



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Curso de Graduação em Geologia



**ROCHAS HOSPEDEIRAS E ALTERAÇÃO
HIDROTHERMAL ASSOCIADAS ÀS
MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS DOS CORPOS
TURMALINA E SATINOCO, MINA DE OURO DE
TURMALINA, PITANGUI (MG)**

Trabalho de Conclusão de Curso

Aluna: Mônica Santos de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Roberto Perez Xavier

Coorientador: Prof. Dr. Elson Paiva de Oliveira

Campinas, 2012



**ROCHAS HOSPEDEIRAS E ALTERAÇÃO
HIDROTERMAL ASSOCIADAS ÀS
MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS DOS CORPOS
TURMALINA E SATINOCO, MINA DE OURO DE
TURMALINA, PITANGUI (MG)**

Trabalho de Conclusão de Curso

Aluna: Mônica Santos de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Roberto Perez Xavier

Coorientador: Prof. Dr. Elson Paiva de Oliveira

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ticiano José Saraiva dos Santos

MSc. Matheus Fernando Ancelmi

Campinas, Dezembro de 2012



AGRADECIMENTOS Agradeço a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho. Primeiramente aos meus orientadores, Prof. Dr. Roberto Perez Xavier e Prof. Dr. Elson Paiva de Oliveira, pela inspiração e ajuda ao longo dos anos de graduação, principalmente durante os últimos meses, desde a definição do projeto. Ao Robertinho, meu obrigada pelo constante norteamento durante o trabalho; ao Elson, minha gratidão pelos dois anos de orientação e aprendizado em projetos de iniciação científica.

William Fagundes Campos, e outros geólogos e funcionários da Jaguar Mining, agradeço pela recepção em Pitangui e na planta e pelo auxílio com parte da bibliografia e outros dados. Agradeço também aos técnicos dos laboratórios do IGe/UNICAMP, Dailto Silva e Érica Martini Tonetto.

Obrigada aos colegas da geologia da Unicamp, em especial, Giseli Ramos, Gustavo Melo e Marco Delinardo, eternos monitores! Verônica Godinho Trevisan, por estar sempre disposta a ajudar e pela companhia nos finais de semana e feriados passados ao microscópio. Julia Cristina Galhardo, pela parceria e amizade. Raphael Souza, Wellington Marchesin, Rodrigo Rocatto, Renato Bevilacqua, obrigada pelo constante bom humor! Ivan Ryuji e Camila Favero, obrigada por tudo, principalmente pelas gargalhadas tão gostosas e bem vindas ao longo desses cinco anos. Julia Oliveira, pela motivação na reta final!

Agradeço àqueles que suportaram a minha ansiedade durante os últimos cinco anos, principalmente ao longo deste semestre. Em especial: Lanarky Mendes, Celso Suzuki, Andreia dos Santos, Lívia de Oliveira, Camila Stipsky, Bruna Lima, Walter Oliveira e Maria Ivone Aranha.

Por fim, Tiago Casseb Barbosa, agradeço pela motivação ininterrupta, pelo apoio e ajuda e, acima de tudo, pela paciência.



Resumo A Mina de Ouro de Turmalina, localizada em Pitangui (MG), compreende os corpos de minério de Turmalina e Satinoco, que fazem parte de um lineamento de quatro jazidas auríferas oblíquo à sequência estratigráfica da região e paralelo a uma zona de cisalhamento cuja formação foi responsável pela circulação do fluido hidrotermal mineralizante. No conjunto de depósitos auríferos do Quadrilátero Ferrífero, os da Mina de Ouro de Turmalina estão entre os que ainda carecem de estudos de maior detalhe. Os depósitos estão hospedados no Grupo Pitangui, uma sequência vulcano-sedimentar arqueana correlacionável ao Grupo Nova Lima. No corpo Turmalina, a mineralização aurífera é hospedada em um nível de granada-clorita/biotita xisto; em Satinoco, a mineralização ocorre tanto em um nível de anfibólio-clorita xisto quanto em formação ferrífera bandada. A composição mais sódica do plagioclásio em Turmalina coloca o biotita xisto na fácies epidoto-anfibolito (transição de xisto-verde para anfibolito), enquanto que a quase ausência de epidoto em Satinoco coloca o anfibólio xisto na fácies anfibolito. Há evidências de que a mineralização ocorreu pós-metamorfismo regional, em condições de P e T menores que as do pico metamórfico. A partir dessas evidências foi possível estabelecer uma sequência de formação das paragêneses, determinando o tempo de ocorrência da mineralização em relação ao metamorfismo.

Palavras-chave: alteração hidrotermal, ouro orogênico; Mina de Ouro de Turmalina; fácies anfibolito.

Abstract *Host rocks and hydrothermal alteration associated with auriferous mineralization of Turmalina and Satinoco ore bodies, Turmalina Gold Mine, Pitangui (MG).* The Ouro de Turmalina Mine, located at Pitangui, comprises the Turmalina and Satinoco ore bodies that belong to a four auriferous lodes lineament oblique to the regional stratigraphic sequence and parallel to a shear zone responsible for the circulation of the mineralizing hydrothermal fluid. Overall Quadrilátero Ferrífero gold deposits, the Turmalina and Satinoco ore bodies are amongst those that still need more detailed studies. The lodes are hosted at the Pitangui Group, an Archaean metavolcano-sedimentary sequence that can be correlated to the Nova Lima Group. At the Turmalina ore body, the gold lode is hosted at a garnet–chlorite/biotite schist level; at the Satinoco ore body, the gold lode is hosted in both amphibole–chlorite schist level and banded iron formation. The sodium composition of plagioclase at Turmalina places de biotite schist at epidote-amphibolite facies (transition



between greenschist and amphibolite facies), while the near absence of epidote at Satinoco places the amphibole schist at amphibolite facies. There are evidences for post-metamorphism mineralization occurring under conditions of P and T smaller than the conditions of peak metamorphism. From those evidences, it was possible to establish a sequence for the mineral assemblage formation, determining the relative timing of the mineralization in respect to the metamorphism.

Keywords: hydrothermal alteration; orogenic gold; Turmalina Gold Mine, amphibolite facies.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	5
LITOESTRATIGRAFIA REGIONAL	6
MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS	8
MATERIAIS E MÉTODOS	12
OS CORPOS TURMALINA E SATINOCO: ROCHAS HOSPEDEIRAS E ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL	13
TURMALINA	13
SATINOCO	19
MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS EM TURMALINA E SATINOCO	21
DISCUSSÕES	24
CONCLUSÕES	29
REFERÊNCIAS	30
ANEXOS	33

INTRODUÇÃO O Quadrilátero Ferrífero, localizado na porção sul do Cráton do São Francisco (sul do estado de Minas Gerais), constitui um dos principais distritos auríferos brasileiros, com uma produção de ouro que corresponde a aproximadamente 40% da produção total do Brasil (Ribeiro-Rodrigues *et al.* 2000). Os depósitos auríferos mais importantes concentram-se no setor N-NE dessa província, hospedados particularmente em sequências vulcano-sedimentares de idade arqueana do Grupo Nova Lima, na base do Supergrupo Rio das Velhas, uma típica sucessão do tipo *greenstone belt*. Em geral, essas mineralizações são consideradas do tipo ouro orogênico, estruturalmente controladas e ocorrem principalmente na forma de (1) zonas sulfetadas em substituição a formações ferríferas bandadas; (2) sulfetos disseminados em rochas com alteração hidrotermal ao longo de zonas de cisalhamento e (3) veios auríferos compostos por quartzo, carbonato e sulfetos em rochas máficas, ultramáficas, vulcânicas félsicas e rochas sedimentares clásticas (Ribeiro-Rodrigues *et al.* 1997; Lobato *et al.* 1998b; Lobato *et al.* 2001c). As rochas hospedeiras mais comuns são fácies oxidadas e carbonatadas de formações ferríferas bandadas (e.g., os depósitos de Cuiabá, São Bento e Raposo) e a unidade Lapa Seca (e.g., a mina de Morro Velho). A maioria dos depósitos auríferos restantes é hospedada por metabasaltos. Os depósitos do Quadrilátero Ferrífero são similares a outros depósitos hospedados em crátons arqueanos, em rochas metamorfizadas em fácies anfíbolito e principalmente em fácies xisto-verde. (Lobato *et al.* 2001c).

No conjunto de depósitos auríferos do Quadrilátero Ferrífero, o de Turmalina é um dos que ainda carece de estudos de maior detalhe. Segundo Lobato & Pedrosa-Soares (1993), Turmalina é hospedado em rochas do Grupo Pitangui assim como com os depósitos de Pontal, Faina e Satinoco. O Grupo Pitangui é considerado por Frizzo *et al.* (1991) como pertencente a uma sequência correlacionável ao Supergrupo Rio das Velhas, sendo constituído por rochas metavulcânicas, metassedimentares e formações ferríferas bandadas. Segundo os autores, os depósitos de Pontal, Faina e Satinoco são corpos de minério de origem hidrotermal epigenética, com controle estrutural, enquanto o depósito de Turmalina é um corpo estratiforme singenético. Em Turmalina e Satinoco, o ouro ocorre em níveis sulfetados em rochas que foram submetidas a um grau metamórfico provavelmente maior que o imposto às hospedeiras dos demais depósitos do Quadrilátero Ferrífero.

A Mina de Ouro de Turmalina engloba os corpos de minério Turmalina e Satinoco e encontra-se em fase de mina subterrânea operada pela Jaguar Mining Inc., através de uma subsidiária chamada Mineração Turmalina. O complexo da mina fica localizado a 6 km ao sul do município

de Pitangui e a aproximadamente 140 km a noroeste de Belo Horizonte. A reserva é de 3.758.385 toneladas de ouro, com teor médio de 3,89 g/t Au, sendo a produção em 2011 da ordem de 61.400 onças de ouro. Nesse trabalho, os corpos Turmalina e Satinoco foram investigados, no que diz respeito à alteração hidrotermal e às características do minério, com o objetivo de definir os tipos de alteração e sua distribuição espacial no entorno da mineralização aurífera, além de caracterizar as rochas hospedeiras associadas.

LITOESTRATIGRAFIA REGIONAL A região de Pitangui (MG) (Figura 1) é correspondente ao extremo ocidente do Supergrupo Rio das Velhas, estando em continuidade com a sequência arqueana do Quadrilátero Ferrífero por meio de uma faixa de rochas que aflora em discordância angular sobre as rochas metassedimentares do Supergrupo Minas, de idade paleoproterozóica. Frizzo *et al.*(1991) propõem para a região a divisão da sequência arqueana em Grupo Pitangui, a unidade vulcânica basal, e Grupo Antimes, o pacote metassedimentar sobreposto em discordância erosiva às rochas vulcânicas. Na porção ocidental do Quadrilátero Ferrífero, essas rochas correspondem respectivamente aos grupos Nova Lima e Maquiné.

O embasamento da sequência metavulcano – sedimentar é constituído por rochas gnáissicas e graníticas foliadas. O Grupo Pitangui pode ser dividido em duas unidades, basal e superior. A basal, com cerca de 200 metros de espessura, é composta por rochas metamáficas e meta-ultramáficas, restritas ao contato com o embasamento a SW de Pitangui e nas adjacências de Pequi, a NE de Pitangui. Essa unidade inclui anfibólio-clorita xisto e corpos de serpentinito, com a presença ocasional de formações ferríferas bandadas. A unidade superior é composta por metariolitos e meta-andesitos, com termos vulcanoclásticos e intercalações de filitos carbonosos, metacherts puros a ferruginosos e formações ferríferas bandadas. A espessura deste grupo é superior a 2000 m.

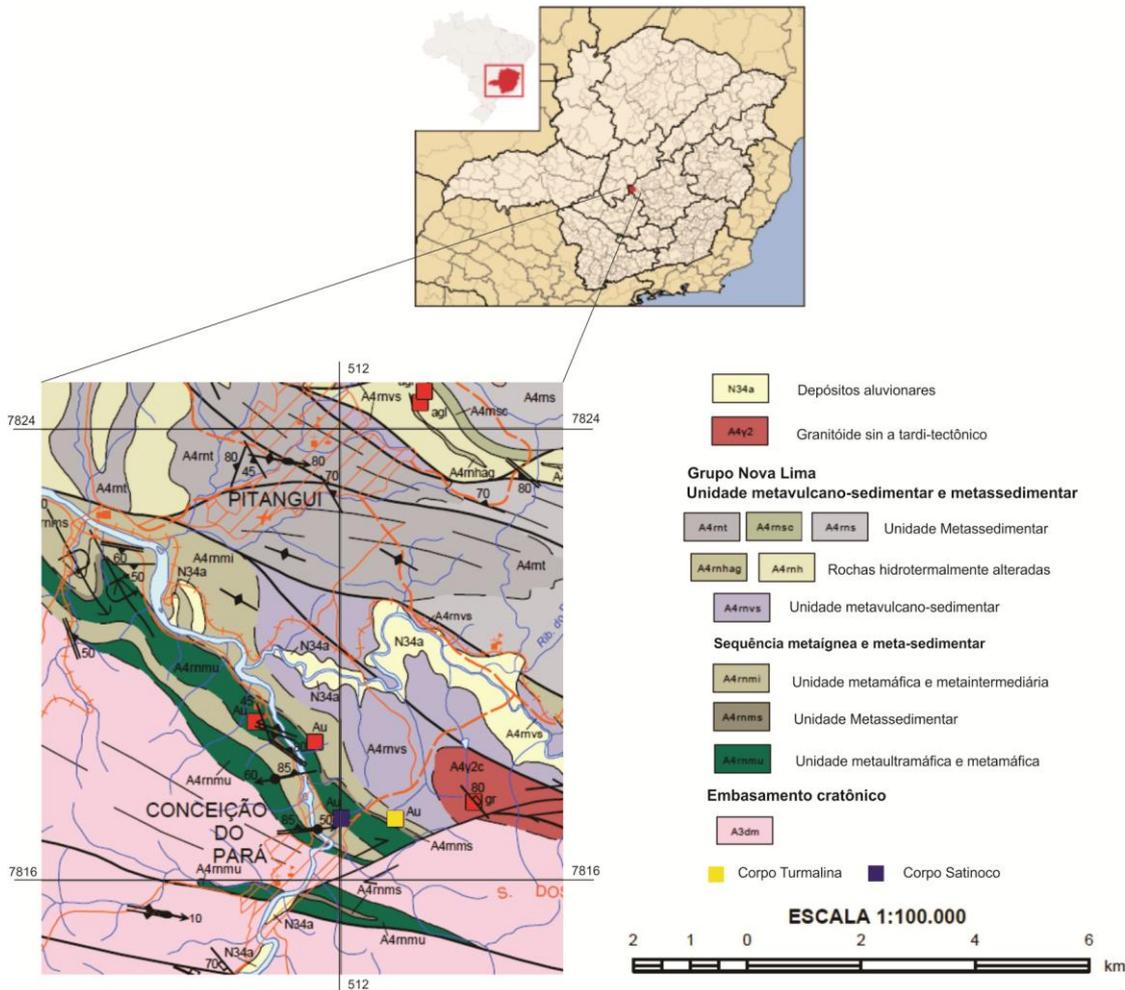


Figura 1 – Mapa geológico da região de Pitangui com as localizações dos municípios de Pitangui e Conceição do Pará e dos corpos Turmalina e Satinoco destacadas. Adaptado de Romano (2006).

