



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTILOS DE MINERALIZAÇÃO NOS CORPOS LARANJEIRAS E
CARVOARIA NO DEPÓSITO DE AU CÓRREGO DO SÍTIO,
QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG**

Maria Luíza Morais de Souza

MONOGRAFIA nº 499

Ouro Preto, janeiro de 2024

**ESTILOS DE MINERALIZAÇÃO NOS CORPOS
LARANJEIRAS E CARVOARIA NO DEPÓSITO DE Au
CÓRREGO DO SÍTIO, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marliére de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitor de Graduação

Prof. Dr. Adilson Pereira dos Santos

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. José Alberto Naves Cocota Júnior

Vice-Diretor

Prof. Dr. Claudio Eduardo Lana

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Geraldo Magela Santos Sampaio

Vice-Chefe

Prof. Dr. Leonardo Eustáquio da Silva Gonçalves

MONOGRAFIA

Nº499

**ESTILOS DE MINERALIZAÇÃO NOS CORPOS
LARANJEIRAS E CARVOARIA NO DEPÓSITO DE Au
CÓRREGO DO SÍTIO, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG**

Maria Luíza Morais de Souza

Orientador

Prof. Dr. Gustavo Henrique Coelho de Melo

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2023/2.

OURO PRETO

2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S729e Souza, Maria Luiza Morais de.
Estilos de mineralização nos corpos Laranjeiras e Carvoaria do depósito de Au Córrego do Sítio Quadrilátero Ferrífero MG. [manuscrito] / Maria Luiza Morais de Souza. - 2024.
50 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Henrique Coelho Melo.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Geologia econômica. 2. Metalogenia. 3. Ouro - Mineralizações auríferas. I. Melo, Gustavo Henrique Coelho. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 553.411

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Maria Luíza Morais de Souza

ESTILOS DE MINERALIZAÇÃO NOS CORPOS LARANJEIRAS E CARVOARIA NO DEPÓSITO DE Au CÓRREGO DO SÍTIO, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de engenheira geóloga

Aprovada em 25 de janeiro de 2024

Membros da banca

Gustavo Henrique Coelho de Melo - Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto)
Edison Tazava - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Brenner Otávio Luiz Ribeiro - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Gustavo Henrique Coelho de Melo, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 09/02/2024



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Henrique Coelho de Melo, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/02/2024, às 10:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0667028** e o código CRC **F34350C6**.

Agradecimentos

Agradeço ao professor Dr. Gustavo Melo pela orientação, ensinamentos, disponibilidade e paciência. A todo time da Gerência de Serviços Técnicos de Córrego do Sítio pelo incentivo e suporte para a conclusão deste trabalho. Em especial, à equipe do galpão da Gerência de Geologia e Exploração, pela ajuda e convivência: Ricardo, Tião, Cristina, Paulinho, Thaís, Uarlem e Douglas. Um agradecimento também muito especial aos geólogos Jéssica Santos, Mariana Marra, Bárbara Nassif, Gabriel Fontanella, André Andrade, Thassio Souza e Mariana Gazire, por contribuírem com ensinamentos enriquecedores, ideias, discussões e por todo o apoio. Obrigada pela confiança depositada em mim durante todo o período de estágio.

Agradeço aos meus pais, Claudia e Edilson, pelo apoio incondicional e por não medirem esforços para a realização deste sonho. Às minhas irmãs, Maria Clara e Maria Júlia, por todo amor, companheirismo e por serem fonte de inspiração. Vocês são os motivos de eu continuar.

As grandiosas amigas que a graduação me trouxe, aos que sempre me deram conselhos e acolhimento: Luis Carlos, Mariana Vilela, Eduardo e Davi. Tenho um carinho especial por vocês. Muito obrigada!

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho. Agradeço a Universidade Federal de Ouro Preto e seu departamento de Geologia pelo ensino de qualidade e a todos os professores que me inspiraram durante a graduação.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	viii
SUMÁRIO	x
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
RESUMO	xix
ABSTRACT	xvii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.4 JUSTIFICATIVA	5
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
1.5.1 Revisão bibliográfica.....	5
1.5.2 Trabalhos de campo.....	6
1.5.3 Estudos petrográficos	6
2 CONTEXTO GEOLÓGICO	7
2.1 QUADRILÁTERO FERRÍFERO	7
2.1.1 Arcabouço Estratigráfico.....	9
2.1.2 Evolução Estrutural-Metamórfica	12
3 GEOLOGIA LOCAL	18
3.1 DEPÓSITOS DE AU OROGÊNICO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO.....	18
3.2 QUADRO ESTRATIGRÁFICO LOCAL.....	20
3.3 CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS DO DEPÓSITO DE CÓRREGO DO SÍTIO	22
4 RESULTADOS	25
4.1 INTRODUÇÃO.....	25
4.2 ROCHAS HOSPEDEIRAS	26
4.3 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DO CORPO DE MINÉRIO LARANJEIRAS	27
4.3.1 Descrição petrográfica macroscópica	27
4.3.2 Descrição petrográfica microscópica.....	31
4.4 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DO CORPO DE MINÉRIO CARVOARIA	34
4.4.1 Descrição petrográfica macroscópica	34
4.4.2 Descrição petrográfica microscópica.....	37
5 DISCUSSÕES	42
5.1 SIMILARIDADES ENTRE OS CORPOS DE MINÉRIO LARANJEIRAS E CARVOARIA	42
5.2 DIFERENÇAS NAS CARACTERÍSTICAS E NOS PROCESSOS RESPONSÁVEIS PELA MINERALIZAÇÃO ENTRE OS CORPOS DE MINÉRIO LARANJEIRAS E CARVOARIA.....	43

6 CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
APÊNDICE	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Mapa litológico dos depósitos de Córrego do Sítio com seção geológica e destaque para os depósitos 1 - Rosalino, 2 – Cachorro Bravo, 3 - Laranjeiras, 4 - Carvoaria. Aham-se plotados os corpos mineralizados e os limites da zona de cisalhamento. Retirado de Santos (2020) e modificado de Pereira et al. (2013).....	3
Figura 1.2 - Mapa de acesso à área de estudo, região de Córrego do Sítio destacada em vermelho, retirado de Muniz (2017).....	4
Figura 2.1 - O cráton São Francisco, juntamente com seu equivalente africano, o cráton do Congo. Modificado de Alkmim e Martins Neto (2012).	7
Figura 2.2 - Mapa geológico regional do cráton do São Francisco, indicando a região do Quadrilátero Ferrífero, modificado de Baltazar e Lobato (2020).	8
Figura 2.3 - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, retirado de Endo <i>et al.</i> (2020).....	9
Figura 2.4 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero, retirada de Endo <i>et al.</i> (2020). 12	
Figura 0.1 - Evolução tectono-estratigráfica do Supergrupo Rio das Velhas, retirado de Baltazar e Zucchetti (2007).....	16
Figura 3.1 - Ambientes de formação de depósitos de ouro com destaque para Au Orogênico, modificado de Goldfarb e Groves, 2015.	18
Figura 3.2 - Depósitos de Au Orogênico podem se formar em uma variedade de profundidades, desde tão rasos quanto 3 km até tão profundos quanto 20 km. A maioria dos depósitos se forma na fácies de xisto verde ou nos limites entre xisto verde e anfíbolito. Retirado de Groves, Santosh e Deng <i>et al</i> (2020), modificado de Groves e Santosh (2015).....	19
Figura 3.3 - Colunas estratigráficas dos três blocos tectonoestratigráficos do greenstone belt do Rio das Velhas. A figura não representa a espessura das camadas, nem a separação vertical implica uma relação temporal linear. Depósitos de ouro: 1- Santa Izabel (complexo Paciência), Ouro Fino e Cata Branca; 2- Morro Velho; 3- Roça Grande; 4- Cuiabá e Lamego; 5- Juca Vieira; 6- Raposos; 7- Córrego do Sítio; 8- Santa Quitéria; 9- Pilar. Modificado de Araújo et al. (2020).....	21
Figura 4.1 - Principais feições macroscópicas dos litotipos hospedeiros dos alvos Laranjeiras e Carvoaria. a) Contato entre metapelito, cinza escuro e, metagrauvaca, cinza claro. b) Predominância de metapelitos com venulações quartzo-carbonáticas intercaladas. c) Predominância de metagrauvaca com finas venulações. d) Contato entre rochas dobrado.....	26
Figura 4.2 - Seção esquemática do Corpo Laranjeiras, com direção E-W, com o testemunho de sondagem utilizado neste estudo petrográfico.....	27
Figura.4.3 - Log esquemático do testemunho de sondagem UCS7389, do corpo de minério Laranjeiras.....	28
Figura 4.4 - Zonas mineralizadas do corpo Laranjeiras. É possível notar rochas intensamente deformadas acompanhadas por alteração hidrotermal, desenvolvidas em metapelitos e metagrauvasas.....	30

Figura 4.5 - Zonas mineralizadas analisadas em testemunho de sondagem do corpo Laranjeiras. a) e b) Metapelito hidrotermalizado com grãos de pirita estirados. c) Metagrauvaca hidrotermalizada com presença de arsenopirita muito fina e d) Metagraucava hidrotermalizada com venulações intensas de quartzo e carbonato.....	31
Figura 4.6 - Relação entre minerais de ganga e sulfetos do corpo de minério Laranjeiras.....	32
Figura 4.7 - Fotomicrografias de luz transmitida, luz polarizada cruzada, dos principais padrões de alteração hidrotermal. a) Silificação (Qtz) e carbonatação (Cb). b) e c) Seritização (Ms). d) Venulação quartzo-carbonáticas, intercaladas por veio quartzo-carbonático. e) Faixa de sericitização, intercalada por veio de quartzo. f) Foliação milonítica, evidenciando estrutura como banda de cisalhamento com pares S-C.....	33
Figura 4.8 - Principais sulfetos presentes analisados em luz refletida. a), b) e c) Arsenopirita (Apy) d) Calcopirita (Ccp). e) Pirrotita (Po). f) Pirita (Py).....	34
Figura 4.9 - Seção esquemática do Corpo Carvoaria, com direção E-W, com o testemunho de sondagem utilizado neste estudo petrográfico.....	35
Figura 4.10 - Log esquemático do testemunho de sondagem UCS7455, do corpo de minério Carvoaria.....	36
Figura 4.11 - Zonas mineralizadas intensamente deformadas. a) e b) Veio quartzo-carbonático hidrotermalizado. c) e d) Metapelito e metagrauvaca intercalada hidrotermalizada.....	37
Figura 4.12 - Zonas mineralizadas analisadas em testemunho de sondagem do corpo Carvoaria. a) e b) Veio de quartzo hidrotermalizado com presença de bertierita (Bert); c) Metapelito hidrotermalizado com presença de pirita (Py) estirada e d) Metapelito hidrotermalizado com presença de Bert e carbonatação intensa.....	38
Figura 4.13 - Relação entre minerais de ganga e sulfetos do corpo de minério Carvoaria.....	39
Figura 4.14 – Fotomicrografias de luz transmitida, luz polarizada cruzada, das principais feições microscópicas das rochas hospedeiras. a), b) e c) Veio de quartzo -carbonato e bertierita (Bert). d), e) e f) Veios de quartzo-carbonato com intercalação de venulações quartzo-carbonáticas.....	40
Figura 4.15 - Principais sulfetos presentes analisados em luz refletida. a), b) e c) Bertierita (Bert); d) Arsenopirita (Apy). e) Calcopirita (Ccp) e Pirrotita (Po). f) Pirita (Py).....	41

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Evolução geotectônica do QFe e seus regimes e características segundo Alkmim e Marshak (1998), modificado de Muniz (2017).....	13
Tabela 2.2 - Sequência de eventos e suas características ao longo do tempo geológico, relacionadas a evolução do Quadrilátero Ferrífero, modificado de Endo <i>et al.</i> (2020).	14
Tabela 2.2 - Sequência de eventos e suas características ao longo do tempo geológico, relacionadas a evolução do Quadrilátero Ferrífero, modificado de Endo <i>et al.</i> (2020). (Continuação)	15
Tabela 2.3 - Síntese da evolução estrutural do Greenstone Belt Arqueano Rio das Velhas e sequências de coberturas Proterozóica dentro da região do Quadrilátero Ferrífero. Modificado de Martins (2011).	16
Tabela 2.3 - Síntese da evolução estrutural do Greenstone Belt Arqueano Rio das Velhas e sequências de coberturas Proterozóica dentro da região do Quadrilátero Ferrífero. Modificado de Martins (2011).(Continuação)	17
Tabela 3.1 - Características mineralógicas dos diques e sills de Córrego do Sítio. Modificado de Lima (2012).	24
Tabela 5.1 – Estilos de mineralização e minerais associados do depósito de Córrego do Sítio, modificado de Porto (2008).....	43

Resumo

O Quadrilátero Ferrífero (QFe), localizado na borda sul do Cráton São Francisco, é uma das mais importantes províncias metalogenéticas do mundo. O *Greenstone Belt* Rio das Velhas (GBRV) é a unidade basal de uma sequência de rochas supracrustais que compõem o QFe e hospedam seus principais depósitos auríferos. Em específico, na porção nordeste do QFe, foi descoberto o lineamento aurífero Córrego do Sítio, durante as atividades de exploração para a continuidade da mineralização encontrada na Mina São Bento, localizada no distrito de Brumal, município de Santa Bárbara-MG. Essa faixa corresponde a um lineamento aurífero de cerca de 16 km de comprimento e é caracterizado por três zonas de cisalhamento principais: Cristina, São Bento-Donana e Córrego do Sítio, ao longo de um *trend* NE-SW. Três unidades informais representam o depósito de Au Córrego do Sítio: Inferior, Intermediária e Superior. Os corpos Laranjeiras e Carvoaria, alvos desse trabalho, estão inseridos na unidade Córrego do Sítio inferior e, ainda assim, com particularidades nas zonas mineralizadas. Neste contexto, a caracterização petrográfica é essencial para a identificação das particularidades dentro do próprio lineamento. Diante disso, a sulfetação do corpo Laranjeiras se destaca principalmente pela presença de arsenopirita, pirita e pirrotita. Já a sulfetação do corpo Carvoaria é caracterizada pela presença de bertierita, arsenopirita, pirita e pirrotita. Isso pode ser reflexo das diferentes posições estruturais em que os corpos estão inseridos, na composição do fluido hidrotermal, condições físico-químicas de formação e influência de outros fatores geológicos, ou mesmo a combinação desses mecanismos concomitantemente. Além disso, essa compreensão pode ser necessária também para caracterização de aspectos geometalúrgicos que ajudam na previsibilidade do comportamento do minério na planta metalúrgica.

Palavras chave: Córrego do Sítio, Ouro, Geologia Econômica, Mineralizações auríferas

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O Quadrilátero Ferrífero (QFe), situado na fronteira sul do Cráton São Francisco, é reconhecido por sua riqueza mineral, sendo considerado uma das mais importantes províncias metalogenéticas do mundo. Nessa região, encontram-se depósitos minerais de ouro, ferro e manganês de relevância global (Endo *et al.* 2020; Baltazar e Lobato 2020). As sequências *greenstone belts* arqueanas pertencentes ao Supergrupo Rio das Velhas, abrigam depósitos de Au Orogênico de classe mundial, como Morro Velho e Cuiabá (Lobato *et al.* 2001a, b; Viel *et al.* 2007). Nesse contexto, está inserido na porção nordeste do QFe, o lineamento NNE/SSW Córrego do Sítio, com 16 km de extensão e que hospeda diversos corpos mineralizados em ouro (Lima 2012; Pereira *et al.* 2013; Ribeiro *et al.* 2013).

Embora os depósitos de ouro no QFe exibam variedades, os depósitos hospedados em sequências *greenstone belts* arqueanas dominam tanto em quantidade, quanto no que diz respeito ao teor de metais (Lobato *et al.* 2020). Os corpos de minério relacionados ao lineamento Córrego do Sítio estão associados a rochas metassedimentares interpretadas como sequências turbidíticas de Bouma incompletas, variando de metapelitos à metagrauvascas e a formações ferríferas bandadas. O lineamento Córrego do Sítio é uma estrutura regional associada a zonas de cisalhamento NE/SW e está localizado no município de Santa Barbara – MG. Os principais corpos auríferos ao longo do lineamento Córrego do Sítio são: Laranjeiras, Carvoaria, Mutuca, Rosalino, Cachorro Bravo, Cristina, Donana e Sangue de Boi. Apresentam um forte controle estrutural e são caracterizados por alteração hidrotermal, incluindo zonas de silicificação, sulfetação, carbonatação, sericitização e cloritização (Pereira *et al.* 2013).

Os principais depósitos de Au pertencentes ao QFe são classificados como depósitos de Au Orogênico formados em terrenos metamórficos como resultado de eventos tectônicos de regime compressional ou transpressional. Comumente, esses depósitos estão hospedados ao longo de grandes lineamentos estruturais e podem ser classificados de acordo com sua profundidade (Groves *et al.* 1998; Goldfarb e Groves 2015): hipozonal (profundidade maior que 12 km), mesozonal (profundidade entre 6 e 12 km) e epizonal (profundidade menor que 6 km).

Os depósitos de Au orogênico do QFe são tradicionalmente caracterizados como mesozonais a epizonais, com fluidos mineralizantes gerados em temperaturas entre 250°C e 350°C, gerados por devolatização do pacote de rochas metavulcanossedimentares, sin- a pós eventos tectono-metamórficos no facies xisto verde durante a orogenia neoarqueana Rio das Velhas (Lobato *et al.* 2001a, 2001b, 2007).

O lineamento Córrego do Sítio atualmente compreende três zonas de cisalhamento principais (Figura 1.1) de direção NE-SW que, de NW para SE são denominadas: São Bento-Donana, Cristina e Córrego do Sítio (Lima 2012). Na porção SW do lineamento encontra-se a seção denominada de Córrego do Sítio I (CDSI), separada da porção NE por uma falha inferida, da seção denominada de Córrego do Sítio II (CDSII). Os alvos de estudo propostos, Laranjeiras e Carvoaria, encontram-se em Córrego do Sítio I e fazem parte também: Mutuca, Rosalino, Cachorro Bravo e Pneu.

O sistema mineralizante do depósito de Córrego do Sítio contém sua mineralização aurífera associada à percolação de fluidos hidrotermais, caracterizado pela ocorrência de ouro em veios, fraturas ou falhas dentro de rochas hospedeiras e formados geralmente por processos hidrotermais, que podem ocorrer de diferentes formas, incluindo grãos livres, disseminados ou em associação com minerais como arsenopirita, bertierita, pirita, estibnita, pirrotita, pirita, calcopirita e esfalerita (Pereira *et al.* 2013; Lima 2012; Ribeiro *et al.* 2013). Essa atividade hidrotermal é responsável por processos de alteração hidrotermal como cloritização, carbonatação, sericitização e sulfetação, das zonas distais às proximais (Groves *et al.* 1998).

Nesse contexto, na porção central do depósito (Figura 1.1) encontram-se os corpos de minério denominados de Laranjeiras e Carvoaria, inseridos na unidade Córrego do Sítio inferior e, ainda assim, com particularidades nas zonas mineralizadas. Estes corpos de minério, apesar de serem amplamente estudados, ainda possuem algumas questões em aberto. Dentre estas questões, destacam-se as associações minerais distintas e a caracterização da forma de ocorrência de ouro em cada corpo. As diferenças descritivas encontradas nos dois corpos podem apontar para diferentes condições de formação em termos estruturais e/ou condições físico-químicas dos fluidos hidrotermais mineralizantes.

Este trabalho de conclusão de curso visa a descrição e comparação entre os estilos de mineralização nos corpos Laranjeiras e Carvoaria. A compreensão da geologia desses alvos é essencial nessa caracterização, permitindo individualizar cada um conforme suas particularidades composicionais. Para isso, o foco na descrição macroscópica e microscópica detalhada das amostras dos testemunhos de sondagem poderá auxiliar na diferenciação dos alvos de estudo. Os resultados deste trabalho permitirão compreender controles locais da mineralização aurífera que podem ser reflexos de controles estruturais e mudanças dos fluidos mineralizantes.

