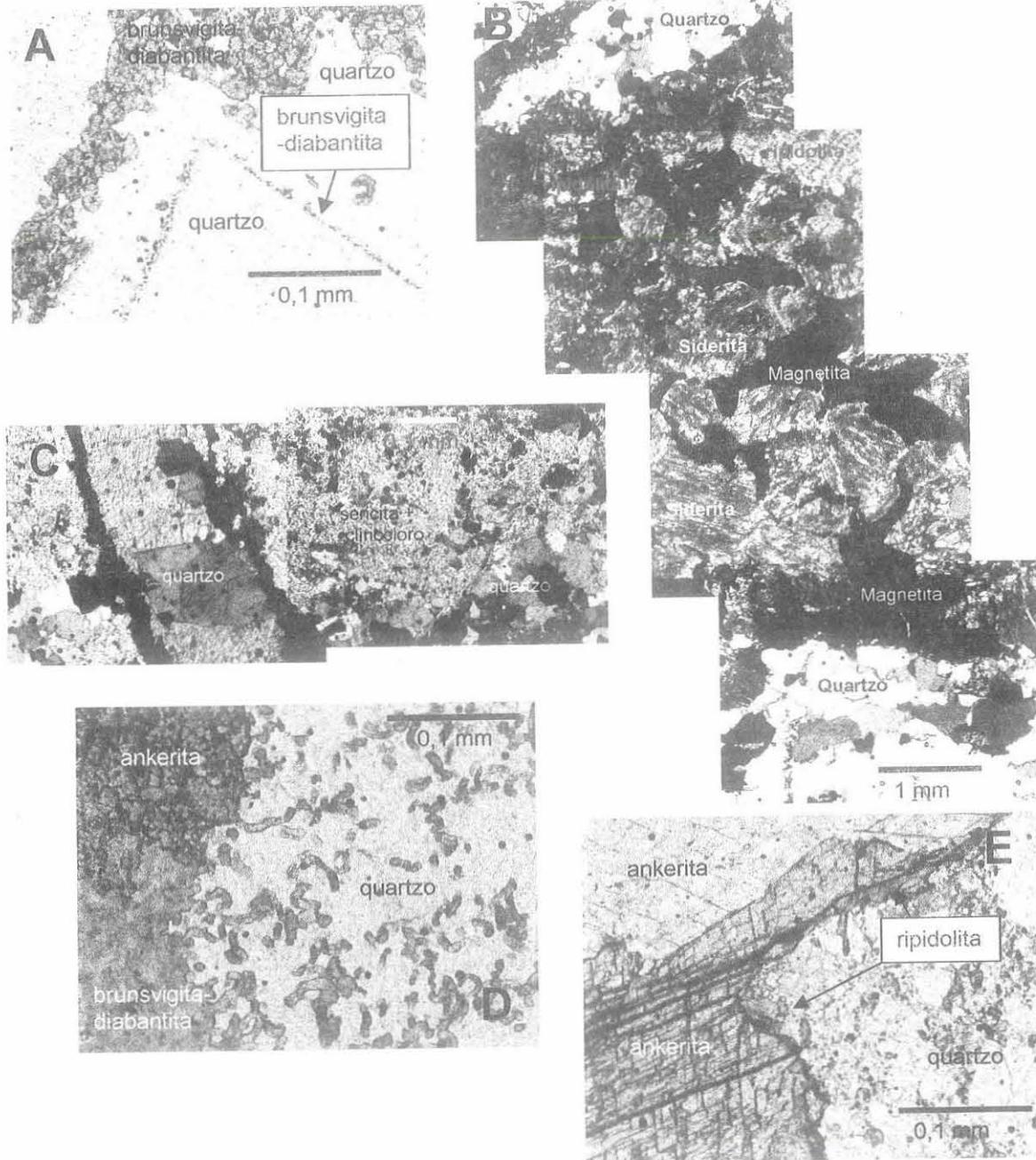


Fig. 5: Imagens de lâminas delgadas de rochas da mina de ouro Schramm. (A) Aglomerados de brunsvigita-diabantita em meio aos cristais de quartzo do veio principal. Notar que essas cloritas marcam linhas de crescimento das fases de cristalização do quartzo (luz natural). (B) Aglomerados e cristais de carbonato (siderita e ankerita) e de clorita (ripidolita) formados pela alteração hipogênica das magnetita-gnaissés (metajaspilitos) (luz natural). (C) Alteração típica dos gnaissés, com matriz de clorita, quartzo e sericitá recortada por vénulas de siderita-ankerita e quartzo (luz polarizada). (D) Os veios de quartzo têm aglomerados de carbonato e de clorita (brunsvigita-diabantita). A clorita cristaliza-se em meio ao quartzo com a forma "vermicular" mostrada nessa imagem (luz natural). (E) O contato entre os veios de quartzo e de carbonato maciços são delineados por uma franja de clorita (ripidolita-brunsvigita) (luz natural). Isto foi destacado na figura 4 D em escala mesoscópica.

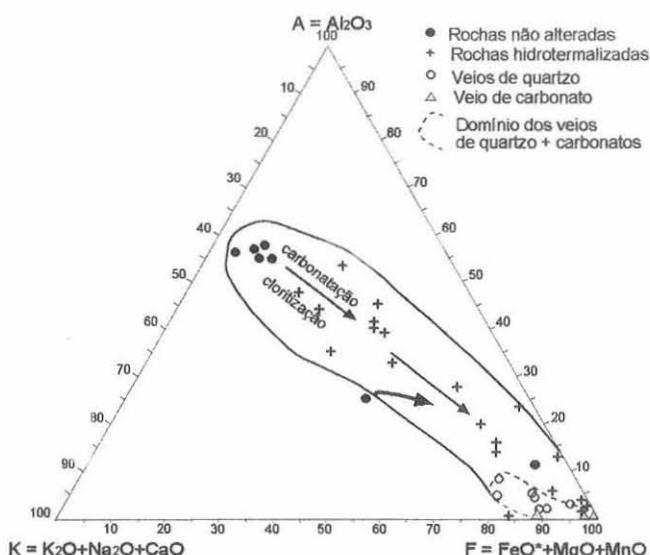


Fig. 6: Triângulo Al_2O_3 (A) x $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}$ (K) x $\text{FeO}^* + \text{MgO} + \text{MnO}$ (F) das rochas e minérios da mina Schramm (em moles%). Esta figura mostra que a carbonatação e a cloritação são as alterações hipogênicas dominantes. Há um aumento contínuo de $\text{FeO}^* + \text{MgO} + \text{MnO}$ das rochas em direção ao polo F, desde as rochas inalteradas (granitóides ou granulitos) até os veios maciços de carbonato. Notar que os veios de quartzo também têm carbonatos.

