

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOQUÍMICA DOS FILITOS CARBONOSOS DO DEPÓSITO
MORRO DO OURO, PARACATU, MINAS GERAIS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

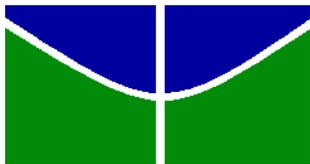
Nº 249

BRUNA SAAR DE ALMEIDA

Orientador: Prof. Dr. MARCEL AUGUSTE DARDENNE

Supervisor: Dr. BRIAN THOMSON

Brasília, 2009



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

GEOQUÍMICA DOS FILITOS CARBONOSOS DO DEPÓSITO MORRO DO OURO, PARACATU, MINAS GERAIS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

BRUNA SAAR DE ALMEIDA

Banca Examinadora:

Prof.Dr. Marcel Auguste Dardenne (Orientador)

Prof.Dr. Claudinei Gouveia de Oliveira - UnB

Prof.Dr. Ari Roisenberg - UFRGS

Brasília, 2009

*“Os que se encantam com a prática sem a ciência
são como os timoneiros que entram em um barco
sem timão nem bússola, nunca possuem certeza
do seu destino...”*

Leonardo da Vinci

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Marcel Auguste Dardenne, pela sua orientação e discussões sobre geologia durante todo o mestrado.

À Universidade de Brasília e ao Instituto de Geociências pelo suporte técnico, laboratório e seus funcionários que muito colaboraram na logística durante estes meses.

A todos os professores que me ensinaram novas coisas e contribuíram para minha formação acadêmica e profissional. Em Especial aos professores Adalene Moreira Silvia, Luiz J.H.Del-Rey Silva, Carlos José Souza de Alvarenga e Nilson Botelho.

Aos professores Edi Magalhães e José Afonso Brod pela participação no desenvolvimento dos artigos e pelas discussões geológicas.

Agradeço ao meu marido, Fabrício, que sempre me apoiou e me incentivou em todas as etapas de desenvolvimento da graduação e da dissertação de Mestrado.

Aos meus cachorros, Vela e Kirra, que sempre me recepcionavam com alegria na volta das saídas de campo.

Aos meus pais e minha família que mesmo longe me apoiaram em todos os momentos.

Ao Cnpq pelo financiamento da bolsa de mestrado.

Agradeço ao Grupo Kinross e a Rio Paracatu Mineração pelo financiamento do mestrado, oportunidade e confiança no desenvolvimento deste trabalho. Em especial Brian Thomson por sua supervisão, inúmeras discussões geológicas e seu grande empenho ao longo de todo o mestrado. Também agradeço aos funcionários Caroline Jofly, Paulo Guimarães, Clarice Rabelo, Ana Paula Fonsceca, Marcela Godoy, Vasco Ferreira, Frederico Zalán, Rogério Alves, Nilo Nunes, Anderson, Yassu, Evandro e Anastácio por suas contribuições.

Aos amigos Hardy Jost e sua esposa Mary Jost pelo apoio, hospitalidade, amizade e pelos churrascos de descontração.

Aos amigos Miriã, Karina, Mariana, Jaqcqueline, Joice, Adriana, André, Gustavo, José Henrique, Rodrigo, Eduardo (*in memorian*) pela amizade e pelas boas risadas.

Aos amigos Gustavo e Leticia pela amizade, descontrações e velejadas no lago Paranoá.

A todos que contribuíram direta e indiretamente para a preparação dessa Dissertação de Mestrado.

A todos, o meu sincero obrigado.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....1

1.1 - APRESENTAÇÃO.....	2
1.2 - OBJETIVO E JUSTIFICATIVA.....	4
1.3 - LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....	4
1.4 - HISTÓRICO DA ÁREA.....	5
1.5 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA REGIÃO.....	6
1.6 - METODOLOGIA.....	7

CAPÍTULO 2 – GEOQUÍMICA DOS FILITOS CARBONOSOS DA FORMAÇÃO PARACATU, DEPÓSITO MORRO DO OURO, MINAS GERAIS.....9

2.1 - ABSTRACT.....	10
2.2 - RESUMO.....	10
2.3 - INTRODUÇÃO.....	11
2.4 - CONTEXTO GEOLÓGICO	11
2.5 - GRUPO CANASTRA.....	13
2.6 - MÉTODOS.....	14
2.7 - RESULTADOS.....	15
Filitos não Mineralizados (Regionais).....	19
Filitos Mineralizados.....	22
2.8 - DISCUSSÕES.....	25
2.9 - CONCLUSÕES.....	26
2.10 - AGRADECIMENTOS.....	27
2.11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

CAPÍTULO 3 – GEOLOGIA E GEOQUÍMICA DEPÓSITO MORRO DO OURO, PARACATU, BRASILCENTRAL.....29

3.1 - RESUMO.....	30
3.2 - INTRODUÇÃO.....	31
3.3 - MÉTODOS.....	31
3.4 - GEOLOGIA REGIONAL.....	33

3.5 - GEOLOGIA LOCAL E MINERALIZAÇÃO.....	34
Controle estrutural da mineralização.....	36
Controle metamorfogênico da mineralização.....	37
3.6 - MINERALOGIA E GEOQUÍMICA DO DEPÓSITO (controle litogeoquímico)....	38
3.7 - BOUDINS E ESTRUTURAS RELACIONADAS.....	42
Boudins e veios de quartzo ± siderita ± sulfetos.....	43
Veios de quartzo hospedados em quartzitos.....	45
Veios de quartzo irregulares.....	45
3.8 - ZONAS INTEMPÉRICAS.....	45
Zona Oxidada.....	46
Zona Laterítica (horizontes A, B, C e regolito).....	46
3.9 - DISCUSSÕES E CONCLUSÕES.....	47
3.10 - REFERÊNCIAS.....	50
CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES.....	52
4.1 - CONCLUSÕES FINAIS.....	53
4.2 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	53
CAPÍTULO 5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
4.1 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
ANEXOS.....	58
ANEXO 1 - GEOQUÍMICA DE ROCHA TOTAL – Capítulo 2.....	59
ANEXO 2 - GEOQUÍMICA DE ROCHA TOTAL – Capítulo 3.....	69
ANEXO 3 - DIFRATOMETRIA DE RAIOS X.....	79

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1.1 - Localização e vias de acesso do depósito Morro do Ouro.....	5
---	---

Capítulo 2

Figura 2.1 - Mapa geológico da Faixa Brasília (modificado de Fuck et al. 1994).....	12
Figura 2.2 - Coluna litoestratigráfica do Grupo Canastra (Modificado de Dardenne, 2000).....	13
Figura 2.3 - Mapa geológico com a localização do depósito Morro do Ouro e dos testemunhos de sondagem norte e sul (Modificado de Forlin, R. & Andreaza, 1984).....	16
Figura 2.4 - Distribuição do volume de boudins e dos elementos Au, As, Zn, Pb, Cu, V, Cr e Al ao longo do testemunho de sondagem norte.....	17
Figura 2.5 - Distribuição do volume de boudins e dos elementos Au, As, Zn, Pb, Cu, V, Cr e Al ao longo do testemunho de sondagem no centro, representativo do Depósito Morro do Ouro.....	18
Figura 2.6 - Distribuição do volume de boudins e dos elementos Au, As, Zn, Pb, Cu, V, Cr e Al, no testemunho de sondagem sul, local representativo dos filitos carbonosos não mineralizadas.....	19
Figura 2.7 - Aspectos macroscópicos dos filitos não mineralizados.....	20
Figura 2.8 - Distribuição dos valores médios do volume de boudins e de Cu, Al, V e Cr nos três locais estudados, representando a relação do volume de boudins com a concentração destes elementos nos filitos mineralizados e não mineralizados.....	21
Figura 2.9 - Aspectos macroscópicos dos filitos carbonosos mineralizados.....	23
Figura 2.10 - Média de volume de boudins (%) comparada com valores médios em ppm de Au, As, Pb e Zn das amostras correspondentes ao Morro do Ouro, norte e sul.....	25

Capítulo 3

Figure 3.1 - Mapa geológico da Faixa Brasília (modificado de Fuck et al. 1994).....	33
Figura 3.2 - Mapa geológico e perfil esquemático do depósito Morro do Ouro.....	35
Figura 3.3 - Testemunho de sondagem representativo do depósito Morro do Ouro com a distribuição dos elementos relacionados com a zona mineralizada e rochas não mineralizadas.....	39
Figura 3.4 - Distribuição da média do volume de boudins e média de teor de ouro na borda e centro do depósito Morro do Ouro.....	42
Figura 3.5 - Tipos de Boudins.....	44
Figura 3.6 - Características das zonas mineralizadas.....	47

LISTA DE TABELAS

Capítulo 3

Tabela 3.1 - Valores mínimos, máximos e média das amostras representativas da Zona mineralizada e não mineralizada do Depósito Morro do Ouro.....	41
--	----

RESUMO

O depósito de Morro do Ouro localiza-se ao norte da cidade de Paracatu, Estado de Minas Gerais. O depósito está hospedado nos filitos carbonos da base da Formação Paracatu (Membro Morro do Ouro) pertencente ao Grupo Canastra, Zona externa da Faixa Brasília.

A mina Morro do Ouro é explorada com o mais baixo teor de ouro do mundo ($<0,4$ g/t), com uma produção de 15 toneladas por ano, o que a torna a principal produtora de ouro do Brasil.

A distribuição do ouro e dos sulfetos é condicionada por uma estrutura principal (megaboudin) que mergulha 15° para SW. Esse mergulho aumenta em direção ao SW do depósito.

Os boudins estão distribuídos ao longo dessa estrutura e possuem uma maior concentração e volume no centro (5%) em relação às bordas do depósito (2%). Existem diferentes tipos de boudins de diferentes tamanhos e composições.

Os Boudins de quartzo \pm siderita \pm sulfetos representam a principal característica mineralização do depósito Morro do Ouro. Os sulfetos característicos são a arsenopirita, pirita, galena, esfalerita, pirrotita e calcopirita. A presença de boudins sulfetados, em particular quando eles contêm arsenopirita e pirita, é um bom indicador de elevados teores de ouro.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas análises de rocha total, difratometria de raio-x e valores de volume de boudins em relação a rocha.

O depósito caracteriza-se por uma litologia visualmente homogênia, mas com variações químicas que estão relacionadas com o controle da mineralização.

Os filitos não mineralizados (regionais) apresentam clorita, muscovita e quartzo, raros boudins de quartzo e baixa deformação. Estas rochas possuem valores elevados de SiO_2 , Zr, V, Cr e Al em relação as rochas mineralizadas.

Em comparação, os filitos carbonosos mineralizados são formados por quartzo e muscovita, apresentam alto grau de deformação, elevado volume de boudins (quartzo, siderita e sulfetos) e são enriquecidos em Au, Ag, As, Pb, Zn, C e S.

O estudo das rochas mineralizadas e não mineralizadas do depósito Morro do Ouro indicaram que a mineralização aurífera está localizada em uma camada litoestratigráfica preferencial, marcada por diferenças geológicas, deformacionais e geoquímicas. Esses dados contribuíram para o conhecimento do Depósito Morro do Ouro e podem ser usados como guias prospectivos para a descoberta de novos depósitos do tipo Morro do Ouro.

PALAVRAS CHAVE: Depósito Morro do Ouro, filito carbonoso, boudins, ouro e geoquímica

ABSTRACT

The Morro do Ouro (or Paracatu) gold deposit is located close to the city of Paracatu, in northwestern Minas Gerais state. The Paracatu mine is the lowest grade gold operation in the world (0.4g/t Au), but from 2009 it will become the largest gold producer in Brazil, with annual output of 15 tonnes.

The deposit is hosted by carbonaceous phyllites with subordinate arenites near the base of the Paracatu Formation (Morro do Ouro Member). The Paracatu Formation is part of the Canastra Group that makes up the bulk of the Brasília fold-thrust belt, one of several extensive mobile belts of Brasiliano age in Brazil.

The Morro do Ouro orebody is hosted by a shallow southwest dipping structural zone, within which the Morro do Ouro member metasediments host the abundant quartz-carbonate-sulphide boudins. Boudin volumes are higher in the central part of the deposit (5%) than on the margins (2%). The boudins contain a sulphide assemblage dominated by pyrite and arsenopyrite, with minor sphalerite, galena, pyrrhotite and chalcopyrite.

Whole rock geochemistry, X-Ray diffractometry and counts of boudin volumes were used to investigate geochemical variations within and around the orebody and their relationship to boudins. Unmineralized carbonaceous phyllites in the footwall of the orebody are composed of chlorite, muscovite and quartz, with rare quartz boudins and weak deformation indicators. These rocks have higher values of SiO₂, Zr, V, Cr and Al than the mineralized phyllites..

In contrast, mineralized carbonaceous phyllites are dominated by quartz and muscovite (no chlorite), have much higher boudin volumes (quartz, siderite and sulfides), and have much more intense deformation. They are also enriched in Au, Ag, As, Pb, Zn, C and S.

These mineralogical and geochemical differences are not related to hydrothermal alteration or to dilution by veining. Rather they reflect primary stratigraphy: the Morro

do Ouro mineralisation has a strong lithological control. This has application to the exploration for similar deposits.

KEY WORDS: Morro do Ouro, Black Shale, Boudins, Gold and Geochemistry.

INTRODUÇÃO

Capítulo I

INTRODUÇÃO

1.1 – APRESENTAÇÃO

O termo depósito de *sediment hosted vein (SHV)* é usado para a família de depósitos auríferos que possuem ouro em veios de quartzo hospedado por xistos carbonosos e grafitosos, filitos carbonosos e filitos sericíticos. Esses depósitos ocorrem em todo o mundo, com uma quantidade maior na Ásia. Alguns depósitos são bem conhecidos e previamente descritos como hospedado em turbiditos, folhelhos, ardósias ou depósitos de veios mesotermiais.

Esse grupo de depósito inclui as minas de ouro de classe mundial (> 100t de ouro) de Witwatersrand, na África do Sul, Bendigo, na Austrália, Carlin, nos Estados Unidos e Morro do Ouro, no Brasil. Outros depósitos de menor dimensão são conhecidos na Ásia, Oceania, América do Sul e Norte com tamanhos inferiores a 5 M de oz.

Esse tipo de depósito é comumente hospedado em extensos cinturões de rochas sedimentares depositadas em um ambiente de margem passiva. Alguns cinturões sedimentares formaram dobramento por empurrão, que representam grandes candidatos a hospedar depósitos do tipo *SHV*. O estilo de deformação é importante para a formação desses depósitos, pois ajudam na geração de fluidos que irão transportar o ouro. A formação de estruturas servirá de armadilha para o aprisionamento do ouro e geração do depósito. Outro fato importante são as proximidades com o embasamento continental, as grandes estruturas no embasamento e as diversas fases de deformação.

Depósitos do tipo *SHV* usualmente ocorrem em rochas do final do proterozóico ao começo do paleozóico. Os corpos mineralizados ocorrem em grupos com depósitos grandes associados a pequenos depósitos. Rochas graníticas podem ocorrer associadas, mas nem sempre. Quando presentes, o tempo da intrusão pode ocorrer antes ou depois da mineralização.

A mineralização desses depósitos variam do meio ao final do paleozóico com a ocorrência de algumas idades mais jovens.

A mineralização desses depósitos variam do meio ao final do paleozóico com a ocorrência de algumas idades mais jovens.

A mineralogia desse tipo de depósito é simples. Quartzo e quartzo-carbonato são minerais comuns nos veios desses tipos de depósito. Pode ocorrer a adição de carbonato na rocha e a formação de sericita. Pirita pode ocorrer disseminada na rocha e, principalmente, próxima aos veios. Outros metais e minerais que podem estar associados com o ouro incluem vestígios de pequenas quantidades de arsenopirita e concentrações elevadas de W, Bi, e Te. Geralmente, há uma escassez de Cu, Pb, Zn e sulfetos, mas ocorrem em quantidades pequenas em alguns depósitos. Geralmente a quantidade de sulfeto conteúdo é reduzida para este tipo de depósito (Klipfel, 2005).

O Depósito Morro do Ouro (660 Ma) representa um depósito do tipo *SHV*, mas possui algumas particularidades. A mina é explorada com o menor teor do mundo (<0.4 g/t) com uma reserva estimada em 18 milhões de onças e com uma vida útil de 33 anos, o torna o depósito o principal depósito em produção de ouro no Brasil.

O depósito está hospedado nos filitos carbonosos da Formação Paracatu (Membro Morro do Ouro) pertencente ao Grupo Canastra, Zona externa da Faixa Brasília. As rochas mineralizadas e não mineralizadas do depósito, são visualmente semelhantes, mas possuem variações mineralógicas, deformacionais e geoquímicas que estão relacionadas com o controle da mineralização.

A mineralização aurífera no depósito Morro do Ouro ocorre associada à boudins de quartzo, carbonato e sulfeto distribuídos ao longo de uma estrutura e camada preferencial. O corpo mineralizado apresenta formato de um megaboudin (Moller, 2000) com variações na quantidade (em volume) de boudins entre o centro e a borda do depósito.

Esta Dissertação de Mestrado será apresentada na forma de dois artigos, divididos em dois capítulos (2 e 3). O primeiro artigo caracteriza as rochas mineralizadas e não mineralizadas regionais utilizando parâmetros mineralógicos e geoquímicos. O segundo artigo trata do depósito Morro do Ouro de forma geral, integrando dados já existentes sobre o depósito e ressaltando a distribuição e os diferentes tipos de boudins, o controle geoquímico da mineralização e a caracterização das zonas intempéricas mineralizadas. A dissertação inclui ainda um capítulo de introdução e um de conclusão.

O depósito Morro do Ouro é considerado um depósito de classe mundial com grandes reservas e baixo teor de ouro. Embora este depósito apresente grandes dimensões, poucos trabalhos foram realizados em escala regional, sobre o Morro do Ouro e nenhum artigo foi publicado em revistas nacionais e internacionais. A decisão de fazer uma dissertação de mestrado em forma de artigos baseou-se na falta de informações sobre este importante depósito na literatura.

Este trabalho tem como objetivo reunir os trabalhos já realizados sobre o depósito Morro do Ouro, caracterizar as rochas mineralizadas e não mineralizadas regionais, definir os diferentes tipos de boudins e relacioná-los com a mineralização, além de entender a distribuição e o controle geoquímico do ouro e elementos associados para estabelecer os guias prospectivos e contribuir, assim, para a descoberta de novos corpos mineralizados com características similares às do Morro do Ouro.

1.3 - LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O depósito aurífero de Morro do Ouro situa-se a aproximadamente 2 km da cidade de Paracatu, no extremo noroeste do Estado de Minas Gerais (Figura 1.1). A cidade localiza-se a 220 km a sudeste de Brasília e 482 Km a noroeste de Belo Horizonte. O acesso pode ser feito a partir da rodovia BR-040, Brasília - Belo Horizonte ou por via aérea através do aeroporto para aeronaves pequenas localizado no sul da cidade.

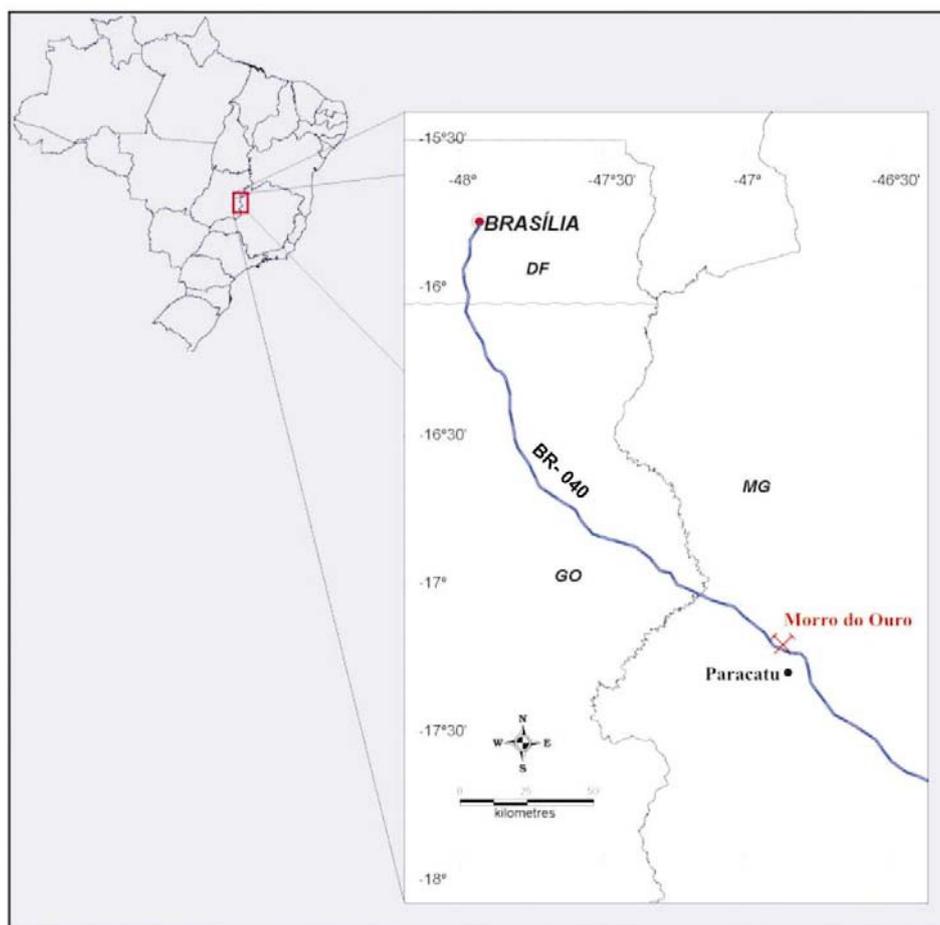


Figura 1.1 - Localização e vias de acesso do depósito Morro do Ouro.

1.4 - HISTÓRICO DA ÁREA

O depósito de Morro do Ouro foi descoberto pelos Bandeirantes em meados do século XVIII, data em que foram encontrados os primeiros aluviões auríferos.

A atividade mineira teve seu auge na segunda metade do século XVIII quando além dos aluviões, foi lavrada parte do minério oxidado aflorante, tornando-se uma das ocorrências mais produtivas da Capitania de Minas Gerais.

O declínio da exploração ocorreu no final do século XVIII quando o depósito passou a ser considerado como exaurido. Depois de um longo período sem atividade, a região foi explorada pelos garimpeiros locais até o século XIX.

A partir de 1970 a região passou a atrair a atenção de empresas de exploração, mas nenhuma indústria mineira foi instalada devido ao baixo teor de ouro do minério, sendo considerado como economicamente inviável.

Em 1980 o grupo inglês Rio Tinto Zinc (atual Grupo Rio Tinto) associou-se à Billinton, que possuía as áreas de pesquisa em Morro do Ouro.

Em 1984, com base em uma pesquisa fundamentada na escavação e amostragem de poços profundos, foi estimada uma reserva de 97.500 t com 0,587 g/t Au, referente ao minério oxidado.

Em 1987 foi aberta a cava da mina de Morro do Ouro pelo Grupo Rio Tinto tendo sido lavradas naquele ano 560.000 toneladas com 0,684g/t de Au.

No final de 2004 o grupo Kinross adquiriu 100% do depósito de Morro do Ouro.

Em 2007 a empresa Rio Paracatu Mineração S/A controlada pelo grupo canadense Kinross, definiu seu projeto de expansão para o triênio 2007/2009, caracterizando aumento da reserva (medida+indicada) de 1.386.490 toneladas, com teor médio de 0,4g/t, sendo a vida útil expandida de 15 (quinze) para 33 (trinta e três) anos.

Para o referido triênio, a movimentação bruta de minério passará de 18 milhões de toneladas (2007) para 35 milhões de toneladas (2008) e 59 milhões de toneladas (2009), correspondendo a um aumento de produção de 171.000 onças de ouro em 2007 para 571.000 em 2009.

1.5 - ASPECTOS FISIOGRAFICOS

O clima predominante da região é classificado como tropical de altitude com temperaturas variando de 17°C (inverno) a 30°C (verão) e precipitação anual média de 1350 mm.

O intenso intemperismo, em alguns locais, é responsável pela formação de uma camada laterítica que varia de poucos centímetros, a até 30 m de espessura.

A hidrografia da região pertence à Bacia do São Francisco, composta pelo Rio Paracatu, Rio São Francisco e seus afluentes. Sua distribuição apresenta padrão dentrítico, com orientações predominantes NS e NW.

O relevo é caracterizado por superfícies de aplainamento (chapadas) e por áreas de relevo dissecado.

A vegetação da região é representada pelo cerrado e veredas de buritis.

1.6 - METODOLOGIA

A metodologia utilizada na parte inicial deste trabalho foi a de revisão bibliográfica com a finalidade de conhecer melhor os trabalhos já realizados na área e outros trabalhos, de nível internacional, sobre depósitos de características similares ao depósito Morro do Ouro. Para tal foram consultados relatórios internos, teses e dissertações, artigos e livros sobre o assunto.

O período de trabalho de campo ocorreu ao longo de todo o período do mestrado, totalizando 65 dias de campo, incluindo mapeamento, coleta de amostras e discussões com geólogos responsáveis pela mina Morro do Ouro.

A seleção das amostras ocorreu de forma sistemática, englobando testemunhos de sondagem já analisados dentro do depósito e em alvos exploratórios próximos. Devido à grande quantidade de dados e pequena variabilidade entre os resultados analíticos, os dados foram selecionados de modo a representar as rochas do depósito Morro do Ouro, além das rochas regionais não mineralizadas.

Para investigar as diferenças dos volumes de boudins entre a borda e o centro do depósito foram selecionados 11 testemunhos de sondagem, em uma seção que corta o depósito Morro do Ouro (capítulo 3).

Em cada testemunho estudado foi quantificado o volume de boudins em relação a um metro de filito carbonoso. Devido ao efeito pepita do ouro, comum no depósito, todos os testemunhos de sondagem são integralmente pulverizados para análises químicas. Em virtude desse fato, a quantificação do volume de boudins de quartzo foi realizada utilizando as fotos representativas dos testemunhos de sondagem sendo cada valor representando um metro de amostra, totalizando 1.513 metros de testemunho quantificados.