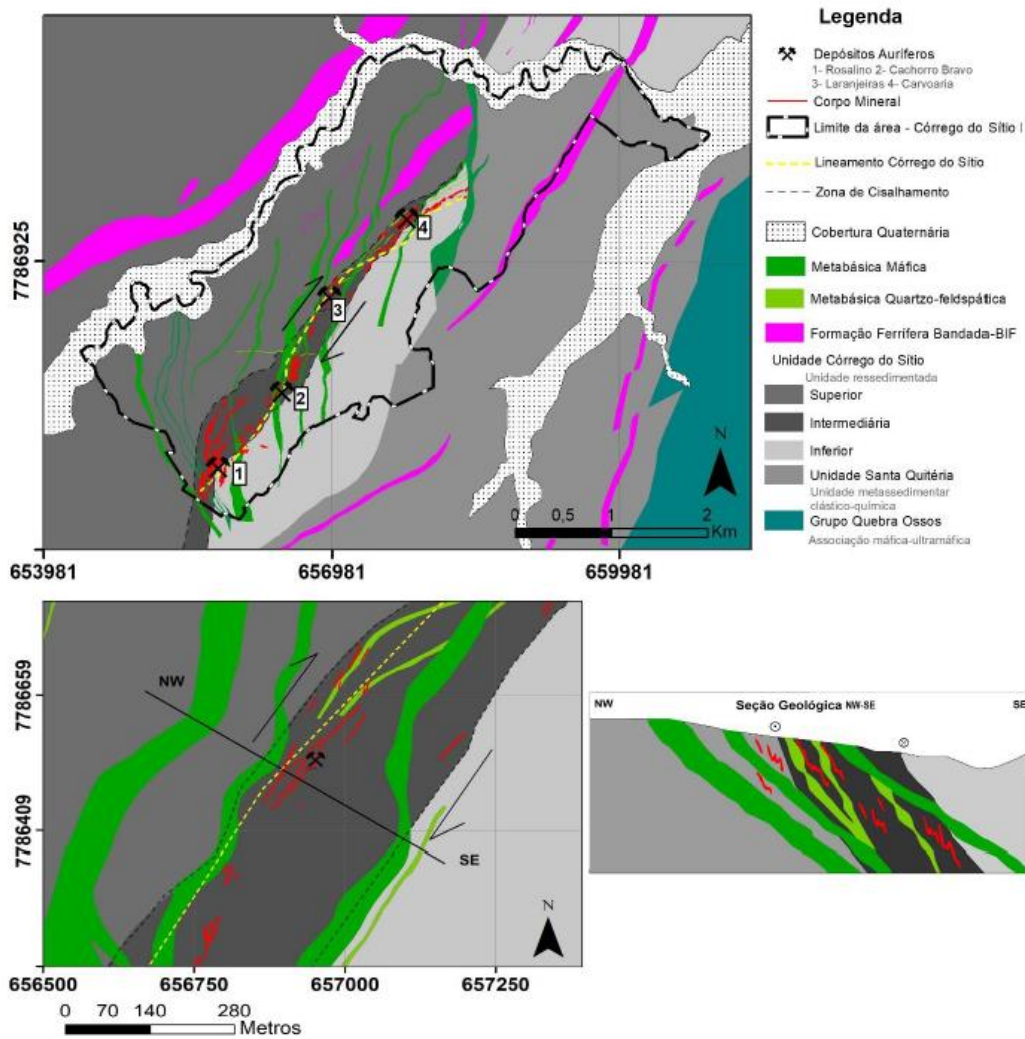


Figura 1.1 - Mapa litológico dos depósitos de Córrego do Sítio com seção geológica e destaque para os depósitos 1 - Rosalino, 2 - Cachorro Bravo, 3 - Laranjeiras, 4 - Carvoaria. Aham-se plotados os corpos mineralizados e os limites da zona de cisalhamento. Retirado de Santos (2020) e modificado de Pereira *et al.* (2013).

1.2 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada no município de Santa Bárbara, Minas Gerais (Figura 1.2), próxima ao município de Barão de Cocais e cerca de 110 km da capital do estado, Belo Horizonte. A região está inserida na área coberta pelas três folhas geológicas, na escala 1:25.000, elaboradas pelo Serviço Geológico Brasileiro (CPRM): Santa Bárbara (SE.23-Z-D-IV-3-SO), Catas Altas (SF.23-X-B-I-1-NO) e Conceição do Rio Acima (SF.23-X-A-III-2-NE).

Partindo de Belo Horizonte, o percurso é feito pela rodovia BR-381, sentido Vitória – Espírito Santo, por cerca de 78 km até o acesso à rodovia MG-436. Percorre-se cerca de 30 km até a entrada para o distrito de Brumal, pertencente à Santa Bárbara, onde segue-se por mais 3 km pelo distrito sentido ao

Santuário do Caraça e mais 6 km por uma estrada rural sentido à comunidade de Sumidouro, onde estão localizados os alvos em estudo.

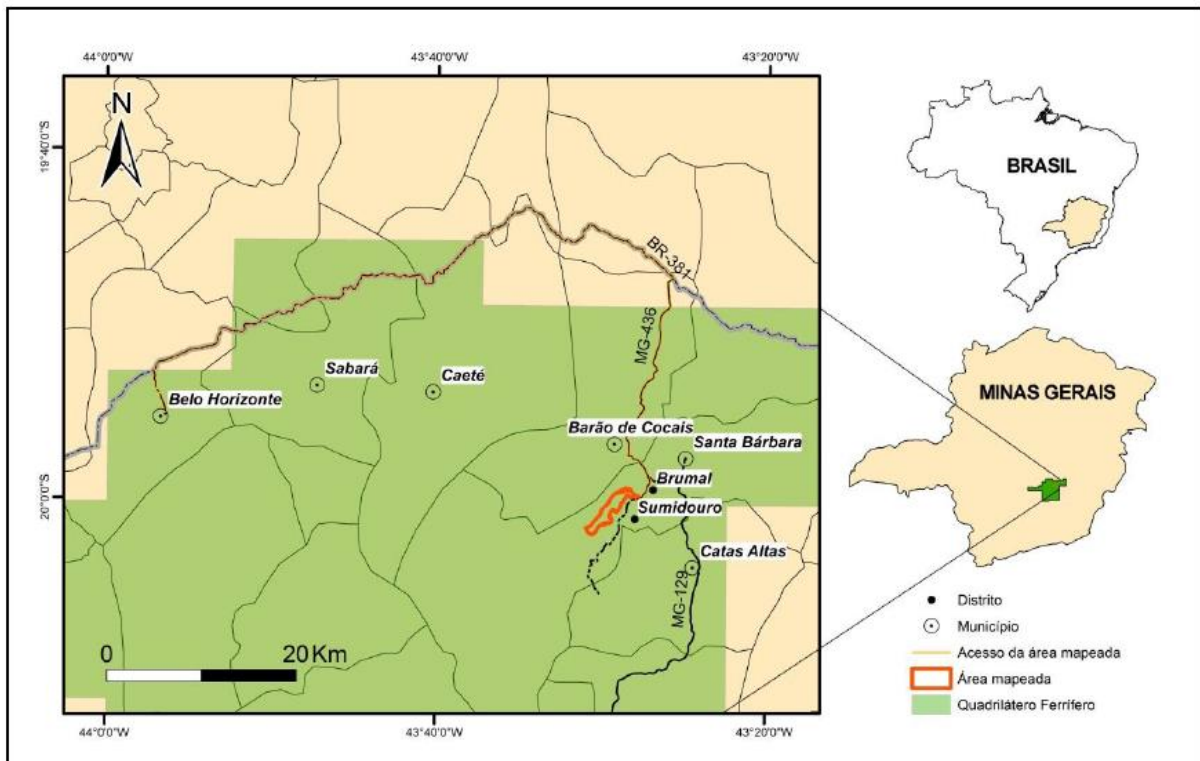


Figura 1.1 - Mapa de acesso à área de estudo, região de Córrego do Sítio destacada em vermelho, retirado de Muniz (2017).

1.3 OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é a caracterização e comparação dos estilos de mineralização aurífera dos corpos Laranjeiras e Carvoaria. Com o intuito de alcançar esse objetivo, propõe-se:

- i. Caracterização macroscópica de detalhe em testemunhos de sondagem de rochas hospedeiras, halos de alteração hidrotermal e estilos de mineralização nos corpos Laranjeiras e Carvoaria;
- ii. Identificação dos halos de alteração hidrotermal que envelopam as zonas mineralizadas em cada corpo;
- iii. Identificação dos principais estilos e paragêneses minerais nos dois corpos de minério;
- iv. Comparação dos estilos de mineralização entre Laranjeiras e Carvoaria e proposição de modelos evolutivos.

1.4 JUSTIFICATIVA

Os depósitos de Au Orogênico do QFe podem apresentar diferenças tanto em termos de suas características descritivas, quanto nos processos genéticos associados à sua formação. Isso pode ser reflexo das distintas histórias metamórficas e de deformação, arranjos estruturais, complexidade tectônica ou uma junção desses mecanismos concomitantemente. (Goldfarb e Groves 2015; Araújo *et al.* 2020). Comumente a assinatura geoquímica aponta uma forte correlação do ouro com S, As, Sb, W, Ag, Te, Bi e B e subordinadamente com Cu, Pb e Zn, fazendo com que possuam diferenças geradas pelos estilos de mineração entre depósitos e até mesmo entre corpos de minério dentro de um mesmo depósito (Groves *et al.* 1998; Goldfarb e Groves 2015).

Neste cenário, o depósito de Córrego do Sítio, hospedado em sequências metassedimentares turbidíticas, é frequentemente marcado por zonas de cisalhamento ou dobras. Identificado como um depósito do tipo *narrow-veins*, associado a veios mineralizados ou zonas de cisalhamento que exibem variações na continuidade, inclinação, direção, largura e mineralogia (Ramsay 1980; Canale 1999), os veios de quartzo-carbonato-sulfeto possuem uma paragênese formada por ouro livre (Au), bertierita (FeSb_2S_4), arsenopirita (FeAsS), estibnita (Sb_2S_3), pirrotita (Fe_{1-x}S), pirita (Fe_2S), calcopirita (CuFeS_2), esfalerita (ZnS), além de traços de outros sulfetos e sulfossais (Lima 2012; Ribeiro *et al.* 2013; Roncato *et al.* 2015).

A comparação entre as características mineralógicas nos alvos Laranjeiras e Carvoaria, que inseridos dentro da mesma unidade, possuem particularidades nas zonas mineralizadas podem trazer a compreensão das variações na composição do fluido hidrotermal, condições físico-químicas de formação e controle estrutural, além de processos posteriores que possam ter ocorrido, podendo auxiliar no entendimento da formação desses corpos de minério e as características do ambiente para que tenha sido possível a formação de um depósito mineral.

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho de conclusão de curso e a concretização dos objetivos, os materiais e métodos serão detalhados a seguir.

1.5.1 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica destaca principalmente os trabalhos já realizados na região do lineamento Córrego do Sítio, principalmente os localizados na porção denominada Córrego do Sítio I, além de estudos que abordam todo o contexto de ocorrência de Au no Quadrilátero Ferrífero (QFe) e províncias correlacionadas.

1.5.2 Trabalhos de campo

As descrições dos testemunhos foram realizadas em galpão de amostragem e incluem os furos UCS7389 e UCS7455. Foi realizada a marcação dos contatos litológicos e identificação das zonas com maior grau de alteração hidrotermal e das zonas mineralizadas para amostragem de teor. A descrição dos testemunhos de sondagem foi feita utilizando uma folha padrão da empresa, contendo as relações de contato, as siglas das litologias existentes, as principais características mineralógicas e a presença de mineralizações nestes testemunhos. Essas informações encontram-se no apêndice. Adicionalmente, descrições separadas delimitando as rochas hospedeiras, zonas de alteração hidrotermal e estilos de mineralização também foram utilizadas.

1.5.3 Estudos petrográficos

A etapa de petrografia teve como objetivo a caracterização da mineralogia, texturas e microestruturas das rochas mineralizadas. Foram confeccionadas 8 lâminas a partir das amostras retiradas dos dois testemunhos visando a caracterização de assembleias hidrotermais desenvolvidas sobre a zona mineralizada, a presença e quantificação de sulfetos e sulfossais, além da caracterização da forma de ocorrência de ouro. Para a descrição foi utilizado o microscópio óptico de luz polarizada, transmitida e refletida dos laboratórios de microscopia do Departamento de Geologia - DEGEO possibilitando a identificação das fases minerais presentes e suas características microestruturais e paragêneses.

2.1 QUADRILÁTERO FERRÍFERO

A área estudada neste trabalho de conclusão de curso, encontra-se na extremidade sudeste do Cráton São Francisco, na província metalogénica do Quadrilátero Ferrífero (QFe). O Cráton São Francisco, conectado com o Cráton do Congo na África antes da abertura do Atlântico Sul (Figura 2.1) é um dos quatro crátons identificados na América do Sul (Alkmim & Marshak 1998).

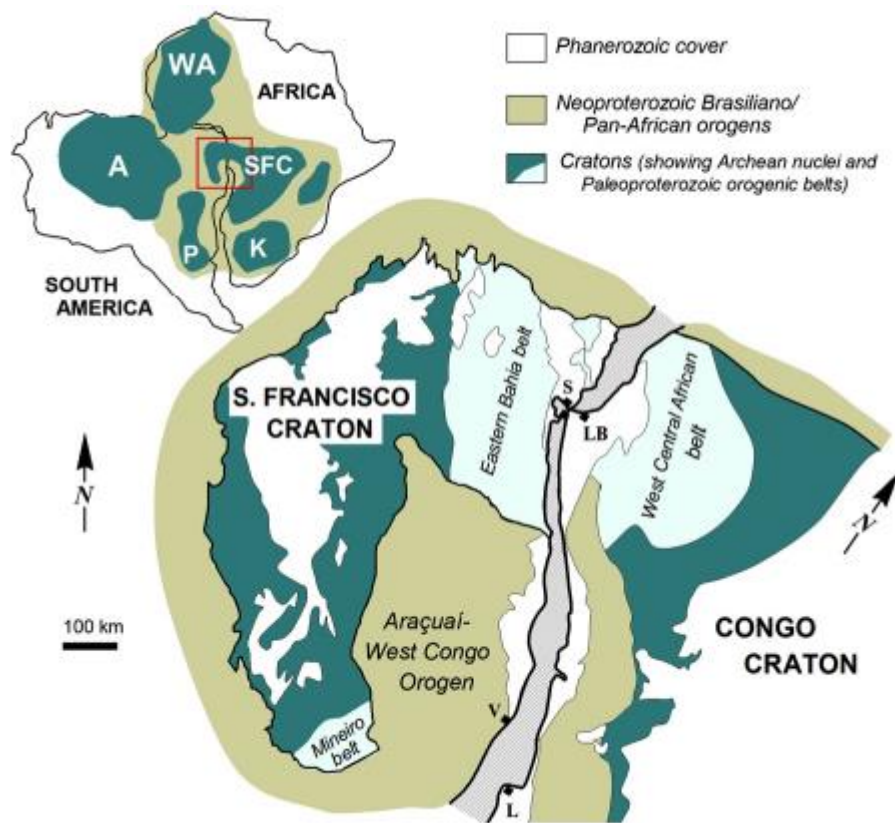


Figura 2.1 - O cráton São Francisco, juntamente com seu equivalente africano, o cráton do Congo. Modificado de Alkmim e Martins Neto (2012).

O QFe é constituído por terrenos metamórficos arqueanos e paleoproterozoicos e limitado a leste pelo orógeno Araçuaí e ao sul pelo Cinturão Mineiro (Figura 2.2). Os estudos sobre a geologia na região datam desde o início do século XIX. Por ser uma área de grande relevância econômica desde o período de colonização do Brasil, foi um importante polo aurífero na época do ciclo do ouro e desde então os estudos contam com muitas publicações (Almeida 1977; Alkmim & Marshak 1998; Endo *et al.* 2020; Baltazar e Lobato 2020).

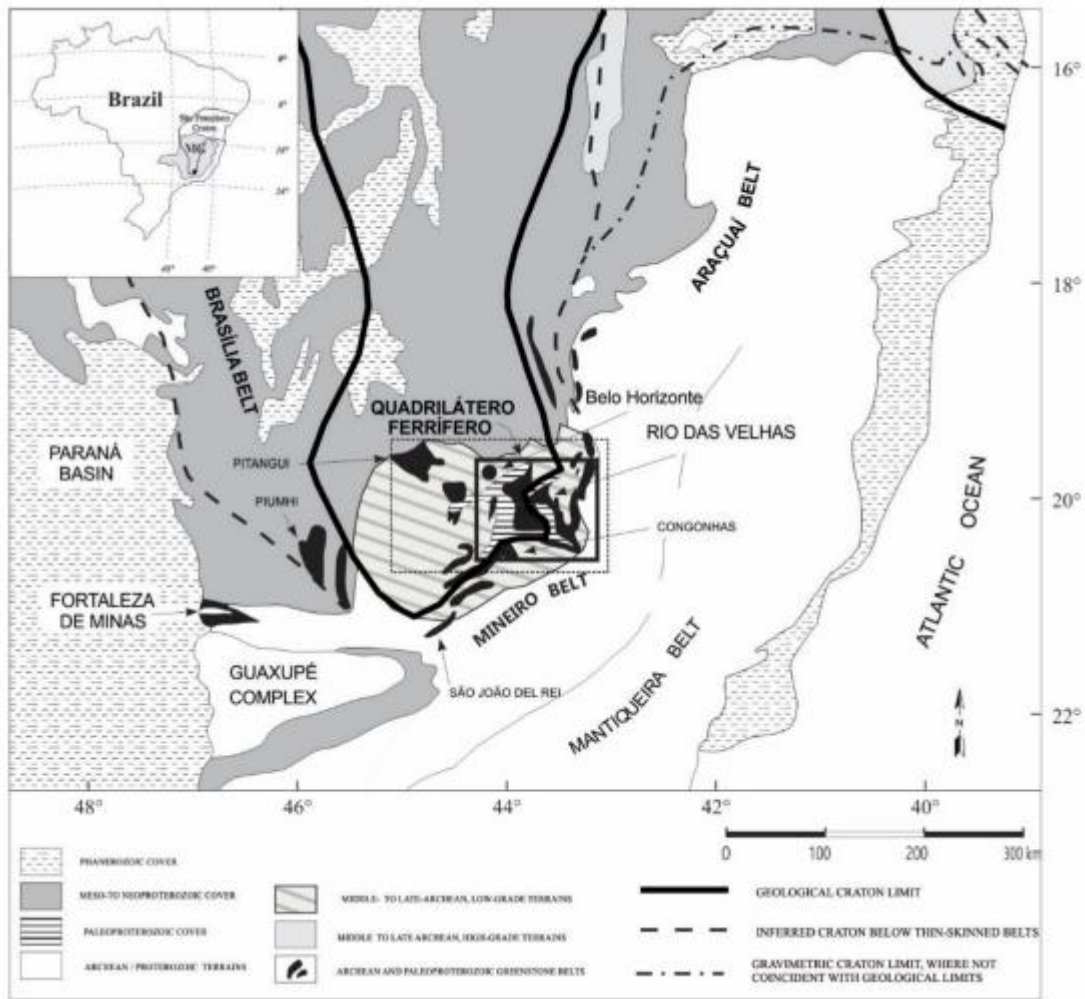


Figura 2.2 - Mapa geológico regional do cráton do São Francisco, indicando a região do Quadrilátero Ferrífero, modificado de Baltazar e Lobato (2020).

Endo *et al.* (2020) reinterpretou e incluiu novos dados sobre a cartografia de algumas unidades estratigráficas, bem como a geologia estrutural e a evolução tectônica do QFe. A figura 2.3 mostra a cartografia geológica simplificada do QFe segundo esse trabalho mais recente.

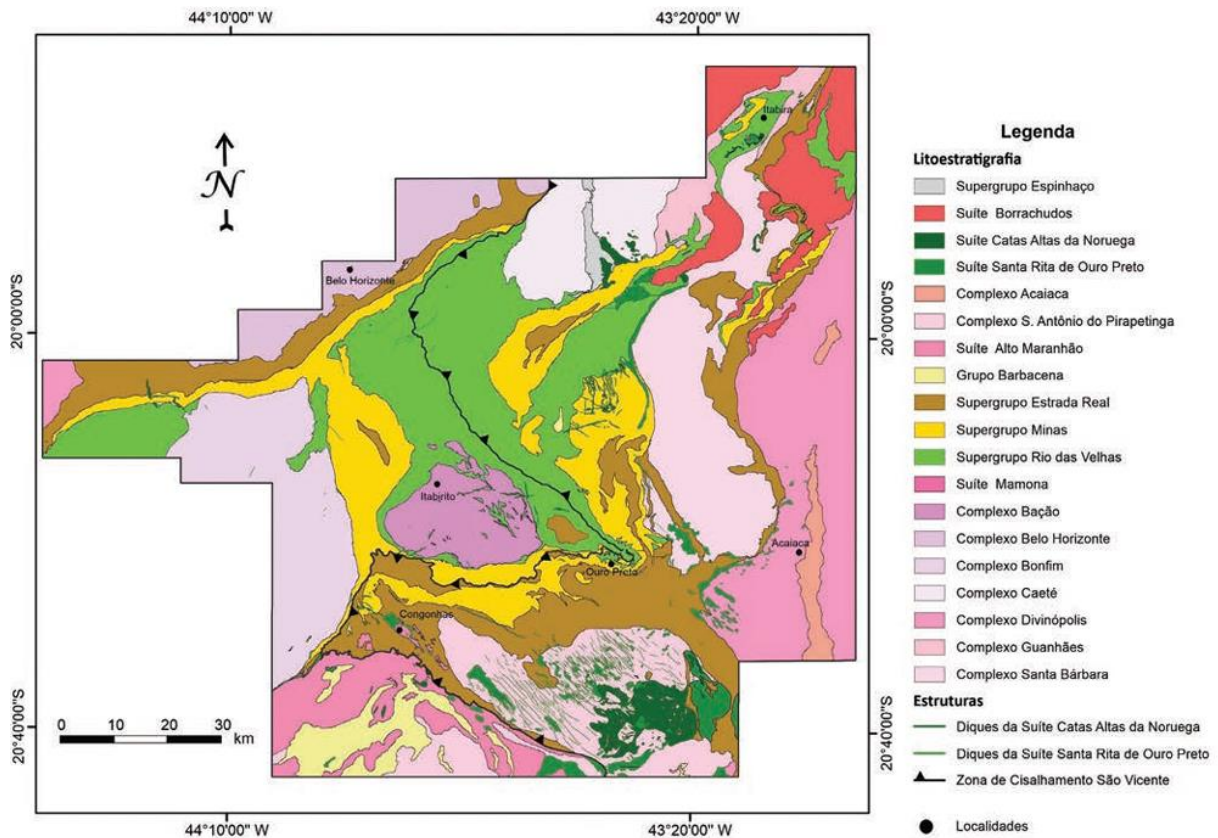


Figura 2.3 - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, retirado de Endo *et al.* (2020)

Alkmim e Marshak (1998) e Endo *et al.* (2020) dividiram o QFe em três domínios tectono-estratigráficos principais: complexos de rochas gnáissicas e graníticas; sequências do tipo *greenstone belt* Rio das Velhas; e as sequências supracrustais sedimentares químicas e clásticas do Supergrupo Minas e do Supergrupo Estrada Real.