O Grupo Antimes também pode ser dividido em duas unidades: (1) inferior, constituída por quartzitos impuros e níveis de conglomerados oligomíticos com espessura máxima superior a 500 m e; (2) superior, composta essencialmente por filitos sericíticos, com espessura acima de 1000 m. Os grupos são sobrepostos por um pacote de rochas clásticas proterozóicas do Supergrupo Minas. Na base do pacote há uma unidade espessa e contínua de quartzito, com níveis esporádicos de metaconglomerado, enquanto que em direção ao topo ocorrem filitos cinza enriquecidos em hematita.

As rochas dos Grupos Pitangui e Antimes apresentam em escala regional foliação NW com mergulho para NE. Um forte lineamento tectônico com caimento para SE-E, oposto ao do Supergrupo Minas, é indicado por eixos de dobras apertadas e clivagens de crenulação. O Grupo Pitangui encontra-se segmentado localmente por falhamentos N-NE.

MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS

Os primeiros depósitos auríferos trabalhados na região foram os aluviões do Rio São João, entre Pitangui e Onça de Pitangui, e os seus tributários, os aluviões do Rio Pará e alguns veios de quartzo enfumaçado (Frizzo *et al.* 1991). A prática garimpeira foi iniciada na primeira metade do séc. XVIII pelos Bandeirantes e outros pioneiros, e se estendeu até 1940. Em 1989 houve uma invasão garimpeira nos aluviões do Rio Pará que teve que ser controlada pelas autoridades locais. Os veios de quartzo mais lavrados situam-se nas rochas metassedimentares da unidade superior do Grupo Antimes, estendendo-se por mais de 12 km desde Pitangui e passando por Onça de Pitangui, no chamado Lineamento Penha – Onça. Em 1979, buscando a definição do corpo de minério, a Unigeo Geologia e Mineração LTDA. pesquisou sem sucesso as antigas escavações. Em 1988, após a definição dos corpos Pontal, Faina, Satinoco e Turmalina, os direitos minerários foram transferidos para a Mineração Morro Velho S.A. Esses corpos de minério localizam-se na região do encontro dos rios São João e Pará (Figura 2) e, com exceção do Pontal onde já havia uma antiga escavação, foram definidos em terrenos considerados *greenfields*.

O corpo de minério de Pontal posiciona-se próximo a confluência dos rios São João e Pará, onde a mineralização aurífera hospeda-se em metaconglomerados, metalapilli tufos e metatufos com foliações de direções N05W a N35E. Localmente as hospedeiras são muito fraturadas, com as fraturas preenchidas por quartzo e/ou carbonato. O corpo de minério de Faina situa-se a 1,6 km a SE de Pontal e a mineralização ocorre num pacote de anfibolitos com intercalações de clorita – anfibólio xistos geralmente dobrados. A foliação predominante é N20W/60NE e os eixos das dobras têm atitude N62E/54 que definem o controle estrutural da mineralização. Este pacote é localizado estratigraficamente abaixo das metapiroclásticas do Pontal. Tanto em Pontal como em Faina, a mineralização ocorre em níveis sulfetados subparalelos e tabulares, com pirita, pirrotita, arsenopirita e bertierita associados à intensa silicificação e carbonatação formadas pela alteração hidrotermal das rochas hospedeiras (Frizzo *et al.* 1991). Segundo os autores, a alteração hidrotermal ocorreu em pulsos alternados e sobrepostos formando feixes de carbonato e sílica que se interdigitam em uma estrutura anastomosada. A precipitação do ouro ocorreu associada à dos sulfetos, com o mesmo caráter pulsativo e heterogêneo da alteração hidrotermal e resultando em uma distribuição irregular do teor de ouro nos corpos de minério. Nos flancos de algumas dobras os corpos mineralizados encontram-se controlados por planos de fraturas. No corpo de minério de Faina, veios de quartzo não mineralizados

cortam as zonas de alteração hidrotermal.

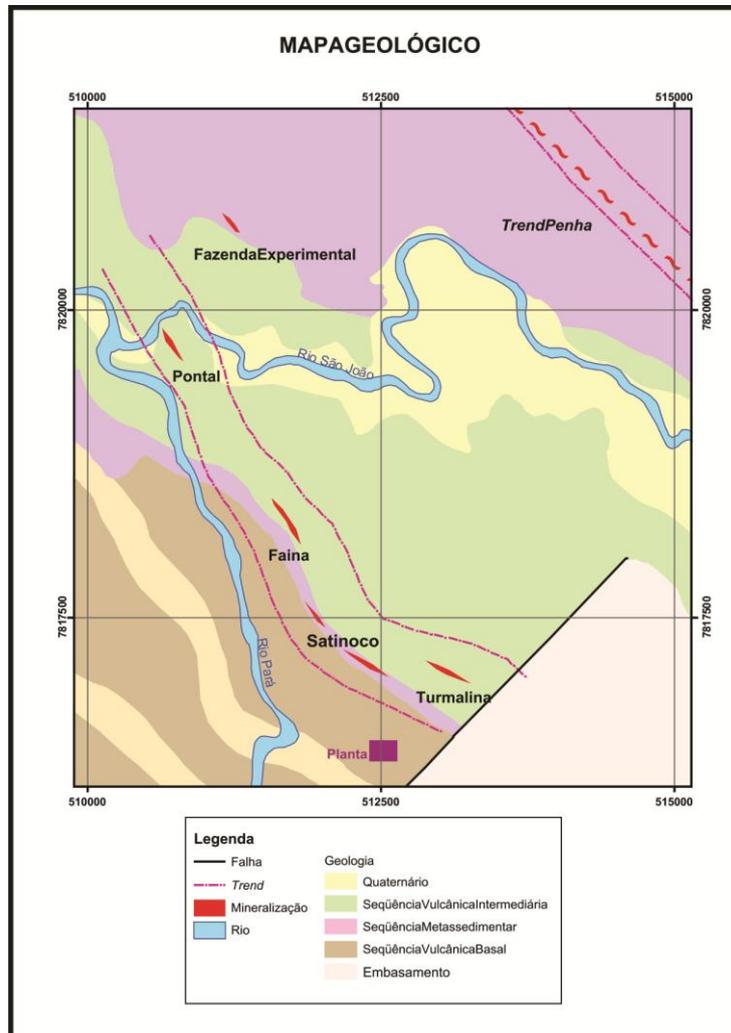


Figura 2 – Mapa geológico simplificado da região de Pitangui mostrando a localização e a disposição dos corpos mineralizados de Pontal, Faina, Satinoco e Turmalina. (Retirado de Campos *et al.* 2008).

Satinoco localiza-se estratigraficamente abaixo do pacote de anfibolito que hospeda o minério de Faina, e a 1,4 km a SE desse corpo, onde segmenta-se em Satinoco NW e Satinoco SE, ambos com 100 m de extensão e espessura média de 3 metros, e Satinoco Principal, com 200 m de extensão e espessura média de 4 metros. Todos os corpos têm teor médio de 4,5 g/t de Au e apresentam um *plunge* de N70E/60NE que controla a mineralização em profundidade (Campos *et al.* 2008). Segundo Frizzo *et al.* (1991), a sequência que hospeda o minério é formada por unidades de menos de 10 m de espessura de formação ferrífera bandada, compostas por quartzo, magnetita, carbonato, clorita e granada. Essas

unidades têm direção predominante N35W/65NE, com lineação mergulhando 55° também para NE, e se alternam com níveis de clorita–anfibólio xisto, clorita xisto, granada–clorita xisto e biotita xisto. A mineralização ocorre em veios subverticalizados que cortam a sequência estratigráfica, contendo bolsões de pirita, pirrotita e valores anômalos de As e Sb. Nos xistos o minério ocorre como níveis sulfetados delgados semelhantes aos do Pontal, compostos por pirita, pirrotita, arsenopirita e bertierita, e associados à sílica e carbonato. Embora o hidrotermalismo tenha alterado as hospedeiras por meio da carbonatação, biotização e silicificação, acompanhados de sulfetação e aporte de Au (Campos *et al.* 2008), a alteração não ocorreu de forma significativa, sendo os veios de carbonato, quartzo e sulfetos restritos, de espessura centimétrica e ocorrendo até poucos metros a partir da zona mineralizada.

Turmalina se diferencia dos outros três anteriores pela quase ausência de carbonato e minerais de antimônio na mineralização. O corpo se encontra a 0,9 km E de Satinoco e a mineralização ocorre em um nível de sericita–biotita xisto localizado abaixo de um horizonte de metapelito e acima de um nível de metatufo clorítico similar ao do Pontal (Frizzo *et al.* 1991). O minério associa-se a uma forte silicificação da hospedeira e à presença de arsenopirita, pirrotita e pirita muito finos (Figura 3). O corpo Turmalina divide-se em dois corpos denominados de A, mais inferior, e B, mais superior, que estão deslocados cerca de 50 metros por falhamento. O corpo A é o mais importante, com espessura média de 8 metros e 250 m de extensão enquanto o corpo B é menos contínuo, tem espessura média de 3 metros e 200 m de extensão. Ambos os corpos têm teor médio de 6 g/t de Au. A mineralização é tabular com *plunge* N65W/subvertical próximo à superfície e que diminui para 60°NE até 45°NE em profundidade. Segundo Campos *et al.* (2008), a alteração hidrotermal que afeta as hospedeiras desse corpo inclui sericitização, biotização e silicificação, acompanhados de precipitação de sulfetos e Au. O ouro é fino, com uma granulometria que varia de 1 a 60 micra, e ocorre incluso em arsenopirita, micas, pirita, pirrotita e quartzo, e no contato entre os grãos dos minerais citados (Vieira, 2007).

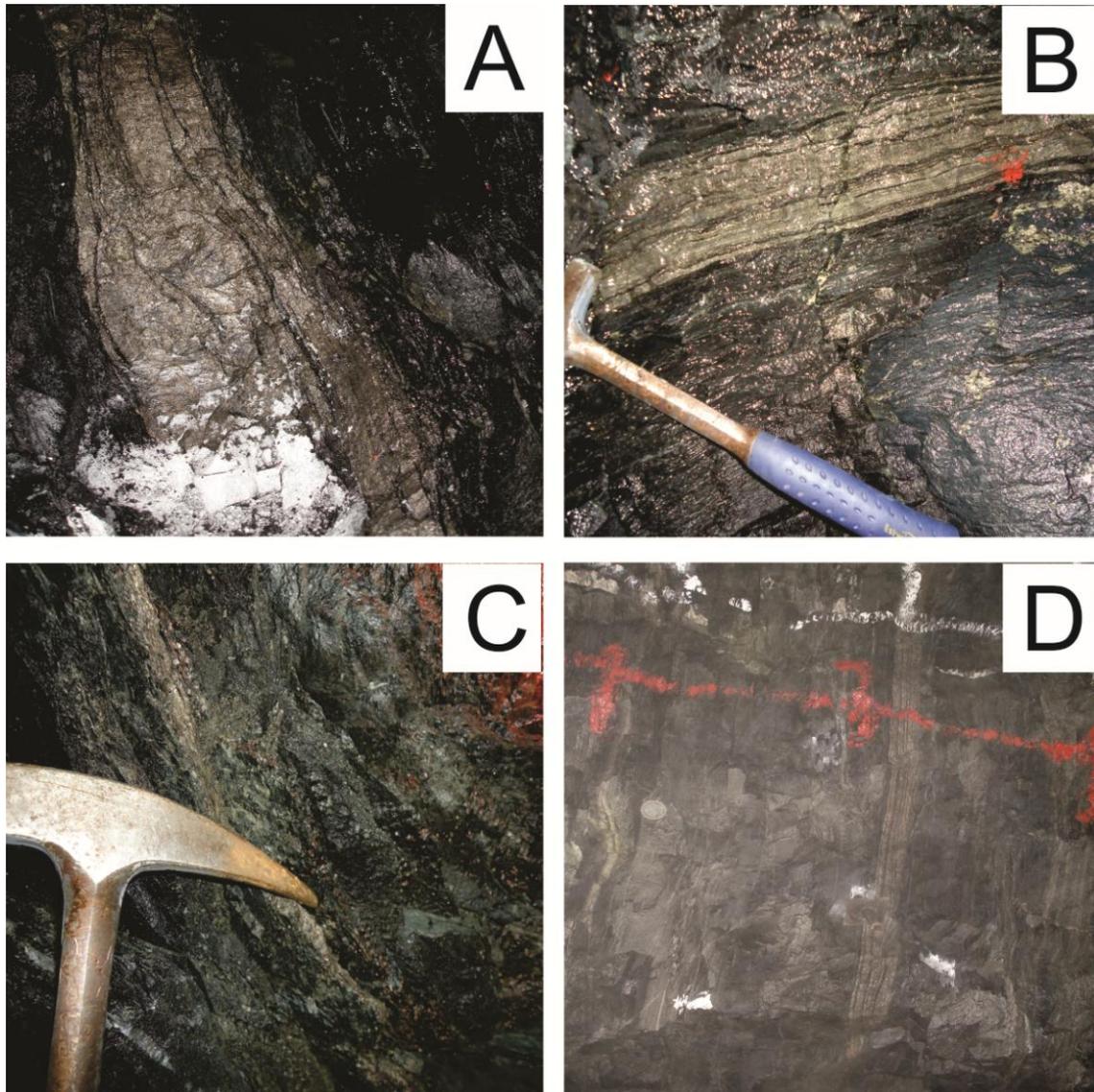


Figura 3 – Modo de ocorrência do minério no corpo de Turmalina. A e B – zona mineralizada composta por arsenopirita, pirrotita e pirita muito finos associados a forte silicificação da rocha encaixante; C – zonas ricas em granada associadas à silicificação e D – caráter tabular e estratiforme da zona mineralizada. Imagens da galeria: Roberto Perez Xavier e Ethiane Agnoletto.