As amostras para geoquímica foram britadas e pulverizadas, sendo quarteadas no laboratório de preparação de amostras da Rio Paracatu Mineração (RPM). As análises geoquímicas de rocha total utilizadas nesta dissertação foram analisadas em três laboratórios diferentes.

Para o estudo relativo ao capítulo 2 desta dissertação, foram selecionadas 491 amostras distribuídas ao longo de três testemunhos de sondagem. Os testemunhos estão localizados no centro do depósito Morro do ouro e em mais dois locais, a 12 km a norte do depósito, próximo ao antigo garimpo Fazenda Lavras e a 13 km a sul do depósto, em uma zona não mineralizada.

Para o estudo relativo ao capítulo 3 foi selecionado um testemunho de sondagem representativo do depósito Morro do Ouro totalizando 291 amostras. Nos dois capítulos, cada amostra representou um intervalo de um metro de filito carbonoso.

Os dados analíticos que integram o capítulo 2 e os elementos V, Cr e Al para o artigo do capítulo 3 foram obtidos pelo Laboratório SGS (pacote analítico ICP-12B) com digestão por água

régia com uma combinação de três partes de HCl (ácido clorídrico) e uma parte de HNO₃ (ácido nítrico). As propriedades oxidantes tornam este método adequado para dissolução dos óxidos de ferro. A determinação dos teores foi realizada por espectrometria de massa com fonte de plasma (ICP-MS).

As análises constantes do capítulo 3 foram realizadas no Laboratório Acme, no Canadá (pacote analítico 4A + 4B + Leco). As amostras foram fundidas com metaborato de lítio (LiBO₂) e o vidro resultante digerido em ácido nítrico diluído, exceto para metais base onde a extração foi feita por digestão com água régia. Os elementos maiores foram analisados por espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma (ICP-AES), e os menores por espectrometria de massa com fonte de plasma (ICP-MS).

Os resultados de ouro, em ambos capítulos, foram obtidos pelo método Fire Assay no laboratório da Rio Paracatu Mineração. Este método consiste na mistura da amostra com um fundente contendo reagentes entre os quais o PbO e Ag que é então fundida a alta temperatura. O óxido de chumbo é reduzido a chumbo metálico que coleta os metais preciosos. Quando a mistura fundida é vertida na coquilha, o chumbo metálico é separado por gravidade para a parte inferior da coquilha e a escória permanece na parte superior. Após a remoção da escória o Au é separado do chumbo na etapa denominada copelação e o botão de prata obtido dissolvido em solução ácida sendo a quantificação feita por espectrometria de absorção atômica.

O estudo mineralógico foi realizado no Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, a partir das frações de amostras analisadas para geoquímica. Foram selecionadas 9 amostras (coletadas a cada 10 metros) representativas dos filitos mineralizados e não mineralizados para Difractometria de Raios-X (DRX), e 3 amostras para estudos petrográficos. As amostras analisadas por DRX foram compactadas a seco em lâmina. A análise foi realizada em um difratômetro RIGAKU D/MAX – 2/C, operando com tubo de cobre, sob voltagem de 40 kv e 30 mA, velocidade de varredura de 1º/minuto, no intervalo de 2 a 70º-2θ. A interpretação dos difratogramas e identificação dos minerais foram feitas com auxílio do software JADE 3.0 e com o banco de dados ICCD 1996.

Geoquímica dos Filitos carbonosos da Formação Paracatu, Depósito Morro do Ouro, Minas Gerais

Capítulo 2

Geoquímica dos Filitos carbonosos da Formação Paracatu, Depósito Morro do Ouro, Minas Gerais

B.S. Almeida^{1,*}, M.A. Dardenne¹, B.Thomson², J.A. Brod¹, E. M. Guimarães¹

¹ Universidade de Brasília, Campos Universitário Darcy Ribeiro, Instituto de Geociências, Depto. de Geoquímica e Recursos Minerais, 70910-900 Brasília – Brasil

² Kinross Gold Corporation Brazil, Avenida Afonso Pena, 4001, 30130-924, Belo Horizonte – Brasil
email: *brunasaar@yahoo.com.br

2.1 - ABSTRACT The Morro do Ouro gold deposit is hosted by carbonaceous phyllites near the base of the Paracatu Formation (Morro do Ouro Member), which belongs to the Canastra Group within the Brasília Fold Belt. The unmineralised phyllites of the Morro do Ouro Member consist mainly of chlorite, muscovite and quartz, with rare boudins of quartz. These rocks are relatively enriched in Cr, V and Al. In comparison, the mineralized carbonaceous phyllites contain muscovite and quartz but no chlorite, contain higher volumes of carbonate and sulphide-bearing quartz boudins, and are enriched in Au, As, Pb and Zn. In addition the degree of deformation is higher in the mineralized phyllites than in the unmineralized rocks. These differences suggest that fluids and metals were introduced along a preferred horizon and thus that the location of the Morro do Ouro deposit is stratigraphically controlled.

2.2 - RESUMO O depósito Morro do Ouro está hospedado nos filitos carbonosos da base da Formação Paracatu (Membro Morro do Ouro), pertencente ao Grupo Canastra na Faixa Brasília. Os filitos não mineralizados apresentam clorita, e muscovita e quartzo, raros boudins de quartzo e baixa deformação. Estas rochas são relativamente mais enriquecidas em V, Cr e Al. Em comparação, os filitos carbonosos mineralizados apresentam elevado grau de deformação, possuem muscovita e quartzo, são enriquecidas em Au, As, Pb e Zn, contém elevado volume de boudins de quartzo, siderita e sulfetos. Estas diferenças sugerem uma percolação de fluidos e introdução de metais ocorreu ao longo de um horizonte preferencial e que este horizonte reflete um controle litoestratigráfico para o depósito Morro do Ouro.

2.3 - INTRODUÇÃO

O depósito Morro do Ouro está hospedado em filitos carbonosos pertencentes à Formação Paracatu (Membro Morro do Ouro), do Grupo Canastra. A mina de Morro do Ouro localiza-se ao lado da cidade de Paracatu, Estado de Minas Gerais, 240 Km a sudeste da capital federal.

O Morro do Ouro é um depósito de classe mundial, com características particulares. A mineralização é de baixo teor, sendo condicionada pela presença de boudins com sulfetos disseminados associados. Essas rochas foram submetidas a uma deformação extensiva de baixo ângulo e metamorfismo de fácies xisto-verde, zona da clorita, sob condições de baixa razão fluido/rocha (Freitas-Silva, 1996).

O Depósito Morro do Ouro é explorado pela Rio Paracatu Mineração (Grupo Kinross) com os menores teores do mundo (abaixo de 0.4 g/t). Até 2008 a produção de ouro foi de 5 toneladas por ano. Com o projeto expansão para o triênio 2007-2009, a movimentação bruta de minério passará de 18 milhões de toneladas (2007) para 59 milhões de toneladas (2009), correspondendo à produção de 171.000 onças de ouro em 2007 para 571.000 em 2009. Com este projeto, a vida útil da mina passará de 13 para 33 anos (Rio Paracatu Mineração, Grupo Kinross).

Este trabalho tem como objetivo principal caracterizar e comparar as rochas mineralizadas e não mineralizadas da Formação Paracatu e definir guias geoquímicos e mineralógicos exploratórios para a descoberta de novos depósitos com características semelhantes as do Morro do Ouro.

2.4 - CONTEXTO GEOLÓGICO

Os filitos carbonosos aqui estudados estão inseridos no Grupo Canastra, na porção centro-leste da Faixa Brasília, pertencendo à Província Tocantins. Essa Província representa um sistema orogênico situado entre os crátons Amazônico e São Francisco (Almeida et al., 1981) que engloba os cinturões dobrados relacionados ao ciclo de Brasiliano (ca. 600 Ma): Faixas Brasília e Araguaia (Fuck et al., 1993).

A Faixa Brasília, que se situa na parte oriental da província, estende-se por mais de 1000 quilômetros com uma orientação preferencial N-S ao longo da margem ocidental do Cráton São Francisco (Figura 2.1). É definida como um conjunto de terrenos e escamas de empurrão de escala crustal que convergiram para leste contra o Cráton do São Francisco (Marini et al., 1981; Fuck, 1994; Dardene, 2000). Sua compartimentação tectônica é marcada por dois segmentos de orientações distintas e estilos metamórfico-deformacionais contrastantes: O Segmento Setentrional, de orientação NE e o Segmento Meridional de orientação NW. O limite entre estes dois domínios localiza-se na altura do paralelo de Brasília formando a Megaflexura dos Pirineus (Costa & Angeiras, 1971 e Araujo Filho, 1999), marcada por lineamentos de orientação E-W.

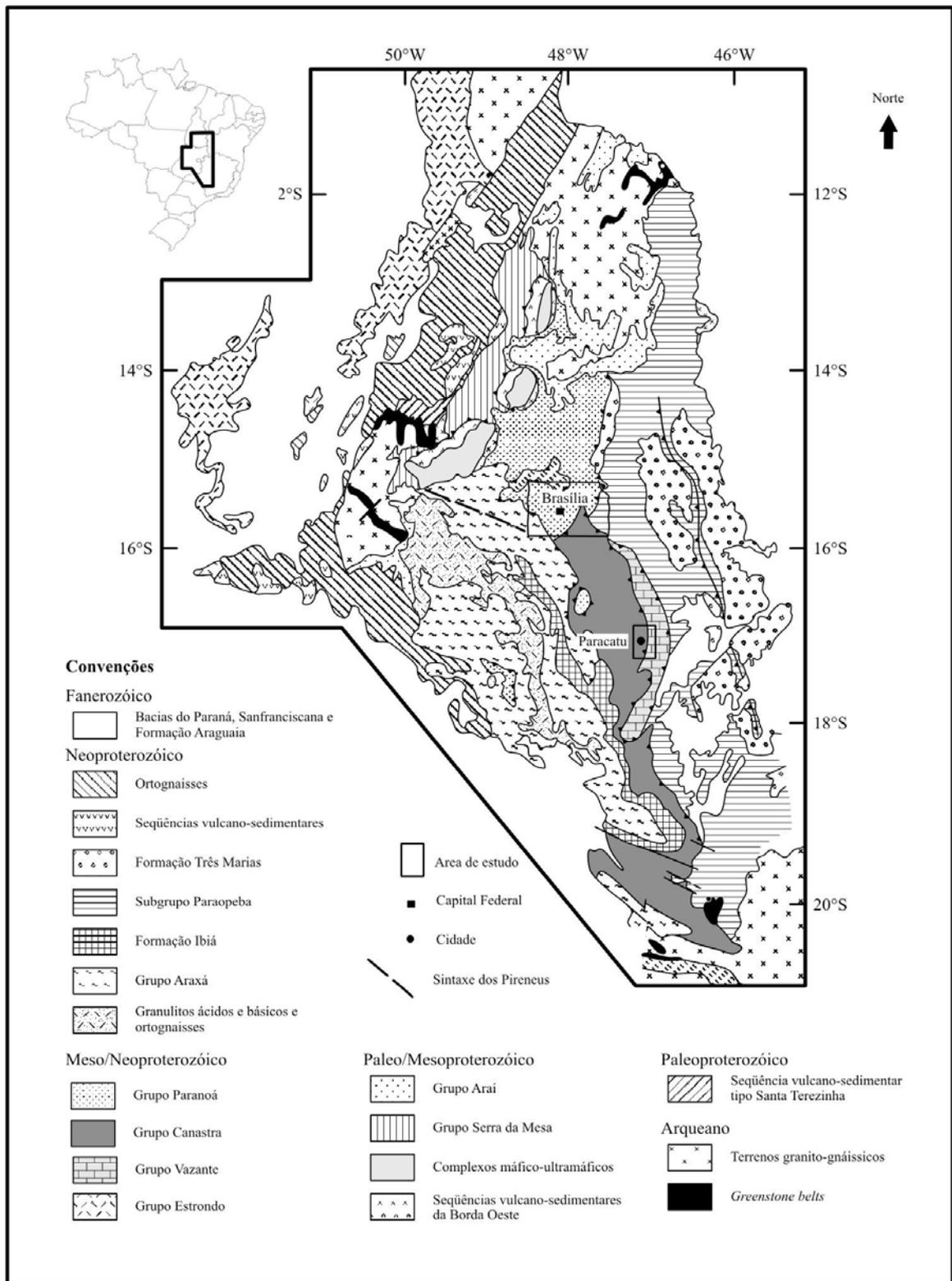


Figura 2.1 - Mapa geológico da Faixa Brasília (modificado de Fuck et al. 1994).

2.5 - GRUPO CANASTRA

O Grupo Canastra, definido por Barbosa (1955) e Barbosa et. al (1970), representa uma associação de rochas metassedimentares detríticas representadas por quartzitos e filitos (em grande parte carbonosos), com fácies carbonatada subordinada. Geralmente a base do Grupo Canastra não é observada, sendo obliterada por empurrões que colocam o grupo em contato com rochas metassedimentares de baixo grau dos grupos Vazante, Paranoá e Bambuí.

Freitas-Silva e Dardenne (1994) dividiram o Grupo Canastra em duas formações (Figura 2.2): Paracatu e Chapada dos Pilões.

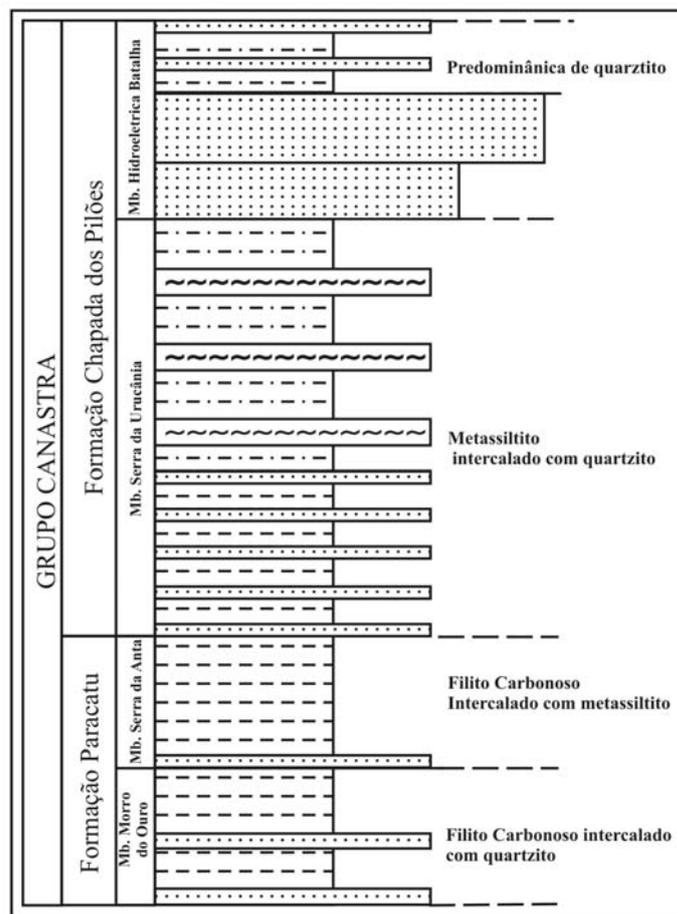


Figura 2.2 - Coluna litoestratigráfica do Grupo Canastra (Modificado de Dardenne, 2000)

A **Formação Paracatu** é formada por filitos carbonosos cinza escuro com algumas intercalações ou lentes de quartzito branco. Essa formação é dividida em dois membros: Morro do Ouro e Serra da Anta

O **Membro inferior Morro do Ouro** caracteriza-se por filitos carbonos, cinza claro a cinza escuro, com intercalações de lentes de quartzitos que variam de milímetros a metros. Estas rochas hospedam as mineralizações do depósito Morro do Ouro (MO) e da antiga mina desativada da Fazenda Lavras.

O **Membro superior Serra da Anta** é formado por filito cinza a cinza claro (clorita-sericita filito) com intercalações de filito carbonoso, metassilito e camadas de quartzito.

A **Formação Chapada dos Pilões** ocorre em uma região homogênea ao oeste de Paracatu, sendo dividida em dois membros: Serra da Urucânia e Hidrelétrica da Batalha.

O Membro inferior **Serra da Urucânia** é representado por ritmitos com regulares intercalações de quartzitos e filitos carbonosos ricos em sericita, clorita e carbonato.

O Membro superior **Hidrelétrica da Batalha** consiste predominantemente de quartzitos sericíticos com intercalações de ritmito (lentes de quartzo e carbonato intercaladas com filito sericíticos).

As formações Paracatu e Chapada dos Pilões mostram sucessão com granocrescência ascendente sugerindo que a bacia teve um regime de regressão de um megaciclo.

A base deste megaciclo consiste de filitos ricos em matéria orgânica e pirita diagenética, sendo interpretada como depositada em águas profundas e redutoras. Estas camadas passam gradualmente para turbiditos depositados no talude.

Próximo ao topo, ocorrem estruturas típicas de fácies de domínios de plataforma dominada por ação de tempestades (hummocky). Esses sedimentos estão associados com uma plataforma rasa dominada por correntes de maré com estratificação cruzada, indicando um transporte de leste para oeste (Dardenne, 2000)

2.6 - MÉTODOS

Para amostragem de rochas representativas da Formação Paracatu, foram selecionados três locais: Mina de Morro do Ouro (MO) e duas outras áreas, localizadas a 10 e 13 Km, respectivamente a norte e a sul (Figura 2.3).

A seleção dos testemunhos de sondagem para amostragem baseou-se na representatividade dos filitos carbonosos da região de Paracatu e da disponibilidade das amostras nas dependências da Rio Paracatu Mineração

Os testemunhos foram descritos e quantificados quanto ao volume de boudins, que representa a porcentagem de volume de boudin de quartzo em relação a um metro de filito carbonoso. Após descrição macroscópica foram selecionadas 10 amostras representativas para estudos mineralógicos (Difratometria de Raio X – DRX) e 3 amostras representativas para estudos petrográficos em lâmina delgada-polida.

Para as análises químicas, foram extraídas amostras correspondentes a intervalos de um metro de testemunho de sondagem, totalizando 491 amostras, nas quais foram analisados 34 elementos pelo método de dissolução com água régia (ICP14B - Laboratório GSG- Geosol).

A dissolução por água régia representa um método fraco para digestão de minerais disponível no mercado. É adequado à dissolução de sulfetos de ferro e de minerais da classe dos óxidos, enquanto a digestão dos silicatos é parcial.

2.7 - RESULTADOS

As discussões desse artigo estão relacionadas com os dos três testemunhos estudados (Morro do Ouro, Norte e Sul). O primeiro testemunho de sondagem estudado, representativo do depósito Morro do Ouro, interceptou 55 metros da zona mineralizada (média de 0.55 g/t) e 36 metros da rocha não mineralizada (média de 0.05 g/t de Au). A zona mineralizada representa uma camada com alto volume de boudins, alta sulfetação e elevado teor de ouro.

No testemunho de sondagem Norte (10 km a norte do depósito MO), a zona mineralizada possui espessura de 28 metros com um teor muito baixo (0.12 g/t de Au) a uma profundidade de 181 metros (não econômico). Os filitos não mineralizados totalizam 130 metros. A zona mineralizada ao norte é caracterizada por baixa concentração de boudins, baixa sulfetação e baixo teor de ouro.

No testemunho de sondagem Sul (13 km a sul do depósito MO) não há indícios de circulação de fluidos. Os boudins quando presentes foram formados a partir de quartzito. Os 88 metros de testemunho de sondagem neste local são representativos de filito não mineralizado.

Para uma melhor visualização dos dados confeccionaram-se três logs de sondagem representativos da distribuição de volume de boudins e dos elementos Au, As, Pb, Zn, Cu, Cr, V e Al. A partir destes gráficos, as rochas foram separadas em dois grupos: filitos não mineralizados, representativos das rochas regionais e filitos mineralizados, representativos do depósito Morro do Ouro.

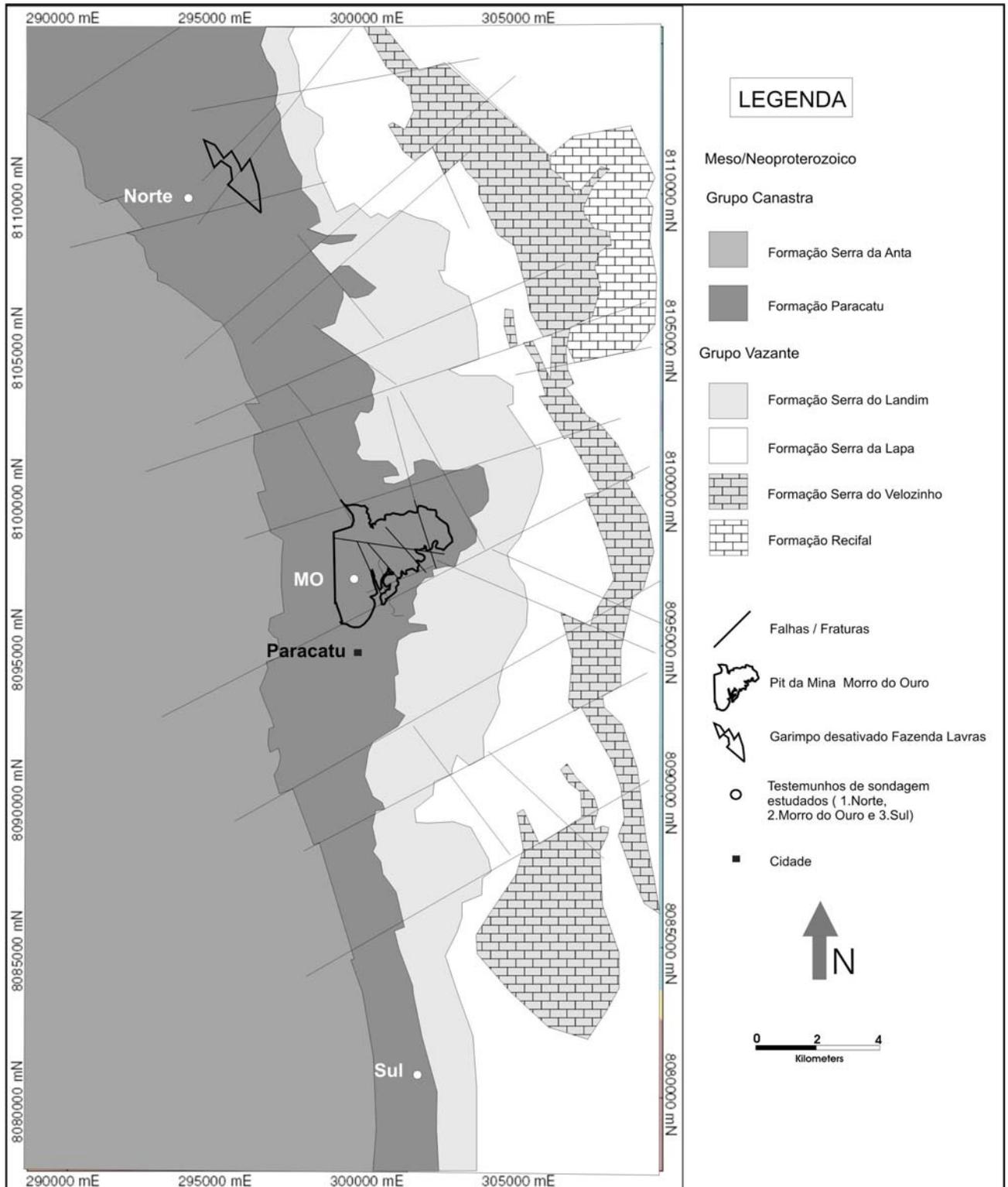


Figura 2.3 - Mapa geológico com a localização do depósito Morro do Ouro e dos testemunhos de sondagem norte e sul (Modificado de Forlin, R. & Andreaza, 1984).

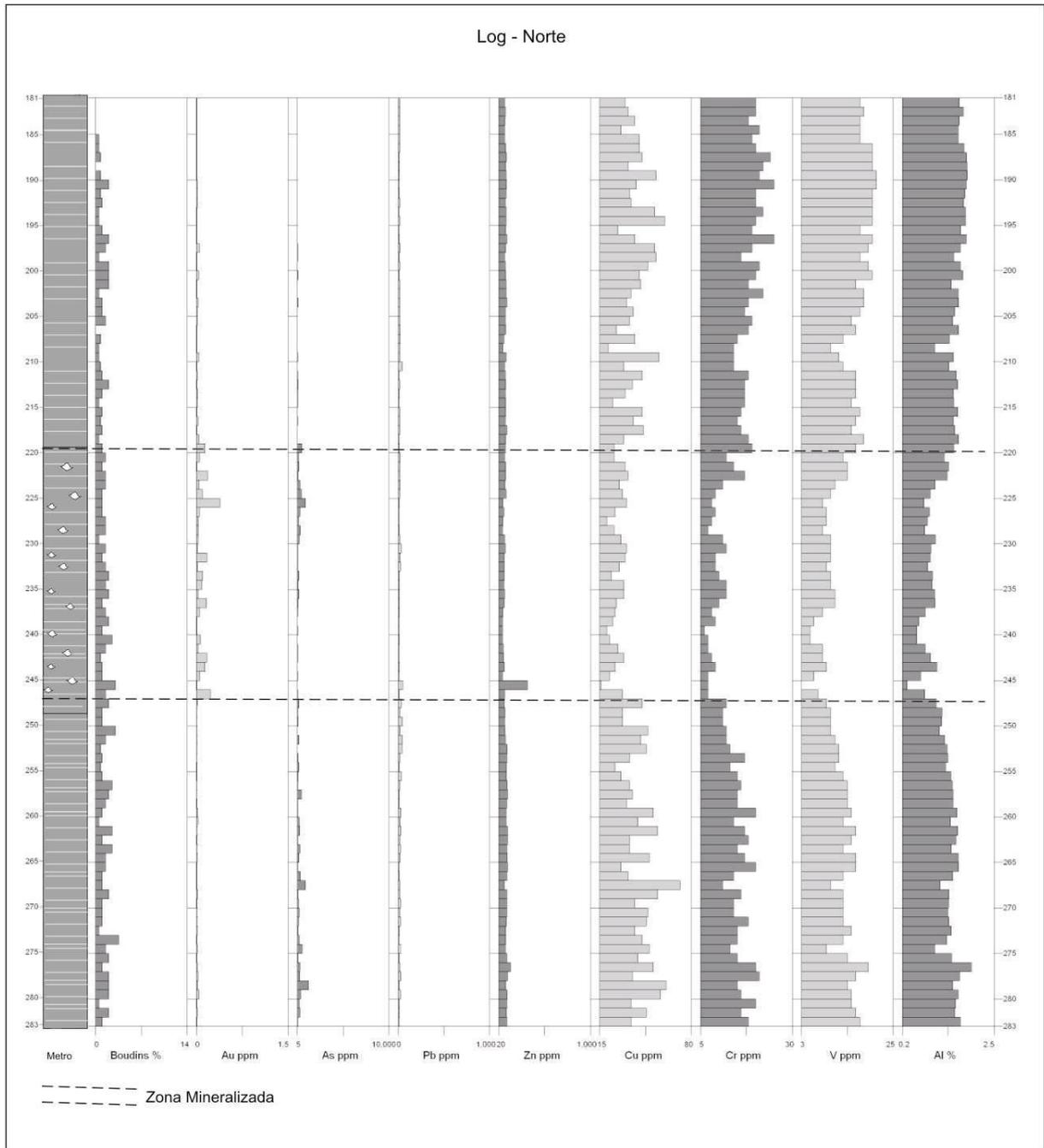


Figura 2.4 - Distribuição do volume de boudins e dos elementos Au, As, Zn, Pb, Cu, V, Cr e Al ao longo do testemunho de sondagem norte.