2.1.1 Arcabouço Estratigráfico

Segundo Dorr (1969) e revisado por Endo *et al.* (2020) o QFe é subdivido por unidades litodêmicas e litoestratigráficas do Arqueano, Paleoproterozoico e do Cenozoico (Figura 2.4), a seguir:

2.1.1.1 Complexos Metamórficos

Compreende o embasamento granito gnáissico, com presença de anfibolitos, migmatitos e rochas magmáticas de características ultramáficas, máficas e félsicas e intrusões máficas de diversas gerações (Endo 1997; Lana *et al.* 2013; Farina *et al.* 2016). A evolução magmática é marcada por três períodos principais de magmatismo TTG e um evento metamórfico. Os eventos magmáticos são referidos como os eventos Santa Bárbara (3220-3200 Ma), Rio das Velhas I (2930-2900 Ma),

representado pelos gnaisses TTG (Tonalito-Trondjemito-Granodiorito), e Rio das Velhas II (2800-2770 Ma), representado pelas rochas magmáticas. O último evento é o chamado de Mamona (2750-2680 Ma), marcado pelas intrusões de diques, veios e plutons (Lana *et al.* 2013; Romano *et al.* 2013; Farina *et al.* 2015).

2.1.1.2 *Supergrupo Rio das Velhas (SGRV)*

Apresenta uma típica sequência de *greenstone belt* de idade arqueana, com litofácies que incluem rochas metavulcânicas ultramáficas, máficas e félsicas pertencentes ao Grupo Quebra Ossos, rochas metavulcanoclásticas, metavulcano-sedimentares químicas e metassedimentares clásticas marinhas pertencentes ao Grupo Nova Lima e rochas metassedimentares de ambiente costeiro pertencentes ao Grupo Maquiné (Baltazar e Zucchetti 2007).

Nesse contexto, Araújo *et al.* (2020) adotam a divisão do SGRV em três blocos tectonoestratigráficos delimitado por falhas: Santa Bárbara (SB), Nova Lima-Caeté (NLC) e São Bartolomeu (SBT). O bloco SB ocorre na porção leste do QFe e compreende o SGRV, subdividido pelas rochas ultrabásicas basais do Grupo Quebra Osso, seguidas por sucessões metavulcano-sedimentares do Grupo Nova Lima (formações Vigário da Vara, Santa Quitéria e Córrego do Sítio) e rochas metassedimentares do Grupo Maquiné (formações Palmital e Casa Forte). Alvo desse estudo, o Grupo Nova Lima é composto por três formações no bloco SB, da base para o topo:

- i) Vigário da Vara: é constituído por metabasaltos toleíticos com características ígneas originais preservadas localmente, como fluxos de *pillow lavas* e amígdalas. Os metabasaltos também contêm raras intercalações de lentes centimétricas de BIF (formação ferrífera bandada) e metachert.
- ii) Santa Quitéria: compreende as sequências clastoquímicas metassedimentares do Grupo Nova Lima. É composta por uma espessa sequência de metapelitos, filitos carbonosos, formações ferríferas bandadas e metachert, frequentemente cortada por veios de quartzo-carbonato.
- iii) Córrego do Sítio: composta por rochas metassedimentares, compreende uma sequência rítmica com ciclos de metapsamito, metapelito e metapelito carbonoso. As formações ferríferas bandadas são raras. Vários estudos relatam que os ciclos correspondem a divisões incompletas de Bouma (1962) (Zucchetti *et al.* 2000c; Baltazar e Zucchetti 2007; Roncato *et al.* 2015; Sepulveda 2020). As rochas das sucessões são foliadas e frequentemente sobrepostas por zonas de alteração hidrotermal contendo carbonato, sericita, quartzo e sulfetos.

2.1.1.3 *Supergrupo Minas (SGM)*

Alkmim e Martins Neto (2012) consideram esta unidade paleoproterozoica como uma sequência deposicional continental-marinha e representa um dos estágios de evolução de uma bacia de margem passiva. Endo *et al.* (2020) propuseram uma nova subdivisão, composta, da base para o topo, pelos

grupos Tamanduá, Caraça, Itabira e Piracicaba. O grupo Tamanduá e o grupo Caraça estão relacionados a fase inicial do rifte e evolução de bacia de margem passiva. O Grupo Itabira é considerado como o registro completo da bacia de margem passiva (Alkmim e Marshak 1998). O topo da sequência é composto pelo grupo Piracicaba. Antes do estudo de Endo *et al.* (2020), o Grupo Sabará (Gair 1958) era considerado como uma continuação superior do Supergrupo Minas. Porém, devido a reinterpretações e novas evidências, foi reclassificado como parte do Grupo Itacolomi, sendo então designado como Supergrupo Estrada Real (Endo *et al.* 2020).

2.1.1.4 Supergrupo Estrada Real (SGER)

É composto pelo grupo Sabará e pelo grupo Itacolomi, e representa uma sucessão do tipo *flysch* e molassa sin-orogênicos (Dorr 1969; Noce 1995; Reis *et al.* 2002). Os grupos foram associados ao SGER por Endo *et al.* (2020) com base no estudo de Barbosa (2018).

Adicionalmente, inclui-se no mapa do QFe o Grupo Barbacena, na porção meridional e correlata ao Grupo Sabará. Além das suítes intrusivas máfica/ultramáfica pós-Minas em todo o QFe e em maior concentração nos domínios do Complexo Metamórfico Santo Antônio do Pirapetinga, as quais apresentam distintas gerações, composições e orientações, ocorrendo ainda pequenos corpos de granitoides, aplitos e veios pegmatíticos (Raposo 1991, Endo *et al.* 2020). Além disso, as unidades sedimentares correspondentes às coberturas do Paleógeno ao Holoceno, constituídas por sedimentos terrígenos de idade cenozoica, hospedam os depósitos restritos às bacias do Fonseca (Gorceix 1884; Dorr 1969; Maxwell 1972), do Gandarela (Gorceix 1884) e do Gongo Soco (Maizatto 1993).

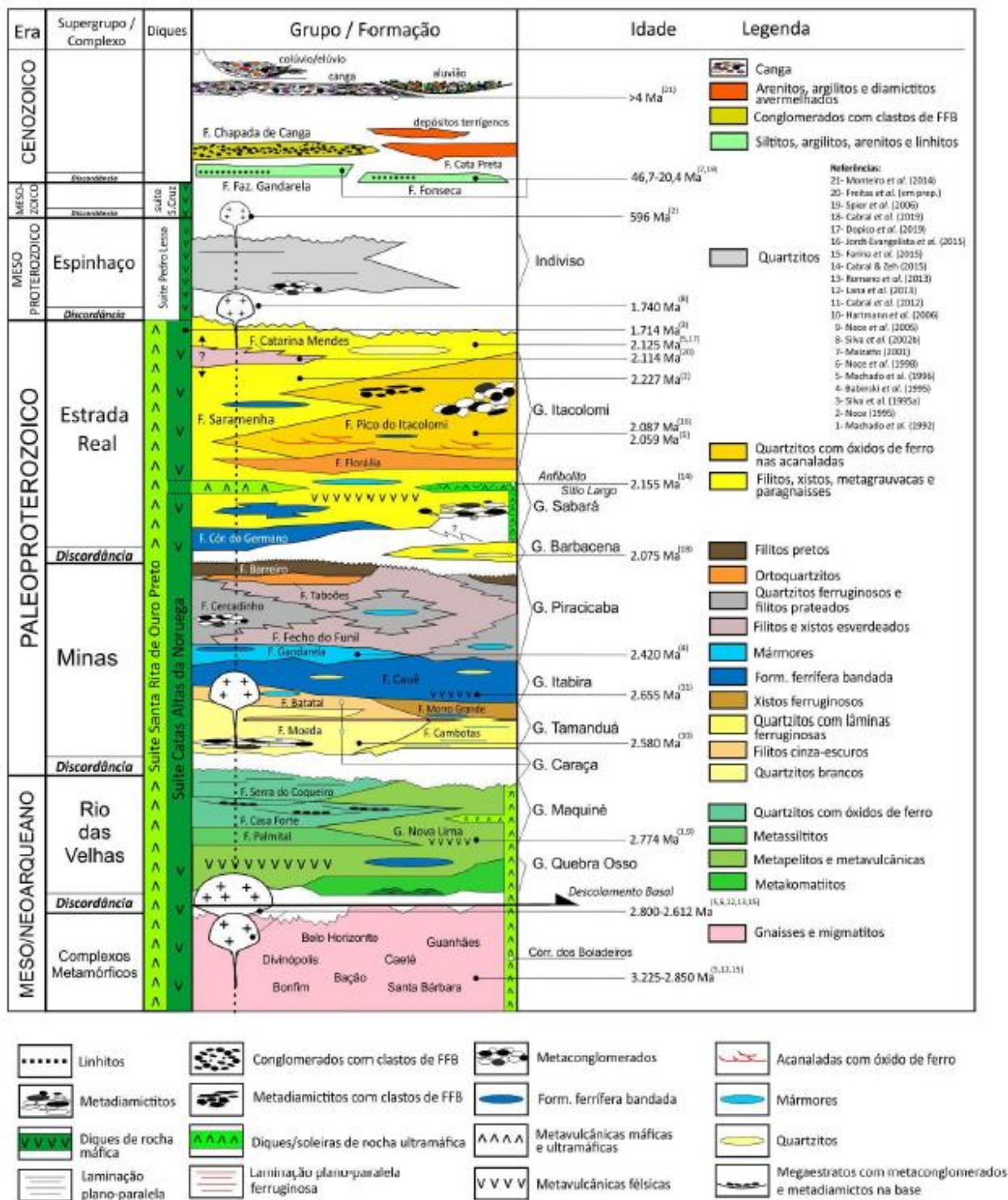


Figura 2.4 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero, retirada de Endo *et al.* (2020).

2.1.2 Evolução Estrutural-Metamórfica

A concepção de que as estruturas expostas na área do QFe estariam dobradas e seriam cortadas por falhas estão presentes nos estudos desde o tempo de Brasil colônia. A evolução estrutural-

metamórfica do QFe ainda é tema de pesquisa e de discussão no meio científico e conta com muitos estudos estruturais de detalhe. Alkmim e Marshak (1998) apresentaram interpretações acerca dessa evolução, sintetizadas na tabela 2.1, até a formação do supercontinente Gondwana e incorporando os eventos responsáveis pela formação do QFe.

Tabela 2.1 - Evolução geotectônica do QFe e seus regimes e características segundo Alkmim e Marshak (1998), modificado de Muniz (2017).

Idade (Ma)	Fases	Evento Geotectônico	Regime tectônico e outras características
700 a 450	D2	Uma das colisões orogênicas que formou o supercontinente Gondwana	Evento Brasileiro de caráter compressivo, responsável por gerar cinturão de empurrões e dobramentos com vergência para W.
1750	DE	Intrusão de diques básicos	Abertura da bacia ensialica do rifte Espinhaço a NE do QF. Não se sabe se o colapso do orógeno Transamazônico e a abertura do rifte do Espinhaço são eventos interligados.
2095	DC	Deformação extensional que proporcionou a formação de bacias estreitas que serviram de calha para os sedimentos do Grupo Itacolomi	Colapso extensional do orógeno Transamazônico. Ascensão dos complexos cristalinos e afundamentos das sequências supracrustais, resultando em dompos e quilhas que moldaram o relevo de todo o QF.
2100	D1	Eventos compressivos ocorreram posteriormente à deposição da Formação Sabará, marcada como sedimentação do tipo flysch	Evento Transamazônico caracterizado por empurrões e dobramentos para NW, formando zonas de cisalhamento regionais. Contudo gerouse uma foliação pouco expressiva.
<2600 a 2400>	-	Formação da Bacia Minas em plataforma continental.	Região E e SE do QF envolveram-se em bacia ensialica ou de margem passiva. O início desta bacia se envolveu num evento extensivo, ocorrendo a deposição dos sedimentos correspondentes aos Grupos Caraça e Tamanduá.
2700-2800	-	Formação de terreno granito <i>greenstone</i> , onde as rochas do Supergrupo Rio das Velhas foram depositadas ou colocadas tectonicamente	Possivelmente num contexto de margem convergente.

Endo *et al.* (2020) realizou uma atualização sobre os trabalhos que ocorreram ao longo dos anos, destacando os efeitos de cada evento nas características e formações geológicas da região. A tabela 2.2 mostra a síntese dos eventos tectônicos que atuaram no QFe.

Tabela 2.2 - Sequência de eventos e suas características ao longo do tempo geológico, relacionadas a evolução do Quadrilátero Ferrífero, modificado de Endo *et al.* (2020).

Era	Eventos Tectônicos	Regime Tectônico	Fase de Deformação	Processos e Produtos Tectônicos	
				Domínio da <i>Nappe</i> Curral	Domínio do Sistema de <i>Nappes</i> Ouro Preto
Cenozoico	Sul-Atlantiano			Formação de depósitos terrígenos, aluviões, elúvios e colúvios.	
		Compressão	F5	Fase de fraturamentos, falhamentos e reativações de descontinuidades crustais herdadas.	
		Extensão	Deposição dos sedimentos das formações superiores do QFe.		
Mesozoico		Extensão	Magmatismo máfico; Duíte Santa Cruz		
Neoproterozoico	Brasiliano	Compressão NS	F4	<p>Nucleação dos sinformes Dom Bosco, Nova Lima-Brumal e Itabira e antiformes Furquim e João Monlevade de direções axiais EW por processo de indentação do bloco Barbacena com movimento de sul para norte. Redobramento do sinforme Dom Bosco: Dobra em “L” de Almas-Segredo (<i>miter folding</i>). Formação de clivagens de crenulação E-W e dobras de escala mesoscópica vergentes para N. Intrusão de corpos de granitos e pegmatitos no domínio do sinforme Dom Bosco. Reativação das falhas Marinho da Serra, Cata Branca, Congonhas e correlatas (cinemática dextral). Rotação horária, de aproximadamente 45°, dos diques das suítes Santa Rita de Ouro Preto e Catas Altas da Noruega no domínio de influência do bloco Barbacena. Amplificação e rotação dos sinclínios de Itabira e João Monlevade-Rio Piracicaba por mecanismo de <i>flanking folds</i>.</p>	
		Compressão EW	F3	<p>Formação de clivagens de crenulação N-S e dobras de escala mesoscópica vergentes para W e, localmente, para E. Inversão do flanco E do Sinclinal Moeda. Nucleação do Sinclinal Claudio Manoel e Anticlinal Acaiaca. Reativação de descontinuidade pretéritas com geração de foliação nas rochas máficas e ultramáficas. Geração dos sinclinais Alegria e Fábrica Nova por mecanismos de <i>flanking folds</i> sem geração de clivagem plano-axial associada. Geração de estruturas Andersonianas posteriormente basculadas para E. Fraturas de alívio NS preenchidas por veios de quartzo e de tração preenchidas por corpos de hematitito. Falhas Marinho da Serra, Cata Branca, Congonhas e correlatas (cinemática Sinistral).</p>	
		Extensão	Magmatismo Máfico: Suíte Pedro Lessa		

Tabela 2.2 - Sequência de eventos e suas características ao longo do tempo geológico, relacionadas a evolução do Quadrilátero Ferrífero, modificado de Endo *et al.* (2020). (Continuação)

Mesoproterozoico	Espinhaço	Extensão	Formação da bacia Espinhaço		
Paleoproterozoico	Pós-Minas	Extensão	Magmatismo máfico/ultramáfico e alcalino: diques de direção E-W e N-S;		
	Minas	Compressão	F2	Fase 2: Localmente presente no domínio da estrutura pop-up delimitado pelas falhas Casa Branca e Serra das Gaivotas. Dobras de propagação da falha Cata Branca: Morro do Chapéu e Pau Branco. Xistosidade plano-axial S2 associada na dobra de Morro do Chapéu.	Fase 2: Nucleação do sistema de Nappes Ouro Preto por redobramento coaxial da nappe F1. Polaridade metamórfica crescente para NNE de fácies xisto-verde para anfibolito. Xistosidade plano-axial S2 associada. Nucleação da Anticlinal de Mariana por ramificação de uma falha cega na lapa da Zona de Cisalhamento São Vicente (Descolamento Basal), na etapa tardia da fase F2.
		Compressão	F1	Fase F1: Nucleação da Nappe Curral com vergência para NNE. Polaridade metamórfica crescente para SSW de fácies xisto-verde para anfibolito. Xistosidade plano-axial S1 associada. Intrusão de corpos graníticos no domínio de antepaís (Sinclinal Mangabeiras e Serra do Curral): Ex. Morro do Papagaio.	Nucleação da Nappe da fase F1 com vergência para sul: Pré-Sistema de Nappes Ouro Preto.
				Inversão da Bacia Minas.	
Arqueano	Mamona, Rio das Velhas (I e II) e Santa Bárbara	Eventos tectono-metamórficos pré-Minas.			

No contexto da evolução do Supergrupo Rio das Velhas, Baltazar e Zucchetti (2007) identificaram as fases de evolução tectônica de bacias em quatro ciclos de sedimentação (Figura 2.5). O ciclo 1 caracteriza a fase inicial de espriamento oceânico em um contexto arqueano, representados pelas unidades basais do SGRV. O ciclo 2 está relacionado a dois ambientes tectono-sedimentares associados às fases finais de extensão da bacia e início da subducção e refere-se a uma bacia de margem passiva gradando para o ambiente instável com plútons félsicos associados. O ciclo 3 representa a fase de inversão de bacia, com a deposição de sedimentos em bacias de *back-arc* advindos de arcos de ilha. Por fim, o ciclo 4 corresponde à unidade superior do SGRV, sendo é interpretado como uma bacia de antepaís da etapa final de orogênese.

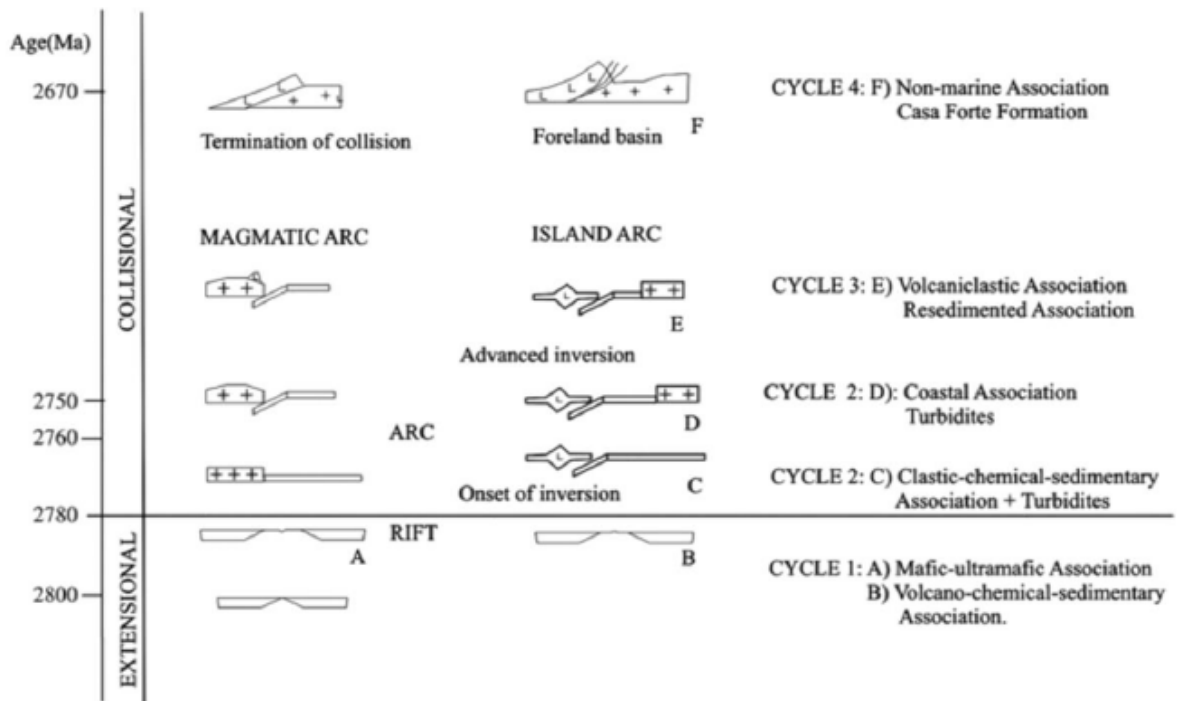


Figura 2.5 - Evolução tectono-estratigráfica do Supergrupo Rio das Velhas, retirado de Baltazar e Zucchetti (2007).

Para Baltazar e Zucchetti (2007) a evolução tectônica do Supergrupo Rio das Velhas pode ser dividida em quatro fases deformacionais principais, sintetizadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Síntese da evolução estrutural do *Greenstone Belt* Arqueano Rio das Velhas e seqüências de coberturas Proterozóica dentro da região do Quadrilátero Ferrífero. Modificado de Martins (2011).

Idade (Ma)	Evento Tectônico	Fase	Regime	Transporte Tectônico	Estruturas
650-500	Brasiliano	D4	Compressivo Cisalhamento Simples	E para W	Falhas com vergência para W e direção NS. Dobras isoclinais a apertadas e abertas com vergência para W. Dobras normais. Foliação plano-axial S4 e milonítica. Lineação de estiramento e mineral mergulhando para ESE.
2100-1900	Transamazônico	D3	Distensional	WNW para ESE	Nucleação de sinclinais regionais e início da deposição do Supergrupo Minas. Soerguimento do embasamento granito-gnaiss como complexos de núcleos metamórficos. Falhas normais ao redor dos complexos.