Tabela 6: Mina Schramm – Teores das rochas e dos veios de minério em elementos traços de tendência litofila.. Todas as amostras foram analisadas também para Sn, W e Be e os teores foram menores que os limites de detecção (<10 ppm, <10 ppm e <1 ppm, respectivamente)

Amostra	Cr	Zr	V	Sc	Se	F	Rb	Li	Cd	Ba	Y	La
	(ppm)											
<i>Rochas encaixantes dos veios de quartzo e carbonato</i>												
SC-41	52	1	11	<1	<1	190	<1	4	<1	79	1	15
SC-39	56	2	4	<1	<1	100	<1	<1	<1	91	3	23
SC-34	248	6	118	10	<1	1550	<1	1,9	4	107	24	30
SC-33	45	2	<3	<1	<1	120	<1	4,8	<1	139	3	28
SC-32	85	3	62	2,9	<1	120	<1	<1	7	58	12	11
<i>Rochas com alterações hipogênicas</i>												
SC-31B	<1	36	<3	<1	<1	<10	9	<1	47	<1	12	<10
SC-29C	<1	11	<3	<1	<1	712	<1	<1	47	<1	38	<10
SC-29A	<1	13	<3	<1	<1	<10	<1	<1	39	<1	11	<10
SC-28P	<1	10	<3	<1	<1	4	<1	<1	56	<1	10	<10
SC-28E	56	9	24	<1	<1	210	<1	1,6	33	7	8	12
SC-24A	<1	8	14	<1	<1	84	<1	<1	35	6	12	14
SC-22	31	99	38	3	<1	740	95	17	4	88	9	38
SC-21	17	366	57	4	<1	1400	127	17	7	95	21	69
SC-20	<1	232	<3	<1	<1	391	127	<1	35	<1	29	<10
SC-19	<1	138	<3	<1	<1	830	87	<1	41	<1	21	<10
SC-18	<1	146	<3	<1	<1	342	15	<1	33	<1	19	<10
SC-17	<1	190	<3	<1	<1	698	148	<1	37	<1	30	<10
SC-16	148	71	84	11	1	1500	24	15	5	41	8	34
SC-15	<1	18	<3	<1	<1	<10	1	<1	60	<1	14	<10
SC-14	<1	45	<3	<1	<1	1030	47	<1	38	<1	33	<10
SC-13B	<1	60	<3	<1	<1	<10	17	<1	50	<1	15	<10
SC-13A	<1	205	<3	<1	<1	523	99	<1	33	<1	25	<10
SC-12	<1	308	<3	<1	<1	325	6	<1	46	<1	14	<10
SC-11	94	11	127	4,3	<1	350	<1	4,1	37	9	11	<10
SC-10	<1	213	<3	<1	1	516	90	<1	24	<1	20	<10
SC-09	<1	185	<3	<1	1	1015	118	<1	25	<1	21	<10
SC-07	27	229	9,4	<1	1	200	42	3,5	<1	71	3	30
SC-02	<1	41	<3	<1	<1	<10	<1	<1	46	<1	10	<10
SC-01A	<1	15	<3	<1	<1	210	<1	<1	55	<1	9	<10
<i>Veios de quartzo</i>												
SC-28M	<1	6	<3	<1	1	1492	<1	<1	19	<1	6	<10
SC-28L	<1	6	<3	<1	1	103	<1	<1	30	<1	10	<10
SC-28K	234	2	3	<1	1	74	<1	<1	4	2	<1	<10
SC-28J	<1	8	<3	<1	<1	<10	<1	<1	36	<1	13	<10
SC-25B	<1	8	<3	<1	<1	<10	<1	<1	36	<1	11	<10
SC-25A	59	2	3	<1	1	40	4	<1	3	4	2	<10
SC-23A	<1	7	<1	<1	1	1521	<1	<1	20	<1	7	<10
<i>Veios de carbonato (siderita + ankerita + dolomita)</i>												
SC-28O	5	9	10	1,4	3	<10	28	<1	37	2	7	11
SC-28N	<1	8	10	<1	<1	52	3	<1	31	3	7	10
SC-28G	5	8	26	<1	18	50	64	<1	32	2	11	12
SC-24B	<1	113	<3	<1	<1	<10	140	<1	35	<1	30	<10
SC-23B	<1	10	<3	<1	<1	<10	0	<1	59	<1	21	<10

calcófilas e em metais raros dos veios carbonáticos, dos veios de quartzo e das rochas com alterações hipogênicas. Notar (Tabela 7 e Fig. 8 A) que, junto ao ouro, também concentram-se, em altos teores, a prata (150 a 300 ppm), o arsênio (0,15 a 0,60%) e o níquel (0,01 a 1,4%). Em menores proporções o minério tem Zn (250 a 1600 ppm), Pb (100 a 850 ppm) e Co (40 a 750 ppm). Os teores de Sb, Te, Se, W, Mo e Bi são muito baixos, próximos ou menores que 10 ppm. Os veios de quartzo dos bolsões têm teores de ouro de até 1 ppm (Tabela 7 e Fig. 8 B) e de As, Zn, Pb, Ni, Cu, Co, Mo, Te, e Bi entre 1 e 50 ppm. Fora das regiões mineralizadas os teores de Au são menores que 50 ppb e os teores dos outros elementos são maiores que os da zona mineralizada (Tabela 7 e Fig. 8 B), variando entre 10 e 900 ppm. Raramente as rochas com alterações hipogênicas têm ouro e a presença do ouro em teores acima de 50 ppb não traz um aumento significativo nos teores dos outros elementos (Tabela 7 e Fig. 8 C), cujos teores variam entre 1 e 200 ppm.

MINERALOGIA DOS VEIOS DE CARBONATO E DE QUARTZO

Os veios de quartzo sempre têm aglomerados de siderita-ankerita e de clorita (brunsvigita-diabantita, Fig. 5 A e D). Os fluxos sucessivos de fluidos silicosos que geraram os veios de quartzo sempre cristalizaram a clorita junto ao quartzo, causando o aparecimento de linhas de crescimento dos cristais de quartzo ressaltadas por franjas de brunsvigita-diabantita (Fig. 5 A). Em meio ao quartzo, a clorita forma cristais tubulares ou “vermiculares” (fig. 5 D) que coalescem formando aglomerados.

