



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CARACTERIZAÇÃO LITOGEOQUÍMICA DE ROCHAS DO
SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS NA REGIÃO DA MINA
DE OURO DO "BAHÚ" RIO ACIMA - MG**

Augusto Junqueira Coimbra Ronconi

Ouro Preto, maio de 2017

**CARACTERIZAÇÃO LITOGEOQUÍMICA DE ROCHAS
DO SUPERGRUPO RIO DAS
VELHAS NA REGIÃO DA MINA DE OURO DO
"BAHÚ" RIO ACIMA - MG**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof^ª. Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Issamu Endo

Vice-Diretor

José Geraldo Arantes de Azevedo Britto

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Luís Antônio Rosa Seixas

MONOGRAFIA

Nº 219

CARACTERIZAÇÃO LITOGEOQUÍMICA DE ROCHAS DO SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS NA REGIÃO DA MINA DE OURO DO "BAHÚ", RIO ACIMA - MG

Augusto Junqueira Coimbra Ronconi

Orientador

Profº MSc. Edison Tazava

Co-Orientador

Profº Drº Hermínio Arias Nalini Jr.

Monografia apresentada ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da
Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da
disciplina Trabalho Conclusão de Curso, ano 2017/1.

OURO PRETO

2017

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Revisão geral: Augusto Junqueira Coimbra Ronconi

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

R769c Ronconi, Augusto Junqueira Coimbra.
Caracterização litogeoquímica de rochas do Supergrupo Rio das Velhas na região da mina de ouro do Bahú - Rio Acima/MG [manuscrito] / Augusto Junqueira Coimbra Ronconi. - 2017.

89f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. MSc. Edison Tazava .

Coorientador: Prof. Dr. Herminio Arias Nalini.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia.

1. Geoquímica. 2. Greenstone Belt. 3. Ouro. I. Tazava , Edison. II. Nalini, Herminio Arias. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 550.4(815.1)

Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br

Ficha de Aprovação

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Caracterização Litogeoquímica de Rochas do Supergrupo Rio das Velhas na Região da Mina de Ouro do "Bahú", Rio Acima - MG

AUTOR: AUGUSTO JUNQUEIRA COIMBRA RONCONI

ORIENTADOR: Prof. Edíson Tazava

Aprovada em: 17 de maio de 2017

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Edíson Tazava



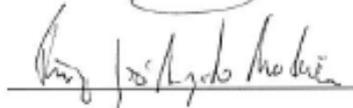
DEGEO/UFOP

Prof. Ricardo Augusto Scholz Cipriano



DEGEO/UFOP

Prof. Thiago José Augusto Madeira



DEGEO/UFOP

Ouro Preto, 17/05/2017

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais pelo carinho e educação, foram eles os responsáveis principais pelas minhas primeiras conquistas;

A Ana Cecília, por estar sempre ao meu lado;

Agradeço aos professores Edison Tazava e Hermínio Nalini pela orientação e apoio;

Às equipes do LgQA, LAMIN pelo auxílio nas fases laboratoriais. Ao Laboratório de Microanálises do DEGEO-EM-UFOP, integrante da RMic, Rede de Microscopia e Microanálises de Minas Gerais – FAPEMIG, pela geração dos dados químicos e imagens em microscópio eletrônico de varredura.

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| LISTA DE FIGURAS | xiii |
| LISTA DE TABELAS | xv |
| RESUMO | xvii |
| | |
| CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 APRESENTAÇÃO | 1 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 2 |
| 1.3 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO | 3 |
| 1.4 MÉTODOS E ATIVIDADES DESENVOLVIDAS..... | 4 |
| | |
| CAPÍTULO 2 GEOLOGIA REGIONAL | 7 |
| 2.1 LITOESTRATIGRAFIA | 7 |
| 2.2 GEOLOGIA ESTRUTURAL..... | 11 |
| | |
| CAPÍTULO 3 GEOLOGIA LOCAL..... | 15 |
| 3.1 INTRODUÇÃO..... | 15 |
| 3.2 LITOESTRATIGRAFIA | 15 |
| 3.3 ESTRUTURAL | 16 |
| 3.4 DEFORMAÇÃO NO TESTEMUNHO DE SONDAGEM FBA 138 | 19 |
| | |
| CAPÍTULO 4 DEPÓSITOS AURÍFEROS EM <i>GREENSTONE BELT</i> | 21 |
| 4.1 INTRODUÇÃO..... | 21 |
| 4.2 DEPÓSITOS AURÍFEROS MESOTERMAIS NO <i>GREENSTONE BELT</i> | 21 |
| 4.3 GÊNESE | 25 |
| | |
| CAPÍTULO 5 PETROLOGIA | 29 |
| 5.1 INTRODUÇÃO..... | 29 |
| 5.2 LITOTIPOS | 30 |
| | |
| CAPÍTULO 6 GEOQUÍMICA..... | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 6.1 INTRODUÇÃO | 39 |
| 6.2 COMPORTAMENTO DE ELEMENTOS MAIORES E MENORES.... | 39 |
| | |
| CAPÍTULO 7 DISCUSSÃO DE RESULTADOS..... | 43 |
| 7.1 INTRODUÇÃO | 43 |
| 7.2 LITOGEOQUÍMICA..... | 43 |
| 7.3 CORRELAÇÃO COM A MINA DO PARI..... | 44 |
| | |
| CAPÍTULO 8 CONCLUSÃO..... | 45 |
| | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 47 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero com a localização do furo FBA 138..... | 2 |
| Figura 1.2 Mapa de localização do furo de sondagem FBA 138..... | 4 |
| Figura 2.1 Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero | 7 |
| Figura 2.1 Subdivisão em três colunas estratigráficas e os 4 ciclos do <i>greenstone</i> Rio das Velhas | 10 |
| Figura 2.3 Mapa regional do Quadrilátero Ferrífero ilustrando as diversas falhas e estruturas presentes nesta região | 13 |
| Figura 3.1 Quadrilátero Ferrífero com as ocorrências auríferas | 18 |
| Figura 3.2 Profundidade 67m. Em A trecho do testemunho com indicador cinemático dextral, em que veios de quartzo e bandamento estão dobrados . Em B (luz transmitida, polarizadores cruzados) fotomicrografia do mesmo trecho, evidenciando microestruturas de foliação dobrada | 19 |
| Figura 3.3 Profundidade 42m. Em A (luz transmitida, polarizadores cruzados) ocorrência de clivagem de crenulação, como resposta ao esforço compressivo. Vqz- veio de quartzo. Em B (luz transmitida, polarizadores descruzados) Clivagem de crenulação na porção SE da lâmina | 20 |
| Figura 4.1 Relação entre a profundidade e os depósitos mesotermiais | 22 |
| Figura 4.2 Diagrama esquemático do ambiente tectônico de vários tipos de depósitos de ouro | 23 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.3 Seção geológica da Mina do Pari baseado em furos de sondagem rotativa | 26 |
| Figura 4.4 Evolução esquemática para a gênese dos depósitos auríferos mesotermiais | 28 |
| Figura 5.1 Furo de sondagem FBA 138 | 30 |
| Figura 5.2 Ocorrência de saprólito | 31 |
| Figura 5.3 Mica branca- quartzo xisto com sulfetação e veio de quartzo associado..... | 32 |
| Figura 5.4 Talco-Carbonato- Mica branca- quartzo xisto | 33 |
| Figura 5.5 Carbonato- Mica branca- quartzo xisto..... | 34 |
| Figura 5.6 Agregado de bertierita e jamesonita inclusas em pirita | 35 |
| Figura 5.7 Ullmanita bordejando pirita | 35 |
| Figura 5.8 Estibinita e jamesonita associadas com bertierita..... | 36 |
| Figura 5.9 Agregado granular de glaucodoto..... | 36 |
| Figura 5.10 Calcopirita bordejando calcoestibita | 37 |
| Figura 6.1 Valores dos elementos maiores (em ppm) e respectivas amostras | 41 |
| Figura 6.2 Valores dos elementos menores (em ppm) e respectivas amostras | 42 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 3.1 Sequência estratigráfica idealizada para um <i>greenstone belt</i> | 16 |
| Tabela 5.1 Dados do furo FBA138..... | 29 |
| Tabela 6.1 Elementos maiores (em ppm) e PPC (%) correlacionados com a profundidade da amostra..... | 40 |
| Tabela 6.2 Elementos menores (em ppm) correlacionados com a profundidade da amostra..... | 42 |

Resumo

O Supergrupo Rio das Velhas é objeto de diversos estudos devido à sua característica de *greenstone belt*, que é fonte de importantes depósitos auríferos, sobretudo no Grupo Nova Lima. A ocorrência de tais depósitos está condicionada às zonas de cisalhamento que favoreceram processos hidrotermais os quais trouxeram o Au em solução. Neste trabalho, descreve-se as características petrográficas e geoquímicas dos testemunhos do furo de sondagem FBA 138, alocado nos arredores de importantes depósitos auríferos da região. Foi observada a ocorrência dos processos de alteração: carbonatação e sulfetações disseminadas ocorrendo em diversos pontos do testemunho, além da presença de veios de quartzo que marca o processo de silicificação e em alguns trechos com cloritização, sendo a rocha hospedeira para todos estes processos um xisto com coloração verde típico dos *greenstone belts* - fácies xisto verde. Ao longo do testemunho nota-se nítida ocorrência de dobras, clivagem de crenulação e veios boudinados, evidenciando a instalação de regime compressivo/transpressivo na região (zonas de cisalhamento). Os minerais opacos presentes são majoritariamente pirita, calcopirita e pirrotita; e subordinadamente: bertierita, calcoestibita, estibinita, glaucodoto, hematita, jamesonita, pentlandita e ullmanita. O comportamento dos dados geoquímicos é condizente com as condições macroscópicas e de lâminas observadas, havendo correlação dos picos de valores com os processos de alteração. Vial (2007) relata a semelhança entre os depósitos auríferos da Mina do Bahú e Mina do Pari, o furo de sondagem FBA 138 por se localizar próximo a Mina do Bahú teve sua comparação feita com a Mina do Pari, sendo que se assemelha na questão de sulfetos como pirita, calcopirita, pirrotita e hematita; e do litotipo xisto com coloração esverdeada. Nas análises realizadas no testemunho não foi identificado ouro, embora a região seja historicamente conhecida por ocorrências auríferas, é no litotipo de BIF's (*Banded Iron Formations*) em que o ouro majoritariamente ocorre.

Palavras chave: geologia econômica, geoquímica, *Greenstone Belt Rio das Velhas*, depósitos auríferos.

1.1 APRESENTAÇÃO

O Quadrilátero Ferrífero (QF), localizado no estado de Minas Gerais, é historicamente conhecido por possuir depósitos auríferos de grande relevância geológica e econômica, representa uma província aurífera de classe mundial. Os depósitos mais importantes estão hospedados em rochas do Supergrupo Rio das Velhas. Tais depósitos podem ser exemplificados por Bela Fama, Bicalho, Cuiabá, Faria, Morro Velho, Raposos e São Bento. (Junqueira *et al.*2007)

Há uma grande quantidade de trabalhos enfocando os mais diversos aspectos da geologia do Quadrilátero Ferrífero e do *greenstone belt* Rio das Velhas, que é a unidade onde se localizam os principais depósitos primários de ouro. Porém, segundo Vial (2007) "geralmente apenas depósitos auríferos de grande porte são bem caracterizados", como por exemplo, Morro Velho e Cuiabá.

Contudo, empresas do ramo da extração aurífera investem em furos exploratórios para determinar novos alvos de corpos auríferos, sendo esse o objetivo do presente trabalho, qual seja, ampliar o banco de dados ao se analisar um testemunho de sondagem obtido nas proximidades do município de Rio Acima/MG, próximo à região com diversas ocorrências de jazidas de ouro (Figura 1.1).

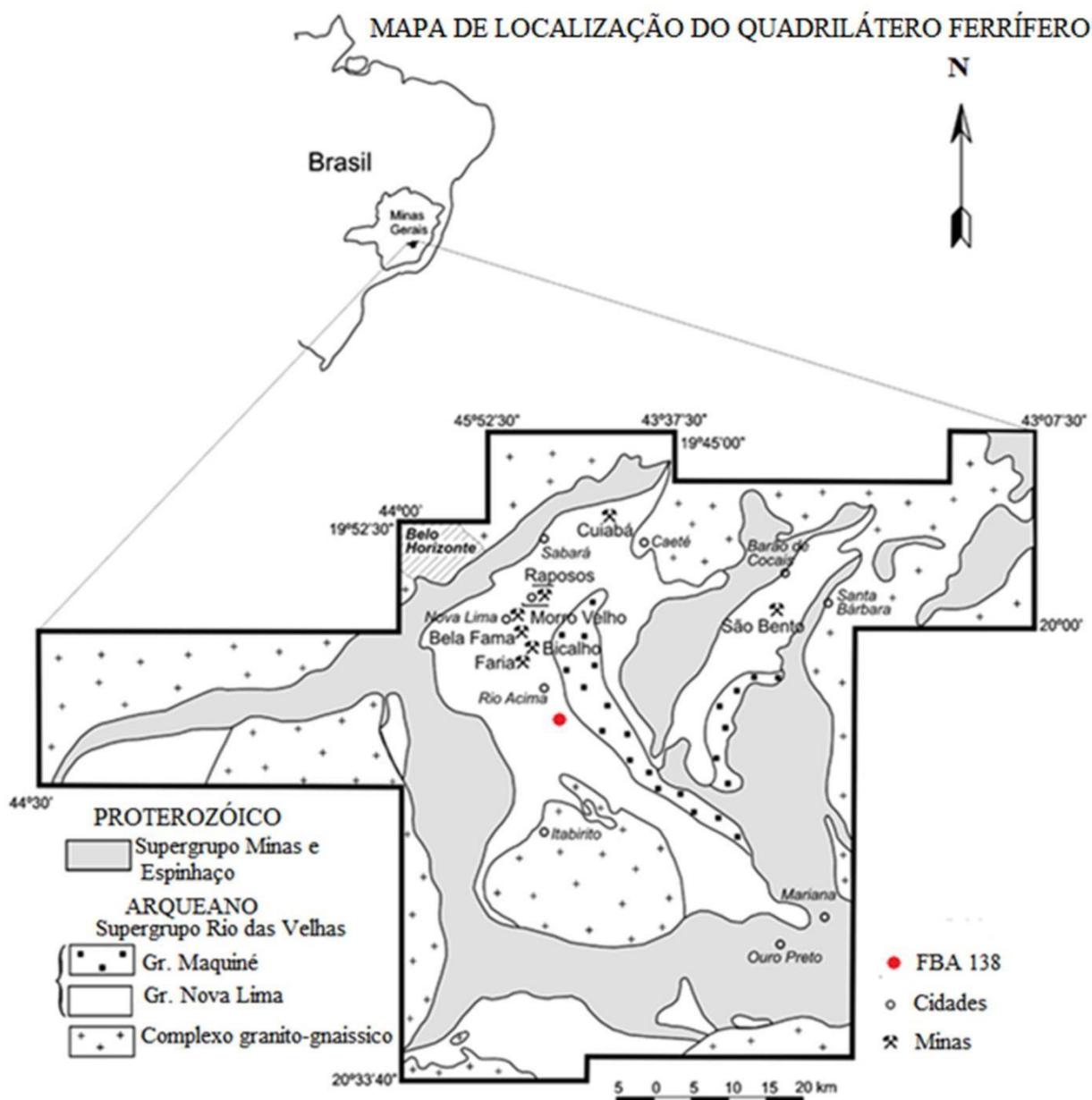


Figura 1.1 Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero com a localização do furo FBA 138 e alguns depósitos auríferos na região. Modificado de Dorr (1969).

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- Caracterização petrográfica dos testemunhos do furo de sondagem (FBA 138).

- b) Caracterização geoquímica por meio dos métodos: ICP-OES, para determinar elementos maiores e menores; perda por calcinação (PPC).
- c) Comparar as informações obtidas com depósito mesotermal da mina do Pari, descrito no trabalho intitulado "Evolução petrogenética e metalogenética da mina de ouro do Pari e arredores, NE do Quadrilátero Ferrífero- MG" (Abreu 2004).

1.3 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O furo de sondagem estudado está localizado na porção central do Quadrilátero Ferrífero, próximo ao município de Rio Acima/MG, possui coordenadas 20°09'37.0"S; 43°43'50.7"W (7770268,61/632644,90). O acesso pode ser feito a partir de Ouro Preto/MG - pela BR-356, sentido Belo Horizonte/MG, seguindo até Itabirito/MG, a partir daí, segue-se para o município de Rio Acima/MG, através da MG-030 e, finalmente, toma-se um acesso, pela Av. Israel Pinheiro da Silva, à uma estrada não pavimentada, por aproximadamente 19 km, até chegar às coordenadas do furo de sondagem, como mostrado na Figura 1.2.

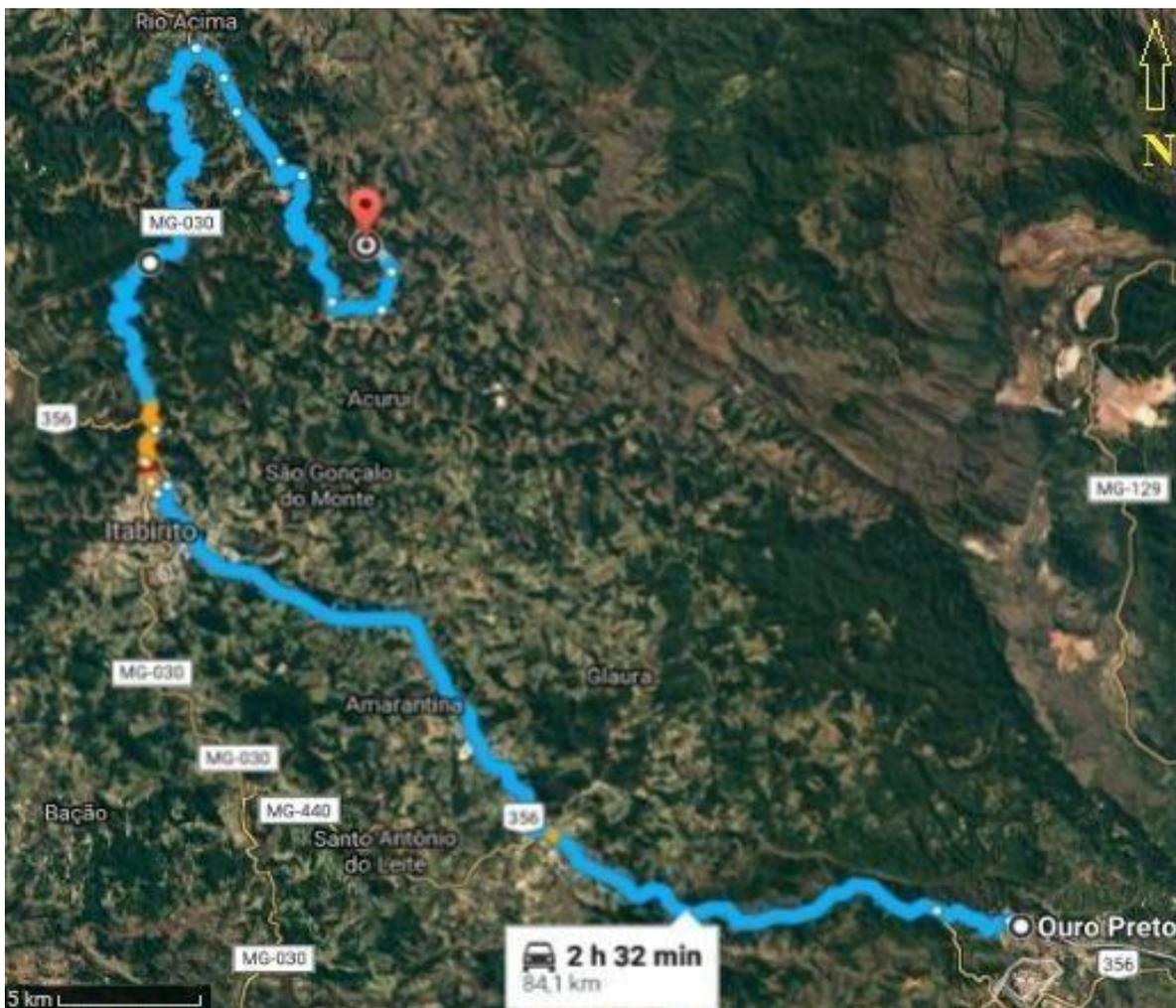


Figura 1.2 Mapa de localização do furo de sondagem FBA 138(identificado pelo marcador vermelho) e a via de acesso tendo como origem Ouro Preto/MG. Google Maps. Consulta realizada em 10/01/2017

1.4 MÉTODOS E ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Descrição das Atividades

Este trabalho teve início com a compilação bibliográfica de trabalhos que abordavam temas sobre gênese e ocorrências de *greenstone belt*, o Supergrupo Rio das Velhas e gênese de depósitos auríferos. A segunda etapa foi a organização das caixas de testemunhos do furo FBA 138 e análise petrográfica, os materiais utilizados nesta etapa foram lupa, ácido clorídrico 10%, riscador e caneta magnética. A terceira etapa englobou a seleção de 12 amostras ao longo do furo, cada amostra representa, aproximadamente, 10 cm de testemunho.

No LAMIN (Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia, DEGEO – UFOP) as amostras foram cortadas longitudinalmente ao meio, sendo uma metade destinada para a confecção de lâmina delgada e polida no LAMIN, já a outra metade da amostra ficou destinada para a pulverização e, encaminhada à análise química pelos métodos ICP/OES para determinação de elementos maiores e menores, perda por calcinação no Laboratório de Geoquímica Ambiental (LgQA, DEGEO – UFOP). No Laboratório de Microscopia (MicroLab, DEGEO - UFOP) foram realizadas as fotomicrografias através de microscópio sob luz transmitida e refletida e MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura).

Trabalhos de Escritório

Nessa etapa, foi realizada a revisão bibliográfica, descrição das 12 lâminas, confecção de tabelas, figuras e textos que compõem o trabalho. Para a interpretação e tratamento dos dados foram utilizados os softwares Microsoft Word (2013), Microsoft Excel, ArcGis 9.3 e Google Earth.