MATERIAIS E MÉTODOS No período entre 01 e 11 de Julho de 2012 foi realizado um trabalho de campo na Mina de Ouro de Turmalina, em Pitangui – MG. Nesta atividade de campo foram descritos três furos de sondagem de galeria que interceptam os corpos de Turmalina e Satinoco: (1) furo 63LM01 (7.817.241,2 N e 513.328,7 E, cota 249,9 m, azimute N44° e inclinação de -1°) com 56,50 m de profundidade no corpo B de Turmalina; (2) furo FTS845 (7.817.169,7 N e 513.314,97 E, cota 207,2 m, azimute N78° e inclinação de -4°) com 138,55 m de profundidade no corpo A de Turmalina; (3) furo LM22GTNW1 (7.817.200,02 N e 512.392,11 E, cota 572,7 m, azimute N356° e inclinação de +24°) com 58,70 m de profundidade no corpo Satinoco. A partir das descrições, foram elaboradas seções para cada um dos furos, ilustrando os tipos e distribuição da alteração hidrotermal nas hospedeiras, concentração de veios e de sulfetos, que se encontram nas Figuras 4, 5 e 13. Nesse processo também foram coletadas amostras representativas da alteração hidrotermal e do minério, das quais vinte foram selecionadas (Tab. 1) para lâminas delgadas-polidas utilizadas na petrografia convencional e no microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Corpo B Turmalina	TCCMO-01	Corpo A Turmalina	TCCMO-13	Corpo C Satinoco	TCCMO-10
	TCCMO-02		TCCMO-16		TCCMO-22
	TCCMO-05		TCCMO-18		TCCMO-23
	TCCMO-06		TCCMO-19		TCCMO-24
	TCCMO-07		TCCMO-20		TCCMO-25
	TCCMO-08		TCCMO-21		TCCMO-26
	TCCMO-09				
	TCCMO-11				

Tabela 1 – Relação das amostras selecionadas para confecção de lâminas delgadas-polidas.

O MEV utilizado foi o LEO 430i com varredura digital e controlado por programa de computador da Zeiss. Acoplado ao MEV há um espectrômetro de energia dispersiva (EDS) da Oxford Instruments para análises semi quantitativas. A energia do feixe foi mantida em 20 kV e a corrente foi ajustada para 3000 μ A.

Durante a observação no microscópio petrográfico convencional, foram descritas associações e paragêneses minerais metamórficas e de alteração hidrotermal que indicaram as condições de temperatura sob as quais a rocha hospedeira foi metamorfisada. Também foram feitas observações a respeito das evidências texturais que indicam qual foi o tempo da mineralização com relação ao metamorfismo. No MEV foi analisado principalmente o modo de ocorrência do ouro nas lâminas que representam o minério dos corpos estudados, e também foram analisadas as

composições de alguns minerais, como granada, anfibólio, piroxênio e clorita. A confecção das lâminas e a utilização de ambos os tipos de microscopia foram realizadas nos laboratórios do IG/UNICAMP.

OS CORPOS TURMALINA E SATINOCO: ROCHAS HOSPEDEIRAS E ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL

TURMALINA A mineralização aurífera no corpo de Turmalina está hospedada em clorita xisto que se intercalada de forma gradual ou brusca com biotita xisto (Anexos 1 e 2). As rochas são formadas por biotita, clorita, granada, quartzo e feldspato, com pouco piroxênio, e apatita, epidoto e hematita como acessórios. Clorita substitui biotita (Figura 4 – A), configurando uma textura pseudomórfica. A biotita é preservada na porção distal, mas conforme a proximidade com a zona mineralizada aumenta, é totalmente alterada. Distal ao minério, a clorita se apresenta na forma de ripas, com o pleocroísmo da biotita preservado; no minério, como uma massa de granulação muito fina, também com o pleocroísmo da biotita preservado. Essas massas de clorita ocorrem como veios espessos, intercalados com veios de quartzo, ambos concordando com a foliação S_n . Onde a quantidade de clorita é alta, não há preservação da biotita. A clorita é ferro-magnésiana, entretanto, no minério é ferrífera quando associada à pirita, alterando os grãos de granada mais próximos. A clorita apresenta textura radiada, geralmente onde a sua concentração é maior. Uma textura lepidoblástica é formada pela iso-orientação dos cristais de biotita/clorita, que marcam a foliação (Figura 4 – B). Apesar de muitos cristais apresentarem uma orientação aleatória, uma direção preferencial predomina.

Ambos os tipos de rochas contêm zonas ricas em granada porfiroblástica e poiquiloblástica, com inclusões de sulfeto e, principalmente, de quartzo em espiral (Figura 4 – C). Há sombra de pressão, e os grãos são contornados pela foliação (Figura 4 – D). Próximo da zona mineralizada, a granada é incipientemente alterada para clorita ferro-magnésiana. No minério, ocorre como grãos idiomórficos, pequenos e sem inclusões, truncados pela foliação, associados a epidoto-zoisita e alterados para clorita e sericita.

Veios de quartzo ocorrem acompanhando a foliação S_n de setores mais distais às zonas mineralizadas, entretanto, próximo ao minério, os veios são mais espessos e discordantes (Figura 5). A silicificação é intensa e está associada à pirrotita. O quartzo tem textura granoblástica, mas nas porções mais distais ao minério, os grãos apresentam um leve estiramento. O ortoclásio, o plagioclásio (An_{0-40}) e o microclínio também apresentam

textura granoblástica. Mirmekitos ocorrem nas zonas distais. Apatita é incluída principalmente no quartzo e no feldspato. Uma massa fina de clorita e sericita é produzida pela alteração do feldspato. Piroxênio (augita) é alterado para anfibólio (Figura 6 – A).

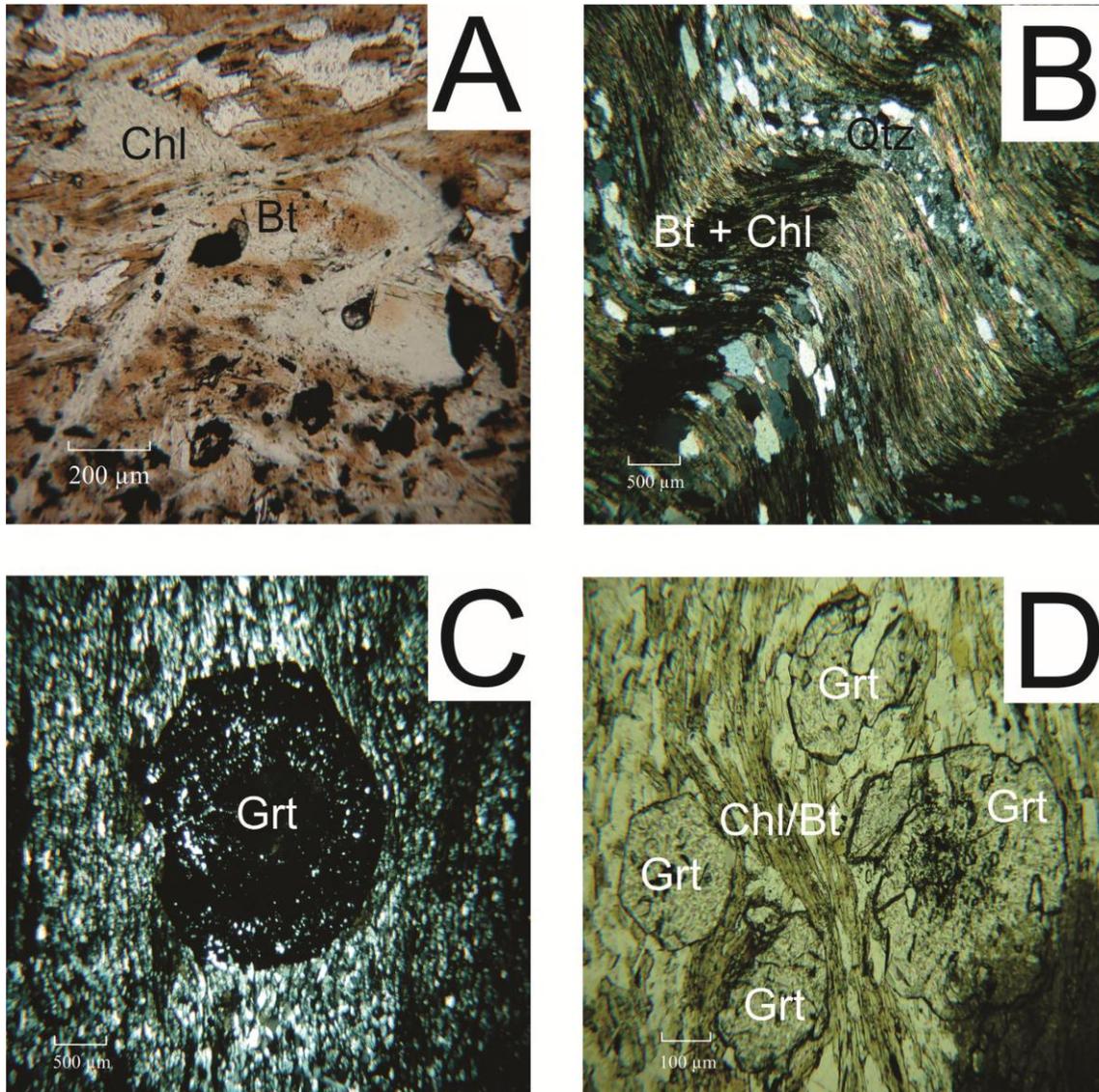


Figura 4 – Feições petrográficas representativas dos corpos A e B de Turmalina. A – clorita alterando biotita numa textura pseudomórfica; B – foliação dada pela biotita (pseudomorfisada por clorita) crenulada; C – porfiroblasto de granada poiquiloblástica com inclusões de quartzo em espiral e D – foliação (clorita/biotita) contornando porfiroblastos de granada.

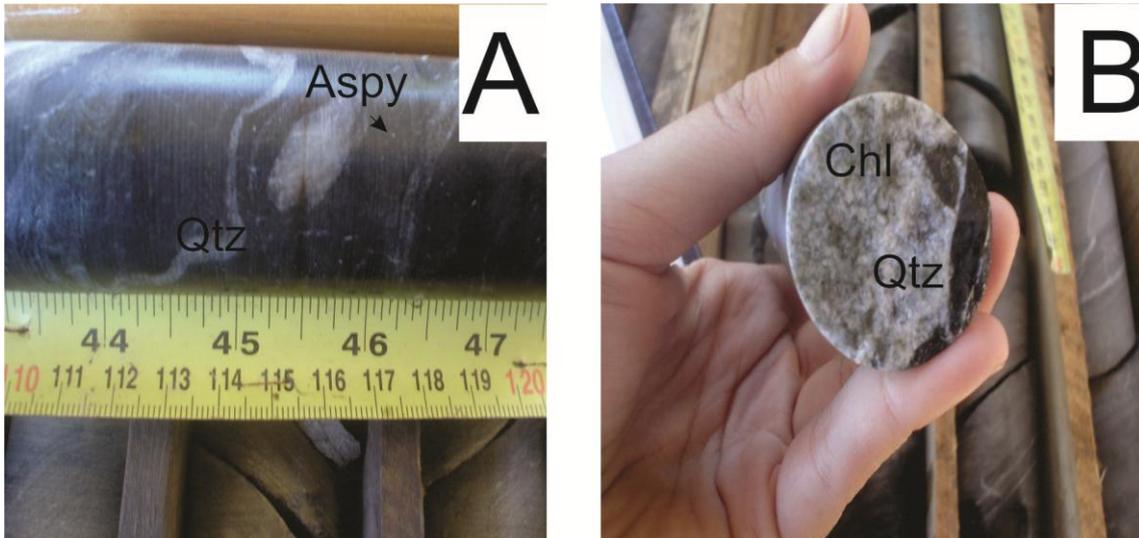


Figura 5 – Principais feições observadas nos corpos A e B de Turmalina. A – veios de quartzo truncando a foliação no minério e arsenopirita disseminada e B – veio de quartzo intercalado com lentes de clorita em biotita xisto.