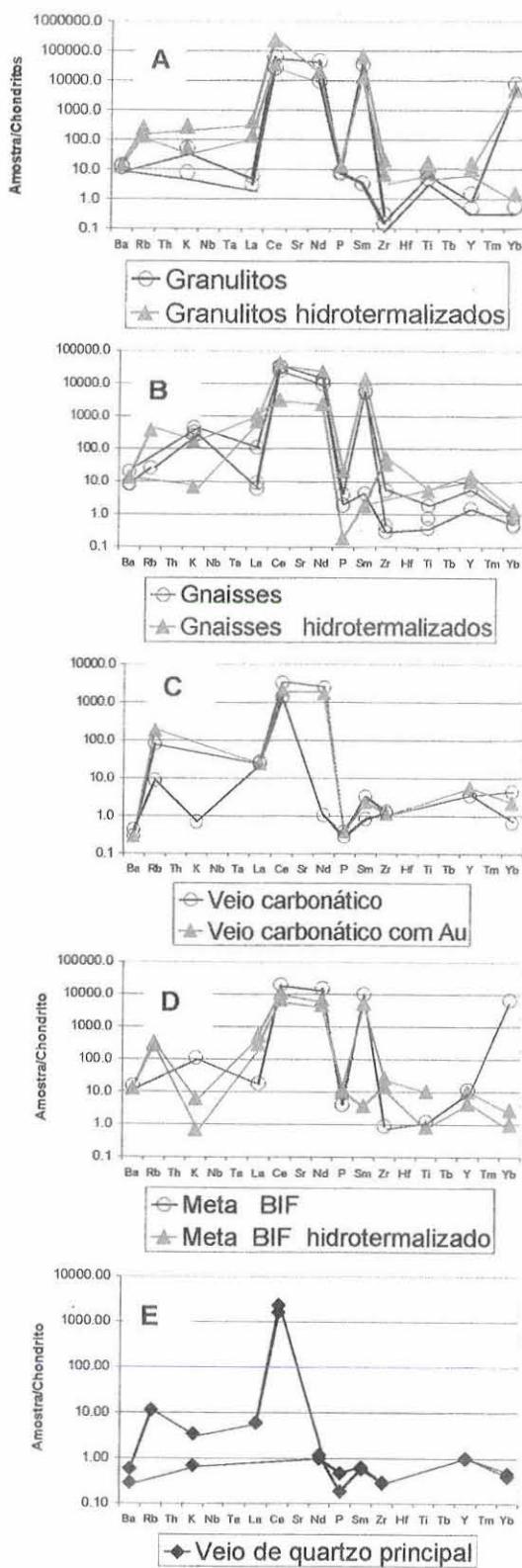


Fig. 7: Distribuição dos teores em elementos com tendências litófilas e incompatíveis de rochas e minérios da mina Schramm, normalizados pelo chondrito de Thompson (1982). A comparação entre os teores das rochas inalteradas e alteradas mostra que, com a exceção do potássio, a alteração hipogênica não causou mudanças significativamente nos teores dos granulitos (A), dos gnaisses (B) e dos metajaspilitos (D). O mesmo pode ser dito quando se comparam os teores dos veios carbonatados com e sem Au (C). Em (E) é mostrada a distribuição dos elementos no quartzo dos veios, muito diferentes daquela dos carbonatos (C).

merados (Fig. 5 D). Quando veios de quartzo e de carbonato estão juntos (Fig. 4), os contatos são ressaltados por uma franja de clorita (Fig. 4 D e 5 E).

Praticamente o único sulfeto encontrado disperso em todos os veios de quartzo e de carbonato é a pirita euédrica, cristalizada tardivamente (Tabela 4). Nos bolsões com altos teores de ouro, a quantidade total de sulfetos é menor que 0,5 % em volume, e restringe-se aos veios de siderita-ankerita. A paragênese sulfetada é complexa e, conforme indicado pela química do minério, composta essencialmente por sulfetos de Ni e As secundados pelos de Co, Zn e Cu. A descrição de seções polidas e as análises com microssonda eletrônica (Laboratório de Microssonda da UFRGS) mostraram as presenças de ouro livre, galena, calcopirita, arsenopirita (muito rara), esfalerita, pirita níquel-cobáltífera, pirita, siegenita-violarita, millerita, gersdorfsita, um

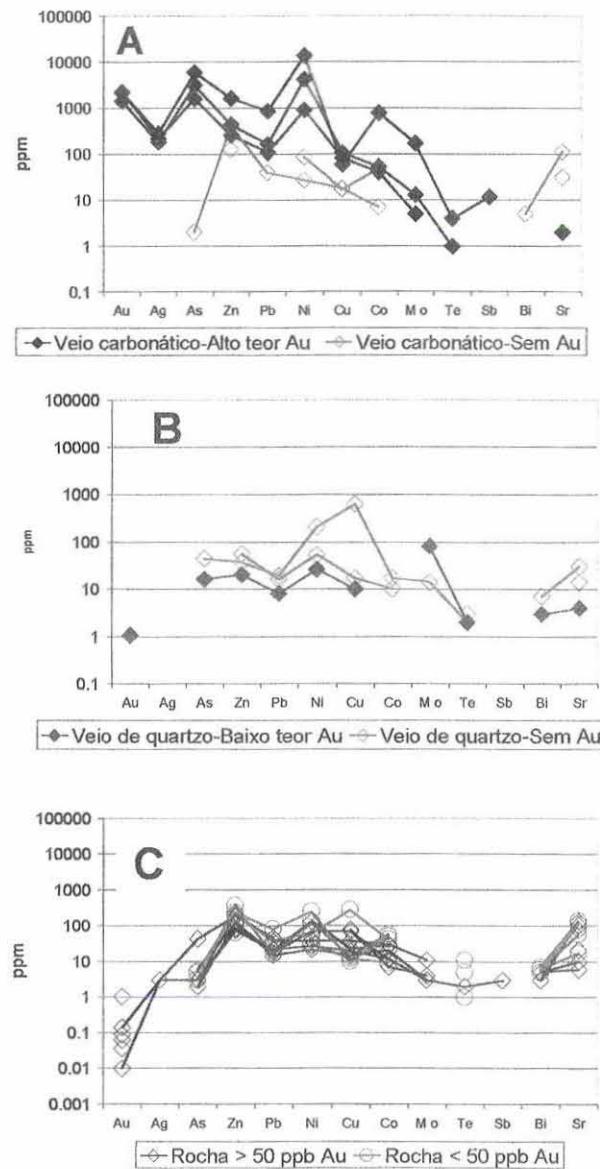


Fig. 8: Características químicas das rochas e minérios da mina Schramm. (A) Teores dos veios siderítico-ankeríticos. Junto ao Au (500-2300 ppm) os veios carbonáticos têm altos teores de prata (150 a 300 ppm), arsénio (0,15 a 0,60%) e níquel (0,01 a 1,4%). Em menores proporções o minério tem Zn (250 a 1600 ppm), Pb (100 a 850 ppm) e Co (40 a 750 ppm). Os teores de Sb, Te, Se, W, Mo e Bi são muito baixos, próximos ou menores que 10 ppm. (B) Os veios de quartzo sem Au têm teores mais elevados de As, Zn, Pb, Ni, Cu, Te, Bi e Sr que aqueles com Au. (C) Nas rochas alteradas os teores de Au > 50 ppb não são acompanhados de teores mais elevados dos outros elementos de minério.

