UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia

Walace Vinicius do Carmo Fernandes

MINERALOGIA POR DRX, PETROGRAFIA E QUÍMICA MINERAL DA JAZIDA CÓRREGO BRANDÃO, GREENSTONE BELT RIO DAS VELHAS, QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Belo Horizonte
2025

Walace Vinicius do Carmo Fernandes

MINERALOGIA POR DRX, PETROGRAFIA E QUÍMICA MINERAL DA JAZIDA CÓRREGO BRANDÃO, GREENSTONE BELT RIO DAS VELHAS, QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Geologia.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Rosaline Cristina Figueiredo e Silva

Coorientador(a): Prof(a). Dr(a). Mariana Brando Soares

Belo Horizonte
2025

F363m
2025

Fernandes, Walace Vinicius do Carmo.

Mineralogia por DRX, petrografia e química mineral da jazida Córrego Brandão, Greenstone Belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero [manuscrito] / Walace Vinicius do Carmo Fernandes. – 2025.

185 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientadora: Rosaline Cristina Figueiredo e Silva.

Co-orientadora: Mariana Brando Soares.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2025.

Bibliografia: f. 87-91.

Inclui apêndices e anexos.

1. Ouro – Teses. 2. Rochas metamórficas – Teses. 3. Geoquímica – Teses. 4. Petrologia – Teses. 5. Mineralogia – Velhas, Rio das (MG) – Teses. I. Figueiredo e Silva, Rosaline Cristina. II. Brando Soares, Mariana. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 549.283(815.1)

Ficha catalográfica elaborada por Nathalia Machado Laponez Maia – CRB-6/3002
Biblioteca “Vitória Pedersoli”, Instituto de Geociências da UFMG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA DO IGC/UFMG

FOLHA DE APROVAÇÃO

MINERALOGIA POR DRX, PETROGRAFIA E QUÍMICA MINERAL DA JAZIDA CÓRREGO BRANDÃO, GREENSTONE BELT RIO DAS VELHAS, QUADRILÁTERO FERRÍFERO

WALACE VINICIUS DO CARMO FERNANDES

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA (PPGeol), do Instituto de Geociências (IGC), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), como **REQUISITO PARCIAL** para obtenção do grau de Mestre(a) em GEOLOGIA, área de concentração GEOLOGIA ECONÔMICA E APLICADA, pelo Programa de Pós-graduação em Geologia do IGC/UFMG.

Aprovada em 04 de setembro de 2025, pela banca constituída pelos membros:

gov.br Documento assinado digitalmente
ROSALINE CRISTINA FIGUEIREDO E SILVA
Data: 04/09/2025 14:13:32-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof(a). Dr(a). Rosaline Cristina Figueiredo e Silva – Orientador(a)
PPGeol/UFMG

gov.br Documento assinado digitalmente
FLAVIA CRISTINA SILVEIRA BRAGA
Data: 04/09/2025 16:38:14-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof(a). Dr(a). Flávia Cristina Silveira Braga
PPGeol/UFMG

gov.br Documento assinado digitalmente
GUSTAVO HENRIQUE COELHO DE MELO
Data: 10/09/2025 08:11:42-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof(a). Dr(a). Gustavo Henrique Coelho de Melo
UFOP

À Marly, a senhora é a minha rainha.

AGRADECIMENTOS

Aqui expresso minha profunda gratidão às pessoas e instituições que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa.

À Pró-reitoria de Pós-graduação da UFMG e ao Programa de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, instituição da qual tenho orgulho de ter feito parte.

À Dra. Rosaline Cristina Figueiredo e Silva, por aceitar fazer parte deste projeto como minha orientadora, pelo incentivo constante e por compartilhar seus conhecimentos. Seus conselhos e apoio foram fundamentais para a elaboração do volume final aqui apresentado.

À Dra. Mariana Brando Soares, minha coorientadora, por integrar este projeto, pela disponibilidade dos dados e por seus conhecimentos, especialmente na área de geoquímica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão do apoio financeiro (bolsa nº 88887.824059/2023-00), ao qual sou profundamente agradecido.

À Jaguar Mining Inc., empresa na qual trabalhei por quase 13 anos e pela qual tenho enorme carinho, pela disponibilização de um extenso conjunto de dados de análises geoquímicas e amostras oriundas de sondagens. Agradeço também a Armando José Massucatto e Vitor Diniz, pelo apoio e incentivo durante minha trajetória na Jaguar e ao longo da pesquisa, e ao Mateus Souza, pela colaboração na elaboração das figuras e mapas.

Ao meu amigo Luis Cláudio Lima “Biota”, pelo incentivo, apoio, pelas discussões enriquecedoras e por compartilhar generosamente seus conhecimentos sobre a vida e a geologia.

Ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) e seus técnicos, pela preparação e análise das amostras em DRX. Ao Centro de Pesquisas Professor Manoel Teixeira da Costa (CPMTC) e ao Centro de Microscopia da UFMG (CMUFMG), pelo valioso apoio na preparação de amostras e nas análises.

Por fim, agradeço à minha mãe, Sra. Marly Silva do Carmo Fernandes, pelo incentivo, pelos conselhos e por todo o amor que transborda por mim. Mãe, a senhora é o meu embasamento. E à minha filha, Layane Fernandes, a minha razão de viver.

“Tem que acreditar. Desde cedo a mãe da gente fala assim: filho, por você ser preto, você tem que ser duas vezes melhor” (Racionais MC's “A Vida é Desafio”, 2002).

RESUMO

Córrego Brandão (CBR) é uma jazida de ouro, contendo em sua porção oxidada 1 Mt de minério com teor médio de 1,48 g/t Au, totalizando 51.000 oz Au, localizada na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero (QF), no município de Caeté - MG. Hospeda-se em anfibolitos metaígneos do Grupo Nova Lima, base do Greenstone Belt Rio das Velhas. A estrutura sinforme envolvendo os granitoides e ortognaisses do Domo de Caeté (2.77 Ga) difere CBR de outras jazidas auríferas neoarqueanas do QF. Nessa pesquisa, utilizou-se amostras de testemunho de sondagem, foram realizadas análises de DRX, estudos petrográficos, química mineral e geoquímica multielementar, para caracterizar as rochas hospedeiras da mineralização. Estas rochas, de fonte máfica, incluem sequências metamórficas e metavulcanoclásticas com características químicas, macro e microscópicas distintivas. A mineralização hospeda-se em rochas metamórficas, de protólito igneo máfico, fácies anfibolito inferior, distinguindo-se da maior parte do QF, onde hospedeiras estão em fácies xisto-verde. As análises de DRX mostram uma presença significativa de minerais do grupo dos carbonatos, como dolomita, nas rochas que hospedam a mineralização. Esse horizonte está alterado hidrotermalmente contendo sulfeto, arsenieto, telureto, carbonato e anfibólio, ocorre no contato entre um pacote de rochas metaultramáficas e outro de rochas metamáficas, e é cortado por uma zona de cisalhamento verticalizada, com cerca de 20 a 40 metros de espessura, enquanto os contatos litológicos seguem o sinforme de CBR. A rocha hospedeira de granulação fina a média, tem trama obliterada e inequigranular, com vênulas de carbonato que transectam a foliação, nomeada tremolita/actinolita - clorita carbonato xisto. A zona mineralizada possui sulfetos disseminados (esfalerita, arsenopirita, pirrotita, pirita e calcopirita). No halo proximal magnetita é a principal fase óxido, constitui cristais finos disseminados, pirrotita é pouco frequente, sendo um subproduto da substituição da magnetita, e cristais finos e tabulares de ilmenita ocorrem subordinadamente. Destacam-se os minerais índice de ganga: os anfibólios (hornblenda, tremolita e actinolita), epidoto, clorita, biotita e granada. Partículas de ouro ocorrem associadas e/ou inclusas em cristais de magnetita e pirita, se apresenta em partículas finas e alongadas, associadas a micro bandas de clorita.

Palavras-chave: ouro; metamaficas; geoquímica; *quadrilátero ferrífero*.

ABSTRACT

Córrego Brandão (CBR) is a gold deposit located in the northeastern portion of the Quadrilátero Ferrífero (QF), in the municipality of Caeté, Minas Gerais. Its oxidized zone contains 1 Mt of ore with an average grade of 1.48 g/t Au, totaling 51,000 oz of gold. The deposit is hosted in metaigneous amphibolites of the Nova Lima Group, which forms the base of the Rio das Velhas Greenstone Belt. The synformal structure surrounding the granitoids and orthogneisses of the Caeté Dome (2.77 Ga) sets CBR apart from other Neoarchean gold deposits in the QF. This study used drill core samples and conducted XRD analyses, petrographic studies, mineral chemistry, and multielement geochemistry to characterize the host rocks. These rocks, of mafic origin, include metamorphic and metavolcaniclastic sequences with distinctive chemical, macroscopic, and microscopic features. The mineralization is hosted in metamorphic rocks derived from mafic igneous protoliths, within the lower amphibolite facies. This contrasts with most QF deposits, which are hosted in greenschist facies rocks. XRD analyses revealed a significant presence of carbonate group minerals, such as dolomite, in the mineralized rocks. The mineralized horizon is hydrothermally altered and contains sulfides, arsenides, tellurides, carbonates, and amphiboles. It occurs at the contact between a package of metaultramafic rocks and another of metamafic rocks, and is crosscut by a steeply dipping shear zone approximately 20 to 40 meters thick, while lithological contacts follow the CBR synform. The host rock is fine to medium-grained, with obliterated and inequigranular texture, and contains carbonate veinlets that crosscut foliation. It is referred to as tremolite/actinolite–chlorite–carbonate schist. The mineralized zone contains disseminated sulfides, including sphalerite, arsenopyrite, pyrrhotite, pyrite, and chalcopyrite. In the proximal halo, magnetite is the dominant oxide phase, forming fine disseminated crystals. Pyrrhotite is rare and results from magnetite replacement. Fine, tabular ilmenite crystals occur subordinately. Gangue indicator minerals include amphiboles (hornblende, tremolite, and actinolite), epidote, chlorite, biotite, and garnet. Gold particles are associated with and/or included in magnetite and pyrite crystals. They appear as fine, elongated grains, often linked to microbands of chlorite.

Keywords: gold; metamafic rocks; geochemistry; quadrilátero ferrífero.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo 16
Figura 2 - Mapa geológico do Cráton do São Francisco 24
Figura 3 - Mapa geológico simplificado do sul do Cráton São Francisco 25
Figura 4 - Mapa geológico simplificado da região do Quadrilátero Ferrífero 27
Figura 5 - Coluna litoestratigráfica do Quadrilátero Ferrífero 31
Figure 6 - Simplified geological map of the Quadrilátero Ferrífero region and surroundings 49
Figure 7 - Geological map of the surroundings of Córrego Brandão, showing the location of CBR, inactive Au mines, and abandoned artisanal workings 53
Figure 8 - Photographs of the main lithotypes described at Córrego Brandão 54
Figure 9 - Geological map of the Córrego Brandão deposit, showing the location of the drill holes performed, which aided in the description of the local stratigraphy, with detail on hole FCBS003 that contains XRD analyses 56
Figure 10 - Proposed stratigraphic column for the Córrego Brandão deposit, showing the main observed lithotypes 57
Figure 11 - A) Compositional boundary diagram of Ca-amphibole. B) Compositional boundary diagram of monoclinic amphibole containing Mg-Fe-Mn 59
Figure 12 - Geological map, section, and profile of borehole FCBS003 62
Figure 13 – Photomicrographs of polished thin sections, illustrating the main minerals identified in the metamafic rocks and the main gangue minerals identified in the mineralized zone of the Córrego Brandão deposit 64
Figure 14 – Photomicrographs of minerals identified in the metamafic and in the host rock from the Córrego Brandão deposit 67
Figure 15 – Backscattered electron images of the intermediate zone 69
Figure 16 – Principal Component Analysis (PCA) plot of geochemical data from Córrego Brandão, showing the relationship between element distribution and their association with Au contents 72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Métodos, materiais e resultados da abordagem multimetodológica 19
Tabela 2 - Nomenclatura estratigráfica para os blocos tectonoestratigráficos 29
Table 3 - Quantification of minerals from drill hole FCBS003 samples, by XRD/Rietveld method (% mass) 61
Table 4 - Correlation matrix of Au with siderophile and chalcophile elements 71
Table 5 - Paragenetic sequence of metamorphic and hydrothermal minerals (silicates, carbonates, oxides, sulfides, and related phases) 75
Table 6 - Quantificação de minerais por DRX/método de Rietveld (% massa) 95
Table 7 - Quantificação de minerais por DRX/método de Rietveld (% massa) 96
Table 8 - Excel spreadsheet for amphibole classification 184

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BIFs	Formações ferríferas bandadas
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBR	Córrego Brandão
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CLR	Centred Log Ratio
CMUFMG	Centro de Microscopia da UFMG
CPMTC	Centro de Pesquisa Professor Maoel Teixeira da Costa
DRX	Difração de raios X
EDS	Espectroscopia de Raios X por Dispersão de Energia
GBRV	Greenstone Belt Rio das Velhas
GBP	Greenstone Belt de Pitangui
IGC	Instituto de Geociências
ICP-AES	Espectroscopia de Emissão Atômica a Plasma Indutivamente Acoplada
ICP-MS	Espectrometria de Massa com Plasma Indutivo Acoplado
IMA	International Mineralogical Association
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
PCA	Análise de Componentes Principais
PPGEOL	Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFMG
QF	Quadrilátero Ferrífero
SMRM	Sequência Metavulcanossedimentar Rio Manso
TTG's	Gnaisses tonalito-trondhjemito-granodiorito
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 Apresentação 14
1.2 Objetivos e justificativa 15
1.3 Localização e vias de acesso 16
1.4 Estruturação da dissertação 17
2 METODOLOGIA 18
2.1 Descrição, amostragem, petrográfia e procedimentos analíticos 19
2.1.1 Descrição de furos de sondagem 19
2.2 Analise por difração de raios X 19
2.2.1 Petrográfia macroscópica e micróscopica 20
2.2.2 Análises geoquimicas dos testemunhos de sondagem 21
2.3 Tratamento de dados geoquímicos 22
2.3.1 Análise química de anfibólios 22
3 CONTEXTO GEOLÓGICO 24
3.1 Cráton São Francisco 24
3.2 Quadrilátero Ferrífero 25
3.2.1 Embasamento 26
3.2.2 Greenstone Belts 26
3.2.3 Greenstone Belt Rio das Velhas 28
3.3 Sequência supracrustal 30
4 MINERALIZAÇÕES DE OURO OROGÊNICO 33
4.1 Breve contextualização sobre depósitos de ouro do tipo orogênico 33
4.1.1 Mineralizações De Ouro Hospedadas em Rochas Metavulcânicas 35
4.2 Rochas hospedeiras de ouro no Quadrilátero Ferrífero 37
5 CÓRREGO BRANDÃO GOLD DEPOSIT, GREENSTONE BELT RIO DAS VELHAS, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, BRAZIL: MINERAL CHEMISTRY, PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY 39
5.1 Introduction 40
5.2 Materials and Methods 42
5.2.1 Materials 42
5.2.2 Sampling 42
5.2.3 XRD Analysis 42

5.2.4 Microscopic Petrography 43
5.2.5 Scanning Electron Microscopy Analyses 44
5.2.6 Geochemical Data Processing 44
5.2.7 Chemical classification of amphiboles 45
5.3 Regional Geology 46
5.3.1 Structural Geological Context of the Quadrilátero Ferrífero 50
5.4 Local Geological Context 50
5.4.1 Geotectonic Context 50
5.4.2 Local Geology 51
5.5 Córrego Brandão Deposit 52
5.5.2 Results 59
5.5.3 Discussion 73
5.5.4 Conclusions 82
5.5.5 Final Considerations 84
Acknowledgments 85
6 CONCLUSÕES GERAIS 86
REFERÊNCIAS 87
APÊNDICE A — Comprovante de submissão de artigo 92
ANEXO A — Resultados de análises por DRX 93
APÊNDICE B — Fichas de descrição petrográfica 97
ANEXO C — Classificação quimica dos anfibólios 184

1 INTRODUÇÃO

A presente dissertação é apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geologia pelo Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). O trabalho foi desenvolvido sob a orientação da Profa. Dra. Rosaline Cristina Figueiredo e Silva e coorientação da Profa. Dra. Mariana Brando Soares, inserindo-se na área de concentração “Geologia Econômica e Aplicada” e na linha de pesquisa “Metalogênese de Bens Minerais Metálicos com Ênfase em Ouro, Ferro e Manganês”.

O projeto de pesquisa teve origem nas atividades de exploração realizadas no ano de 2022 pela empresa canadense Jaguar Mining Inc., detentora dos direitos de pesquisa da área de Córrego Brandão. Na época, o autor integrava a equipe de exploração da referida empresa, que cedeu acesso a amostras, banco de dados e apoio na logistica.

Adicionalmente, este trabalho contou com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), através de bolsa de estudo – Código de Financiamento 001.

1.1 Apresentação

O Quadrilátero Ferrífero (QF) em Minas Gerais, é uma das províncias minerais mais importantes do Brasil, dada sua significativa produção histórica e atual de ferro e ouro, tendo também destaque mundial. As mineralizações de ouro mais importantes do QF são de idade neoarqueana e ocorrem no Grupo Nova Lima, base do Greenstone Belt Rio das Velhas (GBRV-2.9-2.73 Ga). As principais rochas hospedeiras de ouro são formações ferríferas bandadas (BIFs), rochas metassedimentares (fácies xisto verde) da unidade Córrego do Sítio e hidrotermalitos conhecidos como lapa seca. A lapa seca é constituída por um conjunto de rochas hidrotermais de quartzo-carbonato com minerais sulfetados, mica branca e albita (Lobato; Ribeiro-Rodrigues; Vieira, 2001a).

A BIF e a lapa seca são responsáveis por cerca de 49% e 47% do ouro existente, respectivamente, com os 4% restantes representados por metavulcânicas máficas e ultramáficas, bem como rochas metassedimentares vulcanoclásticas e epiclásticas

(Baltazar; Lobato, 2020).

Córrego Brandão (CBR) é o nome dado a um alvo exploratório para ouro localizado no município de Caeté, na porção norte do QF, atualmente com direitos de pesquisa e exploração concedidos à mineradora Jaguar Mining Inc. As atividades de exploração nesta localidade tiveram início no ano de 2019 através da projeção lateral de dados geológicos de um depósito próximo denominado de Catita, onde existe uma mina subterrânea fora de atividade.

Alguns depósitos de ouro do QF são tidos como “clássicos” e são classificados como do tipo “ouro orogênico” de acordo com Lobato; Ribeiro-Rodrigues; Vieira (2001ab) seguindo as definições encontradas em Groves et al. (1998). Alguns exemplos são os depósitos das minas Cuiabá (Ribeiro-Rodrigues et al. 2007), Lamego (Martins et al. 2016) hospedados em BIFs e Córrego do Sítio (Lima, 2012; Júnior et al. 2015) hospedados em uma sequência metavulcanossedimentar.

1.2 Objetivos e justificativa

Poucos depósitos foram descobertos no QF nas últimas décadas e estudos de prospecção avançaram para regiões onde os modelos prospectivos destoam dos “clássicos”, este é o primeiro estudo científico realizado na jazida Córrego Brandão. O trabalho reúne dados geológicos, mineralógicos e geoquímicos.

O objetivo principal deste trabalho refere-se á contextualizar geologicamente a jazida Córrego Brandão, abordando sua litoestratigrafia, evolução metamórfica e os processos envolvidos na formação do depósito, e especificamente:

1) Avaliar a influência da proximidade com granitoides e ortognaisses na evolução geológica da jazida;

2) Caracterizar as rochas encaixantes e hospedeiras da mineralização e entender sua influência para a gênese da jazida;

3) Descrever a alteração hidrotermal e a mineralização aurífera, com ênfase na sequência paragenética, no zoneamento e nas texturas associadas;

4) Caracterizar as assinaturas geoquímicas do ouro e de elementos associados, e a possível influência de fluidos magmáticos na formação da jazida Córrego Brandão.