A foliação está crenulada próxima à zona mineralizada, com alguns cristais de clorita/biotita formando S_{n+1} (Figura 6 – B). Veios de quartzo e k-feldspato com granada são boudinados, sulfetados e bordejados por biotita/clorita e carbonato subordinado. Alguns desses veios são cortados por fraturas, desenvolvidos em regime rúptil. Próximos ao minério ocorrem veios de carbonato, clorita e muscovita, bordejados por sulfetos. Esses veios são ora paralelos, ora oblíquos à foliação S_n . Porfiroblastos de muscovita se orientam de forma aleatória à foliação, truncando a biotita na zona distal (Figura 6 – C) e formando uma textura radiada (Anexo 2). Próximo ao minério, cristais de muscovita pouco maiores que os de biotita acompanham a foliação S_n . Na zona mineralizada há um veio de turmalina associada à biotita/clorita.

Bandas de composição quartzo feldspáticas com granulação fina e textura granoblástica são intercaladas com biotita xisto, clorita xisto, veios de quartzo e lentes de anfibólio (Figura 7). Rutilo, apatita e epidoto-alanita ocorrem como acessórios nestas bandas quartzo-feldspáticas. Os feldspatos são alterados para sericita.

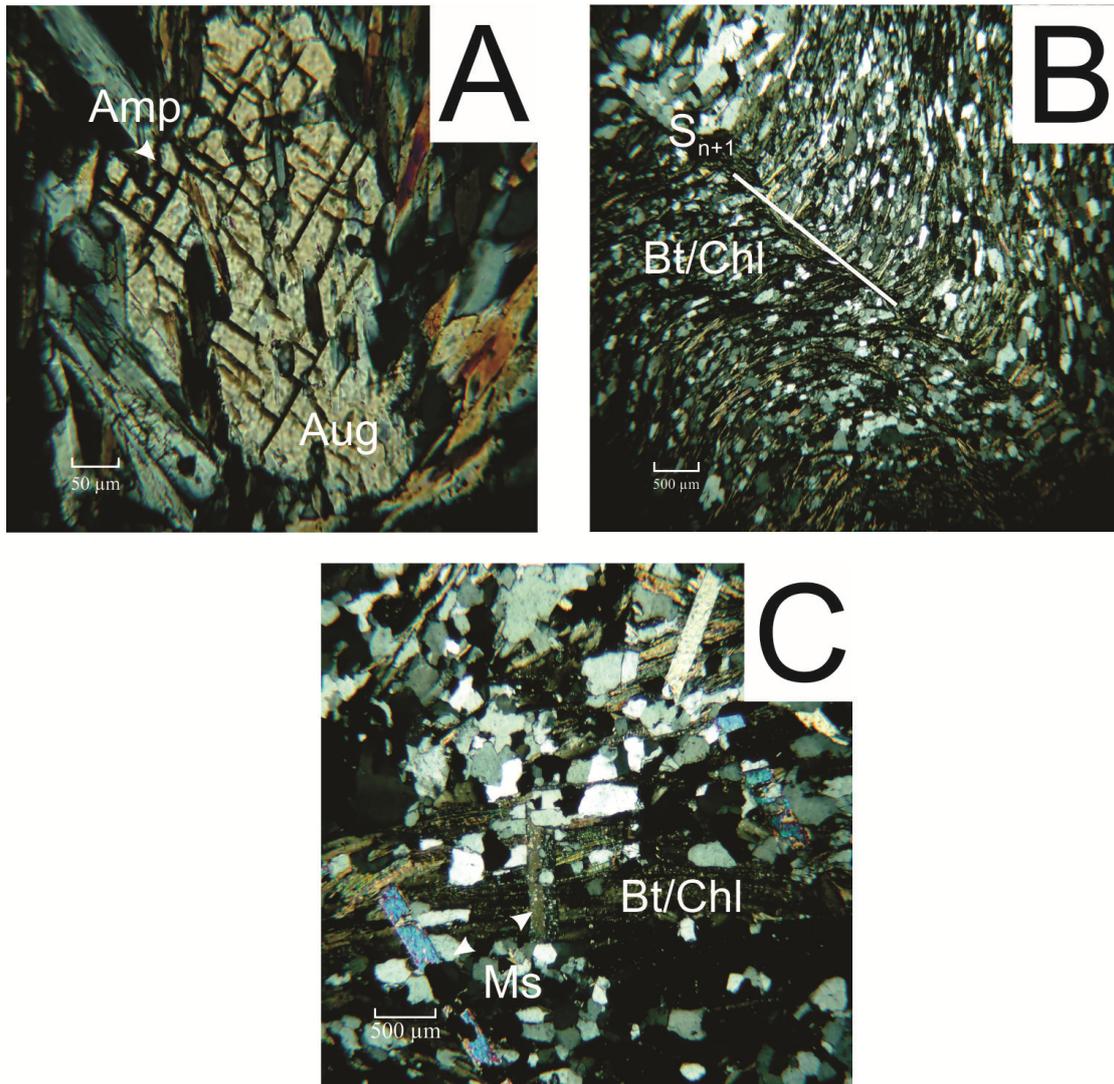


Figura 6 – Feições petrográficas representativas dos corpos A e B de Turmalina. A – augita sendo substituída por anfibólio; B – crenulação e formação de S_{n+1} e C – turmalina associada à biotita/clorita e quartzo.

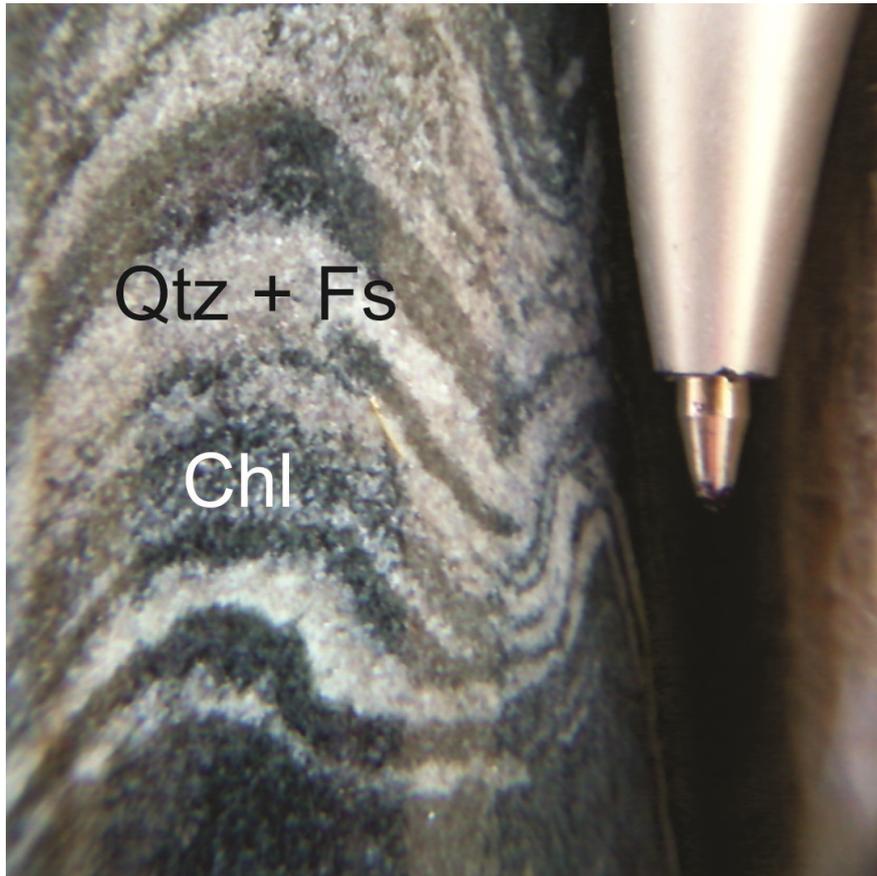


Figura 7 – Bandas de composição quartzo feldspáticas concordantes com a foliação S_n do clorita xisto e intercaladas com bandas de clorita.

Do corpo de Turmalina, foram selecionadas para o MEV as lâminas TCCMO-01 e -09 para a verificação da química mineral da clorita, da granada, do piroxênio e dos feldspatos. Em geral, a clorita apresenta concentrações altas de Mg e Fe (Figura 8), podendo ser classificada como ferro-magnésiana. Foram analisados cerca de 30 grãos de granada, revelando ser da variedade almandina (Figura 9). O espectro gerado para o piroxênio no biotita xisto (Figura 10) indica uma composição de diopsídio-augita. Os feldspatos mostram em geral concentrações altas de Na, intermediárias de Ca e baixas de K, podendo ser classificados como andesina.

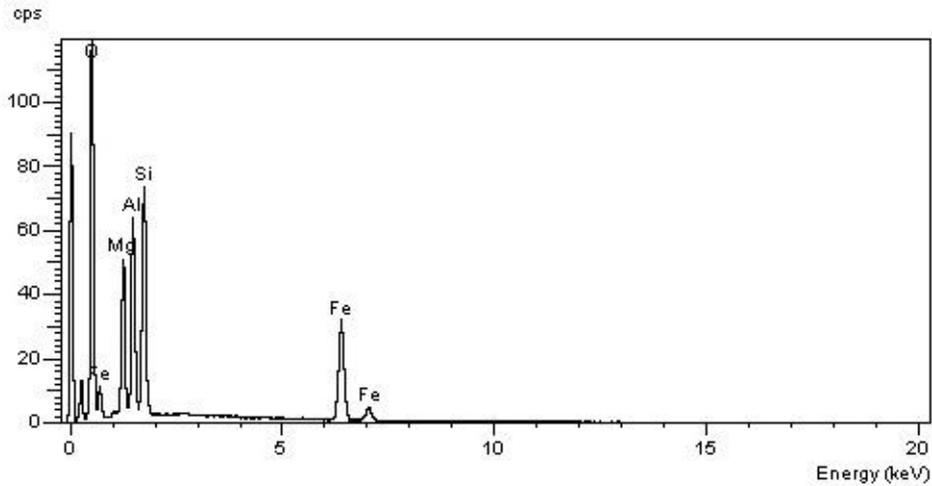


Figura 8 - Espectro gerado pelo MEV para clorita ferro-magnésiana. O pico que representa a concentração do Mg é ligeiramente maior que o do Fe.

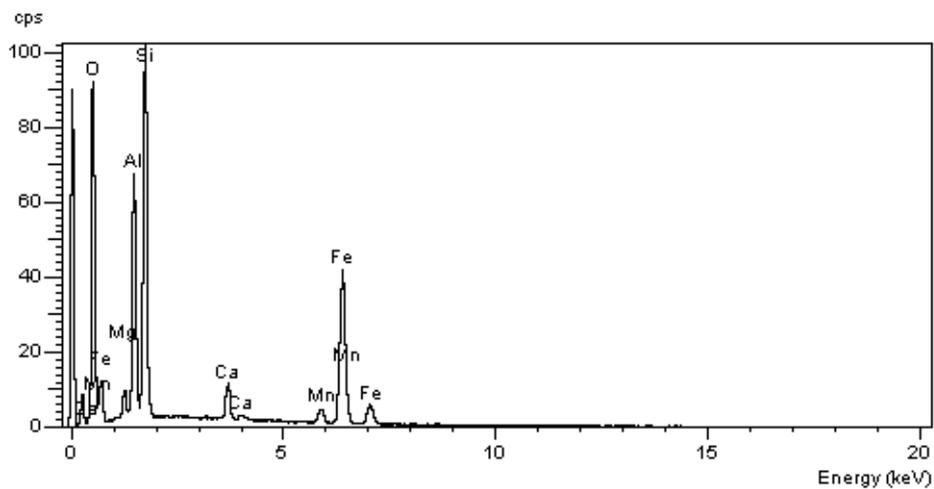


Figura 9 – Espectro gerado pelo MEV para granada de composição dominante almandina. O pico que representa a concentração de Fe é maior que os de Mg, Ca e Mn.

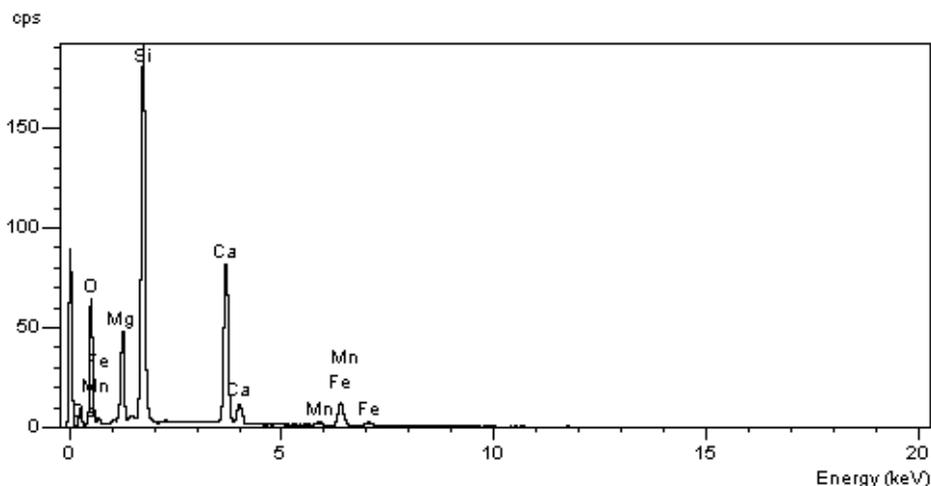


Figura 10 – Espectro gerado pelo MEV para piroxênio de composição diopsídio-augita. O pico que representa a concentração de Ca e Mg é maior que o de Fe.