Tabela 7: Mina Schramm – Teores das rochas e dos veios mineralizados em elementos traços de tendências calcófila, siderófila e metais raros (para saber o tipo de amostra, consultar o Tabela 5, segunda coluna).

Amostra	Au	Au	Ag	As	Zn	Pb	Ni	Cu	Co	Mo	Te	Sb	Bi	Sr
	(ppm)	(ppb)	(ppm)											
<i>Rochas encaixantes dos veios de quartzo e carbonato</i>														
SC-41	<0,01	<5	<1	1	18	10	36	5	3	12	<1	<3	<1	66
SC-39	<0,01	<5	<1	1	11	11	45	5	<3	15	<1	<3	<1	9
SC-34	<0,01	10	<1	2	49	10	90	17	20	8	<1	5	<1	25
SC-33	<0,01	<5	<1	4	11	10	38	3	7	12	<1	<3	<1	14
SC-32	<0,01	62	<1	6	45	9	93	85	14	7	<1	<3	<1	12
<i>Rochas com alterações hipogênicas</i>														
SC-31B	n.d.	n.d.	n.d.	3	360	16	126	14	58	<1	5	<3	6	17
SC-29C	n.d.	n.d.	n.d.	<1	63	<1	30	12	9	<1	<1	<3	5	109
SC-29A	n.d.	n.d.	n.d.	35	53	39	146	41	52	<1	15	<3	11	30
SC-28P	n.d.	n.d.	n.d.	5	156	17	89	104	7	<1	4	<3	8	42
SC-28E	<0,01	140	3	43	188	45	<1	78	7	4	<1	<3	<1	21
SC-24A	<0,01	<5	3	3	231	36	39	38	30	11	<1	<3	5	6
SC-22	<0,01	62	<1	3	86	22	27	19	12	3	2	<3	<1	78
SC-21	<0,01	88	<1	2	122	15	22	15	21	3	2	<3	3	134
SC-20	n.d.	n.d.	n.d.	2	423	43	40	23	23	<1	6	<3	3	56
SC-19	n.d.	n.d.	n.d.	<1	91	1	61	11	22	<1	3	<3	5	16
SC-18	n.d.	n.d.	n.d.	<1	241	16	80	17	24	<1	2	<3	3	161
SC-17	n.d.	n.d.	n.d.	<1	385	19	39	33	25	<1	5	<3	<1	48
SC-16	1,04	n.d.	<1	3	75	20	136	23	28	<1	2	3	<1	106
SC-15	n.d.	n.d.	n.d.	<1	98	12	72	132	27	<1	4	<3	7	52
SC-14	n.d.	n.d.	n.d.	5	237	81	249	10	51	<1	1	<3	7	137
SC-13B	n.d.	n.d.	n.d.	5	203	38	59	278	41	<1	11	<3	6	58
SC-13A	n.d.	n.d.	n.d.	<1	146	42	25	38	10	<1	3	<3	<1	556
SC-12	n.d.	n.d.	n.d.	<1	164	19	195	207	46	<1	7	<3	7	179
SC-11	<0,01	36	<1	6	118	18	70	68	11	<1	<1	<3	5	10
SC-10	n.d.	n.d.	n.d.	<1	109	51	11	10	<3	<1	2	<3	<1	163
SC-09	n.d.	n.d.	n.d.	<1	113	35	11	13	<3	<1	4	<3	3	9
SC-07	<0,01	31	<1	<1	36	15	15	17	4	7	3	<3	3	25
SC-02	n.d.	n.d.	n.d.	26	156	24	98	100	60	<1	29	<3	7	6
SC-01A	n.d.	n.d.	n.d.	<1	123	17	50	44	7	<1	<1	<3	5	12
<i>Veios de quartzo</i>														
SC-28M	n.d.	n.d.	n.d.	<1	<1	20	37	13	3	<1	2	<3	<1	4
SC-28L	n.d.	n.d.	n.d.	<1	32	10	39	15	1	<1	1	<3	2	21
SC-28K	1,05	n.d.	<1	16	20	8	26	10	<3	79	2	<3	3	4
SC-28I	n.d.	n.d.	n.d.	<1	55	16	53	17	10	<1	3	<3	7	30
SC-25B	n.d.	n.d.	n.d.	67	71	54	444	1366	88	<1	45	<3	6	37
SC-25A	<0,01	47	<1	44	37	19	206	627	17	14	2	<3	<1	14
SC-23A	n.d.	n.d.	<1	<1	4	19	28	14	<3	<1	2	<3	3	7
<i>Veio de carbonato (siderita + ankerita + dolomita)</i>														
SC-28O	1415	n.d.	184	3200	440	162	4186	106	52	13	1	<3	<1	2
SC-28N	2254	n.d.	217	1589	259	107	912	81	40	5	<1	<3	<1	2
SC-28G	2177	n.d.	283	6049	1624	860	13686	59	771	170	4	12	<1	2
SC-24B	n.d.	n.d.	<1	2	404	39	27	18	7	<1	4	<3	<1	31
SC-23B	n.d.	n.d.	<1	<1	125	0	86	17	46	<1	<1	<3	5	112

sulfoarseneto de Ni-Fe-Co desconhecido e de covelita (Figs. 9 e 10 e Tabela 8), cristalizados na ordem mostrada no Tabela 9.

O ouro foi a primeira fase metálica a cristalizar, seguido da galena (traços), da calcopirita (muito pouco), da arsenopirita (traços) e da esfalerita. O ouro ocorre livre em meio aos carbonatos (Fig. 10 C) e como inclusões nos sulfetos (Fig. 9 C, D, E e Fig. 10 A, B, E e F). Os sulfetos mais comuns são a gersdorftita, a millerita e a siegenita-violarita (grupo da linaeita). A gersdorftita geralmente envolve a millerita que ocorre isolada (Fig. 9 C e D) ou como exsolução dentro de uma variedade de siegenita rica em Fe, transicional para a violarita (Fig. 9 E e 10 A e B). Gersdorftita, siegenita e millerita têm inclusões de esfalerita (Fig. 9 C e E, Fig. 10 A, B e D), calcopirita (Fig. 9 C e E, Fig. 10 A), galena e arsenopirita. Nas 23 secções polidas estudadas, somente um cristal de arsenopirita foi encontrado e analisado (Tabela 8).