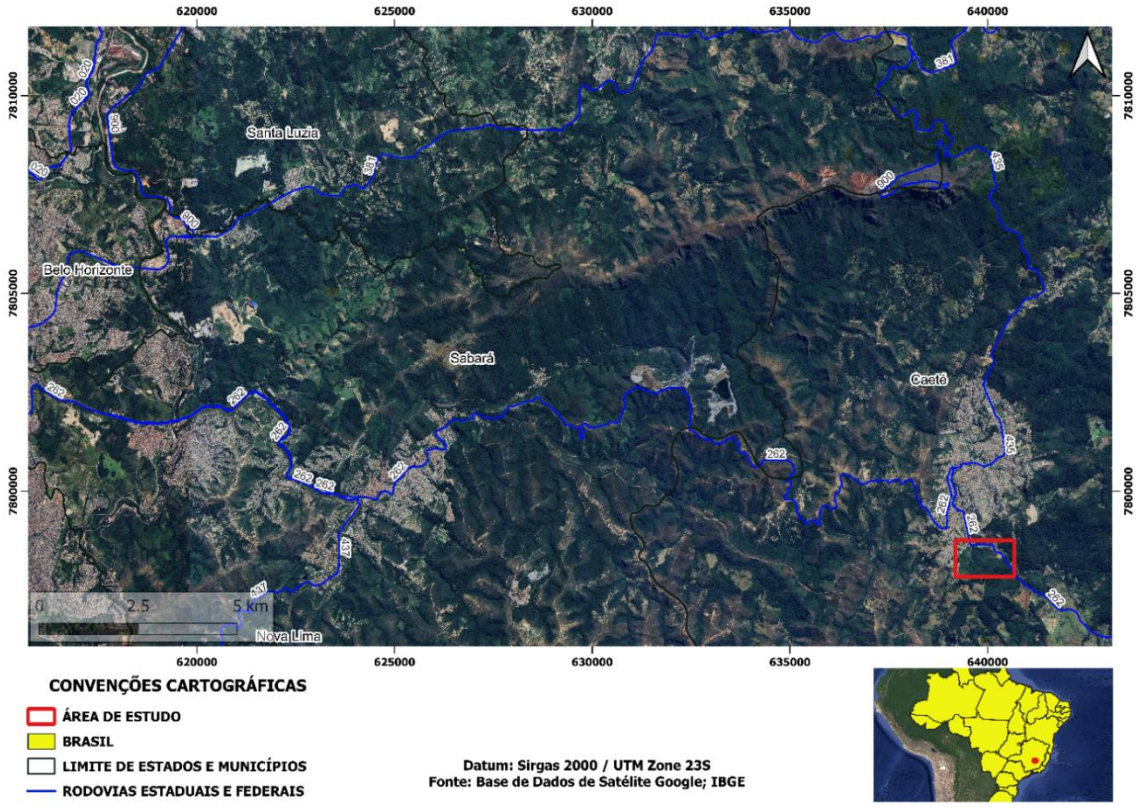
1.3 Localização e vias de acesso

A jazida Córrego Brandão localiza-se (Fig 1) no estado de Minas Gerais, região Sudeste do Brasil, mais precisamente no município de Caeté, que integra a região metropolitana de Belo Horizonte. A área encontra-se a cerca de 57 km a leste da capital mineira, sendo acessível por vias terrestres.

O principal acesso ao local é realizado através da rodovia BR-381, percorrendo-se 23 km no sentido Vitória-ES até o trevo de Caeté. A partir desse ponto, são mais 22 km pela MG-435 até a entrada da cidade de Caeté. Após chegar à cidade, percorre-se aproximadamente 6 km pela Avenida João Pinheiro até o Museu João Pinheiro. Seguindo a partir da rotatória próxima ao museu, deve-se pegar a primeira saída à esquerda e continuar por mais 1 km até a entrada do condomínio Hibisco, onde há uma bifurcação à direita que leva diretamente a jazida.

Um segundo acesso é possível pela rodovia BR-262, partindo de Belo Horizonte e cruzando o perímetro urbano do município de Sabará. Neste trajeto, a distância total até o depósito é de 59 km.

Figura 1 —Mapa de localização da área de estudo



Fonte: GOOGLE EARTH ; IBGE, 2024.

1.4 Estruturação da dissertação

A dissertação foi estruturada com base no artigo científico intitulado “Córrego Brandão gold deposit, Greenstone Belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: mineral chemistry, petrography and geochemistry”, submetido à revista Journal of South American Earth Sciences como parte dos requisitos para obtenção do título no Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFMG, o artigo foi incluído como o capítulo 5 da dissertação. A estrutura geral da dissertação consiste em dois capítulos introdutórios, que abrangem a introdução, os objetivos, a localização, a metodologia e o contexto geológico. Os resultados e as discussões estão apresentados no próprio artigo científico. Por fim, o último capítulo oferece um resumo das principais conclusões. As referências bibliográficas utilizadas ao longo do trabalho estão reunidas ao final da dissertação.

2 METODOLOGIA

A abordagem multimetodológica (Tabela 1) proposta neste estudo está dividida nas seguintes fases:

I. Obtenção e compilação de dados: Revisão bibliográfica detalhada abrangendo publicações em periódicos e relatórios técnicos acerca da geologia e metalogenia do sul do Cráton do São Francisco, do Greenstone Belt Rio das Velhas, bem como da geologia local da jazida de interesse;

II. Etapa de Campo: Descrição e amostragem dos furos de sonda executados na jazida Córrego Brandão;

III. Etapa de Laboratório: Análises de DRX realizadas no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM-RJ), estudo petrográfico em luz transmitida e refletida de lâminas delgadas polidas, realizadas no Centro de Pesquisas Professor Manoel Teixeira da Costa (CPMTC), caracterização textural e química dos grãos de ouro e de minerais relacionados à mineralização por microscopia eletrônica de varredura com espectrômetro de raios X por dispersão de energia (MEV-EDS), realizadas no Centro de Microscopia UFMG (CMUFMG) e na Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), para reconhecimento dos principais minerais presentes na rocha encaixante e hospedeira.

IV. Análise e Interpretação Geoquímica: Processamento dos dados geoquímicos de rochas estéreis vs. rochas mineralizadas para o estudo das associações entre o ouro e outros elementos;

V. Classificação química de anfibólios: A classificação química dos anfibólios foi realizada utilizando a planilha de classificação proposta por Locock, (2014), conforme as recomendações da International Mineralogical Association (IMA).

Tabela 1 — Métodos, materiais e resultados da abordagem multimetodológica

Fase	Método	Materiais		Resultados
		Furos de sonda	Total	
		FCBR001 a FCBR037 e FCBS0001 a FCBS013	50 furos, 8150.76m	
I	Compilação de dados	Teses, dissertações, artigos, seções e relatórios técnicos	-	Interpretação geológica e geração de mapa regional e local
II	Descrição e amostragem	FCBR002, FCBR006, FCBR008, FCBR014, FCBR017, FCBR025 e FCBS003	7 furos	Litoestratigrafia de Córrego Brandão
III	Análises por DRX - método de Rietveld	FCBS003 (AM 0118 á AM 0129) e FCBR002 (AM009 a AM0014)	17 análises, para 25 minerais	Assinatura mineralógica da zona mineralizada
	Petrográfia macroscópica e micróscopica	FCBR006, FCBR008, FCBR014, FCBR017, FCBR025 e FCBS003	25 lâminas delgadas polidas	Identificação dos minerais em ordem crescente e sua proporção modal e textura das porções alteradas hidrotermalmente
IV	MEV-EDS	FCBR006, FCBR14 e FCBS-03	50 imagens	Paragênse mineral e ocorrência do ouro
	Análise multielementar	Banco de dados (Jaguar Mining INC), com resultados de análise química para 56 elementos	6262 análises	Assinatura geoquímica da zona mineralizada, e a correlação química do ouro com outros elementos
V	Classificação química de anfibólios	FCBR006 (AM01 e AM02) FCBS-03 (AM04, AM05, AM014)	14 classificações	Mudança química da rocha encaixante e hospedeira
VI	Publicação dos resultados	Dados obtidos nas fases anteriores	Dissertação e artigo científico	Contribuição para a academia e a pesquisa mineral

Fonte: Elaborado pelo autor

2.1 Descrição, amostragem, petrográfia e procedimentos analíticos

2.1.1 Descrição de furos de sondagem

Objetivando a caracterização das rochas hospedeiras, das rochas encaixantes, e a interpretação da zona de alteração hidrotermal do deposito Córrego Brandão, bem como da litoestratigrafia do depósito. Foram escolhidos e descritos os furos (FCBR006, FCBR008, FCBR014, FCBR017, FCBR025 e FCBS003) que foram executados em pontos estratégicos da jazida (Tabela 1). As amostras selecionadas (testemunhos) foram serradas ao meio, ao longo do eixo do testemunho, coletou-se um quarto da amostra e posteriomente foram enviadas para análises geoquímicas.

2.2 Analise por difração de raios X

Com base na descrição de furos de sonda, selecionou-se o intervalo mineralizado de dois furos (FCBS003 e FCBR002) para a análise por difração de raios X (DRX). As

amostras foram quarteadas em um quarteador rotativo Quantachrome para separação de uma alíquota de 3 gr.

Todas as alíquotas para análise quantitativa por DRX foram moídas em moinho McCrone em 15 mL de água, com meio moedor de ágata, por 10 minutos. A suspensão da amostra moída foi descarregada numa placa de Petri de teflon, e seca em estufa a 60°C. Depois de seca, a amostra foi retomada com auxílio duma espátula plástica, desagregada por moagem manual num gral de ágata, montada no suporte do tipo backload (para redução de orientação preferencial) e analisada no difratômetro de raios X.

As análises por DRX, pelo método do pó, foram executadas em equipamento Bruker-AXS D4 Endeavor, radiação Co Kα (40 kV/40 mA), com passo de 0,01° 2Θ, tempo de contagem de 184 segundos por passo com detector linear sensível à posição do tipo silicon drift LynxEye, coletados de 5 a 90° 2Θ, e em geometria Θ-2Θ do goniômetro. A interpretação qualitativa de espectro foi efetuada por comparação com padrões contidos no banco de dados relacional PDF 4+ (ICDD, 2021) em software Bruker Diffrac.EVA.

A análise quantitativa foi calculada pelo método de refinamento de espectro multifásico total (método de Rietveld), por parâmetros fundamentais, com software Bruker-AXS Topas, v. 5. As informações de estruturas cristalinas das fases refinadas são oriundas do banco de dados da Bruker AXS. Esse método não enxerga fases amorfas. Em alguns casos foram apresentados grupos de minerais; nesse caso, como estrutura e ocupação de sítios dos minerais é similar, DRX não faz muita distinção entre membros dum mesmo grupo, e foi usado o bom senso mineralógico para a seleção da(s) estrutura(s) para quantificação. Para o grupo do anfibólio, foram refinadas cummingtonita, grunerita e hornblenda, para o grupo das micas muscovita e fluorflogopita, para o do epidoto a clinozoisita, plagioclásio corresponde a andesina, e turmalina a dravita. Resultou-se nas tabelas 6 e 7 (Anexo B).

2.2.1 Petrográfia macroscópica e micróscopica

A partir da descrição dos furos de sondagem foram selecionadas um subconjunto de amostras representativas de todas as principais unidades de rocha e zonas de alteração, foram preparadas para análise micróscopica vinte e cinco lâminas delgadas

polidas, visando a identificação dos minerais em ordem crescente e sua proporção modal e textura das porções alteradas hidrotermalmente. Quinze lâminas foram preparadas na divisão de caracterização tecnológica do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), Rio de Janeiro - RJ, Brasil. Dez lâminas foram preparadas no laboratório de laminação do Centro de Pesquisas Professor Manoel Teixeira da Costa (CPMTC), localizado no Instituto de Geociências (IGC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

As amostras selecionadas foram inicialmente cortadas em tabletes utilizando disco diamantado. Em seguida, passaram por um processo de lixamento em sessões com disco de diamante metal-bond, visando o nivelamento inicial das superfícies. Posteriormente, as amostras foram niveladas em disco de aço fundido com abrasivos de carbeto de silício, aplicados em sequência de granulometrias: 80, 320, 600, 1000 e 1200. Após o nivelamento, as amostras foram aquecidas em chapa metálica para remoção da umidade residual. Com a superfície seca, realizou-se a colagem de um laminado de vidro utilizando cola Epofix. Após o período de cura de 24 horas, as amostras foram novamente fatiadas, desta vez com espessura aproximada de 0,5 cm, e submetidas a polimento até atingirem cerca de 30 μm. Por fim, as lâminas foram polidas em pano duro com suspensões de diamante de 1 μm e 0,25 de μm.

Estas lâminas foram descritas usando técnicas petrográficas convencionais de luz refletida e transmitida, as descrições petrográficas (Anexo C) foram realizadas no laboratório de metalogenia do IGC, utilizando-se o microscópio petrográfico Leica DM 2500 P, com câmera Leica DFC295 acoplada.

2.2.2 Análises geoquimicas dos testemunhos de sondagem

As análises de Au + 55 multielementos, foram realizados nos laboratórios da ALS, em Lima, Peru. Utilizou-se o método de ensaio de fogo (fire assay), que determina a quantidade de ouro presente numa amostra. As amostras foram homogeneizadas e pulverizadas e misturadas com fluxo composto por PbO e SiO2 com quantidades variáveis de bórax, carbonato de sódio e outros reagentes. O fluxo e a amostra foram misturados e, em seguida, aquecidos a alta temperatura (>1000 °C) para decompor as malhas de rocha e permitir que o ouro dentro da amostra seja recolhido num botão de chumbo. O botão foi colocado num copo poroso e aquecido

novamente num ambiente oxidante para converter o chumbo em óxido de chumbo que foi absorvido no copo, deixando os metais preciosos para trás como uma esfera de doré ou prilo. O conteúdo de ouro foi então determinado gravimetricamente ou através de digestão e espectroscopia de água-régia.

Foram utilizados a remoção de todos os metais preciosos, exceto durante o ensaio de fogo, foram comunicados níveis de deteção baixos consistentes, até 1 ppb. Utilizou-se o o método de nível de vestigio (Au-aa26), analitico para Au, com o intervalo de 0,01-100 (ppm) Au por ensaio de fogo e AAS - Amostra de 50 g, o ouro, em conjunto com um grande conjunto de metais de base e elementos e de elementos pathfinder, foram determinados a partir da mesma solução, através de uma combinação de Espectroscopia de Emissão Atômica a Plasma Indutivamente Acoplada (ICP-AES) ou Espectrometria de Massa com Plasma Indutivo Acoplado (ICP-MS).

2.3 Tratamento de dados geoquímicos

O tratamento dos dados geoquímicos foi realizado no software IMDEX IoGas, versão 7.1. Para garantir a qualidade e a representatividade das análises, foram selecionadas apenas amostras provenientes da porção primária da jazida Córrego Brandão, excluindo dados que poderiam introduzir ruído ou vieses nas interpretações geoquímicas. Para a análise dos dados, foi realizada a validação e aplicada a transformação Centred Log Ratio (CLR), que corrige os efeitos do fechamento dos dados composicionais, permitindo uma comparação mais robusta entre Au e outros elementos. Além disso, a Análise de Componentes Principais (PCA) foi empregada para reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados e identificar padrões geoquímicos, facilitando a distinção entre diferentes populações de amostras e suas possíveis associações entre elementos.

2.3.1 Análise química de anfibólios

A análise química dos anfibólios foi realizada utilizando a planilha de classificação proposta por Locock, (2014), conforme as recomendações da International Mineralogical Association (IMA) detalhadas por Hawthorne et al. (2012),

a planilha com as classificações dos anfibólios foi anexada no (Anexo D). Durante o processamento dos dados, as concentrações elementares foram convertidas para percentuais em óxidos, seguindo as orientações de Hawthorne et al. (2012) e Locock, (2014). A conversão do ferro entre FeO e Fe_2O_3 foi feita assumindo uma proporção de $Fe^{3+}/\Sigma Fe$ de 0,3, considerando 70% do ferro na forma ferrosa (Fe^{2+}) e 30% na forma férrica (Fe^{3+}), as somas de cátions e restrições utilizadas nesse cálculo seguem as diretrizes estabelecidas em Hawthorne, (1983) e Hawthorne et al. (2012).

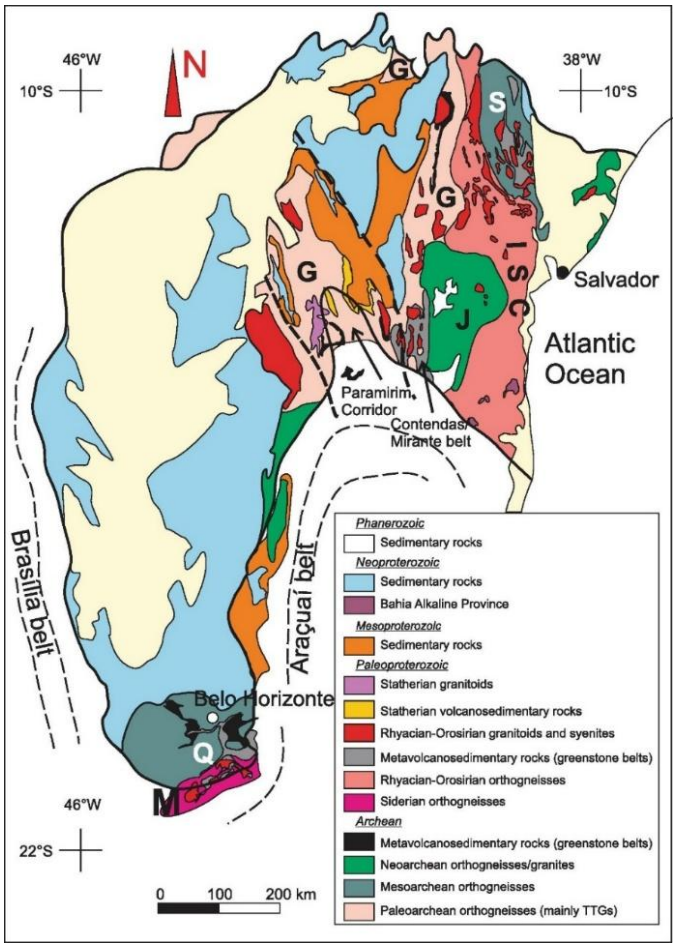
Resultados de SEM-EDS são frequentemente relatados como fração de massa e podem incluir C (na verdade, do revestimento condutor) e oxigênio, bem como outros elementos, os anfibólios não contêm carbono significativo em nenhuma forma, por isso tomou-se a precaução de ignorar o resultado do carbono, pois provavelmente é uma função de um revestimento de carbono, não do mineral real.

3 CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1 Cráton São Francisco

O Cráton São Francisco (Fig 2) e as faixas orogênicas adjacentes cobrem partes das regiões sudeste, centro-oeste e nordeste do Brasil (Cordani, 2017), é constituído por diversos blocos arqueanos e paleoproterozoicos que foram retrabalhados e amalgamados como anteparo e embasamento, durante o desenvolvimento dos sistemas orogênicos neoproterozoicos (Heilbron; G. Cordani; F. Alkmim, 2017; Maurer, 2022). Corresponde a uma plataforma antiga, mais velha que 1,8 Ga, estabilizada ao final do Evento Transamazônico e delimitada por faixas orogênicas brasilianas (Alkmim, 2019; Almeida, 1977; Barbosa, 1966; Cordani, 2017).

Figura 2—Mapa geológico do Cráton do São Francisco.



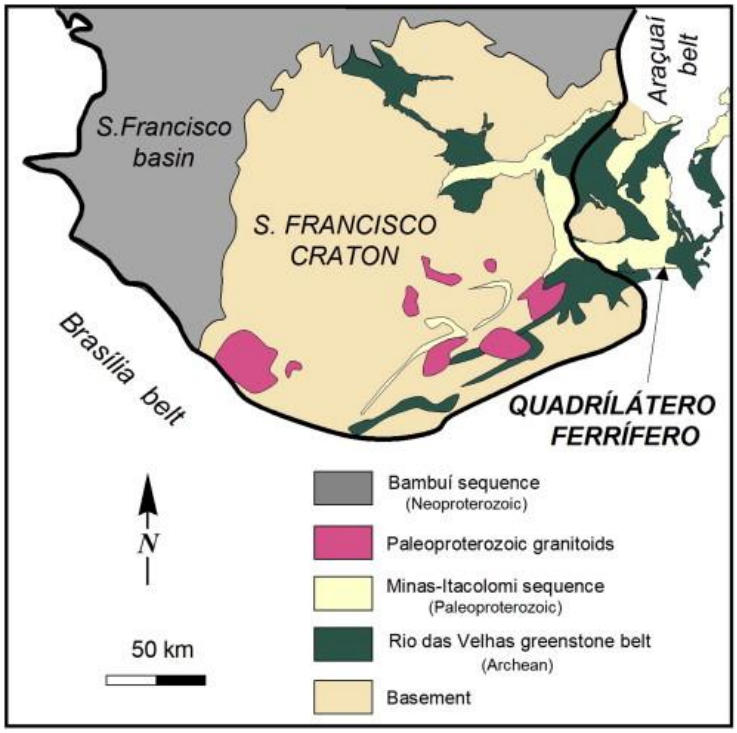
Abreviaturas: G, J e S, blocos Gaviao, Jequié e Serrinha; ISC, Faixa Itabuna-Salvador-Curaçá; M, Cinturão Mineiro; Q, Quadrilátero Ferrífero. O Corredor Paramirim é um cinturão é de dobras-esforços resultante de deformações relacionadas à Orogenia Brasiliana. Fonte: Retirado de (Neves, 2021).