CAPÍTULO 2

GEOLOGIA REGIONAL

2.1 LITOESTRATIGRAFIA

A estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero é composta, da base para o topo, por complexos metamórficos granito-gnáissicos (TGG), seqüências vulcano-sedimentares de idade arqueana (Supergrupo Rio da Velhas), coberturas sedimentares plataformais de idade proterozóica inferior (Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi) e coberturas sedimentares de idade terciária de ocorrência restrita além de diques máficos intrudindo toda sucessão estratigráfica. (Baltazar & Zucchetti 2007; Lana *et al.* 2013). A Figura 2.1 mostra tal sucessão.

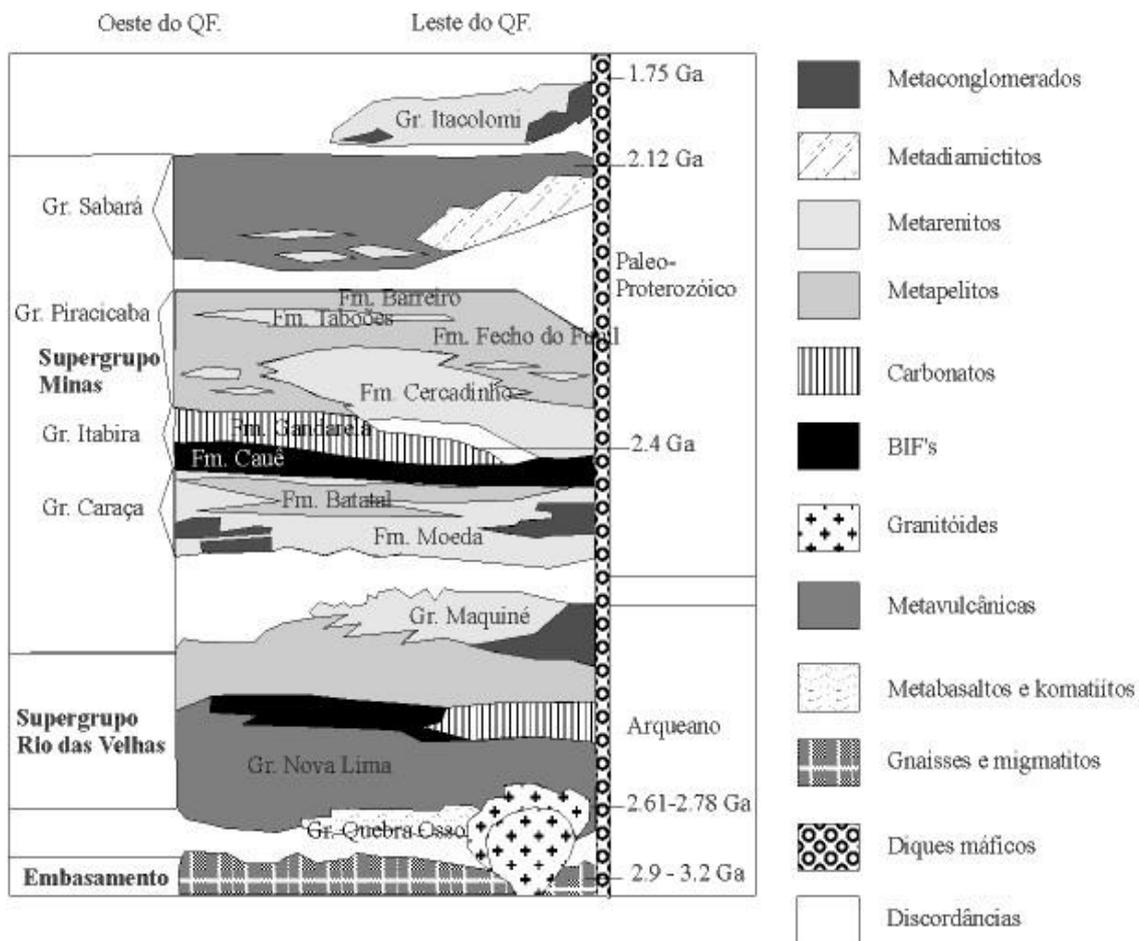


Figura 2.1 Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. Modificado de Alkmim & Marshak (1998).

O embasamento para todas as supracrustais do Quadrilátero Ferrífero é representado pelos Complexos metamórficos (Carneiro *et al.* 1995), os quais são constituídos por migmatitos e gnaisses, com composição majoritariamente, tonalítica a granítica e, subordinadamente, granitos, granodioritos, anfibolitos.

O Supergrupo Rio das Velhas - que representa um *greenstone belt* (Almeida 1976, Dorr II 1969) - é composto por rochas metassedimentares e metavulcânicas. Subdivide-se em dois grupos, na base o Grupo Nova Lima e, sobreposto a este, o Grupo Maquiné, tal divisão é em função de uma discordância angular observada entre as duas unidades. As rochas do Grupo Nova Lima são de natureza vulcano-sedimentar, compreendendo na sua assembléia de afinidade vulcânica, komatiítos com textura spinifex (Schorscher 1978), basaltos toleíticos, vulcânicas félsicas e vulcanoclásticas. As rochas de origem sedimentar compreendem xistos cloríticos a grafitosos, filitos, metagrauvas e quartzitos, todos de natureza clástica, ocorrendo também, sedimentos químicos e formações ferríferas bandadas do tipo Algoma.

Várias subdivisões são propostas para o Grupo Nova Lima, dentre elas, Ladeira (1980), que divide o Grupo Nova Lima em três unidades, da base para o topo:

- Unidade metavulcânica: composta por rochas ultramáficas, metabasaltos, metatufos, komatiítos, serpentinitos, esteatitos e formações ferríferas.

- Unidade metassedimentar química: composta de xistos carbonáticos, filitos grafitosos e formações ferríferas bandadas tipo Algoma.

- Unidade metassedimentar clástica: composta por quartzo-xistos, quartzitos e meta conglomerados.

Baltazar *et al.* (1996) apresentam uma variação da subdivisão de Ladeira (1980), subdividindo o Grupo Nova Lima em três unidades:

- Unidade basal constituída de metavulcânicas básicas e ultrabásicas, com sedimentos químicos e xistos carbonosos subordinados.

- Unidade média composta de metavulcânicas básicas a intermediárias com abundante formação ferrífera e metacherts.

- Unidade superior: formada por metapiroclásticas e metapelitos.

Schorscher (1982) separa as rochas ultramáficas da base do Grupo Nova Lima, colocando-as em uma nova unidade, denominada Grupo Quebra Osso.

O Grupo Maquiné, definido por Dorr *et al.* (1957), foi subdividido em duas formações, sendo elas da base para o topo:

Formação Palmital definido por O'Rourke (1957): constituída por filitos, filitos quartzosos e quartzitos sericiticos.

Formação Casa Forte definido por Gair (1962): composta por quartzitos sericíticos, quartzitos cloríticos e filitos e metaconglomerados na porção basal.

Em Baltazar & Zucchetti (2007), propõe-se uma subdivisão estratigráfica tendo como base pacotes genéticos para o Supergrupo Rio das Velhas, definindo em cada um deles uma estratigrafia e sistemas tectônicos diferentes, não leva em consideração o agrupamento de litotipos. Tal abordagem resultou na identificação de quatro ciclos deposicionais, os quais são apresentados na Figura 2.2.

Correlacionou-se os ciclos 1, 2, e 3, com as unidades inferior, intermediária e superior, respectivamente, com a Formação Palmital inclusa na última e no topo do Grupo Nova Lima. Já a Formação Casa Forte, do Grupo Maquiné, é correlacionada ao ciclo 4.

O mesmo trabalho supracitado sugere a divisão em três colunas estratigráficas do *greenstone belt* Rio das Velhas uma vez que é impossível correlacionar toda a sequência *greenstone* em apenas uma coluna estratigráfica, já que a distribuição espacial dos quatro ciclos é controlada por zonas de cisalhamento, colocando justapostos, portanto, blocos tectônicos com características litoestruturais diferentes.

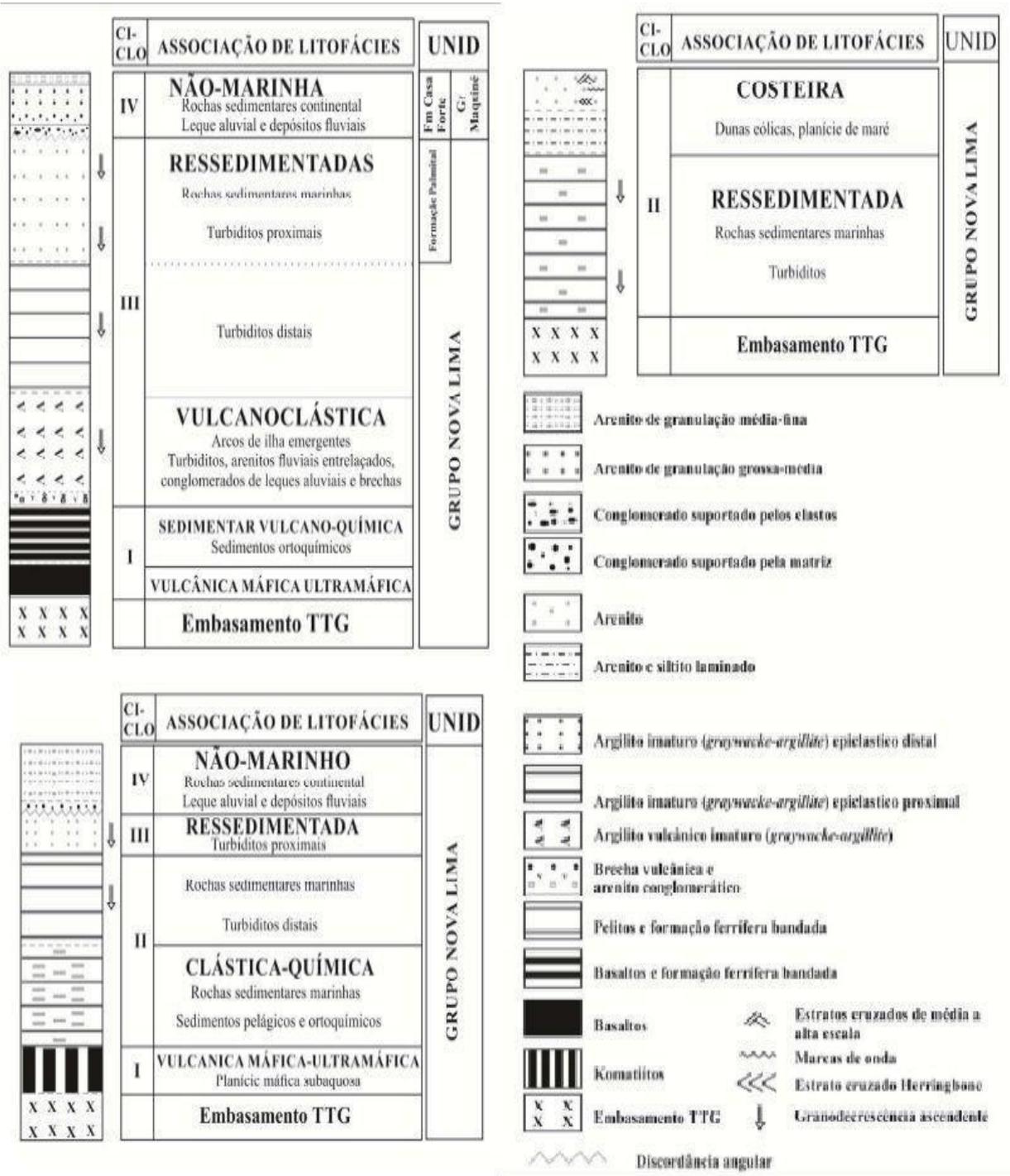


Figura 2.2. Subdivisão em três colunas estratigráficas e os 4 ciclos do *greenstone* Rio das Velhas, propostos por Baltazar & Zucchetti (2007). In Madeira (2016)

Sobreposto ao Supergrupo Rio das Velhas está o Supergrupo Minas que é constituído por sedimentos plataformais (Dorr II 1969, Alkmim & Marshak 1998). A estratigrafia do Supergrupo Minas pode ser dividida em quatro grupos, da base para o topo: Caraça, Itabira e Piracicaba e Sabará.

O Grupo Caraça, da base do Supergrupo Minas, composto por arenitos aluviais, conglomerados e folhelhos que gradam ascendentemente para um pelito marinho costal. (Alkmim & Martins-Neto 2012, Lana *et al.* 2013).

Sobreposto ocorre o Grupo Itabira, evidenciando uma grande transgressão que marcou um período de sedimentação química. Este grupo é subdividido em Formação Cauê na base, composta, essencialmente, por formações ferríferas bandadas do tipo Lago Superior, secundariamente apresenta itabiritos dolomíticos e anfíbolíticos, com restritas lentes de filitos, além de horizontes manganésíferos. No topo a Formação Gandarela composta predominantemente por dolomitos, com ocorrência secundária de itabiritos, filitos dolomíticos e filitos.

Sobreposto ocorre o Grupo Piracicaba, subdividido em quatro formações, da base para o topo, Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro composto predominantemente por quartzitos e filitos ferruginosos, dolomitos impuros, filitos grafitosos.

O pacote estratigráfico do Supergrupo Minas tem em seu topo o Grupo Sabará que compreende uma pilha espessa de turbiditos, tufos vulcânicos, e diamictitos derivados de fontes muito mais jovens que 2,1 Ga (Dorr II 1969, Renger *et al.* 1994, Machado *et al.* 1996, Lana *et al.* (2013)

No topo estratigráfico do Quadrilátero Ferrífero, ocorre o Grupo Itacolomi, composto por uma pilha de mais de 2.000 m de sedimentos aluvial, diferenciado do Supergrupo Minas por uma inconformidade regional. Apresenta duas fácies, uma mais quartzosa denominada de Itacolomi e outra mais filítica designada de Santo Antônio (Dorr II 1969; Lana *et al.* 2013).

2.2 GEOLOGIA ESTRUTURAL

O Quadrilátero Ferrífero devido sua complexidade geológica é alvo de diversos trabalhos e grande volume de informações quanto à sua evolução tectono-estrutural. Não havendo, porém, consenso geral sobre uma teoria que elucide tal evolução.

Segundo Rosière & Chemale (2000) a estruturação regional do Quadrilátero Ferrífero é o resultado da superposição de dois eventos deformacionais progressivos

principais. O primeiro causou a formação de sinclinais regionais nas supracrustais e o soerguimento de domos granito-gnáissicos durante a Orogênese Transamazônica (2,1 – 2,0 Ga). O segundo evento está associado a um feixe de falhas de empurrão com vergência para oeste de idade Brasiliana 0,8 a 0,6 Ga.

Endo (1997) e Endo & Machado (1998) atribuem as estruturas do QF a dois eventos transpressivos e dois transtivos intercalados entre si. Sendo que Endo (1997) caracteriza um evento tectônico e magmático Neoarqueano, chamado evento Jequié, contendo três fases deformacionais: Rio das Velhas (RV) I, II e III. Sendo que todas as fases deformacionais são caracterizadas por plano de fluxo N-S e componente de deslocamento direcional. A primeira dessas três fases (RV I) ou Orogênese Rio das Velhas, datada entre 2,780 - 2,682 Ga, se caracteriza por apresentar componente deformacional transpressional dextral com deformação cisalhante dúctil do *greenstone belt*, foliação milonítica vertical e ainda proporcionou a nucleação de fraturas de direções NE-SW e N-S possibilitando a ascensão/alojamento sintectônico de granitóides, sendo que tal fato contribui sobremaneira para a instalação dos depósitos auríferos na região, sendo portanto de grande importância para o presente trabalho.

Segundo Alkmim & Marshak (1998), a evolução deformacional no QF tem por resultado uma arquitetura geológica regional do tipo “domos e quilhas” onde os domos representam os grandes anticlinais recobertos, ou não, pelo Supergrupo Rio das Velhas e as quilhas são as grandes calhas dos megassinclinais preenchidas pelos metassedimentos do Supergrupo Minas. A Figura 2.3 mostra as principais feições tectônicas e estruturais reconhecidas na região do Quadrilátero Ferrífero.

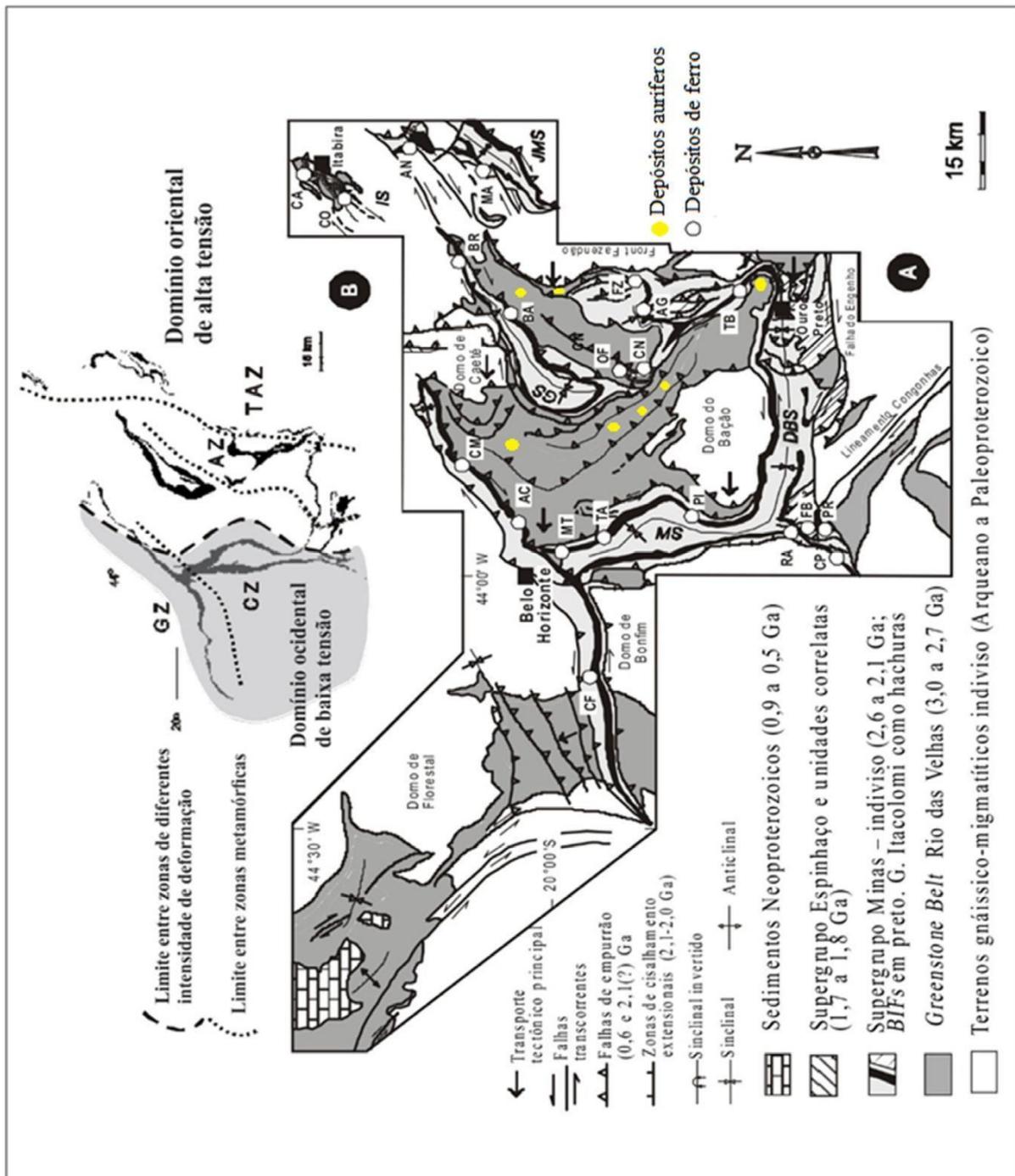


Figura 2.3 Mapa regional do Quadrilátero Ferrífero ilustrando as diversas falhas e estruturas presentes nesta região. Modificado de Rosière & Chemale Jr. (2000).

No Quadrilátero Ferrífero o metamorfismo é gradacional e crescente para leste, atingindo a fácies anfibolito, já na porção mais a oeste do quadrilátero, atinge até a fácies xisto verde (Carneiro 1992). Condição essa que favoreceu a ocorrência das mineralizações auríferas no Supergrupo Rio das Velhas.

Segundo Condie (1981) depósitos econômicos de ouro são primordialmente confinados em terrenos vulcanossedimentar metamorfizados na fácies xisto verde. Sendo que Noce *et al.* (2007) através de estudos com isótopos de U/Pb em depósitos de ouro do tipo *lode*, data em cerca de 2,8-2,7Ga o período principal de mineralização.

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentadas com maior detalhamento as características principais que condicionam as relevantes ocorrências auríferas no Supergrupo Rio das Velhas na região em torno do furo FBA 138, mostrando as condições estruturais em que se encontram tais depósitos.

3.2 LITOESTRATIGRAFIA

A estratigrafia de um *greenstone belt* compreende, geralmente, um padrão (Moore 2002): 1 - unidade vulcânica máfica basal, de natureza toleítica de fundo oceânico; 2-unidade vulcânica félsica a intermediária, com caráter calcialcalino e características similares às de vulcanitos de arcos continentais; 3-unidade sedimentar constituída de turbiditos vulcano-derivados e sedimentos vulcanoquímicos do tipo *chert* e *BIF*. Esse conjunto de supracrustais encontra-se metamorfisado nas fácies xisto verde e anfíbolito e intrudido por granitóides sin a tardi-tectônicos, sills gabróicos e corpos lamprofíricos pós-tectônicos. A Tabela 3.1 mostra o sequenciamento completo do topo para base.

Tabela 3.1 Sequência estratigráfica idealizada para *greenstone belts*. Modificado de Moores (2002).

| LITOLOGIA |
|--|
| Ortoquartzitos, filitos e conglomerados com seixos de itabiritos |
| Clorita - xistos, grauvacas, metatufos, conglomerados e quartzitos |
| Filitos e Filitos grafitosos |
| Ortoquartzitos |
| Filitos, filitos dolomíticos e dolomito silicoso |
| Dolomitos, filito dolomítico e calcários |
| Itabirito, itabirito dolomítico |
| Filitos e filitos grafitosos |
| Quartzitos sercítico, conglomerados e filitos |
| Quartzitos, conglomerados, mica branca- quartzo-xisto e filitos. |
| Filito clorítico, filito grafitoso, metagrauvacas, formações ferríferas, quartzitos, metacherts, dolomitos, rochas máficas e ultramáficas, mica branca-quartzo-xisto |
| Komatiitos, formações ferríferas e metacherts. |
| Gnaisses bandados, gnaisses migmáticos, augen gnaisses, granito. |

3.3 ESTRUTURAL

Embora o Quadrilátero Ferrífero seja uma região com diversos trabalhos publicados e, conseqüentemente, diversas interpretações sobre evolução tectônica, é notório que as estruturas de zonas de cisalhamento são de fundamental importância para o condicionamento da formação das ocorrências auríferas na região. Segundo Araújo (2001), duas merecem destaque: a zona de cisalhamento São Vicente e a zona de cisalhamento Tapera.