O cálculo das fórmulas estruturais dos minerais metálicos da mina Schramm (Tabela 10) mostra que o ouro tem 27,5% de Ag e que a siegenita é uma variedade rica em Fe, transicional para a violarita. O minério tem uma variedade de pirita níquel-cobaltifera e um sulfarseneto com fórmula $(Co, Fe, Ni)_{7,980} As_{9,000} S_{6,000}$ (Tabelas 8 e 10 e Fig. 10 E e F) do qual não foi encontrada referência na literatura. Esse mineral tem propriedades óticas semelhantes às da gersdorftita, diferenciando-se apenas pela cor cinza-creme pouco mais acentuada. Engloba cristais de ouro e tem uma franja de gersdorftita (Fig. 10 E), da qual se separa por uma superfície na qual se cristalizaram calcopirita e millerita (Fig. 10 F).

A pirita euédrica, cristalizada tardiamente, tem composição química (Tabela 8) diferente da pirita que ocorre nos locais mineralizados, junto da gersdorftita, que é anédrica e intersticial, (Tabela 8 e Fig. 9 C). A pirita anédrica tem níquel (teor médio de 0,73%) e cobalto (teor médio de 1,18%), apresenta birreflexância muito tênue e é mais clara que a pirita euédrica. A magnetita dos metajaspilitos é quimicamente

pura, desprovida de quantidades significativas de qualquer elemento traço. A covelita, identificada em apenas duas amostras, é derivada da alteração da calcopirita, ocorrida no final do ciclo principal de alteração hipogênica. As amostras com covelita (fig. 11 A) foram coletadas em locais onde as encaixantes do veios carbonático estão oxidadas (oxidação pervasiva) e caulinizadas (Tabelas 3 e 4).

CONCLUSÕES A mina Schramm é constituída por veios maciços de siderita-ankerita e por veios de quartzo com aglomerados de carbonato e de cloritas. Praticamente todo o ouro da mina está contido nos veios maciços de siderita-ankerita, em locais de distribuição errática, onde os veios alargam-se formando bolsões alongados, verticalizados, com cerca de 1,5 m de diâmetro e 10-30 m de comprimento. Nesses locais os veios de carbonato têm teores de ouro entre 500 e 2300 ppm e os veios de quartzo têm menos de 1 ppm. Fora desses bolsões não há ouro nem nos veios carbonatados nem nos veios de quartzo.

Os veios são orientados N75°-85°W e estão em fraturas tensionais

Tabela 9: Sucessão de cristalização dos minerais metálicos que cristalizaram junto ao ouro dentro dos veios carbonatados nos locais com altos teores de ouro da mina Schramm. ATENÇÃO: total de sulfetos é menor que 0,5% em volume da rocha.

MINERAIS	SUCESSÃO
(Siderita-Ankerita)	?
Tr	***
Tr	Galena
*	Calcopirita
Tr	Arsenopirita
**	Estaflerita
Tr	Pirita Ni-Co
*	Siegenita-Violarita
****	Millerita
****	Gersdorftita
*	Sulfarseneto Ni-Fe-Cu ¹
Tr	Covelita

*** Muito presente ***Comum **Presente *Muito pouco ?? Tr-Traços (raro)

Tabela 8: Mina Schramm - Médias (em frente ao nome do mineral) e resumo estatístico dos resultados de análises de minerais feitas na microssonda eletrônica.

Média das análises de ouro													
	Nº DE ANÁLISES	Ni (%)	Au (%)	Cu (%)	As (%)	Pt (%)	S (%)	Pd (%)	Ag (%)	Sb (%)	Te (%)	Bi (%)	
Ouro	16		88,32				0,07	<0,01	13,25				
s			1,04				0,04		0,82				
Menor		<0,01	86,09	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	12,36	<0,01	<0,01	<0,01	
Maior		0,69	89,88	0,031	0,39	<0,01	0,14	<0,01	14,71	0,06	0,05	0,26	
Média das análises dos sulfetos													
MINERAL	Nº DE ANÁLISES	Fe (%)	Co (%)	Ni (%)	Au (%)	Cu (%)	Zn (%)	As (%)	Pt (%)	S (%)	Pd (%)	Ag (%)	Sb (%)
Arsenopirita	1	34,39	0,06	0,09	0	0,04	0,3	46,68	0	18,74	0	0	0,01
Calcopirita	10	29,95				34,13				34,55			
s		0,11				0,09				0,10			
Menor		29,34	<0,01	<0,01	<0,01	33,69	<0,01	<0,01	<0,01	34,35	<0,01	<0,01	<0,01
Maior		30,28	0,29	0,85	0,83	34,47	0,43	0,16	0,07	34,76	0,04	0,14	0,07
Esfalerita	11	1,21	0,08				63,85		<0,01	33		0,03	0,01
s		0,39	0,11				0,19			0,11		0,02	0,01
Menor		0,33	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	63,26	<0,01	<0,01	32,46	<0,01	<0,01	<0,01
Maior		1,90	0,26	1,68	<0,01	0,09	64,23	0,87	<0,01	33,30	0,05	0,08	0,05
Gersdorfitá	13	0,54	0,84	34,05				43,95		19,52			0,19
s		0,38	0,66	0,93				0,51		0,16			0,09
Menor		0,20	0,11	31,70	<0,01	<0,01	<0,01	42,90	<0,01	19,30	<0,01	<0,01	0,014
Maior		1,33	2,80	34,97	0,14	0,03	3,28	44,85	0,104	19,90	0,03	0,06	0,33
Sulfarseneto Ni-Fe-Co?	3	3,99	2,69	27,27				50,69		14,45			0,07
s		4,29	1,27	2,71				3,71		3,39			0,07
Menor		1,18	1,30	24,50	<0,01	<0,01	<0,01	46,84	<0,01	11,22	<0,01	<0,01	0,05
Maior		8,93	3,81	29,92	0,10	0,03	0,05	54,26	0,02	17,97	0,02	0,09	0,08
Millerita	9	1,52	1,00	61,34				0,22		35,46			
s		1,19	1,06	2,67				0,19		0,80			
Menor		0,62	0,28	54,47	<0,01	<0,01	<0,01	0,022	<0,01	34,61	<0,01	<0,01	<0,01
Maior		4,46	3,65	62,91	0,25	0,02	0,10	0,61	0,14	37,37	0,02	0,09	0,03
Pirita cuédrica	15	46,35								52,92			
s		0,22								0,18			
Menor		45,84	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	52,58	<0,01	<0,01	<0,01
Maior		46,714	0,15	0,70	0,18	0,81	1,29	0,49	0,12	53,66	0,08	0,06	0,12
Pirita níquel-cobáltifera	3	45,35	1,18	0,73		0,02				52,72			
s		0,14	0,18	0,08		0,02				0,09			
Menor		45,19	1,01	0,64	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	52,61	<0,01	<0,01	<0,01
Maior		45,46	1,36	0,81	0,17	0,03	0,07	0,14	0,11	52,78	0,02	0,05	0,03
Siegenita/Vio-larita	8	10,04	11,02	35,49				0,37		41,75			
s		2,00	1,51	0,41				0,32		0,79			
Menor		6,09	8,31	34,98	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	39,88	<0,01	<0,01	<0,01
Maior		12,80	12,80	36,17	0,12	0,07	0,10	0,87	0,06	42,42	0,04	0,03	0,03
Média das análises de magnetitas													
	Nº DE ANÁLISES	Al2O3 (%)	TiO2 (%)	FeO (%)	NiO (%)	Cr2O3 (%)	MnO (%)	Fe2O3 (%)					
Magnetita	10	0,15		30,67				67,76					
s		0,11		0,19				0,46					
Menor		0,06	<0,01	30,45	<0,01	<0,01	<0,01	67,22					
Maior		0,42	0,10	30,95	0,08	0,12	0,07	68,28					