Tabela 2.3 - Síntese da evolução estrutural do *Greenstone Belt* Arqueano Rio das Velhas e sequências de coberturas Proterozóica dentro da região do Quadrilátero Ferrífero. Modificado de Martins (2011). (Continuação)

~ 2700	Arqueano	D2	Compressivo Cisalhamento Simples	NE para SW	Falhas de empurrão com direção NW (30-50/40- 60). Dobras isoclinais a apertadas com vergência para SW e direção NW. Foliação plano-axial S2 (60/35 – foliação milonítica). Lineação de estiramento, lineação mineral (60- 70/20-30).
2749- 2670	Arqueano	D1	Compressivo Cisalhamento Simples	N para S	Falhas de empurrão com vergência para S e direção E. Dobras abertas, isoclinais a apertadas com vergência para S com eixos mergulhando para ENE, dobra flexural. Foliação plano-axial S1, subparalela ao dobramento S0 (355/65). Lineação mineral e lineação de estiramento <i>down-dip</i> , lineação de interseção (S0 e S1) paralelas aos eixos de dobras.

Apesar da importância histórica e geológica da província do QFe, alguns aspectos sobre o controle estrutural da mineralização de Au no *Greenstone Belt* do Rio das Velhas ainda não são completamente compreendidos. Acredita-se que os depósitos estejam relacionados aos estágios finais da deformação e metamorfismo arqueano (Lobato *et al.* 2001, 2007; Noce *et al.* 2001, 2007). No entanto, dados geocronológicos recentes sugerem a influência de um evento Ediacarano-Cambriano na estruturação das rochas hospedeiras de alguns dos depósitos de ouro, conforme indicado por uma idade U-Pb de $518,5 \pm 9$ Ma, obtida em cristais de monazita de rochas vulcânicas máficas mineralizadas do depósito de Lamego (Martins *et al.* 2016).

No depósito de Córrego do Sítio, a monazita hidrotermal presente nos corpos de minério forneceu uma datação de aproximadamente 534–555 Ma (U-Pb, SHRIMP). Isso indica a possível influência da atividade hidrotermal associada ao colapso do orógeno Araçuai no Cambriano (Baltazar e Lobato 2020). Os dados SHRIMP U-Pb em cristais hidrotermais de monazita produziram idades discordantes com interceptações em 2.514 ± 22 Ma, além de dados monazíticos U – Pb SHRIMP que revelam a presença de idades Ediacarana-Cambrianas tardias impressas nos corpos minerais de Cachorro Bravo (545 ± 11 Ma) e Carvoaria ($522,9 \pm 17$ Ma) (Dias *et al.* 2022).

CAPÍTULO 3

GEOLOGIA LOCAL

3.1 DEPÓSITOS DE AU OROGÊNICO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Algumas das maiores jazidas, províncias e distritos auríferos, além de muitas ocorrências menores, presentes no estado de Minas Gerais, é responsável pelas maiores concentrações e produções de ouro do Brasil. Grandes distritos auríferos estão concentrados no núcleo arqueano-paleoproterozoico, na região do Quadrilátero Ferrífero – QFe. Os principais depósitos são do tipo Au Orogênico, ao longo das sequências de rochas do Supergrupo Rio das Velhas e presentes nas rochas do Grupo Nova Lima, base do *greenstone belt* Rio das Velhas. Embora haja diferentes tipos de depósitos de ouro no QFe, como os de ouro paladino e peleoplacers, os depósitos orogênicos mesozonais hospedados em sequência *greenstone belt* são os mais comuns e são representados, principalmente, pelos depósitos de Morro Velho, Raposos, Cuiabá, Lamego e Córrego do Sítio. (Lobato *et al.* 2018; Lobato *et al.* 2020).

Os depósitos de Au Orogênico são formados durante as fases de compressão e transpressão em orógenos acrescionários ou colisionais (Figura 3.1), caracterizados pela proveniência hidrotermal dos fluidos mineralizantes resultantes do metamorfismo (Groves *et al.* 1998).

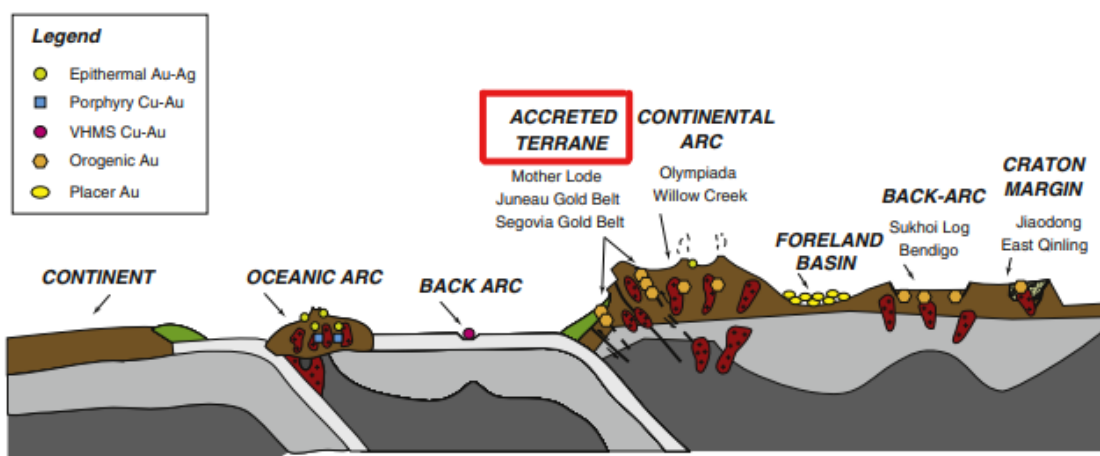


Figura 3.1 - Ambientes de formação de depósitos de ouro com destaque para Au orogênico, modificado de Goldfarb e Groves (2015).

As mineralizações foram subdivididas e classificadas de acordo com a profundidade de formação (Figura 3.2), sendo elas: epizonal, profundidades menores que 6 km, a zona mais superficial e correspondente a fácies xisto verde inferior; mesozal, profundidade entre 6 a 12 km, nas profundidades e fácies intermediárias e hipozonal, profundidades variando entre 12 a 20 km, nas regiões mais

profundas e correspondente as fácies anfibolito a granulito. (Groves *et al.* 1998; Goldfarb e Groves, 2015).

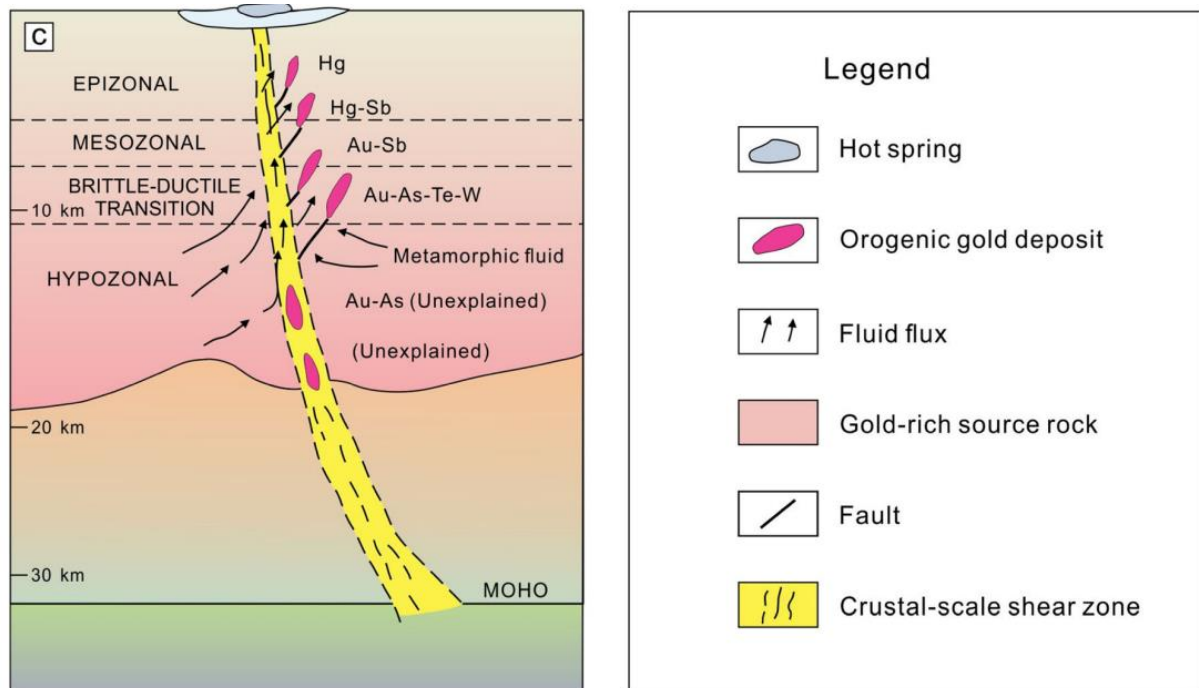


Figura 3.2 - Depósitos de Au Orogênico podem se formar em uma variedade de profundidades, desde tão rasos quanto 3 km até tão profundos quanto 20 km. A maioria dos depósitos se forma na fácies de xisto verde ou nos limites entre xisto verde e anfibolito. Retirado de Groves, Santosh e Deng *et al* (2020), modificado de Groves e Santosh (2016).

Os depósitos de Au Orogênico do QFe podem ser divididos em dois grupos principais, com base nas rochas hospedeiras e minerais associados. O primeiro grupo (A) corresponde aos depósitos hospedados no *greenstone belt* Rio das Velhas de idade arqueana e o segundo grupo (B) corresponde aos depósitos hospedados nos Grupos Minas e Caraça de idade proterozóica. (Lobato *et al.* 2001a; Vial *et al.* 2007).

O primeiro grupo (A) foi subdividido em seis tipos, sendo eles:

- i) Ouro associado as Formações Ferríferas (BIFs) do tipo Algoma, compostas por alternância de camadas de sulfetos e carbonatos, associados predominantemente com arsenopirita, pirita e/ou pirrotita.
- ii) Ouro associado a “Lapa Seca”, caracterizada por rocha maciça composta por ankerita/dolomita ferrosa, quartzo e plagioclásio, caracterizada por corpos de minério de sulfeto maciço e veios de quartzo.
- iii) Ouro associado a veios de quartzo, exibindo, geralmente, zonas de alteração hidrotermal que apresentam bordas de sulfetos compostas principalmente de pirita.

- iv) Ouro associado a sulfetos disseminados e veios de quartzo.
- v) Ouro associado a anfibólitos, nos quais o minério é composto por alternâncias de camadas de sulfeto e anfibólio.
- vi) Ouro associado a sulfetos de metais básicos disseminados até maciços.

O segundo grupo (B) foi subdividido em três tipos, sendo eles:

- i) Ouro associado a veios de quartzo contendo arsenopirita e turmalina. As rochas hospedeiras são filitos carbonosos e quartzitos do Grupo Caraça, itabiritos do Grupo Minas e xistos quartzo-biotíticos do Grupo Nova Lima.
- ii) Depósitos de ouro-paládio associados a itabiritos do Grupo Minas, a mineralização de ouro do tipo Jacutinga e a associação de ouro-paládio com calcopirita e bornita.
- iii) Depósitos de ouro associados a conglomerados do tipo Witwatersrand no Grupo Caraça e minerais associados como a pirita e anomalias de urânio.

Segundo Lobato *et al.* (2001b), 96% dos depósitos auríferos do QFe estão hospedados em BIFs do tipo Algoma e em Lapa Seca e os 4% restantes estão hospedados em rochas metassedimentares, metavulcânicas máficas e ultramáficas, com sulfetos disseminados associados aos veios de quartzo, onde está localizado o depósito de Córrego do Sítio, definido como um depósito arqueano do tipo iv. (Lobato *et al.* 2001a; Vial *et al.* 2007; Lima 2012).

Dentro do contexto de processos de formação geral, Lobato *et al.* (2001b) descreve que esses depósitos do Grupo Nova Lima podem se originar por meio da substituição da formação ferrífera por sulfetos contendo ouro; pelo hidrotermalismo em zonas de cisalhamento que apresentam dispersão de sulfetos; e também pela formação de veios quartzo-carbonáticos que contêm ouro e sulfetos. Martins *et al.* (2017), por sua vez, propõe uma associação mineral resultante de alterações hidrotermais formadas principalmente por pirita, arsenopirita e pirrotita.

3.2 QUADRO ESTRATIGRÁFICO LOCAL

O depósito de Córrego do Sítio apresenta rochas da sequência metavulcanossedimentar do SGRV e possui em seu registro litoestratigráfico, a presença de três formações inseridas no bloco Santa Bárbara pertencente ao Grupo Nova Lima: Vigário da Vara, Santa Quitéria e Córrego do Sítio (Figura 3.3), além de rochas intrusivas máficas que cortam essas unidades, de orientação NNE-SSW e que mergulham, predominantemente, para SE (Lima 2012; Muniz 2017; Araújo *et al.* 2020).

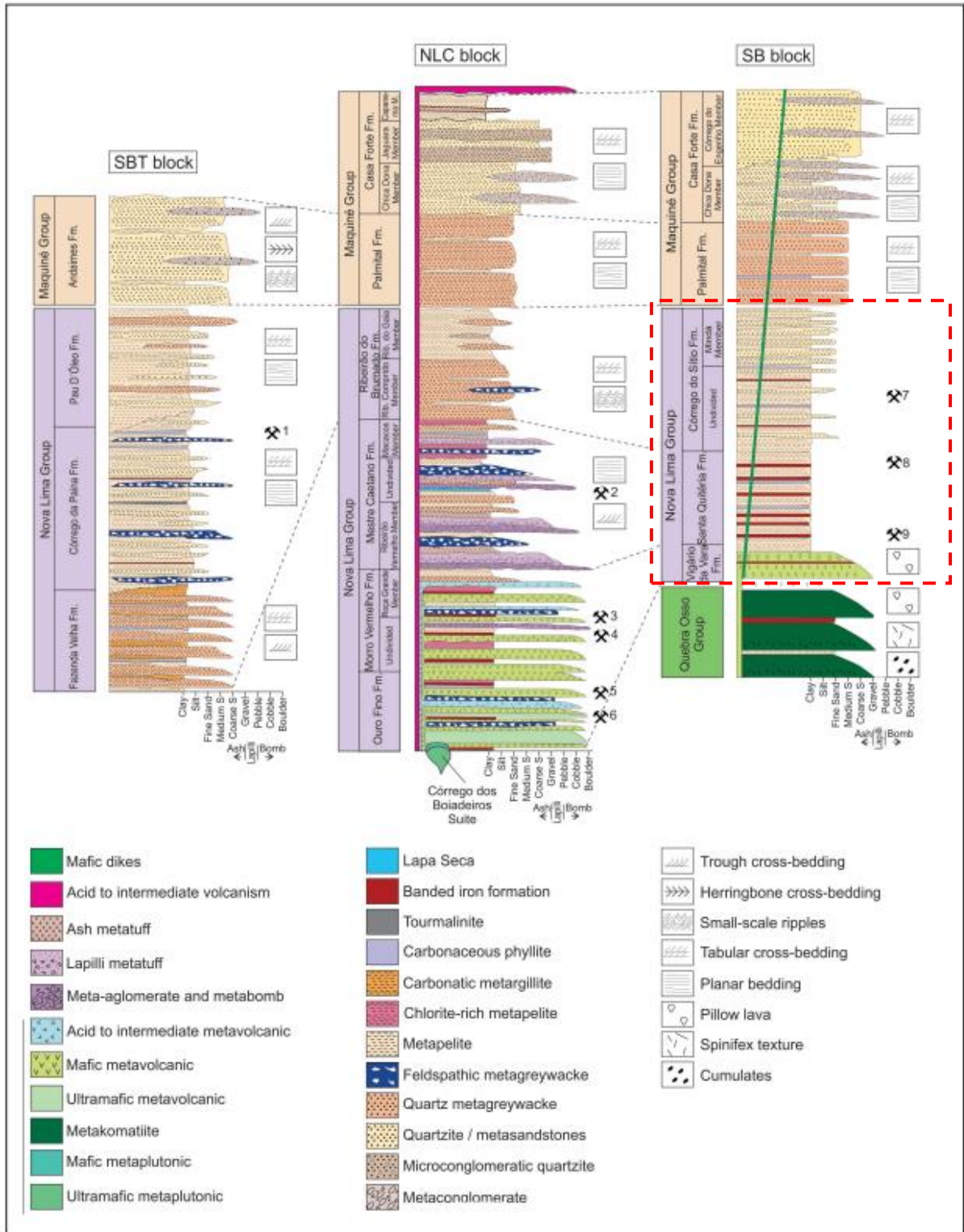


Figura 3.3 - Colunas estratigráficas dos três blocos tectonoestratigráficos do greenstone belt do Rio das Velhas. A figura não representa a espessura das camadas, nem a separação vertical implica uma relação temporal linear. Depósitos de ouro: 1- Santa Isabel (complexo Paciência), Ouro Fino e Cata Branca; 2- Morro Velho; 3- Roça Grande; 4- Cuiabá e Lamego; 5- Juca Vieira; 6- Raposos; 7- Córrego do Sítio; 8- Santa Quitéria; 9- Pilar. Modificado de Araújo *et al.* (2020).

A formação Vigário da Vara ocorre como lâminas tectônicas dentro das sequências metavulcano-sedimentares do Grupo Nova Lima. É composta por metabasaltos toleíticos localmente preservadas. As rochas metavulcânicas básicas são verdes a cinzas, maciças a foliadas, e de granulação muito fina a afanítica (Araújo *et al.* 2020).

A formação Santa Quitéria caracteriza-se pela alternância de BIFs e metachert com mica-quartzo, clorita-quartzo e sericita-clorita-xistos (Zucchetti, 1998). É interpretado como uma falha de empurrão com vergência para oeste sobre a Unidade Córrego do Sítio Superior, gerando um rejeito de 1,3km, caracterizado por veios de quartzo cisalhados e há uma ocorrência de um dique metabásico que as separa (Lima 2012; Araújo *et al.* 2020).

A formação Córrego do Sítio, por sua vez, é subdividida informalmente em unidades Inferior, Intermediária e Superior. A unidade Córrego do Sítio Inferior caracteriza-se por uma sequência de filitos carbonosos a micáceos, intercalados com camadas de metagrauvas e BIFs e pode ser interpretada como resultado de ciclos incompletos de Bouma, caracterizados por uma sedimentação marinha profunda na fase de correntes de turbidez, formando os turbiditos. A unidade intermediária é formada pelo predomínio de metapelitos carbonosos, com presença de venulações por quartzo e carbonato, associados a mineralização de ouro, sulfetos e sulfossais disseminados, a qual estão inseridos os corpos de minério Laranjeiras e Carvoaria. A unidade Superior também é interpretada como um ciclo de Bouma incompleto, com predominância de metagrauvas intercaladas com metapelitos carbonosos e subordinadas lentes de formação ferrífera bandada (Lima 2012; Muniz 2017; Araújo *et al.* 2020).

3.3 CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS DO DEPÓSITO DE CÓRREGO DO SÍTIO

No estudo de Lima (2012), é estabelecida uma conexão entre a mineralização encontrada em Córrego do Sítio e o modelo de depósitos de Au Orogênico proposto por Groves *et al.* (1998). Isso ocorre devido o depósito estar hospedado em intercalações entre metagrauvas e metapelitos carbonosos, que foram polideformados em zonas de cisalhamento. Esses veios de cisalhamento são mineralizados por quartzo, carbonatos e sulfetos, formando uma paragênese mineral composta por ouro livre, bem como sulfetos e sulfossais, como bertierita, arsenopirita, estibnita, pirrotita, pirita, calcopirita e esfalerita.

Três padrões distintos de mineralização podem ser identificados em Córrego do Sítio, considerando a interação entre a paragênese mineral, a estrutura deformacional e a rocha hospedeira: o estilo de mineralização predominante é denominado de (i) Série 300, formado por uma zona estreita e continua dominada por um veio de quartzo fumê e carbonato, onde o ouro ocorre em associação com minerais como arsenopirita, bertierita, pirrotita e pirita, ou mesmo em forma livre e estão hospedados

na unidade Córrego do Sítio intermediária ou superior; (ii) Série 200 é constituída por microvenulações de veios de quartzo fumê e carbonato, com sulfetos disseminados, encontrados em metapelitos carbonosos dobrados. O ouro está localizado nas extremidades ou incorporado a arsenopirita, pirita e pirrotita. O minério da série 200 está hospedado na unidade Córrego do Sítio intermediária; (iii) Série 100 apresenta o ouro contido dentro da estrutura da arsenopirita, pirrotita e pirita. É constituída por veios de quartzo fumê, carbonato e sulfetos disseminados e brechados. A rocha hospedeira exibe diversos processos de alteração, como cloritização, carbonatação, seritização, silificação e sulfetação, e está situado na unidade Córrego do Sítio inferior (Lima, 2012).

Porto (2008) sintetizou quatro tipos principais de mineralização para o depósito aurífero de Córrego do Sítio, definidos por observações em escala macroscópica:

- i) Veios e venulações de quartzo fumê com carbonato subordinado, hospedados em metapelitos carbonosos e metagrauvas. A arsenopirita é o principal sulfeto, seguida de pirrotita e esfalerita. Localmente, ocorrem massas de bertierita e estibinita nos veios. Este é o principal estilo de mineralização do depósito e ocorre em diversas lentes com espessura decimétrica a métrica, tipicamente nas lentes da série 300.
- ii) Mineralização disseminada na zona de contato com os diques metamáficos DB1. A alteração hidrotermal sericítica, carbonática e clorítica é mais expressiva e ocorre em halos gradacionais nos diques metamáficos. A arsenopirita é o principal sulfeto, seguida de pirrotita. Ao contrário do Tipo 1, a pirita é pouco comum. Este estilo de mineralização é típico das lentes entre os diques metamáficos da série 200.
- iii) Veios de quartzo cinza a branco de espessura decimétrica a métrica com expressivas massas de bertierita e ouro livre. Arsenopirita é subordinada e pode estar ausente. A zona mineralizada está encaixada em metapelitos e/ou metagrauvas que apresentam halos de alteração hidrotermal sericítica e carbonática. São corpos expressivos, porém isolados, muito contínuos ao longo do caimento e com alto teor de ouro.
- iv) Mineralização disseminada em metagrauvas maciças ou com foliação incipiente, localmente com estrutura brechada (stockwork). A rocha hospedeira está recristalizada e exibe intensa alteração hidrotermal, cloritização, carbonatação, sericitização, silificação e sulfetação. Os principais sulfetos são pirrotita e arsenopirita, com traços de bertierita, pirita e esfalerita.