Tais estruturas seguem um trend estrutural aproximadamente NW-SE e nelas são encontradas diversas mineralizações tais como: Paciência, Bahú, Tapera, São Vicente, Passagem de Mariana e distrito mineiro de Nova Lima. Sendo esses dois últimos associados às extremidades dessas estruturas e, constituindo-se os principais locais de ocorrência aurífera do Quadrilátero Ferrífero (Madeira, 2016). A Figura 3.1, mostra a íntima relação entre a zona de cisalhamento São Vicente e as ocorrências auríferas, seguindo um padrão linear ao longo do trend estrutural.

Segundo Alkmim & Marshak (1998) evidências estruturais mostram que evolução dessas zonas de cisalhamento estão associadas ao transporte tectônico de unidades rochosas de SE para NW através de falhas de empurrão, direcionais e cavalgamentos. Sendo a mineralização mais recente que 2,09 Ga com associação a uma fase compressiva do ciclo Transamazônico, provavelmente durante a inversão da Bacia Minas.

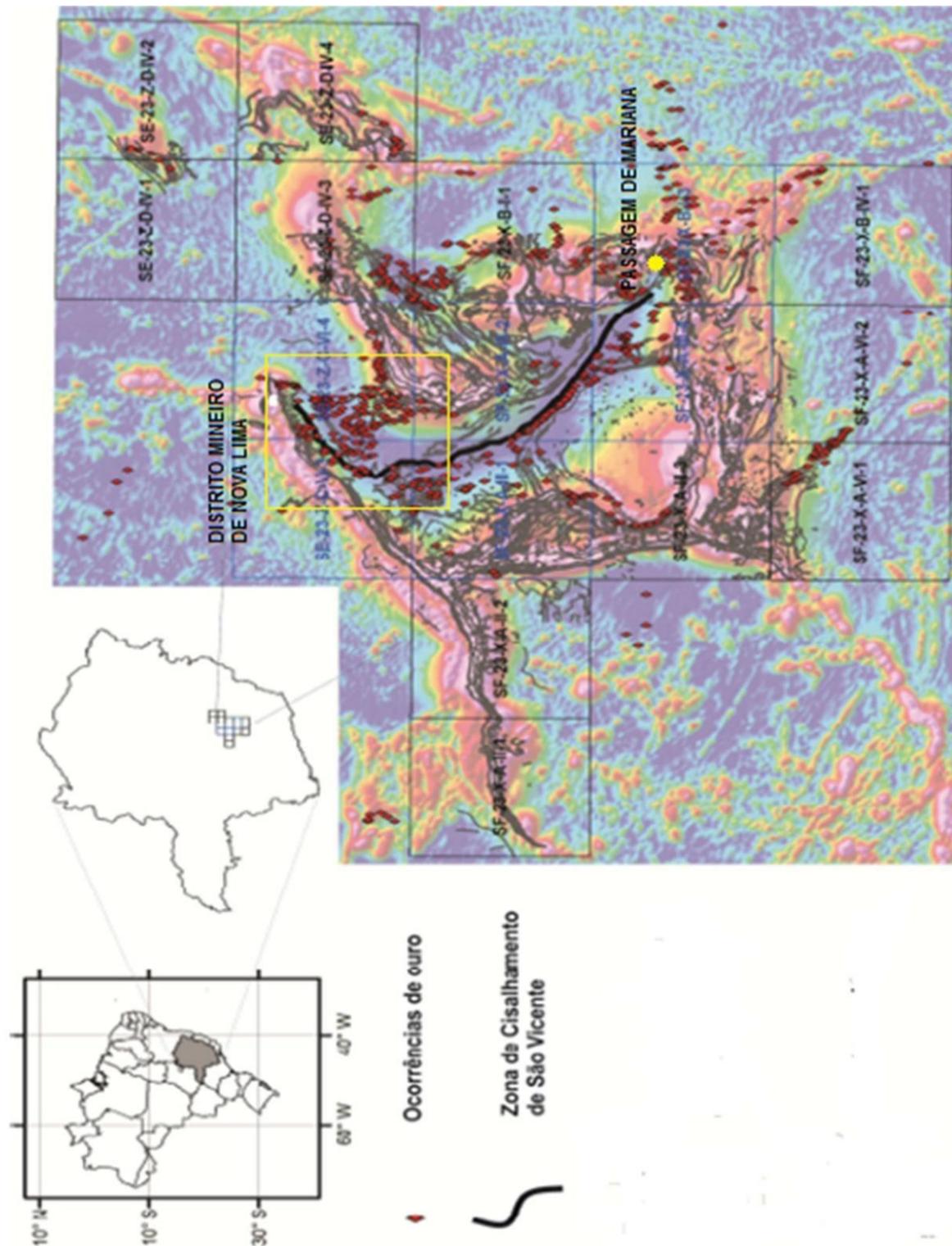


Figura 3.1 Quadrilátero Ferrífero com as ocorrências auríferas, destaque às que ocorrem ao longo da zona de cisalhamento de São Vicente e aos dois principais distritos auríferos: Nova Lima e Passagem de Mariana. (Baltazar *et al.* 2005)

3.4 DEFORMAÇÃO NO TESTEMUNHO DE SONDAGEM FBA 138

As zonas de cisalhamento tem como produto nas rochas feições estruturais e indicadores cinemáticos, os quais permitem a interpretação do regime tectônico em que as rochas da região foram submetidas e sua intensidade. O furo de sondagem FBA 138 foi alocado em uma típica área de ocorrência de zonas de cisalhamento. Ao longo do testemunho de sondagem notam-se diversos indicadores cinemáticos fruto do esforço compressivo (Figura 3.2 e Figura 3.3).

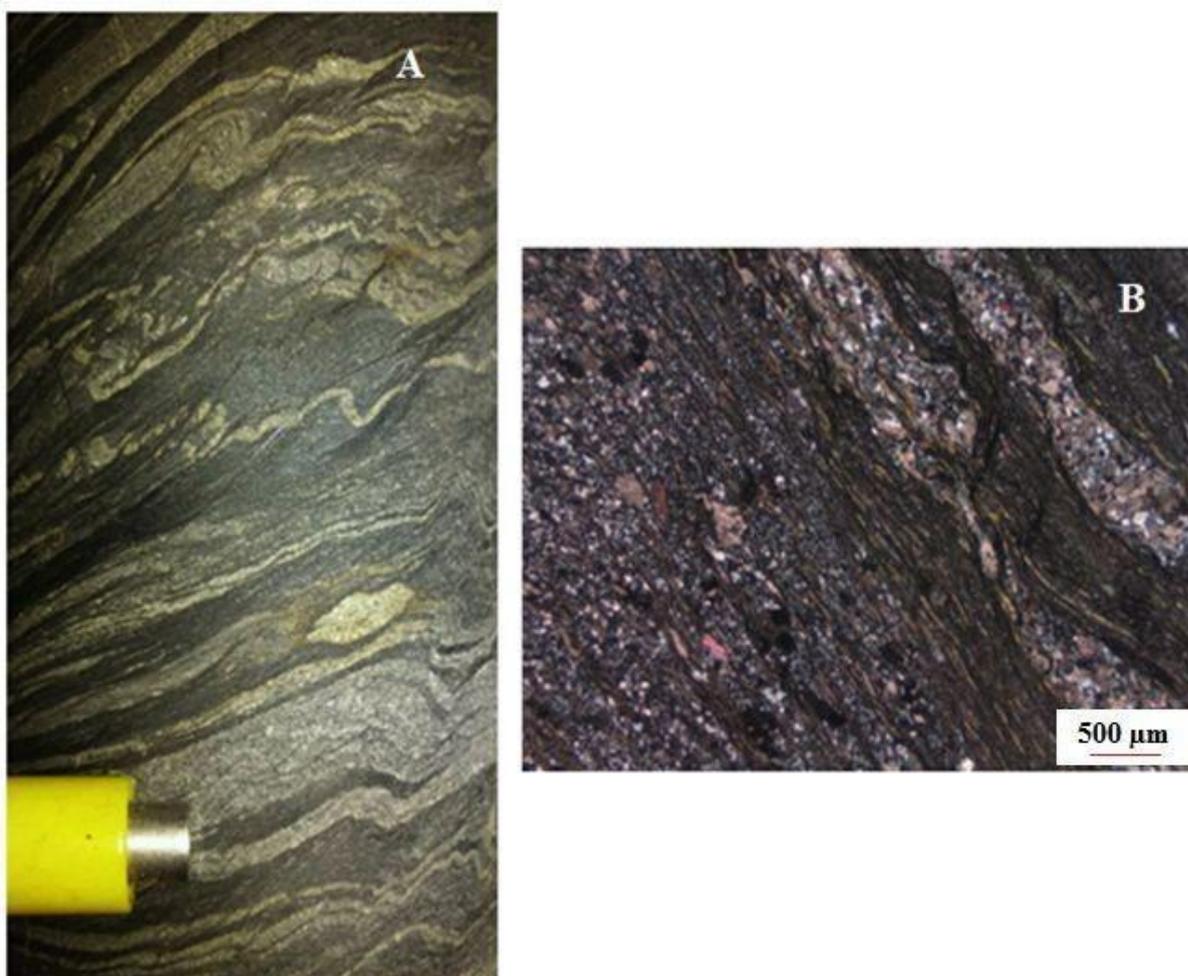


Figura 3.2 Profundidade 67m. Em **A** trecho do testemunho com indicador cinemático dextral, em que veios de quartzo e bandamento estão dobrados . Em **B** (luz transmitida, polarizadores cruzados) fotomicrografia do mesmo trecho, evidenciando microestruturas de foliação dobrada.

Nota-se ao longo do furo que a deformação na rocha não ocorre de forma homogênea e bem distribuída ao longo de todo o testemunho. A deformação ocorre em diferentes profundidades, mostrando que as zonas de cisalhamento podem ter uma grande espessura de influência, o que influencia diretamente a instalação de depósitos auríferos, umas vez que

fluidos hidrotermais enriquecidos em ouro aproveitam falhas geradas pela deformação para se mobilizar.

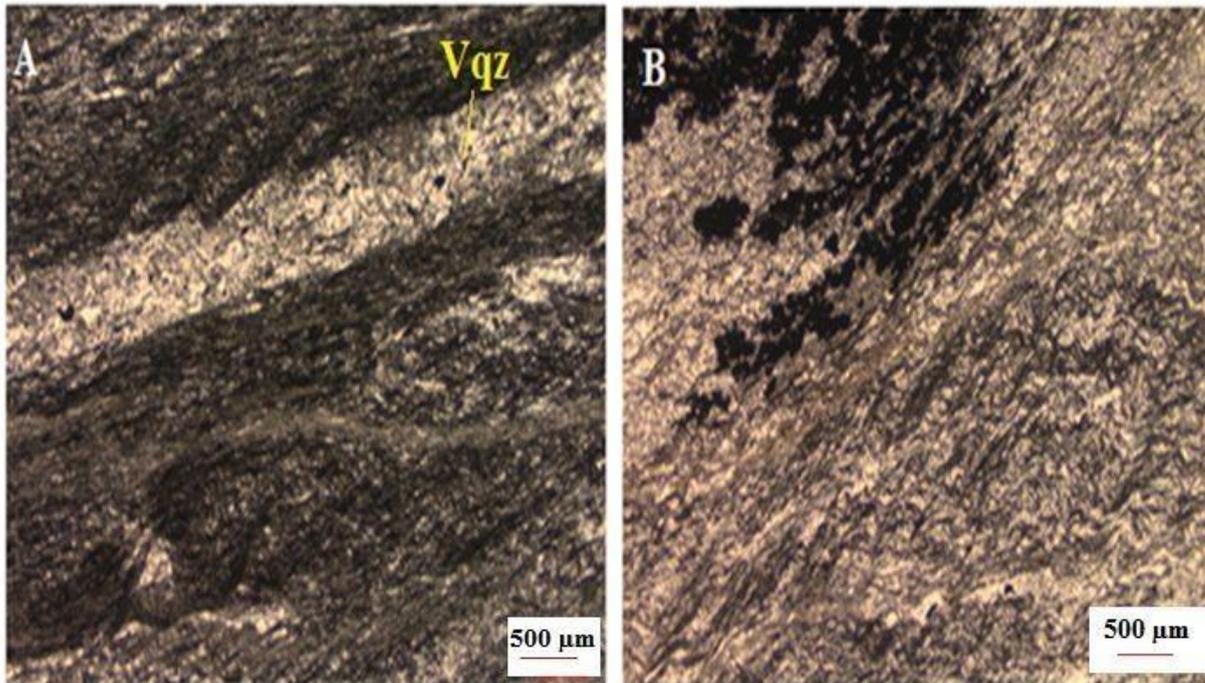


Figura 3.3 Profundidade 42m. Em A (luz transmitida, polarizadores cruzados) ocorrência de clivagem de crenulação, como resposta ao esforço compressivo. Vqz- veio de quartzo. Em B(luz transmitida, polarizadores descruzados) Clivagem de crenulação na porção SE da lâmina.

CAPÍTULO 4

DEPÓSITOS AURÍFEROS EM *GREENSTONE BELT*

4.1 INTRODUÇÃO

Segundo Moores (2002), os *greenstone belts* têm sido interpretados como sendo uma crosta oceânica antiga e terrenos de arco de ilha. Essa sequência foi submetida à deformação e ao metamorfismo geralmente nas fácies metamórficas xisto-verde, com aparecimento de cloritas, actinolita, anfibólios verdes e outros minerais esverdeados que deram origem ao nome “*greenstone*”.

Os depósitos de *greenstone belts* se destacam por se tratar de uma sequência de rochas vulcano-sedimentares que ocorrem em associação com terrenos de alto-grau metamórfico, típicos do Arqueano e, principalmente, por conterem as mais importantes mineralizações de ouro. Contém também mineralizações de prata, chumbo, cobre, níquel, cromo, zinco, associação Pb-W-Zn-Ag- (Cu). (Moores 2002)

Exemplos brasileiros de *greenstone belts* (GB) são: Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás no estado de Goiás, o GB do Rio Itapicuru (BA) e o GB Rio das Velhas (MG).

4.2 DEPÓSITOS AURÍFEROS MESOTERMAIS

Segundo Lobato (1998) os depósitos mesotermiais estruturalmente controlados, ocorrem em terrenos metamórficos e constituem um grupo específico de sistemas epigenéticos de metais preciosos. Como ocorre no *greenstone belt* Rio das Velhas com diversos depósitos mesotermiais de ouro no Quadrilátero Ferrífero.

Trabalhos como Groves *et al.*(1998) e Goldfarb *et al.*(2005) elucidam a questão da relação entre depósitos auríferos mesotermiais e a profundidade em que ocorrem. Apesar de tais depósitos serem mais comuns na fácies xisto verde, podem ocorrer desde a fácies sub-xisto verde até as fácies granulítica. Com uma classificação para todos os depósitos mesotermiais em epizonais, ocorrendo a aproximadamente 6 km de profundidade, 150° C-300°C; mesozonais, ocorrem a 6-12 km, 300-475 °C; e epizonais que ocorrem nos intervalos 12-20km de profundidade à temperaturas superiores à 475°C, como mostrado na figura 4.1.

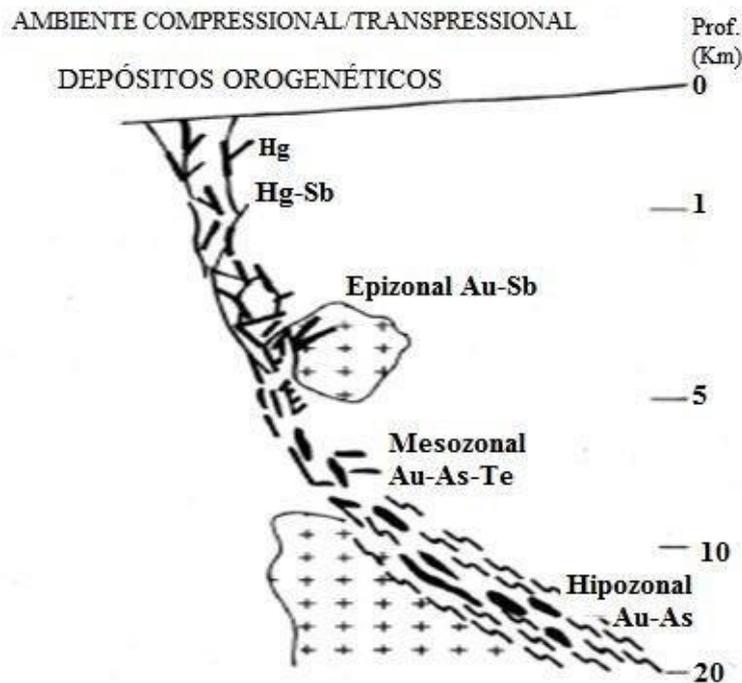


Figura 4.1 Relação entre a profundidade e os depósitos mesotermiais (ou epigenéticos). Modificado de Groves *et al.* (1998).

Quanto às mineralizações, dependem da composição dos fluidos e, estes da composição do magma ou das rochas adjacentes, cujos elementos são carreados em solução por zonas de cisalhamento. As facilidades promovidas pelos planos e pela cinemática de cisalhamento favorecem o posicionamento de corpos mineralizados oriundos de regiões mais profundas, a percolação de fluidos oriundos da desidratação, devido ao metamorfismo progressivo e alteração hidrotermal, remobilizações de metais e reconcentração em zonas favoráveis, entre outros e a consequente precipitação de metais com a formação dos corpos mineralizados, como mostrado esquematicamente (Figura 4.2).

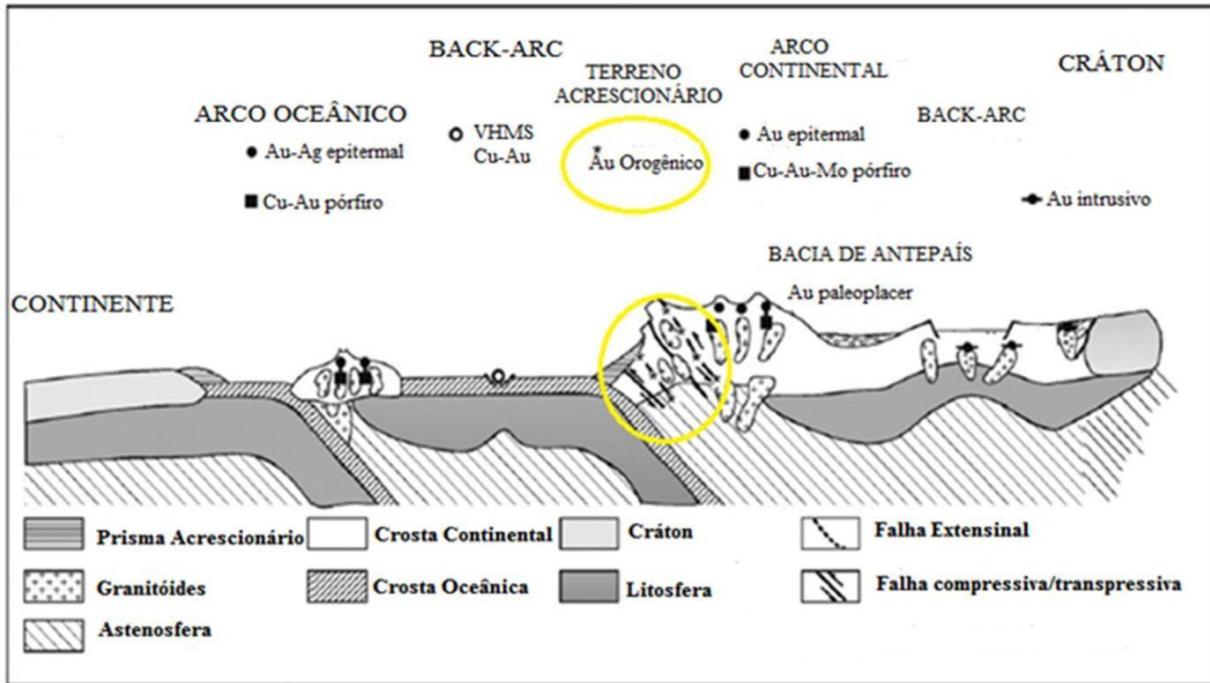


Figura 4.2 Diagrama esquemático do ambiente tectônico de vários tipos de depósitos de ouro, com destaque para os depósitos mesotermiais (ou orogênicos). Modificado de Groves *et al.* (2005)

A deposição do ouro seria relacionada aos processos ígneos, metamórficos e deformacionais associados ao acréscimo das encaixantes à crosta continental, sendo que, no caso dos cinturões pré-cambrianos, essa, normalmente, segue logo depois à formação das rochas vulcânicas mais jovens dos cinturões (Lobato 2002). A deposição do ouro, a partir dos fluidos metamórficos em equilíbrio com as associações de alteração, teriam pH próximo do neutro ou levemente alcalino, fO_2 no campo do enxofre reduzido, pirita mostraria solubilidade significativa e enxofre dissolvido estaria presente principalmente como H_2S e HS^- . Considerando que Au é muito solúvel como tiocomplexo, sua precipitação ocorrerá por mudanças nesses parâmetros (pH, fO_2 e H_2S). Sendo que tais mudanças podem ocorrer devido a diversos processos, tais como:

- Metassomatismo de CO_2 de minerais contendo Fe^{+3} (epidoto, magnetita), com formação de carbonato, oxidando o fluido;
- Processos que abaixem o conteúdo do enxofre no fluido, como por exemplo: mudança de pH (para valores mais alcalinos), que cause a deposição de sulfetos nos veios ou sulfetação de minerais com Fe das encaixantes;
- Separação da fase CO_2 , que causa a partição do H_2S para a fase vapor;

- Processos que resultem na perda de CO₂ (carbonatação, imiscibilidade) e a variação (aumento) do pH;
- Alteração de hidrólise do feldspato, para formar mica, que também aumenta o pH. Tais reações podem resultar em mudanças da pressão causadas pela expansão dos fluidos dentro de zonas de dilatação e aumento do acesso de fluido nas encaixantes, causado por fraturamento hidráulico, que resulta em aumento da pressão de fluido.