de uma zona de cisalhamento NS, verticalizada. A ausência de deformação nos veios e nas encaixantes com alterações hipogênicas indica que não houve metamorfismo ou tectonismo importantes após a fase de mineralização.

As paragêneses de alteração hipogênica das rochas encaixantes dos veios mineralizados são volumetricamente dominadas pela carbonatação (siderita + ankerita). A paragênese dominante, constituída por sericita+clorita+carbonato+quartzo, caracteriza uma alteração hipogênica principal de baixa temperatura. Uma segunda paragênese, volumetricamente limitada, constituída por óxido de ferro (pervasivo) e por caulim, caracteriza uma fase final de alteração hipogênica, de menor temperatura que a fase principal.

A carbonatação e a cloritização são as alterações hipogênicas dominantes na mina Schramm. Há um aumento contínuo de FeO*+MgO+MnO das rochas desde as rochas inalteradas (granitoide ou granulitos) até os veios maciços de carbonato.

Os teores normalizados dos veios de siderita-ankerita em elementos litófilos e incompatíveis praticamente não mudam quando o veio é estéril ou é mineralizado. Esses veios mostram-se, em relação aos chondritos, com anomalias positivas fortes em Rb, Ce e Nd e negativas de Ba e de P. Em relação ao MORB têm anomalias positivas fortes de Rb e Ce e negativas de K₂O, Ba, P₂O₅, Zr, Sm e TiO₂.

Nos bolsões de minério os veios carbonáticos têm teores de ouro

entre 500 e 2300 ppm e os veios de quartzo têm até 1 ppm. Fora das áreas de bolsões não há ouro. Junto ao ouro, também concentram-se, com altos teores, a prata (150 a 300 ppm), o arsênio (0,15 a 0,60%) e o níquel (0,01 a 1,4%). Em menores proporções o minério tem Zn (250 a 1600 ppm), Pb (100 a 850 ppm) e Co (40 a 750 ppm). Os teores de Sb, Te, Se, W, Mo e Bi são muito baixos, próximos ou menores que 10 ppm.

Os veios de quartzo nos bolsões mineralizados têm teores de ouro de até 1 ppm e de As, Zn, Pb, Ni, Cu, Co, Mo, Te, e Bi entre 1 e 50 ppm. Fora das regiões mineralizadas os teores de Au são menores que 50 ppb e os teores dos outros elementos são maiores que os da zona mineralizada, variando entre 10 e 900 ppm. Raramente as rochas alteradas têm ouro e a presença deste em teores acima de 50 ppb não traz um aumento significativo nos teores dos outros elementos, cujos teores variam entre 1 e 200 ppm.

Nos bolsões com altos teores de ouro, o total de sulfetos é menor que 0,5 % em volume, e restringe-se aos veios de siderita-ankerita. A paragênese sulfetada é composta essencialmente por sulfetos de Ni e As secundados pelos de Co, Zn e Cu. O ouro tem 27,5% de Ag e é acompanhado por galena, calcopirita, arsenopirita (muito rara), esfalerita, pirita níquel-cobáltifera, pirita, siegenita-violarita, millerita, gersdorfitá, um sulfoarseneto de Ni-Fe-Co desconhecido, com fórmula (Co, Fe, Ni)_{7,980}As_{9,000}S_{6,000}, e de covelita.

Tabela 10: Fórmulas dos minerais metálicos do minério da mina de ouro Schramm analisados na microssonda