SATINOCO No corpo de minério de Satinoco, a mineralização aurífera está hospedada em anfibólio xisto e em nível de formação ferrífera, com teor de Au menor que o do corpo de minério de Turmalina. O anfibólio xisto é composto por quartzo, feldspato, hornblenda, clorita e granada, com pouca biotita, e apatita e epidoto como acessórios. Magnetita ocorre tanto na formação ferrífera como no xisto. Formação ferrífera é intercalada com anfibólio xisto e com bandas de composição predominantemente clorítica (Anexo 3, Figura A). Biotita apresenta textura lepidoblástica em bandas finas e raras intercaladas com bandas de clorita e anfibólio próximas à zona mineralizada no xisto. Veios microgranulares de quartzo com textura granoblástica e inclusões de apatita ocorrem concordantes à orientação da biotita.

Alguns cristais de hornblenda são orientados aleatoriamente, mas existe uma direção preferencial na qual outros cristais são estirados. O anfibólio é alterado pela clorita, configurando uma textura pseudomórfica (Figura 11 – B). A granada ocorre sem controle litológico, os grãos são deformados e alterados para clorita. Na formação ferrífera a granada é centimétrica (Figura 11 – B), poiquiloblástica (inclusões de clorita, sericita e tremolita) e idiomórfica. Entre esses porfiroblastos ocorrem grãos finos de clorita, sericita e tremolita com textura radiada (Figura 11 – C). Grãos menores de granada idiomórfica ocorrem nas bandas ricas em biotita.

A silicificação é mais frequente e espessa do que em Turmalina, acompanhada por cloritização e sulfetação (Anexo 3, Figura A) e ausente próxima à formação ferrífera. Carbonatação ocorre como veios

centimétricos com sulfetos associados, sobrepondo a foliação e outras texturas das rochas (tanto do anfibólio xisto como da formação ferrífera) e formando brechas. Associados ao carbonato, quartzo e feldspato formam mirmekitos.

Do corpo de minério de Satinoco, foi selecionada para o MEV a lâmina TCCMO-10 para a verificação da química mineral da granada do anfibólio xisto, que revelou ser da variedade almandina. As concentrações de Fe, Mg, Ca e Mn foram as mesmas obtidas para os grãos de granada de Turmalina (Figura 9).

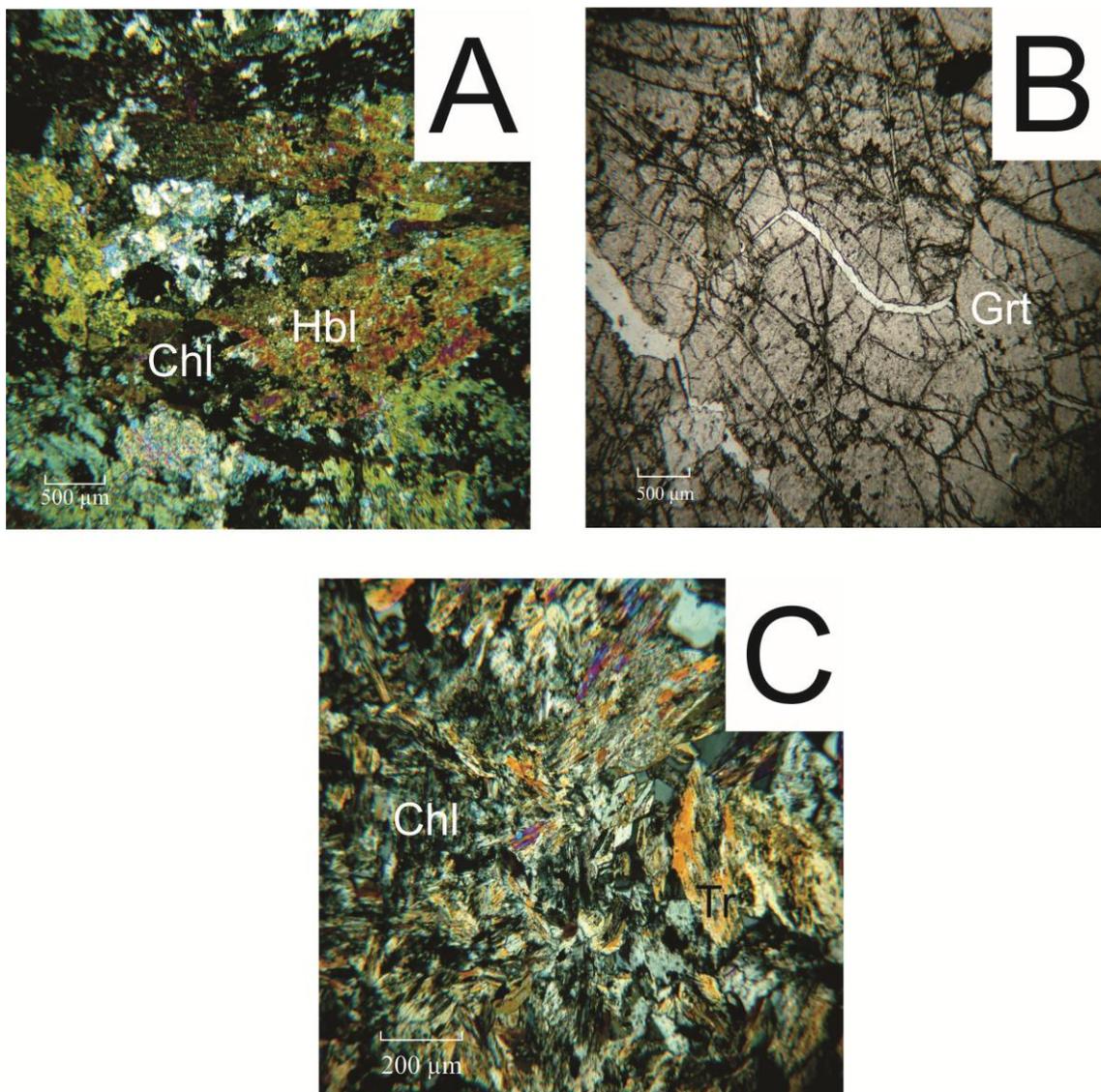


Figura 11 – Feições petrográficas representativas do Corpo de Satinoco. A – grãos estirados de hornblenda sendo alterada pela clorita; B – porfiroblastos centimétricos de granada na zona mineralizada em formação ferrífera e C – matriz fina de clorita, sericita e tremolita em formação

ferrífera.

MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS EM TURMALINA E SATINOCO

A mineralização aurífera é relacionada à precipitação dos sulfetos e apresenta as mesmas características nos dois corpos de minério investigados, diferindo de um corpo para outro apenas com relação à granulação e abundância dos sulfetos. A pirrotita é o sulfeto predominante, ocorrendo disseminada nas rochas e principalmente no interior de veios de quartzo, com calcopirita subordinada tanto em zonas distais ao minério como na zona mineralizada. Em Turmalina, pirita ocorre em concentrações baixas, sendo mais abundante no minério, onde se associa à arsenopirita (Figura 12 – A). Já no corpo de Satinoco, pirita ocorre em grande quantidade, com hábito cúbico preservado (Figura 12 – B). Arsenopirita (Figura 12 - C e D) é indicadora da mineralização. Em Satinoco é disseminada na formação ferrífera e no anfibólio xisto; em Turmalina ocorre, junto com pirrotita, associada à clorita e a veios de carbonato com sericita. A presença da loelingita foi identificada pelo MEV no corpo de Satinoco, onde geralmente ocorre no centro dos cristais de arsenopirita (Figura 13 – A). Pirrotita, arsenopirita e pirita estão sempre associadas, geralmente apresentando feições de substituição (pirita substituída por arsenopirita e pirrotita – Figura 13 – B).

No corpo Turmalina, os veios mineralizados (com clorita, carbonato, sericita e sulfetos) são em geral concordantes à foliação S_n . Os sulfetos são muito finos e, embora encontrem-se disseminados no biotita xisto, sua maior concentração em áreas mais próximas ao minério está fortemente correlacionada às zonas de predominância do clorita xisto. No corpo Satinoco, os sulfetos apresentam granulação grossa e maior abundância comparados a Turmalina. Em ambos os corpos de minério, rutilo ocorre tanto na porção distal como no minério, substituído por ilmenita e titanita, sendo a quantidade de ilmenita em Satinoco maior que em Turmalina. Além de substituir o rutilo, ilmenita ocorre associada aos sulfetos (Figura 13 – C) e inclusa na granada (Figura 13 – D).

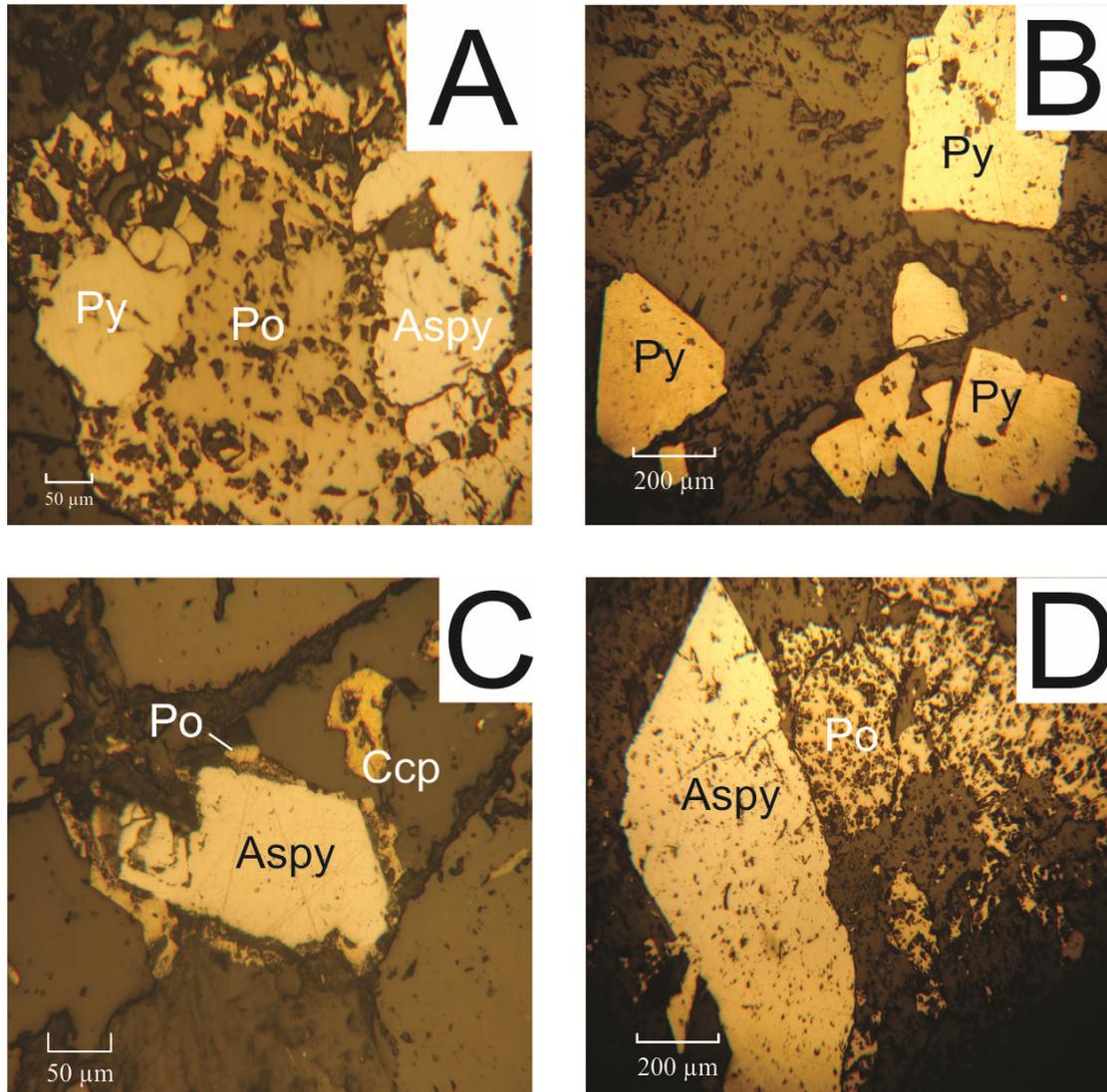


Figura 12 – Modo de ocorrência dos sulfetos nos corpos de Turmalina e Satinoco. A – pirita, pirrotita e arsenopirita associadas na zona mineralizada em Turmalina; B – pirita com hábito cúbico preservado em Satinoco; C – arsenopirita com borda de pirrotita e calcopirita ao lado em Satinoco e D – arsenopirita em contato com pirrotita em Satinoco.