Segundo Mantesso-Neto et al. (2004) uma pequena porção do seu cinturão externo encontra-se preservada e exposta no extremo sul do cráton, abarcando o Quadrilátero Ferrífero e adjacências, Teixeira, (1990) denomina “Cinturão Mineiro”, envolve um complexo metamórfico basal, as supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas, o Supergrupo Minas, o Grupo Itacolomi, além de um substancial volume de granitoides arqueanos e paleoproterozoicos (Almeida, 1977; Lana et al. 2013; Mantesso-Neto et al. 2004; Ruy et al. 2006) e uma espessa sucessão sedimentar que compreende formações ferríferas bandadas de classe mundial depositadas logo após a cratonização arqueana tardia (Martínez Dopico et al. 2017).

3.2 Quadrilátero Ferrífero

Em 1910, Gonzaga de Campos denominou Quadrilátero Ferrífero com base nos extensos depósitos de minério de ferro encontrados em uma área delimitada por Itabira, Rio Piracicaba, Mariana, Congonhas do Campo, Casa Branca e Itaúna (Derby, 2010).

Figura 3—Mapa geológico simplificado do sul do Cráton São Francisco.



Mostrando a localização do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Retirado de Alkmim; Martins-Neto, (2012).

O Quadrilátero Ferrífero é uma Província Metalogenética (Au, Fe, Mn) localizado no extremo sul do Cráton do São Francisco, no leste do Brasil (Farina et al. 2016) no domínio foreland do Cinturão Mineiro e corresponde à área tipo da sequência paleoproterozóica Minas-Itacolomi (Alkmim; Martins-Neto, 2012), abrange (Fig 3): (i) um grande segmento de crosta continental Paleo a Neoarqueana; (ii) sequências metavulcanossedimentares do Arqueano; e uma sequência supracrustal (Baltazar; Zucchetti, 2007; Lana et al. 2013; Noce; Machado; Teixeira, 1998; Romano et al. 2013).

3.2.1 Embasamento

A crosta continental é caracterizada pela presença de domos compostos por rochas do tipo gnaisses tonalito-trondhjemito-granodiorito (TTG's), conforme descrito por (Lana et al. 2013; Romano et al. 2013; Farina; Albert; Lana, 2015; Soares et al. 2021; Silva, 2022). Segundo Farina et al. (2016) o embasamento formou-se durante três grandes eventos magmáticos: Rio das Velhas I (2920 e 2850 Ma), Rio das Velhas II (2800 e 2760 Ma) e Mamona (2760 e 2680 Ma). Os TTG´s são intrudidos por granitoides neoarqueanos e paleoproterozoicos (Baltazar; Zucchetti, 2007) que, por sua vez, são intrudidos por extensas camadas e corpos de granitoides potássicos (Farina; Albert; Lana, 2015; Lana et al. 2013; Romano et al. 2013; Silva, 2022; Soares et al. 2021).

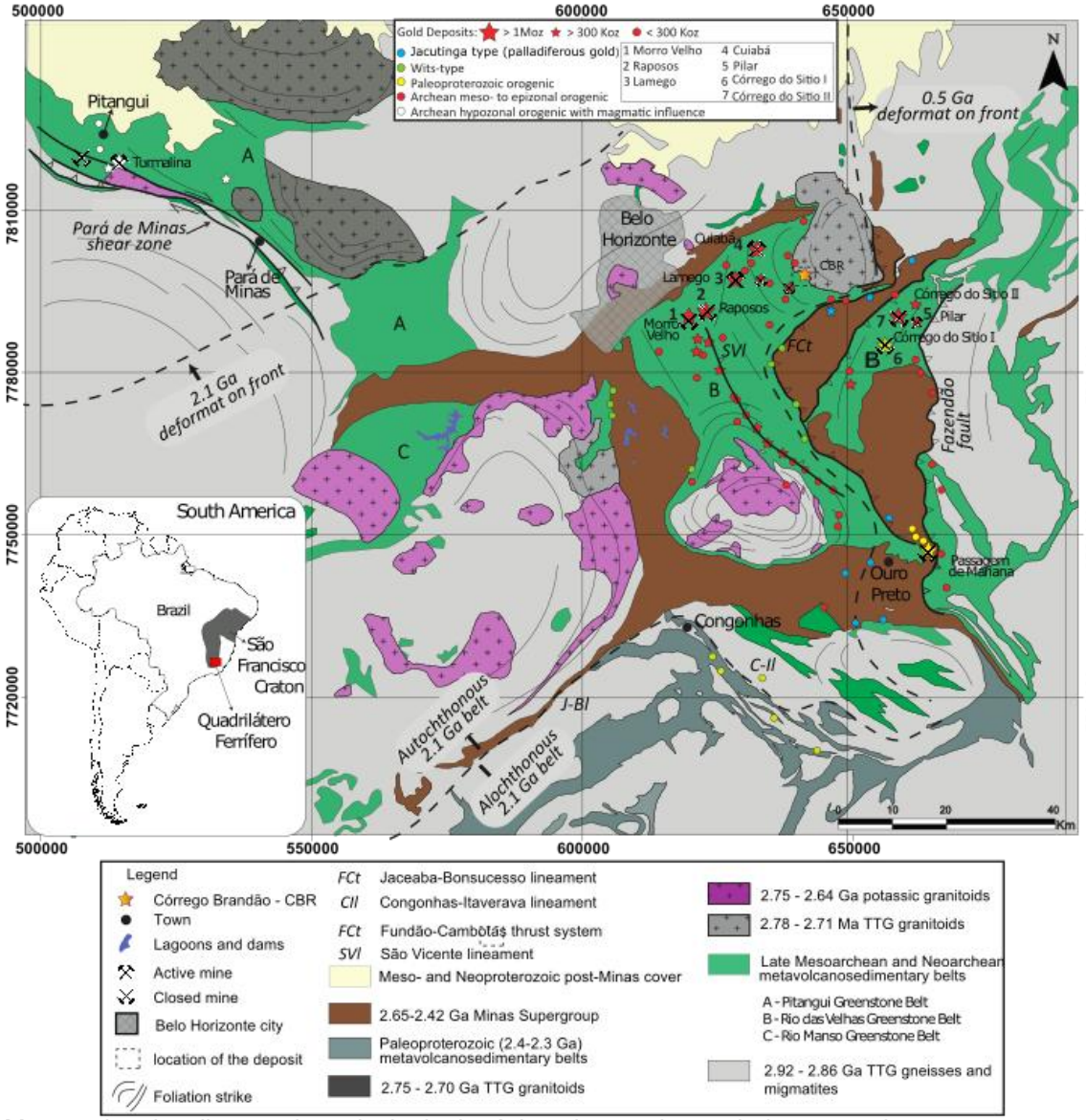
3.2.2 Greenstone Belts

No Quadrilátero Ferrífero, são identificados três Greenstone Belts (Fig 4) correlatos de idade arqueana: Pitangui, Rio Manso e Rio das Velhas (Baltazar; Zucchetti, 2000), inclui sucessões metassedimentares de fácies xisto verde a anfibolito, que se sobrepõem inconformavelmente a um conjunto de embasamento granito-greenstone meso a neoarqueano (Silva; Carneiro, 2009; Alkmim; Teixeira, 2016; Baltazar; Zucchetti, 2007; Brando Soares et al. 2017).

O Greenstone Belt Pitangui encontra-se a noroeste do Quadrilátero Ferrífero, conforme descrito por Brando Soares et al. (2017) é subdividido em três unidades:

uma unidade inferior predominantemente de rochas metavulcânicas ultramáficas e máficas intercaladas com intervalos metassedimentares mais finos de formações ferríferas bandadas, metassedimentos turbidíticos e metapelitos; uma unidade média de metassedimentos turbidíticos intercalados com rochas intermediárias metavulcânicas, BIFs menores e quartzitos; e uma Unidade Superior composta de quartzitos e metaconglomerados polimíticos. As rochas das três unidades são metamorfoseadas sob condições de fácies xisto verde superior a anfibolito inferior e são delimitadas por domos TTG's e granitoides alcalinos tardios a pós-tectônicos (Brando Soares et al, 2017, p. 17).

Figura 4—Mapa geológico simplificado da região do Quadrilátero Ferrífero e arredores.



Mostrando a localização dos principais depósitos de ouro hospedados em rochas arqueanas e paleo-proterozoicas, em operação ou paralisadas. Observe a localização da jazida Córrego Brandão em laranja. Fonte: Retirado e modificado de Brando Soares et al. (2021).

O Greenstone Belt de Rio Manso situa-se na porção sudoeste do Quadrilátero Ferrífero, a sul da Serra do Curral. Denominada Sequência Metavulcanossedimentar

Rio Manso (SMRM) compreende um cinturão de rochas metaultramáficas com intercalações de metamafitos e metassedimentos de natureza psamo-pelítica Silva ; Carneiro, (2009). Pinheiro (1998), menciona a existência principalmente de rochas meta-ultramáficas sem relictos de textura ígnea primária e, subordinadamente por rochas meta-komatíticas (com e sem textura spinifex), classificando essas rochas como parte do Grupo Nova Lima, base do Greenstone Belt Rio das Velhas.

3.2.3 Greenstone Belt Rio das Velhas

O Greenstone Belt Rio das Velhas está localizado na porção central do Quadrilátero Ferrífero e é formado pelos Grupos Nova Lima e Maquiné. O Grupo Nova Lima possui: (1) uma unidade vulcânica basal toleítica-komatiítica, com uma abundância de rochas sedimentares químicas associadas, (2) uma unidade vulcanoclástica sobrejacente, com vulcanismo félsico associado, e (3) uma unidade clástica superior Baltazar; Zucchetti, (2007).

A seguir são sumarizadas as principais características litoestratigráficas do Greenstone Belt Rio das Velhas (base para o topo) e estruturais da região e que são consideradas significativas para a presente pesquisa, compreendendo:

I. Grupo Quebra Ossos
II. Grupo Nova Lima
III. Grupo Maquiné

3.2.3.1 Grupo Quebra Ossos

O Supergrupo Rio das Velhas tem em sua porção inferior o Grupo Quebra Ossos, que é composto por rochas ultramáficas do tipo lavas brechadas, piroclásticas e afaníticas, derrames maciços, com disjunção poliedral, tipos almofadados, textura spinifex (Schorscher, 1978; Lima, 2012). Essas rochas ultrabásicas basais são interpretadas como representantes de uma antiga crosta oceânica Baltazar; Zucchetti, (2007); Chaves et al. (2020) e Ferreira et al. (2020).

Tabela 2 — Nomenclatura estratigráfica para os blocos tectonoestratigráficos.

Super Grupo Rio das Velhas								
Bloco Santa Bárbara			Bloco Nova Lima - Caeté			Bloco São Bartolomeu		
Grupo Maquiné	Fm. Casa Forte	Mb. Córrego do Engenho	Grupo Maquiné	Fm. Casa Forte	Mb. Capanema	Grupo Maquiné		
		Mb. Chica Dona			Mb. Jaguara		Fm. Andaimes	
	Fm. Palmital				Mb. Chica Dona			
				Fm. Palmital			Fm. Pau D'Óleo	
Grupo Nova Lima	Fm. Córrego do Sítio	Mb. Mindá	Grupo Nova Lima	Fm. Ribeirão do Brumado	Mb. Ribeirão do Gaia	Grupo Nova Lima	Fm. Córrego da Paina	
		Indiviso			Mb. Ribeirão Comprido			
	Fm. Santa Quitéria	Indiviso		Fm. Mestre Caetano	Mb. Macacos		Fm. Fazenda Velha	
					Indiviso			
	Fm. Vigário da Vara	Indiviso			Mb. Ribeirão Vermelho			
				Fm. Morro Vermelho	Mb. Roça Grande			
					Indiviso			
Grupo Quebra Osso	Indiviso			Fm. Ouro Fino	Indiviso			

(Nova Lima Caeté, Santa Bárbara e São Bartolomeu) do Greenstone Belt Rio das Velhas.
Fonte: Retirada e modificada de Chaves et al. (2020).

3.2.3.2 Grupo Nova Lima

Chaves et al. (2020) sugerem que o contato do Grupo Nova Lima com os complexos do embasamento TTG é tectônico. O Grupo Nova Lima, é uma sequência vulcano-sedimentar que abriga os principais depósitos de ouro do QF (Baltazar; Zucchetti, 2007; Lobato; Ribeiro-Rodrigues; Vieira, 2001a, 2001b; Noce; Tassinari; Lobato, 2007), Lobato et al. (2001ab) descrevem os depósitos tipo “ouro orogênico”, seguindo as definições encontradas em Groves et al. (1998), alguns exemplos são os depósitos das minas Cuiabá Ribeiro-Rodrigues; De Oliveira; Friedrich, (2007), Lamego Souza Martins et al. (2016), Morro Velho Vial et al. (2007b) hospedados em BIFs e Córrego do Sítio Lima, 2012; Roncato et al. (2015) hospedado em metaturbiditos.

O Grupo Nova Lima é composto por rochas vulcânicas ultrabásicas e básicas intercaladas com formações ferríferas bandadas do tipo Algoma, metagrauvacas,

quartzitos, metachert ferruginoso e metapelitos carbonáceos, além de rochas vulcânicas ácidas e intermediárias (Baltazar; Zucchetti, 2007; Chaves et al. 2020; Dorr, 1969).

> é dividido em três blocos tectonoestratigráficos, bloco Santa Bárbara, bloco Nova Lima – Caeté e bloco São Bartolomeu, e subdividido em 12 unidades informais denominadas Quebra Osso, Ouro Fino, Morro Vermelho, Santa Quitéria, Ribeirão Vermelho, Mestre Caetano, Catarina Mendes, Córrego da Paina, Fazenda Velha, Pau D'Óleo, Mindá e Córrego do Sítio (Chaves et al. 2020; CPRM, 1994, 1996; Zucchetti; Baltazar, 2000).

3.2.3.3 Grupo Maquiné

O contato entre os grupos Nova Lima e Maquiné pode ser gradual, discordante ou tectônico Baltazar; Zucchetti, (2007); Chaves et al. (2020). O Grupo Maquiné, unidade superior do Supergrupo Rio das Velhas, é composto por quartzitos, xistos de quartzo-mica e metaconglomerados subordinados depositados em ambientes marinhos rasos (costeiros) e fluviais (Dorr, 1969; Baltazar; Zucchetti, 2007; Chaves et al. 2020).

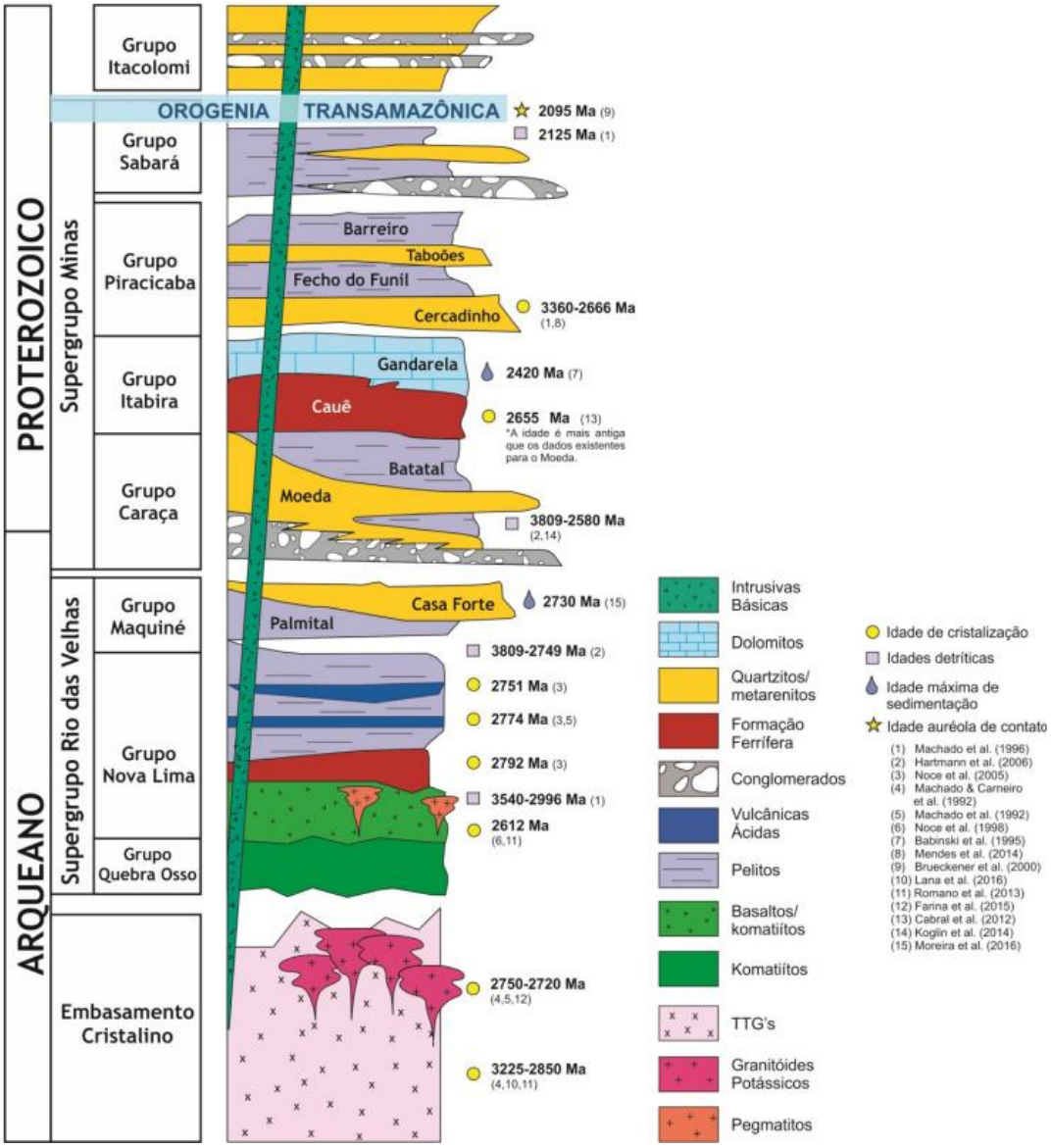
A base do Grupo Maquiné é constituída pela Formação Palmital O'rourke, (1957) e topo formação Casa Forte Gair, (1962). Dorr (1969) descreve o contato entre estas duas unidades como gradacional e marcada por camadas conglomeráticas. Como alguns contatos entre os grupos Maquiné e Nova Lima são graduais Chaves et al. (2020), Baltazar; Zucchetti (2007) sugerem que a Formação Palmital faz parte da associação costeira do Grupo Nova Lima. Por outro lado, a Formação Casa Forte é uma sequência de metarenitos e metaconglomerados fluviais Baltazar; Zucchetti, (2007).

3.3 Sequência supracrustal

A sequência supracrustal Proterozoica é representada pelo Supergrupo Minas, uma unidade metassedimentar que se sobrepõe inconformemente ao Supergrupo Rio das Velhas, juntamente com o Grupo Itacolomi (Alkmim; Marshak, 1998; Dorr,

1969; Alkmim; Martins-Neto, 2012).

Figura 5—Coluna litoestratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.



Fonte: Retirada de Ferreira, (2020) incorporando dados geocronológicos de Alkmim; Marshak, (1998); Martínez Dopico et al. (2017) e referenciados nos respectivos estudos citados na imagem).

O Supergrupo Minas é organizado em uma sequência estratigráfica que, da base para o topo, é composta pelos seguintes grupos: Caraça, Itabira e Piracicaba e o Grupo Sabará; além do Grupo Itacolomi e Supergrupo Espinhaço de idade Paleoproterozoica a Neoproterozoica (Dorr, 1969; Heilbron et al. 2017; Lobato et al. 2001; Machado; Carneiro, 1992), compreende sedimentos de margem passiva e sin-orogénicos, depositados durante o intervalo 2.58-2.42 Ga e cerca de 2.10 Ga, respetivamente (Alkmim; Teixeira, 2016) contendo como leito marcador a Formação

Cauê de formação ferrífera bandada do tipo Lago Superior, acompanha a operação de um ciclo de Wilson na Era Paleoproterozoica (Alkmim; Martins-Neto, 2012).