Em estudo mais recente, Gusmão (2022) descreve mais um estilo de mineralização aurífera no Lineamento Córrego do Sítio. O estilo de mineralização pode ser definido como veios de quartzo e carbonato, com ouro associado principalmente a arsenopirita. A principal diferença para os estilos de mineralização já descritos ocorre devido aos litotipos das rochas hospedeiras, que incluem os metapelitos, meta-BIFs e metachert. Esse estilo de mineralização ocorre no corpo Donana e apresenta

similaridades com a maioria dos depósitos de Au Orogênico do QFe (e.g Cuiabá, Lamego e São Bento) (Lobato *et al* 2001).

Santos (2020) detalha os corpos intrusivos do depósito, os quais assumem um papel crucial como direcionadores de exploração do complexo. A relevância dos diques e *sills* que penetram as rochas hospedeiras se dá pela sua configuração tabular e orientação predominante NE-SW. Muitas vezes, eles subdividem os principais alvos em subalvos mais específicos.

Os corpos intrusivos são caracterizados petrograficamente em quatro tipos distintos: DB1, DB2, DB3 e DB4. Lima (2012) condensa as características mineralógicas e texturais desses corpos conforme a tabela 3.1. Santos (2020) sugere a existência de uma simultaneidade temporal entre a mineralização e a formação de quartzo-sericita-milonitos em suas bordas, propiciando a concentração de fluidos mineralizantes. Essa observação reforça a possibilidade de que esses corpos intrusivos tenham atuado como barreiras à migração dos fluidos concentrados.

Tabela 3.1 - Características mineralógicas dos diques e *sills* de Córrego do Sítio. Modificado de Lima (2012).

Litologia (códigos mina)	Espessura (m)	Mineralogia		Principais Características	
		Essenciais	Acessórios	Centro	Borda
DB2/DB3	0,1 a 7	Carbonato, muscovita, quartzo, clorita e tremolita-actinolita	Pirita, pirrotita e calcopirita	Cristais médios a finos com porfíroblastos de carbonato, textura maciça a homogênea e venulações raras	
DB1	10 a 40	Hornblenda, plagioclásio, tremolita-actinolita, clota, epidoto, carbonato, quartzo, muscovita e biotita	Magnetita, titanita, ilmenita, rutilo, pirrotita e calcopirita		Cristais médios a finos, xistosidade penetrativa e stockwork com venulações milimétricas a centimétricas
DB4	6 a 100	Piroxênio, anfibólio, biotita, plagioclásio, clorita, quartzo, titanita e carbonato	Magnesita, ilmenita, pirita, pirrotita, apatita, calcopirita e esfalerita	Cristais grossos a médios, textura ígnea preservada e xistosidade incipiente	

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 INTRODUÇÃO

A identificação litológica dos corpos de minério Laranjeiras e Carvoaria no depósito Córrego do Sítio, determinadas a partir da descrição detalhada dos testemunhos de sondagem e das análises microscópicas, permitiu a identificação das principais rochas hospedeiras, zonas de alteração hidrotermal e estilos de mineralização em cada corpo.

Os corpos de minério deste estudo, assim como outros corpos de Córrego do Sítio, são marcados por uma alternância rítmica de metapelitos e metagrauvascas, metamorfisados na fácies xisto verde. Foram reconhecidos três tipos de zonas de alteração hidrotermal e subdivididas em distal, intermediária e mineralizada.

Os metapelitos e metagrauvascas exibem um aumento gradual na alteração hidrotermal e deformação dúctil à medida que se aproximam das zonas mineralizadas. Essas rochas metassedimentares clásticas preservadas apresentam bandamento primário marcando o acamamento sedimentar (S_0), observados pelas zonas de contato entre elas, baixo grau de alteração hidrotermal e deformação dúctil (Figura 4.1a e Figura 4.1d). Assim, as rochas preservadas foram categorizadas como rochas hospedeiras, enquanto as com maiores alterações foram identificadas como zonas mineralizadas.

Próximo às zonas mineralizadas, particularmente em zonas intermediárias do depósito, são observados frequentemente a presença de veios e venulações quartzo-carbonáticas, assim como sericita, fortemente dobrados. A sulfetação é marcada pela presença de pirita e pirrotita em todo o intervalo e tende a aumentar nas zonas mineralizadas, combinadas com a presença de arsenopirita, bertierita, pirita e calcopirita. A cloritização é presente em toda a extensão dos testemunhos, mesmo nas zonas de menor frequência de venulações, onde a alteração hidrotermal é menor.

As rochas do depósito de Córrego do Sítio são cortadas por quatro famílias de diques. Duas dessas gerações de diques são comumente observadas nos corpos Laranjeiras e Carvoaria, o dique máfico, denominado de DB1 e o dique quartzo-feldspático, denominado de DB3. As rochas encaixantes com os diques são descritas por Santos (2020) como um quartzo-sericita milonito, denominadas pelo código ZTP (Zona de Transição Proximal). Essas zonas podem conter mineralização, ainda que pouco expressivas quando comparadas com outras litologias.

4.2 ROCHAS HOSPEDEIRAS

As principais rochas hospedeiras dos corpos Laranjeiras e Carvoaria são os metapelitos e metagrauvas. Essas rochas apresentam baixo grau metamórfico em fácies xisto verde.

Os metapelitos são rochas cinza escuro, com granulação variando de muito fina a fina, compostas principalmente por quartzo, carbonato, matéria carbonosa e mica branca marcando a xistosidade em zonas mais preservadas (Figura 4.1b). É comum a intercalação com camadas de metagrauvas que variam de alguns centímetros até dois metros de espessura.

As metagrauvas são rochas cinza claro, com granulação variando entre fina à média, compostas principalmente por quartzo, mica branca e biotita. (Figura 4.1c). Em comparação com os metapelitos, apresentam maior quantidade de quartzo e a granulação é relativamente mais grossa.



Figura 4.1 - Principais feições macroscópicas dos litotipos hospedeiros dos alvos Laranjeiras e Carvoaria. a) Contato entre metapelito, cinza escuro e metagrauva cinza claro. b) Predominância de metapelitos com venulações quartzo-carbonáticas intercaladas. c) Predominância de metagrauva com finas venulações. d) Contato entre rochas dobrado.

4.3 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DO CORPO DE MINÉRIO LARANJEIRAS

A caracterização petrográfica abrangeu tanto a análise macroscópica quanto microscópica do corpo de minério Laranjeiras, objetivando uma compreensão detalhada das características mineralógicas e texturais, com a finalidade de evidenciar os graus dessa alteração hidrotermal. Nesse contexto, a identificação do padrão de alteração hidrotermal, que deu origem ao desenvolvimento de zonas ricas em clorita, carbonato, sericita e sulfetos foram reconhecidos. Além disso, foram identificadas venulações quartzo-carbonáticas intercaladas com lâminas de rocha encaixante, cuja intensidade varia de acordo com a alteração hidrotermal.

Nas porções proximais às zonas mineralizadas, é comum a intensificação das venulações quartzo-carbonáticas e a ocorrência de sericita, seguida subordinadamente pela clorita. A sulfetação se destaca principalmente pela presença de arsenopirita, pirita e pirrotita.

4.3.1 Descrição petrográfica macroscópica

A Figura 4.2 mostra um modelo esquemático do corpo Laranjeiras, com ênfase no furo de sondagem utilizado (UCS7389), destacando os litotipos e as zonas mineralizadas. O furo corta principalmente os metapelitos e metagrauvas, além de diques. As zonas mineralizadas compreendem pequenos lodos restritos.

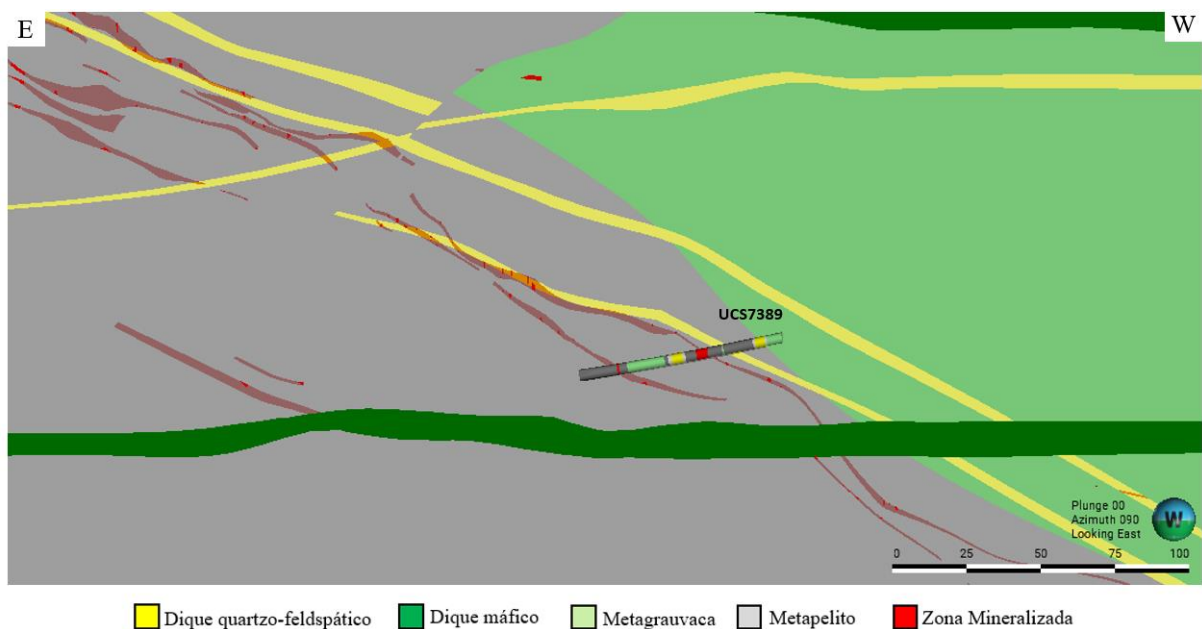


Figura 4.2 - Seção esquemática do Corpo Laranjeiras, com direção E-W, com o testemunho de sondagem utilizado neste estudo petrográfico.

A Figura 4.3 sintetiza de forma resumida, o padrão de alteração das rochas ao longo de um testemunho de sondagem do alvo Laranjeiras, construído a partir das informações macroscópicas e separados em zona distal, intermediária e mineralizada.

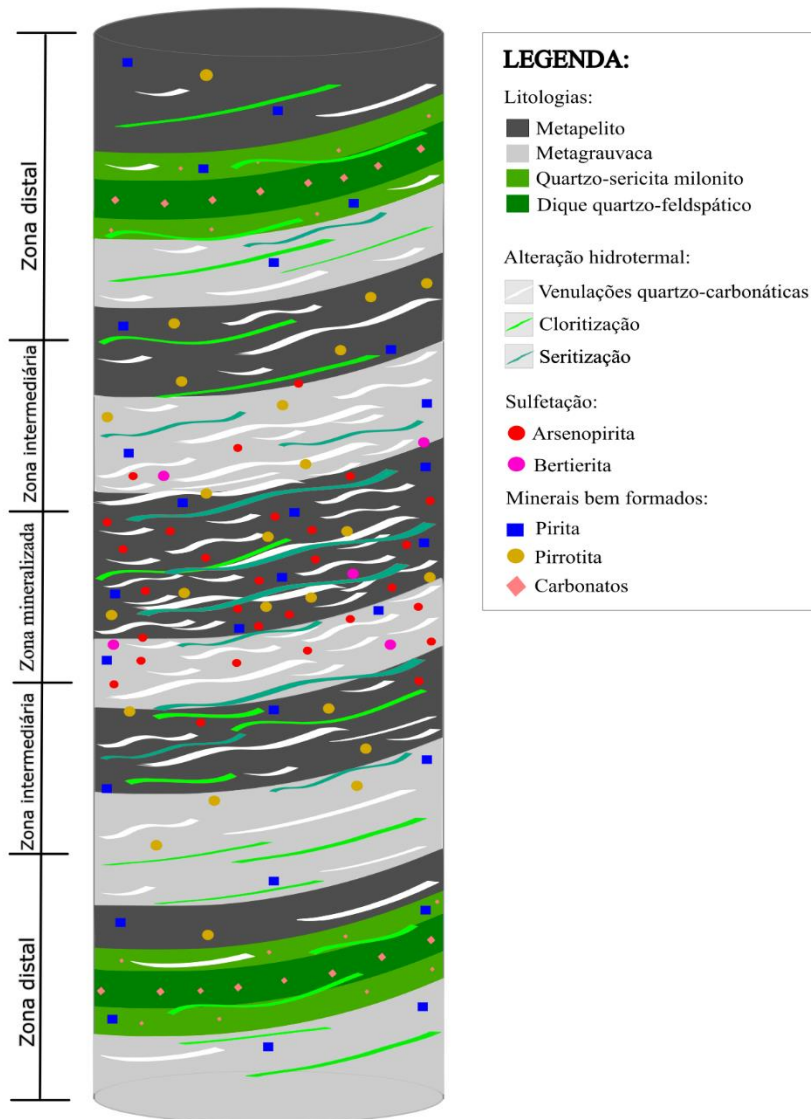


Figura.4.3 - Log esquemático do testemunho de sondagem UCS7389, do corpo de minério Laranjeiras.

A zona de alteração distal, mais distante da zona mineralizada, não possui teores econômicos de ouro. Veios quartzo-carbonáticos são raros ou milimétricos e, em geral, as rochas hospedeiras apresentam-se pouco deformadas e com suas características mineralógicas e texturais mais preservadas. A presença de pirita, pouco expressiva, é observada, geralmente em pequenos cristais euédricos a subédricos ou estiradas seguindo o plano de foliação milonítica da rocha. A presença de cloritização é mais comum nessa região, em comparação com as zonas intermediárias e mineralizadas.

Nas zonas distais encontram-se os diques e a zona de alteração hidrotermal provocada pela intrusão e classificada por Santos (2020) como quartzo-sericita milonito. O dique quartzo-feldspático (DB3) está presente no testemunho de sondagem utilizado neste trabalho. Apresenta textura maciça, coloração cinza claro à esverdeado, de aparência maciça, grande quantidade de fenoblastos de carbonato (ankerita), com granulação entre 1 a 5 mm e espessura variável entre 1 e 8 m. O dique quartzo-feldspático é composto por clorita, sericita, quartzo e carbonato com presença de pirita estirada, inclusa em venulações de quartzo e carbonato ou em pequenos cristais bem formados.

O quartzo-sericita milonito ocorre nas bordas dos diques e está associado à um intenso processo de alteração hidrotermal. Possui coloração verde claro e sua granulação é comparativamente menor em relação ao dique quartzo-feldspático. O contato entre essas rochas tende a ser de forma gradual. Zonas mineralizadas restritas e de baixo teor podem ocorrer no contato entre esses diques e os quartzo-sericita milonitos.

A zona de alteração hidrotermal intermediária está localizada entre a zona distal e a zona mineralizada. Nessa região as rochas hospedeiras apresentam uma crescente alteração hidrotermal. Venulações e veios quartzo-carbonáticos são comuns, podendo haver mineralização, com teores baixos e sulfetos geralmente disseminados e sem grandes concentrações. A presença de pirita e pirrotita é muito comum, assim como o aumento dos halos de alteração sericítica.

A zona mineralizada ocorre envelopada pelos halos de clorita, carbonato e sericita. A intensa presença de veios quartzo-carbonáticos (Figura 4.4), de espessuras centimétricas a métricas e seritização pervasiva, associada a presença significativa de sulfetos como pirrotita, pirita, além de arsenopirita acicular disseminada ou formando agregados evidencia a principal feição diagnóstica desta região.

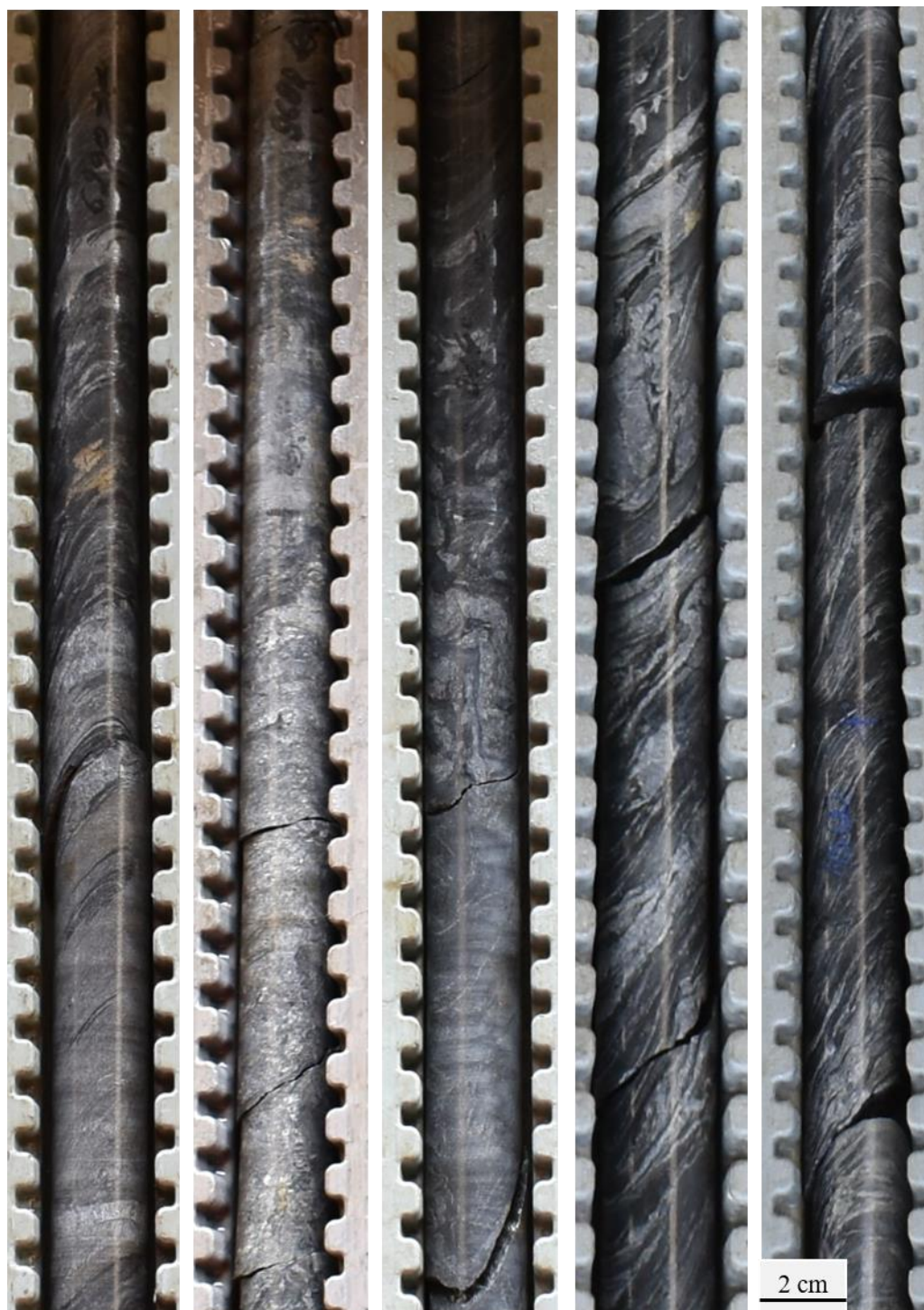


Figura 4.4 - Zonas mineralizadas do corpo Laranjeiras. É possível notar rochas intensamente deformadas acompanhadas por alteração hidrotermal, desenvolvidas em metapelitos e metagrauvascas.

Os veios de quartzo quando maiores ou iguais a 0.60 m são individualizados na descrição do testemunho de sondagem e apresentam-se predominantemente leitosos, podendo ocorrer também na forma de quartzo fumê. O contato da alteração intermediária com a zona mineralizada geralmente é

abrupto, mas pode ser sutil. Isso ocorre porque, em geral, esses intervalos tendem a estar bastante deformados, embora nem sempre seja fácil visualizá-los devido ao tamanho dos sulfetos.

4.3.2 Descrição petrográfica microscópica

A análise microscópica das amostras coletadas nas zonas mineralizadas do furo de sondagem no corpo Laranjeiras, permitiu a definição das texturas minerais, as estruturas das rochas, sua composição mineralógica e os padrões de mineralização. As amostras selecionadas foram retiradas apenas das zonas mineralizadas (Figura 4.5).