A composição mineralógica principal das zonas auríferas é quartzo, carbonatos, feldspato (albitico), sericita, sulfetos de metais básicos mais comuns e ainda teluretos, turmalina, arsenopirita, scheelita e molibdenita. Pirrotita é comum de depósitos em formação ferrífera bandada, onde predominam rochas sedimentares; também nas partes mais profundas dos depósitos onde pirita é o mineral predominante. A arsenopirita também é comum em depósitos com predominância de sedimentos. A scheelita ocorre em depósitos com intrusões porfiríticas félsicas com quartzo e teluretos com intrusões alcalinas sem quartzo.

Em formação ferrífera bandada, principal litotipo em que ocorre a mineralização aurífera no *Greenstone belt* Rio das Velhas, o envelope externo é dominado por carbonatos de ferro e nas zonas proximais ocorrem sulfetos junto com quartzo. Imiscibilidade de soluções é indicada e considerada importante para a precipitação do ouro.

De um modo geral, a alteração hidrotermal dos mesmos caracteriza uma zona central de carbonatos de ferro, normalmente com albita e micas, gradando para calcita e clorita. Há também o desenvolvimento de veios de quartzo e sulfetação ocorrendo inclusive ouro incluso principalmente nos sulfetos.

A alteração hidrotermal nesses depósitos é dominada por reações progressivas de consumo de CO₂ e enxofre e, ainda H₂O. Os estudos relacionados aos depósitos minerais de origem hidrotermal revelam que existem paragêneses minerais diferentes que podem ser separadas espacial e cronologicamente dentro de um mesmo depósito.

As paragêneses formadas refletem temperatura, pressão, composição química do fluido, composição química e mineralógica das encaixantes e tempo disponível para reequilíbrio.

Dois tipos de alterações hidrotermais influenciaram sobremaneira as mineralizações auríferas nos *greenstone belts* arqueanos:

- Alteração a talco-carbonato e talco-clorita

A associação talco + carbonato (mais ou menos magnetita) é comumente encontrada em depósitos hidrotermais de ouro em *greenstone belts* arqueanos, sendo interpretada como resultante de percolação de fluidos metamórficos que canalizaram em grandes quebras estruturais, com quantidades volumosas de CO₂ e H₂O. Nessas zonas de falha, observam-se ainda diversos estágios de alteração a sericita, albita, esteatito e carbonato (dolomita, anquerita, magnesita), além de concentrações de pirita, arsenopirita e ouro. A alteração carbonática de rochas máficas também é comum nesses terrenos, onde as zonas de alteração são as clorítica (clorita + calcita + anquerita), carbonática (anquerita + siderita) e de sericita/pirita (anquerita + moscovita + quartzo + albita + pirita + ouro).

- Alteração a carbonato

Com formação de calcita, dolomita, anquerita, siderita, junto com sericita, pirita e/ou albita. É típica de envelopes de veios de quartzo em depósitos auríferos.

4.3 GÊNESE

Segundo trabalho publicado por Vial *et al.* (2007), depósitos auríferos hospedados no greenstone belt Rio das Velhas, de idade arqueana, podem ser divididos em seis tipos, são eles:

1- Ocorrência de Au associado à BIF's, composto por intercalações de camadas de carbonato e sulfeto. Sendo a predominância de pirita como sulfetos. Encontrada nas minas de Raposos, Cuiabá e Lamego. Já a predominância de pirrotita ocorre nos depósitos de São Bento e Brumal. Porém, em todos os casos desse tipo de depósito, há a ocorrência de arsenopirita.

2- Ocorrência de Au associado a xisto quartzo-carbonático (conhecido como "lapa seca"). Depósito caracterizado por corpos maciços de minério, ocorrendo junto a veios de quartzo, sendo que nos depósitos de pequeno porte, como Bela Fama e Bicalho, há a predominância de veios de quartzo. Pertencente a esse tipo, o depósito de classe mundial de Morro Velho, os corpos de minério de sulfeto maciço representam mais de 90% do minério.

3- Ocorrência de Au associado a veios de quartzo, geralmente ocorrendo zonas simétricas de alteração hidrotermal com finas camadas, em sua maioria, de pirita nas bordas dos veios. Exemplos principais desse tipo de depósito são Juca Vieira, Descoberto, Fernandes e Carrapato de Baixo.

- 4 Ocorrência de Au associado a sulfetos disseminados e veios de quartzo, como as minas de Moita e Córrego do Sítio e Alto Gago.
- 5 Ocorrência de Au associado a anfibolitos em que o minério é composto por intercalações de sulfetos e camadas de anfibólio, como ocorre na mina do Pari e “Bahú “(Figura4.3).
- 6 Ocorrência de Au associado a sulfetos metálicos que variam de disseminados a maciço, como ocorre na mina Pico de Pedra.

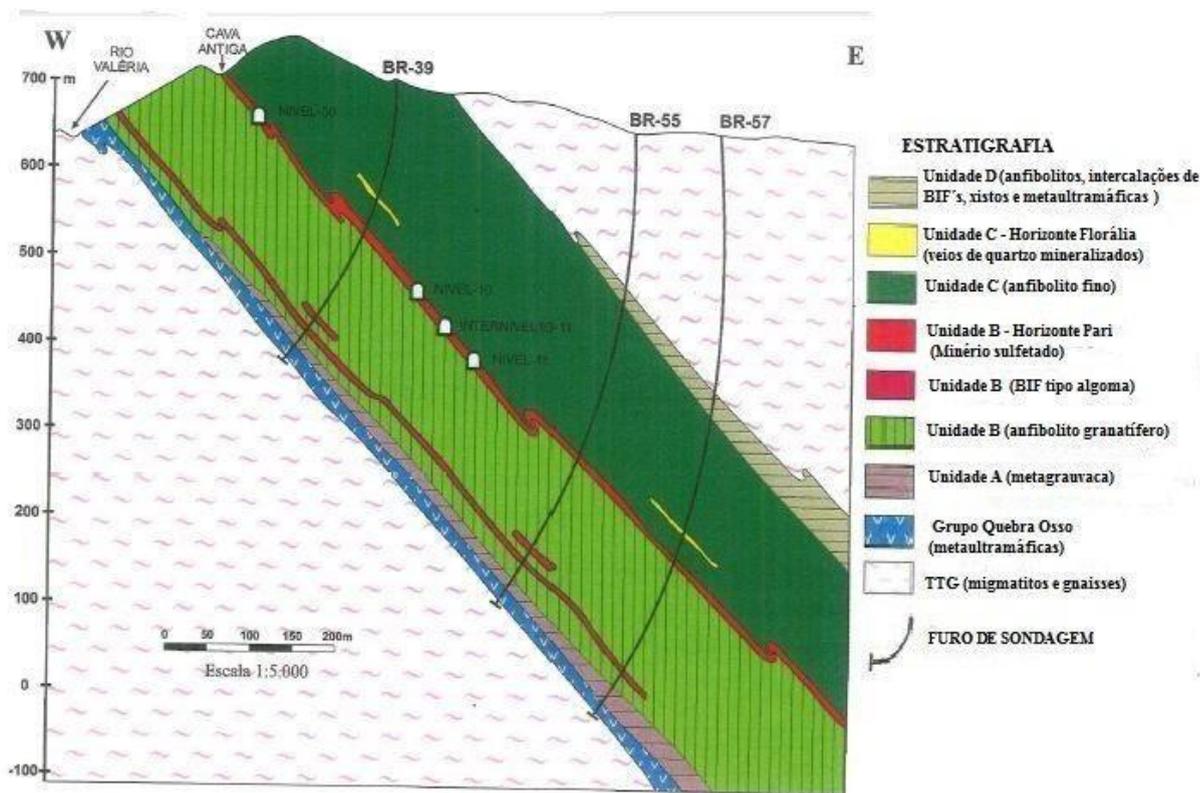


Figura 4.3 Seção geológica da Mina do Pari baseado em furos de sondagem rotativa. Modificado de Abreu (2004).

Uma gênese singenética para a deposição e formação inicial do uro, ou seja, formado por vulcanismo exalativo, tem sido defendida por diversos autores tais como Vial (1980), Bernasconi (1985) e Ladeira (1988). Sendo que a remobilização e instalação da mineralização são atribuídas por evento hidrotermal/metamórfico em zonas de cisalhamento dúctil, relacionadas à cavalgamentos ou estruturas de transcorrência, dependendo do depósito. Além

disso, zonas de alteração como supracitado afetam diretamente o controle de deposição de Au no *greenstone belt* Rio das Velhas e em outros *greenstone* no mundo (Vieira 1991).

O maior número de depósitos minerais teve sua gênese por precipitação de soluções hidrotermais (Skinner & Barton 1973). Os depósitos se formam devido a uma solução aquosa quente, contendo metais e outros componentes. Precipitam minerais em armadilhas de minério devido ao desequilíbrio físico-químico entre rochas e fluido (Skinner 1997).

A alteração hidrotermal é uma substituição química de minérios originais em uma rocha por novos minerais onde um fluido hidrotermal entrega os reagentes químicos e remove os produtos de reação aquosa. É uma função de variações de temperatura, pressão e, mais importante, composição de fluidos (Reed 1997). A Figura 4.4 mostra a evolução dos depósitos mesotermiais.

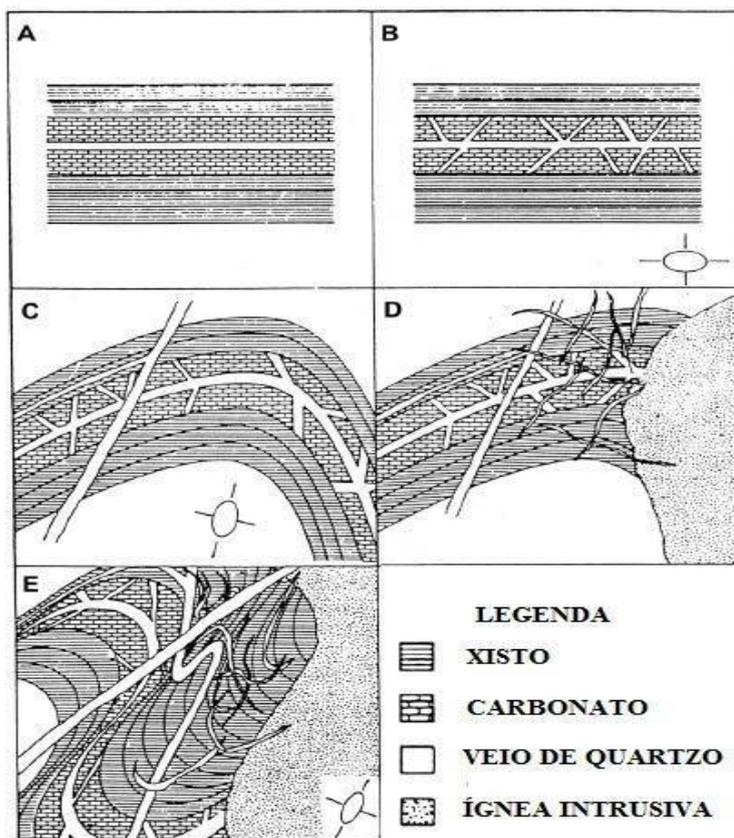


Figura 4.4 Evolução esquemática dos depósitos auríferos mesotermiais segundo o modelo singenético-epigenético. **A:** sedimentação exalativa de fundo oceânico. A circulação convectiva da água do mar com lixiviação do basalto toleítico marinho levaria à deposição de chert (\pm argiloso, carbonoso), estratiforme, piritoso e aurífero (com cerca de 1 g/t Au) no fundo do mar. (Wood & Large2007). **B:** soterramento, compactação e diagênese e formação de veios. **C:** dobramento e ocorrência de veios discordantes. **D:** intrusão félsica porfirítica causando remobilização de veios de quartzo (stockwork). **E:** deformação e metamorfismo durante orogenia no Neoarqueano (Ciclo tectônico Rio das Velhas por exemplo). Posterior deformação, instalação de rochas intrusivas e metamorfismo desenvolveria sucessivos sistemas hidrotermais que lixivariam Au primitivo e formariam filões e veios discordantes mais enriquecidos em Au. Modificado de Hutchinson (1993).

Sendo assim, em uma análise comparativa dos principais tipos de depósitos auríferos do *greenstone belt* Rio das Velhas quanto à gênese, é possível se constatar, segundo Pereira (1996), três fatores:

- 1) Estão normalmente hospedados em formações ferríferas bandadas arqueanas, encaixadas em rochas metavulcanossedimentar.
- 2) Estão relacionadas a zonas de grande intensidade de deformação.
- 3) Os corpos mineralizados são, na sua maioria, lineares e dispostos paralelamente à lineação de estiramento mineral e eixos de dobras locais, fato esse que, apesar de pairarem algumas dúvidas, é de extrema importância no condicionamento das atividades exploratórias e de lavra dos depósitos.

5.1 INTRODUÇÃO

Serão apresentadas, neste capítulo, as descrições realizadas nos testemunhos do furo de sondagem FBA 138 e análise microscópica de lâminas delgadas polidas (APÊNDICE I). Os dados obtidos com essa descrição serão comparados e relacionados com os dados da literatura da mina do Bahú e mina do Pari. Sendo utilizado como referência bibliográfica, para a localização da "Mina do Bahú", o trabalho intitulado "Gold deposits related to *greenstone belts* in Brazil. Deposit modeling workshop. Part A. Excursions", (USGS, 1980). A Tabela 5.1 mostra as informações do testemunho de sondagem do furo FBA 138.

Tabela 5.1 Dados do furo FBA 138 e amostras coletadas

| FURO FBA 138 | |
|---|---|
| PROFUNDIDADE DO FURO 79,85 m COORDENADAS 20°09'37.0"S;43°43'50.7"W | |
| Amostras coletadas | Profundidade da amostra coletada (m) |
| FBA 01 | 28,75 |
| FBA 02 | 32,9 |
| FBA 03 | 40,65 |
| FBA 04 | 42 |
| FBA 05 | 47,4 |
| FBA 06 | 54,75 |
| FBA 07 | 61,25 |
| FBA 08 | 63,45 |
| FBA 09 | 66,15 |
| FBA 10 | 71,85 |
| FBA 11 | 73,65 |
| FBA 12 | 75,85 |

5.2 LITOTIPOS

Reconheceu-se ao longo do testemunho de sondagem, com 79,85m de comprimento: Saprólito e xisto cinza a esverdeado, que devido aos processos de alteração hidrotermal, ocorre em três domínios: Talco-carbonato-mica branca- quartzo xisto, Carbonato-mica branca- quartzo xisto e Mica branca- quartzo xisto, sendo que em todo testemunho ocorre sulfetação , principalmente de pirita.

Na Figura 5.1 é apresentado o sequenciamento geral do furo de sondagem, bem como os locais de coleta de amostra para a confecção de lâminas e análise química.

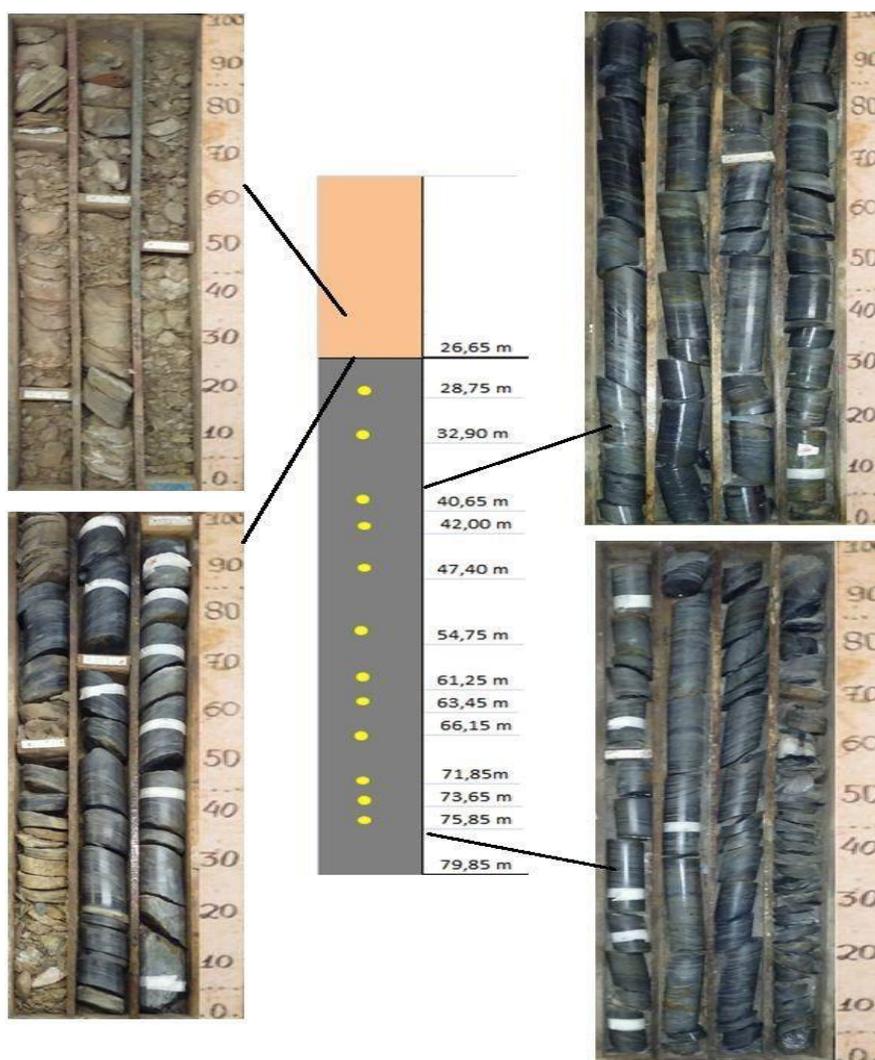


Figura 5.1 Furo de sondagem FBA 138. Pontos de coleta de amostra em amarelo. As faixas brancas localizam os pontos em que ocorre magnetismo significativo na rocha.

A seguir serão detalhados os litotipos mencionados acima:

Saprólito

Com espessura de 26,65m com coloração bege e estrutura da foliação da rocha ainda preservada, como mostrado na Figura 5.2 a seguir:



Figura 5.2 Ocorrência de saprólito. À direita evidencia-se a transição da saprólito para a rocha sã.

Mica branca- quartzo xisto

Coloração acinzentada com xistosidade bem marcada, composto por grãos milimétricos de mica branca e quartzo. Ocorre veio de quartzo acompanhando a xistosidade além de sulfetos, principalmente pirita e subordinadamente calcopirita (vide APÊNDICE I). A Figura 5.3 a seguir mostra tal litotipo.



Figura 5.3 Mica branca- quartzo xisto com sulfetação e veio de quartzo associado. À esquerda trecho representativo do litotipo. Em detalhe ao centro trecho com sulfetação e veio de quartzo. Em **A** (luz transmitida, polarizadores cruzados) com ocorrência de veio de quartzo acompanhando a foliação. Vqz - veio de quartzo, Py - pirita, Qtz - Quartzo Em **B** (luz refletida) mostrando grão centimétrico de pirita.

Talco-carbonato-mica branca- quartzo xisto

Rocha com coloração cinza esverdeado com xistosidade bem marcada pelas intercalações de bandas filossilicáticas (mica branca) e quartzosas, composto por grãos milimétricos de mica branca e quartzo. Ocorre veio de quartzo acompanhando a xistosidade além de sulfetos, principalmente pirita e subordinadamente calcopirita, neste trecho ocorre alteração de talco-carbonato sempre associado ao fluido hidrotermal, com o talco aparecendo como uma massa (vide APÊNDICE I). A Figura 5.4 a seguir mostra tal litotipo.

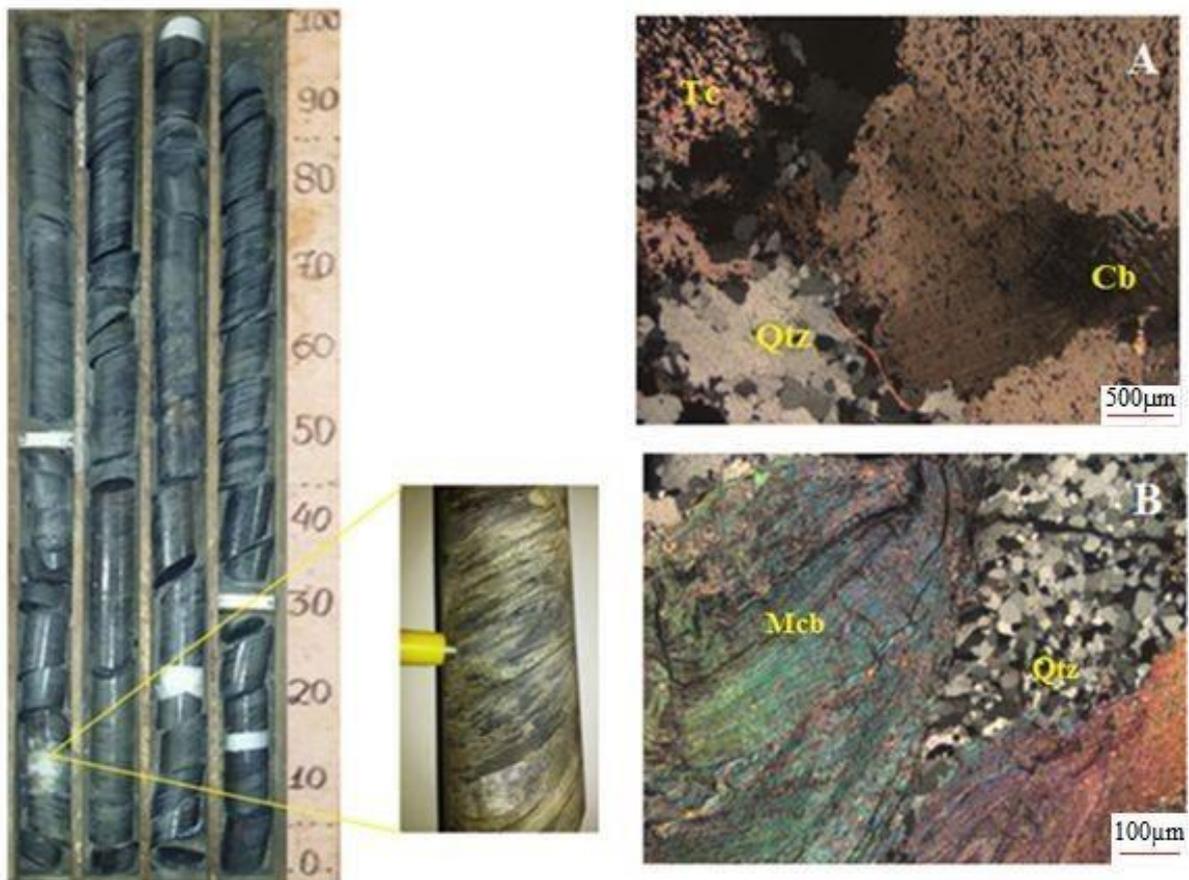


Figura 5.4 Talco-Carbonato- Mica branca- quartzo xisto. À esquerda trecho representativo do litotipo. Em detalhe ao centro trecho com veio de quartzo associado ao talco. Em **A** (luz transmitida, polarizadores cruzados) com ocorrência de: Tc-Talco, Cb-Carbonato, Qtz-Quartzo. Em **B** (luz transmitida, polarizadores cruzados) foliação de crenulação na rocha hospedeira e veio de quartzo. Mcb-Mica Branca, Qtz-Quartzo

Carbonato-mica branca- quartzo xisto

Rocha com coloração cinza esverdeado com xistosidade bem marcada pelas intercalação de bandas filossilicáticas (mica branca) e quartzosas, composto por grãos milimétricos de mica branca e quartzo. Ocorre veio de quartzo acompanhando a xistosidade além de sulfetos, principalmente pirita e subordinadamente calcopirita, neste trecho ocorre carbonato sempre associado ao fluido hidrotermal (vide APÊNDICE I). A figura 5.5 a seguir mostra tal litotipo.