O Grupo Caraça basal inclui as Formações Moeda e Batatal, e corresponde a uma seqüência clástica, aluvial a deltaica ou marinha rasa, o grupo Itabira representa um período de plataforma estável, com a deposição de sedimentos químico-clásticos Mendes et al. (2014) contendo a Formação Cauê que abriga o grande volume de formações ferríferas e corpos de minério de ferro da região, de grande importância econômica Mendes et al. (2014); Rosière et al. (2008). Esta formação por sua vez, é sobreposta por uma sequencia bastante espessa de xistos e filitos, denominada Formação Piracicaba Riccomini, (1982). O Grupo Sabará representa os depósitos de uma bacia do tipo antepaís relacionada com o Evento Transamazônico, composta por xistos, metarenitos, metassiltitos, metaconglomerados, metadiamictitos, metarritmitos e filitos Reis et al. (2002). A unidade paleoproterozóica mais jovem do QF, o Grupo Itacolomi, compreende depósitos intermontanos pós-orogênicos, acumulados entre 2,05 e 1,74 Ga Alkmim; Teixeira, 2016).

4 MINERALIZAÇÕES DE OURO OROGÊNICO

4.1 Breve contextualização sobre depósitos de ouro do tipo orogênico

A maioria desses depósitos se formou em sincronia com os estágios finais da orogenia e é melhor classificada como depósitos de ouro orogênico (Goldfarb; Groves, 2015; Goldfarb; Groves; Gardoll, 2001; Groves et al. 1998). Estão associados a terrenos metamorfizados regionalmente de idades variadas; os minérios foram formados durante processos de deformação compressional a transpressional em margens de placas convergentes (Groves et al. 1998).

A formação de minério foi concentrada durante os intervalos de tempo de 2,8 a 2,55 Ga, 2,1 a 1,8 Ga e 600 a 50 Ma (Goldfarb et al. 2005). Os minérios resultantes preservados em rochas do meio da crosta contêm uma alta porcentagem dos recursos de ouro do mundo (Goldfarb; Groves; Gardoll, 2001). Com base na profundidade de formação, os depósitos orogênicos são melhor subdivididos em epizonal (<6 km), mesozonal (6-12 km) e hipozonal (>12 km), Groves et al. (1998).

A maioria dos depósitos de ouro em terrenos metamórficos está localizada adjacente a zonas de falhas profundas de primeira ordem, que apresentam histórias estruturais complexas e podem se estender ao longo de centenas de quilômetros com larguras de até alguns milhares de metros (Goldfarb et al. 2005) ocorrem com a mineralização, estruturalmente controlada, contida em estruturas de 3ª (terceira) ordem em zonas de cisalhamento subverticais hospedadas nas sequências metavulcanossedimentares, expressando relação 5:1 de Au:Ag (Goldfarb; Groves, 2015; Groves et al. 1998; Maurer, 2022).

Grandes zonas de deformação que são verdadeiramente de “escala crustal”, fornecem caminhos de fluidos ideais para fluidos hidrotermais de fontes profundas (Hagemann; Cassidy, 2000). A migração de fluidos ao longo dessas zonas foi impulsionada por episódios de grandes flutuações de pressão durante eventos sísmicos (Goldfarb et al. 2005). O ouro é mobilizado pelo fluido gerado pela desvolatilização, então a combinação de processos propostos, a maioria dos quais são uma consequência inevitável do metamorfismo (Powell; Will; Phillips, 1991).

Os fluidos hidrotermais transportam ouro ao longo dos caminhos como uma ou mais espécies de sulfeto neutro e reduzido (Hagemann; Cassidy, 2000). Para muitos

componentes, parece que o fluido está em equilíbrio aproximado com a sequência de rocha hospedeira, embora não com a parede rochosa imediata (Ridley; Diamond, 2000).

Goldfarb ; Groves (2015) descrevem que os depósitos de ouro orogênicos de todas as idades (Paleoarqueano ao Terciário) apresentam consistência na composição química e que eles são produtos de fluidos aquosos-carbônicos, normalmente com 5-20 mol% de CO2. Normalmente caracterizados por concentrações significativas de CH4 e/ou N2, estimativas comuns de 0,01 a 0,36 mol% de H2S, um pH quase neutro de 5,5 e salinidades de 3-7% em peso de NaCl equivalente, com Na N KNN Ca, Mg (Goldfarb; Groves, 2015).

Essa consistência da composição do fluido favorece um fluido de minério produzido a partir de uma única área de origem e exclui a mistura de fluidos de várias fontes como significativa na formação de ouro orogênico (Goldfarb; Groves, 2015).

> A avaliação do balanço de massa da interação fluido-rocha nesses sistemas hidrotermais mostra que não se deve esperar que as composições de fluido reflitam a fonte após as distâncias de viagem do fluido implícitas, mas sim que reflitam as interações fluido-rocha ao longo do caminho do fluido ou as assinaturas mistas da fonte e das rochas encaixantes (Ridley; Diamond, 2000, p. 141).

Os conjuntos de alterações geralmente mostram enriquecimento em K, CO2 e S nos depósitos, independentemente do nível paleocrustal, uma associação metálica de Au, Ag ± As, B, Bi, Sb, Te e W é exibida pela maioria dos depósitos (Hagemann; Cassidy, 2000). A comparação com outros depósitos hipozonais indica que o sistema de ouro orogênico hipozonal está ativo a ca. 500-700 °C e 2-7 kbar, e forma um enriquecimento dominado por Ca-Se-Cu-Ni-Co-S em comparação com as contrapartes mesozonais (Kolb; Dziggel; Bagas, 2015). Essas reações se processam à medida que condições metamórficas progressivas gradam de fácies xisto verde para anfibolito (Kerrich; Fyfe, 1981; Phillips; Groves, 1983; Powell; Will; Phillips, 1991; Soares, 2023).

Goldfarb; Groves (2015) relatam um segundo tipo de depósito, denominado depósitos de ouro relacionados à intrusão, e de acordo com os autores esses depósitos têm uma distribuição global geral que ainda é incerta e são caracterizados por uma associação genética íntima com granitoides relativamente reduzidos.

Segundo (Hagemann; J. R. Ridley, 1993), tanto o setor quanto a academia são contemplados em um relato equilibrado da geologia descritiva, das interpretações genéticas, da importância da exploração e das lacunas que apontam caminhos para futuras pesquisas.

4.1.1 Mineralizações De Ouro Hospedadas em Rochas Metavulcânicas

As rochas metavulcânicas nos Greenstone Belts arqueanos e paleoproterozoicos são abundantes e têm sido sugeridas como fonte potencial de Au para depósitos orogênicos (Patten et al. 2020). Apesar dos avanços recentes na compreensão da origem e da formação das mineralizações de ouro hospedadas em rochas máficas e ultramáficas, ainda há muito a ser explorado para que se compreendam plenamente o seu ambiente de formação, suas principais características mineralógicas e assinatura geoquímica. Nesse contexto, o Córrego Brandão se destaca por apresentar especificidades metalogenéticas que o aproximam de importantes províncias auríferas em diferentes crátons ao redor do mundo, como do Cráton do São Francisco, do Dharwar (Índia), do Zimbábue, do Kaapvaal (África do Sul), do Escudo Canadense e do Cráton de Yilgarn (Austrália).

No campo aurífero de Ramagiri, situado no Cráton de Dharwar, sul da Índia, a mineralização aurífera ocorre em corpos de quartzo cinza, dentro de uma formação xistosa altamente foliada com afinidade meta-andesítica, os minerais associados na zona de minério incluem pirita, scheelita e arsenopirita, os acessórios menores incluem calcopirita, ankerita, siderita, epidoto e turmalina, estando o ouro em associação com scheelita (Rao et al. 1989). Essa associação mineralógica e o contexto litológico apresentam similaridades com os registros de Córrego Brandão, onde também se observam rochas metamáficas e metaultramáficas com mineralizações auríferas associadas.

Na mina de Renco, na zona marginal norte do cinturão do Limpopo, no Cráton do Zimbábue, cuja mineralização aurífera é hospedada por uma enderbita maciça que se intrudiu a 2,57 Ga, possui associação de pirrotita-calcopirita ± bismuto, e ocorreu sob condições de fácies xisto verde (Blenkinsop; Frei, 1996). Essa relação entre mineralização aurífera e intrusão é observada em Córrego Brandão, sugerindo um ambiente geotectônico comparável.

No Greenstone Belt de Barberton, Cráton Kaapvaal, a mina de New Consort. Segundo Otto et al. 2007 a mineralização do ouro está alojada em unidades miloníticas, a pilha imbricada está situada na parede suspensa imediata do contato granitoide-greenstone basal, o grau metamórfico aumenta das condições da fácies de xisto verde superior, e são distinguidos dois estágios de mineralização: a inicial contém loellingita, pirrotita e um conjunto de alteração cálcio-silicato correlacionada com a deformação D1 local e a segunda foi associado a um novo cisalhamento dúctil durante o D2. Em Córrego Brandão, a associação mineralógica observada também aponta para um grau metamórfico de fácies xisto verde superior, reforçando a semelhança com Barberton.

Nas proximidades das minas Con e Giant, na zona de cisalhamento de Campbell, localizadas no distrito de Red Lake, Subprovíncia de Uchi, Canadá. Kerrich; Fyfe (1981) relatam que o basalto é a rocha predominante, sendo atravessadas por zona de cisalhamento. Os basaltos de fácies anfibolito, contendo como constituintes minerais actinolita + oligoclásio + epidoto, com carbonato + clorita + quartzo subordinado e descrevem rochas alteradas com proporções variáveis de Au nativo, electrum, pirita, pirrotita, arsenopirita, estibnita, calcocita, esfalerita, sulfossais e galena (Kerrich ; Fyfe, 1981b). A diversidade mineralógica e a presença de zonas de cisalhamento mineralizadas também são características compartilhadas com o Córrego Brandão.

Mineralizações de ouro hospedadas em rochas vulcânicas da Subprovíncia arqueana La Grande, no Escudo Canadense e do Greenstone Belt paleoproterozoico da Lapônia Central, Finlândia. As rochas metavulcânicas nesses cinturões são agrupadas em séries magmáticas toleíticas e calci-alcalinas (Patten et al. 2020). Ainda segundo os autores rochas semelhantes nos Greenstone Belts arqueanos e paleoproterozoicos indica que elas poderiam ter sido uma importante fonte para depósitos orogênicos de Au e a complexa evolução tectônica, poderia ter levado a vários pulsos de devolatilização metamórfica em uma ampla faixa de PTt, potencialmente formando mineralização de Au orogênica em vários estágios (Patten et al. 2020). Embora a origem do fluido mineralizante em Córrego Brandão ainda não seja conhecida, a dinâmica observada em La Grande oferece uma base relevante para interpretação e correlação.

Por fim, as mineralizações do distrito de Southern Cross, no Cráton de Yilgarn, Austrália Ocidental, onde depósitos de ouro neoarqueanos controlados estruturalmente estão hospedados em greenstones de fácies anfibolítica, a mineralização é contemporânea ao início de intrusões de granitos do tipo I com baixo teor de cálcio, sendo uma importante fonte de fluidos para a mineralização (Doublier et al. 2014). Em Córrego Brandão, a proximidade com corpos graníticos e a presença de estruturas favoráveis à circulação de fluidos também sugerem um papel importante de intrusões graníticas na gênese da mineralização.

4.2 Rochas hospedeiras de ouro no Quadrilátero Ferrífero

As principais rochas hospedeiras de ouro do QF são formações ferríferas bandadas, rochas metassedimentares (fácies xisto verde) da unidade Córrego do Sítio e hidrotermalitos conhecidos como lapa seca (Lobato; Ribeiro-Rodrigues; Vieira, 2001a).

Para depósitos de ouro hospedados em BIF, a espessura da unidade hospedeira é um fator limitante no tamanho do depósito (Vial et al. 2007ab), essas BIFs apresentam camadas com espessura de mm a cm, compostas por camadas ricas em quartzo de metachert, alternadas com camadas contendo minerais ricos em ferro (Chaves et al. 2020). A BIF representa uma armadilha química eficiente devido ao seu alto teor de Fe e, assim, capacidade reativa potencial com os fluidos redutores ricos em metais e H2S que migram por meio de estruturas favoráveis (como dobras, zonas de cisalhamento (Gourcerol et al. 2018). Funcionam como uma armadilha estratigráfica, facilitador à precipitação de sulfetos e ouro (Maurer, 2022). Em muitos casos, as BIFs mineralizadas estão encaixadas em rochas máficas-ultramáficas devido ao ambiente de gênese dessas rochas (fundo oceânico arqueano com atividade vulcânica (Maurer, 2022).

Os depósitos hospedados em rochas metassedimentares localizam-se na borda leste do QF e integra o Lineamento Aurífero Córrego do Sítio, que corresponde a uma zona de cisalhamento dúctil com um trend NE-SW controlando quatorze depósitos de ouro, (Baltazar; Lobato, 2020; Lima, 2012; Ribeiro et al. 2013). Ribeiro et al. (2013) interpreta que o estilo de mineralização principal ocorre em veios de quartzo-carbonato-sulfetos (±sulfossais), ocorrem diversos diques e sills, paralelos e

discordantes às rochas metassedimentares hospedeiras (Roncato et al. 2015). No Greenstone Belt de Pitangui (GBP), ocorrem depósitos com presença de veios de quartzo, formação de clorita, sericita e sulfetos em rochas turbidíticas hidrotermalizadas e mineralizadas (Maurer, 2022), os corpos estão relacionados a veios compostos por quartzo (>80%) fumê e leitoso, carbonato e sulfetos, pertecentes a unidade vulcano-sedimentar, na qual são xistos ricos em quartzo e biotita (Fabricio-Silva, 2016).

Ladeira (1988) descreve a Formação Lapa Seca como a principal unidade hospedeira de ouro no distrito de Nova Lima, com uma extensão mapeável de mais de 14 km (por exemplo, Morro Velho, Bicalho e Bela Fama), é constituída por um conjunto de rochas hidrotermais de quartzo-carbonato com minerais sulfetados, mica branca e albita (Lobato; Ribeiro-Rodrigues; Vieira, 2001). A lapa seca é interpretada como o resultado de um pregold (pré-ouro) processo de alteração e podem ser divididos em tipos carbonáticos, micáceos e quartzosos (Vial et al. 2007a).

Recentemente foram realizados estudos sobre mineralização de ouro associados a veios de quartzo-carbonato encaixados em rochas metamáficas no depósito de Cuiabá (Fernandes; Roncato; Sérgio de Paula, 2023; Kresse et al. 2020; Vitorino; Figueiredo e Silva; Lobato, 2020), e no depósito Papagaios (GBP), ocorre encaixado predominantemente nas rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas da Formação Rio Pará, no qual a mineralização é acompanhada pelos minerais de minério pirrotita, pirita e arsenopirita (Maurer, 2022).

Na borda nordeste do Quadrilátero Ferrífero Abreu, 1995) descreve a mineralização de ouro na mina do Pari, a qual a mineralização é hospedada em anfibolitos granatíferos (hornblenda- quartzo-biotita-granada e plagioclásio). Os depósitos de Juca Vieira e Catita, localizados na parte centro-norte do QF, e inseridos no mesmo contexto geotectônico da jazida Córrego Brandão, os corpos de minério são sistemas de veios de quartzo-carbonato contendo sulfetos hospedados principalmente por rochas vulcânicas de composição intermediária a máfica (Pereira, 1996; Vial et al. 2007a). Todos os depósitos hospedados em rochas máficas/ultramáficas consistem em veios de quartzo e têm dimensões reduzidas (Vial et al. 2007c).

À medida que os principais depósitos de ouro do QF estão se exaurindo, os depósitos hospedados em rochas máficas-ultramáficas têm sido objeto de estudos.

5 CÓRREGO BRANDÃO GOLD DEPOSIT, GREENSTONE BELT RIO DAS VELHAS, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, BRAZIL: MINERAL CHEMISTRY, PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY

Walace Vinicius do Carmo Fernandes [a],*, Rosaline Cristina Figueiredo e Silva [a], Mariana Brando Soares [b], Luiz Cláudio Lima [c], Vitor Diniz Silveira d, Armando José Massucatto [d]

[a]Federal University of Minas Gerais (UFMG), Graduate Program in Geology, Institute for Geosciences, Professor Manoel Teixeira da Costa Research Center (CPMTC), Presidente Antônio Carlos Avenue, 6.627, Campus da Pampulha, Belo Horizonte, MG, 31270-901, Brazil

[b]State University of Rio de Janeiro (UERJ) – College of Geology (FGEL) Graduate Program in Geosciences (PPGG). Rua São Francisco Xavier, 524 - Block A, Rio de Janeiro, RJ, 20.551-100, Brazil

[c]LC Lima Treinamentos, Rua Olaria, 2605 - Pasto da Balanca, Nova Lima, MG, Brazil

[d]Jaguar Mining Inc., Rua Andaluzita, 131, 7° Andar, Carmo, Belo Horizonte, MG, 30310-030, Brazil

Abstract

Córrego Brandão “CBR” is a gold deposit (1 Mt of ore, medium grade 1.48 g/t Au, 51,000 oz Au) located in the municipality of Caeté-MG, in the central-northeastern portion of the Quadrilátero Ferrífero (QF). It is hosted in basic metavolcanic rocks of the Nova Lima Group, at the base of the Rio das Velhas Greenstone Belt, near the TTG of the Caeté Complex (2.77 Ga). At CBR, two styles of mineralization occur: the main one is hosted in hydrothermally altered amphibolites, rich in iron carbonates (dolomite and siderite), with gold occurring in its free form or included within magnetite crystals, dispersed in the matrix of ferromagnesian chlorite, and with gold particles included in porous pyrite crystals, along with arsenopyrite crystals and a compositional variation of Fe, As, and enrichment in Te and Bi. The second is related to auriferous quartz veins with high As content. In this study, samples from drill holes were analyzed through XRD, microscope petrography, mineral chemistry and multielement geochemistry to characterize the mineralization host rocks. These include mafic rocks

in metamorphic and meta volcanoclastic sequences, with distinctive chemical and textural features. Multielement analysis demonstrates that Au enrichment is correlated with Ni, Te, As, and Bi enrichment, supporting a potential mafic/ultramafic contribution during the mineralization process. Paragenesis (amphibole + biotite + garnet) contains trace minerals (rutile + titanite), indicating lower amphibolite facies metamorphism, distinguishing it from the QF, where host rocks predominantly occur in greenschist facies. The CBR mineralization style is orogenic, with the mineralizing fluid producing more magnetite and siderite than sulfides. The characteristics of a hypozonal deposit; the host rocks; the proximity to the Caeté Complex; the metamorphic grade; and the geochemical signature of the mineralization distinguish CBR from other Neoarchean gold deposits of the QF.

* Corresponding author.
E-mail address: walacevinicius@hotmail.com (W. Vinicius do Carmo Fernandes).

KEYWORDS: gold; XRD; petrography; mineralogy; mineral chemistry

5.1 Introduction

Global demand for gold has been steadily increasing, driven primarily by conflicts in the Middle East and a global pandemic. Major central banks consider it a long-term store of value. Additionally, its unique properties—such as excellent electrical conductivity, corrosion resistance, and malleability—make it widely used in industry, particularly in electronic circuits. In this context, the discovery of new gold deposits becomes essential to meet growing global demand. The exploration of orogenic gold deposits, especially in geologically favorable regions like Greenstone Belt terrains, has significantly benefited from advances in new research techniques. Among these, petrography, rock chemistry, and multielement geochemistry stand out, providing a detailed understanding of the mineralogical composition and textural characteristics of the deposits. The combination of these techniques is essential for characterizing orogenic gold deposits, as it allows the identification of associated minerals that may indicate the presence of gold, as well as offering insights into the formation and alteration conditions of the mineralization host rocks.

The Quadrilátero Ferrífero (QF) is one of the most important mineral provinces in the world, with a significant history of gold, iron, and aluminum production (Bezerra, 2014). The rocks of the Nova Lima Group, at the base of the Rio das Velhas Greenstone Belt (2,772 ± 6 Ma, Lobato et al. 2001) Fig. 6, host important orogenic gold deposits, According to Tassinari et al. (2015), the ore-forming period extends from the Late Archaean (ca. 2.7–2.6 Ga) to Paleoproterozoic (ca. 2.1–1.8 Ga) and some of the older ages were variably affected by isotopic re-homogenization that took place during the Transamazonian and Brazilian orogenic events (ca. 2.0 Ga and 0.6 Ga, respectively). Some examples of Archean mineralizations such as Cuiabá (2672 ± 14 Ma; Noce; Tassinari; Lobato, 2007) and Lamego (2730 ± 42 Ma; Martins et al. 2016) using U-Pb SHRIMP of hydrothermal monazite occurring in equilibrium with sulfides and gold, and Paleoproterozoic mineralizations, such as the Turmalina deposit (2.2-1.9 Ma; Tassinari et al. 2015) using multisystemic PB-Pb, Rb-Sr, and Sm-Nd isotopes and Jacutinga-type Brazilian mineralization, such as the Conceição deposit (495.6 ± 2.2 Ma (Cabral et al. 2015) using U-Pb by the laser ablation – inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) method. Some gold deposits in the QF are considered “classics” and are classified as orogenic gold type according to Lobato et al. (2001ab), following the definitions of Groves et al. (1998). Examples include the Cuiabá (Kresse et al. 2018), Lamego (Martins et al. 2016), and Morro Velho (Vial et al. 2007) mines, hosted in BIFs, and Córrego do Sítio (Roncato et al. 2015), hosted in metaturbidites.