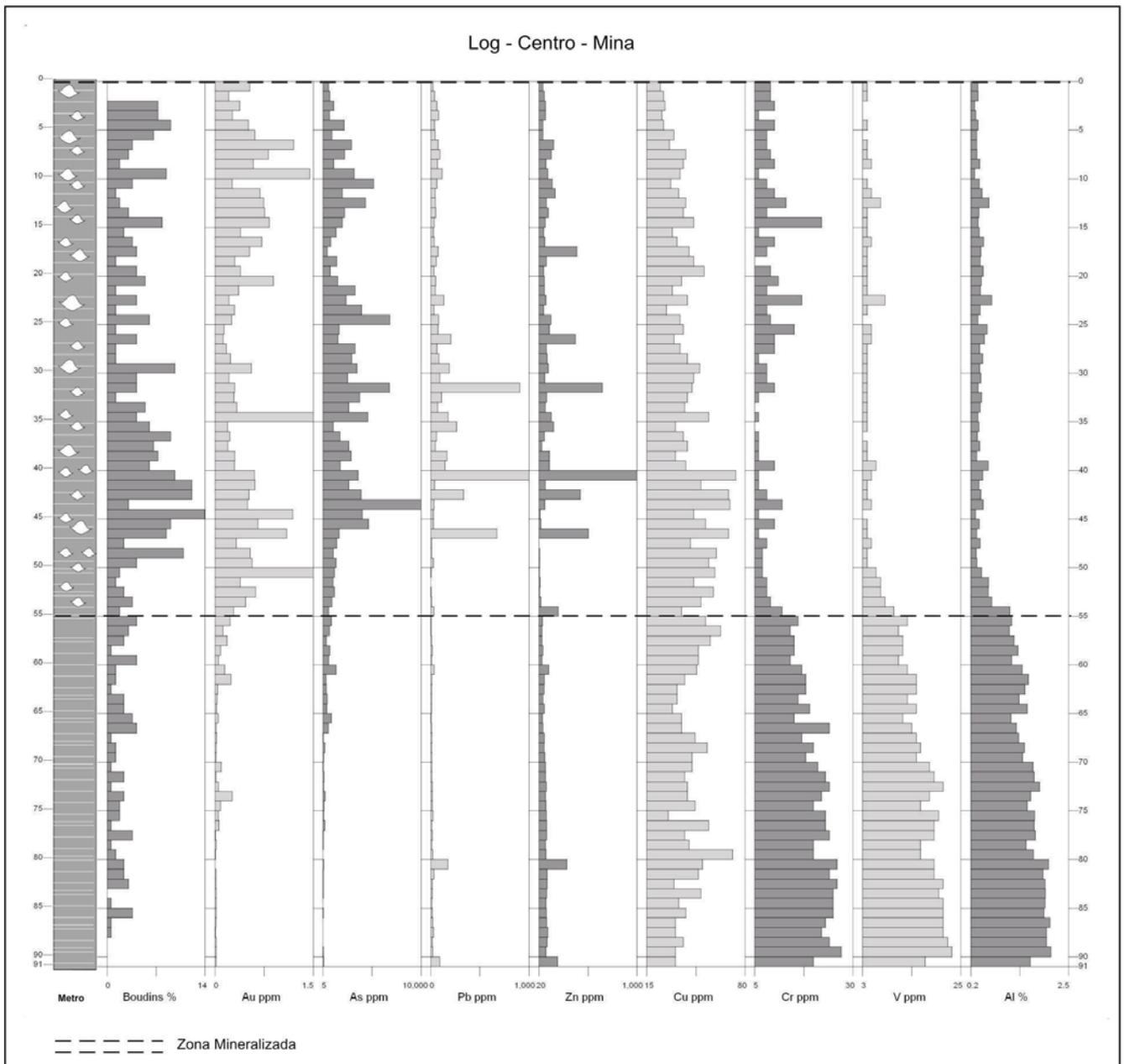


Figura 2.5 - Distribuição do volume de boudins e dos elementos Au, As, Zn, Pb, Cu, V, Cr e Al ao longo do testemunho de sondagem no centro, representativo do Depósito Morro do Ouro.

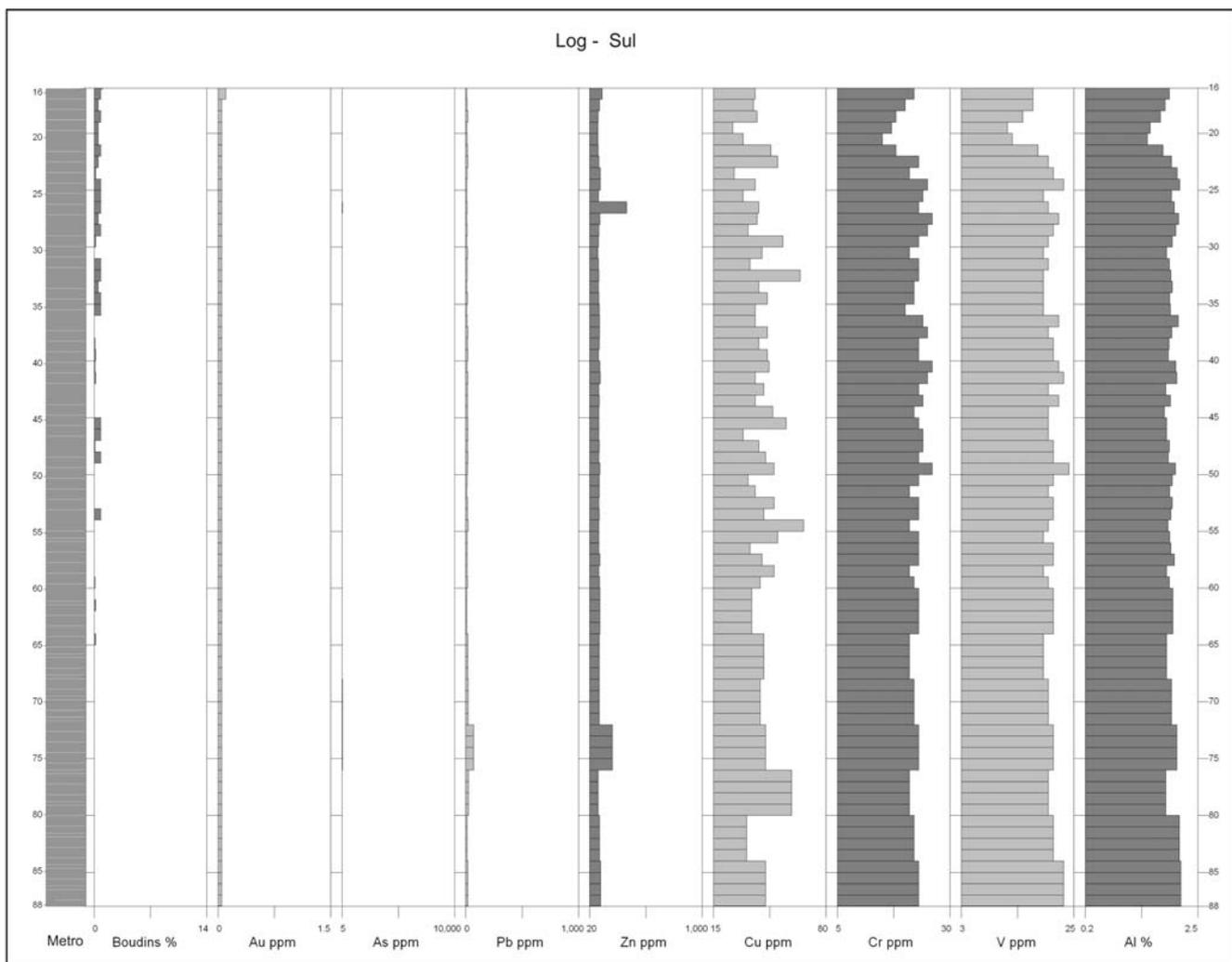


Figura 2.6 - Distribuição do volume de boudins e dos elementos Au, As, Zn, Pb, Cu, V, Cr e Al, no testemunho de sondagem sul, local representativo dos filitos carbonosos não mineralizados.

Filitos não Mineralizados (Regionais)

As características visuais que diferenciam os filitos não mineralizados dos mineralizados são o baixo volume de boudins de quartzo hidrotermal associado com sulfetos e os indícios de baixa intensidade de deformação.

Nos três locais estudados os testemunhos de sondagem interceptaram camadas de filito carbonoso não mineralizado. Ao sul, a espessura dos filitos não mineralizados é maior, com o testemunho de sondagem integralmente representado por rochas não mineralizadas.

Ao norte, o pacote de rochas mineralizadas está limitado acima e abaixo por filitos não mineralizados que representam a rocha encaixante da mineralização. No centro do depósito, o testemunho de sondagem estudado não intercepta a camada estéril de topo, já que a mineralização aflora desde o primeiro metro. Neste furo, as rochas não mineralizadas da base ocorrem a partir dos 55 metros e possuem características mineralógicas e geoquímicas semelhantes aos filitos não mineralizados dos locais norte e sul.

O filito carbonoso regional é cinza claro a cinza escuro, possui granulometria fina, foliação horizontal e bandamento marcado por lâminas ricas em clorita e muscovita intercaladas com bandas quartzo-carbonáticas. A espessura das lâminas varia de milimétrica a centimétrica e não é constante (Figuras 2.7). Os sulfetos são raros e, quando presentes (pirita e pirrotita), formam lâminas finas paralelas ao acamamento da rocha.

Próximo às zonas mineralizadas ocorre um aumento gradativo de deformação com rompimento de lentes de quartzito, formação de dobras intrafoliais (Figura 2.7) e, localmente, dobras em bainha. *Kink bands* ocorrem como estruturas mais recentes. Nesses locais não há indício de percolação de fluidos hidrotermais.

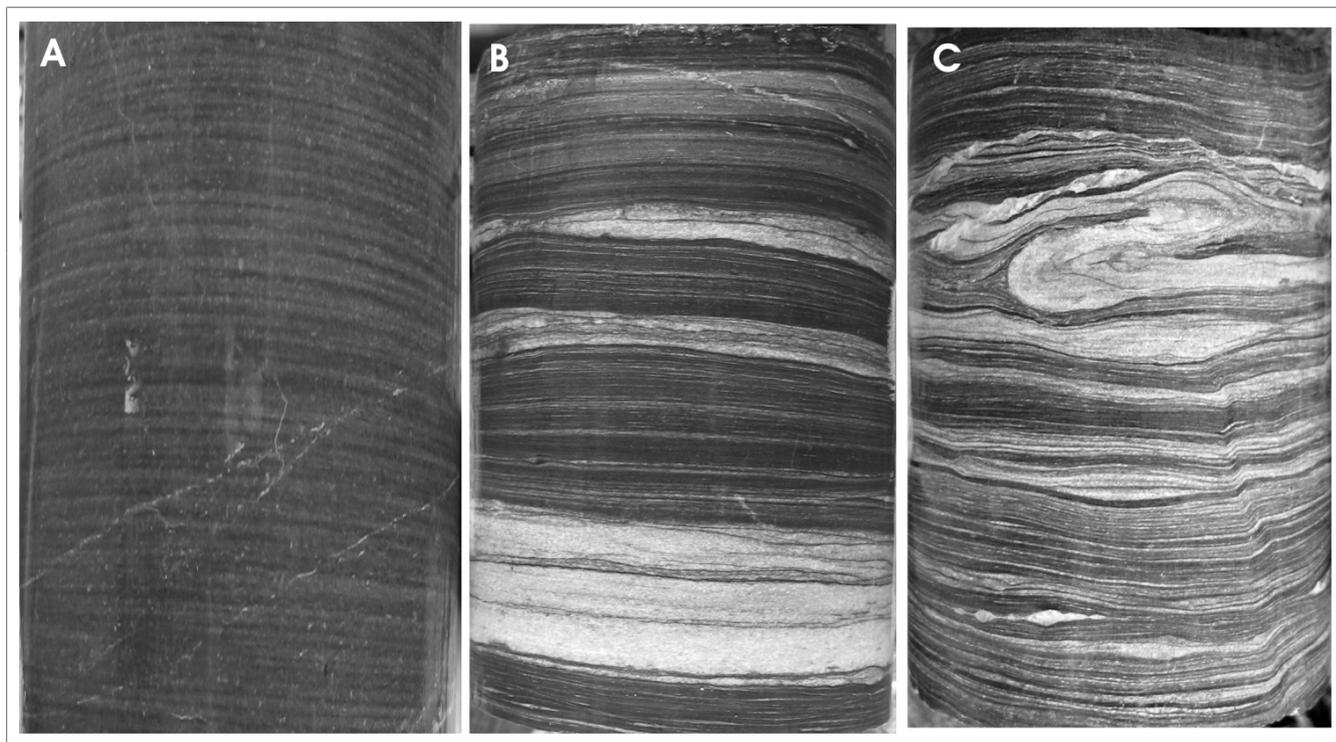


Figura 2.7 - Aspectos macroscópicos dos filitos não mineralizados. A) Filito carbonoso com fino bandamento sedimentar. B) variação na proporção de lentes quartzo/carbonáticas e lentes filossilicáticas. C) Ocorrência de dobras intrafoliais.

O filito carbonoso regional contém 40% de quartzo, 30% de sericita, 15% de clorita (contendo Cr), 5% de carbonato, 5% de material carbonoso e 5% de minerais acessórios como ilmenita, apatita, turmalina, pirita e pirrotita.

Os filossilicatos ocorrem como palhetas orientadas, localmente deformadas em *kink-bands*. O carbono amorfo e os minerais acessórios ocorrem disseminados nas bandas micáceas. Os cristais de quartzo formam agregados de grãos poligonais muito finos, distribuídos em bandas paralelas que variam de décimos de milímetros a centímetros. Localmente, os grãos de quartzo estão rotacionados e com extinção ondulante.

Os dados de geoquímica indicam que os filitos não mineralizados se distinguem pelos valores mais altos de V, Al e Cr em relação aos filitos mineralizados (Figuras 2.4, 2.5, 2.6 e 2.8). Os dados de difratometria de raio-X indicam que a clorita apresenta teores anômalos de Cr, explicando o contraste de valores deste elemento em relação aos filitos carbonosos mineralizados, que não apresentam clorita. Os valores de Cu foram constantes nos testemunhos de sondagem dos três locais estudados.

As rochas ao sul apresentam um maior enriquecimento de Al, V e Cr feição também observada, porém com menor intensidade, nas rochas ao norte. No centro, o aumento desses elementos é observado apenas a partir dos 55 metros de profundidade, na zona em que não há evidências de percolação de fluidos, mostrando correlação negativa com o volume de boudins (Figura 2.8).

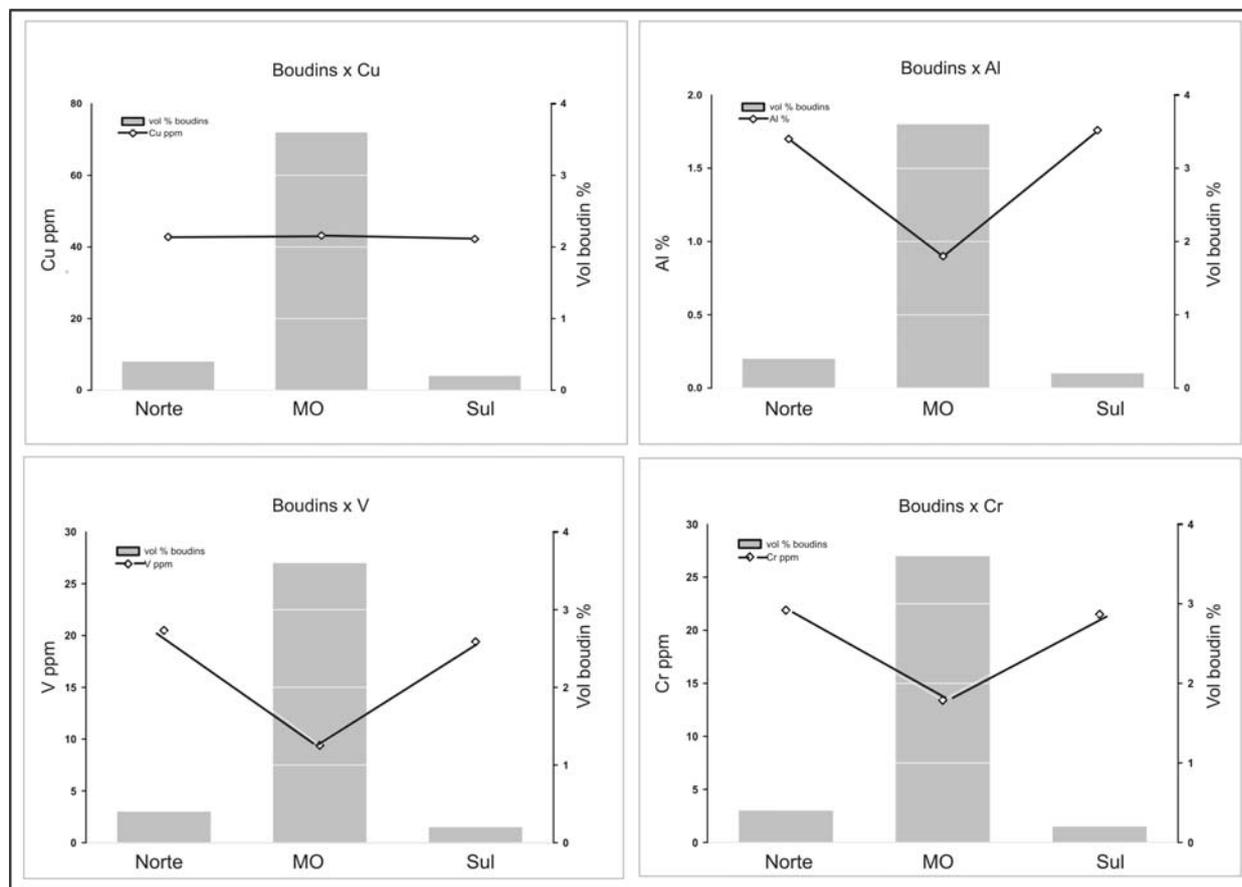


Figura 2.8 - Distribuição dos valores médios do volume de boudins e de Cu, Al, V e Cr nos três locais estudados, representando a relação do volume de boudins com a concentração destes elementos nos filitos mineralizados e não mineralizados.

Filitos Mineralizados

Segundo Freitas-Silva (1996) a mineralização do Morro do Ouro obedece a três controles principais:

Controle litológico: a mineralização de grande porte está condicionada ao “protominério”, representado pelo Membro Morro do Ouro da Formação Paracatu.

Controle estrutural: os filitos mineralizados estão alojados em zonas transtensivas sub-horizontais, representadas por patamares de duplex.

Controle Metamorfogênico: as rochas foram submetidas a metamorfismo de fácies xisto verde e percoladas por fluidos metamórficos gerados na própria pilha dos filitos carbonosos. A baixa razão fluido/rocha ($F/R=0,25$) restringe as mineralizações a depósitos com baixos teores e grandes volumes.

A mineralização é controlada por uma estrutura principal que mergulha 15° para SW. O corpo mineralizado apresenta formato de um megaboudin com um maior volume de boudins no centro do que na borda do depósito. Na direção SW do depósito o mergulho da mineralização aumenta progressivamente. Sem indícios de falha, essa diferença de mergulho pode estar relacionada com a inflexão do mega boudin.

Os filitos mineralizados foram interceptados nos testemunhos de sondagem da mina de Morro do Ouro e ao norte. Nas rochas representativas do depósito Morro do Ouro, a zona mais enriquecida em ouro tem espessura mínima estimada em 55 metros, mostra evidências de intensa percolação de fluidos e contém concentração de sulfetos. Nas rochas ao norte, a camada mineralizada está a uma profundidade de 219 metros, alojada entre duas camadas de filito carbonoso estéril. Há poucos indícios de percolação de fluidos, baixa sulfetação e baixo teor de ouro em comparação com as rochas no centro. É possível que a mineralização observada no local de amostragem norte represente a borda do depósito Fazenda Lavras, localizado 2 km a leste do ponto de amostragem.

Na zona mineralizada, o filito carbonoso é cinza claro a cinza escuro, possui granulometria fina, foliação paralela ao acamamento marcado por lâminas ricas em muscovita intercaladas com lâminas quartzo-carbonáticas. Dobras intrafoliais e dobras em bainha ocorrem em zonas com mais deformação, onde a percolação de fluidos foi mais intensa. Secundariamente, ocorre a formação de *kink bands*. Os filitos carbonosos mineralizados contêm 35% de quartzo e 45 % de muscovita, 10% de carbonato, 5% de material carbonoso e 5% de minerais acessórios como ilmenita, turmalina, apatita e sulfetos que variam ao longo do depósito.

Muscovita ocorre em palhetas finas orientadas formando bandas paralelas associadas com o material carbonoso, localmente formam *kink bands* e dobras intrafoliais.

O quartzo ocorre em arranjo granoblástico de cristais poligonais muito finos, com extinção ondulante e rotação de grãos. Carbonato ocorre preenchendo espaços entre os grãos de quartzo e em sombras de pressão.

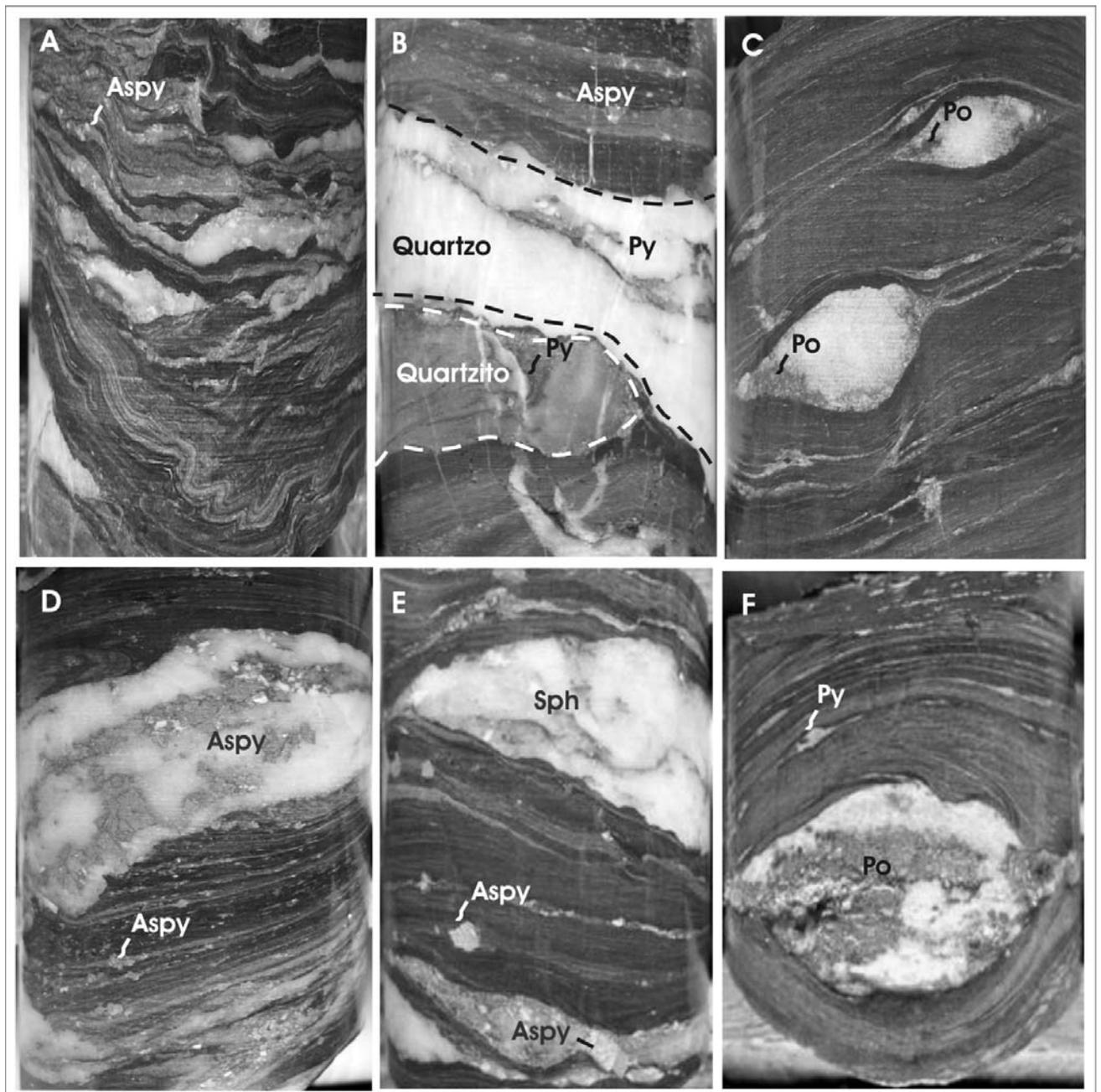


Figura 2.9 - Aspectos macroscópicos dos filitos carbonosos mineralizados. A) Grãos de arsenopirita associadas com lentes deformadas de quartzito e vênulas de quartzo. B) Diferenças visuais entre boudins de quartzo hidrotermal (pirita disseminada no centro) e boudins de quartzitos (pirita disseminada na borda, contemporânea à boudinagem). C) Pirrotita associada a sombras de pressão em boudins de quartzo hidrotermal. D) Arsenopirita com textura grossa distribuída ao longo de um boudin de quartzo hidrotermal e arsenopirita disseminada em lente de quartzito. E) Ocorrência de esfalerita no centro e borda de boudin hidrotermal. Grãos de arsenopirita grossa disseminados na rocha. F) Pirita em níveis paralelos ao acamamento da rocha, com indícios de boudinagem. Pirrotita associada a boudin de quartzo hidrotermal.