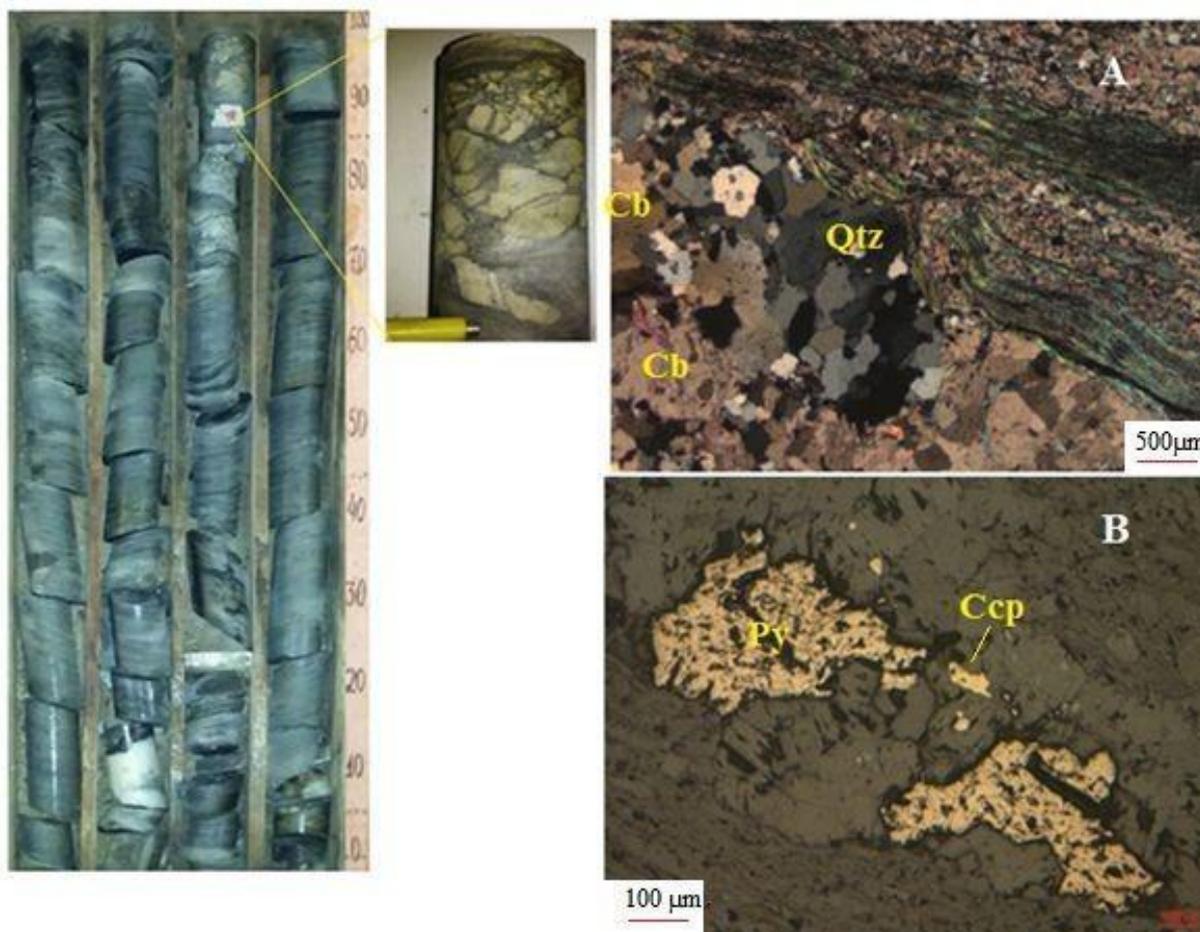


Figura 5.5 Carbonato- Mica branca- quartzo xisto. À esquerda trecho representativo do litotipo. Em detalhe ao centro trecho com veio de quartzo+carbonato. Em **A** (luz transmitida, polarizadores cruzados) com ocorrência de: Cb-Carbonato, Qtz-Quartzo. Em **B** (luz refletida) ocorrência de sulfetação, Py-Pirita, Ccp-Calcopirita.

Durante as análises da petrologia microscópica, através de lâminas polidas delgadas sob luz refletida, não foi possível realizar a clara identificação de alguns minerais opacos, logo, foi utilizado o MEV. Foram selecionados alvos nas lâminas FBA 07, FBA 09 e FBA 12, a seguir são expostos os dados obtidos. No ANEXO I encontram-se as imagens e dados químicos gerados.

Nas figuras 5.6, 5.7, e 5.8 a seguir, referentes à lâmina FBA 07, observa-se diversas fases de minerais opacos. Na Figura 5.6 percebe-se os minerais bertierita, jamesonita inclusos em pirita. Já na Figura 5.7 nota-se a ullmanita bordejando a pirita e na Figura 5.8 ocorrência de estibinita e jamesonita inclusas em bertierita.

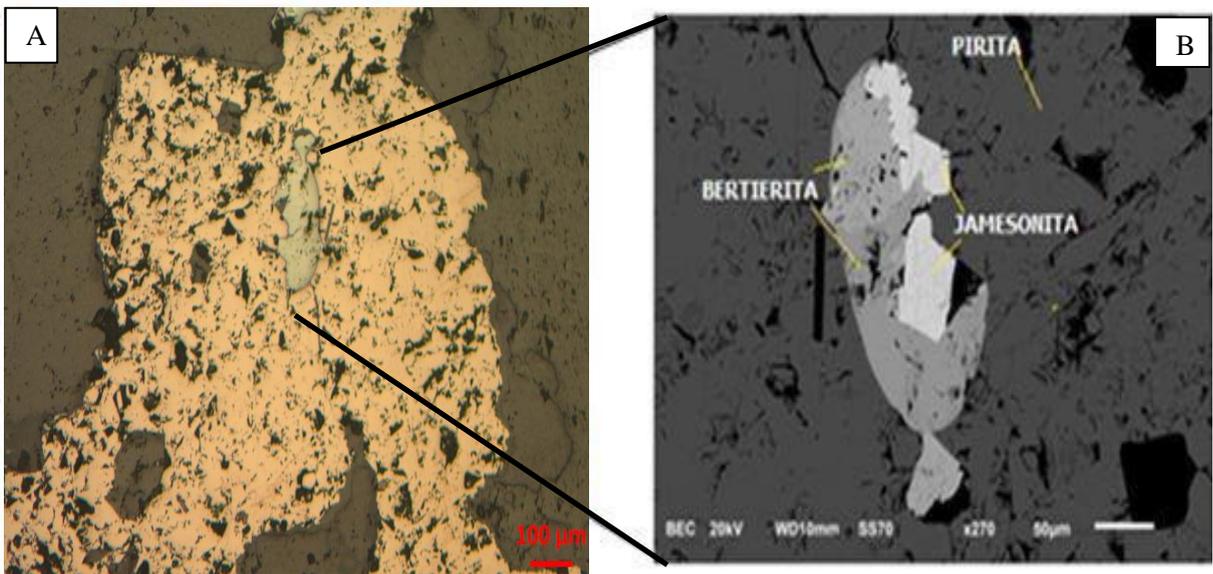


Figura 5.6 Agregado de bertierita e jamesonita inclusas em pirita. Em A fotomicrografia em luz refletida. Em B imagem de MEV.

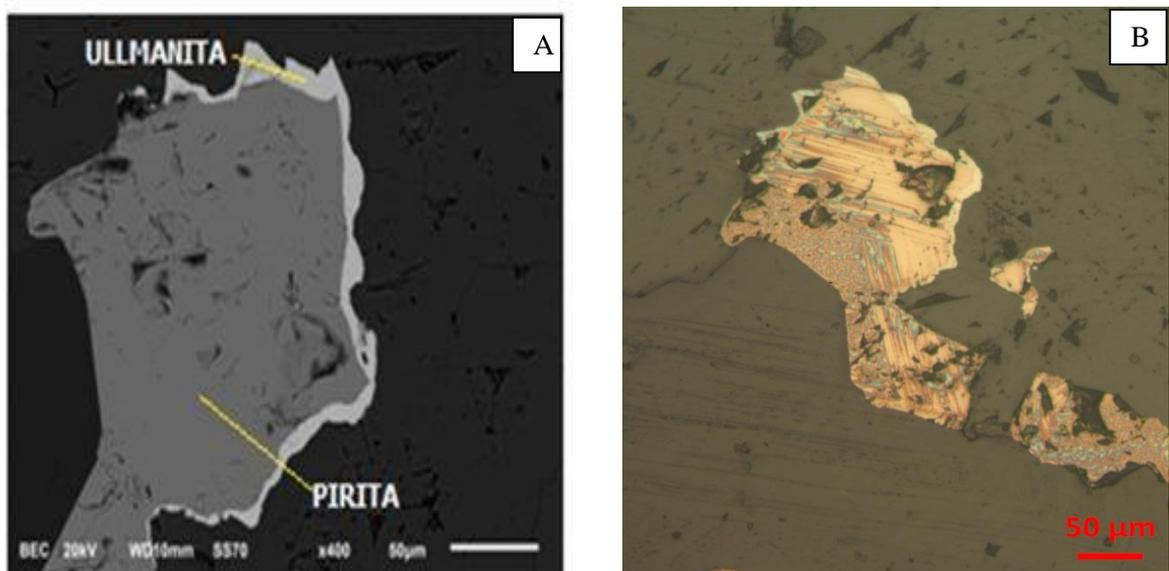


Figura 5.7 Ullmanita bordejando pirita. Em A imagem de MEV. Em B fotomicrografia (luz refletida).

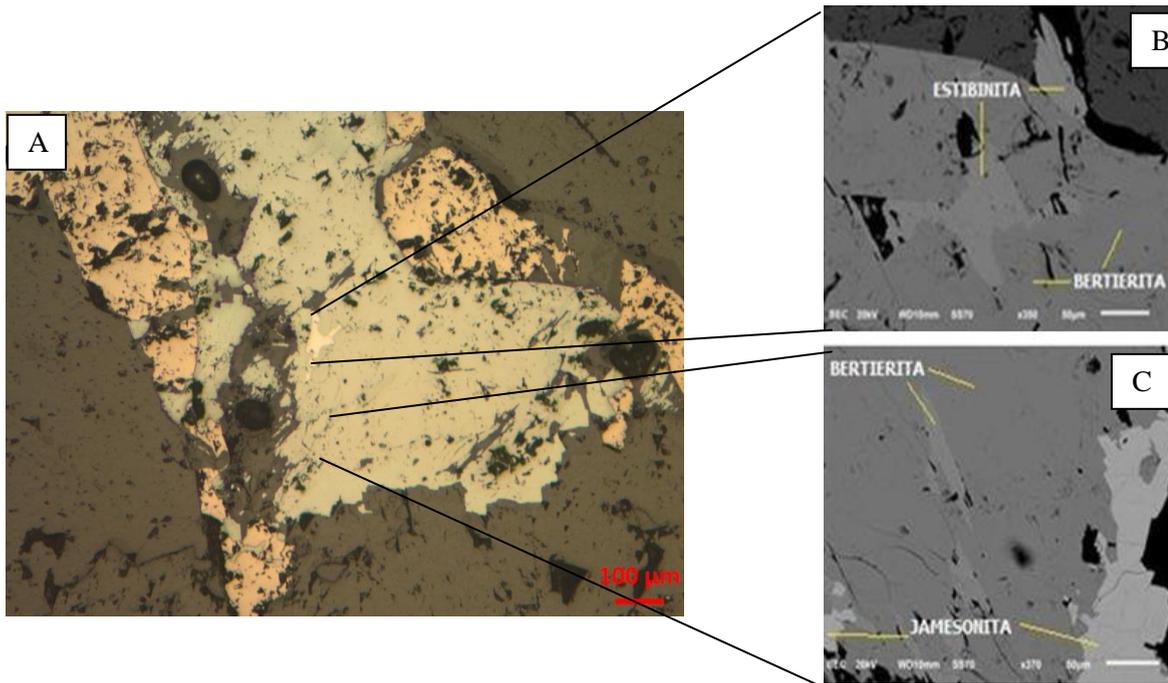


Figura 5.8 Estibinita e jamesonita associadas com bertierita. Em A fotomicrografia (luz refletida). Em B e C imagem de MEV.

No alvo selecionado na lâmina FBA 09 foi identificado agregado granular de glaucodoto (Figura 5.9).

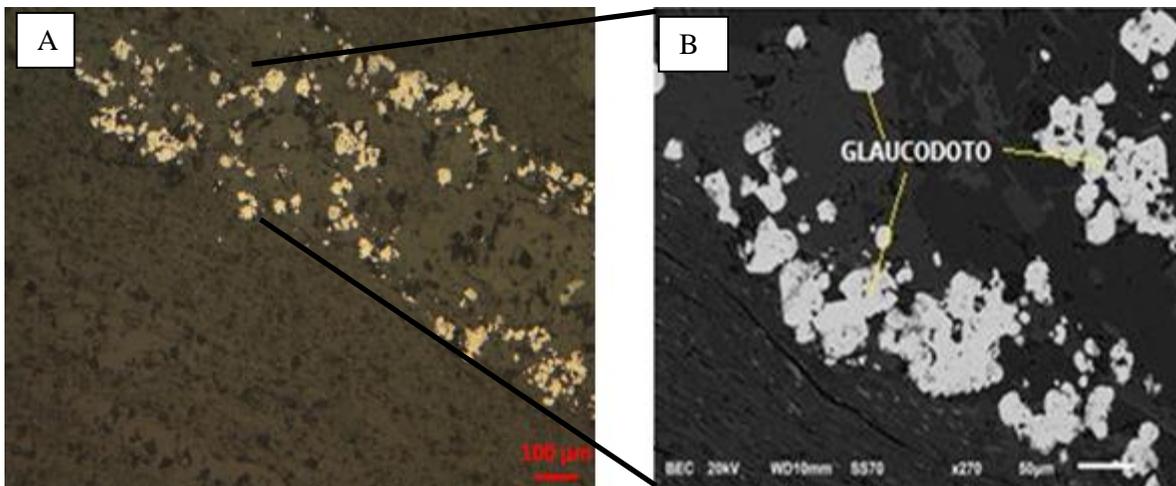


Figura 5.9 Agregado granular de glaucodoto. Em A fotomicrografia (luz refletida). Em B imagem do MEV.

Na lâmina FBA 12 o alvo selecionado teve como minerais opacos calcopirita
bordejando calcoestibita (Figura 5.10).

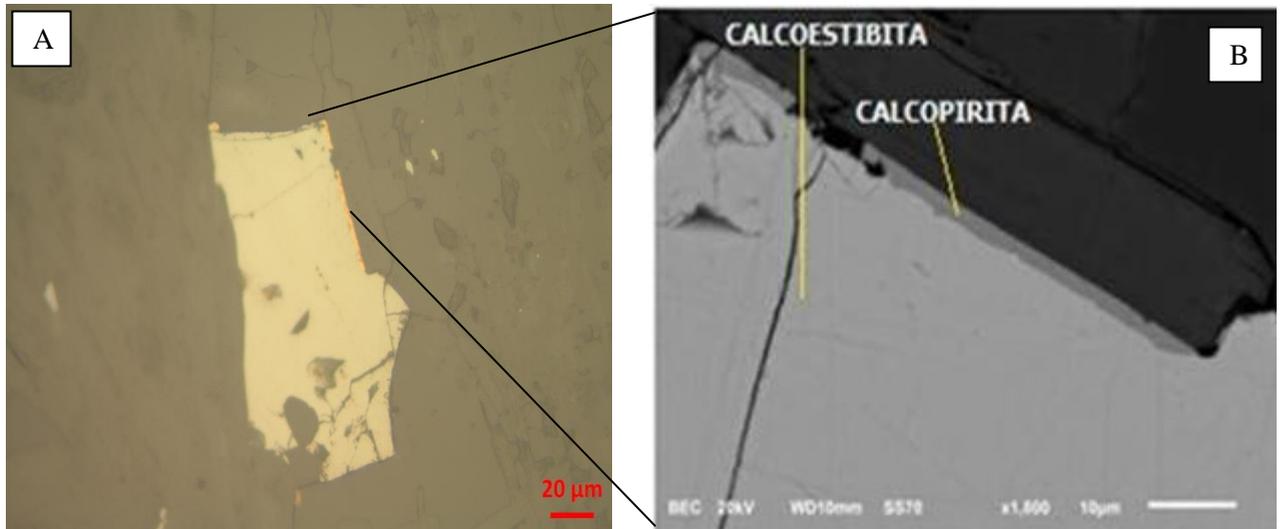


Figura 5.10 Calcopirita bordejando calcoestibita. Em A fotomicrografia (luz refletida). Em B imagem de MEV

6.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos pelas análises químicas realizadas nas amostras coletadas do testemunho de sondagem FBA-138.

Os métodos utilizados foram: calcinação para determinar o PPC, ICP/OES para determinar os elementos maiores e menores. Para a manutenção da confiabilidade e representatividade dos dados apenas as amostras que apresentaram digestão total na etapa laboratorial foram utilizadas no trabalho.

6.2 COMPORTAMENTO DE ELEMENTOS MAIORES E MENORES

A partir da compilação dos dados obtidos, foram gerados perfis geoquímicos, sendo que as amostras foram correlacionadas com suas respectivas profundidades de forma a respeitar a litoestratigrafia e as ocorrências de alterações hidrotermais.

Comportamento de elementos maiores

Na Tabela 6.1 estão correlacionados com as respectivas profundidades, os valores dos elementos maiores (em ppm), assim como o valor da perda por calcinação (PPC). Na Figura 6.1 são apresentados os comportamentos dos elementos maiores ao longo do testemunho de sondagem.

Tabela 6.1 Elementos maiores (em ppm) e PPC (%) correlacionados com a profundidade da amostra.

| Amostra | Profundidade da amostra (m) | MnO | Al ₂ O ₃ | FeO | Fe ₂ O ₃ | CaO | K ₂ O | MgO | P ₂ O ₅ | TiO ₂ | PPC |
|---------|-----------------------------|------|--------------------------------|-------|--------------------------------|--------|------------------|-------|-------------------------------|------------------|-------|
| FBA 03 | 40,65 | 3856 | 99725 | 79748 | 88625 | 80871 | 22915 | 51900 | 680 | 4474 | 15,24 |
| FBA 05 | 47,4 | 2479 | 9650 | 59463 | 66082 | 136809 | 2432 | 59646 | 52,35 | 441 | 22,46 |
| FBA 07 | 61,25 | 1863 | 104678 | 35071 | 38975 | 76937 | 26451 | 37723 | 729 | 3087 | 14,42 |
| FBA 08 | 63,45 | 1223 | 105232 | 56489 | 62776 | 60612 | 21205 | 52968 | 1006 | 4490 | 11,72 |
| FBA 10 | 71,85 | 708 | 79074 | 28817 | 32024 | 29143 | 25082 | 18307 | 1161 | 2848 | 5,77 |
| FBA 11 | 73,65 | 1072 | 89456 | 60232 | 66936 | 51236 | 30583 | 29455 | 1897 | 4339 | 8,4 |
| FBA 12 | 75,85 | 481 | 117750 | 56429 | 62711 | 11147 | 14950 | 35723 | 1187 | 4964 | 4,48 |

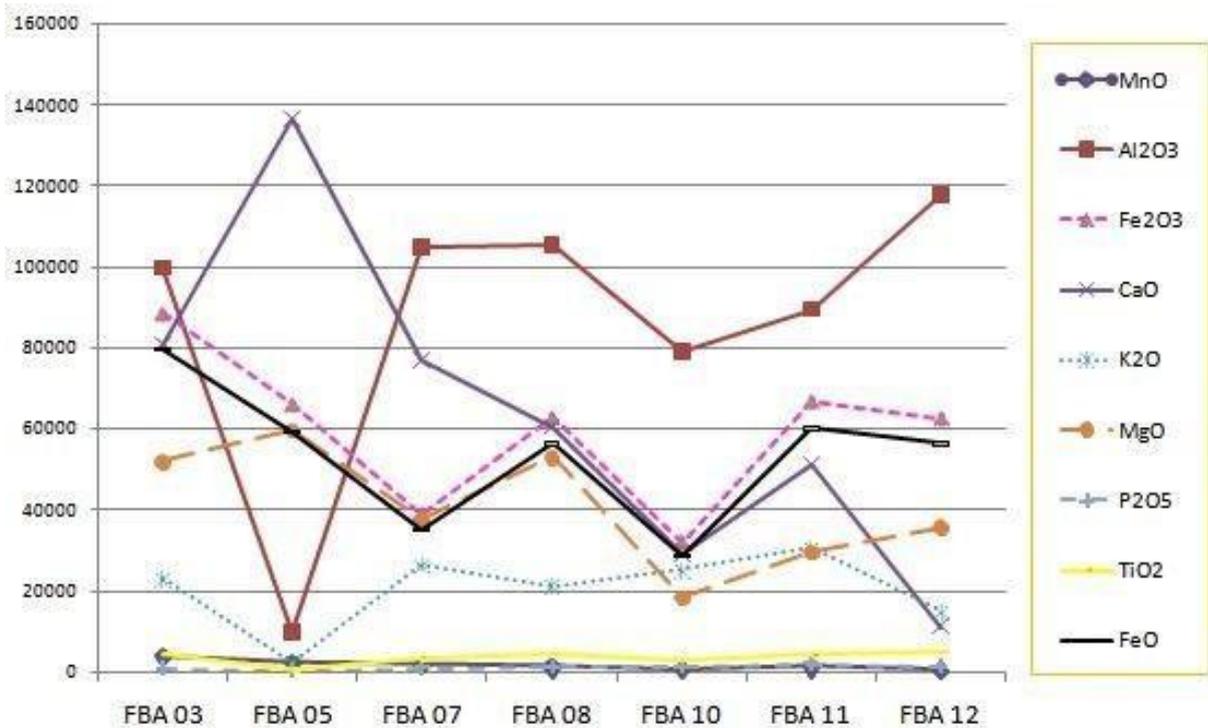


Figura 6.1 Valores dos elementos maiores (em ppm) e respectivas amostras.