In this context, Córrego Brandão (CBR) is the name given to a gold deposit (1 Mt of ore with an average grade of 1.48 g/t Au, totaling 51,000 oz Au) located in the municipality of Caeté (Fig. 6), in the central-northeastern portion of the Quadrilátero Ferrífero. It is hosted in rocks of the Nova Lima Group, at the base of the Rio das Velhas Greenstone Belt. CBR holds great metallogenetic importance in the QF context, as its characteristics differ from other gold mineralization in the central part of the Rio das Velhas Greenstone Belt. While most Au mineralization in the QF occurs in greenschist facies, CBR was formed under lower amphibolite-grade metamorphic conditions and may indicate the presence of other gold accumulations formed under similar conditions.

This study represents the first systematic academic analysis conducted on CBR and aims to expand knowledge about the geology of the central and northeastern portions of the QF, as well as contribute to mineral resource research and exploration,

particularly in understanding gold metallogeny in medium-grade metamorphic terrains, with mineralization hosted in atypical rocks within the QF. To achieve this, the following activities were carried out: petrographic characterization of host and surrounding rocks, identification of minerals in the mineralized zone, microscopic analysis of mineralized samples based on geochemical-mineralogical signatures, and chemical characterization of minerals associated with mineralization.

5.2 Materials and Methods

5.2.1 Materials

The research was conducted through the analysis and interpretation of information from a database provided by Jaguar Mining Inc. This database contains 6,274 multielement geochemistry analyses for 56 elements, including drill core (DDH) and channel samples. To ensure the quality and representativeness of the analyses, 4,491 samples were selected exclusively from the (sulfide zone) of the Córrego Brandão deposit. Samples from the secondary (weathered zone), such as soil, channel, and trench samples, were intentionally excluded due to their susceptibility to surface alteration, which could introduce noise or biases into the results. This database covers all lithostratigraphic units intercepted by drill holes, as well as samples collected from different lithotypes and hydrothermal alteration zones.

5.2.2 Sampling

Some drill holes were selected for description and sample collection, aiming to carry out geological recognition and understanding of the stratigraphy of the Córrego Brandão deposit. A comprehensive stratigraphic coverage was sought, with sampling along the entire length of the selected drill holes. The samples were cataloged and separated into batches for subsequent laboratory investigations.

5.2.3 XRD Analysis

X-ray diffraction (XRD) analyses corresponding to the host and enclosing rocks of the mineralization were carried out at the Mineral Technology Center (CETEM) located in Rio de Janeiro, RJ, Brazil. The powder method was used, performed on a Bruker-AXS D4 Endeavor instrument, with Co Kα radiation (40 kV/40 mA), step size of 0.01° 2Θ, counting time of 184 seconds per step with a silicon drift position-sensitive linear detector (LynxEye), collected from 5 to 90° 2Θ, and in Θ-2Θ goniometer geometry. Qualitative spectrum interpretation was performed by comparison with standards contained in the relational database PDF 4+ (ICDD, 2021) using Bruker Diffrac.EVA software. Quantitative interpretation was performed by the Rietveld method using Bruker-AXS Topas, v. 5. The crystal structure information of the refined phases comes from the Bruker AXS database.

To ensure the accuracy of the results and detailed identification of the crystalline phases present in the samples by XRD, the refinement of different mineral groups was carried out. In the amphibole group, specifically the clinoamphiboles, cummingtonite, grunerite, and hornblende were refined. In the mica group, muscovite and phlogopite stand out. In the epidote group, clinozoisite was refined, while the plagioclase present corresponds to andesine and the tourmaline to dravite.

Between 114.7 m and 125.55 m depth in drill hole FCBS003, fresh core samples were selected—an interval crucial for understanding the mineralized system. XRD analyses were applied to samples numbered 0118 to 0129.

5.2.4 Microscopic Petrography

A subset of representative samples from all the main rock units and alteration zones was carefully selected and prepared for analysis on 25 polished thin sections. These samples were described using conventional petrographic techniques of reflected and transmitted light. The petrographic descriptions were carried out at the Metallogeny Laboratory of the Professor Manoel Teixeira da Costa Research Center (CPMTC) of the Institute of Geosciences (IGC), Federal University of Minas Gerais (UFMG), using a Leica DM 2500 P petrographic microscope, with an attached Leica DFC295 camera. The nomenclature and classification of the described minerals follow the standard of the International Mineralogical Association (IMA), as described in (Warr, 2021).

5.2.5 Scanning Electron Microscopy Analyses

Scanning Electron Microscopy (SEM) images were obtained at two reference centers, using different instrumental configurations to ensure accuracy and reliability of results. At CETEM, an FEI Quanta 400 SEM model was used, coupled to a Bruker Quantax 800 energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometer (EDS), equipped with an XFlash 15 5010 silicon drift detector. Analyses were conducted with an accelerating voltage of 20 kV, spot size 5, and spectral calibration was performed before each analytical session with the Cu Kα1 energy line, ensuring high precision in elemental identification.

At the UFMG Microscopy Center (CM-UFMG), samples were analyzed with two complementary instruments: the Hitachi TM 3030, coupled to a Bruker Quantax 70 EDS operating at 20 kV, and the Thermo Fisher FEG Quanta 200, also equipped with a Bruker Quantax 70 EDS. Images were acquired using backscattered electrons (BSE), which provide efficient compositional contrast to identify distinct mineral phases. To ensure electrical conductivity and image quality, all samples were coated with a thin ~20 nm layer of carbon. Alternation was used between images with the same field of view, of backscattered electrons and high-vacuum secondary electrons, obtaining clear images and information on the sample composition.

5.2.6 Geochemical Data Processing

In this work, geochemical assays were carried out on drill cores, and the analytical data are used to understand the Au-bearing phases and their association with elements present in the hydrothermalized zones.

Gold (Au) analyses and those of another 55 elements were performed at the ALS Global laboratory in Lima, Peru — an internationally recognized reference laboratory in analytical geochemistry. For gold determination, the classic “Fire Assay” method was employed, using the Au-AA26 analytical level, which allows precise detection of contents between 0.01 and 100 ppm. Quantification was performed by Atomic Absorption Spectrometry (AAS), with 25 g or 50 g samples, ensuring representativeness and reliability of results.

In addition to gold, a robust set of base metals and “pathfinder” elements, fundamental for geochemical interpretation, was analyzed. The method used was aqua regia digestion, recognized for its selectivity and high sample/volume ratio, superior to more aggressive methods such as four-acid digestion. This approach allowed ultratrace detection levels, reaching as low as 1 ppb, while preserving volatile and delicate elements.

Geochemical data are generally expressed in percentage or ppm, meaning that individual values are interdependent (constant sum of 100% or analytical limits). The Centred Log Ratio (CLR) tool corrects this restriction by transforming the data, shifting them from the natural compositional space to real number space, and comparing all samples and analyzed elements with each other. It implies assigning a logarithmic scale, centering the distribution, and transforming the corresponding data into vectors. CLR data discrimination is performed through Principal Component Analysis (PCA), where PC1 (RQ1-RQ2) is a geological attribute that causes proximity or distance between the CLR input data. The score of a specific sample corresponds to its behavior in relation to all variables calculated by CLR and explains more than 30% of the variability of the geochemical data.

Geochemical data processing was performed using IMDEX IoGas software, version 7.1. For data analysis, validation was performed and CLR applied, correcting the effects of compositional data closure, allowing a more robust comparison among elements. Additionally, PCA was employed to reduce the dimensionality of the dataset and identify geochemical patterns, facilitating the distinction between different sample populations and their possible element associations. It is important to note that no interpretations involving major elements were made, as the analyses conducted do not include silica and do not represent whole-rock analyses, but rather elemental analyses.

5.2.7 Chemical classification of amphiboles

The chemical classification of amphiboles was performed using the spreadsheet proposed by Locock, (2014), following the recommendations of Williams et al. (2013) as detailed by Hawthorne et al. (2012). During data processing, elemental concentrations were converted into oxide percentages, according to the guidelines of Hawthorne et al. (2012) and Locock, (2014). The conversion of iron between FeO and

Fe_2O_3 was carried out assuming a $Fe^{3+}/\Sigma Fe$ ratio of 0.3, considering 70% of iron in the ferrous form (Fe^{2+}) and 30% in the ferric form (Fe^{3+}). The cation sums and constraints applied in this calculation follow the directives established by Hawthorne, (1983) and Hawthorne et al. (2012).

Locock (2012) warns spreadsheet users that the propagated errors resulting from the calculation of $Fe^{3+}/\Sigma Fe$ ratios under different normalization schemes may introduce considerable uncertainty in the classification of an amphibole analysis.

SEM-EDS results are often reported as mass fractions and may include carbon (C) from the conductive coating and oxygen, as well as other elements. Amphiboles do not contain significant carbon in any form; therefore, care was taken to disregard the carbon result, as it most likely reflects the carbon coating rather than the actual mineral.

5.3 Regional Geology

The São Francisco Craton is composed of several Archean and Paleoproterozoic blocks that were reworked and amalgamated during the development of Neoproterozoic orogenic systems (i.e., Tocantins, Mantiqueira, and Borborema Provinces) associated with the Brasiliano/Pan-African collage (630–490 Ma) of western Gondwana (Heilbron et al. 2017; Maurer, 2022). Located in the southern portion of the São Francisco Craton, the Quadrilátero Ferrífero (QF) comprises (Fig. 6): (i) Paleo- to Neoarchean continental crustal blocks; (ii) Archean metavolcanosedimentary sequences; and (iii) Paleo- to Neoproterozoic supracrustal sequences (Baltazar; Zucchetti, 2007; Lana et al. 2013; Noce, Machado; Teixeira, 1998; Romano et al. 2013).

The continental crustal blocks are characterized by the presence of domes composed of tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG) gneisses, as described by (Farina et al. 2015; Lana et al. 2013; Romano et al. 2013; Silva, 2022; Brando Soares et al. 2021). The TTGs are intruded by Neoarchean and Paleoproterozoic granitoids (Baltazar; Zucchetti, 2007), which in turn are intruded by extensive sheets and bodies of potassium granitoids (Farina et al. 2015; Lana et al. 2013; Romano et al. 2013; Silva, 2022; Soares et al. 2021).

In the Quadrilátero Ferrífero, three Archean greenstone belts are identified (Fig. 6): the Rio Manso Greenstone Belt (Silva; Carneiro, 2009), the Pitangui Greenstone Belt

(Brando Soares et al. 2018), and the Rio das Velhas Greenstone Belt (Baltazar; Zucchetti, 2000).

The Rio Manso Greenstone Belt is in the southwestern portion of the Quadrilátero Ferrífero, south of the Serra do Curral, and comprises the Rio Manso Metavolcanosedimentary Sequence (SMRM), represented by a belt of meta-ultramafic rocks interlayered with metamafic rocks and psammitic-pelitic metasediments (Silva; Carneiro, 2009). Pinheiro (1998) mentions the predominance of meta-ultramafic rocks lacking primary igneous textures and, subordinately, meta-komatiitic rocks (with and without spinifex texture), classifying these rocks as part of the Nova Lima Group, at the base of the Rio das Velhas Greenstone Belt.

The Pitangui Greenstone Belt is located northwest of the Quadrilátero Ferrífero. According to Brando Soares et al. (2017), it is subdivided into three units: a lower unit predominantly composed of ultramafic and mafic metavolcanic rocks interlayered with thinner metasedimentary intervals of banded iron formations (BIFs), turbiditic metasediments, and metapelites; a middle unit of turbiditic metasediments interlayered with intermediate metavolcanic rocks, minor BIFs, and quartzites; and an upper unit composed of quartzites and polymictic metaconglomerates. The rocks of the three units are metamorphosed under upper greenschist- to lower amphibolite-facies conditions and are bounded by domes of TTGs and late- to post-tectonic alkaline granitoids.

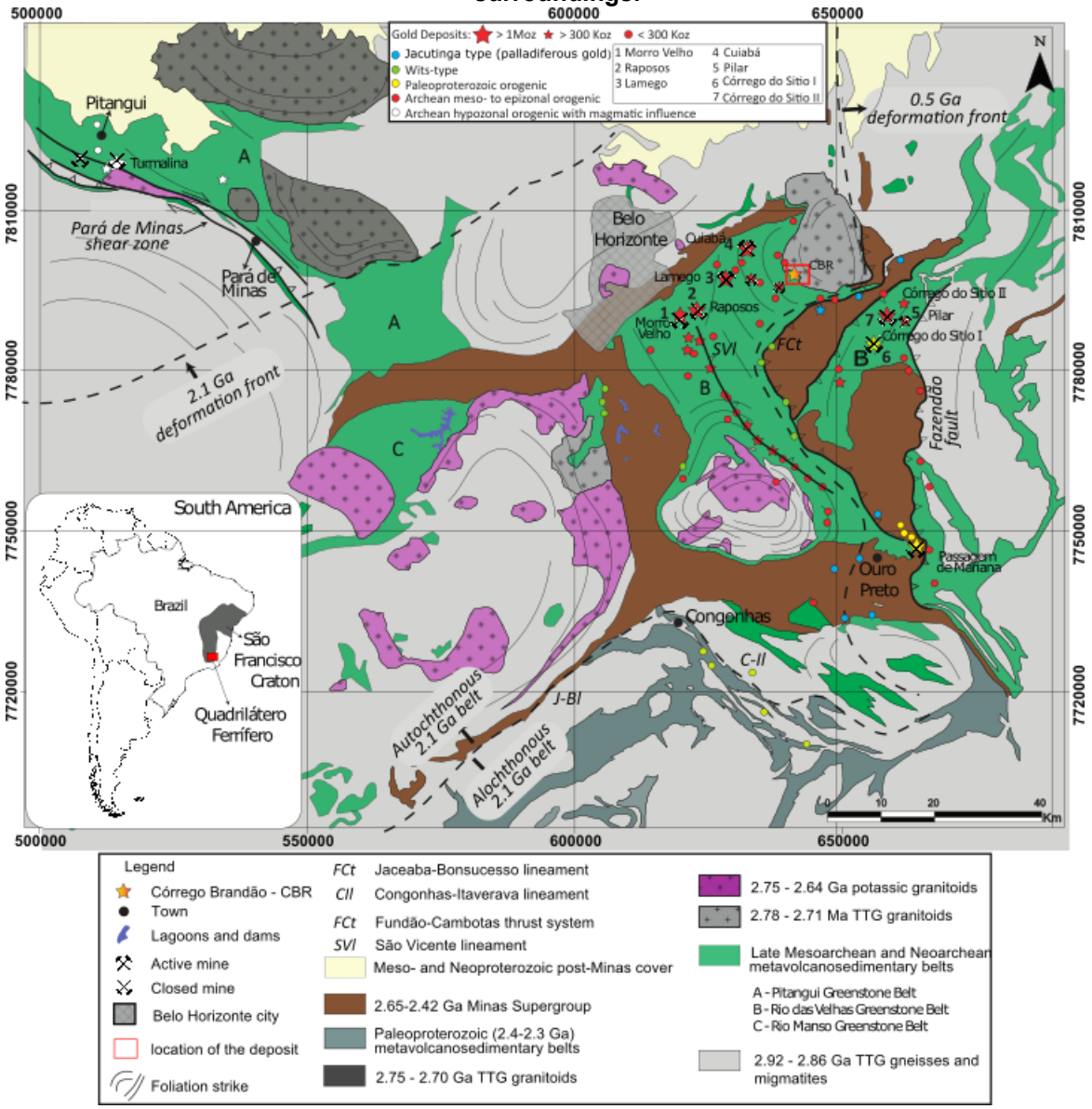
The Rio das Velhas Greenstone Belt is in the central portion of the Quadrilátero Ferrífero (Baltazar; Zucchetti, 2007). The Rio das Velhas rocks were deposited in the synformal Nova Lima basin with NW-SE orientation (Baltazar; Lobato, 2020). The Rio das Velhas Greenstone Belt consists of the Nova Lima and Maquiné Groups (Baltazar; Zucchetti, 2007). According to these authors, the Nova Lima Group comprises: (1) a basal tholeiitic-komatiitic volcanic unit, with abundant associated chemical sedimentary rocks; (2) an overlying volcanoclastic unit with associated felsic volcanism; and (3) an upper clastic unit. The basal unit of the Rio das Velhas Supergroup, the Nova Lima Group, is a volcano-sedimentary sequence that hosts the main gold deposits of the QF (Baltazar; Zucchetti, 2007; Lobato et al. 2001a, 2001b; Noce et al. 2007).

Baltazar; Zucchetti (2000), based on field characterization, petrographic, petrological, and structural data, divided the units into four major lithostructural domains. According to these authors, the boundaries of these domains approximately coincide with major structural lineaments, and therefore they proposed subdividing the

exposure area of the greenstone within the Quadrilátero Ferrífero into four tectonic blocks: São Bartolomeu Block, Nova Lima Block, Santa Bárbara Block, and Caeté Block. The tectonic blocks are further subdivided into 12 informal units named Quebra Osso, Ouro Fino, Morro Vermelho, Santa Quitéria, Ribeirão Vermelho, Mestre Caetano, Catarina Mendes, Córrego da Paina, Fazenda Velha, Pau D'Óleo, Mindá, and Córrego do Sítio (Chaves et al. 2020; CPRM, 1994, 1996; Baltazar; Zucchetti, 2000).

According to Baltazar; Zucchetti (2000), the Caeté Block, located in the central portion, is the only one that presents the complete column, with all the elements of a Greenstone sequence — from the basal basic-ultrabasic metavolcanic rocks, metavolcaniclastic and resedimented sequences, up to the coarse non-marine clastic metasediments of the Maquiné Group, with metamorphism in the greenschist facies. It is separated from the Nova Lima Block to the west, by the São Vicente fault, and from the Santa Bárbara Block, to the southeast, by the Fundão fault.

Figure 6 - Simplified geological map of the Quadrilátero Ferrífero region and surroundings.



Showing the three Greenstone Belts and the location of the main gold deposits hosted in Archean and Paleoproterozoic rocks, either operating or inactive. Note the location of the Córrego Brandão deposit in orange.
Source: Modified from Brando Soares et al. (2021).

The Proterozoic supracrustal sequence is represented by the Minas Supergroup. Alkmim; Marshak (1998) describe it as a metasedimentary unit that unconformably overlies the Rio das Velhas Supergroup. The Minas Supergroup is organized into a stratigraphic sequence which, from base to top, is composed of the following groups: Caraça, Itabira, and Piracicaba, and the Sabará Group; in addition to the Itacolomi Group and the Espinhaço Supergroup, of Paleoproterozoic to Neoproterozoic age (Dorr, 1969; Machado; Carneiro, 1992; Lobato et al. 2001a).

5.3.1 Structural Geological Context of the Quadrilátero Ferrífero

The Archean deformation (D1–D2) converted the Nova Lima basin into a broad synclinorium with an inverted flank to the east (Baltazar; Lobato, 2020). The main regional D1 structures include E- and N-dipping thrust faults and flexural normal folds ranging from sub-horizontal open to tight isoclinal folds dipping S and ENE. This episode is younger than 2749 Ma (Late Archean) and affects only the Nova Lima Group (Baltazar; Zucchetti, 2007), and older than 2672 Ma, the age of gold mineralization (Baltazar; Zucchetti, 2007; Lobato et al. 2007). The main D2 structures are NW-striking thrust faults and NW-trending isoclinal folds dipping to the SW, which are preserved west of the city of Caeté (Baltazar; Zucchetti, 2007). Baltazar; Lobato (2020) report that regional shear zones trend NNW–SSE, subparallel to the strata of the Nova Lima synclinorium boundaries. According to Baltazar; Zucchetti (2007), there is a general spatial relationship between gold deposits and the shear zones of this deformation, with the gold-bearing hydrothermal alteration zones being closely associated with these shear zones (Baltazar; Zucchetti, 2007).