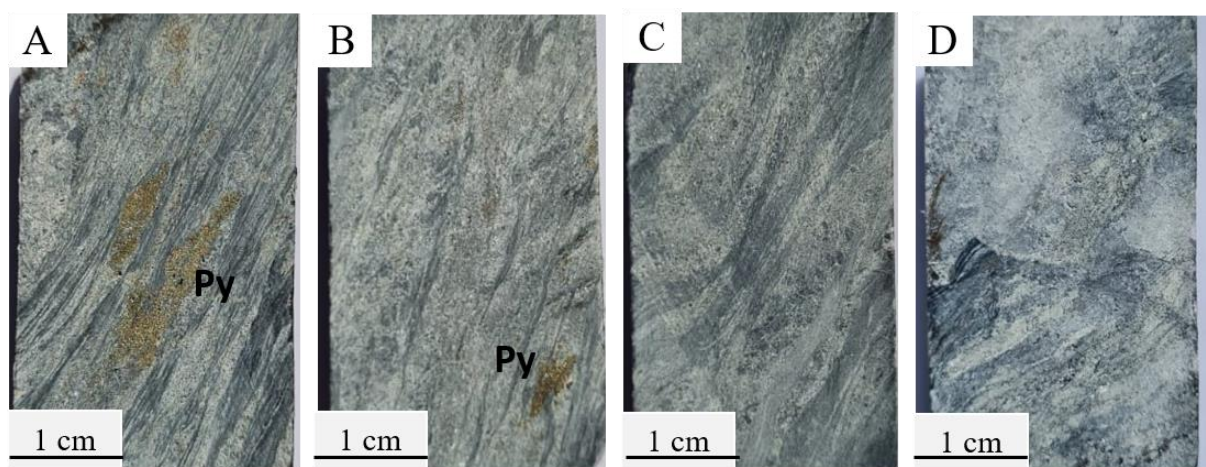


Figura 4.5 - Zonas mineralizadas analisadas em testemunho de sondagem do corpo Laranjeiras. a) e b) Metapelite hidrotermalizada com grãos de pirita estirados. c) Metagrauvaca hidrotermalizada com presença de arsenopirita muito fina e d) Metagrauvaca hidrotermalizada com venulações intensas de quartzo e carbonato.

Em geral, a zona mineralizada do corpo Laranjeiras possui 80% de minerais de ganga e 20% de minerais de minério (Figura 4.6). As rochas hospedeiras das mineralizações são as metagrauvas e metapeitos. Os minerais de ganga incluem sericita (30-35%), quartzo (25-30%), carbonato (15-20%) e feldspato (10-15%). A arsenopirita é o sulfeto mais comum na zona mineralizada, seguida da pirita, pirrotita e calcopirita.

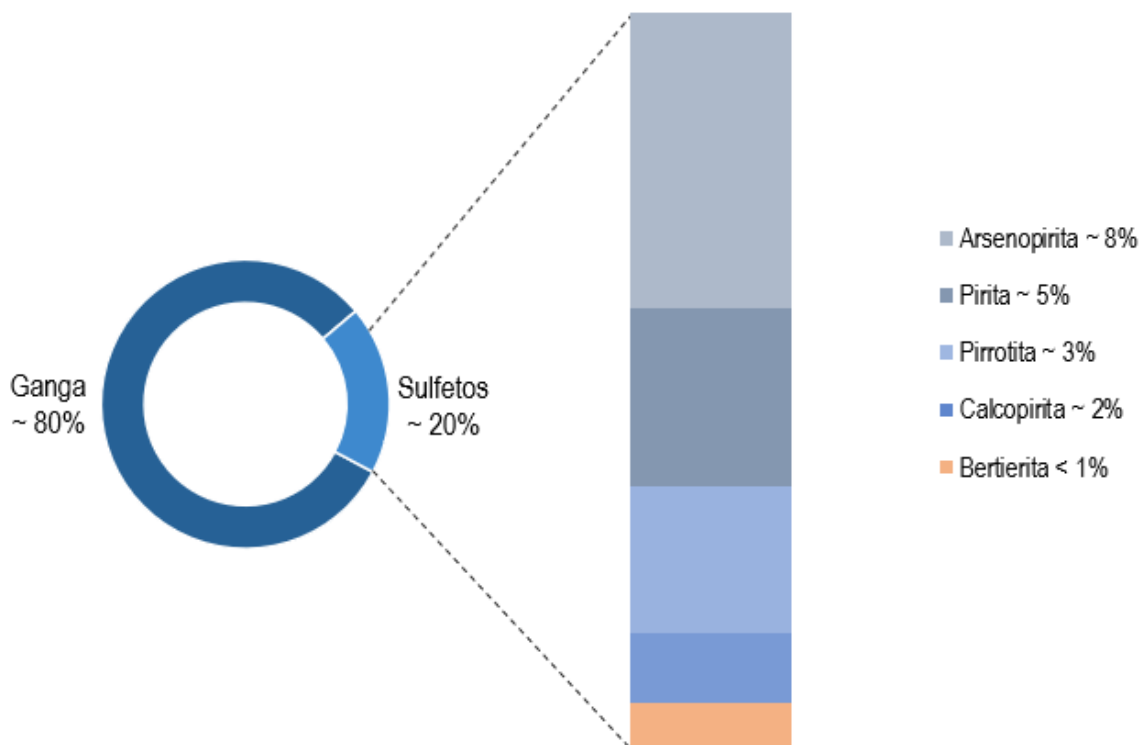


Figura 4.6 - Relação entre minerais de ganga e sulfetos do corpo de minério Laranjeiras.

A rocha apresenta textura granoblástica e é composta por grãos de quartzo e carbonato, predominantemente equigranulares, de tamanho médio, subidiomórficos ou xenomórficos e com contato poligonal (Figura 4.7a). Sericita muito expressiva, gerando uma textura lepidoblástica, apresenta forte orientação dimensional (Figura 4.7b e Figura 4.7c), responsável pela geração de uma foliação milonítica. As venulações de quartzo e carbonato são intercaladas por lamelas de sericita e clorita. Os grãos de quartzo e carbonato das venulações são menores do que os da rocha hospedeira, e estão orientados na mesma direção da foliação milonítica (Figura 4.7d e Figura 4.7e).

A análise microscópica revela que a deformação em regime dúctil gerou estruturas como bandas de cisalhamento com pares S-C (Figura 4.7f). Essa foliação parece ser sincrônica ao desenvolvimento da alteração hidrotermal e da precipitação dos sulfetos da zona mineralizada.

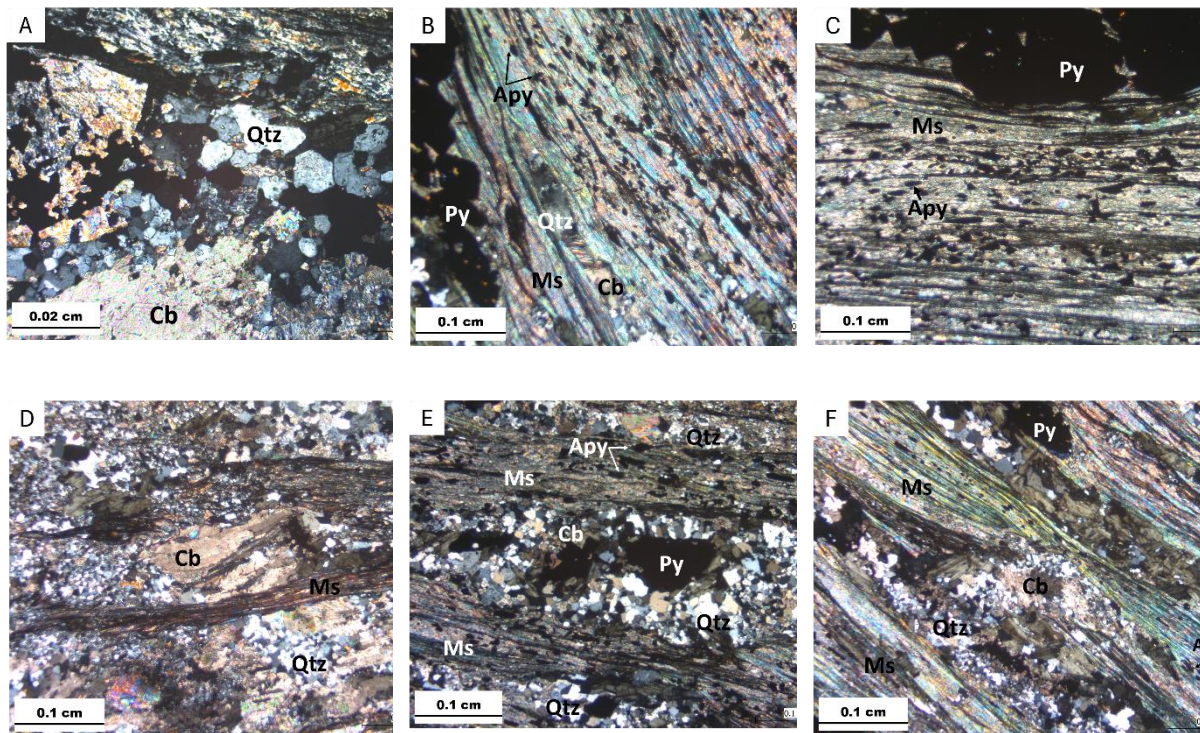


Figura 4.7 - Fotomicrografias de luz transmitida, luz polarizada cruzada, dos principais padrões de alteração hidrotermal. a) Silificação (Qtz) e carbonatação (Cb). b) e c) Seritização (Ms). d) Venulação quartzo-carbonáticas, intercaladas por veio quartzo-carbonático. e) Faixa de sericitização, intercalada por veio de quartzo. f) Foliação milonítica, evidenciando estrutura como banda de cisalhamento com pares S-C.

Os grãos de arsenopirita, idio a subidiomórficos, estão dispostos em arranjos subparalelos à foliação milonítica ou disseminados, preferencialmente, nas bandas mais micáceas (Figura 4.8a, Figura 4.8b e Figura 4.8c). A pirita, pirrotita e calcopirita são minerais acessórios e encontram-se disseminados nas zonas mineralizadas. A calcopirita ocorre como cristais xenomórficos de granulação fina (Figura 4.8d). A pirrotita ocorre como cristais xenoblásticos e, comumente, apresentam inclusões de calcopirita e arsenopirita (Figura 4.8e). A pirita se apresenta em cristais subidioblásticos, normalmente estirados seguindo a foliação (Figura 4.8f).

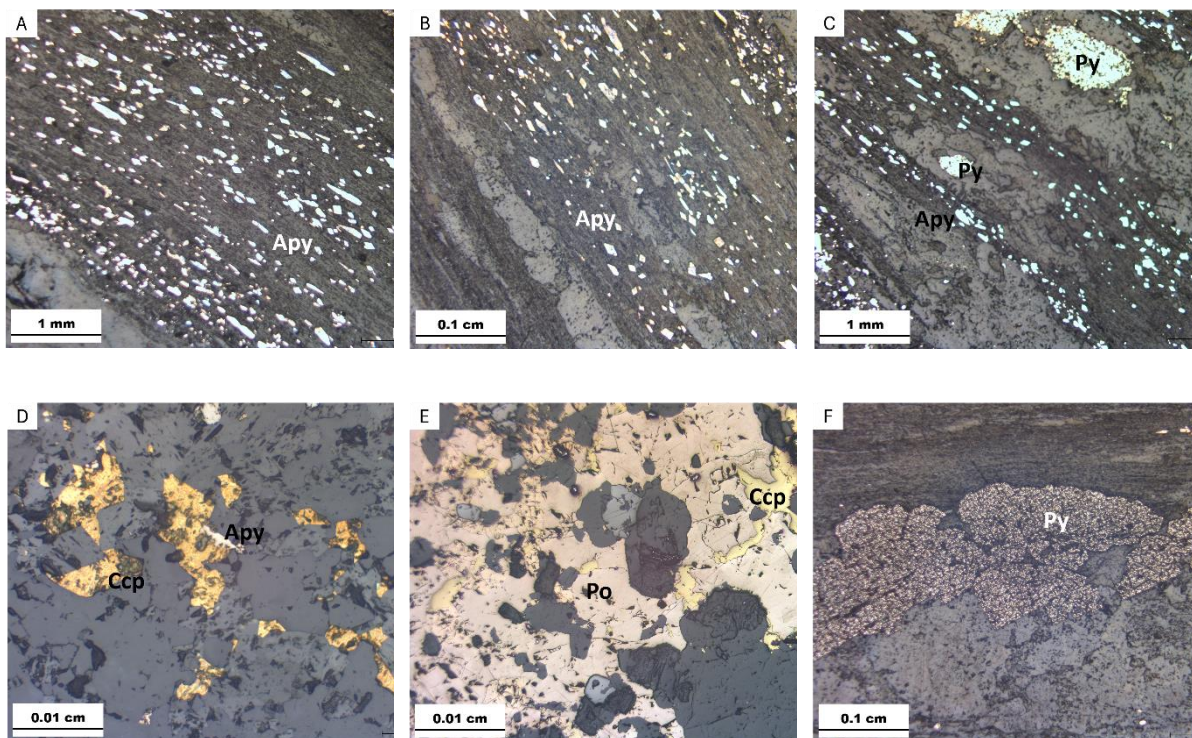


Figura 4.8 - Principais sulfetos presentes analisados em luz refletida. a), b) e c) Arsenopirita (Apy). d) Calcopirita oxidada (Ccp). e) Pirrotita (Po). f) Pirita (Py).

4.4 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DO CORPO DE MINÉRIO CARVOARIA

O corpo de minério Carvoaria apresenta similaridades com o corpo de minério Laranjeiras no que se refere as zonas distais e intermediárias. Sua caracterização petrográfica, tanto macroscópica quanto microscópica, também envolveu a análise detalhada das características mineralógicas e texturais. Nas áreas mineralizadas, foram identificados veios de quartzo leitosos ou fumê, intercaladas com lâminas de rocha encaixante, centimétricos a métricos, além das venulações quartzo-carbonáticas. A sulfetação é marcada pela presença de bertierita, arsenopirita, pirrotita e pirita.

4.4.1 Descrição petrográfica macroscópica

A Figura 4.9 mostra um modelo esquemático do corpo Carvoaria, com ênfase no testemunho de sondagem utilizado neste estudo (UCS7455), destacando os litotipos e as zonas mineralizadas. O furo intercepta principalmente metapelitos e metagrauvacas com diques subordinados. As zonas mineralizadas ocorrem como lodes próximo ao contato dessas rochas.

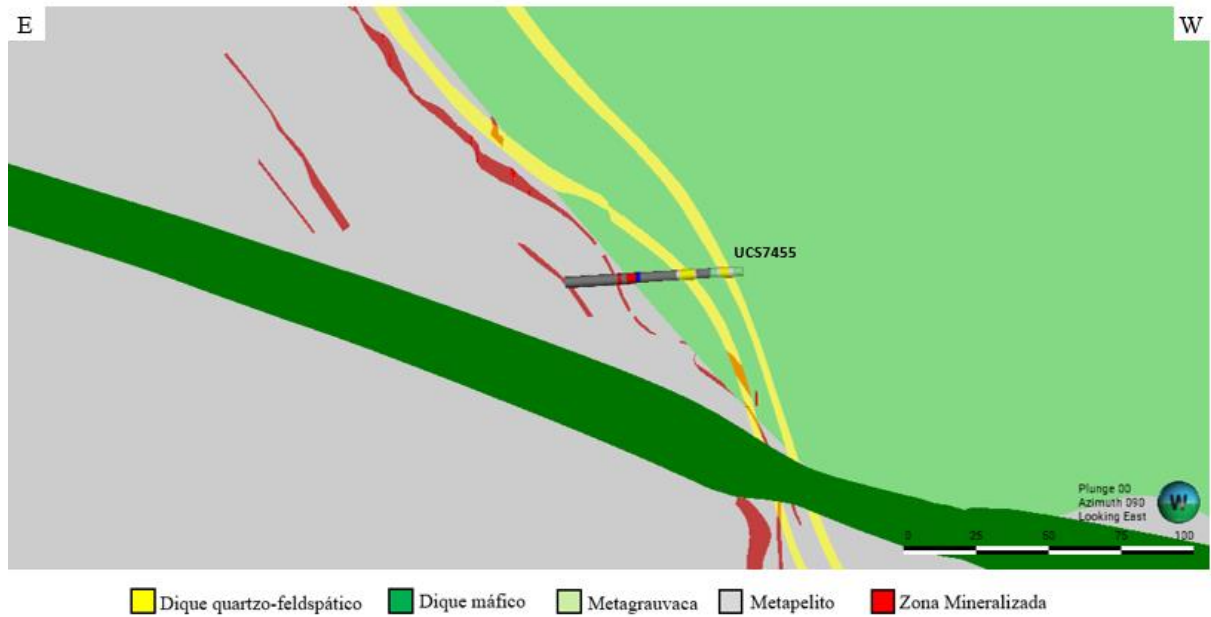


Figura 4.9 - Seção esquemática do Corpo Carvoaria, com direção E-W, com o testemunho de sondagem utilizado neste estudo petrográfico.

A Figura 4.10 apresenta de forma resumida o padrão de alteração das rochas ao longo de um testemunho de sondagem do alvo Carvoaria. Também foram reconhecidos três tipos de zonas de alteração hidrotermal divididas em distal, intermediária e mineralizada. As áreas distais e intermediárias apresentam características mineralógicas e texturais similares das rochas hospedeiras já descritas do corpo de minério Laranjeiras. A zona mineralizada, em contrapartida, parece ser descritivamente distinta do corpo Laranjeiras.

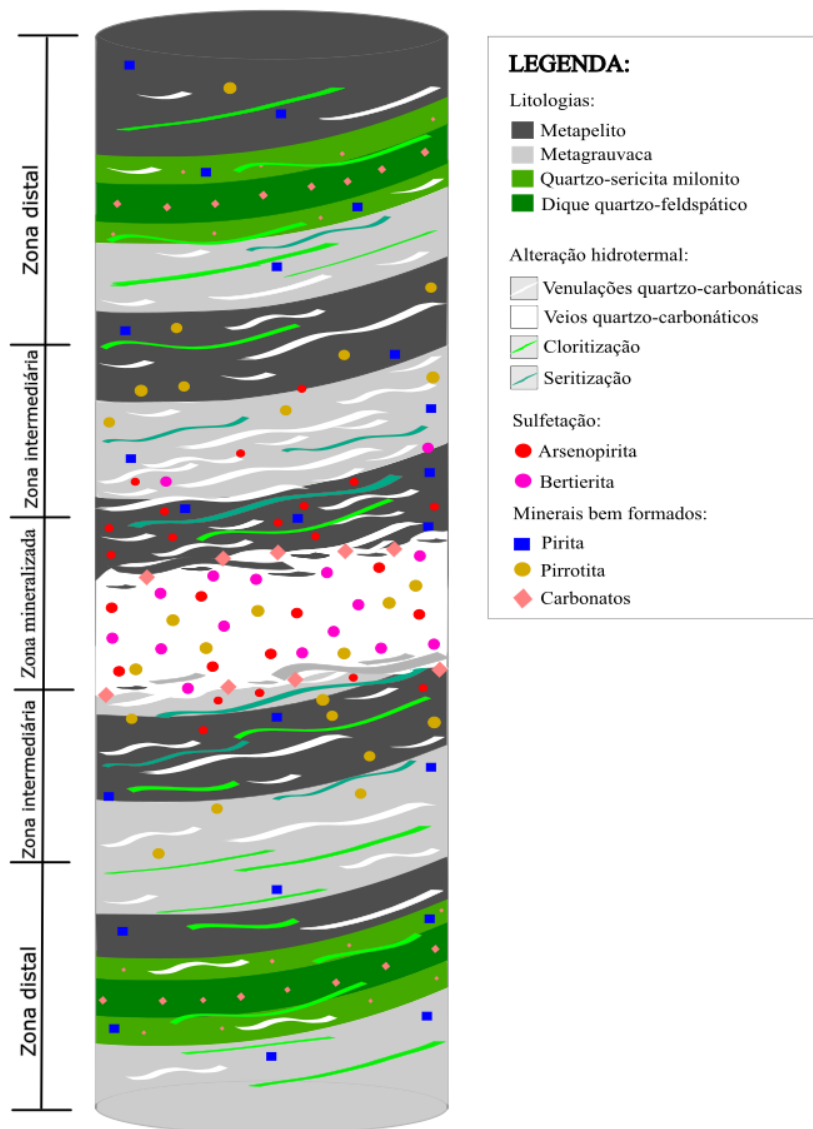


Figura 4.10 - Log esquemático do testemunho de sondagem UCS7455, do corpo de minério Carvoaria.

A zona mineralizada do corpo Carvoaria (Figura 4.11) apresenta feição diagnóstica marcada pelos veios de quartzo leitosos, intercalados com lâminas de rocha encaixante e venulações quartzo-carbonáticas. Contém significativa presença de sulfetos e sulfossais, principalmente, bertierita, arsenopirita, pirita e pirrotita. O contato do halo de alteração intermediária com a zona mineralizada tende a ser mais brusco.



Figura 4.11 - Zonas mineralizadas intensamente deformadas. a) e b) Veio quartzo-carbonático hidrotermalizado. c) e d) Metapelito e metagrauvaca intercalada hidrotermalizada.

4.4.2 Descrição petrográfica microscópica

Assim como no corpo de minério Laranjeiras, com a análise microscópica das amostras coletadas do furo de sondagem no corpo Carvoaria nas zonas mineralizadas, foi possível definir as texturas minerais, as estruturas das rochas, a composição mineralógica e os padrões de mineralização.

As amostras selecionadas foram retiradas de veios de quartzo sulfetados (Figura 4.12a e Figura 4.12b), metapelitos hidrotermalizados (Figura 4.12c) e metagrauvasas hidrotermalizadas (Figura 4.12d).