Ao se analisar a Tabela 6.1 e Figura 6.1 percebe-se comportamentos relevantes. Para MnO há diminuição dos valores conforme aumentasse a profundidade, havendo, porém, um pico na profundidade 73,65 m. Valores de Al₂O₃ apresentam picos de valores, principalmente na amostra de maior profundidade (FBA 12).

Os valores de FeO e Fe₂O₃ se mantêm constantes ao longo de todo o testemunho. Para valores de CaO ocorre pico de valor na profundidade ~47 m. P₂O₅ apresenta expressivo aumento de valores conforme a profundidade aumenta. Além disso para TiO₂ ocorrem picos de valores ao longo do testemunho de sondagem.

Nota-se também o comportamento da variação dos valores de perda por calcinação, atingindo valores máximos de ~22% na amostra FBA 05 e valores mínimos na amostra de maior profundidade.

Comportamento de elementos menores

Na Tabela 6.2 estão correlacionados com as respectivas profundidades, os valores dos elementos menores (em ppm). Na Figura 6.2 são apresentados os comportamentos dos elementos menores ao longo do testemunho de sondagem.

Tabela 6.2 Elementos menores (em ppm) correlacionados com a profundidade da amostra.

| Amostra | Profundidade da amostra (m) | Ba | Cu | Y | Zn | Cr | Ni | S | Na |
|---------|-----------------------------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| FBA 03 | 40,65 | 309 | 109 | 10,50 | 85,73 | 267 | 199 | 19319 | 4252 |
| FBA 05 | 47,4 | 140 | 16,54 | 10,57 | 47,38 | 27,5 | 37,07 | 775 | 702 |
| FBA 07 | 61,25 | 631 | 18,78 | 6,41 | 30,10 | 92,3 | 46,91 | 4027 | 8089 |
| FBA 08 | 63,45 | 600 | 34,93 | 7,84 | 84,33 | 260 | 135 | 4797 | 5701 |
| FBA 10 | 71,85 | 1004 | 19,33 | 10,58 | 14,76 | 133 | 55,97 | 3346 | 1178 |
| FBA 11 | 73,65 | 741 | 84,14 | 9,23 | 21,14 | 196 | 86,06 | 23131 | 1107 |
| FBA 12 | 75,85 | 548 | 25,40 | 10,51 | 75,99 | 147 | 83,83 | 52,15 | 20074 |

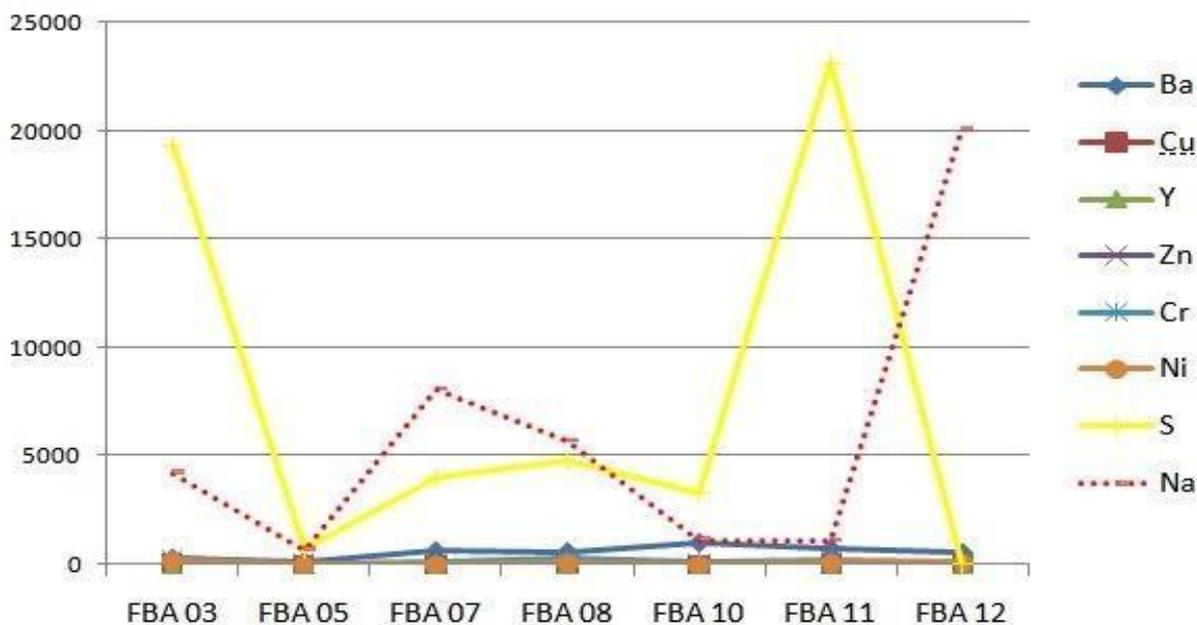


Figura 6.2 Valores dos elementos menores (em ppm) e respectivas amostras.

Ao se analisar a Tabela 4 e Figura 6.2 percebe-se comportamentos relevantes. Para o Ba há pico de valor na profundidade ~72 m. O Cu possui alto valor logo no início do testemunho (FBA 03), já o Y possui valores constantes ao longo de todo testemunho.

Os valores de Cr possuem pico de valores na profundidade de 40m 63m O Ni tem valores altos em ~40 m. Para S e Na ocorrem os picos mais expressivos dentre os elementos menores, o primeiro possui altos valores nas profundidades 40,65m e 73,65 m, já o segundo apresenta pico na maior profundidade (75,85m).

7.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão discutidos os dados obtidos neste trabalho. Serão realizadas comparações com os trabalhos de doutoramento desenvolvido por Abreu (2004) na Mina de Pari.

7.2 LITOGEOQUÍMICA

O testemunho de sondagem FBA 138 por apresentar em várias lâminas a ocorrência de clorita, principalmente na lâmina FBA 12 (VIDE APÊNDICE I), apresenta coloração esverdeada, evidenciando processo de cloritização.

As feições macroscópicas, corroboradas pelas lâminas, evidenciam a ocorrência de diversos processos de alteração e hidrotermalismo no xisto verde (rocha hospedeira), tais como: carbonatação, sulfetação, silicificação e cloritização. Os três primeiros ocorrem em diferentes profundidades do testemunho, já o último embora presente em diversos trechos do testemunho fica mais evidente nas maiores profundidades (~75m). Sendo que todos ocorrem preferencialmente acompanhando a xistosidade da rocha.

A presença de diversos indicadores cinemáticos, tais como: dobras em bainha, clivagem de crenulação e veios de quartzo deformados evidencia a influência da Zona de Cisalhamento São Vicente no trecho de rocha analisado.

Os minerais opacos, majoritariamente pirita, calcopirita, pirrotita ocorrem ao longo de todo o testemunho associados preferencialmente aos veios de quartzo. Já os carbonatos ocorrem exclusivamente juntos aos veios de quartzo.

Nos dados geoquímicos fica evidente a íntima relação das variações dos elementos com os processos de hidrotermalismo. Os valores de PPC apontam os trechos com maior ocorrência de carbonatação, informação de grande relevância, visto que, segundo a bibliografia os depósitos auríferos estão intimamente correlacionados a esse processo de alteração. Os trechos que possuem altas concentrações tanto de Mg quanto Ca sugerem que o carbonato em questão seja dolomita.

Os trechos que possuem altos valores para Mg-Fe podem sugerir os trechos com maior ocorrência de cloritização, já que a clorita identificada é do tipo Mg-Fe clorita.

7.3 CORRELAÇÃO COM A MINA DO PARI

A correlação do testemunho de sondagem FBA 138 com a Mina do Pari se deve ao fato da proximidade geográfica do furo de sondagem com a "Mina do Bahú", atualmente com operações paralisadas; e segundo trabalho publicado por Vial (2007), a "Mina do Pari" possui corpo de minério semelhante ao da "Mina do Bahú".

Como o presente trabalho não se identificou no furo FBA 138 a ocorrência de ouro. A correlação ocorreu com o xisto e processos de alteração. A sulfetação em ambos casos é evidente e bem marcada, assemelhando-se quanto à ocorrência de pirita, calcopirita e pirrotita. O que difere entre a Mina do Pari e a rocha descrita no presente trabalho quanto aos minerais opacos, é a ocorrência de arsenopirita. Em Abreu (2004) é nítida a relação da ocorrência de Au com a arsenopirita, como não ocorre tal mineral no furo de sondagem descrito.

O furo FBA 138 apresenta exclusivamente como litotipo o xisto verde do Gr Nova Lima, na Mina do Pari tal litotipo não é tão expressivo quanto à espessura e importância econômica, visto que o minério hospeda-se predominantemente em anfibolitos e BIF's.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÃO

Com base nos dados e discussões apresentadas, as conclusões obtidas desse trabalho serão apresentadas a seguir.

A sequência analisada claramente pertence ao xisto verde do Grupo Nova Lima, compondo uma seção-tipo do *greenstone belt* Rio das Velhas, além disso é hospedeira de diversos processos de alteração: carbonatação, silificação, sulfetação e cloritização. Adotando a classificação de Ladeira (1980) o testemunho analisado inclui-se no topo do Grupo Nova Lima na "Unidade metassedimentar clástica".

O presente trabalho identificou através do MEV minerais opacos, tais como: bertierita, calcoestibita, estibinita, glaucodoto, jamesonita e ullmanita que ocorrem ao longo de todo o testemunho, o que pode sugerir novas evidências para a paragênese mineral nas rochas da região.

Em diversos trechos do testemunho fica evidente a influência da zona de cisalhamento São Vicente através de indicadores cinemáticos de regime compressivo/transpressivo.

Os dados de análise química para elementos maiores, menores e perda por calcinação (ppc) apresentaram comportamento compatível com as feições macroscópicas e das lâminas polidas delgadas, sendo bem correlacionados os picos de valores com os processos de alteração.

Diversos estudos, tais como: Abreu (2004); Araújo (2001); Baltazar & Zucchetti (2007); Condie (1981); Goldfarb *et al.* (2005); Ladeira (1988); Lobato *et al.* (1998); Vial *et al.* (2007) indicam a íntima relação de depósitos auríferos com os mesmos processos de alteração, mineralogia e estruturas identificados ao longo do testemunho analisado no presente trabalho, porém não foi encontrado ouro nas análises realizadas. O que mostra a complexidade das condições específicas de paragêneses mineral, temperatura, pressão, composição química do fluido, composição química e mineralógica das encaixantes e tempo disponível para reequilíbrio para que um depósito aurífero se forme.

No final do testemunho de sondagem ocorre processo evidente de cloritização e ocorrência de turmalina, duas condições consideradas características de zonas auríferas,

sendo assim sugere-se o avanço do furo FBA 138 a maiores profundidades, sugere-se também pesquisa mineral voltada às BIF's do Supergrupo Rio das Velhas, litotipo com as maiores ocorrências de concentrações relevantes de ouro.

Sendo assim, as informações apresentadas no presente trabalho estabelecem um ponto de partida para a realização de estudos posteriores na região da "Mina do Bahú"-Rio Acima/MG a fim de retomar as atividades paralisadas da mina e com vistas da obtenção de informações mais refinadas sobre as características do depósito.

REFERÊNCIAS

- Abreu G. C. 2004. Evolução petrogenética e metalogenética da mina de ouro de Pari e arredores, NE do Quadrilátero Ferrífero-MG. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 229p.
- Alkmim F. F & Marshak S. 1998. Transamazonian orogeny in Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brasil: Evidence for Paleoproterozoic Collision and Collapse in Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, **90**: 29-58.
- Alkmim F. F. & Martins-Neto M. A. 2012. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brasil. *Marine and Petroleum Geology*, **33**: 127-139.
- Almeida F. F. M. 1976. Estruturas do Pré-Cambriano inferior brasileiro. - *In*: 29º Cong. Bras. Geol, Resumos: 201-202, SBG, Ouro Preto/Belo Horizonte
- Araújo J. G. M. 2001. Influência das zonas de cisalhamento de São Vicente e Tapera na mineralização aurífera do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 103 p.
- Baltazar O. F., Pedreira A. J. 1996. Associações litofaciológicas. *In*: Zucchetti, M., Baltazar, O.F. (Eds.), Projeto Rio das Velhas — Texto explicativo do mapa geológico integrado, escala 1:100,000. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, Brazil, pp. 43–48.
- Baltazar O. F., Baars F. J., Lobato L. M., Reis L. B., Bemí G. V., Silveira V. D. 2005. Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero na Escala 1:50.000 com Nota Explicativa. *In*: Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero- Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Lobato *et al.* (2005). Belo Horizonte, CODEMIG.
- Baltazar O. F., Zucchetti M. 2007. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the setting of gold deposits. *Ore Geology Reviews*, **32**: 471–499
- Bernasconi A. 1985. Archean gold mineralization in Central Eastern Brazil: A review. *Mineral Deposits*, **20**: 277-283.
- Carneiro M. A. 1992. O Complexo Metamórfico do Bonfim Setentrional. *Rev. Escola de Minas*, **45(1/2)**: 155-156.
- Carneiro M. A., Noce C. M., Teixeira W. 1995. Evolução policíclica do Quadrilátero Ferrífero: uma análise fundamentada no conhecimento atual da geocronologia U-Pb e geoquímica isotópica Sm-Nd. *Revista da Escola de Minas*, **38**: 264-273.
- Condie, K.C., 1981. Archean Greenstone belts. *Developments in Precambrian Geology*, vol. 3. Elsevier, Amsterdam, 434p.
- Dorr II J. V. N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Brasil. Washington, *USGS/DNPM*. Prof. Pap. 641(A): 110p.
- Dorr II J. V., Gair J. E., Pomerene J. B., Rynearson G. A. 1957. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero, Brasil. Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Fomento da Produção Mineral, Avulso, **81**. 31 p.
- Endo I. 1997. Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Brasil. 243p.

- Endo I. & Machado R. 1998. The geology architecture of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais - Brasil) after multiple transpressional and transtensional tectonic events. *In: International Conference on Basement Tectonics*, 14., Ouro Preto, 1998. *Anais*. p.126-127
- Gair J. E. 1962. Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio Acima Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. U.S. Geological Survey Professional Paper, 341-A. 111p
- Goldfarb R. J., Baker T., Dube B., Groves D. I., Hart C. J. R. and Gosselin P. (2005). Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p. 407 - 450.
- Google Maps . <https://www.google.com/maps/>. Consulta realizada em 10/01/2017
- Groves D. I., Condie K. C., Goldfarb R. J., Hronsky J. M. A., Vielreicher R. M. 2005. Secular changes in global tectonic processes and their influence on the temporal distribution of gold-bearing mineral deposits. *Economic Geology*, **100**: 203-224.
- Groves D. I., Goldfarb R. J., Gebre-Mariam M., 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 types. *Ore Geology Reviews*, **13**:7-27.
- Hutchinson R. W. 1993. A multi-stage, multi-process genetic hypothesis for *greenstone-hosted* gold deposits. *Ore Geology Reviews*, **8**: 349 - 382.
- Junqueira P. A., Lobato L. M., Ladeira E. A., Simões E. J. M. 2007. Structural control and hydrothermal alteration at the BIF-hosted Raposos lode-gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Ore Geology Review*, **32**:.629-650
- Ladeira E. A. 1980. Metallogeneses of Gold at the Morro Velho Mine and in Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Ph.D. Thesis, University of Western Ontario. Department of Geology, London, Canada, 272 pp.
- Ladeira E. A. 1988. Metalogenia dos depósitos de ouro do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *In: Schobbenhaus & Coelho C. E. S. Principais Depósitos Mineraias do Brasil, Brasília, DNPM-CVRD*. p.301-376.
- Lana C., Alkmim F. F., Armstrong R., Scholz R., Romano R., Nalini Jr. H. A. 2013. The ancestry and magmatic evolution of Archean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, southeast Brasil. *Precambrian Research*, **231**: 157-173.
- Lobato L. M. 2002. Apostila de Alteração Hidrotermal. Departamento de Geologia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. 43 p.
- Lobato L. M., Vieira F. W. R. 1998. Styles of hydrothermal alteration and gold mineralization associated with the Nova Lima Group of the Quadrilátero Ferrífero: part II, the Archean mesothermal gold-bearing hydrothermal system. *Revista Brasileira de Geociências*, **28** (3)355-366.
- Machado N., Schrank A., Noce C. M., Gauthier G. 1996. Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: implications for greenstone belt setting and evolution of a Transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. *Earth and Planetary Science Letters*, **141**: 259-276.
- Madeira T. 2016. Análise geofísica e estrutural da zona de cisalhamento São Vicente, Quadrilátero Ferrífero, MG. Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, Dissertação de Mestrado, 186p.
- Moore E.M. 2002. Pre-1 Ga (pre-Rodinia) ophiolites: their tectonic and environmental implications. *GSA Bulletin*, **114** (1): 80-95.

- Noce C. M., Pedrosa-Soares A. C., Silva L. C., Armstrong R., Piuzana D., 2007. Evolution of polycyclic basement in the Araçuaí Orogen, based on U-Pb SHRIMP data: implications for the Brazil-Africa links in the Paleoproterozoic time. *Precambrian Research*, **159**: 60–78.
- O' Rourke J.E. 1957. The Stratigraphy of the metamorphic rocks of the Rio de Pedras and Gandarela Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. University of Wisconsin, Wisconsin, Ph.D.Thesis, 106 p.
- Pereira L. M. M. 1996. Estudo da Alteração Hidrotermal do Corpo SE-2, Nível 5 da Mina de Ouro de Jucá Vieira, Quadrilátero Ferrífero, MG. Inst. de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Tese de mestrado. 204 p.
- Reed M. H. 1997. Hydrothermal alteration and its relation to ore fluid composition. *In*: Barnes H. L. (Ed.). *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, Wiley, New York. p. 303-365.
- Renger F. E., Noce C. M., Romano A. W., Machado N. 1994. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Geonomos*, **2/1**: 1-11.
- Rosière C. A. & Chemale Jr. F. 2000. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero – uma visão geral e discussão. *Geonomos*, **8(2)**: 27-43.
- Schorscher H. D. 1978. Komatiitos na estrutura "greenstone belt" Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *In*- 30º Cong. BRas. Geol., Resumos: 292-293, SBG., Recife.
- Schorscher H. D. 1982. International Symposium on Archean and Early Proterozoic. Geological Evolution and Metallogenesis. Abstracts and Excursion Appendix, Salvador, Brazil, p.1- 33.
- Skinner B. J., Barton P. B. 1973. Genesis of Mineral Deposits. *Annual Review of Earth Planetary Sci. Letters*. **1**: 183-211
- Skinner B. J. 1997. Hydrothermal mineral deposits: what we do and don't know. *In*: Barnes H. L. (ed.) *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. New York, John Wiley & Sons Inc. p 1-29
- USGS. 1980. Gold deposits related to *greenstone belts* in Brazil. Deposit modeling workshop. Part A. Excursions
- Vial D. S. 1980. Geologia da Mina de Ouro de Raposos. Anais Congresso Brasileiro Geologia, vol. 3. Sociedade Brasileira de Geologia, Camboriú, Brasil, p. 1851–1866.
- Vial D. S., Abreu G. C., Shubert G., Ribeiro-Rodrigue L. C. 2007 Smaller gold deposits in the Archean Rio das Velhas *greenstone belt*, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Ore Geology Reviews*, **32** 651 – 673
- Vial D. S., DeWitt E., Lobato L.M., Thorman C.H. 2007. The geology of the Morro Velho gold deposit in the Archean Rio das Velhas *greenstone belt*, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Ore Geology Reviews*, **32**:511–542.
- Vieira F. W. R. 1991c. Gênese das mineralizações auríferas do setor W do *greenstone belt* Rio das Velhas, MG. AMSA's First Internal Geology Symposium. Mineração Morro Velho S.A, Nova Lima, Brazil. 18 pp.
- Wood B. L., Large R. R. 2007. Syngenetic gold in western Victoria: occurrence, age and dimensions. *Australian Journal of Earth Sciences*, **54**: 711-732

Apêndices

APÊNDICE I

FICHAS DESCRITIVAS

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA -TCC

Caracterização litogeoquímica de rochas do supergrupo Rio das Velhas região
da Mina de ouro do "Bahú" Rio Acima - MG

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FBA 01

Descrição: Augusto Junqueira

Empresa: Jaguar Mining

Furo: FBA 138

Profundidade: 28,75m

Descrição Macroscópica da Lâmina

Lâmina homogênea com intercalação de bandas mais escuras e claras. Ocorrência de agregados milimétricos de grãos sulfetados distribuídos pela lâmina acompanhando a foliação da rocha., além de grão de pirita com aproximadamente 1 cm no centro da lâmina.

Ocorrência de veio de quartzo acompanhando a foliação.