Pirita e pirrotita ocorrem em grãos finos e disseminados na rocha em níveis milimétricos paralelos à foliação. Arsenopirita, calcopirita, galena e esfalerita ocorrem em menor quantidade, em grãos bem formados associados às lentes deformadas de quartzito. Os boudins de quartzo têm tamanho milimétrico a métrico, formato sigmoidal e são constituídos em média por 90% de quartzo e 10% de sulfetos, mica branca, siderita e matéria orgânica em quantidades variáveis. A ocorrência do ouro está relacionada com sulfetos distribuídos na borda, centro e sombras de pressão dos boudins de quartzo e disseminados em segregações de quartzo e carbonato (Figura 2.9). Os sulfetos característicos são a arsenopirita, pirita, galena, esfalerita, pirrotita e calcopirita.

Segundo Daitx & Zanardo (2000) as partículas de ouro encontram-se intimamente associadas à arsenopirita e pirita, preenchendo fraturas, em aglomerado de cristais ou inclusas em cristais individuais. O tamanho dos grãos varia de 25 a 150 Microns e o seu formato varia de sub-arredondado até totalmente irregular.

Freitas-Silva (1996) sugere que as paragêneses minerais indicam condições metamórficas da Fácies Xisto Verde, na zona da clorita, em torno de 2000 a 3000 bares entre 350° e 380° (inclusões fluidas). As pequenas diferenças de paragêneses observadas entre os filitos não mineralizados e mineralizados refletem a maior pressão de fluido (especialmente a pressão parcial do CO₂) na zona mineralizada.

Dados de isótopos radiogênicos (Rb/Sr, K/Ar clorita e Pb/Pb-galena) definiram uma idade em torno de 680 Ma para a mineralização e para o metamorfismo, e uma idade em torno de 1000 a 1300 Ma para os filitos carbonosos encaixantes (Freitas-Silva, 1996 e Freitas-Silva & Dardenne, 1997).

A distribuição das amostras de geoquímica ao longo dos filitos mineralizados, indicou que a camada mais enriquecida em ouro corresponde à zona com maior volume de boudins além das maiores concentrações de As, Pb e Zn (Figura 2.10). Nestes mesmos locais, os valores de Cr, V, e Al são contrastantes (menores) com os filitos carbonosos mineralizados.

Na figura 10 é possível observar a distribuição média dos boudins associada aos valores médios das concentrações de Au, As, Pb, nos três locais estudados.

No centro, esses elementos indicam que a formação de arsenopirita, pirita, galena e esfalerita ocorre associada com a mineralização. Os valores mais elevados de volume de boudins e ouro são correspondentes aos valores mais altos de As, Pb e Zn.

No norte do depósito, a correlação com esses elementos é baixa, o volume de boudins é pequeno em relação ao centro, o ouro ocorre associado a arsenopirita e pirita, com raros cristais de esfalerita e galena na zona mineralizada.

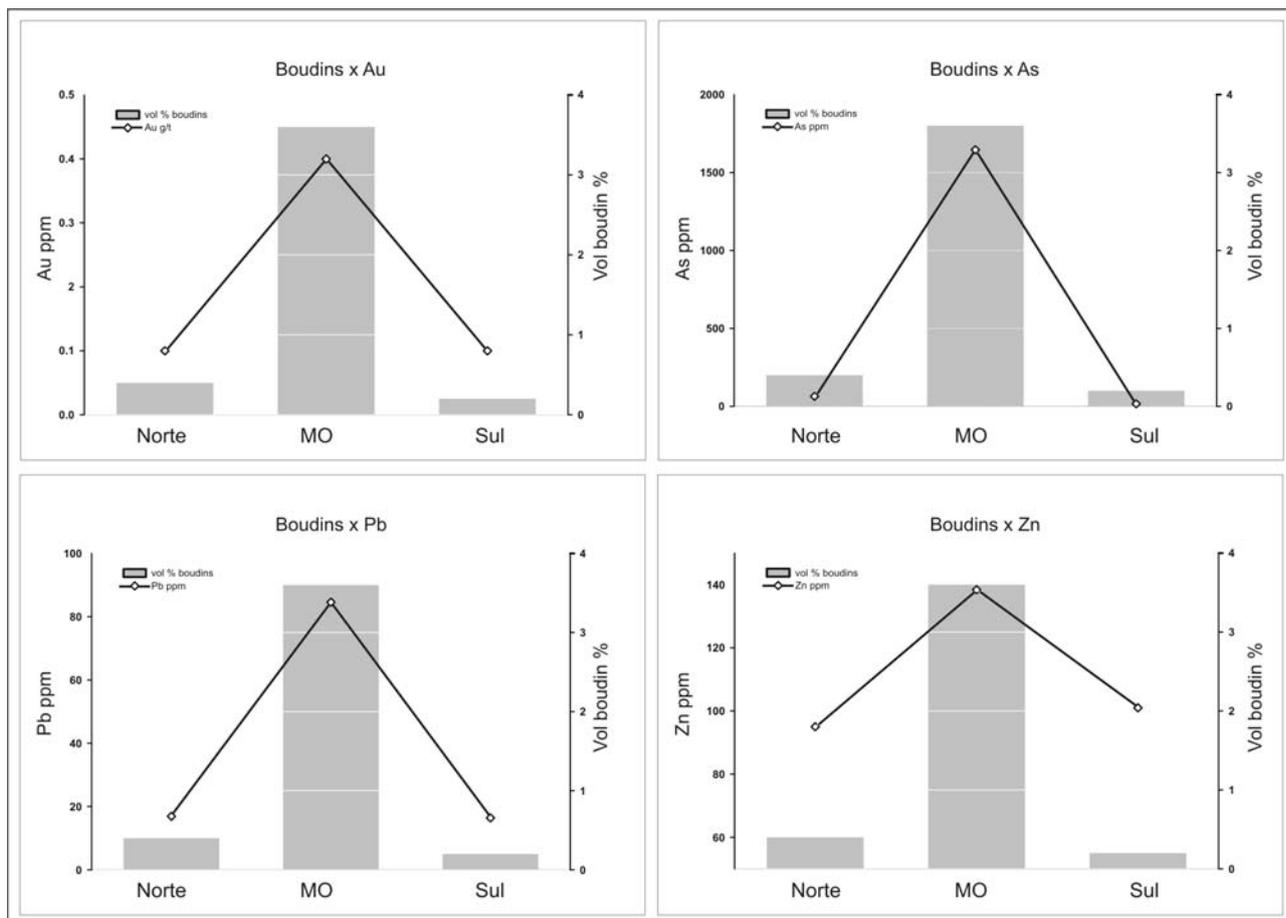


Figura 2.10 - Média de volume de boudins (%) comparada com valores médios em ppm de Au, As, Pb e Zn das amostras correspondentes ao Morro do Ouro, norte e sul

2.8 - DISCUSSÕES

O estudo dos filitos carbonosos mineralizados e não mineralizados permite definir diferenças tectônicas, mineralógicas e geoquímicas entre estas rochas. Estas diferenças estão relacionadas com o alto volume de boudins de quartzo, com a predominância de muscovita e ausência de clorita na zona mineralizada, e com valores elevados de V, Cr e Al na zona não mineralizada. Basicamente existem pelo menos três possibilidades para explicar estas diferenças.

A primeira é que a predominância de muscovita e ausência de clorita na zona mineralizada representa uma zonação relacionada com a alteração hidrotermal potássica na zona de maior percolação de fluidos e uma alteração clorítica na zona distal. Os valores de V, Cr e Al elevados na zona não mineralizada estariam relacionados com a presença de clorita, já que os dados de DRX indicam que a clorita possui concentração

anômala de Cr. Freitas-Silva (1996) sugere que a razão fluido/rocha no depósito Morro do Ouro é baixa ($F/R=0,25$). Assumindo esses valores seria difícil alterar camadas espessas de uma rocha com baixa porosidade e formar grandes halos de alteração hidrotermal. Outro fato está relacionado com o comportamento imóvel destes elementos (V, Cr e Al), sendo difícil explicar essas zonações através da alteração hidrotermal.

A segunda possibilidade é que as rochas originais apresentavam uma composição homogênea (valores constantes de V, Cr e Al) e que com a entrada dos fluidos mineralizantes ocorreu uma diluição destes valores. Assumindo este ponto, seria necessário um volume de 75% de boudins para diluir os valores de Cromo de 20ppm para 5ppm, entretanto o valor médio de volume de boudins na zona mineralizada representa menos que 4%, o que torna a hipótese improvável.

A melhor possibilidade que explica as rochas do depósito Morro do Ouro é que a composição mineralógica e geoquímica reflete as variações primárias do filito carbonoso. Em outras palavras, a mineralização está hospedada preferencialmente em uma seqüência de composição ligeiramente diferente. Os fluidos mineralizantes percolaram em uma rocha com maior afinidade, seja ela reológica ou composicional (com mais matéria orgânica), explicando assim estas diferenças bruscas de composição dos filitos carbonosos entre a zona mineralizada e não mineralizada.

Estas questões devem ser aprofundadas com estudos de proveniência das rochas mineralizadas e não mineralizadas para entender estas rochas visualmente homogêneas, mas com variações geoquímicas que estão relacionadas com controle da mineralização.

Em relação à mineralização, a associação do ouro com os outros elementos sugere que os fluidos hidrotermais que introduziram o ouro no sistema trouxeram junto o As, Pb e Zn em fases heterogêneas e que os locais com volume de boudins acentuado representa a zona com maior circulação de fluidos.

Os fluidos hidrotermais que circularam no norte do depósito tiveram variações em relação às associações geoquímicas encontrada no centro. O baixo teor de ouro, o baixo volume de boudins e a baixa correlação do ouro com As, Pb e Zn, sugere que a razão fluido/rocha foi menor em comparação com os filitos mineralizados do depósito Morro do Ouro.

Apesar da presença de calcopirita na zona mineralizada, os valores de Cu mostram uma distribuição homogênea para rochas mineralizadas e não mineralizadas, estando o sulfeto de cobre também associado com os filitos não mineralizados.

2.9 - CONCLUSÕES

A comparação das rochas constituintes do Membro Morro do Ouro permitiu caracterizar os filitos carbonosos mineralizados e não mineralizados. Cada um deles possui características mineralógicas e geoquímicas específicas.

Os filitos carbonosos não mineralizados são menos deformados, apresentam clorita, quartzo e muscovita, baixo volume de boudins e baixa sulfetação, além dos valores mais elevados de V, Cr, Al ao longo da unidade.

Os níveis mineralizados podem ser definidos pelo volume acentuado de boudins e maior deformação, pela presença de muscovita e quartzo, pela ausência de clorita e pelo enriquecimento de Au, As, Zn e Pb.

Os dados de difratometria de raio X indicam que a clorita apresenta V e Cr explicando assim o aumento destes elementos em relação as rochas mineralizadas, que não apresentam clorita.

Na zona mineralizada os boudins de quartzo representam mais que 0.6 % de volume da rocha. O conteúdo em Alumínio é menor que 1%, Cromo e Vanádio tem respectivamente menos que 10 ppm e entre 3 a 5 ppm, enquanto o teor de Arsênio apresenta valores acima de 200 ppm. Fora desse intervalo a rocha pode ser classificada como não mineralizada.

Os dados obtidos no presente trabalho contribuem para o conhecimento das diferenças entre as rochas mineralizadas e não mineralizadas do Membro Morro do Ouro. As características geoquímicas e mineralógicas do depósito e das rochas regionais representam uma boa ferramenta de exploração e podem ser usados como guia prospectivo para a descoberta de novos depósitos com características semelhantes às do Morro do Ouro.

2.10 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Kinross Gold Corporation pelo suporte financeiro para obtenção dos dados analíticos, despesas de campo e suporte técnico; ao CNPq pela concessão de uma bolsa de mestrado e de produtividade em pesquisa; aos funcionários e professores do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília; e aos funcionários da Rio Paracatu Mineração e Grupo Kinross.

2.11 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F.F.M de, Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. Earth Sciences. Review, 1: 1-29

Almeida, F.F.M., 1977, O Cráton do São Francisco. Revista Brasileira de Geociências, 7, 349-364.

Araujo Filho, J.O. 1999. Structural characteristics and tectonic evolution of the Pirineus sintaxis, Central Brazil. Tese de doutorado, Universidade de Illinois, 418 p. (não publicado).

- Barbosa, O., Braun, O.G., Dyer, R.C. and Cunha, C.A.B.R., 1970, Geologia do Triângulo Mineiro. (Projeto Chaminés). DNPM/DFPM, Rio de Janeiro, Bol. 136, 140 p.
- Barbosa, O., 1955, Guia das excursões. 9º cong. Bras. Geol., São Paulo, Noticiário, 3,3-5.
- Costa, L.A.M & Angeiras, A.G. 1971. Geosynclinal evolution of the epi-Baykalian platform of Central Brazil. Geol.Runds. 60 (3): 1024-1050.
- Daitx, E.C & Zarnado A. 2000. Estudo Petrográfico e Minerográfico de Rochas da Mina Morro do Ouro (Paracatu, MG). 2vol. Programa Parceria RPM/Fundusnep.
- Dardenne, M.A. 2000. The Brasília Fold Belt. In Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (Edts.), Tectonic Evolution of South America, 31 Int. Geol. Congress, Rio de Janeiro, Brazil 2000, p.231-264.
- Freitas-Silva, F.H., 1996, Metalogêse do depósito do Morro do Ouro, Paracatu, MG. Tese de doutorado, IG/UnB, Brasília, 339 p. (não publicado).
- Freitas-Silva, F.H. and Dardenne, M.A., 1997, Pb/Pb Isotopic patterns of galenas from Morro do Ouro (Paracatu Formation), Morro Agudo/Vazante (Vazante Formation) and Bambuí Group Deposits. South-American Symp. On Isotope Geol., Campos do Jordão, SP, Ext. Abst., 118-120.
- Freitas-Silva, F.H. and Dardenne, M.A., 1994, Proposta de subdivisão estratigráfica formal para o Grupo Canastra no oeste de Minas Gerais e leste de Goiás. An. 4º Simp. Geol. Centro-Oeste, Goiânia, SBG, 161-163.
- Forlin, R. & Andreaza, 1984, Projeto Morro do Ouro, 1984; RTZ Mineração LTDA. Relatório Interno.
- Fuck, R.A.; Pimentel, M.M.; Silva, L.J.H. 1994. Compartimentação tectônica na porção oriental da Província do Tocantins. In: Congr. Bras. Geol., 38, Camboriú, 1994. Anais, Camboriú, SBG, p. 215-216.
- Marini, O.J. et al. 1981. A geotectônica da Faixa Brasília e do embasamento. In: simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas faixas marginais, Salvador, Soc. Bras. Geol. pgs.100-115.

**Geologia e Geoquímica do Depósito
Morro do Ouro, Paracatu, Brasil
Central**

Capítulo 3

Geologia e Geoquímica do Depósito Morro do Ouro, Paracatu, Brasil Central

B.S. Almeida,^{1*} M.A. Dardenne¹, B.Thomson², J.A. Brod¹, E. M. Guimarães¹

¹ Universidade de Brasília, Campos Universitário Darcy Ribeiro, Instituto de Geociências, Depto. de Geoquímica e Recursos Minerais, 70910-900 Brasília – Brasil

² Kinross Gold Corporation Brazil, Avenida Afonso Pena, 4001, 30130-924, Belo Horizonte – Brasil
email: *brunasaar@yahoo.com.br

3.1 - RESUMO

O depósito Morro do Ouro (680 Ma) está hospedado nos filitos carbonosos (1000 a 1300 Ma) da base da Formação Paracatu (Membro Morro do Ouro), Grupo Canastra. A mina Morro do Ouro é explorada com os menores teores do mundo (<0, 4 g/t), com uma produção de 15 toneladas por ano de Au e uma reserva de 18 milhões de onças. O depósito possui envoltória com o formato de um megaboudin, e é caracterizado por ocorrência de boudins ao longo de uma zona de cisalhamento de baixo ângulo. Os boudins variam de milimétricos a métricos e estão distribuídos ao longo da estrutura principal com maior concentração e volume no centro (5%) em relação as bordas do depósito (2%). Os boudins ocorrem isolados, em rosários e em veios contínuos hospedados em camadas de quartzito. A mineralização aurífera é disseminada e está associada a sulfetos em boudins. Existem diferentes tipos de boudins, com proporções variadas de quartzo ± siderita ± sulfetos. Os sulfetos característicos são arsenopirita, pirita, galena, esfalerita e calcopirita. As rochas mineralizadas caracterizam-se por maior concentração de boudins (em volume), sulfetos, Au, Ag, Pb, Zn, C e S, presença de quartzo e muscovita. As rochas não mineralizadas são menos deformadas e compostas por quartzo, clorita e muscovita, possuem pequeno volume de boudins e valores anômalos de SiO₂, V, Cr, Al, e Zr. A distribuição dos boudins e dos elementos químicos sugere que o depósito Morro do Ouro possui um controle litoestratigráfico com uma maior circulação de fluidos em uma camada preferencial de diferente composição com origem sedimentar. Posteriormente, os agentes de intemperismo modificaram a assinatura original do depósito formando as zonas oxidada e laterítica.

3.2 – INTRODUÇÃO

O depósito Morro do Ouro está localizado na região noroeste do Estado de Minas Gerais, próximo da cidade de Paracatu, a cerca de 230 quilômetros a sudoeste da capital nacional, Brasília.

O depósito é explorado pelo Grupo Kinross com um dos menores teores do mundo, menos que 0.4 g/t de Au, com uma reserva estimada em 18 milhões de onças e uma vida útil de 33 anos, o que torna este depósito o principal produtor de ouro no Brasil (15 toneladas de ouro por ano).

Este artigo apresenta um resumo dos principais trabalhos realizados sobre o depósito de Morro do Ouro, descreve a geologia e a geoquímica das rochas mineralizadas e não mineralizadas incluindo informações sobre distribuição, tipos de boudins e controle litoestratigráfico do depósito.

3.3 – MÉTODOS

Para os dados mineralógicos foram selecionadas 9 amostras (coletadas a cada 10 metros) representativas dos filitos mineralizados e não mineralizados, analisadas por Difratomia de Raio X (DRX) e 3 amostras para petrografia.

Para DRX, as amostras de rocha total foram trituradas e compactadas a seco em lâmina vazada e analisadas no equipamento RIGAKU D/MAX – 2/C (Universidade de Brasília), operando com tubo de cobre, sob voltagem de 40 kv e 30 mA, velocidade de varredura de 1°/minuto, no intervalo de 2 a 70° 2 θ . A identificação e interpretação dos difratogramas foram feitas com auxílio do *software* JADE 3.0, com banco de dados ICDD 1999.

Para o estudo geoquímico foram utilizadas 91 amostras de rocha coletadas a cada metro de um testemunho de sondagem representativo do depósito, que intercepta rochas mineralizadas (55 metros) e não mineralizadas (36 metros) do Membro Morro do Ouro. Nessas mesmas amostras foi estimado o volume de boudins em relação a um metro de filito carbonoso utilizando fotos dos testemunhos de sondagem.

As amostras destinadas à análise geoquímica de rocha total foram pulverizadas e quarteadas no laboratório da Rio Paracatu Mineração. As análises foram realizadas em três laboratórios diferentes: SiO₂, Zr, Pb, Zn, Ag, Cu, S e C foram determinados no Laboratório Acme, Canadá, em amostras fundidas com metaborato de lítio (LiBO₂), exceto para metais base

onde a extração foi feita por digestão com água régia. Os elementos maiores foram quantificados por ICP-AES, e os menores por ICP-MS. S e C foram determinados em fornos LECO.

Os elementos V, Cr e Al foram analisados pelo Laboratório SGS (ICP-12B) com digestão por água régia com uma combinação de três partes de HCl (ácido clorídrico) e uma parte de HNO₃ (ácido nítrico) e quantificados por ICP-MS.

O Au foi analisado no laboratório da Rio Paracatu Mineração pelo método de fire assay com a quantificação do Au por espectrometria de absorção atômica.

Para o entendimento da distribuição dos boudins de quartzo e verificação das diferenças entre a borda e o centro do depósito foi confeccionada uma seção NW-SE com um total de 11 testemunhos de sondagem, representando 1159 amostras onde foi determinado o volume de boudins em relação a um metro de filito carbonoso (Figura 3.4). Em cada testemunho foi calculada a média dos valores de volume de boudins e da concentração de ouro na zona mineralizada. A localização desta seção é apresentada na figura 3.2.

3.4 – GEOLOGIA REGIONAL

O depósito Morro do Ouro está hospedado nas rochas do Grupo Canastra, porção centro-leste da Faixa Brasília, Província Tocantins (Almeida et al., 1981). A Faixa Brasília que representa um cinturão dobrado relacionado com o Ciclo Brasileiro (600 Ma) e estende-se por mais de 1000 quilômetros ao longo da margem ocidental do Cráton São Francisco.

A compartimentação tectônica da Faixa Brasília é marcada por dois segmentos de orientação distinta e estilos metamórfico-deformacionais contrastantes: O Segmento Setentrional, de orientação NE e o Segmento Meridional de orientação NW. O limite entre estes dois domínios, localizado na altura do paralelo de Brasília (16°S), é marcado pela Sintaxe dos Pirineus (Costa & Angeiras, 1971 e Araujo Filho, 1999), cujos lineamentos têm orientação E-W (Figura 3.1).

Em contato tectônico com os grupos Vazante (base) e Ibiá (topo), o Grupo Canastra é uma unidade metassedimentar constituída por quartzitos e filitos (em grande parte carbonosos), com fácies carbonatada subordinada (Barbosa, 1955 e Barbosa et. al., 1970).

Na região de Paracatu, o Grupo Canastra é representado pela Formação Paracatu, inicialmente definida por Almeida (1969) como camadas de filitos cinza com intercalações quartzosas. A deformação principal da Formação Paracatu é caracterizada por elementos planares (foliação e falhas de cavalgamento) de baixo ângulo, dobras de cisalhamento recumbentes a isoclinais assimétricas, milimétricas a centimétricas, dobras intrafoliais e pela transposição generalizada das estruturas sedimentares nas unidades pelíticas (Dardenne 2000).

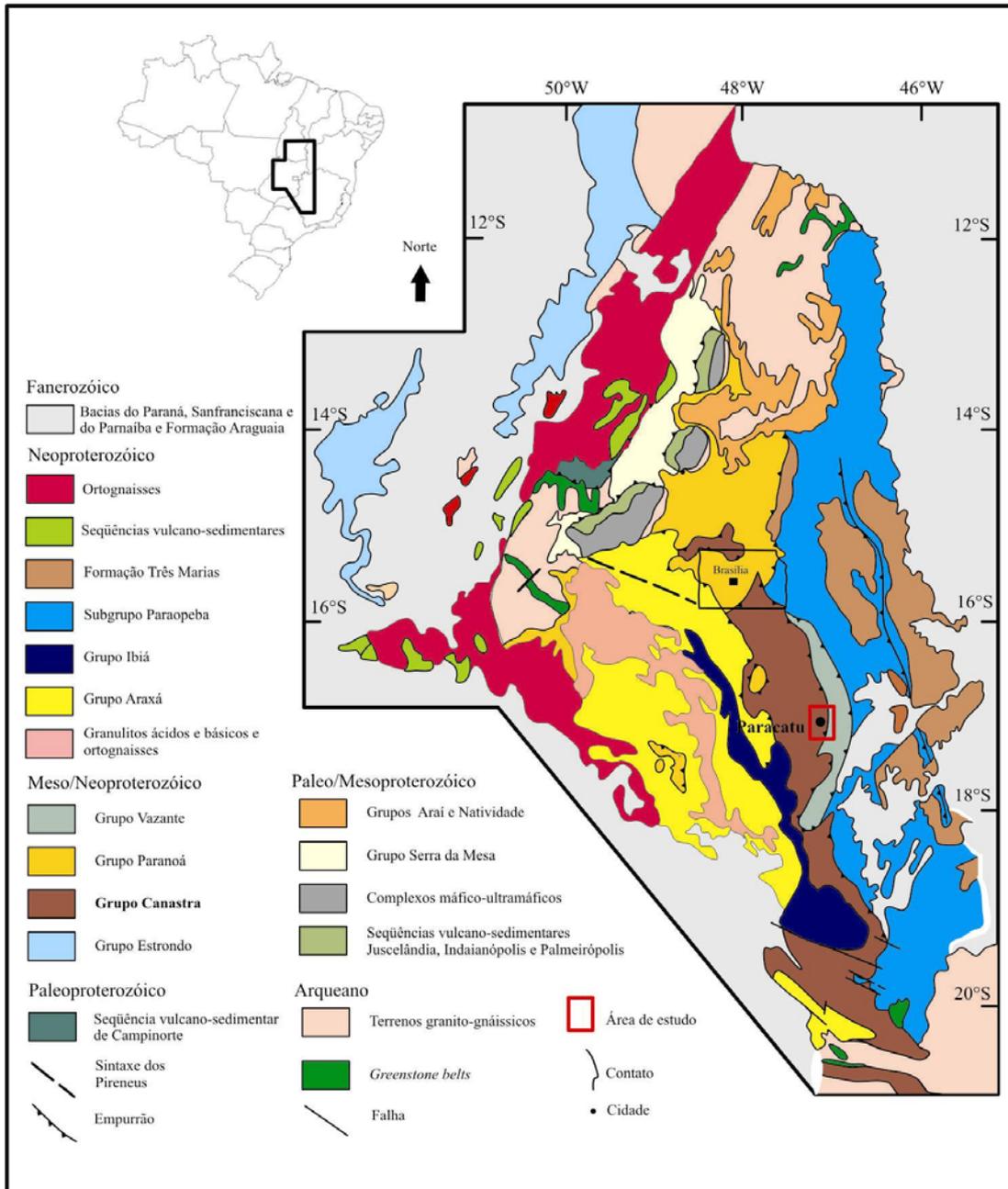


Figure 3.1 - Mapa geológico da Faixa Brasília (modificado de Fuck et al. 1994).