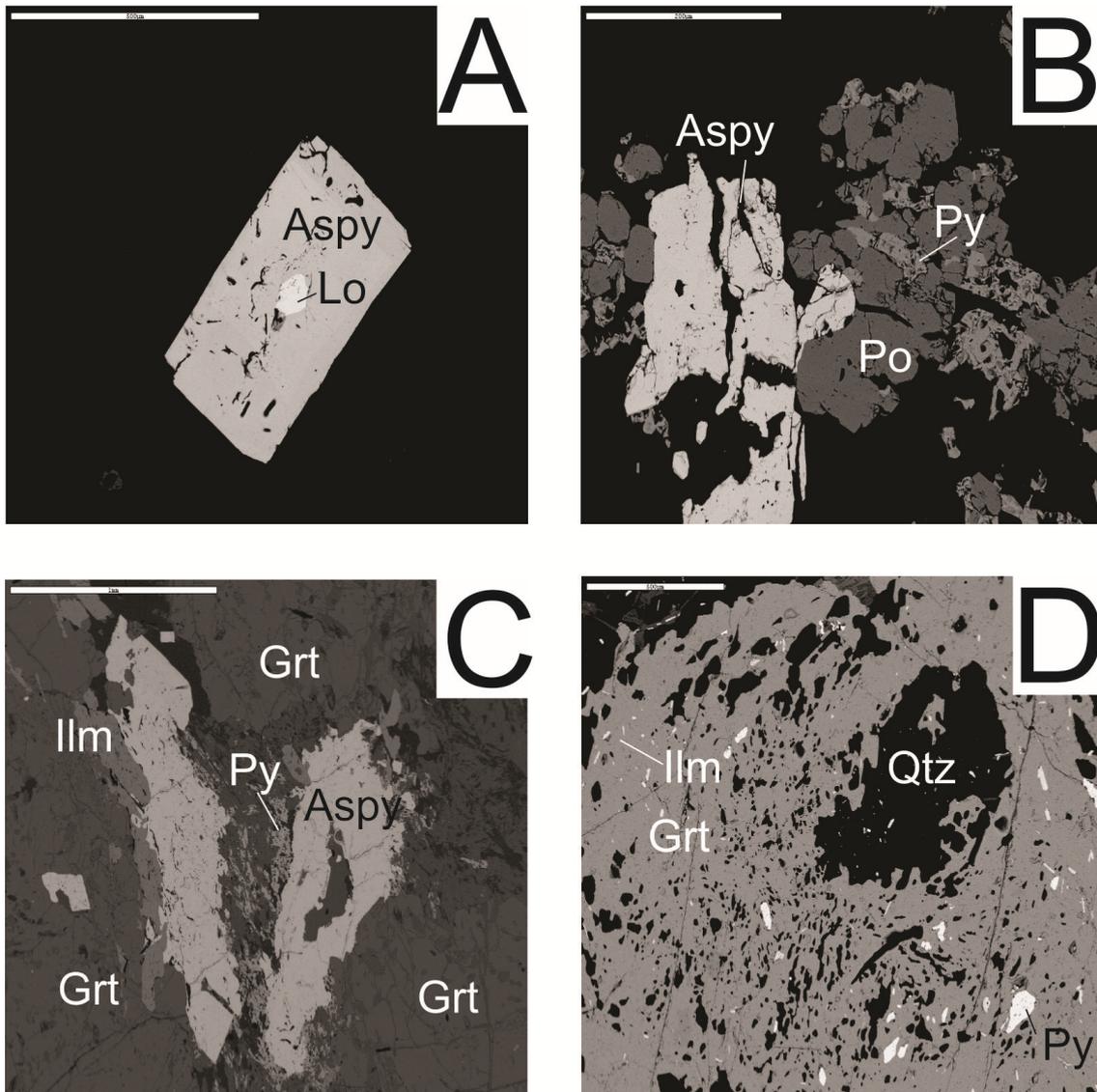


Figura 13 – Associações minerais dos sulfetos e óxidos. A – inclusão de loellingita no centro de cristal de arsenopirita com zoneamento; B – pirrotita e arsenopirita apresentando uma relação de substituição com a pirita; C – arsenopirita associada à ilmenita na borda e com um intercrescimento com pirrotita no centro do cristal e D –granada com inclusões de quartzo, pirita e ilmenita.

O ouro apresenta traços de Bi, Sb e principalmente Ag. Ocorre incluso na pirrotita (Figura 14 – A), na arsenopirita com traços de Ni e Co, associada à pirrotita (Figura 14 – B e C) e no contato entre a arsenopirita e outros sulfetos (Figura 14 – A).

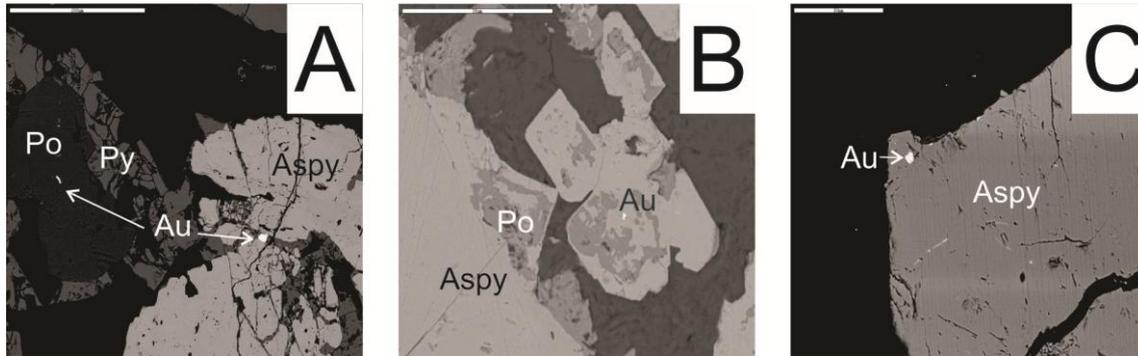


Figura 14 – Modo de ocorrência do ouro. A – Au incluído em pirrotita e no contato entre a arsenopirita e a pirita em lâmina da mineralização de Turmalina; B – Au incluído em arsenopirita com intercrescimento de pirrotita. Quando associada à pirrotita, a arsenopirita apresenta traços de Ni e Co. A lâmina é da mineralização de Satinoco; C – Au incluído em arsenopirita com traços de Ni e Co. A lâmina é da mineralização de Turmalina.

DISCUSSÕES

As mineralizações de Turmalina e Satinoco são hospedadas respectivamente em rochas das unidades metamáfica – metaintermediária e metaultramáfica – metamáfica do Grupo Nova Lima (Romano, 2006). A evolução das paragêneses minerais em rochas metamáficas é controlada por reações contínuas, as assembleias minerais permanecendo praticamente constantes (Juliani *et al.* 2002). Segundo os autores, o metamorfismo progressivo é marcado por mudanças composicionais nas fases principais, além de mudanças nas proporções entre os constituintes causadas pela formação de um mineral a partir do consumo de outro (por exemplo, formação de granada a partir do consumo do epidoto). No caso de Turmalina e Satinoco, o plagioclásio apresenta uma composição $An_{(0-40)}$ que vai de albita à andesina representando um aumento na quantidade de cálcio, e a proporção de epidoto-zoisita é menor que a de granada, mineral com o qual o epidoto é exclusivamente associado.

No corpo de Turmalina, a orientação dos cristais de biotita marca a foliação S_n da rocha. A granada distal ao minério apresenta evidências de ser pré- a sin-metamórfica, incluindo inclusões orientadas no interior dos grãos, formando espirais; grãos com sombra de pressão e foliação contornando os porfiroblastos. Em geral as bordas dos grãos não são preservadas, indicando que a granada sofreu dissolução. No minério, a granada apresenta evidências de ser pós-metamórfica, incluindo grãos idiomórficos e truncados pela foliação, sem sinal de terem sido afetados por uma deformação. O feldspato está em equilíbrio com o quartzo através

de textura granoblástica. A paragênese metamórfica de Turmalina é definida por biotita + granada + plagioclásio + epidoto + ilmenita + titanita, além do quartzo. Em Satinoco, o anfibólio é considerado a fase metamórfica da paragênese, formado a partir da alteração de piroxênio (diopsídio-augita) de origem ígnea. A foliação é marcada por uma orientação preferencial de cristais de hornblenda, configurando uma textura nematoblástica. A granada é semelhante a do corpo de Turmalina, associada ao epidoto, que ocorre em proporção menor. A paragênese metamórfica de Satinoco é constituída por hornblenda + granada + plagioclásio + ilmenita + titanita + epidoto, além do quartzo. Tremolita é formada a partir do metamorfismo da formação ferrífera.

Ambas as paragêneses metamórficas dos corpos auríferos indicam metamorfismo em fácies anfíbolito. A associação mineral característica de fácies anfíbolito em rochas metamáficas é hornblenda, plagioclásio (andesina-labradorita), ± titanita, magnetita/ilmenita, granada, clinopiroxênio diopsídio, epidoto e biotita, sendo hornblenda, plagioclásio e granada as fases principais (Figura 15). Com o incremento do grau metamórfico, a hornblenda torna-se mais aluminosa e o plagioclásio mais cálcico. O limite entre as fácies xisto-verde e anfíbolito ocorre em torno de 500°C e é determinado pela mudança composicional do plagioclásio, originalmente albita ou Na-oligoclásio, para $An > 17$ (Juliani *et al.* 2002). Como a composição do plagioclásio em Turmalina é predominantemente sódica, o biotita xisto deve ter se desenvolvido na transição da fácies xisto-verde para fácies anfíbolito, ou seja, fácies epidoto-anfíbolito (Figura 16). A granada pode ser produzida a partir do consumo do epidoto no limiar da fácies xisto-verde – anfíbolito, e geralmente aumenta em proporção modal com o incremento em grau metamórfico. A titanita, formada sob condições mais oxidantes em fácies xisto-verde, tende a ser substituída pela ilmenita, ou ser absorvida pela hornblenda, que incorpora o Ti, assumindo tonalidades mais fortes (Juliani *et al.* 2002). Em fácies anfíbolito a hornblenda assume tons verde oliva, como ocorre nas rochas de Satinoco. Logo, a tonalidade da hornblenda em Satinoco, somada à baixa quantidade de epidoto, indicam que o metamorfismo do anfibólio xisto ocorreu em fácies anfíbolito. Os corpos mineralizados estão no limiar do consumo total de epidoto, mas como em Turmalina a proporção desse mineral é maior, entende-se que esse corpo foi metamorfizado em condições de temperatura menores do que Satinoco.

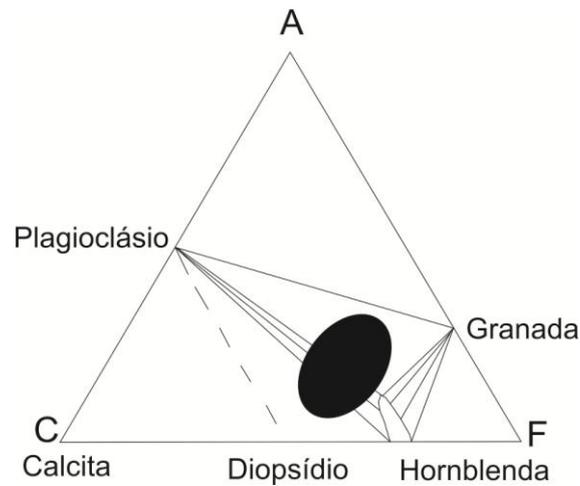


Figura 15 – Diagrama ACF simplificado típico de fácies anfibolito em rochas metabásicas mostrando as principais fases metamórficas (Modificado de Miyashiro, 1973).

As assembleias do minério e das zonas de alteração imediatas são consideradas reflexos de altas razões fluido/rocha e provavelmente estão próximas ou em equilíbrio com o fluido mineralizante. Segundo Mikucki & Ridley (1993), com o aumento do grau metamórfico, pirrotita torna-se o sulfeto de Fe predominante em depósitos de fácies anfibolito baixo a médio, sendo a loelingita substituída por arsenopirita e rutilo por ilmenita e titanita. Em Turmalina e Satinoco a assembleia de sulfetos e óxidos é: arsenopirita \pm pirrotita \pm pirita \pm calcopirita \pm rutilo \pm ilmenita \pm titanita, com a exceção de que em Satinoco a arsenopirita substitui loelingita. Essa substituição, de acordo com Neumayr *et al.* (1993), pode ocorrer devido uma reação levemente retrógrada entre loelingita e pirrotita, produzindo arsenopirita, ou devido a mudanças nas atividades de enxofre e arsênio no fluido hidrotermal. A loelingita é uma fase característica de fácies anfibolito, possível razão pela qual não ocorre em Turmalina, que deve ter se desenvolvido na transição entre xisto-verde e anfibolito.

Os processos de alteração hidrotermal das rochas hospedeiras associada à mineralização dos corpos de Turmalina e Satinoco são cloritização e silicificação, acompanhados respectivamente por sericitização e sulfetação. Embora a intensidade aumente proporcionalmente à proximidade do minério, a cloritização tem uma distribuição ampla. A clorita substitui principalmente biotita e hornblenda, mantendo a forma dos cristais anteriores. Próxima à zona mineralizada, a cloritização é acompanhada por sericitização, com sericita alterando biotita, hornblenda e granada. Em Satinoco há também processo de carbonatação, mais intenso que a cloritização. Carbonato, embora mais abundante em

Satinoco do que em Turmalina, ocorre numa proporção muito maior nos corpos de Pontal e Faina. A escassez de carbonatos em fácies anfibolito pode ser explicada como o resultado de formação da mineralização em temperaturas que ultrapassam a máxima estabilidade termal dos carbonatos (Mikucki & Ridley, 1993). Logo, os depósitos de Pontal e Faina podem ter se formado em condições mais baixas do que os de Turmalina e Satinoco.