The Transamazonian compression (D3), with a SE–NW vector subparallel to the mineralized Archean regional foliation/layering, folded these structures, resulting in commonly open, synformal, and antiformal regional folds (Baltazar; Lobato, 2020). The first group of structures defines the quadrangular shape of the QF and is represented by regional synclines, whereas the second group of structures is related to the domal shape of the granitic–gneissic basement (Baltazar; Zucchetti, 2007).

The D4 structures are related to the Neoproterozoic Brasiliano orogeny (Baltazar ; Lobato, 2020). According to Baltazar; Zucchetti (2007), D4 is regionally represented by N–S shear zones, with S–C kinematic indicators showing a west-verging thrust. Baltazar; Lobato (2020) describe that this event shaped the margins of the São Francisco Craton, strongly impacting the eastern half of the QF, with the D4 structures affecting the entire Proterozoic as well as the underlying units.

5.4 Local Geological Context

5.4.1 Geotectonic Context

The Córrego Brandão deposit (Fig. 7) is located in the northwestern portion of the Quadrilátero Ferrífero. In its vicinity, there are exposures of gneisses, granites, and granodiorites of the Caeté Complex, with a crystallization age of 2.776 Ma, as well as tholeiitic metabasalts, subordinately komatiitic, and talc schist from the Ouro Fino Formation (Araújo et al. 2020).

The tectonic framework of the area is defined by a system of thrust faults with NS structuring, related to compressional tectonic events of Lower and Upper Proterozoic ages (Belo de Oliveira, 1986; Teixeira, 1990). The Caeté Fault is located NW of Córrego Brandão and is characterized by the contact between the granodiorite–gneissic rocks of the Caeté Complex and the mafic to ultramafic metavolcanic rocks of the Ouro Fino Unit.

5.4.2 Local Geology

Tholeiitic metabasalts occur subordinately, along with metaperidotite, talc schist, mafic metatuff, felsic metavolcanic rocks, metachert, banded iron formation, carbonaceous phyllite, and sericite–quartz schist, all belonging to the Ouro Fino Unit, the base of the Nova Lima Group (Araújo et al. 2020).

The crystalline basement (TTG) is represented by the Caeté Trondhjemite, where biotite gneisses, granodioritic biotite gneisses, hornblende gneisses, and medium- to coarse-grained granites and granodiorites occur, showing protomylonitic to blastomylonitic textures, variably foliated, locally nebulitic or porphyroblastic, with a crystallization age of 2.776 Ma (Araújo et al. 2020). According to Souza Filho (1991), the Caeté Complex is composed of a package of mylonites, within which a reverse thrust fault occurs in this shear zone.

Overlying the gneisses of the Caeté Complex is the Ouro Fino Unit, which constitutes the base of the Caeté Block. The gold mineralization at Córrego Brandão is specifically hosted in the rocks of the Ouro Fino Unit (Fig. 7), which is described as a mafic–ultramafic volcanic lithofacies (Baltazar; Zucchetti, 2000; Lobato et al. 2004; Baltazar; Zucchetti, 2007). It is dominated by tholeiitic and komatiitic metabasalts, metaperidotite, basic metatuff, acidic metavolcanic rocks, banded iron formation, metachert, and carbonaceous schist (Lobato et al. 2004).

The tholeiitic metabasalts are the most widely distributed rocks of the Ouro Fino Unit. They occur as volcanic schists with actinolite and chlorite, with variable amounts of epidote and plagioclase. Araújo et al. (2020) point out that the metabasalts occur subordinately with komatiitic composition, locally showing pillow structures and variolitic and amygdaloidal textures. Macroscopically, they are characterized by dark gray to greenish gray colors, which weather to reddish yellow to reddish tones; they are fine-grained, and the dominant structure is schistose, though locally weakly developed. In some cases, significant titanite and leucoxene occur, probably derived from the alteration of ilmenite. The textures are granoblastic, nematoblastic, and lepidoblastic (Baltazar; Zucchetti, 2000). Ultramafic rocks, mainly metaperidotite, occur as homogeneous talc–chlorite–sericite schists. When weathered, they are macroscopically characterized by yellow to brown colors, silky texture, and a micaceous and clayey appearance (Araújo et al. 2020).

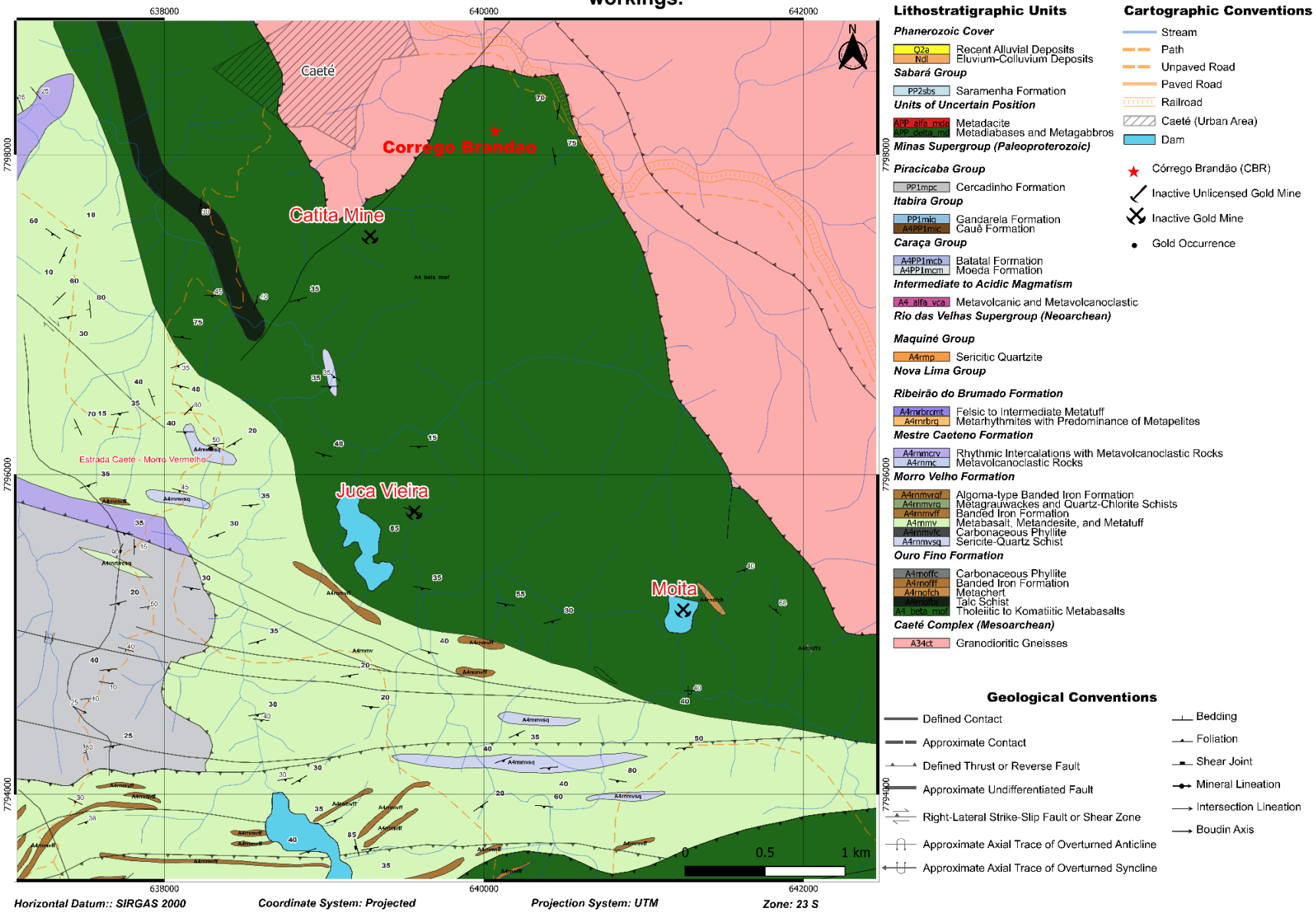
The transition to the Morro Vermelho Formation is marked by the presence of banded iron formation, metachert, and carbonaceous schist. The banded iron formations have mesobands of quartz and martite/magnetite with centimeter thickness. The metachert, either carbonatic or not, displays a massive structure with equigranular quartz crystals in a polygonal arrangement, while the carbonaceous schist occurs in rare black levels, occasionally greasy to the touch and staining the hands when handled (Baltazar; Zucchetti, 2000).

5.5 Córrego Brandão Deposit

The Córrego Brandão deposit is hosted within the Rio das Velhas Supergroup, locally containing rocks of the Nova Lima Group (Fig. 8), specifically of the Ouro Fino unit in a normal stratigraphic arrangement.

The footwall is composed of foliated ultramafic rocks consisting of amphiboles, quartz veins, carbonate, biotite, and ilmenite. The intermediate unit hosts the gold mineralization, which has a stratabound character, including mafic rocks crosscut by a steep shear zone. These rocks are hydrothermally altered, display a mylonitic

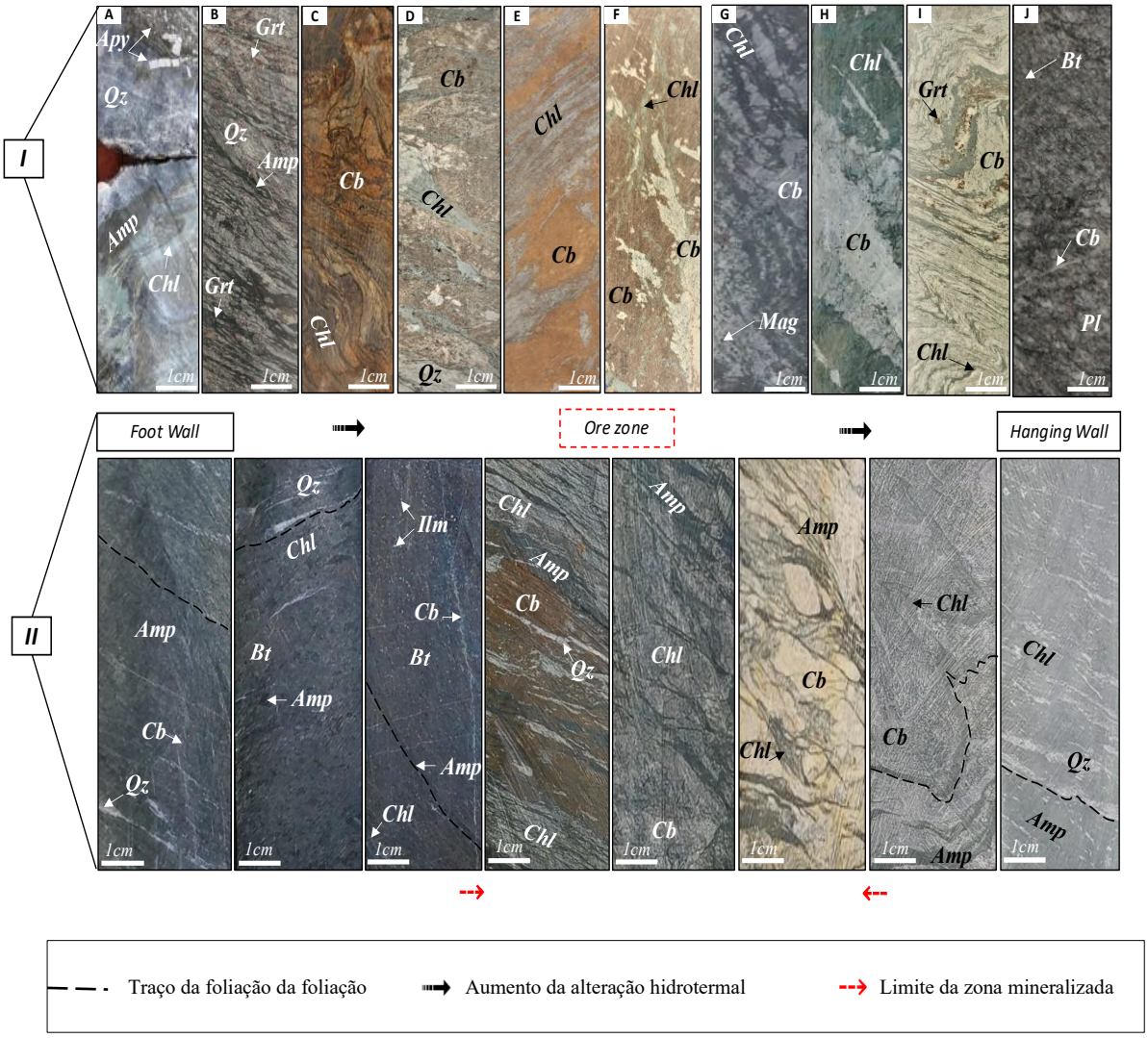
Figure 7 - Geological map of the surroundings of Córrego Brandão, showing the location of CBR, inactive Au mines, and abandoned artisanal workings.



Source: Modified from Araújo et al. (2020).

aspect, and are composed of amphiboles, quartz, carbonate, and chlorite. The hanging wall rocks differ mineralogically from the footwall rocks, consisting of metavolcaniclastic rocks containing amphibole, chlorite, and quartz.

Figure 8 - Photographs of the main lithotypes described at Córrego Brandão.



I – A. smoky quartz vein with fine- to coarse-grained euhedral arsenopyrite. B to I. amphibolites with obliterated matrix, containing iron carbonate, chlorite, quartz, garnet, and magnetite. J. granitic apophysis containing biotite, carbonate, and plagioclase. II – Illustration of hydrothermal alteration in the amphibolites. The dark rocks on the left side of the image (footwall) correspond to ultramafic rocks. The intermediate portion of the image (ore zone), with a mylonitic aspect, comprises the host rocks of the mineralization, and the rocks on the right side of the image (hanging wall) correspond to mafic rocks. Abbreviations: Amp – amphibole; Bt – biotite; Cb – carbonate; Chl – chlorite; Grt – garnet; Ilm – ilmenite; Mag – magnetite; Pl – plagioclase; Qz – quartz.
Source: Prepared by the author

5.5.1.1 Metaultramafic Rocks

The metaultramafic rocks (Fig. 8) are massive to slightly foliated, displaying a black to dark-green color, with fine- to coarse-grained texture, and are sometimes greasy to the touch. They are rich in amphiboles (hornblende and tremolite), with coarse-grained quartz bands, fine carbonate veinlets discordant to the foliation, and thin brown biotite bands parallel to foliation; chlorite occurs in smaller proportions. Pyrrhotite is present as fine, disseminated anhedral crystals, and ilmenite is observed as fine grains, subparallel to foliation.

5.5.1.2 Metamafic Rocks

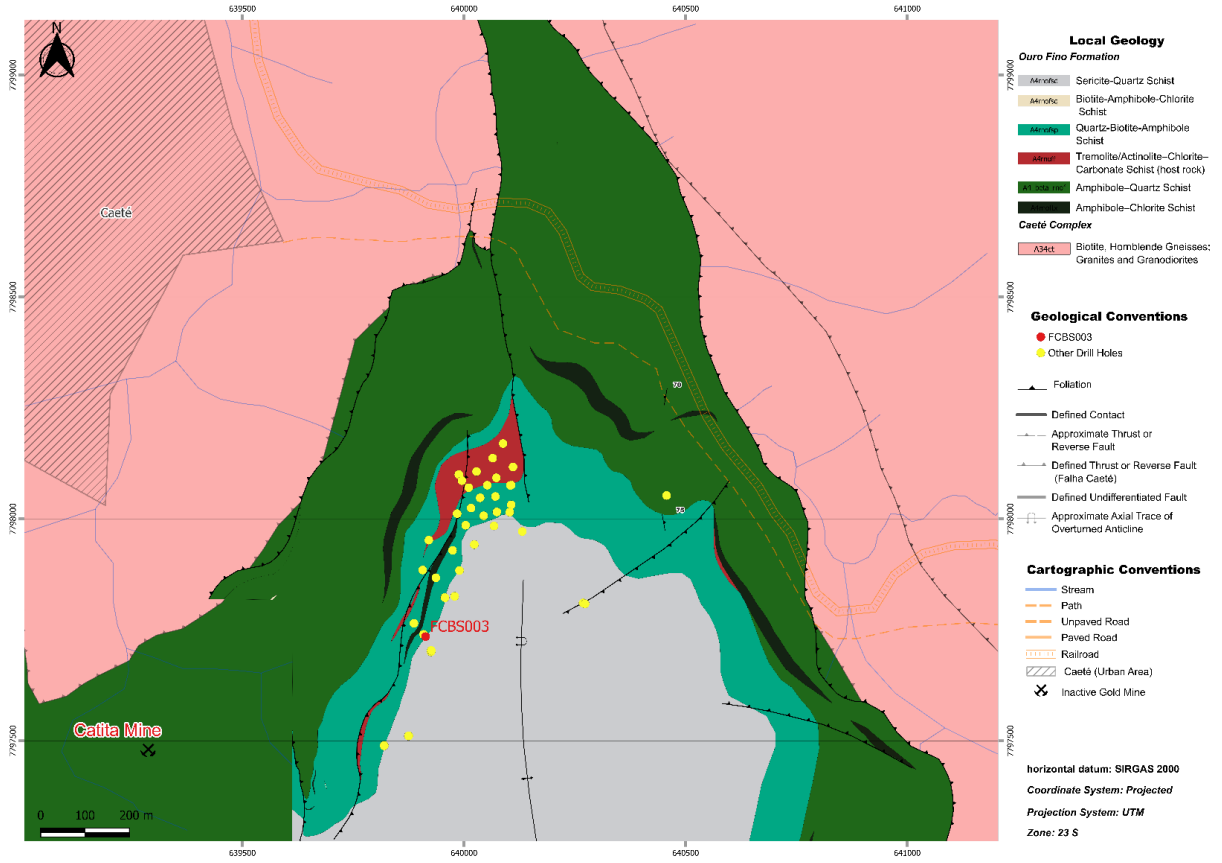
The metabasalts are the hanging wall mineralization host rocks, foliated, with a dark- to light-green color, fine- to medium-grained texture, and a matrix composed of amphibole. Other mineral constituents include chlorite, quartz, biotite, and carbonate, which occurs as fine veinlets concordant with the foliation.

The observed sulfides are pyrrhotite, pyrite, and subordinately arsenopyrite. They are composed of siliceous bands (gray) and bands with chlorite and amphibole (light green), with amphibole occurring in smaller amounts and chlorite replacing the amphiboles. Magnetite is observed as fine disseminations within the lighter bands.

5.5.1.3 Mineralization Host Rocks

The host rocks (Fig. 8) of the gold mineralization (ore zone) comprise a group of banded rocks with cream to slightly greenish coloration and medium to coarse grain size. The rock matrix is obliterated between 50% and 90%, which, according to Sibson, (1977), characterizes it as a mylonite. Additionally, a strong magnetic attraction is observed, attributed to the presence of magnetite.

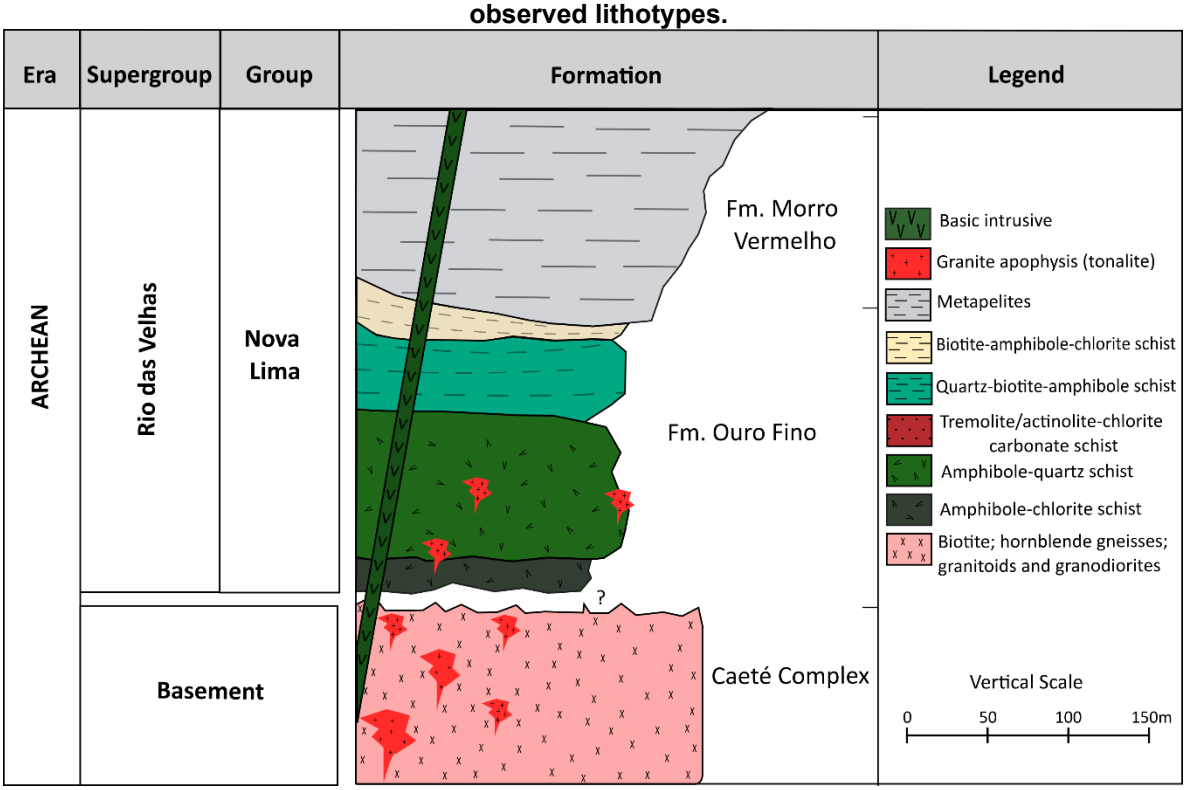
Figure 9 - Geological map of the Córrego Brandão deposit, showing the location of the drill holes performed, which aided in the description of the local stratigraphy, with detail on hole FCBS003 that contains XRD analyses.