Freitas-Silva e Dardenne (1994) subdividiram a Formação Paracatu em dois membros: Morro do Ouro (membro inferior), constituído por filitos carbonosos, cinza claro a cinza escuro, com intercalações de lentes de quartzito cuja espessura varia de milimétrica a métrica. Serra da Anta (membro superior), formado por filito cinza a cinza claro (clorita-sericita filito) com intercalações de filito carbonoso, metassilito e camadas de quartzito. Análises radiogênicas Rb/Sr de filitos carbonosos indicam idades em torno de 1000 a 1300 Ma (Freitas-Silva, 1996).

3.5 – GEOLOGIA LOCAL E MINERALIZAÇÃO

O Membro Morro do Ouro, que contém o depósito de ouro, localiza-se entre a Formação Serra do Landim (Grupo Vazante) na base, e o Membro Serra da Anta (Grupo Canastra), no topo.

O contato com as rochas carbonáticas do Grupo Vazante é marcado por uma falha de empurrão, enquanto que com as rochas da Formação Serra da Anta é gradacional, com intercalações de camadas de filito carbonoso e clorita sericita filito.

O depósito Morro do Ouro está hospedado em filitos carbonosos cinza claro a cinza escuro, marcado pela intercalação de níveis ricos em filossilicatos e quartzo-carbonáticos, contendo também lentes, milimétricas a métricas, de quartzito. A foliação tem direção média de N20-40°, com mergulho 10°SW.

O depósito Morro do Ouro apresenta uma envoltória com formato de megaboudin, com boudins variando de tamanho ao longo do corpo mineralizados (Moler et al., 2000).

O corpo mineralizado, exposto ao longo do pit da mina, mergulha 15° para SW, possui uma espessura média de 100 m, com uma diminuição em direção às bordas. Na porção SW do depósito, o mergulho da mineralização aumenta para 30°, acompanhando a foliação do filito carbonoso (figura 3.2). Nessa porção, a camada de rocha não mineralizada de topo (*hangingwall*) possui mesma mineralogia e geoquímica em comparação à camada de base (*footwall*), o que indica que a mineralização ocorre entre duas camadas semelhantes de filito carbonoso.

Juntamente com as estruturas do tipo boudin, ocorre clivagem de crenulação e zonas de sombra de pressão associadas ao estrangulamento das camadas mais quartzosas. Nas segregações de quartzo ocorrem lineações de estiramento com caimentos da ordem de 10 a 15° para WSW, contidas na foliação, indicando transporte de massa para ENE (Miyashita, 2005).

A mineralização aurífera no depósito Morro do Ouro ocorre associada a boudins de quartzo, siderita e sulfetos, distribuídos ao longo de uma camada que foi submetida a uma intensa deformação de baixo ângulo. Os sulfetos ocorrem disseminados na rocha e distribuídos

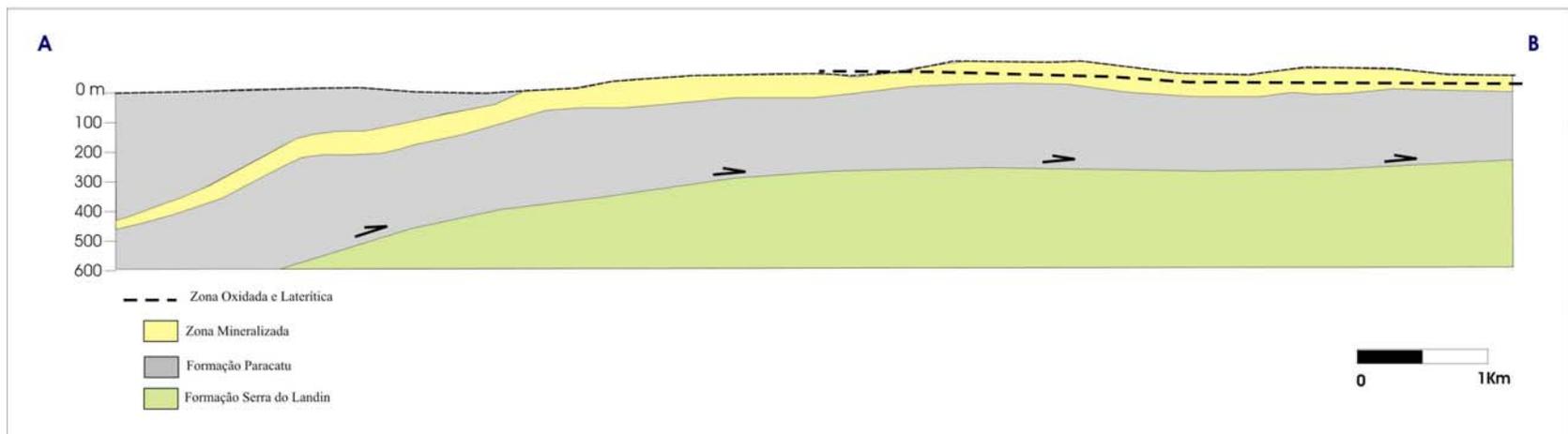
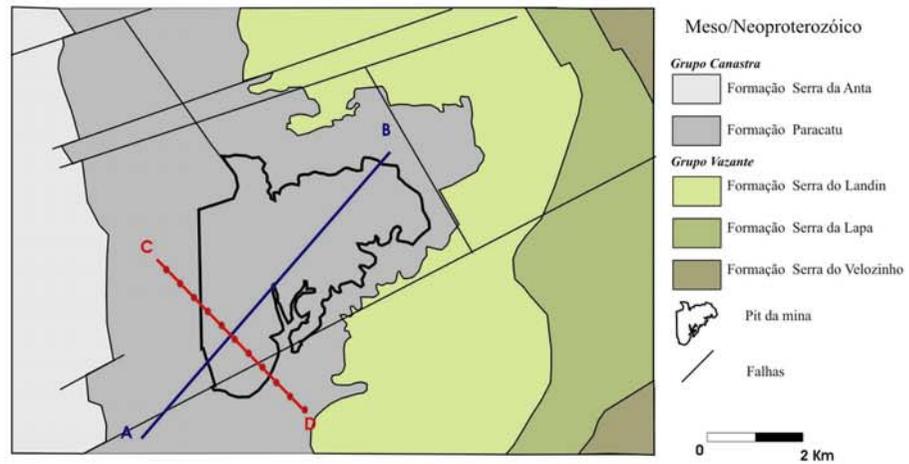


Figura 3.2 - Mapa geológico e perfil esquemático do depósito Morro do Ouro (Modificado de Forlin, R. & Andreaza, 1984).

nos boudins de quartzo e segregações dos quartzitos. Ocorre arsenopirita, galena, esfalerita, pirita, calcopirita e pirrotita. Arsenopirita e Pirita possuem uma maior correlação com o ouro (Daitx & Zarnado, 2000).

As partículas de ouro ocorrem, preferencialmente, preenchendo fraturas, em aglomerado de cristais ou como inclusões em cristais individuais de arsenopirita e pirita. Seu tamanho varia de 25 a 150 Microns e seu formato varia de sub-arredondado até totalmente irregular (Daitx & Zarnado, 2000).

Datações Rb/Sr em filitos carbonosos (cloritas) indicam idades em torno de 1000 a 1300 Ma para as rochas encaixantes (Freitas-Silva, 1996).

Dados de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em carbonatos e Pb/Pb em galenas em boudins de quartzo, definiram uma idade em torno de 680 Ma para a mineralização e para o metamorfismo (Freitas-Silva 1996).

Freitas-Silva (1996) identificou três controles fundamentais do depósito Morro do Ouro: (a) o controle estrutural por zonas transpressivas horizontais ou sub-horizontais; (b) o controle metamorfofênic por fluidos metamórficos gerados na própria pilha dos filitos carbonosos em fácies xisto verde e sob baixa razão fluido/rocha; e (c) o controle litológico, marcado pela ocorrência da mineralização aurífera no membro Morro do Ouro, não detalhado pelo autor, e que é o objeto deste trabalho.

Controle estrutural da mineralização

Freitas-Silva (1996) descreve o depósito Morro do Ouro como uma estrutura em duplex, limitada por planos de ramificações de cavalgamentos que, no seu conjunto, formam estruturas transtensivas no interior da lasca de cavalgamento. Os duplex apresentam geometria homoclinal na direção do maior estiramento e sinclínorios amplos na direção do eixo intermediário de deformação (Freitas-Silva e Dardenne, 1992). Esta geometria responde pelo controle estrutural da mineralização, onde os fluidos mineralizantes migraram para zonas de menor compressão no topo do duplex (Freitas-Silva 1996).

Para Möller et. al.(2000), a mineralização aurífera está relacionada com um evento deformacional dúctil que formou uma zona de cisalhamento por movimentos de empurrão orientados para NE. Esses movimentos formaram um dobramento isoclinal de baixo ângulo, com plano axial de N20-40W caindo em média 10°SW, e eixo sub-horizontal levemente ondulado, configurando um *plunge* muito suave, ora NW, ora SE. Esse dobramento isoclinal é mais visível nos níveis mais quartzosos.

Controle metamorfogênico da mineralização

Freitas-Silva (1996) sugere que as paragêneses minerais indicam condições metamórficas da fácies xisto verde, na zona da clorita, em torno de 2000 a 3000 bares entre 350° e 380°.

Dados de balanço de massa entre os filitos mineralizados e não mineralizados indicaram um processo com um ganho de cerca de 6% de volume para as rochas mineralizadas, e aproximadamente isoquímico para a maioria dos elementos. Na zona mineralizada, ocorreu um enriquecimento dos elementos voláteis (H₂O, C, S, e As) na fase fluída e dos elementos facilmente solubilizáveis e complexáveis na forma de tio e arsenocomplexos, dentre os quais se destaca o ouro. O enriquecimento de ouro, comparando o protominério com teor médio de 0,1 g/t e chegando a um minério com teor de 0,39 g/t foi da ordem de 310%, o que corresponde a um aumento de massa de 0,3g/t em relação as rochas não mineralizadas (Freitas-Silva, 1996). A razão fluido/rocha da mineralização foi de 1:4, sendo compatível com a razão fluido/rocha que ocorre em pelitos submetidos a metamorfismo em fácies xisto verde baixo. Não há indícios do envolvimento de outras rochas senão o próprio filito na geração de fluidos (Freitas-Silva, 1996).

O estudo dos isótopos estáveis C, O, H e S sugere uma origem metamorfogênica da mineralização, uma atuação do processo de efervescência e uma derivação endógena do fluido mineralizante e dos metais (Freitas-Silva, 1996).

Os dados de geoquímica de elementos terras raras (ETRs) e seu comportamento no processo de mineralização primária indicam uma derivação local do fluido a partir dos próprios filitos, com uma razão fluido/rocha baixa, compatível com um processo metamorfogênico de leve enriquecimento em ouro e carbonatização incipiente (Freitas-Silva, 1996).

Grossi-Sad e Saraiva (1992), através de investigação petrográfica-calcográfica, com suporte adicional de dados geoquímicos, descrevem que a mineralização aurífera do Morro do Ouro possui uma origem sedimentar, com a formação de um sistema deposicional originado em plataforma estável, com retirada e precipitação de metais da água do mar, condicionada pelo grau de anoxia do ambiente na época da deposição.

A presença de altas concentrações de CH₄ e N₂, traços de hidrocarbonetos em cadeias e de HS⁻ nas inclusões fluídas indicam a derivação endógena do fluido e a participação dos tiocomplexos e dos arsenietos/tioarsenietos no transporte do ouro. A desestabilização destes complexos foi fortemente promovida em resposta á diminuição da atividade de H₂S, pelas variações da *f*O₂ no fluido e, possivelmente, pela diminuição da pressão dos fluidos, ocorrida em função do processo de efervescência (Freitas-Silva et al. 1996).

Os filitos carbonosos foram a principal fonte de metais, inclusive do ouro, enxofre e arsênio para a solução mineralizante, na qual o transporte de metais ocorreu principalmente sob a forma de complexos de enxofre, como indicado pela presença de HS⁻ nas inclusões fluídas. (Freitas-Silva 1991, Freitas-Silva et al. 1991). Estes dados mostram a importância dos filitos carbonosos nos processos de mineralizações auríferas, seja como fonte de metais e complexantes, seja como frentes de oxidação-redução. (Freitas-Silva, 1996).

Ditx e Zanardo (2000), com base no estudo detalhado de lâminas polidas sugere que os sulfetos resultaram do aporte de pelo menos três pulsos de fluidos hidrotermais: um pulso inicial rico em arsênio e ouro que cristalizou arsenopirita, pirita e carbonatos na fase inicial do evento deformacional-metamórfico. Um segundo fluido, introduzido na fase principal e tardia do evento tectônico, que formou uma associação polissulfetada: pirrotita, calcopirita, galena, esfalerita, pirita, raros sulfossais e ouro, além de recristalização de quartzo e carbonato. Nessa fase ocorreu a liberação do ouro quimicamente, anteriormente aprisionado no retículo cristalino da arsenopirita, e sua cristalização na forma livre em zonas de contato intergranular ou em fraturas. O terceiro fluido pós-evento deformacional formou vênulas discordantes, compostas por quartzo, carbonato e clorita, com pirita e pirrotita localizadas.

Controle litogeoquímico

Segundo Freitas-Silva (1996) o depósito Morro do Ouro possui um controle litoestratigráfico devido ao fato que a mineralização está restrita ao Membro Morro do Ouro. Os dados descritos abaixo, representam a caracterização de diferentes composições de rochas dentro do Membro Morro do Ouro, a partir de dados mineralógicos e geoquímicos.

Os dados mineralógicos, estudados neste artigo, indicaram que no horizonte não mineralizado os valores de volume de boudins são inferiores a 2 %. A rocha contém 40% de quartzo, 30% de muscovita, 15% de clorita, 5% de carbonato, 5% de material carbonoso e 5% de minerais acessórios, que predominando a ilmenita, apatita, turmalina, pirita e pirrotita. Pirita e pirrotita, quando presentes, ocorrem em maior quantidade disseminadas em níveis milimétricos paralelos a foliação da rocha. A deformação aumenta em direção à zona mineralizada e pode ser vista nas intercalações de filito carbonoso com quartzito, onde é possível observar boudinagem, dobras em bainha, segregação de quartzo, dobras intrafoliais e kink bands.

Na zona mineralizada a rocha apresenta em média 4 % de volume de boudins de quartzo. O filito mineralizado contém em média 35% de quartzo e 45 % de muscovita, 10% de carbonato, 5% de matéria orgânica e 5% de minerais acessórios como ilmenita, turmalina, apatita e sulfetos.

Arsenopirita, pirita, pirrotita, esfalerita, galena e calcopirita ocorrem associadas aos boudins de quartzo e segregações quartzosas e, em menor quantidade, disseminadas na rocha na proximidade das zonas com concentração de boudins.

As análises por DRX de rocha total também registram o quartzo, muscovita e siderita, mas não contem reflexões indicativas de clorita em nenhuma das amostras. Nos filitos mineralizados, a camada mais enriquecida em ouro corresponde à zona com maior volume de boudins. Apresentam também as maiores concentrações de As, Pb, Zn, C e S, enquanto os valores de SiO₂, Al, Cr, V, e Zr são menores que nos filitos não mineralizados (Figura 3.3 e tabela 3.1). A tabela 3.1 compara os valores mínimos, máximos e médios da composição química das rochas mineralizadas e não mineralizadas. Os valores médios das rochas mineralizadas e não mineralizadas foram divididos para a determinação das diferenças relativas. Esses dados indicam que Au, As e Cd tiveram um ganho superior a 10%, Pb apresenta valor igual a 5% e Ag, Zn, C e S apresentaram valores inferiores a 5%. Al₂O₃, SiO₂, TiO₂, CaO, MgO, Na₂O Al, Cr, V, Zr tiveram valores menores que 1%, mostrando que as rochas não mineralizadas apresentam maiores concentrações destes elementos.

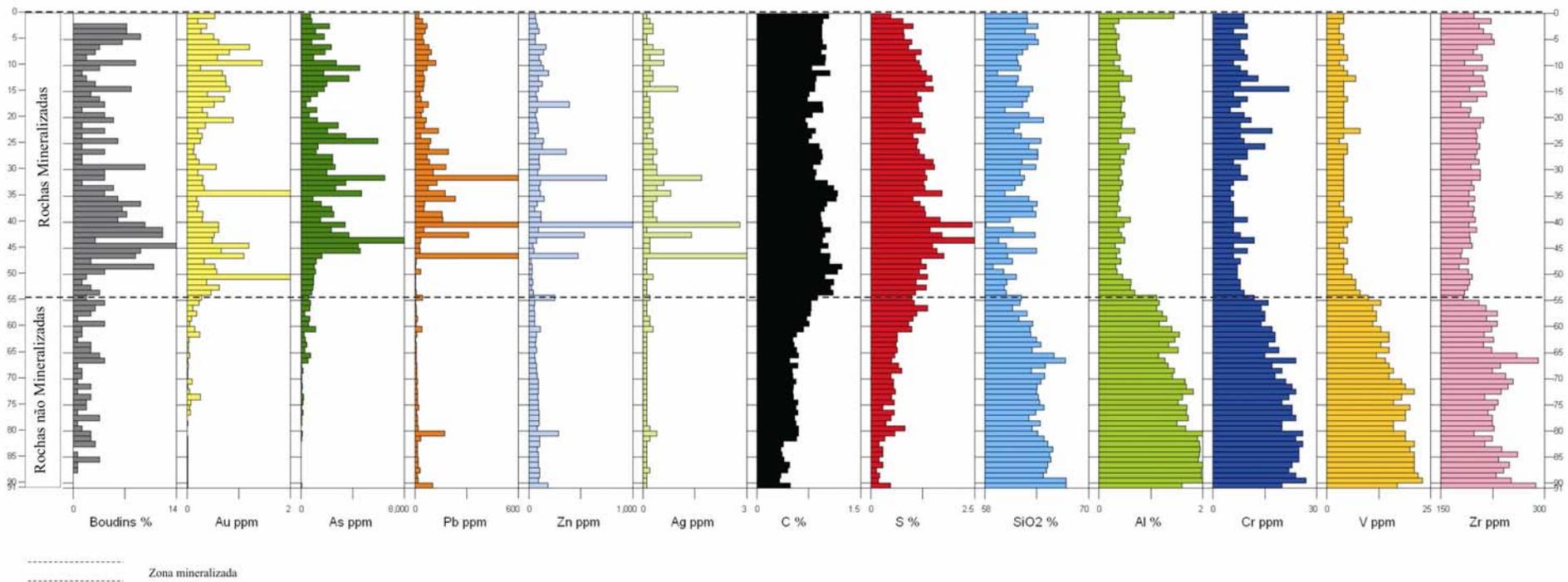


Figura 3.3 - Testemunho de sondagem representativo do depósito Morro do Ouro com a distribuição dos elementos relacionados com a zona mineralizada e rochas não mineralizadas.

Elemento	Rochas Mineralizadas			Rochas não Mineralizadas			Md RM/ Md RNM
	Min	Máx	Média	Min	Máx	Média	
SiO ₂ %	58	65	62	62	67	65	0.96
Al ₂ O ₃ %	14	18	16	15	17	16	0.99
Fe ₂ O ₃ %	6.49	10.11	7.68	6.21	7.94	7.26	1.06
MgO %	1.21	1.57	1.37	1.30	1.61	1.48	0.93
CaO %	0.17	1.21	0.49	0.54	1.58	0.81	0.60
Na ₂ O %	0.18	1.03	0.66	0.22	1.60	1.21	0.54
K ₂ O %	4.01	5.28	4.76	2.86	4.24	3.51	1.36
TiO ₂ %	0.80	1.09	0.95	0.87	1.05	0.98	0.97
P ₂ O ₅ %	0.10	0.30	0.16	0.09	0.22	0.14	1.17
MnO %	0.05	0.11	0.08	0.05	0.07	0.06	1.32
Cr ₂ O ₃ %	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.98
LOI %	4.50	7.00	5.56	3.00	6.60	3.67	1.51
Total %	90	110	100	92	110	100	1.00
C% _{tot}	0.70	1.23	0.94	0.33	0.76	0.53	1.78
S% _{tot}	0.48	2.70	1.27	0.14	1.01	0.51	2.50
Ag ppm	0.10	4.50	0.43	0.10	0.40	0.13	3.31
As ppm	280	10000	2186	15	1125	195	11.21
Cd ppm	0.10	35.80	2.11	0.10	1.30	0.15	13.64
Cu ppm	25.40	70.00	43.77	27.80	72.10	42.22	1.04
Mo ppm	1.20	4.00	2.01	1.10	2.40	1.58	1.28
Pb ppm	3.30	1858	127	6	172	23	5.64
Ba ppm	482	678	590	419	541	472	1.25
Co ppm	8.90	49.00	18.36	11.80	20.30	16.48	1.11
Ni ppm	20.00	68.00	39.34	22.00	45.00	32.48	1.21
Sb ppm	0.40	4.50	1.01	0.10	0.70	0.29	3.44
Zr ppm	177	232	201	198	291	234	0.86
W ppm	3.10	7.60	4.82	1.60	3.10	2.25	2.14
Zn ppm	21.00	2566	166	52	285	93	1.78
Au ppm *	0.12	2.47	0.54	0.00	0.26	0.05	11.54
Al % **	0.29	1.44	0.50	1.15	2.08	1.65	0.30
Cr ppm **	5.00	22.00	8.95	14.00	27.00	21.15	0.42
V ppm **	3.00	13	5	11	23	17	0.28
Boudin %	0.00	13.93	4.78	0.00	4.24	1.59	3.00

* RPM Lab

** SGS Lab

Tabela 3.1 - Valores mínimos, máximos e médios das amostras representativas da zona mineralizada e não mineralizada do Depósito Morro do Ouro.

3.7 – BOUDINS E ESTRUTURAS RELACIONADAS

O estudo da distribuição dos boudins indicou uma redução no volume total de boudins de quartzo do centro para a borda do depósito. No centro da zona mineralizada os valores de volume de boudins variam em média de 5 a 10% com teores de 0.45 a 0.65 ppm de ouro, enquanto que nas margens o volume de boudins diminuiu para 1 a 3% e o teor de ouro varia de 0.24 a 0.30 ppm.

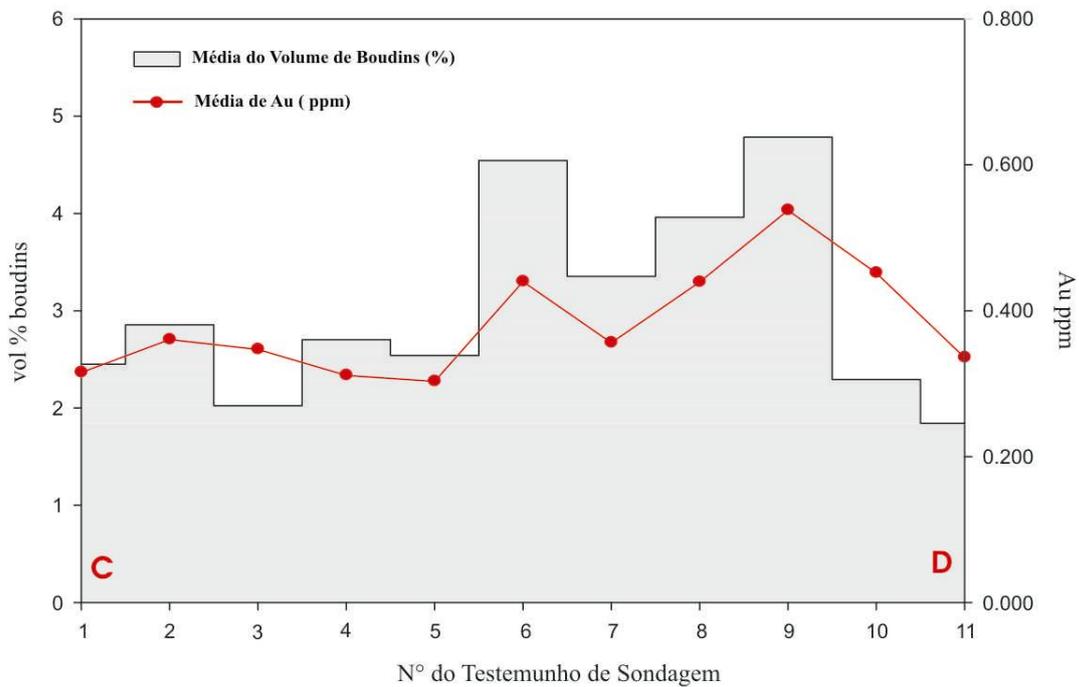


Figura 3.4 - Distribuição da média do volume de boudins e média de teor de ouro na borda e centro do depósito Morro do Ouro.

Por meio de mapeamento no depósito Morro do Ouro foi possível identificar diferentes composições e tipos de boudins: (a) boudins de quartzo ± siderita ± sulfetos, (b) veios boudinados hospedados em camadas de quartzito, (c) quartzitos boudinados e (d) veios de quartzo irregulares. As características de cada um e suas relações com a mineralização serão discutidas abaixo.

Boudins e Veios de quartzo ± siderita ± sulfetos

Os boudins de quartzo ± siderita ± sulfetos representam a principal característica da mineralização do depósito Morro do Ouro. Sua presença, em particular quando eles contém arsenopirita e pirita, é um bom indicador de elevados teores de ouro.

Estes tipos de boudins estão distribuídos ao longo de todo o depósito, com dimensões maiores no centro. Apresentam proporções variadas de siderita e sulfetos. Os sulfetos característicos são pirita, galena, esfalerita, arsenopirita, calcopirita e pirrotita. Os sulfetos localizam-se na borda centro e sombras de pressão dos boudins (Figura 3.5). Essas estruturas podem representar pequenos enxames de veios localizados entre os principais condutos de circulação de fluidos.