Descrição Microscópica

Minerais identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Quartzo (60%); Mica branca (38%); Pirita (2%)

Minerais Acessórios: Pirita, calcopirita, pirrotita (<1%),

Processos de Alteração: Silicificação, sulfetação

Descrição Microscópica da Lâmina

Rocha com textura granolepidoblástica na foliação e estrutura xistosa, já o veio de quartzo apresenta textura granoblástica. Intercalada às bandas quartzosas ocorrem faixas filossilicáticas, com textura fibrosa compostas por mica branca. Tal intercalação entre bandas marca a xistosidade da rocha. Os minerais opacos encontrados são: Pirita com orientação preferencial à foliação. Pirita ocorre em alguns pontos da lâmina, associado ou não com calcopirita. Cubanita sempre associada à calcopirita.

FOTOMICROGRAFIAS:

A: luz refletida

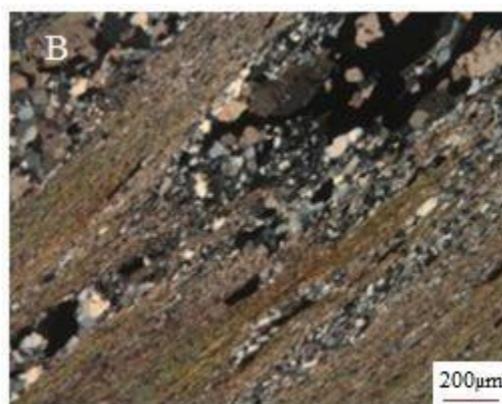
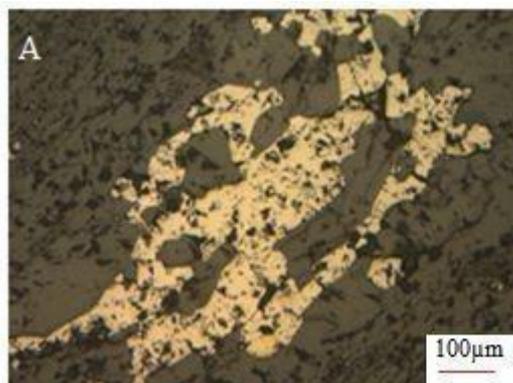
Agregado de pirita com associação de calcopirita

B: luz transmitida, polarizadores cruzados

Xistosidade bem marcada sendo interrompida por veio de quartzo.

Na lâmina fica evidente a diferença entre o quartzo do protólito e o quartzo de veio podendo ser diferenciados pelo tamanho.

Fotomicrografias



Nome da Rocha:

mica branca-quartzo xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA -TCC

Caracterização litogeoquímica de rochas do supergrupo Rio das

Velhas região da Mina de ouro do "Bahú" Rio Acima - MG

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FBA 02

Descrição: Augusto Junqueira

Empresa: Jaguar Minning

Furo: FBA 138

Profundidade: 32,90m

Descrição Macroscópica da Lâmina

Lâmina homogênea coloração acinzentada com intercalação de bandas escuras e claras. Ocorrência de agregados milimétricos de grãos opacos distribuídos pela lâmina acompanhando a foliação da rocha com clivagem de crenulação gradacional presente.

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Quartzo 50%; 45 % Mica branca ; 5% Carbonato

Minerais Acessórios: Pirita, calcopirita

Processos de Alteração: Silificação e sulfetação

Descrição Microscópica da Lâmina

Lâmina com xistosidade bem marcada com veios de quartzo acompanhando a foliação.

Clivagem de crenulação gradacional e ocorrência de veio de quartzo boudinado.

Ocorrência de pequenos agregados de grãos opacos, composto por pirita e calcopirita.

FOTOMICROGRAFIAS:

A : luz transmitida polarizadores cruzados

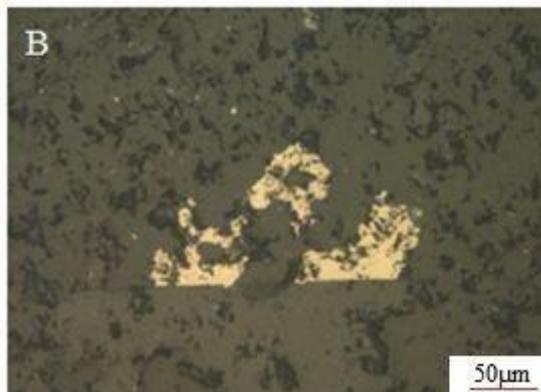
Veio de quartzo boudinado acompanhando a foliação.

Nessa fotomicrografia evidenciase a diferença entre o quartzo da foliação e o veio de quartzo.

B : luz refletida.

Agregado de pirita

Fotomicrografias



Nome da Rocha:

Carbonato-mica branca-quartzo xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA -TCC

**Caracterização litogeoquímica de rochas do supergrupo Rio das Velhas
região da Mina de ouro do "Bahú" Rio Acima - MG**

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FBA 03

Descrição: Augusto Junqueira

Empresa: Jaguar Mining

Furo: FBA 138

Profundidade :40,65 m

Descrição Macroscópica da Lâmina

Lâmina homogênea com coloração clara, com evidente sulfetação em agregados e preenchendo fraturas.

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Quartzo 45%; Mica Branca 40 ; Carbonato 10% Pirita, 5%;

Minerais Acessórios: Calcopirita,

Processos de Alteração: Carbonatação, silicificação

Descrição Microscópica da Lâmina

A Lâmina apresenta textura granolepidoblástica e estrutura foliada marcada pela mica branca e grãos de quartzo.

Há ocorrência de dois tipos de quartzo, o do protólito sedimentar e do veio de quartzo, evidenciado pela diferença de tamanho.

Há evidente ocorrência de processo de alteração do tipo carbonatação.

Os minerais opacos são pirita que ocorre em agregados granulares, assim como preenchendo fraturas na forma de pequenos veios. Calcopirita com sua cor amarela característica e Cubanita em pequenos grãos sempre associada à calcopirita.

FOTOMICROGRAFIAS:

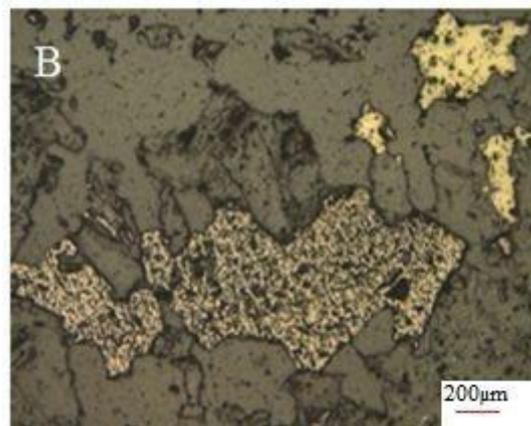
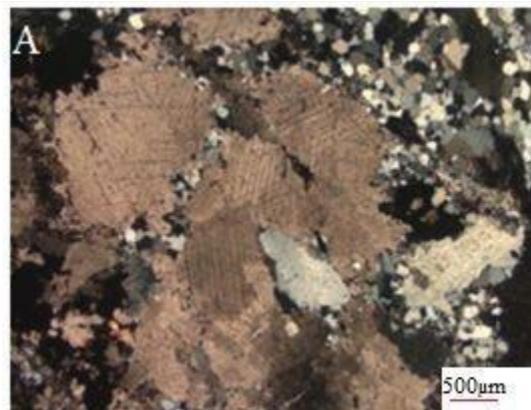
A: luz transmitida, polarizadores cruzados

Agregado de carbonato no veio de quartzo

B: luz refletida

Ocorrência de pirita e calcopirita

Fotomicrografias



Nome da Rocha:

Carbonato-mica branca-quartzo xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA -TCC

**Caracterização litogeoquímica de rochas do supergrupo Rio das Velhas
região da Mina de ouro do "Bahú" Rio Acima - MG**

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FBA 04

Descrição: Augusto Junqueira

Empresa: Jaguar Mining

Furo: FBA 138

Profundidade: 42,00m

Descrição Macroscópica da Lâmina

Lâmina homogênea coloração aczentada com intercalação de bandas escuras e claras. Ocorrência de agregados milimétricos de grãos opacos distribuídos pela lâmina acompanhando a foliação da rocha com clivagem de crenulação

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Quartzo 45%, Mica branca 40 %, Carbonato 10%, Pirita 5%,

Minerais Acessórios (<1%) Calcopirita

Descrição Microscópica da Lâmina

Rocha com granulação média à fina, com bandamento marcado pela mica branca e quartzo. Textura granulepidoblástica e estrutura xistosa. Ocorrência de crenulação na foliação. Ocorrência de veios de quartzo acompanhando a foliação da rocha. Os minerais opacos são compostos por agregados de pirita e calcopirita em pequenos grãos.

FOTOMICROGRAFIAS:

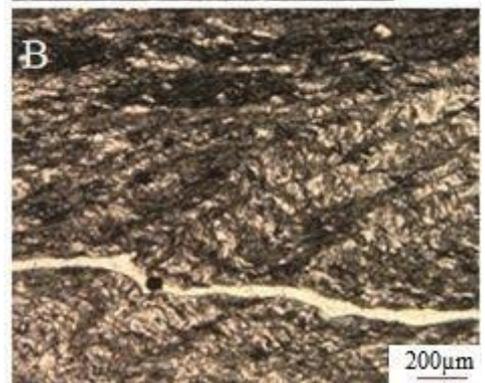
A: luz transmitida, polarizadores cruzados

Ocorrência de veio de quartzo (ao centro) acompanhando a foliação

B: luz transmitida, polarizadores descruzados

Veio de quartzo acompanhando a foliação de crenulação presente na rocha.

Fotomicrografias



Nome da Rocha:

Carbonato-mica branca-quartzo xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA -TCC

**Caracterização litogeoquímica de rochas do supergrupo Rio das Velhas
região da Mina de ouro do "Bahú" Rio Acima - MG**

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FBA 05

Descrição: Augusto Junqueira

Empresa: Jaguar Mining

Furo: FBA 138

Profundidade: 47,40m

Descrição Macroscópica da Lâmina

Lâmina heterogênea com duas porções distintas. A porção de menor área ocorre rocha acizentado com foliação bem marcada ocorre também milimétricos grãos de minerais sulfetados. Já na porção de maior área há aspecto translúcido e minerais leucocráticos

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Quartzo 45%; Carbonato 35%; Mica branca 20%

Minerais Acessórios (<1%): Pirita e calcopirita

Processos de Alteração: Silicificação e carbonatação

Descrição Microscópica da Lâmina

Rocha com granulação fina à média, com textura granulolepidoblástica e estrutura xistosa. Ocorrência de quartzo e mica branca marcando a foliação e veio de quartzo com carbonato intrudindo a rocha de forma concordante à foliação. Ocorrência de talco, como uma massa, em pontos da lâmina. Os minerais opacos são compostos por agregados de pirita e calcopirita além de pirita em forma de veio

FOTOMICROGRAFIAS:

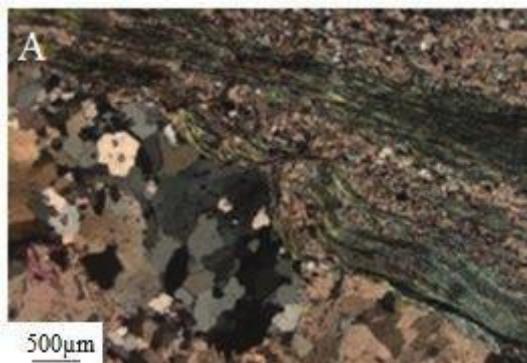
A: luz transmitida, polarizadores cruzados

Ocorrência de veio de quartzo acompanhando a foliação da rocha

B: Aumento, luz refletida

Minerais opacos calcopirita e pirita

Fotomicrografias



Nome da Rocha:

Talco-carbonato-mica branca-quartzo xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA -TCC

**Caracterização litogeoquímica de rochas do supergrupo Rio das Velhas
região da Mina de ouro do "Bahú" Rio Acima - MG**

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FBA 06

Descrição: Augusto Junqueira

Empresa: Jaguar Mining

Furo: FBA 138

Profundidade : 54,75m

Descrição Macroscópica da Lâmina

Lâmina dominada por veio de quartzo com ocorrência de minerais sulfetados preenchendo fratura. Porção com menor área ocorrência de com bandas leucocráticas (quartzo) e melanocráticas acinzentada com minerais sulfetados acompanhando a xistosidade.

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Quartzo 40%, Carbonato 30 % Mica Branca 20%, Talco 10%

Minerais Acessórios: Pirita, pirrotita calcopirita, pentlandita

Descrição Microscópica da Lâmina

Rocha com granulação fina à média na porção do xisto e granulação grossa na porção do veio de quartzo+ carbonato. A foliação do xisto é bem marcada pelas bandas quartzosas e de mica branca. Os minerais opacos são compostos por pirita, calcopirita, pirrotita e pentlandita inclusa na pirrotita.

FOTOMICROGRAFIAS:

A: luz refletida

Agregado de pirita.

B: luz transmitida, polarizadores cruzados

Interface entre veio de quartzo+carbonato e o xisto, evidenciando a diferença granulométrica entre o quartzo do veio e o quartzo do xisto

Fotomicrografias



Nome da Rocha:

Talco-carbonato-mica branca-quartzo xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA -TCC

**Caracterização litogeoquímica de rochas do supergrupo Rio das Velhas
região da Mina de ouro do "Bahú" Rio Acima - MG**

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FBA 07

Descrição: Augusto Junqueira

Empresa: Jaguar Mining

Furo: FBA 138

Profundidade : 61,25m

Descrição Macroscópica da Lâmina

Lâmina predominantemente leucocrática, com bandamento sendo interrompido por veios de quartzo+carbonato. Ocorrência de mineral opaco junto ao veio de quartzo.

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Quartzo 45%, Mica Branca 35 %, Carbonato 20%

Minerais Acessórios: Pirita, pirrotita e goethita

Processos de Alteração: silicificação, carbonatação e sulfetação

Descrição Microscópica da Lâmina

Rocha com granulação fina à média na porção do xisto e granulação grossa na porção do veio de quartzo+carbonato. A foliação do xisto é bem marcada pelas bandas quartzosas e de mica branca. Os minerais opacos são compostos por pirita, goethita. Na lâmina fica evidente a percolação do fluido hidrotermal na rocha de forma concordante.

FOTOMICROGRAFIAS:

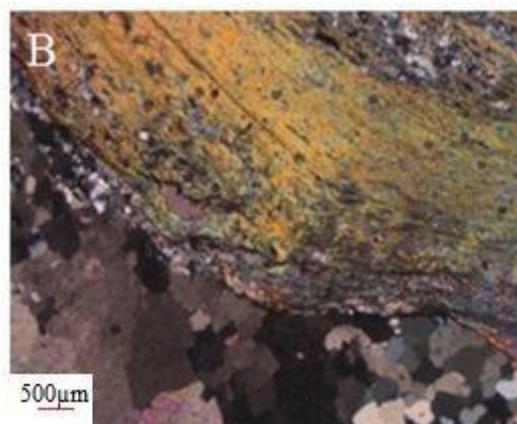
A: luz refletida

Pirita em associação com calcopirita

B: luz transmitida, polarizadores cruzados

Interface entre veio de quartzo+carbonato e o xisto, evidenciando a diferença granulométrica entre o quartzo do veio e o quartzo do xisto

Fotomicrografias



Nome da Rocha:

Carbonato-mica branca-quartzo xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA -TCC

**Caracterização litogeoquímica de rochas do supergrupo Rio das Velhas
região da Mina de ouro do "Bahú" Rio Acima - MG**

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FBA 08

Descrição: Augusto Junqueira

Empresa: Jaguar Mining

Furo: FBA 138

Profundidade : 63,45m

Descrição Macroscópica da Lâmina

Xisto com bandas leucocráticas quartzosas, bandas melanocráticas acinzentadas e bandas com coloração amarelo-esverdeado. Ocorrência de minerais opacos milimétricos nas bandas quartzosas assim como preenchendo fraturas

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Quartzo 60%; Mica Branca 40%

Minerais Acessórios: calcopirita, pirita, rutilo

Processos de Alteração: sulfetação

Descrição Microscópica da Lâmina

Rocha com granulação fina com textura granulolepidoblástica e estrutura xistosa marcada pela intercalação de quartzo e mica branca. Os minerais opacos presentes são a pirita e calcopirita ocorrendo em grãos e pirita filinear. Ocorrência de rutilo.

FOTOMICROGRAFIAS:

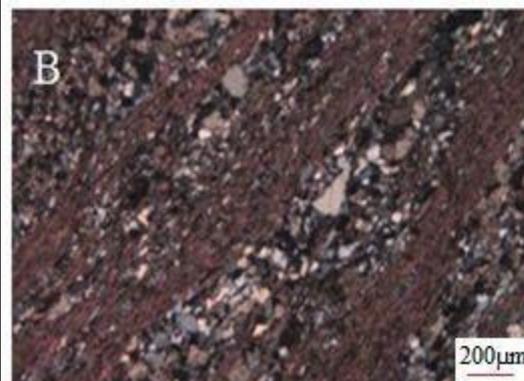
A: luz refletida

Ocorrência de pirita preenchendo veio e acompanhando a xistosidade e calcopirita granular na porção NE da fotomicrografia

B: luz transmitida, polarizadores cruzados

Xistosidade marcada pela intercalação de bandas quartzosas e filossilicáticas.

Fotomicrografias



Nome da Rocha:

Mica branca-quartzo xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA -TCC

**Caracterização litogeoquímica de rochas do supergrupo Rio das Velhas
região da Mina de ouro do "Bahú" Rio Acima - MG**

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FBA 09

Descrição: Augusto Junqueira

Empresa: Jaguar Mining

Furo: FBA 138

Profundidade : 66,15m

Descrição Macroscópica da Lâmina

bandas leucocráticas e melanocráticas com foliação anastomosada. grãos milimétricos de opacos e grão centimétrico de pirita.

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Quartzo 50%; Mica branca 47%; Pirita 3%

Minerais Acessórios: Calcopirita

Processos de Alteração: Sulfetação, silicificação

Descrição Microscópica da Lâmina

Rocha com granulação fina com textura granulolepidoblástica e estrutura xistosa marcada pela intercalação de quartzo e mica branca.
Os minerais opacos presentes são a pirita, calcopirita

FOTOMICROGRAFIAS:

A: Aumento 2,5x, luz transmitida, polarizador cruzado

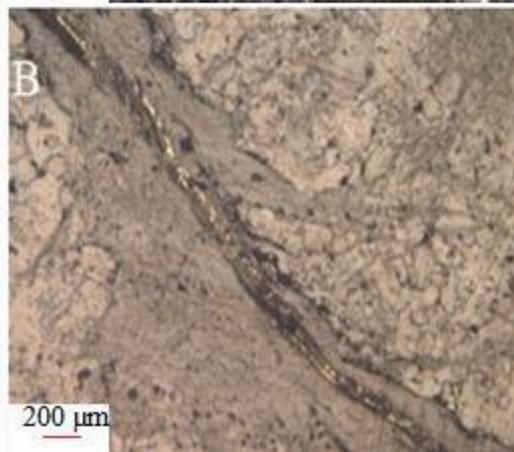
Visão geral da lâmina, com a xistosidade da rocha preservada à esquerda e a ocorrência de veio de quartzo à direita obliterando a xistosidade.

Ocorrência de incipiente clivagem de crenulação do tipo gradacional à direita

B: luz refletida

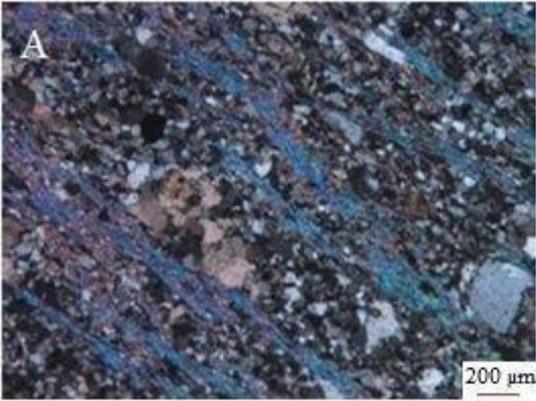
Ocorrência de pirita preenchendo veio

Fotomicrografias



Nome da Rocha:

Mica branca- quartzo xisto

| FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA -TCC Caracterização litogeoquímica de rochas do supergrupo Rio das Velhas região da Mina de ouro do "Bahú" Rio Acima - MG Orientador: Edison Tazava | |
|---|---|
| Lâmina: FBA 10 | |
| Descrição: Augusto Junqueira | Empresa: Jaguar Mining |
| Furo: FBA 138 | Profundidade : 71,85m |
| Descrição Macroscópica da Lâmina | |
| Rocha homogênea, leucocrática, com minerais milimétricos, xistosidade presente com coloração cinza | |
| Descrição Microscópica | |
| <u>Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)</u> | |
| Minerais Essenciais: Quartzo 55%; Mica Branca 45% | |
| Minerais Acessórios: Pirita; calcopirita | |
| Processos de Alteração: sulfetação | |
| Descrição Microscópica da Lâmina | Fotomicrografias |
| <p>Rocha inequigranular granolepidoblástica com estrutura xistosa. Ocorrência de bandas filossilicáticas marcadas por mica branca e bandas quartzosas.</p> <p>Ocorrência de minerais opacos disseminados em toda lâmina, compostos por pirita calcopirita.</p> <p>Ocorrência de clivagem de crenulação do tipo discreta</p> <p>FOTOMICROGRAFIAS: A: luz transmitida, polarizador cruzado Visão geral da lâmina. Ocorrência de clivagem de crenulação do tipo discreta</p> <p>B: luz refletida Ocorrência de pirita granular</p> |   |
| Nome da Rocha: | Mica branca-quartzo xisto |

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA -TCC

**Caracterização litogeoquímica de rochas do supergrupo Rio das Velhas
região da Mina de ouro do "Bahú" Rio Acima - MG**

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FBA 11

Descrição: Augusto Junqueira

Empresa: Jaguar Mining

Furo: FBA 138

Profundidade : 73,65m

Descrição Macroscópica da Lâmina

Rocha heterogênea, leucocrática com minerais milimétricos na borda. Veio de quartzo cortando longitudinalmente a lâmina acompanhando a foliação

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Quartzo 50%; Mica Branca 40%; Carbonato 10%

Minerais Acessórios: Pirita, pirrotita, rutilo

Processos de Alteração: Sulfetação, carbonatação e silicificação

Descrição Microscópica da Lâmina

Rocha com textura granolepidoblástica e estrutura xistosa marcada pela intercalação de bandas filossilicáticas e quartzosas. Ocorrência de veio de quartzo+carbonato acompanhando a foliação da rocha.