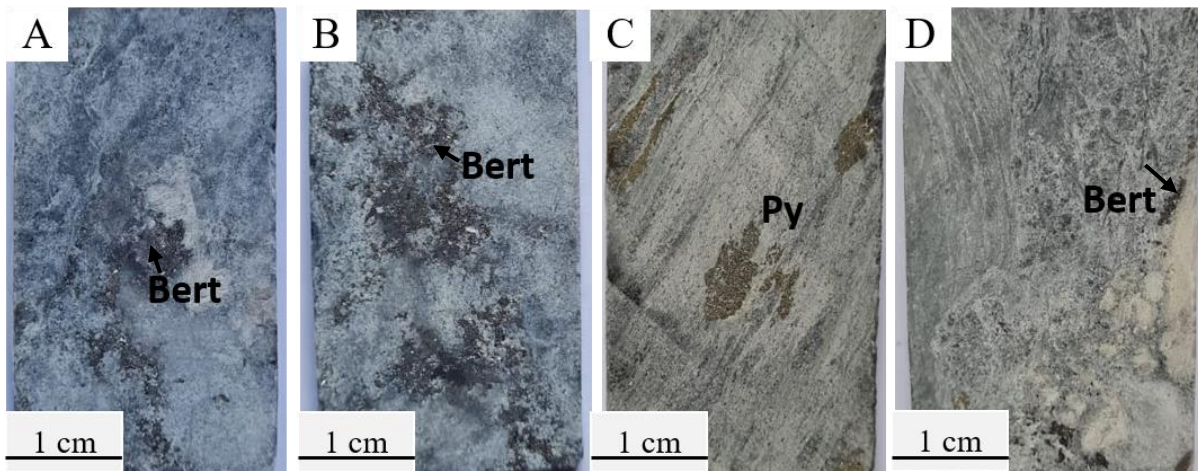


Figura 4.12 - Zonas mineralizadas analisadas em testemunho de sondagem do corpo Carvoaria. a) e b) Veio de quartzo hidrotermalizado com presença de bertierita (Bert); c) Metapelito hidrotermalizado com presença de pirita (Py) estirada e d) Metapelito hidrotermalizado com presença de Bert e carbonatação intensa.

Os minerais de ganga representam, aproximadamente, 84% da composição da área mineralizada e 16% de minerais de minério (Figura 4.13), sendo: quartzo (50-55%), carbonato (20-25%), sericita (15-20%) e feldspato (10-15%). Bertierita e arsenopirita são os sulfossais e sulfetos mais comuns da zona mineralizada, seguida de pirita e pirrotita.

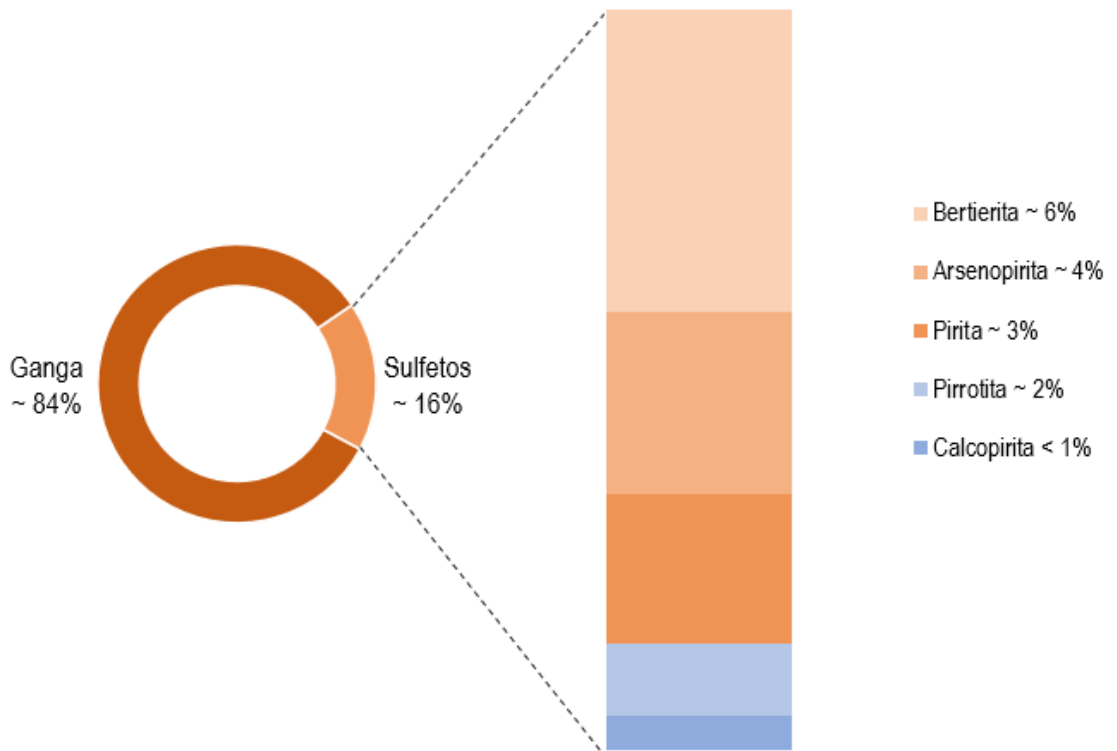


Figura 4.13 - Relação entre minerais de ganga e sulfetos do corpo de minério Carvoaria.

A rocha apresenta textura granoblástica e é composta por grãos dos veios de quartzo que variam entre tamanho médio e grosso, são equigranulares, subidiomórficos ou xenomórficos e com contato poligonal. A sulfetação nesse corpo ocorre associada, principalmente, aos veios de quartzo (Figura 4.14a, Figura 4.14b e Figura 4.14c). Os grãos de rocha encaixante e as venulações quartzo-carbonáticas apresentam tamanho relativamente menor que os grãos dos veios de quartzo, são classificados como finos a médios e estão orientados na mesma direção da foliação milonítica. A arsenopirita ocorre preferencialmente acompanhando as venulações de quartzo e carbonato (Figura 4.14d, Figura 4.14e e Figura 4.14f).

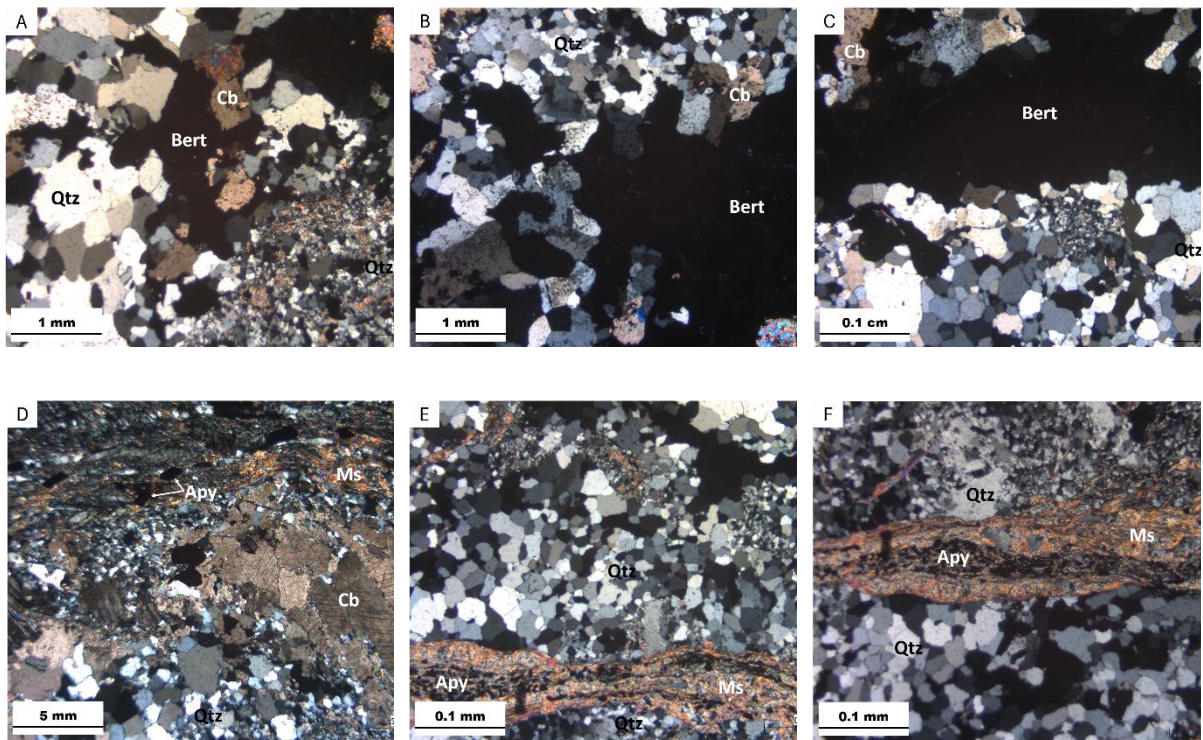


Figura 4.14 - Fotomicrografias de luz transmitida, luz polarizada cruzada, das principais feições microscópicas das rochas hospedeiras. a), b) e c) Veio de quartzo -carbonato e bertierita (Bert). d), e) e f) Veios de quartzo-carbonato com intercalação de venulações quartzo-carbonáticas.

A bertierita é o sulfossil mais abundante e ocorre em agregados cristalinos xenomórficos ou em cristais alongados, principalmente associada aos veios de quartzo (Figura 4.15a, Figura 4.15b e Figura 4.15c). Os grãos de arsenopirita, idio a subidiomórficos, estão dispostas em arranjos subparalelos à foliação ou disseminados, preferencialmente, nas bandas mais micáceas (Figura 4.15d). A pirrotita ocorre como cristais xenoblásticos e, comumente, apresentam inclusões de calcopirita (Figura 4.15e). A pirita se apresenta em cristais subidioblásticos e encontra-se disseminada na matriz. (Figura 4.15f).

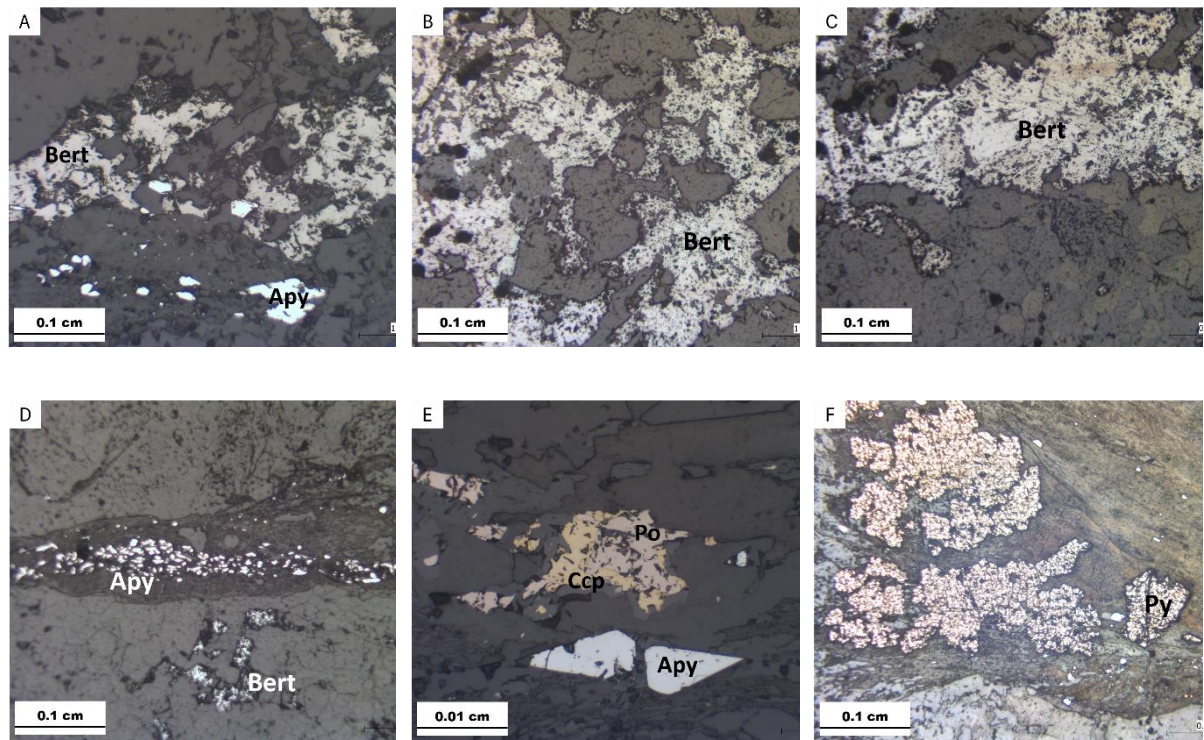


Figura 4.15 - Principais sulfetos presentes analisados em luz refletida. a), b) e c) Bertierita (Bert); d) Arsenopirita (Apy); e) Calcopirita (Ccp) e Pirrotita (Po); f) Pirita (Py).

5.1 SIMILARIDADES ENTRE OS CORPOS DE MINÉRIO LARANJEIRAS E CARVOARIA

O depósito Córrego do Sítio contém uma série de corpos auríferos que possuem algumas características em comuns e outras distintas (Porto 2008; Ribeiro *et al.* 2013; Roncatto Jr. *et al.* 2015). Dentre estes corpos, os corpos Laranjeiras e Carvoaria compreendem grandes corpos de minério com algumas características diferentes entre eles. Por outro lado, as rochas hospedeiras da mineralização aurífera nestes corpos são metapelitos e metagrauvacas que ocorrem de formas intercaladas. Essas rochas fazem parte da sequência metaturbidítica ressedimentada da formação Córrego do Sítio (Lima 2012; Ribeiro *et al.* 2013; Roncatto *et al.* 2015). As rochas metassedimentares da Unidade Córrego do Sítio foram submetidas a eventos deformacionais, responsáveis por provocar dobras nas estruturas primárias das rochas. Além disso, geraram a xistosidade (S_n) e foliação milonítica. Essas características estruturais foram previamente identificadas em Carvoaria, Laranjeiras e em outros locais de depósito mineral, como Cachorro Bravo (Lima 2012; Ribeiro *et al.* 2013; Roncatto Jr. *et al.* 2015).

Nas zonas distais às zonas mineralizadas em ambos os corpos de minério, as rochas hospedeiras exibem suas estruturas e texturas primárias. A cloritização é mais presente nas rochas hospedeiras que foram menos alteradas hidrotermalmente. À medida que se aproxima das zonas mineralizadas, as venulações e veios tornam-se mais frequentes e as rochas apresentam carbonatação e sericitização mais intensas.

Os diques quartzo-feldspáticos cortam as rochas metassedimentares e causam a alteração das rochas adjacentes, formando os quartzo-sericita milonitos (Santos, 2020). Esses diques são metamórficos, marcados por bordas com alteração carbonática e centro menos alterado. Não apresentam minerais relícticos, pois, de forma geral, estão bastante alterados, o que dificulta a identificação do seu protólito (Porto 2008; Lima 2012). O contato entre os diques e o quartzo-sericita milonito pode ser abrupto ou gradual. O contato abrupto ocorre quando a borda do quartzo-sericita milonito apresenta maior concentração de minerais micáceos e veios de quartzo, formando uma diferença textural visível a olho nu (Santos, 2020).

De acordo com Lima (2012), embora não seja economicamente viável, os quartzo-sericita milonitos mostram através da análise geoquímica uma correlação positiva com os seguintes elementos, seguindo uma ordem decrescente: As > Sb > Ag > Cr > Cs > Tl > W > Zn > Ba > Hg > Li > Ni > Rb > Cd > F.

5.2 DIFERENÇAS NAS CARACTERÍSTICAS E NOS PROCESSOS RESPONSÁVEIS PELA MINERALIZAÇÃO ENTRE OS CORPOS DE MINÉRIO LARANJEIRAS E CARVOARIA

Os depósitos de Au Orogênico do QFe são formados por fluidos hidrotermais, com temperaturas entre 250 e 350 °C, ricos em água e dióxido de carbono. Esses fluidos percolam por zonas de fraqueza nas rochas hospedeiras, alterando os minerais metamórficos e gerando halos de alteração hidrotermal (Lobato 1998; Lobato et al., 2001a, 2001b, 2007).).

Segundo Porto (2008), o depósito aurífero de Córrego do Sítio é composto por quatro tipos principais de mineralização, que podem ocorrer simultaneamente, mas com intensidade e recorrências variáveis. Os estilos das mineralizações são classificados de acordo com os principais minerais associados em escala mesoscópica (Tabela 5.1). Os corpos de minério Carvoaria e Laranjeiras são caracterizados por dois tipos distintos de mineralização aurífera.

Tabela 5.1 - Estilos de mineralização e minerais associados do depósito de Córrego do Sítio, modificado de Porto (2008).

Estilo de mineralização	Minerais associados
Tipo 1	Arsenopirita, pirrotita, esfalerita, bertierita
Tipo 2	Arsenopirita, pirrotita.
Tipo 3	Bertierita, ouro livre e arsenopirita subordinada.
Tipo 4	Pirrotita e arsenopirita, bertierita, pirita e esfalerita.

A mineralização do tipo 1 é característica principal do corpo Laranjeiras. O estilo de mineralização principal ocorre em venulações e veios de quartzo-carbonato-sulfetos (\pm sulfossais), onde a arsenopirita é o sulfeto principal. O intervalo de temperatura para a formação da arsenopirita varia entre 300°C e 475°C (Groves *et al.* 1998, 2003; Porto 2008; Lima 2012; Ribeiro 2013). Esse estilo de mineralização aurífera ocorre em intervalos onde as venulações quartzo-carbonáticas estão fortemente deformadas e apresentam foliação milonítica, associada a estruturas S-C e evidenciadas pela diminuição do tamanho dos cristais de quartzo e carbonato.

De acordo com modelo de Groves e Santosh (2016) (Figura 3.2), o corpo Laranjeiras pode estar localizado na região de transição rúptil-dúctil, entre os ambientes hipozonal e mesozonal. A mineralização do tipo 2 também tem como principal sulfeto a arsenopirita, mas é típica dos quartzo-

sericita milonitos, no contato com diques metamáficos e não corresponde ao estilo principal do corpo Laranjeiras (Porto 2008).

A mineralização do tipo 3 é característica principal do corpo de minério Carvoaria. Minerais de antimônio, como a bertierita, são comumente encontrados em veios quartzo-carbonáticos formados por soluções hidrotermais de baixa a média temperatura, aproximadamente 270°C. Esses veios geralmente ocorrem em profundidades entre 3 e 7 km, em ambiente mesozonal (Groves *et al.*, 2003; Porto 2008; Lima 2012; Ribeiro 2013).

Portanto, apesar da origem a partir de uma fonte singular de fluidos, os corpos Laranjeiras e Carvoaria apresentam algumas características distintas. Isso pode ter ocorrido devido às diferentes posições estruturais que se encontram esses corpos. Neste caso, mudanças em condições físico-químicas dos fluidos podem ter acarretado na formação de corpos de minério com características levemente distintas, ainda que dentro de um mesmo evento mineralizante.

O lineamento Córrego do Sítio têm forte controle estrutural e encontra-se na borda leste do QFe, região afetada por eventos arqueanos, paeloproterozoicos e neoproterozoicos. Por se tratar de terrenos polideformados, é comum que ocorra uma série de *inprints* e *overprints* de mineralizações devido a deformação, metamorfismo e circulação de fluidos. Trabalhos recentes apontam idade neoproterozoica de mineralização para uma amostra do corpo de minério Carvoaria (Dias *et al.* 2022).

A arsenopirita e a bertierita, sulfeto e sulfossal mais abundante nos corpos de minério estudados, apresentam solubilidade em temperaturas distintas. O reaquecimento pode remobilizar esses sulfossais em baixas temperaturas, resultando na cristalização de massas de bertierita, preenchendo os interstícios entre os minerais não remobilizados. A arsenopirita é pretérita e a bertierita pode ser um *inprint* provocado pela recirculação de fluidos que solubilizaram esses sulfossais, mas não foram capazes de solubilizar os sulfetos de mais alta temperatura.

Pesquisas realizadas nos depósitos de Wiluna (Inwood, 1998), no Bloco Yilgarn (AUS), sugerem que a precipitação de minerais de antimônio ocorre devido à redução da temperatura dos fluidos decorrente da descompressão em zonas de falhas. A relação entre o mecanismo de descompressão e a formação de veios de quartzo ajuda a explicar a associação dos minerais de antimônio com esses veios (Porto 2008). A geometria dos veios de quartzo não foi estudada neste trabalho, mas a classificação estrutural de veios de quartzo é uma ferramenta útil para a classificação baseada na evolução temporal relativa dos veios, que pode ser inferida a partir de sua geometria, mineralogia e textura (Pereira Sequeto *et al.* 2013; Vitorino 2017). Nesse sentido, se realizada em conjunto com o estudo de inclusões fluidas em veio de quartzo, a abordagem auxilia ainda mais a classificar o tempo de formação dos veios e, portanto, sua posição estrutural.

A análise detalhada das estruturas em nível de depósito, juntamente com investigações geocronológicas, constitui um progresso significativo para a compreensão das condições físico-químicas dos fluidos mineralizantes que possibilitaram a formação de um depósito mineral e na apresentação de um modelo evolutivo detalhado para os corpos de minério inseridos do mesmo depósito mineral. Adicionalmente, essa compreensão pode ser necessária também para caracterização de aspectos geometalúrgicos que impactam o beneficiamento do minério.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste trabalho possibilitou entender a composição mineralógica, o estilo de mineralização e as relações entre a mineralização e as rochas hospedeiras. A caracterização petrográfica macroscópica e microscópica possibilitou a compreensão mais aprofundada dos distintos estilos de mineralização entre os dois corpos de minério estudados.

As mineralizações presentes nos alvos Carvoaria e Laranjeiras estão associadas às rochas metassedimentares siliciclásticas da Formação Córrego do Sítio, assim como em outros corpos ao longo do lineamento Córrego do Sítio. Essas rochas exibem uma alternância entre metapelitos e metagrauvacas, apresentando variações no grau de alteração hidrotermal ao longo do depósito. Esse processo é acompanhado pelo aumento da sericitização, da frequência de venulações quartzo-carbonáticas e da deformação.