Os boudins ocorrem paralelos à foliação dos filitos carbonosos, com mergulho de 10°. Os boudins ocorrem em rosários, isolados ou em forma de veios, sem indícios de boudinagem. Texturalmente existem dois tipos de boudins com essas composições: boudins grandes com laminações e boudins pequenos a médios maciços.

Os boudins grandes variam de cinquenta centímetros a um metro de largura. A distância entre estas estruturas varia de poucos centímetros a três metros e sua distribuição pode chegar a 100m. Sua concentração está restrita ao centro do depósito. São compostos por quartzo branco e têm laminações internas compostas por muscovita, material carbonoso e pirita (<5%) ± siderita (Figura 3.5). Galena, esfalerita, arsenopirita, calcopirita e pirrotita, quando presentes, representam menos que 1%.

Os boudins de quartzo maciços variam de milimétricos a centimétricos, estão dispostos em rosários e isolados, com raros veios preservados. A partir de trilhas de boudins, no pit do depósito Morro do Ouro, foi possível calcular 7 metros de comprimento de boudins somando todas estruturas distribuídas ao longo de 35 metros de boudins descontínuos. Partindo do pressuposto de que os boudins foram um veio contínuo, isso representa extensão de aproximadamente 500m (Holcombe, 2005 e 2006).

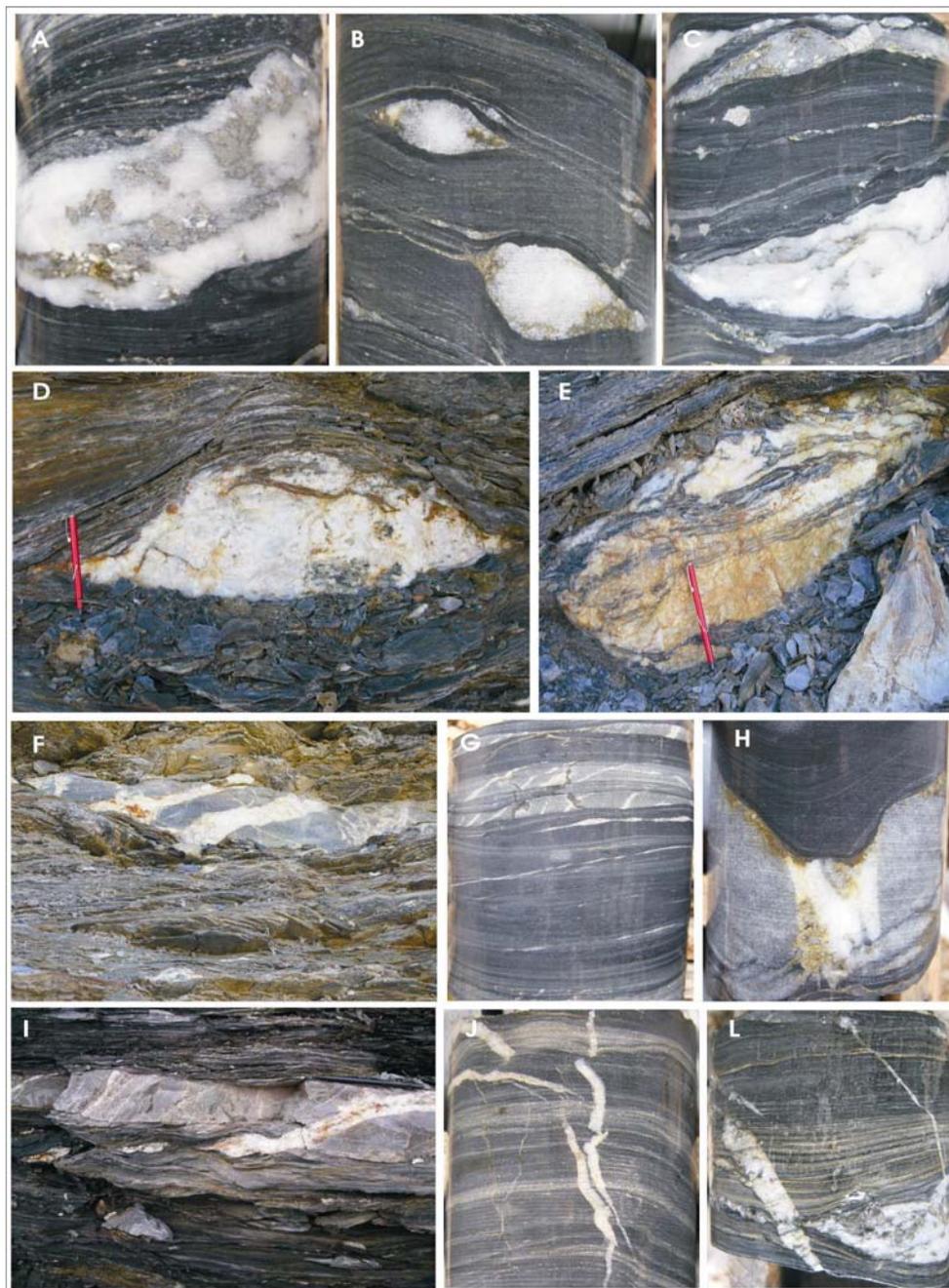


Figura 3.5 – Tipos de Boudins. A) Boudin de quartzo, siderita com arsenopirita grossa. B) Boudin de quartzo com pirrotita na sombra de pressão. C) Boudin de quartzo com siderita, pirrotita e arsenopirita associadas; arsenopirita ocorre também disseminada na rocha. D) Grande boudin de quartzo com pirita associada. E) Grande boudin de quartzo com materia orgânica e pirita associada. F) Veio de quartzo cortando lente de quartzito G) Veio de quartzo cortando camada de quartzito em pequena escala. H) Quartzo hidrotermal associado ao estrangulamento de camadas de quartzito (Holcombe, 2006). I) Veios reliquiares preservados em camadas de quartzito, indicando preservação de estruturas nestas camadas. J) Evento tardio de vênulas de quartzo cortando a zona de não mineralizada. L) Vênulas de quartzo cortando a zona mineralizada.

Veios de quartzo hospedados em quartzitos

As camadas de quartzitos presentes no depósito Morro do Ouro foram rompidas durante a deformação, por diferenças reológicas entre o filito carbonoso e o quartzito, gerando espaços que foram preenchidos por quartzo e sulfetos. Estes espaços representam os planos S de foliações S-C, preservados nas camadas de quartzito. É possível observar duas formas de contato entre estes veios e camadas de quartzito. Eles ocorrem cortando camadas de quartzito, mergulhando 45°, e entre as camadas rompidas, nas zonas de maior decompressão em pequena e grande escala de forma irregular (figura 3.5).

Nas unidades que cortam as camadas de quartzito os veios estão preservados sem indícios de boudinagem. Ocorrem de escala milimétrica a métrica. Ao ultrapassar esta camada, no contato com o filito carbonoso, esses veios acompanham a foliação da rocha e se desdobram em boudins (Figura 3.5).

Veios de quartzo irregulares

Ao longo de todo o depósito ocorrem veios cortando as rochas mineralizadas e não mineralizadas (Figura 3.5), associados com um evento tardio e que não está relacionado com a mineralização. Estes veios são formados por quartzo ± carbonato ± clorita ± pirita ± pirrotita.

3.8 – ZONAS INTEMPÉRICAS

Próximo à superfície, as rochas mineralizadas foram afetadas por agentes intempéricos que reconcentraram o ouro em duas fases (Zona Oxidada e Laterítica) e remobilizaram elementos móveis da fase primária modificando a assinatura geoquímica original do depósito.

Zona Oxidada

A Zona Oxidada possui em média 30 m de espessura e é maior ao noroeste do depósito. Nesta zona as rochas possuem coloração amarelada a avermelhada, texturas e estruturas preservadas, mas com variações mineralógicas em relação às rochas sulfetadas (Figura 3.6).

A rocha é composta por proporções variadas de hidróxidos/ óxidos de ferro (goetita e hematita), substituindo os sulfetos nos boudins de quartzo e formando *boxworks* (figura 3.6b). Muscovita por vezes está alterada para caulinita.

Devido às condições físico-químicas a rocha é empobrecida em carbonatos, matéria orgânica e sulfetos, que foram alterados para óxidos. Ocorre uma diminuição nos valores de Ca, Mg, S e C. Entretanto, Au, As, Ag, Zn, Pb ocorrem em concentrações semelhantes à zona com sulfetos preservados.

A presença de *boxworks* nos boudins e zonas superficialmente enriquecidas em sulfato de arsênio (superfície milimétrica branca depositada sobre a rocha) indicam presença da mineralização.

As condições de Eh são baixas (ambiente oxidante) e o pH varia de alcalino a fracamente ácido. Os carbonatos são fortemente solubilizados e a desestabilização dos sulfetos é subordinada ocorrendo sob forma de sulfatos (tio-complexos) e arsenietos (Freitas-Silva.1996).

Zona Laterítica (horizontes A, B, C e regolito)

Esta unidade é representada por crostas ferruginosas endurecidas misturadas com solo (horizonte A, B, C e regolito) que antes do início da exploração capeavam a zona mineralizada (figura 6C). A ocorrência é maior nas bordas, principalmente ao norte do depósito. A espessura varia de poucos centímetros a 6 metros. Esta zona é caracterizada por alta concentração de Au, As, Cu, Fe.

A concentração anômala desses elementos indica um processo de alteração superficial acompanhado por um acentuado enriquecimento supergênico.

Em período de chuva na região de Paracatu (novembro a maio) ocorre a saturação desta camada e a neoformação de argilominerais e hidróxidos/óxidos.

Segundo Freitas-Silva (1996) as condições de EH são fortemente oxidantes e o pH é mais ácido em relação à zona oxidada.

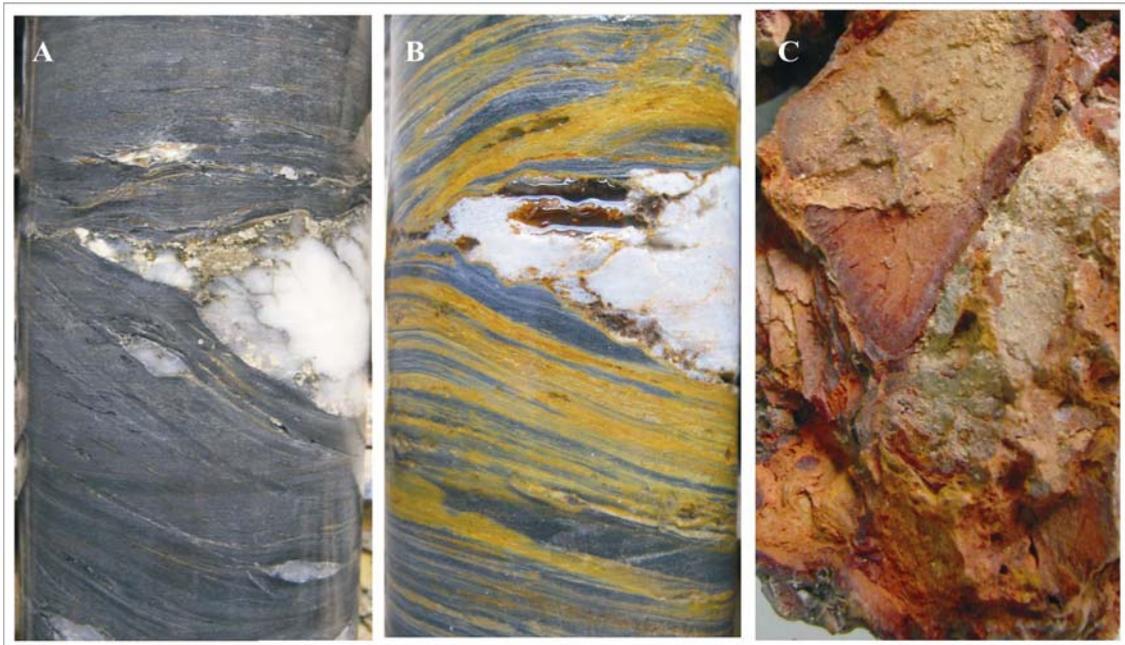


Figura 3.6 - Características das zonas mineralizadas. A) Zona com sulfeto (pirrotita) preservado na borda do boudin de quartzo. B) Zona oxidada com a ocorrência de cavidades e oxidação de carbonatos e sulfetos (coloração laranja). C) Carapaça Laterítica característica do depósito.

3.9 - DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Os filitos carbonosos não mineralizados e mineralizados do depósito Morro do Ouro possuem diferenças significativas em termos de deformação, mineralogia e composição química.

Os filitos carbonosos não mineralizados são menos deformados, possuem baixo volume de boudins, apresentam clorita, quartzo e muscovita, baixa sulfetação e valores elevados de SiO₂, V, Cr, Al e Zr.

A zona mineralizada pode ser definida por uma deformação intensa, volume acentuado de boudins de quartzo, siderita e sulfetos (arsenopirita, pirita, esfalerita, galena, pirrotita e calcopirita), presença de muscovita e quartzo, mas ausência de clorita, e por uma concentração elevada de Au, As, Zn, Pb, C e S. Existem pelo menos três possibilidades para explicar estas diferenças.

A primeira é que a predominância de muscovita e ausência de clorita na zona mineralizada representam uma zonação relacionada com alteração hidrotermal potássica na zona de maior percolação de fluidos e alteração clorítica na zona distal. Os valores de V, Cr e Al, elevados na zona não mineralizada, estariam relacionados com a presença de clorita. Freitas-Silva (1996) sugere que a razão fluido/rocha no depósito Morro do Ouro é baixa ($F/R=0,25$).

Assumindo esses valores seria difícil alterar camadas espessas de uma rocha com baixa porosidade e formar grandes halos de alteração hidrotermal. Outro fator está relacionado com o comportamento imóvel dos elementos em questão (V, Cr, Al e Zr), o que torna difícil explicar estas zonações como consequência da alteração hidrotermal.

A segunda possibilidade é que as rochas originais apresentavam uma composição homogênea em termos de SiO₂, V, Cr, Al e Zr, e que a entrada dos fluidos mineralizantes e deposição de novos minerais tenha resultado em uma diluição das concentrações desses elementos. Assumindo-se como verdadeira essa premissa, seria necessário um volume de 75% de boudins para diluir os valores de Cromo, por exemplo, de 20ppm para 5ppm. Entretanto, o valor médio de volume de boudins na zona mineralizada representa menos que 4%, o que torna a hipótese improvável. Outra questão seria o teor de SiO₂ na camada mineralizada, que deveria ser mais elevado nos níveis com boudins de quartzo, já que soma-se a SiO₂ dos filitos carbonosos com a SiO₂ dos boudins de quartzo. Essas diferenças indicam que a camada mineralizada possui menos quartzo do que as rochas não mineralizadas.

A melhor possibilidade para explicar as variações observadas é a de que a composição mineralógica e geoquímica das rochas do depósito Morro do Ouro reflete variações primárias do filito carbonoso. Os fluidos hidrotermais percolaram em uma camada de composição diferente, com menos quartzo, V, Cr, Al e Zr e possivelmente mais S e C disponível, relacionados com uma provável quantidade a mais de matéria orgânica. Os fluidos mineralizantes percolaram preferencialmente esta camada por maior afinidade reológica e geoquímica, explicando assim as diferenças bruscas de composição dos filitos carbonosos entre a zona mineralizada e não mineralizada.

A ocorrência de concentrações diferentes no centro (5%) em relação as bordas do depósito, a ocorrência de um aumento no mergulho do corpo mineralizado a SW do pit da mina Morro do Ouro e a repetição da camada de filitos não mineralizados na base e no topo do depósito, indicam que a mineralização de ouro ocorre localizada em uma estrutura principal, que está alojada entre duas camadas de características deformacionais, mineralógicas e geoquímicas semelhantes, fato que não pode ser observado no pit da mina Morro do Ouro onde a mineralização está aflorando.

Na zona mineralizada os boudins de quartzo possuem diferenças texturais, deformacionais e de contato em relação aos filitos carbonosos e camadas de quartzito. Existem duas possibilidades para a formação de boudins mineralizados.

A primeira é que a formação dos boudins de quartzo ocorreu em uma zona de cisalhamento formando segregações de quartzo provenientes das intercalações quartzíticas nos filitos carbonosos. Formou-se uma solução hidrotermal que foi conduzida em uma estrutura

principal formada durante a deformação. Os fluidos hidrotermais lixivaram o Au, As, Pb e Zn, de uma camada primária mais enriquecida, em forma de complexos de HS⁻ (Freitas-Silva, 1996) e precipitaram quartzo, carbonatos e sulfetos em espaços gerados durante a deformação, formando boudins de quartzo em zonas de menor pressão. A ocorrência de veios de quartzo nas camadas de quartzito pode ser explicada com a precipitação de quartzo e sulfetos nos planos S de uma foliação S-C (45°) e em sombras de pressão dos boudins de quartzito. A preservação dos veios nessas camadas ocorreu devido às diferenças reológicas entre as camadas de quartzito, mais competentes, e o filito carbonoso, mais plástico, onde ao invés de veios formaram-se estruturas do tipo boudins.

A segunda possibilidade é que durante a deformação ocorreu uma sobrecarga em uma camada preferencial (com menos quartzo) gerando a abertura de espaço e percolação de fluidos endógenos e profundos, de natureza desconhecida. As camadas de quartzito intercaladas nestes filitos carbonosos facilitaram a quebra e variação reológica para a abertura de espaços. Os fluidos percolaram em fraturas e geraram veios de quartzo com carbonato e sulfetos associados. Com a deformação extensional, esses veios formaram boudins de quartzo e carbonato, com sulfetos e ouro associado. Nas camadas de quartzito é possível observar os veios originais com direção e orientação preservados, enquanto nos filitos carbonosos, devido a plasticidade da rocha, formaram-se boudins com raros veios contínuos remanescentes. A diferença dos tamanhos de boudins de quartzo indica que originalmente ocorreram enxames de veios principais com veios menores secundários, todos relacionados com a mineralização.

Os veios irregulares tardios, que cortam tanto as rochas mineralizadas quanto as não mineralizadas, podem significar uma reativação do sistema sem condições físico-químicas para remobilizar o ouro e outros elementos, formando apenas quartzo ± carbonato ± clorita ± pirita ± pirrotita como material de preenchimento.

A existência de uma diferença entre o volume de boudins no centro e na borda do depósito e a ocorrência de boudins milimétricos a métricos, sugerem que ocorreu uma diluição de boudins e veios de quartzo, carbonato e sulfetos do centro para a borda do depósito. Essas diferenças coincidem com a variação nos teores de ouro.

A ocorrência de altas concentrações de Au associadas com valores elevados de As, Ag, Pb e Zn indicam que os fluidos hidrotermais que formaram os boudins e veios foram responsáveis pela formação da arsenopirita, esfalerita, galena, pirita e pela mineralização aurífera. A ocorrência de valores mais elevados de C e a presença de carbonato sugerem que os fluidos hidrotermais continham CO₂. O elemento C pode estar relacionado com uma maior concentração de matéria orgânica na zona mineralizada. A presença de valores elevados de S nas rochas mineralizadas indica a formação de sulfetos, mas pode estar relacionada com uma maior concentração de

sulfetos primários antes da entrada de fluidos. Esse fato facilitaria a percolação e precipitação dos fluidos e o desenvolvimento da mineralização.

Os dados e as discussões aqui apresentados representam um avanço no conhecimento sobre a distribuição de boudins e veios mineralizados, as variações geoquímicas em escalas regionais e de depósito e o controle litoestratigráfico do depósito Morro do Ouro.

Para entender este importante depósito brasileiro algumas questões precisam ainda ser aprofundadas, como estudos de proveniência das rochas mineralizadas e não mineralizadas para compreender porque essas rochas são visualmente semelhantes, mas possuem variações geoquímicas que estão relacionadas com o controle da mineralização.

3.10 - REFERÊNCIAS

Almeida, F.F.M de, Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Sciences. Review*, 1: 1-29.

Barbosa, O., Braun, O.G., Dyer, R.C. and Cunha, C.A.B.R., 1970, *Geologia do Triângulo Mineiro. (Projeto Chaminés). DNPM/DFPM, Rio de Janeiro, Bol. 136, 140 p.*

Barbosa, O., 1955, Guia das excursões. 9º cong. Bras. Geol., São Paulo, Noticiário, 3,3-5.

Costa, L.A.M & Angeiras, A.G. 1971. Geosynclinal evolution of the epi-Baykalian platform of Central Brazil. *Geol.Runds. 60 (3): 1024-1050.*

Daitx, E.C & Zarnado A. 2000. Estudo Petrográfico e Minerográfico de Rochas da Mina Morro do Ouro (Paracatu, MG). 2vol. Programa Parceria RPM/Fundusnep.

Dardenne, M.A. 2000. The Brasília Fold Belt. In Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (Edts.), *Tectonic Evolution of South America*, 31 Int. Geol. Congress, Rio de Janeiro, Brazil 2000, p.231-264.

Forlin, R. & Andrezza, 1984. Projeto Morro do Ouro, 1984; RTZ Mineração LTDA. Relatório Interno.

Freitas-Silva, F.H. and Dardenne, M.A., 1994, Proposta de subdivisão estratigráfica formal para o Grupo Canastra no oeste de Minas Gerais e leste de Goiás. An. 4º Simp. Geol. Centro-Oeste, Goiânia, SBG, 161-163.

Freitas-Silva, F.H., 1996, Metalogêse do depósito do Morro do Ouro, Paracatu, MG. Tese de Doutorado, IG/UnB, Brasília, 339 p. (unpublished).

Fuck, R.A.; Pimentel, M.M.; Silva, L.J.H. 1994. Compartimentação tectônica na porção oriental da Província do Tocantins. In: Congr. Bras. Geol., 38, Camboriú, 1994. Anais, Camboriú, SBG, p. 215-216.

Grossi-Sad, J.H. and Saraiva, N.T.A., 1992, Petrologia dos filitos metalíferos (Metalliferous Black Shales) do Morro do Ouro, Paracatu, MG. Relatório Interno da RPM.

Holcombe, R., 2005, Structural assessment of the RPM mine, Paracatu, Minas Gerais. Technical Report to Kinross Gold Corp, 12p.

Holcombe, R., 2006, Report on structural aspects of the RPM mine and Brasília Belt exploration, Paracatu, Minas Gerais. Technical Report to Kinross Gold Corp, 13p.

Moler, J.C.; Batelochi, M.; Akiti, Y.; Sharratt, M. & Borges, A.L.; 2000. Geologia e recursos minerais do depósito Morro do Ouro Paracatu, Minas Gerais. Capítulo in Bacia do São Francisco, Geologia e Recursos Minerais. SBG - Núcleo de Minas Gerais, 15p.

CONCLUSÕES

4.1 - CONCLUSÕES FINAIS

Os estudos geológicos e geoquímicos desenvolvidos nesta Dissertação de mestrado contribuíram para o conhecimento das rochas mineralizadas e não mineralizadas do Membro Morro do Ouro e colaboraram com a evolução do conhecimento sobre o controle do Depósito Morro do Ouro. Neste capítulo serão apresentadas as conclusões finais sobre os dois capítulos citados neste trabalho (capítulos 2 e 3).

- Nas rochas regionais, os filitos carbonosos não mineralizados são menos deformados, apresentam clorita, quartzo e muscovita, baixo volume de boudins e baixa sulfetação, além dos valores mais elevados de SiO₂, Zr V, Cr, Al ao longo da unidade. Os dados de difratometria de raio X indicam que a clorita apresenta Cr na sua estrutura, explicando assim o aumento deste elemento em relação as rochas mineralizadas, que não apresentam clorita.

- As rochas mineralizadas podem ser definidas pelo volume acentuado de boudins, intensa deformação, alta sulfetação, presença de muscovita e quartzo, ausência de clorita e pelo enriquecimento de Au, As, Zn, Pb, Ag, C e S.

- A mineralização está associada a boudins de quartzo, siderita e sulfetos (arsenopirita, pirita, pirrotita, sfalerita e galena).

- Os boudins ocorrem ao longo de todo o depósito com uma maior concentração e volume no centro (5%) em relação as bordas do depósito (2%).

- Os dados geológicos e geoquímicos indicaram que a mineralização aurífera do depósito Morro do Ouro possui um controle litoestratigráfico. Os fluidos mineralizantes percolaram em uma rocha com maior afinidade (composta por quartzo e muscovita) e possivelmente mais matéria orgânica, que tende a facilitar a concentração do ouro, explicando assim estas diferenças geoquímicas bruscas na composição dos filitos carbonosos mineralizados e não mineralizados.

4.2 - SUGESTÕES PARA EXPLORAÇÃO REGIONAL E TRABALHOS FUTUROS

As questões aqui abordadas devem ser aprofundadas com estudos de proveniência das rochas mineralizadas e não mineralizados para entender estas rochas visualmente homogêneas mas com variações geoquímicas que estão relacionadas com controle da mineralização.

Para ferramentas de exploração, na zona mineralizada os boudins de quartzo representam mais que 0.6 % de volume da rocha. O conteúdo em Alumínio é menor que 1%, SiO_2 possui valores inferiores a 56%, Cr, V e Zr tem respectivamente menos que 10 ppm e entre 3.5 e 200 ppm, enquanto o teor de As apresenta valores acima de 200 ppm. Fora deste intervalo a rocha pode ser classificada como não mineralizada.