Source: (Modified from Jaguar Mining Inc, 2024).

Carbonate is the main constituent of the rock, occurring in stringers that obliterate the matrix fabric; crystals range from fine- to coarse-grained, with yellowish to whitish tones. Amphiboles are observed in dark to light green bands, with fine- to medium-grained textures. Chlorite forms thin light-green to grayish bands, apparently replacing amphiboles. The mineralization host rocks are classified as amphibole–chlorite–carbonate schist. Garnet occurs as disseminated porphyroblasts, light-red in color and sub-rounded in shape. Grayish quartz veins and veinlets with gold mineralization are observed, occurring parallel to subparallel to the foliation, and containing tourmaline, arsenopyrite, pyrrhotite, and pyrite. Biotite is observed in smaller amounts, in brownish lamellae, with fine- to medium-grained textures, sometimes partially replaced by subordinate chloritic portions. Magnetite is observed as fine disseminations within the carbonate–quartz and chlorite bands. Based on field aspects and drill core descriptions, we propose a stratigraphic column for the Córrego Brandão deposit (Fig. 10).

Figure 10 - Proposed stratigraphic column for the Córrego Brandão deposit, showing the main observed lithotypes.



Source: Prepared by the author

5.5.1.4 Metavolcanoclastic Rocks

The metavolcanoclastic rocks are fine-grained that occur at the contact between the other rock units. They display centimeter-thick layers, gray to dark-gray coloration, fine grain size, and a laminated structure. Their composition includes chlorite, carbonaceous matter, carbonate veinlets, and quartz veins. Some of these rocks have a greasy texture to the touch and may stain the hands when handled. Pyrrhotite and pyrite occur dispersed, with fine- to medium-grained crystals.

5.5.1.5 Quartz veins

Smoky or milky quartz veins and veinlets (Fig. 8a) are observed subparallel to the main foliation of the amphibolites, sometimes containing euhedral arsenopyrite crystals with coarse- to fine-grained textures. Such veins are interpreted as a potential

late mineralization, with a style like the ore zones of the inactive Catita and Juca Vieira mines (Fig. 7), Lobato, Ribeiro-Rodrigues, Vieira, (2001b).

5.5.1.6 Granitic Intrusion

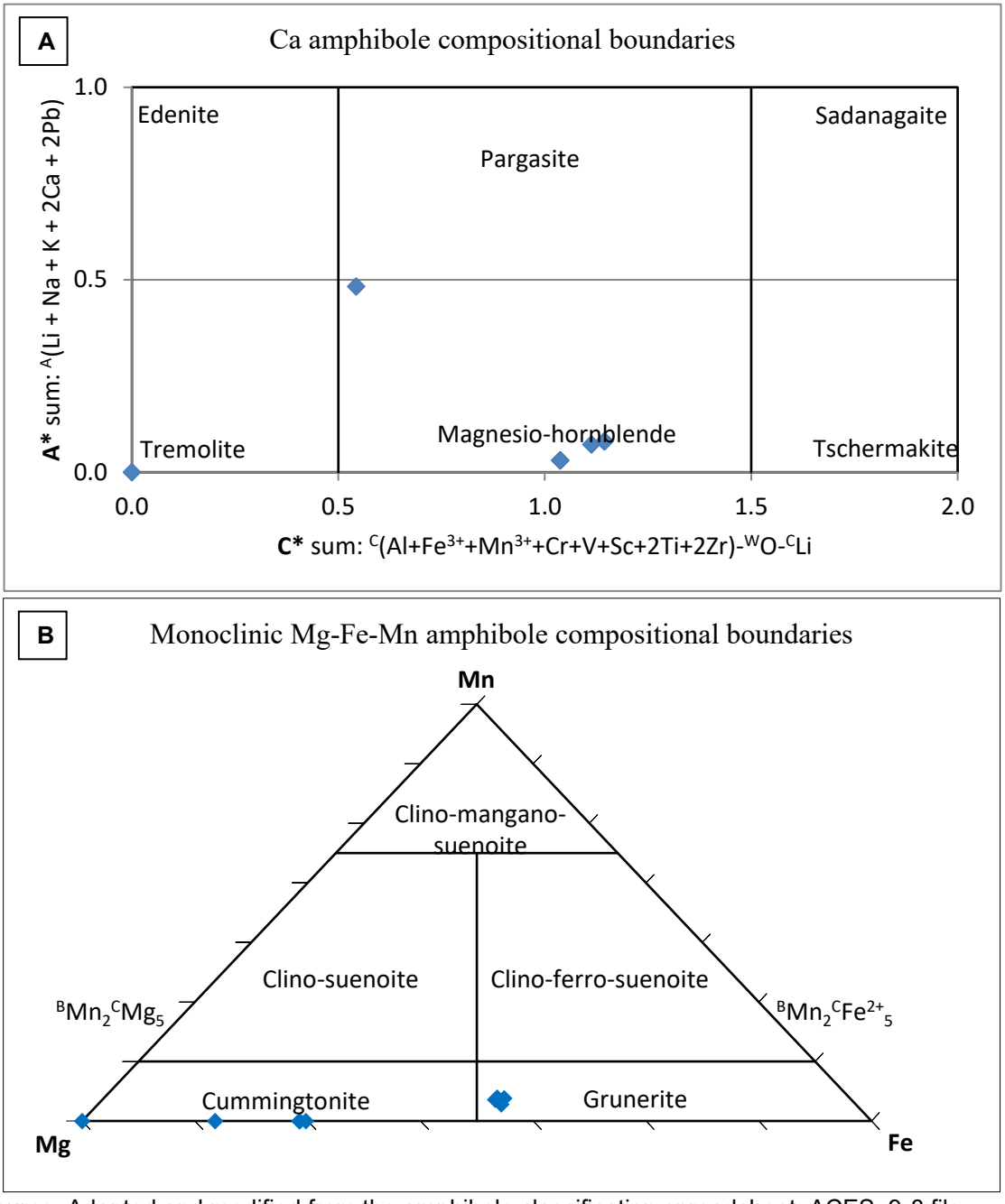
A centimeter- to millimeter-scale tonalitic apophysis is observed in the deeper portions of drill holes (Fig. 8j), occurring subparallel to the foliation of the ultramafic and mafic rocks. It has a whitish color and is composed mainly of quartz, which occurs with medium- to coarse-grained textures. Plagioclase is present in fine- to coarse-grained crystals, while biotite, shows no preferred orientation and may undergo partial replacement by chlorite.

5.5.1.7 Chemical classification of amphiboles

The textural changes in the matrix suggest the possibility of late-stage fluid injection between amphiboles, as well as chemical modification associated with increasing gold concentrations. The chemical classification carried out through analyses of the mineralized and non-mineralized portions (Table 8) indicates the presence of magnesio-ferri-hornblende, composing the barren amphibolites, where increases in Si, Al, Ca, and Na are observed.

The amphibolites that show enrichment in Mg and Fe, and to a lesser extent Mn, Al, Ti, Ca, Na, and K, are classified as grunerite. Chemical analyses indicate that cummingtonite composes the mineralized amphibolites, containing higher wt% of Mg, Ca, and Mn. These amphibolites are rich in Ca, which potentially gives rise to the carbonates derived from amphiboles, and are depleted in Al, Na, P, and Ti, signaling fluid/rock interaction.

Figure 11 - A) Compositional boundary diagram of Ca-amphibole. B) Compositional boundary diagram of monoclinic amphibole containing Mg-Fe-Mn.



Source: Adapted and modified from the amphibole classification spreadsheet, ACES_9-8 file, version 1.9.8 of Jan 29, 2021, Locock (2021.

5.5.2 Results

5.5.2.1 XRD Analysis of Mineralized Zone

The data processed and interpreted in this section refer to DRX analyses performed on hole FCBS003 (Fig. 11), drilled in the central part of the mineralization

for exploratory and stratigraphic purposes, intercepting the main exposed lithotypes that make up CBR, reaching a depth of 191.85 m. Samples 0118 to 0129 (Table 3) correspond to the interval from 114.7 m to 125.55 m (10.85 m) and were taken from the host rock, a quartz–chlorite–amphibole–carbonate schist hydrothermally altered (Fig. 11). This interval is mineralized, with an average grade of 2.35 g/t Au.

The analyses reveal a significant presence of iron carbonate group minerals (siderite and dolomite) and amphibole, in addition to chlorite, quartz, pyrrhotite, leucoxene, and subordinate phases. Of the 12 samples analyzed, all contained dolomite and calcite group minerals. Four samples contain dolomite, and two contain siderite, which are important indicators of hydrothermal alteration in this portion of drill hole FCBS003.

Chlorite is the main silicate identified, occurring in all samples and in the highest proportion, possibly resulting from the replacement of amphiboles. Quartz is present in moderate to high percentages, distributed uniformly. Amphibole is more abundant in the mineralization host rocks. Two mica phases were identified: the first in two samples and the second, more abundant, in six samples. Based on petrographic descriptions, both are interpreted as distinct biotite phases. Talc and tourmaline appear only in the first three samples, in low proportions.

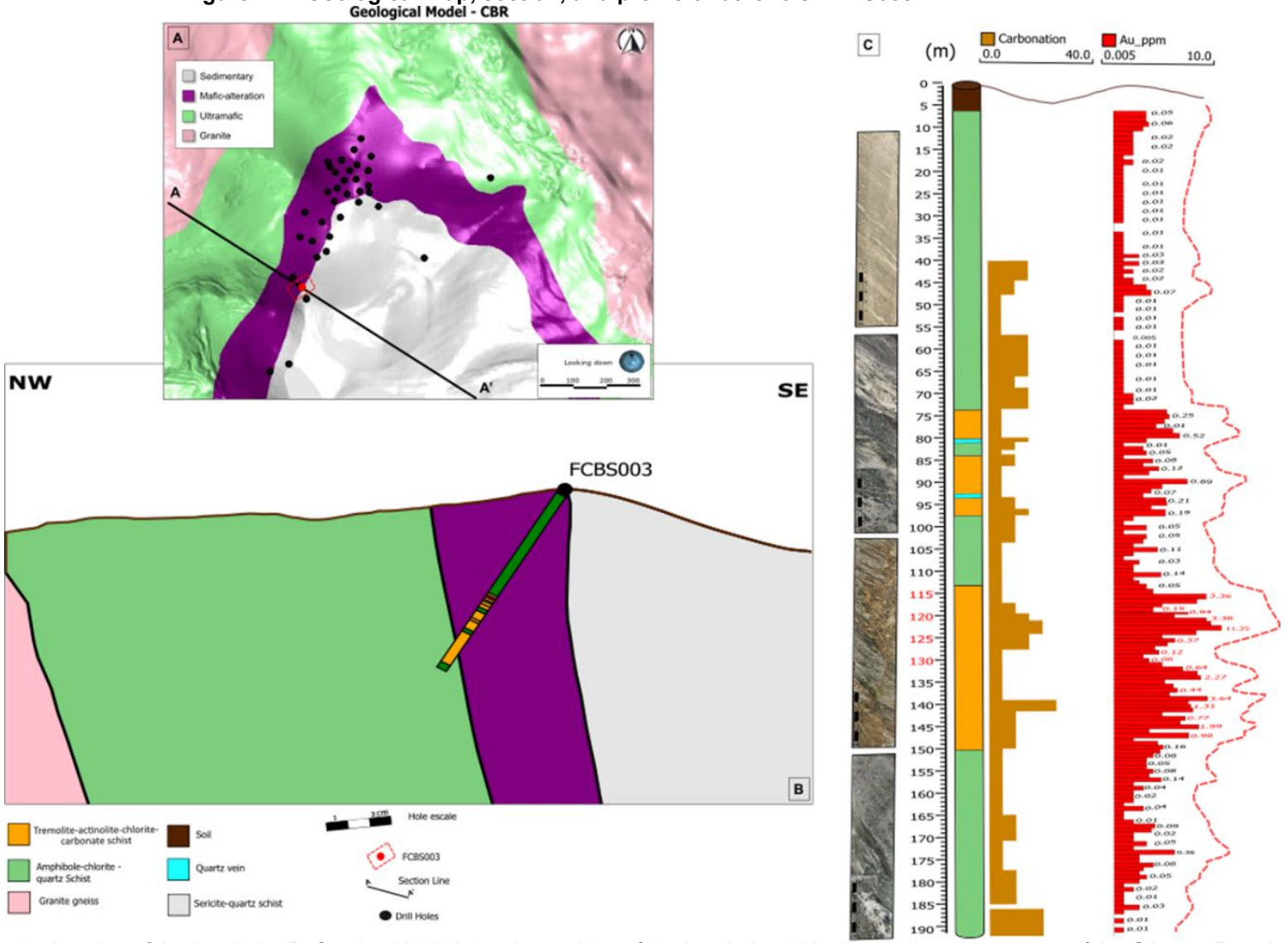
Apatite is the only phosphate-group mineral identified, present in a single sample. Plagioclase is the main feldspar recognized, occurring in the samples with the highest gold contents. However, it was not possible to distinguish its subgroups, which hindered the identification of Na and Ca variations. Mica 2, possibly biotite, occurs in the same samples where plagioclase was identified. Epidote was recognized in the first two samples, possibly as a byproduct of the alteration of plagioclase, amphibole, or biotite.

The main sulfides identified were arsenopyrite, pyrite, and pyrrhotite. In lower proportions, four titanium-bearing mineral phases (oxides and dioxides) were recognized: anatase, ilmenite, rutile, and titanite, distributed across all samples. These phases may represent products of ilmenite substitution, which are present in nine samples.

Table 3 - Quantification of minerals from drill hole FCBS003 samples, by XRD/Rietveld method (% mass).

ID Drill Hole / N° Sample	FCBS003-0118	FCBS003-0119	FCBS003-0120	FCBS003-0121	FCBS003-0122	FCBS003-0123	FCBS003-0124	FCBS003-0125	FCBS003-0126	FCBS003-0127	FCBS003-0128	FCBS003-0129
Au (ppm)	(3.36)	(1.73)	(0.15)	(0.08)	(0.94)	(0.36)	(3.38)	(4.64)	(11.35)	(1.66)	(0.15)	(0.37)
Amphibole	**25.1**	**16.2**	**14**	nd	1.4	nd	nd	**0.7**	**1.7**	nd	**1.2**	**1.4**
Anatase	nd	nd	nd	nd	nd	0.4	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Apatite	1.5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Arsenopyrite	**0.8**	**1.4**	**1.1**	nd	nd	nd	**1**	**0.9**	**1.5**	**0.8**	**1**	**0.9**
calcite	**1.5**	**1**	**1.9**	**0.3**	**4**	**4.1**	**4.5**	**4.7**	**6.2**	**24**	**3.6**	**4.8**
chlorite	16.6	23.1	21	48	34	70.5	22	19.9	30	18	23	13
Dolomite Group	**17.9**	**10.2**	**44**	**44**	**34**	**8.8**	**11**	**32.4**	**18**	**32**	**5.5**	**5.2**
Epidote Group	1.4	1.5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ilmenite	nd	1.9	0.4	1.3	nd	1.3	1.2	0.1	0.6	nd	1.1	0.8
Magnetite	**5.3**	**4.9**	**0.2**	**0.6**	**0.9**	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Mica 1	nd	nd	nd	nd	**4.5**	**4.5**	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Mica 2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**45**	**10.3**	**17**	**5**	**36**	**45.2**
Plagioclase	nd	nd	nd	nd	nd	nd	**2.3**	**1.5**	**1.5**	nd	**1.7**	**2.2**
Pyrite	nd	nd	nd	nd	nd	**0.2**	**1.4**	**1.1**	**5.5**	**nd**	**nd**	**0.1**
Pyrrhotite	**2.6**	**2.9**	**0.4**	**0.4**	**0.4**	**0.3**	**0.8**	**0.6**	**0.8**	**0.3**	**0.3**	**0.5**
Quartz	6.7	6.7	14	4.3	21	9.7	11	27.5	17	20	27	25.5
Rutile	nd	nd	nd	nd	0.4	0.3	0.6	0.5	0.9	0.2	0.4	0.2
Siderite	**16.7**	**22.5**	**0.2**	**0.6**	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Talc	nd	4.3	2.2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Titanite	3.4	2.7	1.2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tourmaline	0.6	0.6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Total	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
	114.7m	⋯⋯⋯

Figure 12 – Geological map, section, and profile of borehole FCBS003.



A. Map view showing the location of the borehole. B. Section highlighting the position of the borehole within the stratigraphic context of the Córrego Brandão deposit. C. Profile of FCBS003, showing the intercepted lithotypes, the carbonate zone identified by XRD analyses, and its relationship with Au grades, with detail of the granitic apophysis between 165 m and 190 m.

Source: Prepared by the author

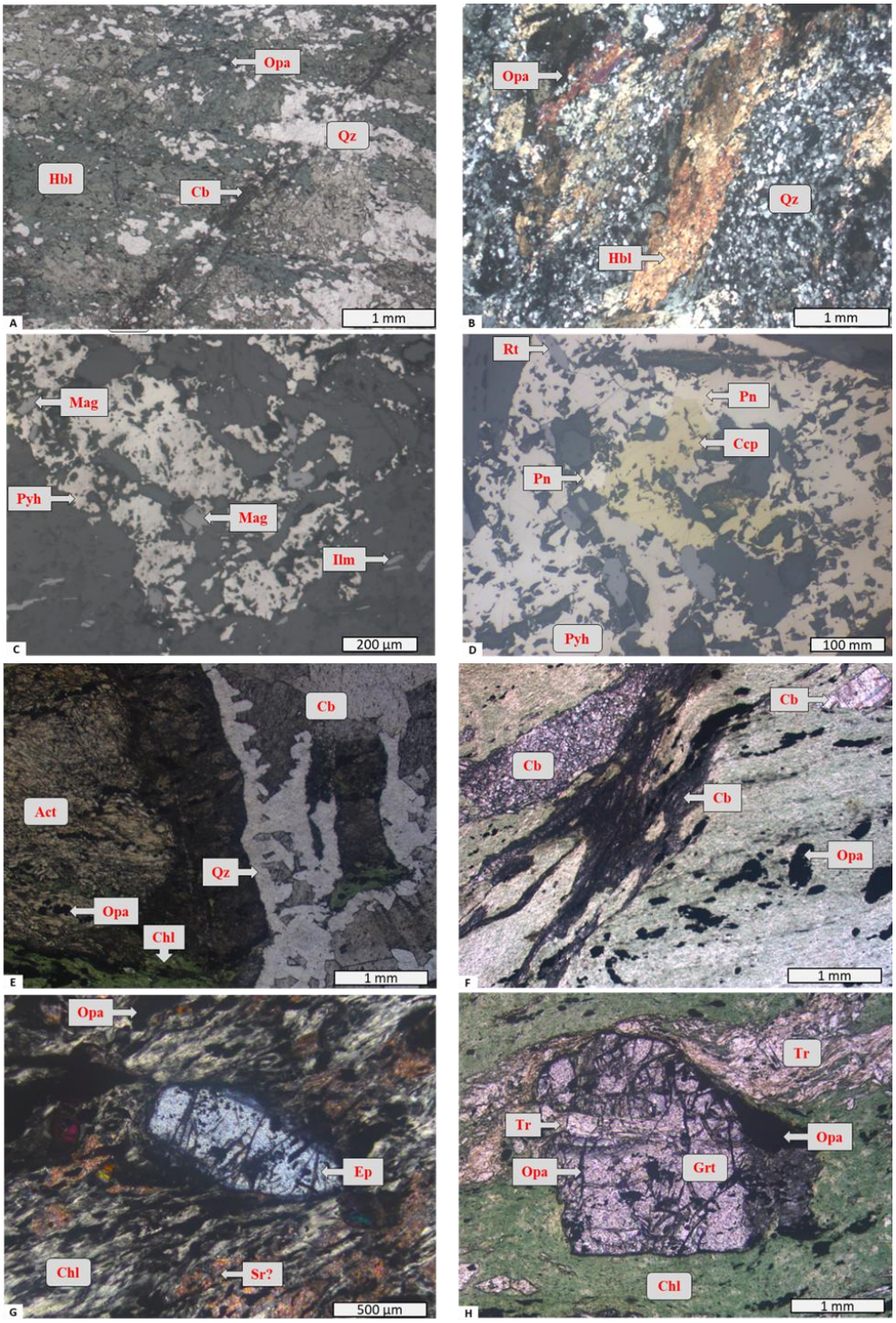
5.5.2.2 Microscopic Petrography

The metaultramafic rocks (Fig. 8) display a nematoblastic matrix, fine- to coarse-grained, with dark green coloration. Their essential minerals include hornblende, quartz, biotite, and carbonate. Hornblende (Fig. 13ab) is the main mineral of the rock, occurring as fine- to coarse-grained prismatic crystals. Actinolite (Fig. 13e) occurring as a replacement of tremolite.