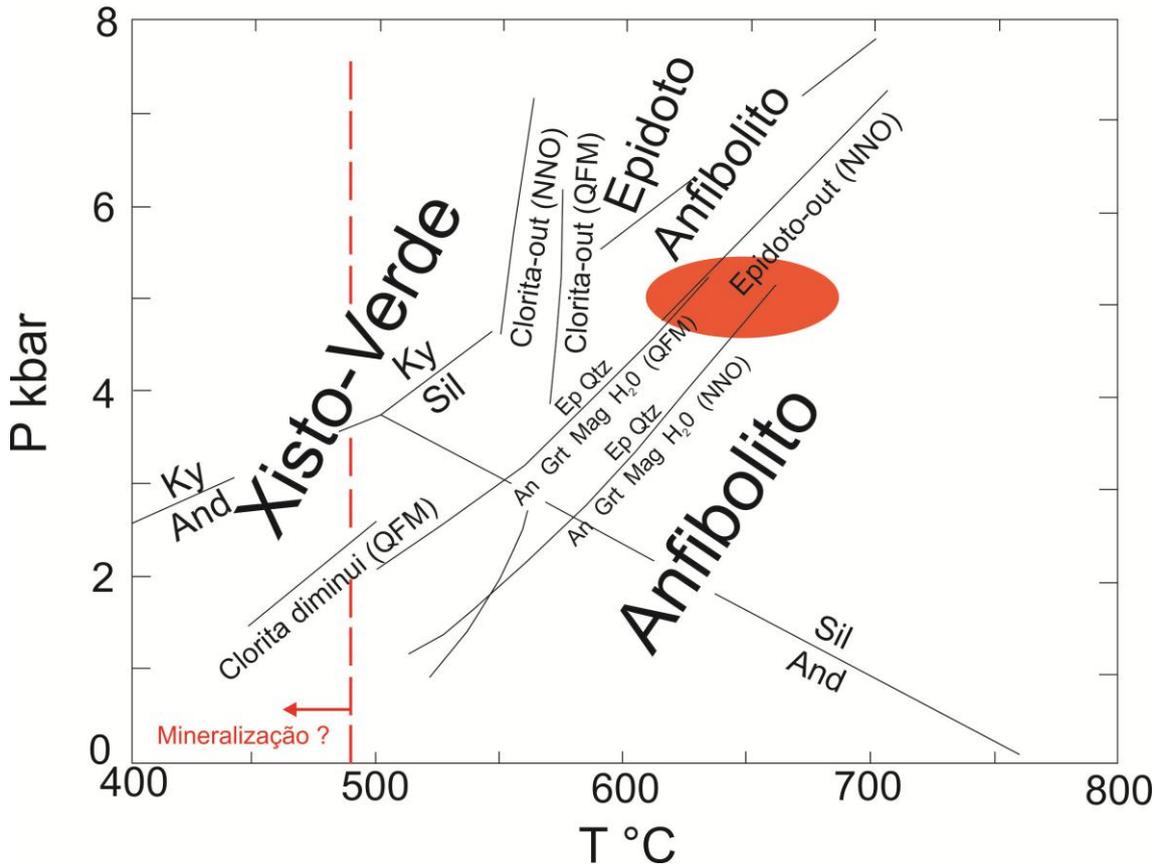


Figura 16 – Condições P – T de fácies metamórficas progressivas (barrowianas) em rochas metamáficas, indicando o campo onde se encontram as paragêneses de Turmalina e Satinoco. (Modificado de Miyashiro, 1973).

No corpo de minério de Satinoco ocorre intercrescimento entre pirrotita e anfibólio, e no corpo de minério de Turmalina ocorrem inclusões de pirrotita nas bordas da granada metamórfica. Essas são evidências de que a precipitação dos sulfetos ocorreu próxima do pico do metamorfismo regional. A substituição da biotita e da hornblenda por clorita, e a substituição de loelingita por arsenopirita indicam que a mineralização ocorreu em condições retrógradas pós metamórficas. A partir dessas evidências foi possível elaborar uma sequência de paragênese,

esquemmatizando o tempo relativo de formação da mineralização em relação ao metamorfismo (Figura 17). A sequência indica que o fluido hidrotermal circulou pelas rochas em condições de P e T menores que as do metamorfismo. Segundo Frizzo *et al.* (1991), a gênese da mineralização está relacionada ao surgimento de uma zona de cisalhamento oblíqua ao pacote estratigráfico da região, com a mesma orientação das jazidas de Pontal, Faina, Satinoco e Turmalina. O cisalhamento permitiu a passagem de soluções hidrotermais mineralizantes pelas rochas hospedeiras submetidas a metamorfismo regional de fácies anfibolito nos depósitos de Turmalina e Satinoco.

Mineral	Pré	Sin	Pós	
Biotita	—————	—————		Metamorfismo
Granada	—————	—————	—————	
Plagioclásio	—————	—————		
Epidoto	—————	—————		
Rutilo	—————	—————		
Ilmenita		—————		
Titanita		—————		
Quartzo	—————	—————	—————	
Hornblenda		—————		
Clorita			—————	
Sericita			—————	
Carbonato			—————	
Pirrotita		—————	—————	
Pirita			—————	
Arsenopirita			—————	
Calcopirita		—————	—————	
Loelingita			—————	

Figura 17 – Sequência relativa de formação das paragêneses metamórficas e de alteração hidrotermal para os corpos de Turmalina e Satinoco.

Posteriormente, houve a intrusão de corpos graníticos próximos às sequências mineralizadas. Os porfiroblastos de muscovita que ocorrem no corpo de Turmalina truncam cristais de biotita e de clorita, indicando que foram formados sem relação genética alguma com a paragênese metamórfica ou com a paragênese de alteração. Esses porfiroblastos podem ter sido formados devido a um aquecimento da crosta relacionado à intrusão dos granitoides. Além disso, algumas porções silicificadas em Turmalina apresentam uma composição granítica que não é compatível com a litologia do biotita xisto ou com os processos de alteração hidrotermal. As porções silicificadas não são recorrentes e apresentam

formatos variados que truncam a foliação S_n do xisto, podendo ter alguma relação com os granitoides.

CONCLUSÕES A Mina de Ouro de Turmalina, localizada em Pitangui (MG), compreende os corpos de minério de Turmalina e Satinoco, que fazem parte de um lineamento de quatro jazidas auríferas oblíquo à sequência estratigráfica da região e paralelo a uma zona de cisalhamento cuja formação foi responsável pela circulação do fluido hidrotermal mineralizante. Os outros dois corpos de minério denominam-se Pontal e Faina, e todos estão hospedados no Grupo Pitangui, uma sequência metavulcano-sedimentar arqueana correlacionável à base do Supergrupo Rio das Velhas, o Grupo Nova Lima. No corpo Turmalina a mineralização aurífera é hospedada em um nível de granada-clorita/biotita xisto, e no corpo Satinoco, tanto em um nível de anfibólio-clorita xisto quanto em formação ferrífera bandada.

As principais feições das rochas hospedeiras são: (1) foliação dada pela iso-orientação dos cristais de biotita em Turmalina, e hornblenda em Satinoco; (2) duas gerações de granada, uma pré- a sin-metamórfica, outra pós-metamórfica; (3) equilíbrio textural entre quartzo e feldspato, que é predominantemente plagioclásio (An_{0-40}); (4) formação de granada a partir do consumo de epidoto em Turmalina e quase ausência de epidoto em Satinoco; (5) pirrotita como sulfeto principal, com calcopirita associada e ocorrendo disseminada na zona mineralizada e distal a ela; (6) pouca pirita, restrita somente ao minério; (7) arsenopirita com núcleos de loelingita no minério de Satinoco e (8) alteração do rutilo para ilmenita e titanita. A paragênese metamórfica das rochas é biotita/hornblenda + granada + plagioclásio \pm epidoto + ilmenita + titanita + quartzo. A paragênese do minério é arsenopirita \pm pirrotita \pm pirita \pm calcopirita \pm rutilo \pm ilmenita \pm titanita \pm loelingita. A composição predominantemente sódica do plagioclásio em Turmalina coloca o biotita xisto na fácies epidoto-anfibolito (transição de xisto-verde para anfibolito), enquanto que a quase ausência de epidoto em Satinoco coloca o anfibólio xisto na fácies anfibolito.

Substituições de biotita e hornblenda por clorita e de loelingita por arsenopirita indicam que a mineralização ocorreu pós-metamorfismo regional, em condições retrógradas. A partir dessas evidências foi possível estabelecer uma sequência de formação das paragêneses, determinando o tempo relativo da mineralização em relação ao metamorfismo.

REFERÊNCIAS

- Andrews, A.J., Hugon, H., Durocher, M., Corfu, F., Lavigne, M.J. 1986. The anatomy of a gold-bearing greenstone belt: Red Lake, Northwestern Ontario, Canada. In: MacDonald, A.J. (ed.) Gold '86, An International Symposium on the Geology of Gold Deposits, Proceedings Volume. Gold '86, Toronto, pp.3-22
- Campos, W. F., Duchini Jr., J., Frizzo, C. 2008. Projeto Ouro Turmalina, Alvo Satinoco, Quadrilátero Ferrífero/MG. Jaguar Mining Group. Simexmin, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.
- Colvine, A.C. 1989. An empirical model for the formation of Archaean gold deposits: products of final cratonization of the Superior Province, Canada. In: Keays, R.R., Ramsay, W.R.H., Groves, D.I. (eds.) The Geology of Gold Deposits: The Perspective in 1988, Economic Geology Monogr. 6:37-53.
- Echlin, P. 2009. Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer. 330 p.
- Frizzo, C., Takai, V., Scarpelli, W. 1991. Auriferous mineralization at Pitangui, Minas Gerais. In LADEIRA, E.A. ed. *BRAZIL GOLD'91*. Rotterdam, Balkema. p 579-583.
- Goldfarb, R.J., Groves, D.I., and Gardoll, S., 2001, Orogenic gold and geologic time: a global synthesis: Ore Geology Reviews, v. 18, p. 1-75.
- Goldstein, J.I., Newbury, D.E., Echlin, P., Joy, D.C., Romig-Jr, A.S., Lyman, C.E., Fiori, C., Lifshin, E. 1992. Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. A text for biologists, material scientists and geologists. Second Edition. Plenum Press, 820p.
- Groves, D.I., 1993. The crustal continuum model for late-Archaean lode-gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia. Mineral. Deposita 28:366-374.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, H., Hagemann, S.G., Robert, F., 1998. Orogenic gold deposits—a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit type. Ore Geol. Rev. 13:7-27.
- Juliani, C., Szabó, G.A. 2002. GMG 332 - Petrologia metamórfica (Versão preliminar). Material Didático. Dep. Min. E Geotectônica – GMG. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, IGc-USP. 171p.
- Knight, J.T., Groves, D.I., Ridley, J.R. 1993. The Coolgardie Goldfield, Western Australia: district scale controls on an Archaean gold camp in an amphibolite facies terrane. Mineral. Deposita

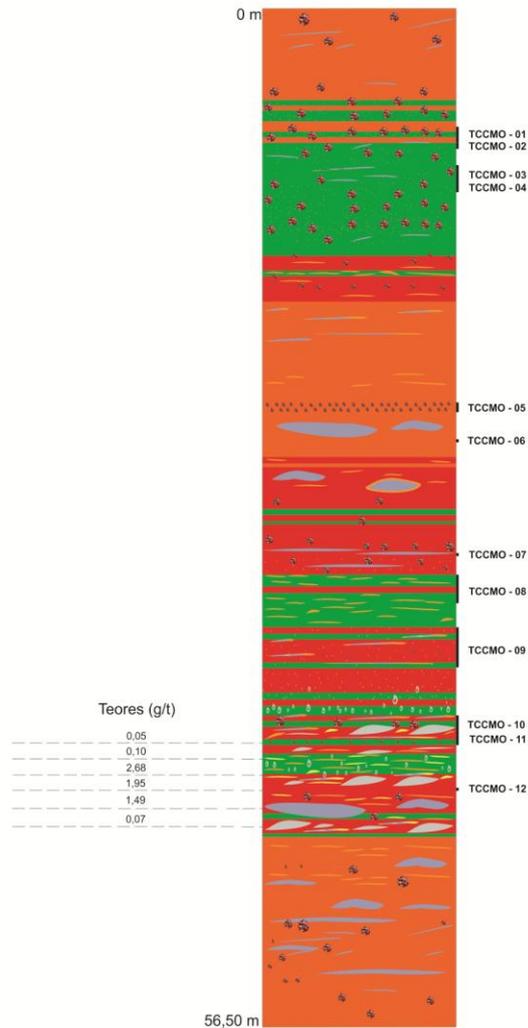
28:436-456

- Lobato, L.M., Pedrosa-Soares, A.C. 1993. Síntese dos recursos minerais do Cráton São Francisco e Faixas Marginais em Minas Gerais. *Geonomos*. 1: 51-64.
- Lobato, L.M., Vieira, F.W.R., Ribeiro-Rodrigues, L.C., Pereira, L.M.M., Menezes, M., Junqueira, P.A., Martins Pereira, S.L. 1998b. Styles of hydrothermal alteration and gold mineralisations associated with the Nova Lima Group of the Quadrilátero Ferrífero: Part I, description of selected gold deposits. *Rev. Bras. Geociências*, 28(3): 339-354.
- Lobato, L.M., Ribeiro-Rodrigues, L.C., Zuncchetti, M., Noce, L.M., Baltazar, O.F., Silva, L.C., Pinto, C.P., 2001b. Brazil's premier gold province. Part I: The tectonic, magmatic, and structural setting of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. *Mineral. Deposita*, 36 (3-4): 228-248.
- Lobato, L.M., Ribeiro-Rodrigues, L.C., Vieira, F.W.R., 2001c. Brazil's premier gold province. Part II: geology and genesis of gold deposits in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. *Mineral. Deposita*, 36 (3-4): 249-277.
- McCuaig, T.C., Kerrich, R., Groves, D.I., Archer, N., 1993. The nature and dimensions of regional and local gold-related hydrothermal alteration in tholeiitic metabasalts in the Norseman goldfields: the missing link in a crustal continuum of gold deposits? *Mineral. Deposita* 28:420-435
- Mikucki, E.J. Groves, D.I., Cassidy, K.F. 1990. Nature and setting of primary gold deposits: wallrock alteration in subamphibolite facies gold deposits. *Geol. Department and University Extension, The University of Western Australia, Publication 20:60-78*
- Mikucki, E.J., Ridley, J.R., 1993. The hydrothermal fluid of Archaean lode-gold deposits at different metamorphic grades: compositional constraints from ore and wallrock alteration assemblages. *Mineral. Deposita* 28:469-481.
- Miyashiro, A. 1973. *Metamorphism and metamorphic belts*. George allen & Unwin. London, 492p.
- Mueller, A.G., Groves, D.I. 1991. The classification of Western Australian greenstone-hosted gold deposits according to wallrock-alteration mineral assemblages. *Ore Geology Reviews* 6:291-331
- Neumayr, P., Groves, D.I., Ridley, J.R., Koning, C.D., 1993. Syn-amphibolite facies Archaean lode gold mineralization in the Mt. York District, Pilbara Block, Western Australia. *Mineral. Deposita* 28:457-468.