Os dados aqui apresentados contribuíram para o conhecimento das diferenças entre as rochas mineralizadas e não mineralizadas do Membro Morro do Ouro. As características geoquímicas e mineralógicas do depósito e das rochas regionais representam uma boa ferramenta de exploração e podem ser usados como guia prospectivo para a descoberta de novos depósitos semelhantes ao Morro do Ouro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.1 – REFERÊNCIAS

- Almeida, F.F.M de, Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Sciences. Review*, 1: 1-29.
- Almeida, F.F.M., 1977, O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7, 349-364.
- Araujo Filho, J.O. 1999. Structural characteristics and tectonic evolution of the Pirineus sintaxis, Central Brazil. Tese de doutorado, Universidade de Illinois, 418 p. (não publicado).
- Barbosa, O., Braun, O.G., Dyer, R.C. and Cunha, C.A.B.R., 1970, *Geologia do Triângulo Mineiro. (Projeto Chaminés)*. DNPM/DFPM, Rio de Janeiro, Bol. 136, 140 p.
- Barbosa, O., 1955, Guia das excursões. 9º cong. Bras. Geol., São Paulo, Noticiário, 3,3-5.
- Costa, L.A.M & Angeiras, A.G. 1971. Geosynclinal evolution of the epi-Baykalian platform of Central Brazil. *Geol.Runds.* 60 (3): 1024-1050.
- Daitx, E.C & Zarnado A. 2000. Estudo Petrográfico e Minerográfico de Rochas da Mina Morro do Ouro (Paracatu, MG). 2vol. Programa Parceria RPM/Fundusnep.
- Dardenne, M.A. 2000. The Brasília Fold Belt. In Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (Edts.), *Tectonic Evolution of South America*, 31 Int. Geol. Congress, Rio de Janeiro, Brazil 2000, p.231-264.
- Forlin, R. & Andreaza, 1984. Projeto Morro do Ouro, 1984; RTZ Mineração LTDA. Relatório Interno.
- Freitas-Silva, F.H. and Dardenne, M.A., 1994, Proposta de subdivisão estratigráfica formal para o Grupo Canastra no oeste de Minas Gerais e leste de Goiás. An. 4º Simp. Geol. Centro-Oeste, Goiânia, SBG, 161-163.
- Freitas-Silva, F.H., 1996, Metalogêse do depósito do Morro do Ouro, Paracatu, MG. Tese de doutorado, IG/UnB, Brasília, 339 p. (não publicado).

- Fuck, R.A.; Pimentel, M.M.; Silva, L.J.H. 1994. Compartimentação tectônica na porção oriental da Província do Tocantins. In: Congr. Bras. Geol., 38, Camboriú, 1994. Anais, Camboriú, SBG, p. 215-216.
- Grossi-Sad, J.H. and Saraiva, N.T.A., 1992, Petrologia dos filitos metalíferos (Metalliferous Black Shales) do Morro do Ouro, Paracatu, MG. Relatório Interno da RPM.
- Holcombe, R., 2005, Structural assessment of the RPM mine, Paracatu, Minas Gerais. Technical Report to Kinross Gold Corp, 12p.
- Holcombe, R., 2006, Report on structural aspects of the RPM mine and Brasília Belt exploration, Paracatu, Minas Gerais. Technical Report to Kinross Gold Corp, 13p.
- Klipfel, P. 2005. What is a Sediment Hosted Vein Deposit? Mineral Resources Services Inc. Relatório, 8p.
- Marini, O.J. et al. 1981. A geotectônica da Faixa Brasília e do embasamento. In: simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas faixas marginais, Salvador, Soc. Bras. Geol. pgs.100-115.
- Moler, J.C.; Batelochi, M.; Akiti, Y.; Sharratt, M. & Borges, A.L.; 2000. Geologia e recursos minerais do depósito Morro do Ouro Paracatu, Minas Gerais. Capítulo in Bacia do São Francisco, Geologia e Recursos Minerais. SBG - Núcleo de Minas Gerais, 15p.

ANEXOS

ANEXO 1 – GEOQUÍMICA DE ROCHA TOTAL

Capítulo 2

Testemunho	De (m)	Até (m)	Boudins %	Au ppm	Pb ppm	As ppm	Zn ppm	Cu ppm	V ppm	Al %	Cr ppm
Sul	16	17	1	0.100	9	10	127	39	17	1.92	22
Sul	17	18	0.5	0.050	12	9	105	38	17	1.83	20
Sul	18	19	0.3	0.050	16	8	92	40	15	1.74	18
Sul	19	20	0.3	0.050	7	19	89	26	12	1.53	17
Sul	20	21	0.3	0.050	10	19	91	32	13	1.47	15
Sul	21	22	0.5	0.050	15	13	94	48	18	1.79	18
Sul	22	23	0.5	0.050	16	15	101	52	20	1.96	23
Sul	23	24	0.2	0.050	11	17	112	27	21	2.08	21
Sul	24	25	0.2	0.050	7	9	113	39	23	2.13	25
Sul	25	26	1	0.050	7	19	98	32	19	1.96	24
Sul	26	27	0.2	0.050	12	50	341	41	20	2.02	23
Sul	27	28	0.5	0.050	9	10	108	40	22	2.11	26
Sul	28	29	5	0.050	11	11	100	35	21	2.05	25
Sul	29	30	0.2	0.050	9	17	96	55	20	1.98	23
Sul	30	31	0	0.050	15	18	91	43	19	1.86	21
Sul	31	32	0.1	0.050	12	16	96	36	20	1.92	23
Sul	32	33	0.2	0.050	11	16	99	65	19	1.95	23
Sul	33	34	0.5	0.050	8	14	98	41	19	1.98	22
Sul	34	35	2	0.050	14	7	99	46	19	1.93	22
Sul	35	36	1	0.050	9	16	104	39	19	1.94	20
Sul	36	37	0	0.050	12	14	106	39	22	2.1	24
Sul	37	38	0	0.050	17	12	105	46	20	1.97	25
Sul	38	39	0.1	0.050	13	22	102	41	21	1.91	23
Sul	39	40	0.2	0.050	17	15	97	46	21	1.9	23
Sul	40	41	0.1	0.050	11	8	108	47	22	2.05	26
Sul	41	42	0.2	0.050	16	11	112	39	23	2.07	25
Sul	42	43	0	0.050	13	11	99	44	20	1.85	23
Sul	43	44	0	0.050	14	8	102	39	22	1.94	24
Sul	44	45	0	0.050	15	7	101	49	20	1.82	22
Sul	45	46	1	0.050	17	14	100	57	20	1.86	23
Sul	46	47	0.2	0.050	16	14	101	32	20	1.86	24

Testemunho	De (m)	Até (m)	Boudins %	Au ppm	Pb ppm	As ppm	Zn ppm	Cu ppm	V ppm	Al %	Cr ppm
Sul	47	48	0.1	0.050	14	11	102	41	21	1.92	24
Sul	48	49	4	0.050	17	16	99	45	21	1.9	23
Sul	49	50	0	0.050	15	16	110	50	24	2.04	26
Sul	50	51	0	0.050	10	11	102	35	21	1.98	23
Sul	51	52	0	0.050	9	13	104	39	20	1.93	21
Sul	52	53	0	0.050	14	15	101	50	21	1.98	23
Sul	53	54	1	0.050	15	13	104	44	21	1.95	23
Sul	54	55	0	0.050	21	15	99	67	20	1.89	21
Sul	55	56	0	0.050	12	25	101	52	19	1.93	23
Sul	56	57	0	0.050	10	19	100	36	21	1.95	23
Sul	57	58	0	0.050	10	18	108	43	21	2.02	23
Sul	58	59	0	0.050	10	19	99	50	19	1.86	21
Sul	59	60	0.1	0.050	13	16	106	42	20	1.92	22
Sul	60	61	0	0.050	9	9	108	37	21	1.99	23
Sul	61	62	0.2	0.050	9	9	108	37	21	1.99	23
Sul	62	63	0	0.050	9	9	108	37	21	1.99	23
Sul	63	64	0	0.050	9	9	108	37	21	1.99	23
Sul	64	65	0.2	0.050	16	13	103	44	19	1.86	21
Sul	65	66	0	0.050	16	13	103	44	19	1.86	21
Sul	66	67	0	0.050	16	13	103	44	19	1.86	21
Sul	67	68	0	0.050	16	13	103	44	19	1.86	21
Sul	68	69	0	0.050	20	35	102	42	20	1.96	22
Sul	69	70	0	0.050	20	35	102	42	20	1.96	22
Sul	70	71	0	0.050	20	35	102	42	20	1.96	22
Sul	71	72	0	0.050	20	35	102	42	20	1.96	22
Sul	72	73	0	0.050	69	33	216	45	21	2.07	23
Sul	73	74	0	0.050	69	33	216	45	21	2.07	23
Sul	74	75	0	0.050	69	33	216	45	21	2.07	23
Sul	75	76	0	0.050	69	33	216	45	21	2.07	23
Sul	76	77	0	0.050	25	27	92	60	20	1.85	21
Sul	77	78	0	0.050	25	27	92	60	20	1.85	21
Sul	78	79	0	0.050	25	27	92	60	20	1.85	21

Testemunho	De (m)	Até (m)	Boudins %	Au ppm	Pb ppm	As ppm	Zn ppm	Cu ppm	V ppm	Al %	Cr ppm
Sul	79	80	0.0	0.050	25	27	92	60	20	1.85	21
Sul	80	81	0.0	0.050	12	18	106	34	21	2.12	22
Sul	81	82	0.0	0.050	12	18	106	34	21	2.12	22
Sul	82	83	0.0	0.050	12	18	106	34	21	2.12	22
Sul	83	84	0.0	0.050	12	18	106	34	21	2.12	22
Sul	84	85	0.0	0.050	19	11	116	45	23	2.15	23
Sul	85	86	0.0	0.050	19	11	116	45	23	2.15	23
Sul	86	87	0.0	0.050	19	11	116	45	23	2.15	23
Sul	87	87.95	0.0	0.050	19	11	116	45	23	2.15	23
Norte	180	181	0.0	0.060	16	25	86	46	18	1.72	20
Norte	181	182	0.0	0.050	16	14	81	33	17	1.63	20
Norte	182	183	0.0	0.050	17	14	89	35	18	1.73	20
Norte	183	184	0.0	0.060	17	16	84	40	17	1.63	18
Norte	184	185	0.0	0.050	17	12	83	30	17	1.6	21
Norte	185	186	0.0	0.060	19	34	82	43	17	1.6	19
Norte	186	187	0.0	0.060	17	22	92	43	20	1.75	20
Norte	187	188	0.0	0.060	12	15	99	45	20	1.81	24
Norte	188	189	0.0	0.070	12	14	93	35	20	1.82	22
Norte	189	190	0.0	0.050	12	9	98	55	21	1.83	21
Norte	190	191	1.5	0.110	10	7	101	41	21	1.8	25
Norte	191	192	0.5	0.110	12	13	98	36	20	1.78	20
Norte	192	193	0.8	0.100	17	30	91	37	20	1.74	20
Norte	193	194	0.0	0.060	11	15	96	54	20	1.79	22
Norte	194	195	0.8	0.070	16	10	98	61	20	1.79	20
Norte	195	196	5.0	0.050	11	22	94	28	17	1.67	19
Norte	196	197	0.8	0.080	14	35	106	40	20	1.8	25
Norte	197	198	1.0	0.490	20	44	94	54	19	1.66	19
Norte	198	199	1.5	0.080	15	47	81	55	17	1.49	16
Norte	199	200	1.5	0.050	18	22	91	49	19	1.66	21
Norte	200	201	1.0	0.380	13	80	92	43	20	1.72	20
Norte	201	202	2.0	0.080	16	31	96	44	16	1.43	18
Norte	202	203	1.5	0.050	19	22	97	37	18	1.6	22

Testemunho	De (m)	Até (m)	Boudins %	Au ppm	Pb ppm	As ppm	Zn ppm	Cu ppm	V ppm	Al %	Cr ppm
Norte	203	204	2.5	0.240	17	80	105	34	18	1.61	18
Norte	204	205	2	0.100	18	34	91	39	17	1.52	17
Norte	205	206	2	0.140	19	29	91	36	15	1.46	19
Norte	206	207	2	0.050	20	19	92	27	16	1.61	18
Norte	207	208	0.5	0.050	20	27	72	40	13	1.38	15
Norte	208	209	1	0.050	16	30	60	21	10	1.01	14
Norte	209	210	1	0.360	16	49	95	57	12	1.48	14
Norte	210	211	1.5	0.050	46	28	82	32	13	1.37	14
Norte	211	212	0	0.110	11	55	91	45	16	1.56	18
Norte	212	213	0.8	0.070	16	84	94	38	16	1.59	17
Norte	213	214	0.5	0.180	15	65	90	33	16	1.48	17
Norte	214	215	1.5	0.110	11	74	93	24	15	1.49	17
Norte	215	216	0.8	0.070	16	26	93	45	17	1.59	16
Norte	216	217	1	0.200	16	43	90	39	16	1.48	15
Norte	217	218	4	0.900	16	17	103	46	15	1.52	16
Norte	218	219	1	0.410	10	36	94	32	18	1.61	18
Norte	219	220	1.5	1.380	14	486	88	25	16	1.49	19
Norte	220	221	1	0.051	20	137	83	25	13	1.25	12
Norte	221	222	0.8	0.050	18	160	94	33	14	1.36	14
Norte	222	223	1	1.820	17	95	92	35	14	1.33	17
Norte	223	224	0.5	0.440	20	312	87	29	11	1.02	11
Norte	224	225	1	0.980	16	464	97	31	10	0.9	9
Norte	225	226	1.5	1.380	14	890	62	34	8	0.75	8
Norte	226	227	1	0.050	11	301	72	26	9	0.88	9
Norte	227	228	1.5	0.330	9	132	61	20	9	0.83	8
Norte	228	229	1.5	0.280	12	325	59	25	8	0.76	7
Norte	229	230	1	0.230	17	208	82	30	10	1.03	11
Norte	230	231	1	0.160	35	45	91	34	10	0.92	12
Norte	231	232	1	1.710	22	41	78	33	10	0.9	9
Norte	232	233	1.5	0.200	25	61	78	29	9	0.84	9
Norte	233	234	1.5	0.100	13	165	78	23	10	0.96	10
Norte	234	235	0.5	0.930	13	113	74	32	10	0.95	12
Norte	235	236	1.5	0.100	13	180	80	32	11	1.01	12

Testemunho	De (m)	Até (m)	Boudins %	Au ppm	Pb ppm	As ppm	Zn ppm	Cu ppm	V ppm	Al %	Cr ppm
Norte	236	237	1	1.600	12	83	78	27	11	1.02	10
Norte	237	238	1.5	0.470	12	38	63	26	8	0.77	8
Norte	238	239	2	0.080	8	29	59	24	6	0.62	9
Norte	239	240	1.5	0.070	10	41	58	20	5	0.56	6
Norte	240	241	2	0.670	13	33	59	22	5	0.56	7
Norte	241	242	1	0.260	10	67	66	28	8	0.77	7
Norte	242	243	1.5	1.680	10	37	71	32	8	0.91	8
Norte	243	244	2	0.140	14	24	79	26	9	1.07	9
Norte	244	245	1	0.057	8	54	59	22	6	0.66	7
Norte	245	246	2.5	0.050	48	29	324	16	3	0.32	7
Norte	246	247	1.5	2.260	15	63	81	31	7	0.76	7
Norte	247	248	0.8	0.180	33	190	78	45	9	1.05	12
Norte	248	249	1	0.900	17	76	84	31	10	1.2	11
Norte	249	250	1	0.370	47	77	81	31	10	1.19	11
Norte	250	251	3	0.050	23	35	84	49	10	1.13	12
Norte	251	252	1.5	0.210	46	163	90	44	11	1.26	12
Norte	252	253	2	0.170	40	26	110	48	12	1.33	13
Norte	253	254	1	0.400	17	104	104	36	12	1.34	17
Norte	254	255	1	0.060	15	160	102	26	11	1.29	13
Norte	255	256	4	0.060	34	102	102	30	13	1.42	15
Norte	256	257	1.5	0.050	18	60	110	36	14	1.45	16
Norte	257	258	0.8	0.380	13	470	111	38	14	1.47	15
Norte	258	259	1	0.050	14	59	103	34	14	1.47	15
Norte	259	260	0.8	0.160	30	56	98	53	15	1.57	20
Norte	260	261	1	0.260	23	223	98	42	13	1.41	14
Norte	261	262	2.5	1.790	29	244	113	56	16	1.59	17
Norte	262	263	2	0.050	19	53	113	36	15	1.55	18
Norte	263	264	1.5	0.050	24	305	105	36	13	1.43	15
Norte	264	265	1	0.140	22	165	110	50	16	1.6	17
Norte	265	266	0.5	0.050	11	69	111	30	16	1.61	20
Norte	266	267	2.5	0.050	12	347	103	35	13	1.46	14
Norte	267	268	1	0.060	17	908	79	72	10	1.15	11
Norte	268	269	2.5	0.210	16	112	105	56	13	1.37	16

Testemunho	De (m)	Até (m)	Boudins %	Au ppm	Pb ppm	As ppm	Zn ppm	Cu ppm	V ppm	Al %	Cr ppm
Norte	269	270	1.5	0.050	25	127	104	40	13	1.36	14
Norte	270	271	1.5	0.059	17	218	106	49	13	1.34	14
Norte	271	272	1	0.230	27	155	101	48	13	1.37	18
Norte	272	273	1	0.110	15	103	93	40	15	1.43	15
Norte	273	274	2	0.050	11	205	94	45	13	1.32	15
Norte	274	275	1	0.100	296	533	89	50	9	1.01	13
Norte	275	276	1	0.050	15	106	103	42	14	1.44	15
Norte	276	277	1	0.140	17	289	143	53	19	1.93	20
Norte	277	278	0	0.260	30	237	111	38	16	1.64	21
Norte	278	279	0.2	0.200	12	1225	93	62	14	1.46	15
Norte	279	280	0.2	0.410	26	367	108	58	15	1.6	16
Norte	280	281	4	0.050	13	202	105	37	15	1.54	20
Norte	281	282	1	0.100	12	278	102	48	16	1.52	16
Norte	282	283	2	0.050	11	43	106	37	17	1.66	18
Mina	0.000	1.000	0.00	0.534	21	594	60	24	4	0.37	9
Mina	1.000	2.000	0.00	0.209	37	702	74	26	4	0.38	9
Mina	2.000	3.000	7.27	0.381	61	1120	87	27	3	0.29	10
Mina	3.000	4.000	7.27	0.264	78	675	89	25	3	0.32	6
Mina	4.000	5.000	9.09	0.510	39	2150	60	26	4	0.38	10
Mina	5.000	6.000	6.66	0.610	43	901	61	33	3	0.34	8
Mina	6.000	7.000	3.63	1.200	74	2930	169	30	4	0.34	8
Mina	7.000	8.000	3.03	0.815	93	2210	145	41	4	0.35	9
Mina	8.000	9.000	1.81	0.585	65	1095	91	39	5	0.41	10
Mina	9.000	10.000	8.48	1.449	111	3190	110	37	3	0.29	6
Mina	10.000	11.000	3.63	0.260	61	5160	151	31	4	0.4	8
Mina	11.000	12.000	1.21	0.684	41	1960	182	36	5	0.47	10
Mina	12.000	13.000	1.81	0.748	44	4320	93	41	7	0.63	13
Mina	13.000	14.000	3.03	0.756	51	2220	113	39	4	0.39	8
Mina	14.000	15.000	7.87	0.826	33	1985	84	46	4	0.38	22
Mina	15.000	16.000	2.42	0.390	28	1350	69	32	4	0.4	6
Mina	16.000	17.000	3.63	0.714	33	804	80	35	5	0.5	10
Mina	17.000	18.000	4.24	0.525	74	447	400	43	4	0.44	8

Testemunho	De (m)	Até (m)	Boudins %	Au ppm	Pb ppm	As ppm	Zn ppm	Cu ppm	V ppm	Al %	Cr ppm
Mina	18.000	19.000	1.21	0.300	55	1415	94	46	4	0.42	5
Mina	19.000	20.000	4.24	0.389	30	754	69	53	4	0.49	9
Mina	20.000	21.000	5.45	0.891	51	1485	75	38	4	0.45	11
Mina	21.000	22.000	1.21	0.360	47	3270	77	32	4	0.43	8
Mina	22.000	23.000	4.24	0.215	134	2360	90	42	8	0.69	17
Mina	23.000	24.000	1.21	0.297	31	3940	67	28	4	0.42	8
Mina	24.000	25.000	6.06	0.253	78	6820	140	37	3	0.37	9
Mina	25.000	26.000	1.21	0.136	74	1665	127	39	5	0.58	15
Mina	26.000	27.000	4.24	0.126	205	1540	385	33	5	0.52	10
Mina	27.000	28.000	1.21	0.174	63	3250	94	37	4	0.41	10
Mina	28.000	29.000	1.21	0.236	80	2960	103	42	4	0.48	6
Mina	29.000	30.000	9.69	0.559	189	3460	114	50	4	0.41	8
Mina	30.000	31.000	4.24	0.215	90	2530	80	46	4	0.44	8
Mina	31.000	32.000	4.24	0.304	906	6760	656	45	4	0.38	10
Mina	32.000	33.000	1.21	0.291	110	3760	97	42	4	0.46	6
Mina	33.000	34.000	5.45	0.334	69	2650	83	40	4	0.42	5
Mina	34.000	35.000	4.24	2.084	174	4560	146	56	4	0.37	6
Mina	35.000	36.000	6.06	0.189	263	1065	169	34	4	0.39	5
Mina	36.000	37.000	9.09	0.224	56	1745	76	39	3	0.36	6
Mina	37.000	38.000	6.66	0.195	45	2620	50	42	4	0.41	6
Mina	38.000	39.000	7.27	0.301	166	2860	124	34	4	0.34	6
Mina	39.000	40.000	6.06	0.299	144	1770	124	41	6	0.61	10
Mina	40.000	41.000	9.69	0.605	1750	3600	2480	74	5	0.48	6
Mina	41.000	42.000	12.12	0.608	38	2620	83	51	4	0.39	6
Mina	42.000	43.000	12.12	0.521	332	3900	435	69	4	0.44	8
Mina	43.000	44.000	3.03	0.494	30	10000	80	70	5	0.49	12
Mina	44.000	45.000	13.93	1.188	25	4000	32	46	3	0.31	6
Mina	45.000	46.000	9.09	0.657	28	4650	39	54	4	0.4	10
Mina	46.000	47.000	8.48	1.097	672	1655	517	69	4	0.34	6
Mina	47.000	48.000	2.42	0.326	5	1435	23	44	5	0.42	8
Mina	48.000	49.000	10.90	0.538	7	1045	28	61	4	0.33	7
Mina	49.000	50.000	4.24	0.568	26	1330	28	56	4	0.35	7

Testemunho	De (m)	Até (m)	Boudins %	Au ppm	Pb ppm	As ppm	Zn ppm	Cu ppm	V ppm	Al %	Cr ppm
Mina	50.000	51.000	1.81	2.471	4	1170	24	60	6	0.46	7
Mina	51.000	52.000	1.21	0.384	-2	1030	35	46	7	0.62	8
Mina	52.000	53.000	2.42	0.620	3	1165	31	59	7	0.61	8
Mina	53.000	54.000	3.63	0.467	5	887	41	51	8	0.69	9
Mina	54.000	55.000	1.81	0.283	30	577	215	38	10	1.12	12
Mina	55.000	56.000	4.24	0.231	4	868	58	54	13	1.16	16
Mina	56.000	57.000	3.03	0.118	4	685	54	64	11	1.11	14
Mina	57.000	58.000	2.42	0.184	6	353	52	57	12	1.22	15
Mina	58.000	59.000	0.60	0.084	13	722	59	49	12	1.31	15
Mina	59.000	60.000	4.24	0.051	6	600	51	49	11	1.16	14
Mina	60.000	61.000	1.21	0.150	33	1330	118	48	13	1.41	17
Mina	61.000	62.000	1.21	0.244	11	304	76	40	15	1.55	18
Mina	62.000	63.000	0.60	0.044	5	362	73	35	15	1.47	18
Mina	63.000	64.000	2.42	0.029	6	448	62	35	13	1.34	16
Mina	64.000	65.000	2.42	0.025	6	380	75	32	15	1.53	19
Mina	65.000	66.000	3.62	0.048	4	855	57	38	12	1.15	15
Mina	66.000	67.000	4.24	0.021	5	568	60	38	14	1.27	24
Mina	67.000	68.000	0.60	0.022	9	50	76	47	15	1.33	17
Mina	68.000	69.000	1.21	0.017	7	196	70	55	16	1.46	20
Mina	69.000	70.000	1.21	0.010	9	61	79	45	15	1.42	18
Mina	70.000	71.000	0.60	0.097	11	56	89	45	18	1.66	21
Mina	71.000	72.000	2.42	0.012	9	108	89	40	19	1.69	23
Mina	72.000	73.000	0.60	0.051	13	96	96	42	21	1.82	24
Mina	73.000	74.000	2.42	0.260	15	251	88	42	18	1.61	22
Mina	74.000	75.000	1.81	0.082	14	115	92	47	16	1.53	20
Mina	75.000	76.000	1.81	0.046	23	87	96	29	20	1.7	23
Mina	76.000	77.000	0.60	0.060	12	188	99	56	19	1.69	23
Mina	77.000	78.000	3.62	0.004	14	47	99	40	19	1.72	24
Mina	78.000	79.000	0.60	0.017	12	38	88	43	16	1.5	20
Mina	79.000	80.000	1.21	0.008	18	20	90	72	16	1.67	20
Mina	80.000	81.000	2.42	0.003	172	94	300	52	19	2.02	26
Mina	81.000	82.000	2.42	0.014	32	30	104	49	19	1.9	24
Mina	82.000	83.000	3.03	0.015	14	21	104	33	21	1.94	26
Mina	83.000	84.000	0.00	0.016	13	22	100	51	20	1.95	25

Testemunho	De (m)	Até (m)	Boudins %	Au ppm	Pb ppm	As ppm	Zn ppm	Cu ppm	V ppm	Al %	Cr ppm
Mina	84.000	85.000	0.60	0.016	12	14	91	36	21	1.94	25
Mina	85.000	86.000	3.62	0.018	14	23	93	41	21	1.92	25
Mina	86.000	87.000	0.60	0.014	18	20	99	34	21	2.06	23
Mina	87.000	88.000	0.60	0.009	28	18	109	34	21	1.98	22
Mina	88.000	89.000	0.00	0.016	16	20	101	39	22	1.98	24
Mina	89.000	90.000	0.00	0.016	18	22	91	34	23	2.08	27
Mina	90.000	91.000	0.00	0.016	91	69	207	34	17	1.6	20