MINERAL	NÚMERO DE MOLES ANALISADOS (Número inteiro de S ou O)	FÓRMULA ANALISADA	FÓRMULA TEÓRICA
Arsenopirita	$\text{Fe}_{0.95}\text{Co}_{0.05}\text{Ni}_{0.05}\text{As}_{1.00}\text{S}_{1.00}$	$(\text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni})_{0.95}\text{As}_{1.00}\text{S}_{1.00}$	FeAsS
Calcopirita	$\text{Cu}_{0.99}\text{Co}_{0.01}\text{Ni}_{0.01}\text{Zn}_{0.01}\text{As}_{1.00}\text{Fe}_{0.01}\text{S}_{1.00}$	$\text{Cu}_{0.99}(\text{Co}, \text{Ni}, \text{Zn}, \text{Fe})_{0.01}\text{As}_{1.00}\text{S}_{1.00}$	CuFeS_2
Esfalerita	$\text{Fe}_{0.97}\text{Co}_{0.01}\text{Ni}_{0.01}\text{As}_{0.99}\text{Zn}_{0.01}\text{S}_{1.00}$	$(\text{Zn}, \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{As})_{0.97}\text{As}_{0.99}\text{S}_{1.00}$	ZnS
Gersdorftita	$\text{Fe}_{0.95}\text{Co}_{0.05}\text{Ni}_{0.05}\text{As}_{0.95}\text{As}_{0.05}\text{S}_{1.00}$	$(\text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni})_{0.95}\text{As}_{0.95}\text{S}_{1.00}$	NiAsS
Sulfarseneto de Co-Fe-Ni	$\text{Fe}_{0.52}\text{Co}_{0.25}\text{Ni}_{0.23}\text{As}_{1.00}\text{S}_{2.00}$	$(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Ni})_{0.52}\text{As}_{1.00}\text{S}_{2.00}$	Mineral desconhecido (?)
Millerita	$\text{Fe}_{0.97}\text{Co}_{0.01}\text{Ni}_{0.01}\text{S}_{1.00}$	$(\text{Ni}, \text{Fe}, \text{Co})_{0.97}\text{S}_{1.00}$	NiS
Siegenita - Viola-rita	$\text{Fe}_{0.55}\text{Co}_{0.52}\text{Ni}_{1.36}\text{As}_{0.05}\text{S}_{1.00}$	$(\text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni})_{0.55}\text{As}_{0.05}\text{S}_{1.00}$	$(\text{Co}, \text{Ni})\text{S}_4 - \text{Ni}_3\text{FeS}_4$
Pírita cuédrica	$\text{Fe}_{1.00}\text{Ni}_{0.01}\text{Cu}_{0.01}\text{S}_{2.00}$	$(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Cu})_{1.00}\text{S}_{2.00}$	FeS_2
Pírita níquel-cobaltífera	$\text{Fe}_{0.98}\text{Co}_{0.02}\text{Ni}_{0.01}\text{S}_{2.00}$	$(\text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni})_{0.98}\text{S}_{2.00}$	$(\text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni})\text{S}_2$
Magnetita	$\text{Fe}_{0.99}\text{O}_{1.00}$	$\text{Fe}_{0.99}\text{O}_{1.00}$	Fe_2O_3
Ouro	$\text{Au}_{0.48}\text{Ag}_{0.12}$	$\text{Au}_{0.75}\text{Ag}_{0.25}$	$\text{Au}_{0.5}(\text{Ag}, \text{Pt}, \text{Pd}, \text{Cu}, \text{Te})_x$

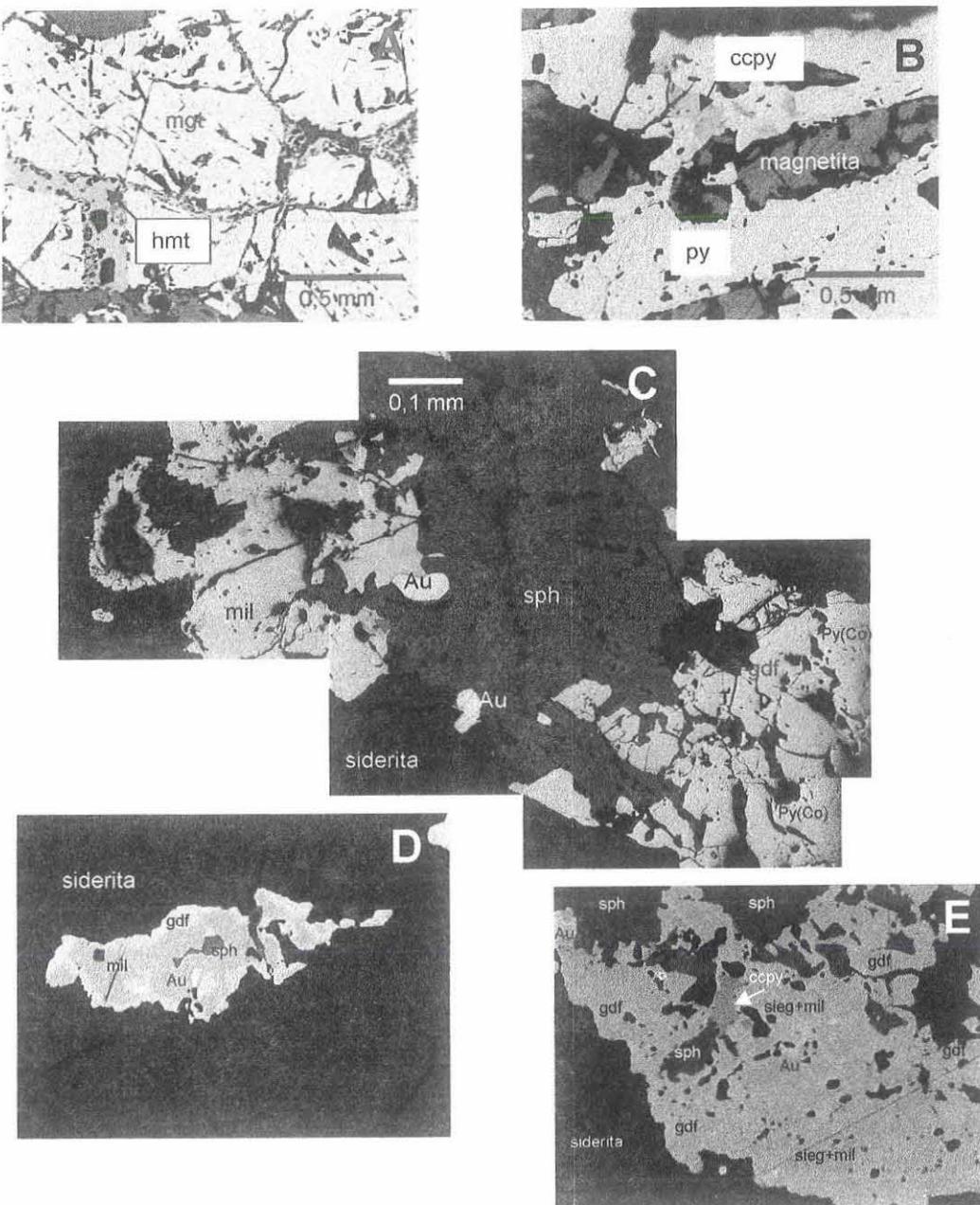


Fig. 9: Imagens de seções polidas de rochas e do minério da mina Schramm. (A) Magnetita e hematita dos metaspilitos (luz azul, nícois //). (B) Pírita e calcopirita intersticiais na magnetita dos metaspilitos (luz amarela, nícois //). (C) Associação de sulfetos típica dos locais com altos teores de Au: gersdorftita que envolve millerita, calcopirita, ouro, esfalerita e pírita (variedade níquel-cobaltífera) (luz amarela, nícois //). (D) Gersdorftita englobando millerita, ouro e esfalerita (luz amarela, nícois //). (E) Associação complexa de gersdorftita, siegenita com exsolução de millerita, esfalerita, ouro e calcopirita (luz amarela, nícois //). Abreviações usadas nas imagens: gdf = gersdorftita, sieg = siegenita, mil = millerita, py = pírita, ccpy = calcopirita, sph = esfalerita, Au = ouro, mgt = magnetita, hmt = hematita e cvt = covelita.