- Phillips, G.N., Groves, D.I. 1983. The nature of Archaean goldbearing fluids as deduced from gold deposits of Western Australia. *J. Geol. Soc. Aust.* 30:15-39
- Reed, S.J.B. 1996. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*. Cambridge University Press. 201 p.
- Ribeiro-Rodrigues, L.C., Friedrich, G., Vieira, F.W.R., Chemale Jr., F., Oliveira, C.G., 1997. Structural styles of greenstone-hosted gold deposits in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil (ext Abstr). In: 6th Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. Soc Brasileira Geol, Brasília, Brazil, pp 363-366.
- Ribeiro-Rodrigues, L.C., Friedrich, G., Lobato, L.M., Duchini Jr., J., Vieira, F.W.R., 2000. Gold mineralization in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. In: Miller, H., Hervé, F. (co-ord) *Zeitschrift für Angewandte Geologie - Sonderheft*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stuttgart, Germany, SH1, pp 143-151.
- Ridley, J.R., Barnicoat, A.C. 1990. Nature and setting of primary gold deposits: Wallrock alteration in amphibolite-facies gold deposits. *Geol. Department and University Extension, The University of Western Australia, Publication* 20:79-86
- Romano, A.W., Carmo, J.C.C. 1992. Estratigrafia e alteração hidrotermal das rochas do supergrupo Rio das Velhas no sinclínio de Pitangui-Pequi, Minas Gerais. *Rev. Esc. Min.*, 45 (1 e 2): 115-117.
- Romano, A., 2006. Programa Geologia do Brasil. Folha Pará de Minas, SE-23-Z-C-I. Escala 1:100.000 relatório final. UFMG - CPRM, Belo Horizonte. 74p
- Vieira, F.W.R., 2007. Relatório Final da Caracterização Mineralógica do Minério de Turmalina. Não publicado.
- Witt, W.K. 1991. Regional metamorphic controls on alteration associated with gold mineralization in the Eastern Goldfields Province, Western Australia: implications for the timing and origin of Archaean lode-gold deposits. *Geology* 19:982-985.

ANEXOS

Log do Furo 63LM01- Corpo B Turmalina



Legenda

- Clorita - Biotita Xisto
- Clorita Xisto
- Biotita Xisto
- Zonas ricas em granada

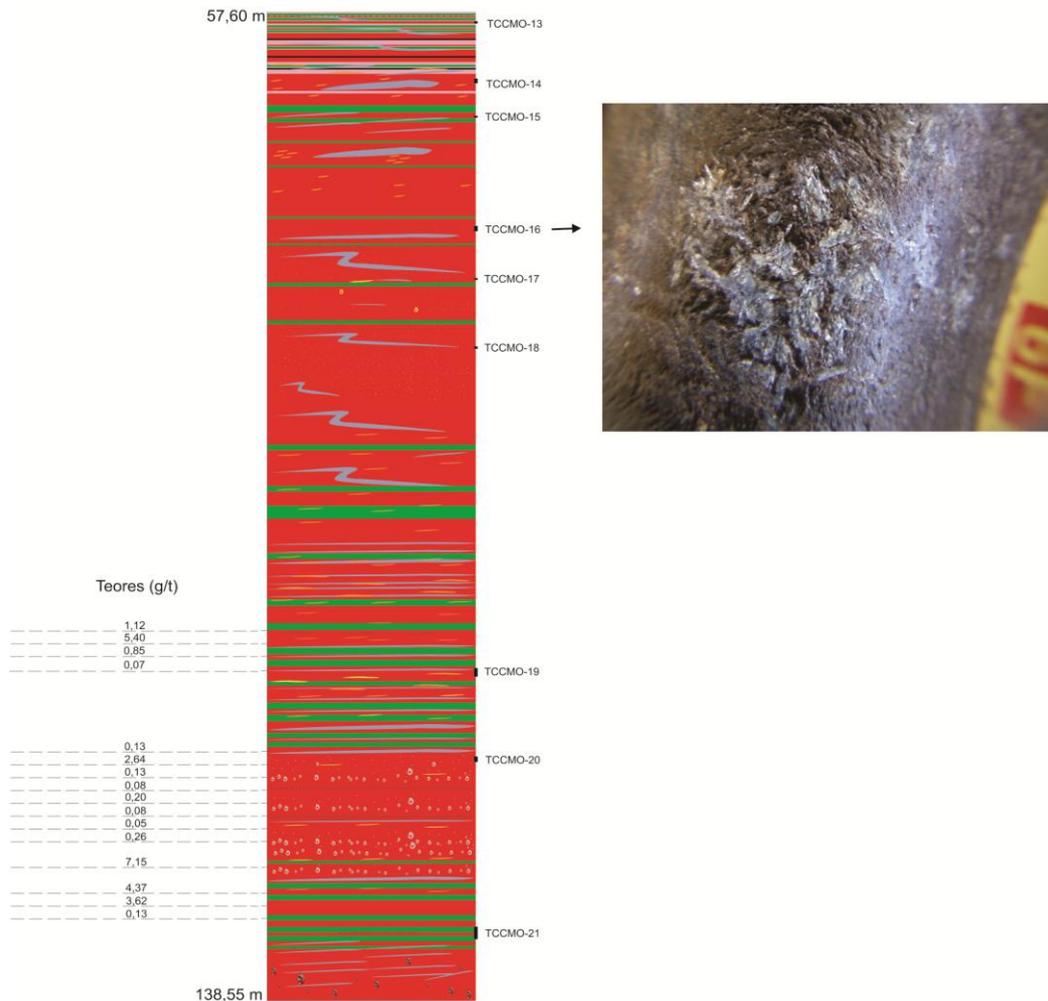
- Veios de quartzo
- Níveis sulfetados
 - Arsenopirita maciça
 - Arsenopirita disseminada
- Sulfetos disseminados, em venulas e em nódulos
 - Pirrotita
 - Pirita

1m 0m 1m 2m 3m 4m
 ESCALA 1:1

Coordenadas: 7.817.241,2 N
 513.328,7 E
 Cota: 249,9 m
 Azimute: N44° Inclinação: -1°

Anexo 1 – Log do testemunho de sondagem de galeria do Corpo B de Turmalina. Estão representadas as rochas hospedeiras e sua alteração e as zonas mineralizadas com os respectivos teores de Au. Os locais de coleta das amostras estão indicados ao longo do lado direito do log.

Log do Furo FTS845 - Corpo A Turmalina



Legenda

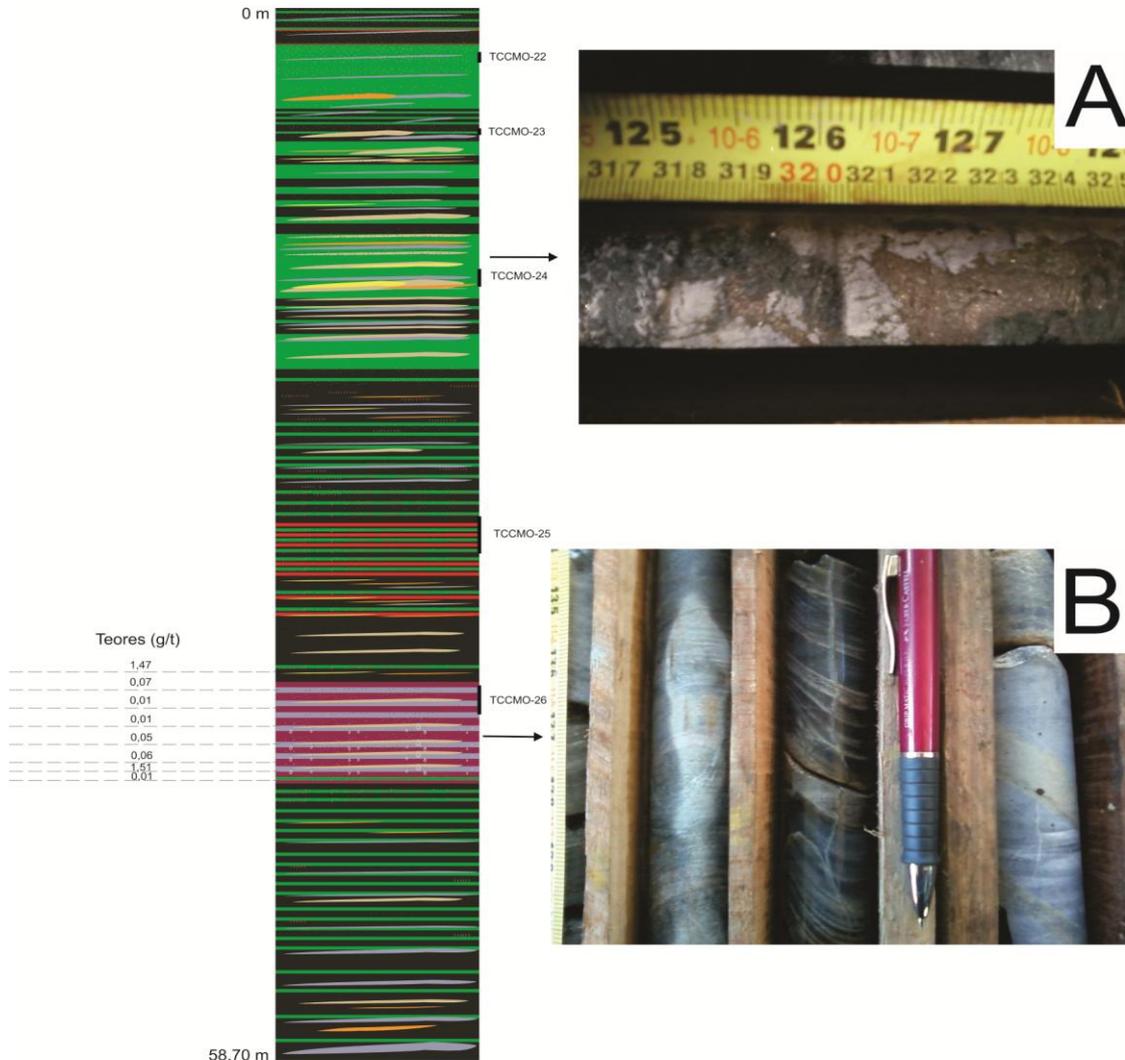
- | | |
|--|--|
|  Biotita Xisto |  Veios de quartzo |
|  Bandas de composição quartzo feldspática | Níveis sulfetados |
|  Lentes ricas em clorita |  Arsenopirita disseminada |
|  Lentes de anfibólios | Sulfetos disseminados, em venulas e em nódulos |
|  Zonas ricas em granada |  Pirrotita |
| |  Pirita |

1,5 m 0 m 1,5 m 3 m 4,5 m 6 m
ESCALA 1:1,5

Coordenadas: 7.817.169,7 N
513.314,97 E
Cota: 207,2 m
Azimute: N78° Inclinação: -4°

Anexo 2 - Log do testemunho de sondagem de galeria do Corpo A de Turmalina. Estão representadas as rochas hospedeiras e sua alteração e as zonas mineralizadas com os respectivos teores de Au. Os locais de coleta das amostras estão indicados ao longo do lado direito do log. A imagem indica porfiroblastos de muscovita com textura radiada no biotita xisto.

Log do Furo LM22GTNW1 - Corpo C Satinoco



Legenda

 Anfibólio Xisto	 Veios de quartzo	 Níveis sulfetados
 Lentes ricas em clorita	 Veios de carbonato	 Arsenopirita maciça
 Lentes ricas em biotita	 Magnetita	 Arsenopirita disseminada
 Formação Ferrífera Bandada	 Zonas ricas em granada	 Sulfetos disseminado e em venulas
	 Pirrotita	 Pirita

1m 0m 1m 2m 3m 4m
ESCALA 1:1

Coordenadas: 7.817.200,02 N
512.392,11 E
Cota: 572,7 m
Azimute: N356° Inclinação: +24°

Anexo 3 - Log do testemunho de sondagem de galeria do Corpo C de Satinoco. Estão representadas as rochas hospedeiras e sua alteração e as zonas mineralizadas com os respectivos teores de Au. Os locais de coleta das amostras estão indicados ao longo do lado direito do log. A – sulfetação e carbonatação intensas em clorita xisto; B – formação ferrífera bandada.