ANEXO 2 – GEOQUÍMICA DE ROCHA TOTAL

Capítulo 3

Testemunho	COTA (m)	De (m)	Até (m)	° INTEMPERISMO	Boudins %	Au ppm *	Al % **	Cr ppm **	V ppm **
Mina	704	0	1	supergenica	0.00	0.031	0.37	9	4
Mina	705	1	2	oxidado	0.00	0.209	0.38	9	4
Mina	706	2	3	oxidado	7.27	0.381	0.29	10	3
Mina	707	3	4	oxidado	7.27	0.264	0.32	6	3
Mina	708	4	5	sulfetado	9.09	0.510	0.38	10	4
Mina	709	5	6	sulfetado	6.66	0.610	0.34	8	3
Mina	710	6	7	sulfetado	3.63	1.200	0.34	8	4
Mina	711	7	8	sulfetado	3.03	0.815	0.35	9	4
Mina	712	8	9	sulfetado	1.81	0.585	0.41	10	5
Mina	713	9	10	sulfetado	8.48	1.449	0.29	6	3
Mina	714	10	11	sulfetado	3.63	0.260	0.4	8	4
Mina	715	11	12	sulfetado	1.21	0.684	0.47	10	5
Mina	716	12	13	sulfetado	1.81	0.748	0.63	13	7
Mina	717	13	14	sulfetado	3.03	0.756	0.39	8	4
Mina	718	14	15	sulfetado	7.87	0.826	0.38	22	4
Mina	719	15	16	sulfetado	2.42	0.390	0.4	6	4
Mina	720	16	17	sulfetado	3.63	0.714	0.5	10	5
Mina	721	17	18	sulfetado	4.24	0.525	0.44	8	4
Mina	722	18	19	sulfetado	1.21	0.300	0.42	5	4
Mina	723	19	20	sulfetado	4.24	0.389	0.49	9	4
Mina	724	20	21	sulfetado	5.45	0.891	0.45	11	4
Mina	725	21	22	sulfetado	1.21	0.360	0.43	8	4
Mina	726	22	23	sulfetado	4.24	0.215	0.69	17	8
Mina	727	23	24	sulfetado	1.21	0.297	0.42	8	4
Mina	728	24	25	sulfetado	6.06	0.253	0.37	9	3
Mina	729	25	26	sulfetado	1.21	0.136	0.58	15	5
Mina	730	26	27	sulfetado	4.24	0.126	0.52	10	5
Mina	731	27	28	sulfetado	1.21	0.174	0.41	10	4
Mina	732	28	29	sulfetado	1.21	0.236	0.48	6	4
Mina	733	29	30	sulfetado	9.69	0.559	0.41	8	4
Mina	734	30	31	sulfetado	4.24	0.215	0.44	8	4

Testemunho	COTA (m)	De (m)	Até (m)	° INTEMPERISMO	Boudins %	Au ppm *	Al % **	Cr ppm **	V ppm **
Mina	735	31	32	sulfetado	4.24	0.304	0.38	10	4
Mina	736	32	33	sulfetado	1.21	0.291	0.46	6	4
Mina	737	33	34	sulfetado	5.45	0.334	0.42	5	4
Mina	738	34	35	sulfetado	4.24	2.084	0.37	6	4
Mina	739	35	36	sulfetado	6.06	0.189	0.39	5	4
Mina	740	36	37	sulfetado	9.09	0.224	0.36	6	3
Mina	741	37	38	sulfetado	6.66	0.195	0.41	6	4
Mina	742	38	39	sulfetado	7.27	0.301	0.34	6	4
Mina	743	39	40	sulfetado	6.06	0.299	0.61	10	6
Mina	744	40	41	sulfetado	9.69	0.605	0.48	6	5
Mina	745	41	42	sulfetado	12.12	0.608	0.39	6	4
Mina	746	42	43	sulfetado	12.12	0.521	0.44	8	4
Mina	747	43	44	sulfetado	3.03	0.494	0.49	12	5
Mina	748	44	45	sulfetado	13.93	1.188	0.31	6	3
Mina	749	45	46	sulfetado	9.09	0.657	0.4	10	4
Mina	750	46	47	sulfetado	8.48	1.097	0.34	6	4
Mina	751	47	48	sulfetado	2.42	0.326	0.42	8	5
Mina	752	48	49	sulfetado	10.90	0.538	0.33	7	4
Mina	753	49	50	sulfetado	4.24	0.568	0.35	7	4
Mina	754	50	51	sulfetado	1.81	2.471	0.46	7	6
Mina	755	51	52	sulfetado	1.21	0.384	0.62	8	7
Mina	756	52	53	sulfetado	2.42	0.620	0.61	8	7
Mina	757	53	54	sulfetado	3.63	0.467	0.69	9	8
Mina	758	54	55	sulfetado	1.81	0.283	1.12	12	10
Mina	759	55	56	sulfetado	4.24	0.231	1.16	16	13
Mina	760	56	57	sulfetado	3.03	0.118	1.11	14	11
Mina	761	57	58	sulfetado	2.42	0.184	1.22	15	12
Mina	762	58	59	sulfetado	0.60	0.084	1.31	15	12

Testemunho	COTA (m)	De (m)	Até (m)	° INTEMPERISMO	Boudins %	Au ppm *	Al % **	Cr ppm **	V ppm **
Mina	763	59	60	sulfetado	4.24	0.051	1.16	14	11
Mina	764	60	61	sulfetado	1.21	0.150	1.41	17	13
Mina	765	61	62	sulfetado	1.21	0.244	1.55	18	15
Mina	766	62	63	estéril	0.60	0.044	1.47	18	15
Mina	767	63	64	estéril	2.42	0.029	1.34	16	13
Mina	768	64	65	estéril	2.42	0.025	1.53	19	15
Mina	769	65	66	estéril	3.62	0.048	1.15	15	12
Mina	770	66	67	estéril	4.24	0.021	1.27	24	14
Mina	771	67	68	estéril	0.60	0.022	1.33	17	15
Mina	772	68	69	estéril	1.21	0.017	1.46	20	16
Mina	773	69	70	estéril	1.21	0.010	1.42	18	15
Mina	774	70	71	estéril	0.60	0.097	1.66	21	18
Mina	775	71	72	estéril	2.42	0.012	1.69	23	19
Mina	776	72	73	estéril	0.60	0.051	1.82	24	21
Mina	777	73	74	estéril	2.42	0.260	1.61	22	18
Mina	778	74	75	estéril	1.81	0.082	1.53	20	16
Mina	779	75	76	estéril	1.81	0.046	1.7	23	20
Mina	780	76	77	estéril	0.60	0.060	1.69	23	19
Mina	781	77	78	estéril	3.62	0.004	1.72	24	19
Mina	782	78	79	estéril	0.60	0.017	1.5	20	16
Mina	783	79	80	estéril	1.21	0.008	1.67	20	16
Mina	784	80	81	estéril	2.42	0.003	2.02	26	19
Mina	785	81	82	estéril	2.42	0.014	1.9	24	19
Mina	786	82	83	estéril	3.03	0.015	1.94	26	21
Mina	787	83	84	estéril	0.00	0.016	1.95	25	20
Mina	788	84	85	estéril	0.60	0.016	1.94	25	21
Mina	789	85	86	estéril	3.62	0.018	1.92	25	21
Mina	790	86	87	estéril	0.60	0.014	2.06	23	21
Mina	791	87	88	estéril	0.60	0.009	1.98	22	21
Mina	792	88	89	estéril	0.00	0.016	1.98	24	22
Mina	793	89	90	estéril	0.00	0.016	2.08	27	23
Mina	794	90	91	estéril	0.00	0.016	1.6	20	17

* Analisado pelo Laboratório da RPM

** Analisado pelo Laboratório SGS

Testemunho	COTA (m)	De (m)	Até (m)	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	MgO %	CaO %	Na2O %	K2O %	TiO2 %	P2O5 %	MnO %	Cr2O3 %
Mina	704	0	1	62.85	16.06	7.09	1.34	0.21	0.84	4.82	0.94	0.125	0.06	0.011
Mina	705	1	2	62.96	15.78	7.17	1.25	0.19	0.87	4.7	0.94	0.119	0.06	0.011
Mina	706	2	3	64.13	15.05	7.21	1.21	0.17	0.79	4.6	0.92	0.105	0.06	0.012
Mina	707	3	4	62.67	16.39	7.06	1.29	0.21	0.76	4.87	0.94	0.149	0.06	0.011
Mina	708	4	5	63.8	15.17	7.29	1.3	0.26	0.78	4.6	0.89	0.175	0.07	0.011
Mina	709	5	6	64.21	14.87	7.34	1.27	0.25	0.88	4.49	0.85	0.159	0.07	0.011
Mina	710	6	7	62.91	15.58	7.61	1.33	0.23	0.82	4.68	0.93	0.144	0.07	0.011
Mina	711	7	8	62.37	15.97	7.64	1.32	0.21	0.74	4.83	0.93	0.144	0.07	0.012
Mina	712	8	9	61.73	15.68	7.9	1.36	0.33	0.74	4.78	0.93	0.228	0.07	0.012
Mina	713	9	10	61.84	16.11	7.78	1.38	0.26	0.67	4.99	0.96	0.149	0.07	0.012
Mina	714	10	11	62.16	16.3	7.6	1.32	0.2	0.74	4.95	1.02	0.143	0.06	0.012
Mina	715	11	12	59.41	16.72	8.49	1.41	0.3	0.78	5.12	1.03	0.196	0.08	0.012
Mina	716	12	13	61.82	15.97	8.06	1.29	0.26	0.74	4.81	1	0.191	0.08	0.012
Mina	717	13	14	61.62	15.93	7.37	1.24	0.31	0.73	4.9	0.95	0.204	0.11	0.011
Mina	718	14	15	63.51	14.75	8.1	1.26	0.27	0.67	4.56	0.93	0.166	0.11	0.01
Mina	719	15	16	63.12	16.26	7.16	1.25	0.33	0.91	4.93	0.99	0.137	0.08	0.012
Mina	720	16	17	62.9	15.87	7.46	1.34	0.36	0.77	4.82	0.93	0.178	0.08	0.011
Mina	721	17	18	62.37	14.98	8.13	1.44	0.42	0.66	4.71	0.87	0.192	0.1	0.011
Mina	722	18	19	60.35	16.27	8.39	1.49	0.45	0.72	5.07	0.94	0.187	0.09	0.011
Mina	723	19	20	63.11	14.89	8	1.4	0.45	0.67	4.71	0.89	0.21	0.09	0.01
Mina	724	20	21	64.78	15.45	6.49	1.26	0.61	0.85	4.67	0.88	0.152	0.07	0.011
Mina	725	21	22	62	16.76	6.94	1.35	0.53	0.79	5.12	0.95	0.159	0.07	0.015
Mina	726	22	23	61.35	16.3	7.56	1.44	0.48	0.66	5.07	0.94	0.146	0.09	0.012
Mina	727	23	24	62.2	16.92	6.71	1.35	0.45	0.71	5.28	0.98	0.161	0.08	0.012
Mina	728	24	25	64.44	15.31	6.91	1.24	0.42	0.57	4.79	0.87	0.15	0.08	0.011
Mina	729	25	26	63.06	15.44	7.63	1.39	0.54	0.43	4.85	0.91	0.15	0.08	0.011
Mina	730	26	27	64.11	14.6	7.19	1.48	1.12	0.23	4.78	0.86	0.162	0.09	0.01
Mina	731	27	28	64.09	14.25	7.39	1.41	0.8	0.59	4.43	0.8	0.227	0.09	0.015
Mina	732	28	29	62.32	15.15	7.79	1.48	0.78	0.46	4.83	0.92	0.3	0.09	0.011
Mina	733	29	30	63.89	15.2	7.29	1.32	0.49	0.45	4.83	0.9	0.132	0.07	0.01
Mina	734	30	31	62.1	15.85	7.5	1.4	0.6	0.55	4.99	0.96	0.142	0.07	0.011

Testemunho	COTA (m)	De (m)	Até (m)	Th ppm	U ppm	V ppm	W ppm	Zr ppm	Y ppm	C _{TOT}	S _{TOT}	Mo ppm	Cu ppm	Pb ppm
Mina	735	31	32	16.9	3.1	119	6	206.9	35.9	0.84	1.35	1.9	49.5	932.9
Mina	736	32	33	15.2	3	109	5.7	194.3	33.3	1.02	1.27	2	41.1	127.7
Mina	737	33	34	17.3	3.1	114	6.2	198.1	33.1	1.11	1.31	1.5	46.4	76.3
Mina	738	34	35	16.3	3.6	115	5.7	190.8	33.6	1.17	1.71	2.3	51.9	177
Mina	739	35	36	12.4	3	139	3.8	198.4	34.7	1.15	1.02	1.8	33.6	235
Mina	740	36	37	12.1	2.8	132	4.5	213.7	31.9	1.01	1.18	2.2	41.5	56.2
Mina	741	37	38	13.9	3	109	5.4	211.9	31.7	0.97	1.29	1.9	51.8	52.5
Mina	742	38	39	14.8	3.1	116	4.4	210.7	34.1	0.92	1.32	1.9	36.5	158.9
Mina	743	39	40	13.9	3.3	121	4.6	199.6	37.7	0.93	1.67	2.3	47.1	160.9
Mina	744	40	41	15.7	3.2	128	7.1	190.3	34.5	0.95	2.45	1.8	69.7	1858
Mina	745	41	42	13.7	3.3	121	7.6	201.3	34.8	1.07	1.42	1.9	51.1	51.3
Mina	746	42	43	12.9	2.7	105	6.9	191.5	32.4	0.98	1.72	2.2	64.5	309.5
Mina	747	43	44	12.9	3	113	5.6	192	30.5	0.95	2.7	4	70	34
Mina	748	44	45	12.5	3	127	7.1	194.8	32.3	1.03	1.48	1.7	47.7	27.5
Mina	749	45	46	12.4	2.7	111	5.8	181	33.2	0.92	1.6	2.8	61	27.7
Mina	750	46	47	13.3	3	126	6	179.1	33	1.06	1.76	1.7	64.9	723.4
Mina	751	47	48	13.6	3	131	4.2	190.1	33.6	1.05	1.22	2	49.5	7.7
Mina	752	48	49	13.7	3.1	134	4.3	176.5	35.2	1.23	1.33	1.6	58.5	5.2
Mina	753	49	50	16.3	3.2	137	4.9	189.8	35.4	1.17	1.17	1.8	53.5	31.6
Mina	754	50	51	14.2	3.1	128	3.6	195	34	0.98	1.36	1.6	59	3.9
Mina	755	51	52	15	3.1	130	4.5	191.2	37.2	1.11	1.09	1.3	46	3.3
Mina	756	52	53	16.5	3.2	133	5.1	188.5	35.8	1.07	1.34	1.3	55.1	3.7
Mina	757	53	54	14.2	3.3	136	3.6	183.8	35.9	1.1	1.08	1.2	47.3	6.7
Mina	758	54	55	16.4	3.1	123	3.4	182	37.6	0.87	0.98	1.3	43.7	43.4
Mina	759	55	56	16.2	3.4	135	3.5	205.1	37.9	0.78	1.05	1.8	50.9	5.3
Mina	760	56	57	17.1	3.3	133	3.6	214.8	37.5	0.78	1.36	1.6	57.6	5.9
Mina	761	57	58	13.2	3.2	122	3.1	231.7	37.7	0.77	1.1	1.6	54.9	8.4
Mina	762	58	59	14	3.1	116	2.6	216.2	36.3	0.72	1.01	1.2	50.2	14.7

Testemunho	COTA (m)	De (m)	Até (ppm)	Zn ppm	Ni ppm	As ppm	Cd ppm	Sb ppm	Bi ppm	Ag ppm
Mina	704	0	1	61	31	729.4	0.3	0.5	0.2	0.1
Mina	705	1	2	66	30.3	842	0.5	0.5	0.4	0.2
Mina	706	2	3	82	34.7	2209.3	0.8	1.1	0.5	0.3
Mina	707	3	4	100	31.5	1138.3	1.1	0.7	0.4	0.3
Mina	708	4	5	63	32	1808.3	0.5	0.8	0.2	0.1
Mina	709	5	6	64	32.2	843	0.6	0.6	0.2	0.1
Mina	710	6	7	167	32.3	2352.9	1.9	1.2	0.5	0.3
Mina	711	7	8	142	34.6	1861	1.8	0.8	0.3	0.6
Mina	712	8	9	96	34.4	959.4	1.1	0.6	0.3	0.2
Mina	713	9	10	114	38.8	2707.8	1.2	1.1	0.4	0.6
Mina	714	10	11	138	43.5	4519	1.6	1.8	0.4	0.2
Mina	715	11	12	190	41.6	1743.8	2.4	0.9	0.2	0.3
Mina	716	12	13	92	47.5	3692.9	1.2	1.6	0.3	0.3
Mina	717	13	14	125	35.8	1998.9	1.8	1	0.2	0.2
Mina	718	14	15	92	37.7	1822.4	1	1	0.3	1
Mina	719	15	16	69	37.4	1272.3	0.9	0.7	0.3	0.1
Mina	720	16	17	77	33.5	745.4	0.9	0.7	0.2	0.2
Mina	721	17	18	389	32.3	396.4	5.4	0.4	0.2	0.2
Mina	722	18	19	79	37.9	1239.2	0.9	0.6	0.2	0.2
Mina	723	19	20	63	35.7	628.9	0.8	0.5	0.2	0.2
Mina	724	20	21	75	34	1275.8	0.9	0.7	0.3	0.3
Mina	725	21	22	88	38.9	2872.8	1.2	1.2	0.2	0.2
Mina	726	22	23	92	38.5	2027.5	1.3	0.8	0.3	0.3
Mina	727	23	24	62	41.1	3437.5	0.9	1.1	0.2	0.1
Mina	728	24	25	143	32	5925.3	1.9	1.8	0.4	0.3
Mina	729	25	26	128	29.7	1318.1	2.1	0.6	0.3	0.3
Mina	730	26	27	360	27.8	1177.9	4.6	1	0.1	0.4
Mina	731	27	28	98	37.4	2454.5	1.5	1	0.2	0.3
Mina	732	28	29	99	34.8	2429.9	1.6	1	0.1	0.3
Mina	733	29	30	104	30.3	2640.4	1.7	1	0.2	0.4
Mina	734	30	31	85	30.8	2004.7	1.3	0.8	0.3	0.4

Testemunho	COTA (m)	De (m)	Até (ppm)	Zn ppm	Ni ppm	As ppm	Cd ppm	Sb ppm	Bi ppm	Ag ppm
Mina	735	31	32	745	37.9	6452	12.7	2.7	0.2	1.7
Mina	736	32	33	109	36	3460.9	1.2	1.4	0.2	0.6
Mina	737	33	34	98	39.5	2698.4	1.1	1.3	0.3	0.4
Mina	738	34	35	111	46.2	4681.6	0.9	1.7	0.4	0.8
Mina	739	35	36	149	30.8	906.9	1.7	0.8	0.2	0.4
Mina	740	36	37	77	34.3	1564	0.9	0.8	0.2	0.3
Mina	741	37	38	55	41.7	2412.4	0.5	1.1	0.2	0.3
Mina	742	38	39	115	32.2	2547.1	1.4	1.1	0.2	0.3
Mina	743	39	40	117	35.7	1527.9	1.3	0.9	0.5	0.4
Mina	744	40	41	2566	36.6	3423.1	35.8	2.2	2.8	2.8
Mina	745	41	42	92	36.3	2316.6	0.8	1	0.3	0.1
Mina	746	42	43	533	35.8	3695.2	7.9	1.5	0.3	1.4
Mina	747	43	44	76	75.3	10000	1	4.5	0.7	0.2
Mina	748	44	45	35	40.6	4421.4	0.3	1.5	0.2	0.2
Mina	749	45	46	46	37.9	4598.5	0.3	1.6	0.2	0.2
Mina	750	46	47	475	37.5	1587.6	6.6	0.8	0.8	4.5
Mina	751	47	48	21	35.4	1186.3	0.1	0.7	0.2	0.1
Mina	752	48	49	28	33.7	1038.9	0.1	0.5	0.2	0.1
Mina	753	49	50	30	31.3	1135.9	0.1	0.5	0.2	0.1
Mina	754	50	51	25	34.4	955.6	0.1	0.4	0.2	0.3
Mina	755	51	52	37	33.2	996.2	0.1	0.5	0.2	0.1
Mina	756	52	53	27	36.6	954.2	0.1	0.5	0.3	0.1
Mina	757	53	54	41	37.3	822.2	0.1	0.5	0.2	0.1
Mina	758	54	55	251	31.7	612.2	1.2	0.6	0.2	0.2
Mina	759	55	56	54	38.5	741.5	0.1	0.5	0.3	0.1
Mina	760	56	57	50	36	689.2	0.1	0.6	0.5	0.1
Mina	761	57	58	52	35.4	279.6	0.1	0.4	0.4	0.1
Mina	762	58	59	55	32	666.3	0.1	0.5	0.3	0.2

Testemunho	COTA (m)	De (m)	Até (ppm)	Zn ppm	Ni ppm	As ppm	Cd ppm	Sb ppm	Bi ppm	Ag ppm
Mina	763	59	60	52	32.7	583.4	0.1	0.4	0.3	0.2
Mina	764	60	61	108	33.5	1125	0.3	0.7	0.2	0.3
Mina	765	61	62	74	29.1	244.3	0.1	0.3	0.2	0.1
Mina	766	62	63	70	29.8	371.6	0.1	0.3	0.2	0.1
Mina	767	63	64	63	31.6	420.9	0.1	0.4	0.3	0.1
Mina	768	64	65	71	27.8	293	0.1	0.6	0.2	0.1
Mina	769	65	66	55	29.6	732.1	0.1	0.4	0.2	0.1
Mina	770	66	67	60	28.1	521.4	0.1	0.4	0.2	0.1
Mina	771	67	68	76	27.8	39.4	0.1	0.3	0.3	0.1
Mina	772	68	69	73	39.3	168.1	0.1	0.4	0.4	0.1
Mina	773	69	70	82	30.8	46.8	0.1	0.3	0.3	0.1
Mina	774	70	71	94	33.2	55.8	0.1	0.2	0.3	0.1
Mina	775	71	72	90	34.4	109.8	0.1	0.3	0.3	0.1
Mina	776	72	73	92	34.6	76.7	0.1	0.3	0.3	0.1
Mina	777	73	74	86	31.7	212.4	0.1	0.3	0.3	0.1
Mina	778	74	75	89	32.6	156.4	0.1	0.3	0.3	0.1
Mina	779	75	76	93	32	53.9	0.1	0.2	0.2	0.1
Mina	780	76	77	96	37.1	140.3	0.1	0.3	0.3	0.1
Mina	781	77	78	96	34.1	35.5	0.1	0.2	0.3	0.1
Mina	782	78	79	96	33.9	40.4	0.1	0.2	0.2	0.1
Mina	783	79	80	79	32.3	25.9	0.1	0.3	0.6	0.2
Mina	784	80	81	285	34.4	85.2	1.3	0.3	0.3	0.4
Mina	785	81	82	102	33.5	35.7	0.1	0.2	0.3	0.2
Mina	786	82	83	101	31.7	14.8	0.1	0.2	0.2	0.1
Mina	787	83	84	81	34.4	15.6	0.1	0.1	0.3	0.1
Mina	788	84	85	89	29.7	14.8	0.1	0.2	0.3	0.1
Mina	789	85	86	91	31.6	26.5	0.1	0.1	0.3	0.1
Mina	790	86	87	91	28	18.7	0.1	0.2	0.2	0.1
Mina	791	87	88	103	29.6	16	0.1	0.1	0.3	0.2
Mina	792	88	89	102	34.1	23.5	0.1	0.2	0.3	0.1
Mina	793	89	90	89	29.9	16.2	0.1	0.2	0.3	0.1

Testemunho	COTA (m)	De (m)	Até (ppm)	Zn ppm	Ni ppm	As ppm	Cd ppm	Sb ppm	Bi ppm	Ag ppm
Mina	763	59	60	52	32.7	583.4	0.1	0.4	0.3	0.2
Mina	764	60	61	108	33.5	1125	0.3	0.7	0.2	0.3
Mina	765	61	62	74	29.1	244.3	0.1	0.3	0.2	0.1
Mina	766	62	63	70	29.8	371.6	0.1	0.3	0.2	0.1
Mina	767	63	64	63	31.6	420.9	0.1	0.4	0.3	0.1
Mina	768	64	65	71	27.8	293	0.1	0.6	0.2	0.1
Mina	769	65	66	55	29.6	732.1	0.1	0.4	0.2	0.1
Mina	770	66	67	60	28.1	521.4	0.1	0.4	0.2	0.1
Mina	771	67	68	76	27.8	39.4	0.1	0.3	0.3	0.1
Mina	772	68	69	73	39.3	168.1	0.1	0.4	0.4	0.1
Mina	773	69	70	82	30.8	46.8	0.1	0.3	0.3	0.1
Mina	774	70	71	94	33.2	55.8	0.1	0.2	0.3	0.1
Mina	775	71	72	90	34.4	109.8	0.1	0.3	0.3	0.1
Mina	776	72	73	92	34.6	76.7	0.1	0.3	0.3	0.1
Mina	777	73	74	86	31.7	212.4	0.1	0.3	0.3	0.1
Mina	778	74	75	89	32.6	156.4	0.1	0.3	0.3	0.1
Mina	779	75	76	93	32	53.9	0.1	0.2	0.2	0.1
Mina	780	76	77	96	37.1	140.3	0.1	0.3	0.3	0.1
Mina	781	77	78	96	34.1	35.5	0.1	0.2	0.3	0.1
Mina	782	78	79	96	33.9	40.4	0.1	0.2	0.2	0.1
Mina	783	79	80	79	32.3	25.9	0.1	0.3	0.6	0.2
Mina	784	80	81	285	34.4	85.2	1.3	0.3	0.3	0.4
Mina	785	81	82	102	33.5	35.7	0.1	0.2	0.3	0.2
Mina	786	82	83	101	31.7	14.8	0.1	0.2	0.2	0.1
Mina	787	83	84	81	34.4	15.6	0.1	0.1	0.3	0.1
Mina	788	84	85	89	29.7	14.8	0.1	0.2	0.3	0.1
Mina	789	85	86	91	31.6	26.5	0.1	0.1	0.3	0.1
Mina	790	86	87	91	28	18.7	0.1	0.2	0.2	0.1
Mina	791	87	88	103	29.6	16	0.1	0.1	0.3	0.2
Mina	792	88	89	102	34.1	23.5	0.1	0.2	0.3	0.1
Mina	793	89	90	89	29.9	16.2	0.1	0.2	0.3	0.1
Mina	794	90	91	184	30.2	48	0.5	0.3	0.2	0.1

ANEXO 3 – DIFRATOMETRIA DE RAIO X