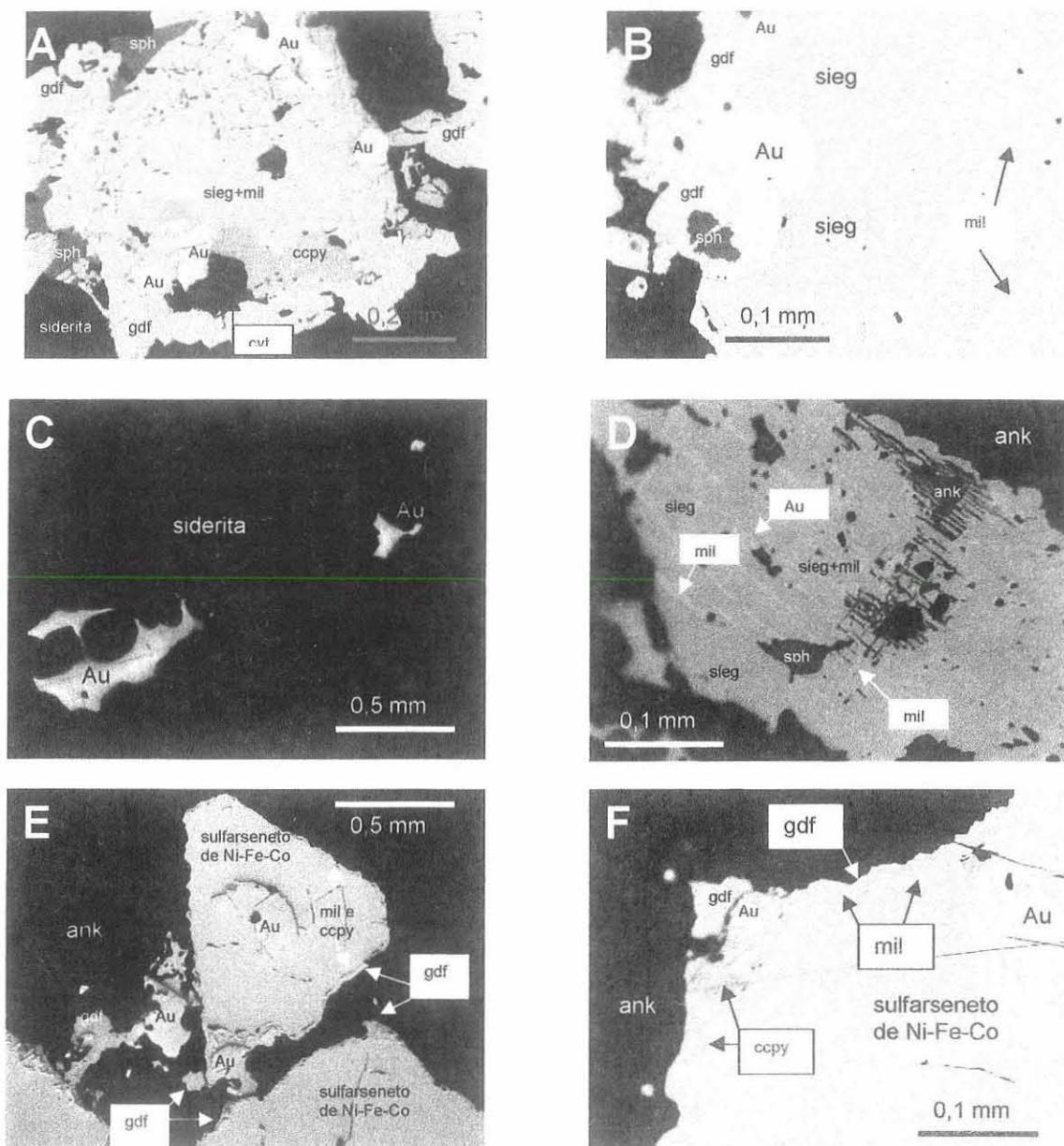


Fig. 10. Imagens de seções polidas do minério da mina Schramm. (A) Associação de gersdorffita, ouro, calcopirita, esfalerita e siegenita com exsolução de millerita. A covelita é produto da transformação tardia da calcopirita (luz amarela, nicóis //). (B) Detalhe da imagem A, mostrando as lamelas de millerita exsolvidas na siegenita (luz amarela, nicóis //). (C) Ouro livre dentro da siderita (luz amarela, nicóis //). (D) Siegenita com exsolução de millerita e inclusões de esfalerita. Notar resíduos não substituídos de ankerita dentro da siegenita-millerita (luz amarela, nicóis //). (E) Sulfarseneto de Ni-Fe-Co, com fórmula (Co, Fe, Ni)_{7,980}As_{9,000}S_{6,000}, do qual não há menção na literatura. (F) Detalhe da imagem E mostrando franja de gersdorffita separada do sulfarseneto de Ni, Fe, Co por uma superfície na qual se cristalizaram calcopirita e millerita. Mesmas abreviações da figura 9.

Referências

- Babinsky M., Chemale Jr. F., Van Schmus W.R., Hartmann L.A., da Silva L.C. 1997. U-Pb and Sm-Nd geochronology of the neoproterozoic granitic-gneissic Don Feliciano Belt, southern Brazil. *Jour. South Amer. Earth Sci.* 3-4:263-274.
- Basci M.A. 1985. *O Cinturão Don Feliciano em Santa Catarina*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutoramento, 193 p.
- Biondi J.C., Schicker, G. e Bugalho, A. 1992. Processos mineralizadores em bacias tardiorogênicas: I - Influência das estruturas rígidas na geração dos depósitos da Minepar e do Ribeirão da Prata, Grupo Itajaí (SC). *Rev. Brasil. Geociências*, 22(3):275-288.
- Pearce J.A. 1983. Role of the subcontinental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: "Continental Basalts and Mantle Xenoliths", C.J. Hakesworth e M.J. Norry (ed.), Shiva, Nantwich, 230-249.

Rostrolla S.P. 1991. *Tectônica e sedimentação da Bacia do Itajaí*. Departamento de Geociências, Universidade Federal de Ouro Preto. Tese de Mestrado, 131 p.

Thompson R.M. 1982. British Tertiary volcanic province. *Scott. Jour. Geol.*, 18:49-107.

Manuscrito A-1191
Recebido em 20 de novembro de 2000
Revisão dos autores em 10 de outubro de 2001
Revisão aceita em 11 de outubro de 2001