Os corpos de minério estão sempre associados aos veios e venulações de quartzo e carbonato. O estilo principal de mineralização do corpo Laranjeiras pode ser definido com a presença de ouro incluso em arsenopirita paralela à foliação milonítica, associada a porções micáceas da rocha e, por vezes, disseminada, principalmente nas venulações por quartzo e carbonato. Já o estilo principal de mineralização do corpo Carvoaria pode ser definido como veios de quartzo, com ouro associado a bertierita e arsenopirita subordinada.

Os distintos estilos principais de mineralização sugerem que o ambiente de mineralização e a localização dos corpos, diante do controle estrutural do lineamento Córrego do Sítio foram responsáveis pelas diferenças existentes. No contexto de posição de formação do depósito, de acordo com o modelo de Groves e Santosh (2016) (Figura 3.2), o corpo Laranjeiras possivelmente encontra-se em posição de transição ductil-rúptil entre os ambientes hipozonal e mesozonal. Já o corpo Carvoaria em ambiente crustal mesozonal, por ter associações minerais com maior quantidade de antimônio e relativamente menor quantidade de arsênio (Groves, 2015; Groves e Santosh 2016).

Devido à complexidade geológica do lineamento Córrego do Sítio, às diferentes posições estruturais que se encontram esses corpos e por se tratar de terrenos polideformados, é comum que ocorra remobilização de mineralizações devido a deformação, metamorfismo e circulação de fluidos (Baltazar e Lobato 2020; Dias et al. 2022). Trabalhos recentes apontam idade neoproterozoica de mineralização durante o ciclo brasileiro e orogenia Araçuaí (Dias *et al.* 2022). O reaquecimento pode remobilizar esses sulfossais em baixas temperaturas, resultando na cristalização de massas de bertierita, preenchendo os espaços vazios entre os minerais não remobilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim F.F. e Martins-Neto, M.A., 2012. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco Craton, eastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, **33**:127–139.
- Alkmim F.F. e Marshak, S. 1998. Transamazonian orogeny in the southern São Francisco Craton region. Minas Gerais, Brazil: Evidence for paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, **90 (1-2)**:29-58.
- Almeida F. F. M. 1977. O Craton de São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, **7 (4)**: 349- 364.
- Almeida, Luciene Gonçalves et al. 2005. O Grupo Sabará no Sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero: uma revisão estratiográfica. *Brazilian Journal of Geology*, **35**: 177-186.
- Baltazar, O.F., Pedreira, A.J., 1998. Associações litofaciológicas. In: Zucchetti, M., Baltazar, O.F. (Eds.): Projeto Rio das Velhas – Texto Explicativo do Mapa Geológico Integrado, escala 1:100.000. 2ª Edição, Departamento Nacional de Produção Mineral/CPRM–Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, p. 43–47.
- Baltazar, O.F., Zucchetti, M., 2007. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: a review of the setting of gold deposits. *Ore Geology Reviews*, **32**:1–2.
- Baltazar O.F; Lobato, L. M. 2020. Structural Evolution of the Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: Influence of Proterozoic Orogenies on Its Western Archean Gold Deposits. *Minerals*, **10 (11)**: 983.
- Baltazar, Orivaldo Ferreira; Lobato, Lydia Maria. 2020. Structural Evolution of the Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: Influence of Proterozoic Orogenies on Its Western Archean Gold Deposits. *Minerals*, **10 (11)**: 983.
- Barbosa, A. L., 1969. Mapa geológico das quadrículas de Mariana e Rio de Bandeiras, Minas Gerais, *Brazil. USGS Professional Paper* **10**:611
- Barbosa, Leo Henrique do Carmo. 2018. Serra do Itacolomi revisitada: estratigrafia, arcabouço estrutural e aplicação de métodos geofísicos. Monografia - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 141p.
- Dias et al., T.G. Dias, R.C.F., Silva, L.M. Lobato, F.A. Caxito, S. Hagemann, J.O.S. Santos, V. Barrote. 2020. Ediacaran-Cambrian Fluid Flow in Archean Orogenic Gold Deposits: Evidence from U–Pb SHRIMP Hydrothermal Monazite Ages of the Metaturbidite-hosted Córrego do Sítio and Pilar deposits, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **116(3)**:103844.
- Dorr, J.V.N., 1969. Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS Professional Paper, **640**:110.
- Endo, I., 1997. Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da placa SanFranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais. Ph.D. Thesis, Universidade de São Paulo, 243 pp
- Endo I., Castro P.T.A., Gandini A.L. 2020. Quadrilátero Ferrífero: Avanços do conhecimento nos últimos 50 anos. Belo Horizonte, Universidade Federal de Ouro Preto, 480 p.
- Farina F., Albert C., Lana C. 2015a. The Neoproterozoic transition between medium and high-K granitoids: Clues from the Southern São Francisco Craton (Brazil). *Precambrian Research*, **266**: 375-394.
- Farina F., Albert C., Dopico C. M., Aguilar C. G., Moreira H., Hippert J., Cutts K., Alkmim F. F., Lana C. C. 2016. The Archean-Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil: current models and open questions. *Jour. South Am. Earth Sci.* **68**: 4-21.
- Freitas, Frederico Moreira et al. 2019. Geocronologia U-PB em zircões detríticos e caracterização litoestratigráfica das rochas metassedimentadas da Unidade Catarina Mendes-implicações quanto a evolução geotectônica do Quadrilátero Ferrífero. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 97p.
- Gair, J.E. 1958. The Sabará Formation. In: Symposium on Stratigraphy of Minas Series in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, *Brazil. Bol. SBG*, **7(2)**:68-69.

- Goldfarb, Richard J.; Groves, David I. 2015. Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time. *Lithos*, **233**:2-26
- Gorceix, H., 1884. Bacias Terciárias de água doce nos arredores de Ouro Preto (Gandarella e Fonseca), Minas Gerais Brasil. *Annaes da Escola de Minas*, **3**:95-114.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Robert, F., Hart, C.J.R., 2003. Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance. *Economic Geology*, **98**:1-29.
- Groves D.I., Goldfarb R.J., Gebre-Mariam M., Hagemann S.G., Robert F. 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geol.* **13**:7-27.
- Groves, D. I., Santosh, M., Deng, J., Wang, Q., Yang, L., & Zhang, L. 2020. holistic model for the origin of orogenic gold deposits and its implications for exploration. *Mineralium Deposita*, v. 55, n. 2, p. 275-292
- Gusmão, Thalita Rafaela Silva. 2022 Caracterização mineralógica e geometalúrgica do corpo aurífero Donana, Complexo Córrego do Sítio – Quadrilátero Ferrífero, MG. Monografia - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 87p.
- Inwood, N. A. 1998. New Holland, New Holland South and Genesis gold deposits, Lawlers. In: D.A. Berkman & D.H. Mackenzie (eds.). *Geology of Australian and Papua New Guinea Mineral Deposits. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy*. Melbourne. p. 155-160.
- Lana C., Alkmim F.F., Armstrong R., Scholz R., Romano R., Nalini H.A., 2013. The ancestry and magmatic evolution of Archean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, southeast Brazil. *Precambrian Research*, **231**:157-173.
- Lima L. C. 2012. Geologia do depósito lode Au-As-Sb Laranjeiras, em metaturbitos do Grupo Nova Lima, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 298 p.
- Lobato L.M., Vieira F.W.R., 1998. Styles of hydrothermal alteration and gold mineralization associated with the nova lima group of the quadrilátero ferrífero: part II, the archean mesothermal gold-bearing hydrothermal system. *Revista Brasileira de Geociências*, **28(3)**:355-366.
- Lobato L. M., Ribeiro-Rodrigues L. C., Zucchetti M., Noce C. M., Baltazar O. F., Pinto C. S. C. P. 2001. *raz 's prem er d pr v nce. Part I: The tect n c, ma mat c and estrutura sett n f the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. Mineralium Deposita.* **36**: 228-248.
- Lobato L. M., Ribeiro-Rodrigues L. C., Vieira F. W. R. 2001. *Braz 's prem er d pr v nce. Part II: geology and genesis of the gold deposits in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. Mineralium Deposita.* **36**:249-277.
- Lobato L. M., Costa M. A., 2018. Ouro. In: Pedrosa Soares A. C., Voll E., Cunha E. C. (Coordenadores), *Recursos Minerais de Minas Gerais On Line: síntese do conhecimento sobre as riquezas minerais, história geológica, meio ambiente e mineração de Minas Gerais*. Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMG), 1ª Ed., Belo Horizonte.
- Maizatto J. R. 1993. Estratigrafia e tectônica das rochas cenozoicas da bacia do Gandarela e da região do Gongo Soco, sinclinal do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, 110p.
- Martins B.S., Lobato L.M., Rosière C.A., Hagemann S.G., Santos J.O.S., Villanova F.L.S.P., Silva R.C.F., Lemos L.H.A. 2017. The Archean BIF-hosted Lamego gold deposit, Rio das Velhas greenstone, Quadrilátero Ferrífero: Evidence for Cambrian structural modification of an Archean orogenic gold deposit. *Ore Geology Reviews*, **72**: 963-988.
- Muniz E. S., 2017. Mapeamento geológico de campo em escala 1:10.000 no contexto de um projeto de exploração mineral do tipo Brownfield, Região da Mina de Córrego do Sítio I, Santa Bárbara - MG. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Ouro Preto, 79p
- Pereira M.A.S., Lobato L.M., Rosière C.A., Silva R.C.F. 2013. Classificação dos veios quartzo-carbonáticos de depósitos auríferos no lineamento córrego do sítio, QF, MG. *Geonomos*, **21(2)**:53-71.

- Porto C.G.N. 2008. A mineralização aurífera do depósito Córrego do Sítio e sua relação com o enxame de diques metamórficos no corpo Cachorro Bravo, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Instituto Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 117 p.
- Ribeiro Y., Silva R.C.F., Lobato L.M., Lima L.C. 2013. Estudo de inclusões fluidas em veios de quartzo e carbonato (+ sulfetos-sulfossais) do depósito carvoaria velha, lineamento aurífero córrego do sítio, santa bárbara, quadrilátero ferrífero, MG. *Geonomos*, **21(1)**:7-28.
- Ribeiro, Y. 2013. Estudo de inclusões fluidas e isótopos de oxigênio e enxofre em veios de quartzo-carbonato-sulfetos do depósito Carvoaria Velha, lineamento aurífero Córrego do Sítio, Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 115 p.
- Romano, R., Lana, C., Alkmim, F.F., Stevens, G., Armstrong, R., 2013. Stabilization of the southern portion of the São Francisco Craton, SE Brazil, though a long-lived period of potassic magmatism. *Precambrian Research*, **224**: 143–159.
- Roncato, J. G., Lobato, L. M., Lima, L. C., Porto, C. G., & Silva, R. C. F. 2015. Metaturbidite-hosted gold deposits, Córrego do Sítio lineament, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, **45**:5-22.
- Santos, Jéssica Luise. 2020. Caracterização petrográfica dos diques e quartzo-sericita milonitos do depósito aurífero de Córrego do Sítio - Quadrilátero Ferrífero, MG. Monografia - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 53p.
- Sepulveda, G.O. 2020. Caracterização e geocronologia de sequências turbidíticas no leste do greenstone belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências,, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 79 p.
- Vial D.S; Abreu, G.C.; Schubert, G.; Ribeiro-Rodrigues, L.C. 2007. Smaller gold deposits in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Ore Geology Reviews*: 23 p.
- Vitorino, A. L. A. 2017. Mineralização aurífera associada aos veios quartzo-carbonáticos hospedados na unidade máfica basal da jazida Cuiabá, greenstone belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 110 p.
- Zucchetti M. 1998. Geoquímica dos Metabasaltos do Grupo Nova Lima, Greenstone Belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Dissertação de Mestrado, 97 p.

APÊNDICE

Descrição dos Testemunhos de Sondagem

Local: LJ362		Furo: UCS7389		Profundidade total: 57.95 m	
De (m)	Até (m)	Tamanho (m)	Litologia	Descrição macroscópica	Alteração hidrotermal
0.00	5.25	5.25	Metagrauvaca	Rocha de coloração cinza claro, granulação arenosa. Intercalação com porções milimétricas a centimétricas de metapelitos. Presença de venulação quartzo-carbonatática fraca. Sulfetação fraca a moderada com pirita.	Zona distal
5.25	5.92	0.67	Quartzo-sericita milonito	Rocha de coloração verde clara, de granulação fina a média. Composta predominantemente por clorita, sericita. Presença de venulação quartzo-carbonatática fraca. Sulfetação com pirita e pirrotita pouco abundante.	Zona distal
5.92	9.43	3.51	Dique quartzo-feldspático	Rocha quartzo-feldspática de coloração cinza claro esverdeado, de granulometria média. Cristais euédricos de carbonato milimétricos a centimétricos. Apresenta venulação por quartzo e carbonato milimétricas a centimétricas. Sulfetação por pirita pouco abundante.	Zona distal
9.43	10.13	0.70	Quartzo-sericita milonito	Rocha de coloração verde clara, de granulação fina a média. Composto predominantemente por clorita, sericita e biotita. Presença de venulação por quartzo e carbonato moderada. Sulfetação com pirita e pirrotita pouco abundante.	Zona distal
10.13	20.55	10.42	Metapelito	Rocha de coloração cinza escuro, de granulação variando de muito fina a	Zona distal

				fina. Presença de venulação por quartzo e carbonato fraca a moderada. Sulfetação moderada com agregados de pirita e pirrotita disseminada.	
20.55	21.15	0.60	Metagrauvaca	Rocha de coloração cinza claro, de granulação média. Intercalação com porções milimétricas a centimétricas de metapelitos. Presença de venulação por quartzo e carbonato fraca. Sulfetação fraca a moderada com pirita e pirrotita.	Zona distal
21.15	26.22	5.07	Metapelito HID	Rocha de coloração cinza escuro, de granulação variando de muito fina a fina. Presença de venulação forte por quartzo e carbonato. Sulfetação moderada com agregados de pirita e pirrotita disseminada.	Zona intermediária
26.22	30.20	3.98	Metagrauvaca HIDS	Rocha de coloração cinza claro, de granulometria arenosa. Intercalação com porções milimétricas a centimétricas de metapelitos. Presença de veios e venulação por quartzo e carbonato forte. Sulfetação intensa com arsenopirita, pirita, pirrotita e bertierita.	Zona mineralizada
30.20	34.05	3.85	Metagrauvaca HID	Rocha de coloração cinza claro, de granulometria arenosa. Intercalação com porções milimétricas a centimétricas de metapelitos. Presença de venulação por quartzo e carbonato moderada. Sulfetação fraca a moderada com pirita e pirrotita.	Zona intermediária
34.05	34.90	0.85	Quartzo-sericita milonito	Rocha de coloração verde clara, de granulação fina a média. Composto predominantemente por clorita,	Zona distal

				sericita e biotita. Presença de venulação por quartzo e carbonato fraca. Sulfetação com pirita e pirrotita pouco abundante.	
34.90	38.93	4.03	Dique quartzo-feldspático	Rocha quartzo-feldspática de coloração cinza claro esverdeado, de granulometria média. Cristais euédricos de carbonato milimétricos a centimétricos. Apresenta venulação por quartzo e carbonato milimétricas a centimétricas. Sulfetação por pirita pouco abundante.	Zona distal
38.93	40.13	1.20	Quartzo-sericita milonito	Rocha de coloração verde clara, de granulação fina a média. Composto predominantemente por clorita, sericita e biotita. Presença de venulação por quartzo e carbonato moderada. Sulfetação com pirita e pirrotita pouco abundante.	Zona distal
40.13	41.33	1.20	Metapelito HID	Rocha de coloração cinza escuro, de granulação variando de muito fina a fina. Presença de venulação forte por quartzo e carbonato. Sulfetação moderada com agregados de pirita e pirrotita disseminada.	Zona intermediária
41.33	54.40	13.07	Metagrauvaca	Rocha de coloração cinza claro, de granulometria arenosa. Intercalação com porções centimétricas a métricas de metapelitos. Presença de venulação por quartzo e carbonato fraca a moderada. Sulfetação fraca a moderada com pirita e pirrotita.	Zona intermediária
54.40	57.35	2.95	Metagrauvaca HID	Rocha de coloração cinza claro, de granulometria arenosa. Intercalação com porções milimétricas a	Zona intermediária

				centimétricas de metapelitos. Presença de venulação por quartzo e carbonato moderada. Sulfetação fraca a moderada com pirita e pirrotita.	
57.35	57.95	0.60	Metagrauvaca HIDS	Rocha de coloração cinza claro, de granulometria arenosa. Intercalação com porções milimétricas a centimétricas de metapelitos. Presença de veios e venulação por quartzo e carbonato forte. Sulfetação intensa com arsenopirita, pirita e pirrotita.	Zona mineralizada
57.95	71.25	13.30	Metagrauvaca HID	Rocha de coloração cinza claro, de granulometria arenosa. Intercalação com porções milimétricas a centimétricas de metapelitos. Presença de venulação forte por quartzo e carbonato. Sulfetação moderada com pirita e pirrotita.	Zona intermediária

Local: CV328		Furo: UCS7455		Profundidade total: 62.40 m	
De (m)	Até (m)	Tamanho (m)	Litologia	Descrição macroscópica	Zona mineralizada?
0.00	3.43	3.43	Metagrauvaca	Rocha de coloração cinza claro, de granulação média. Intercalação com porções milimétricas a centimétricas de metapelitos. Sulfetação fraca com pirita.	Zona distal
3.43	5.10	1.67	Quartzo-sericita milonito	Rocha de coloração verde clara, de granulação fina a média. Composto predominantemente por clorita, sericita e biotita. Presença de veio e venulação por quartzo e carbonato fraca a moderada. Sulfetação com pirita e pirrotita pouco abundante.	Zona distal
5.10	7.85	2.75	Dique quartzo-feldspático	Rocha quartzo-feldspática de coloração cinza claro esverdeado, de granulometria média. Cristais euédricos de carbonato milimétricos a centimétricos. Apresenta veios e venulação por quartzo e carbonato	Zona distal

				milimétricas a centimétricas. Sulfetação por pirita pouco abundante.	
7.85	9.33	1.48	Quartzo-sericita milonito	Rocha de coloração verde clara, de granulação fina a média. Composto predominantemente por clorita, sericita e biotita. Presença de veio e venulação por quartzo e carbonato moderada. Sulfetação com pirita e pirrotita pouco abundante.	Zona distal
9.33	11.48	2.15	Metagrauvaca	Rocha de coloração cinza claro, de granulação. Intercalação com porções milimétricas a centimétricas de metapelitos. Presença de venulação por quartzo e carbonato fraca. Sulfetação fraca a moderada com pirita e pirrotita.	Zona distal
11.48	16.45	4.97	Metapelito	Rocha de coloração cinza escuro, de granulação variando de muito fina a fina. Presença de venulação por quartzo e carbonato fraca a moderada. Sulfetação moderada com agregados de pirita e pirrotita disseminada.	Zona distal
16.45	17.10	0.65	Quartzo-sericita milonito	Rocha de coloração verde clara, de granulação fina a média. Composto predominantemente por clorita, sericita e biotita. Presença de veio e venulação por quartzo e carbonato fraca a moderada. Sulfetação com pirita e pirrotita pouco abundante.	Zona distal
17.10	22.25	5.15	Dique quartzo-feldspático	Rocha quartzo-feldspática de coloração cinza claro esverdeado, de granulometria média. Cristais euédricos de carbonato milimétricos a centimétricos. Apresenta veios e venulação por quartzo e carbonato milimétricas a centimétricas. Sulfetação por pirita pouco abundante.	Zona distal
22.25	23.25	1.00	Quartzo-sericita milonito	Rocha de coloração verde clara, de granulação fina a média. Composto predominantemente por clorita, sericita e biotita. Presença de veio e venulação por quartzo e carbonato fraca a moderada. Sulfetação com pirita e pirrotita pouco abundante.	Zona distal
23.25	36.20	12.95	Metagrauvaca HID	Rocha de coloração cinza claro, de granulometria arenosa. Intercalação com porções milimétricas a centimétricas de metapelitos.	Zona intermediária

				Presença de veios e venulação por quartzo e carbonato forte. Sulfetação intensa com arsenopirita, pirita, pirrotita e bertierita.	
36.20	37.58	1.38	Veio de quartzo VQZS	Quartzo fumê com vênulas de quartzo leitoso, intercalado com metapelito hidrotermalizado. Sulfetação disseminada, bertierita > arsenopirita > pirrotita > pirita.	Zona mineralizada
37.58	40.75	3.17	Metapelito HIDS	Rocha de coloração cinza escuro, de granulação variando de muito fina a fina. Presença de venulação forte por quartzo e carbonato. Sulfetação com arsenopirita, pirita e pirrotita disseminada.	Zona intermediária
40.75	42.62	1.87	Metapelito HID	Rocha de coloração cinza escuro, de granulação variando de muito fina a fina. Presença de venulação forte por quartzo e carbonato. Sulfetação moderada com agregados de pirita e pirrotita disseminada.	Zona mineralizada
42.62	43.97	1.35	Metagrauvaca HIDS	Rocha de coloração cinza claro, de granulometria arenosa. Intercalação com porções milimétricas a centimétricas de metapelitos. Presença de veios e venulação por quartzo e carbonato forte. Sulfetação intensa com arsenopirita, pirita, pirrotita e bertierita.	Zona mineralizada
43.97	62.40	18.43	Metapelito HID	Rocha de coloração cinza escuro, de granulação variando de muito fina a fina. Presença de venulação forte por quartzo e carbonato. Sulfetação moderada com agregados de pirita e pirrotita disseminada.	Zona intermediária