O quartzo presente no veio difere pelo tamanho dos grãos do quartzo da rocha. Os minerais opacos presentes são pirita e pirrotita.

Ocorrência de rutilo.

FOTOMICROGRAFIAS:

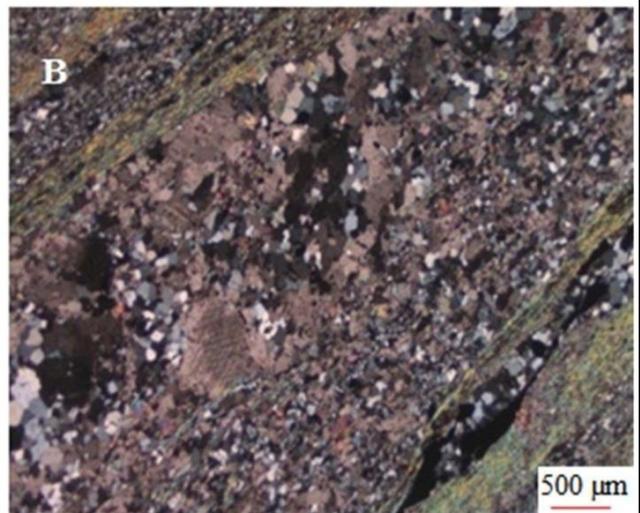
A: luz refletida

Ocorrência de pirita

B: luz transmitida, polarizador cruzado

Ocorrência de veio de quartzo + carbonato orientado segundo a foliação da rocha

Fotomicrografias



Nome da Rocha:

Carbonato-mica branca-quartzo xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA -TCC

**Caracterização litogeoquímica de rochas do supergrupo Rio das Velhas
região da Mina de ouro do "Bahú" Rio Acima - MG**

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FBA 12

Descrição: Augusto Junqueira

Empresa: Jaguar Mining

Furo: FBA 138

Profundidade : 75,85m

Descrição Macroscópica da Lâmina

Lâmina homogênea, leucocrática com minerais milimétricos. Faixa milimétrica com coloração verde (clorita)

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Quartzo 50%; Mica Branca 45% Clorita 5%

Minerais Acessórios: turmalina, rutilo

Processos de Alteração: Silicificação; cloritização

Descrição Microscópica da Lâmina

Rocha com textura granolepidoblástica e estrutura xistosa marcada pela intercalação de bandas filossilicáticas e bandas quartzosas. Ocorrência de pequenos veios de quartzo acompanhando a foliação.

Ocorrência de rutilo e turmalina.

A mica branca sofre processo de cloritização

A clorita ocorre em palhetas incolores a esverdeadas, com cor de interferência anômala acastanhada, indicando ser do tipo Mg-Fe clorita.

FOTOMICROGRAFIAS:

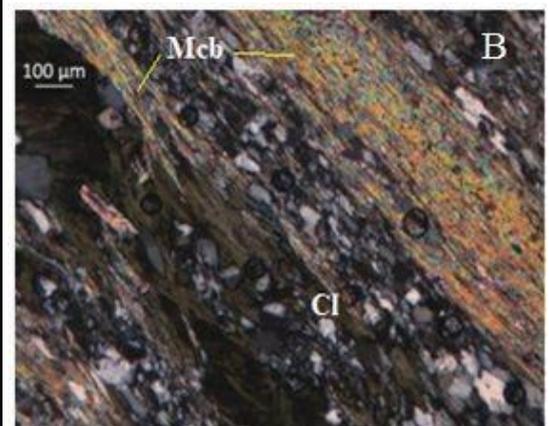
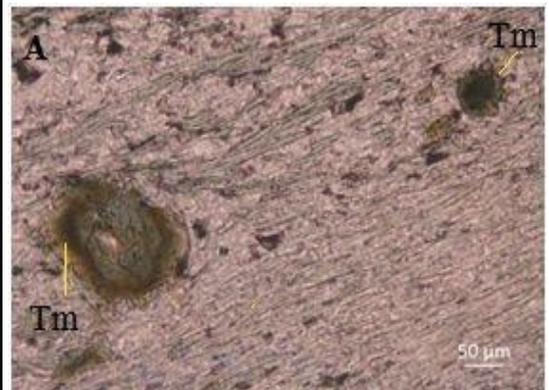
A: Aumento 20x, luz transmitida, polarizadores descruzados

Grãos de turmalina, com clivagem bem marcada. Tm- turmalina

B: Aumento 10x, luz transmitida, polarizadores cruzados

Processo de cloritização da mica branca. Mcb- Mica branca. Cl- clorita

Fotomicrografias



Nome da Rocha:

Mica branca-quartzo xisto

ANEXO I

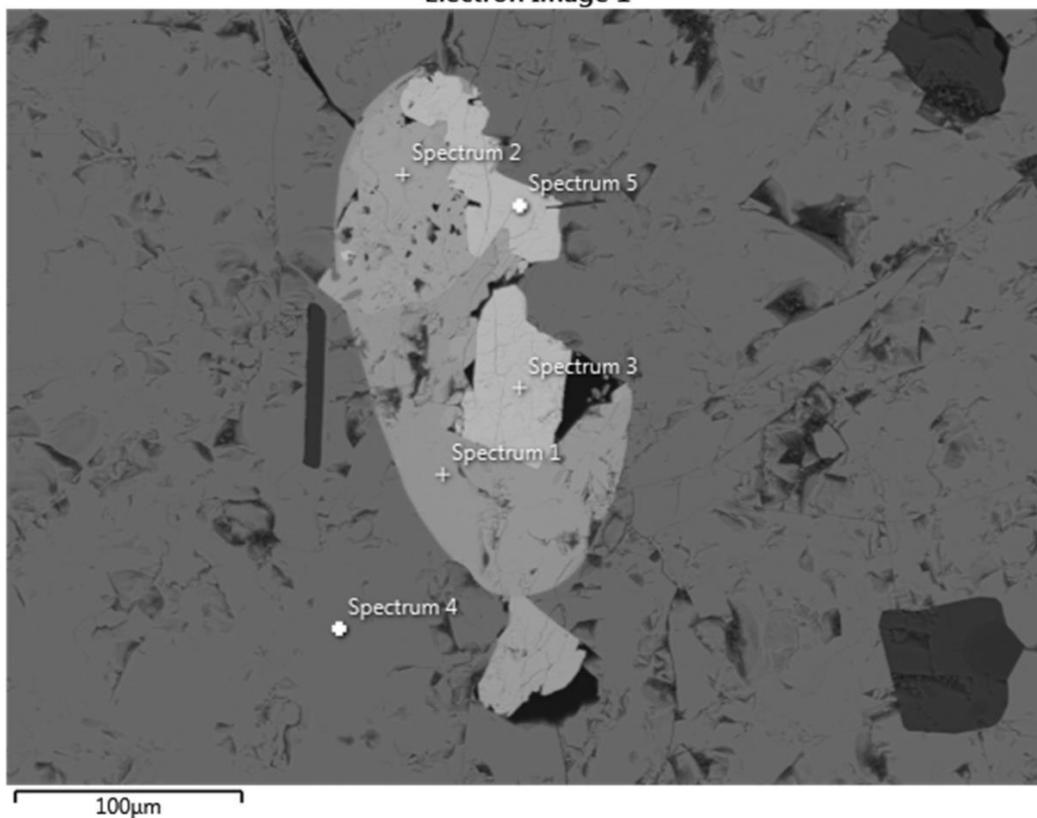
ANÁLISES MEV

Abaixo são apresentadas as tabelas composicionais de cada alvo selecionado (Spectrum) e as respectivas imagens obtidas em MEV nas lâminas FBA 07, FBA 09 e FBA 12.

FBA 07

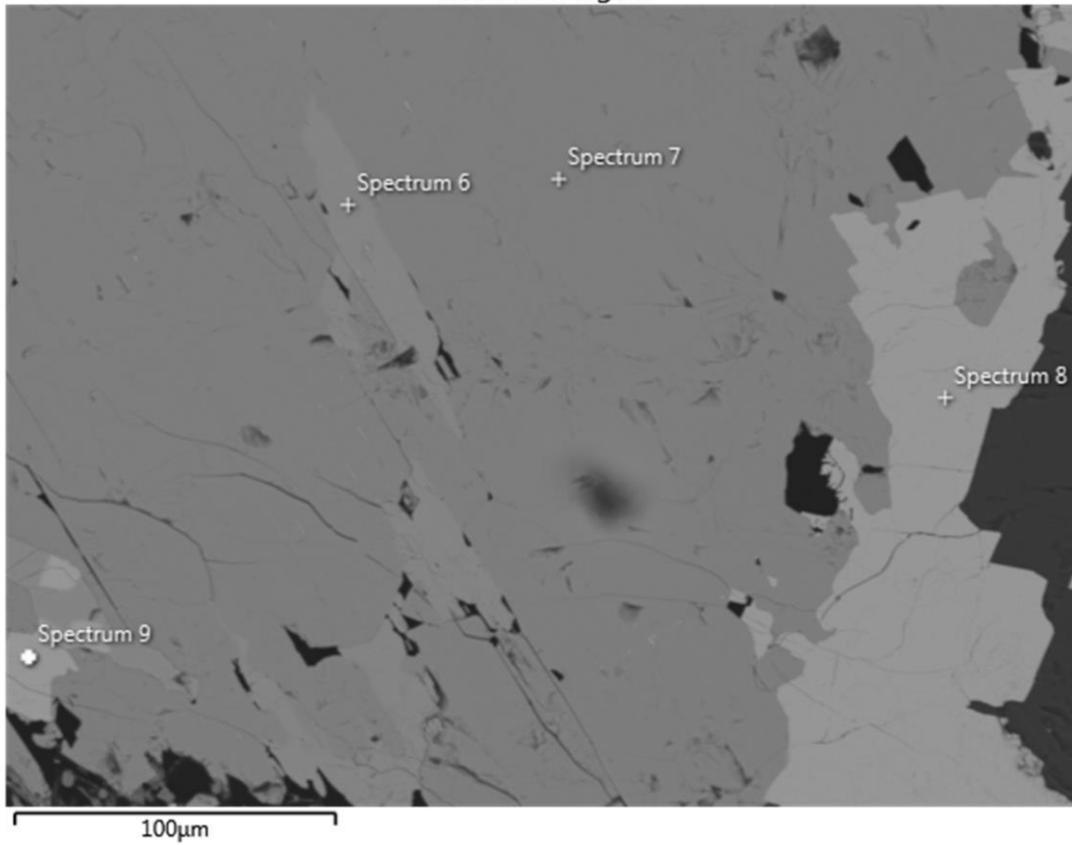
| Elemento | Spectrum 1 | Spectrum 2 | Spectrum 3 | Spectrum 5 | Spectrum 4 |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| O | | | | | |
| Al | | 0,18 | | | |
| Si | 0,92 | 0,85 | 1,31 | 1,04 | |
| S | 40,82 | 41,4 | 34,91 | 35,65 | 50,44 |
| Fe | 11,79 | 0,4 | 3,06 | 3,36 | 49,56 |
| Sb | 40,67 | 54,15 | 29,75 | 29,26 | |
| Tl | 2,72 | | | | |
| Pb | | | 30,96 | 30,69 | |
| Bk | 3,08 | 3,02 | | | |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Classificação | bertierita | | jamesonita | | pirita |

Electron Image 1



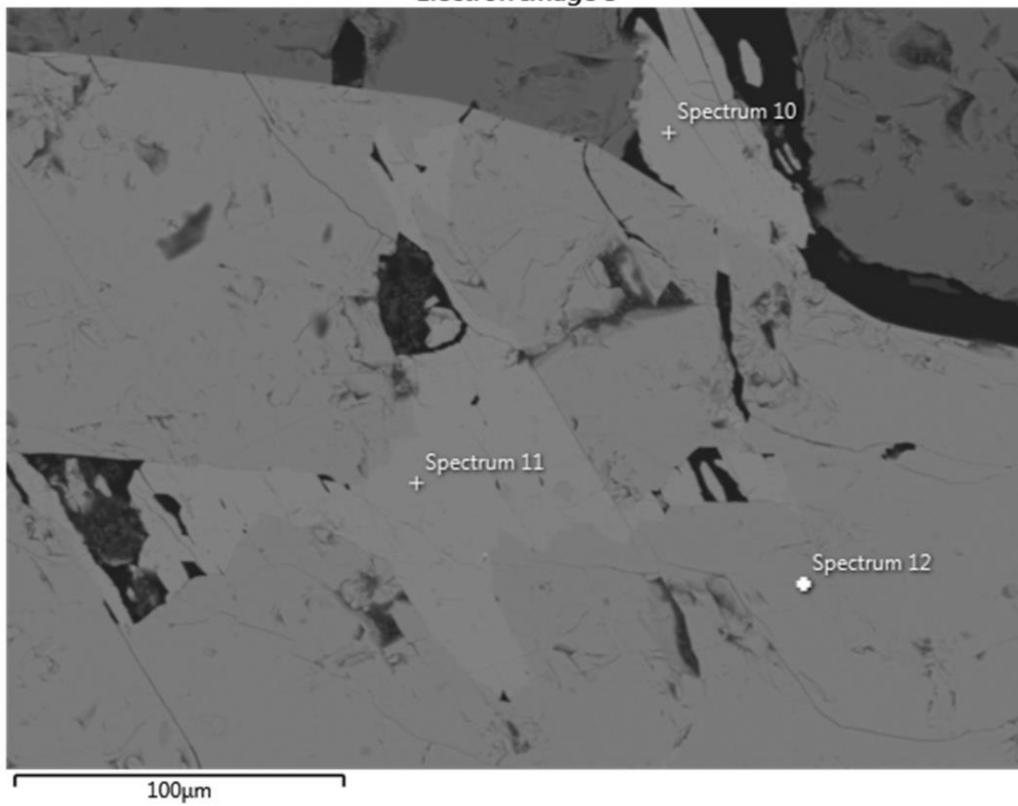
| Elemento | Spectrum 7 | Spectrum 6 | Spectrum 9 | Spectrum 8 |
|---------------|------------|------------|------------|------------|
| O | | | | |
| Si | 0,59 | 0,64 | 1,23 | 0,89 |
| S | 43,45 | 41,32 | 35,68 | 36,33 |
| Fe | 11,88 | 0,5 | 3,15 | 2,77 |
| Sb | 44,08 | 57,53 | 29,84 | 29,48 |
| Pb | | | 30,1 | 30,53 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Classificação | bertierita | | Jamesonita | |

Electron Image 2



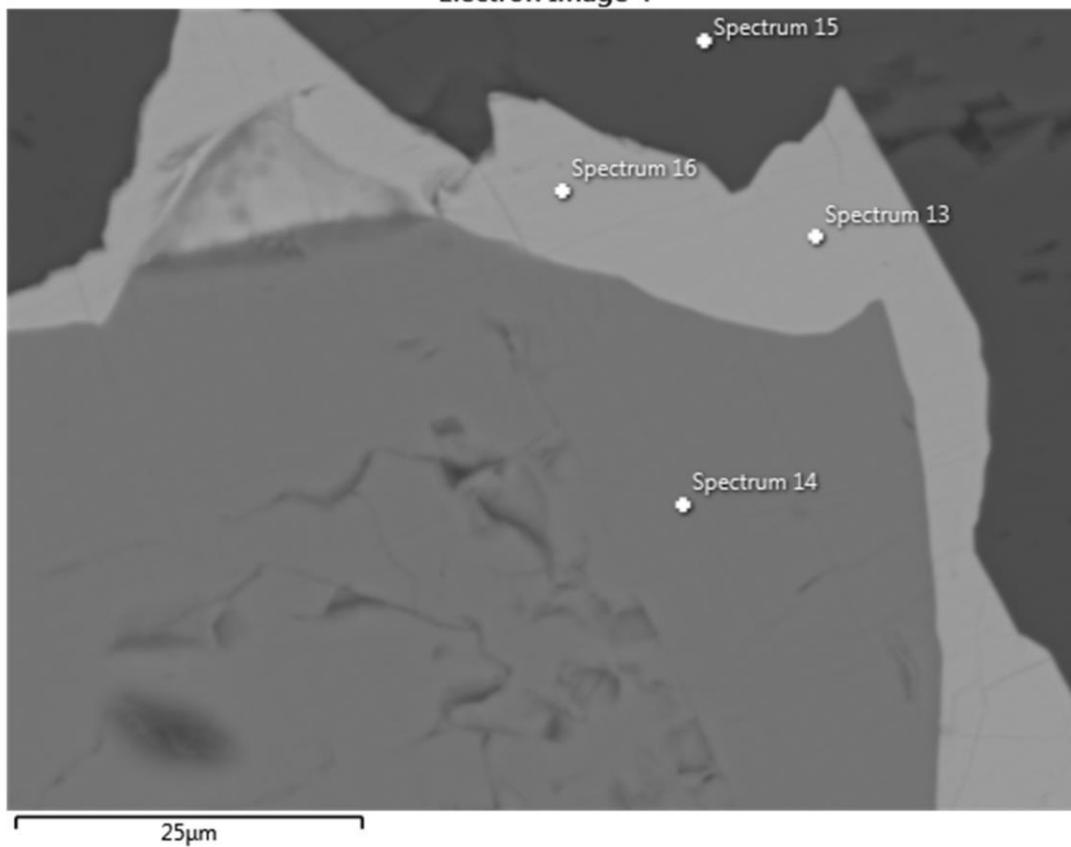
| Elemento | Spectrum 12 | Spectrum 10 | Spectrum 11 |
|---------------|-------------|-------------|-------------|
| O | | | |
| Si | 0,74 | 0,78 | 0,87 |
| S | 43,2 | 40,93 | 41,61 |
| Fe | 12,24 | | |
| Sb | 43,82 | 58,29 | 57,52 |
| Total | 100 | 100 | 100 |
| Classificação | bertierita | estibinita | |

Electron Image 3



| Elemento | Spectrum 16 | Spectrum 13 | Spectrum 14 | Spectrum 15 |
|---------------|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| O | | | | |
| Mg | | | | 23,09 |
| Si | 0,87 | 0,72 | 0,57 | |
| S | 22,79 | 22,63 | 50,88 | |
| Ca | | | | 53,1 |
| Mn | | | | 1,69 |
| Fe | 0,7 | | 48,55 | 22,12 |
| Co | 0,92 | 1,02 | | |
| Ni | 25,82 | 27,08 | | |
| Sb | 48,9 | 48,55 | | |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Classificação | ullmannita (grupo da cobaltita) | | pirita | ganga |

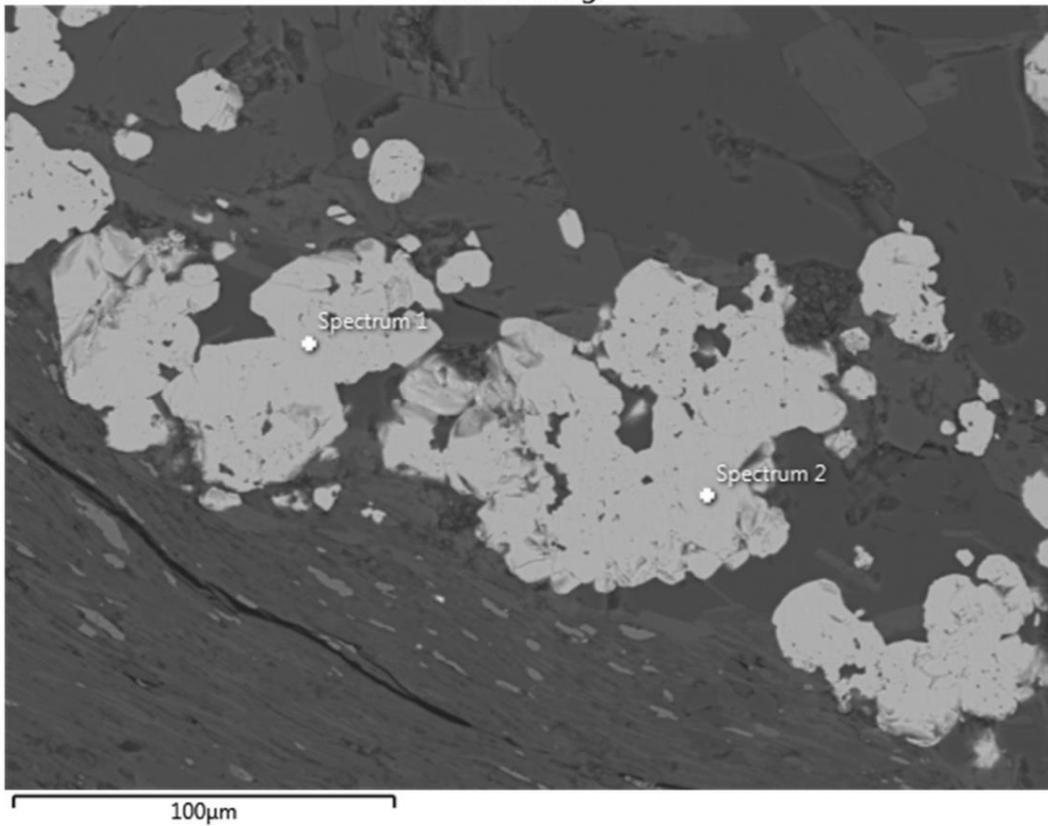
Electron Image 4



FBA 09

| Elemento | Spectrum 2 | Spectrum 1 |
|---------------|------------------------------------|------------|
| O | | |
| Si | 0,49 | 0,64 |
| S | 25,97 | 25,47 |
| Fe | 5,08 | 5,94 |
| Co | 22,2 | 21,34 |
| Ni | 6,49 | 6,69 |
| As | 39,76 | 39,92 |
| Total | 100 | 100 |
| Classificação | glaucodoto (grupo da arsenopirita) | |

Electron Image 1



FBA 12

| Elemento | Spectrum 7 | Spectrum 5 | Spectrum 4 | Spectrum 6 |
|---------------|---------------|------------|-------------|------------|
| O | | | | |
| Mg | | | 1,2 | 16,31 |
| Al | | | 1,09 | 23,38 |
| Si | 0,51 | | 1,19 | 28,53 |
| S | 35,16 | 35,15 | 43,57 | |
| Fe | 3,36 | 3,68 | 23,52 | 31,77 |
| Cu | 34,63 | 34,79 | 27,89 | |
| Zn | 3,87 | 4,02 | | |
| Sb | 22,47 | 22,35 | 1,55 | |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Classificação | calcoestibita | | calcopirita | ganga |