Quartz (Fig. 13ab) occurs in veins parallel to the foliation, as fine- to medium-grained, grayish, anhedral crystals. Biotite appears as brown lamellae, parallel to the foliation, fine-grained, anhedral to subhedral, and sometimes fractured. Carbonate (Fig. 13a) occurs in veinlets discordant to foliation, as fine-grained, colorless (clear), anhedral crystals. Accessory minerals (Fig. 13cd) observed include rutile, pyrrhotite, chalcopyrite, pyrite, sphalerite, ilmenite, and magnetite.

Rutile and ilmenite (Fig. 13cd) are the most abundant oxides, occurring in the interstices of hornblende. Pyrrhotite (Fig. 13d) is observed in fine, euhedral to subhedral crystals. Chalcopyrite occurs in subhedral crystals, whereas sphalerite is fine-grained, grayish in color, anhedral, and subrounded. Magnetite (Fig. 13c) occurs subordinately, in fine crystals, gray to slightly bluish, and subhedral. Chalcopyrite, pyrite, sphalerite, and magnetite occur together with pyrrhotite, displaying direct contacts and intergrowth.

Figure 13 - Photomicrographs of polished thin sections, illustrating the main minerals identified in the metamafic rocks and the main gangue minerals identified in the mineralized zone of the Córrego Brandão deposit.



A. hornblende–quartz–carbonate schist, with a carbonate veinlet crosscutting the foliation. Plane-polarized light, (2.5x). B. quartz–hornblende schist. Cross-polarized light, (2.5x). C. quartz–hornblende schist, with pyrrhotite, ilmenite, and magnetite. (10x). D. hornblende–quartz–carbonate schist, with rutile, pyrrhotite, and pentlandite. (20x). E. carbonate–chlorite–quartz–actinolite/tremolite schist, showing comb texture (2.5x). F. chlorite–carbonate–epidote schist, highlighting an epidote crystal. Crossed nicols (5x). G. biotite–tremolite–quartz schist (5x). H. tremolite–chlorite–garnet schist, showing a garnet crystal with intragranular fractures (2.5x).
Source: Prepared by the author

The metamafic rock (Fig. 14) exhibits granoblastic and lepidoblastic textures, with fine- to medium-grained size. The matrix is composed of alternating levels of biotite, tremolite, actinolite, quartz, chlorite, and epidote. Biotite (Fig. 14a) is the main constituent of the matrix, apparently deformed; crystals are medium- to coarse-grained, brownish, anhedral to subhedral, occurring without preferred orientation and perpendicular to foliation, and locally with mica fish texture. Tremolite (Fig. 14ab) occurs as short- to long-prismatic crystals, colorless to pale green, commonly forming radial aggregates. Quartz (Fig. 14ab) is present as granoblastic crystals, grayish, medium- to coarse-grained, grouped in bands. Chlorite (Fig. 14a) occurs along biotite rims and replacing tremolite, in fine-grained pseudohexagonal tabular crystals, showing anomalous gray interference colors. Epidote (Fig. 14ab) is observed as granular fine- to coarse-crystals, subhedral, with greenish to pale-yellow coloration. Accessory minerals include tourmaline, pyrrhotite, chalcopyrite, rutile, pentlandite, and pyrite.

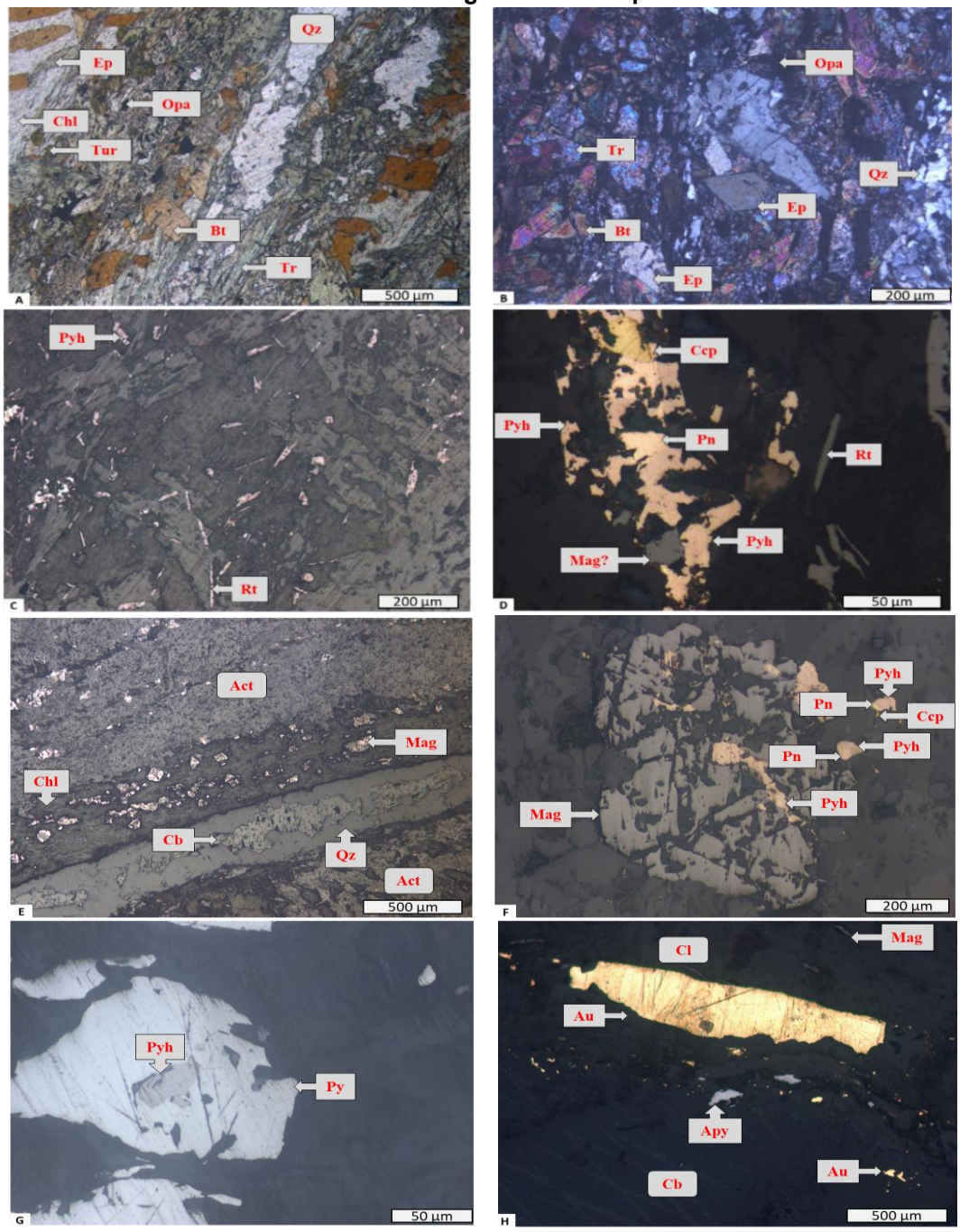
The mineralization host rock (Fig. 13ef), named tremolite/actinolite–chlorite–carbonate schist, has a schistose to mylonitic matrix, fine- to coarse-grained, and inequigranular. Preservation of the original matrix is due to variations in the modal proportions of alteration minerals among the distinct lithologies. Its essential minerals include carbonate, chlorite, actinolite, tremolite, quartz, garnet, and epidote. Carbonate (Fig. 13ef) is the main constituent, occurring in stringers transecting the foliation; crystals are fine- to coarse-grained, anhedral to subhedral. Actinolite and tremolite (Fig. 13eh) are observed in greenish bands; crystals are colorless to pale green, short- to long-prismatic, sometimes forming radial aggregates, and are partially replaced by chlorite.

Chlorite (Fig. 13gh) occurs in foliated aggregates, ranging from green to colorless, sometimes as pseudohexagonal tabular crystals. Quartz occurs bordering carbonate crystals, forming a “comb texture” (Fig. 13h); crystals are grayish, medium- to coarse-grained. Garnet (Fig. 13h) is observed as subhedral granoblasts, rotated and with pressure shadows, crystals display light reddish to pinkish coloration, are anhedral to subhedral, and locally contain intragranular fractures filled by amphibole, pyrrhotite, arsenopyrite, and magnetite. Epidote (Fig. 13g) generally occurs discordant to foliation, forming long, pale-yellow prisms; crystals are fine- to coarse-grained, granular, and display intragranular microfractures perpendicular to grain elongation, filled with opaques.

Accessory minerals (Fig. 14) include magnetite, arsenopyrite, pyrrhotite, chalcopyrite, pyrite, and gold. Magnetite (Fig. 14ef) is the most abundant oxide phase, observed within ferromagnesian chlorite bands, occurring subparallel to foliation and associated with fine carbonate veinlets; crystals are gray to slightly pinkish, anhedral, elongated, fine granoblastic, with metallic luster. Arsenopyrite is observed as pseudomorphic crystals overgrown on pyrite, disseminated in carbonate bands, with medium-sized, anhedral, porous crystals, and associated with magnetite. Pyrrhotite crystals (Fig. 14df) occur replacing magnetite, generally in irregular aggregates, fine- to medium-grained, yellow to bronze-brown in color. Chalcopyrite (Fig. 14d) occurs associated with pyrrhotite; crystals are extremely fine, anhedral, bright yellow, with intense luster. Pyrite is observed as pseudomorphs, pale-yellow in tone, sometimes (Fig. 15g) replacing pyrrhotite. Magnetite, arsenopyrite, pyrrhotite, chalcopyrite, and pyrite appear to be in textural equilibrium (Fig. 14f).

Gold particles (Fig. 14h), fine (~10 μm) to coarse (~1 mm), occur near the contact between chlorite bands and carbonate bands; both types occur subparallel to fine carbonate veinlets. They are observed as free grains, disseminated, and/or included within magnetite crystals. Particles are fine, acicular, anhedral to subhedral, with colors ranging from golden yellow at the rims to reddish toward the core.

Figure 14 - Photomicrographs of minerals identified in the metamafic and in the host rock from the Córrego Brandão deposit.



A. biotite - tremolite - chlorite - quartz schist. Plane-polarized light (5x). B. biotite – tremolite - quartz schist. Cross-polarized light (10x). C. tremolite - chlorite - quartz schist. Plane-polarized light (10x). D. tremolite - chlorite - quartz schist, with rutile, pyrrhotite, chalcopyrite, and magnetite. Plane-polarized light (50x). E. bands of actinolite, quartz ± carbonate and chlorite, with disseminated anhedral magnetite within chlorite bands. Reflected light (5x). F. anhedral pyrite crystals, pyrrhotite, and chalcopyrite in textural equilibrium, with pyrrhotite replacing magnetite. (20x). G. pyrrhotite crystal being replaced by pyrite. (20x). H. disseminated visible gold particles at the contact between carbonate and chlorite, with disseminated magnetite in ferromagnesian chlorite bands. (10x). Abbreviations: Act – actinolite; Au – gold; Cb – carbonate; Bt-biotite; Chl-chlorite; Ccp-chalcopyrite; Ep-epidote; Mag-magnetite; Opa-opaques; Pn-pentlandite; Py-pyrite; Pyh-pyrrhotite; Qz-quartz; Tur-tourmaline; Tr-tremolite; Rt-rutile.
Source: Prepared by the author

5.5.2.3 Scanning Electron Microscopy

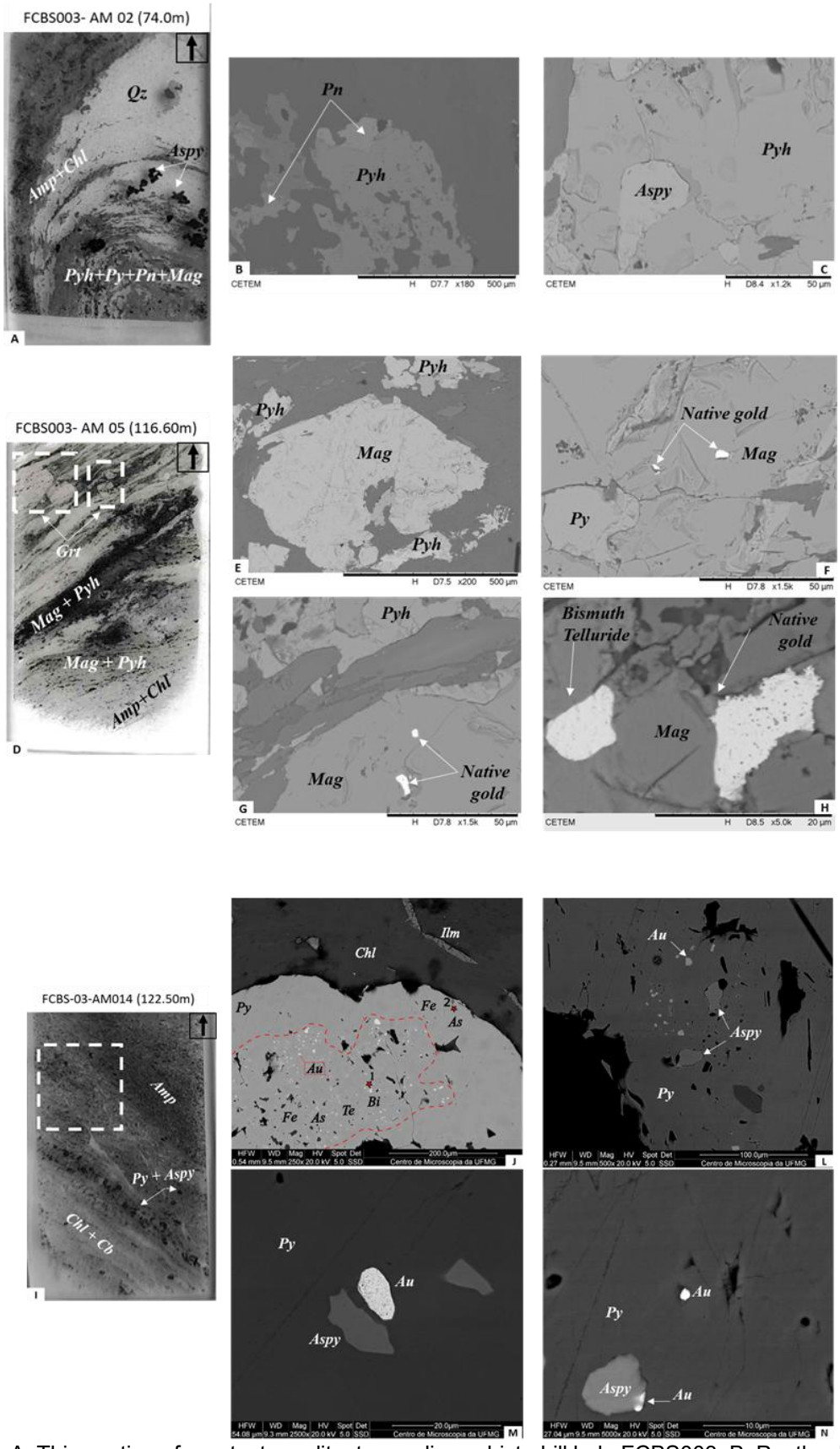
The textural relationships and mineral chemistry were described in greater detail under SEM (Figs. 15), which represent three distinct characteristics of gold mineralization observed in the Córrego Brandão deposit: (i) gold in its free form, (ii) included in sulfides, and (iii) included in oxides. The analyses also allowed for the identification of gangue minerals and their relationships, which are associated with the intermediate and proximal zones of mineralization, where the main minerals are pyrrhotite, arsenopyrite, pentlandite, ilmenite, magnetite, and garnet.

In the intermediate portion (Fig. 15c), the growth of arsenopyrite from pyrrhotite can be observed, as well as an association of pyrrhotite with pyrite, arsenopyrite, pentlandite, and magnetite (Fig. 15a). Garnet (almandine) granoblasts show irregular growth between actinolite/tremolite crystals, suggesting late formation through reactions involving these amphiboles.

In the proximal zone of mineralization, it was observed that where arsenopyrite and pentlandite are associated, magnetite, garnet (almandine), monazite, and bismuth tellurides are absent. Gold and bismuth tellurides (Fig. 15fgh) are predominantly observed as inclusions within magnetite crystals. In the Po + Pn + Aspy association (Fig. 15a), together with ilmenite, the assemblage appears to occur in a more distal position, where the conditions are more reducing.

In contrast, the Po + Mag + Py association with almandine (Fig. 15e) occurs in a more proximal setting, and in these portions, gold grades are higher. According to (Masoudi; Mehrabi; Mahmoudi, 2006) well-preserved growth zoning in the garnet is not very common in higher amphibolite facies rocks. In the proximal alteration zone, almandine is observed with higher amounts of Mn in its core and Fe and Mg at its edge, with indicative of continuous growth zoning.

Figure 15 - Backscattered electron images of the intermediate zone.



A. Thin section of quartz–tremolite–tourmaline schist, drill hole FCBS003. B. Pentlandite associated with pyrrhotite. C association of pyrrhotite with arsenopyrite D. Thin section in tremolite–carbonate–chlorite schist. E. Association of pyrrhotite and magnetite. F. Pyrite crystal is associated with magnetite and a gold particle included in magnetite crystal. G. Association of

pyrrhotite and magnetite, and a gold particle included in magnetite crystal. H. Detail of bismuth telluride and a native gold particle. I. Thin section of epidote–carbonate–chlorite schist. J. Coarse pyrite with speckled arsenopyrite crystals in its porous core and chemical composition of the core and rim. L. Detail of pyrite core, with gold crystals associated with arsenopyrite. M. Gold particles and arsenopyrite included in pyrite crystal. N. Association of pyrite, arsenopyrite, and gold. Abbreviations: Amp – amphibole; As – arsenic; Aspy – arsenopyrite; Au–gold; Bi bismuth; Bi–bismuth telluride; Chl – chlorite; Fe – iron; Grt–garnet; Ilm – ilmenite; Mag – magnetite; Qz – quartz; Pyh – pyrrhotite; Py – pyrite; Pn – pentlandite; Te – tellurium.
Source: Prepared by the author

Pyrite is observed within the fine chlorite (clinochlore) matrix (Fig. 15i), which results from the hydrothermal alteration of amphiboles. Ilmenite occurs (Fig. 15j), as fine- to coarse-grained tabular crystals, surrounding pyrite and associated with clinochlore. Clinochlore is observed as fine lamellar aggregates, derived from the alteration of hornblende.

Pyrite is typically coarse, porous at its core and massive at its rims (Fig. 15j), containing speckled arsenopyrite crystals (Figs. 14m). The chemical composition of pyrite differs between core and rim: at the center, it contains iron, arsenic, and enrichment in tellurium and bismuth, whereas the rim is composed of iron, arsenic, and tellurium (Fig. 15i). Gold occurs from fine to coarse, mostly included in pyrite pores, forming an alloy with around 1.25% silver.

5.5.2.4 Statistical Treatment of Geochemical Data

The correlation matrix (CLR) was used to visualize, analyze, and numerically display the relationships between variables derived from geochemical data. The CLR of the analyzed samples from Córrego Brandão (Table 4) shows a negative correlation (dissociation) of Au with Zn, Cu, Pb, and Tl, and a moderate positive correlation (association) of Au mainly with Te and Bi. This indicates that samples containing higher amounts of Te and Bi exhibit the highest Au grades.

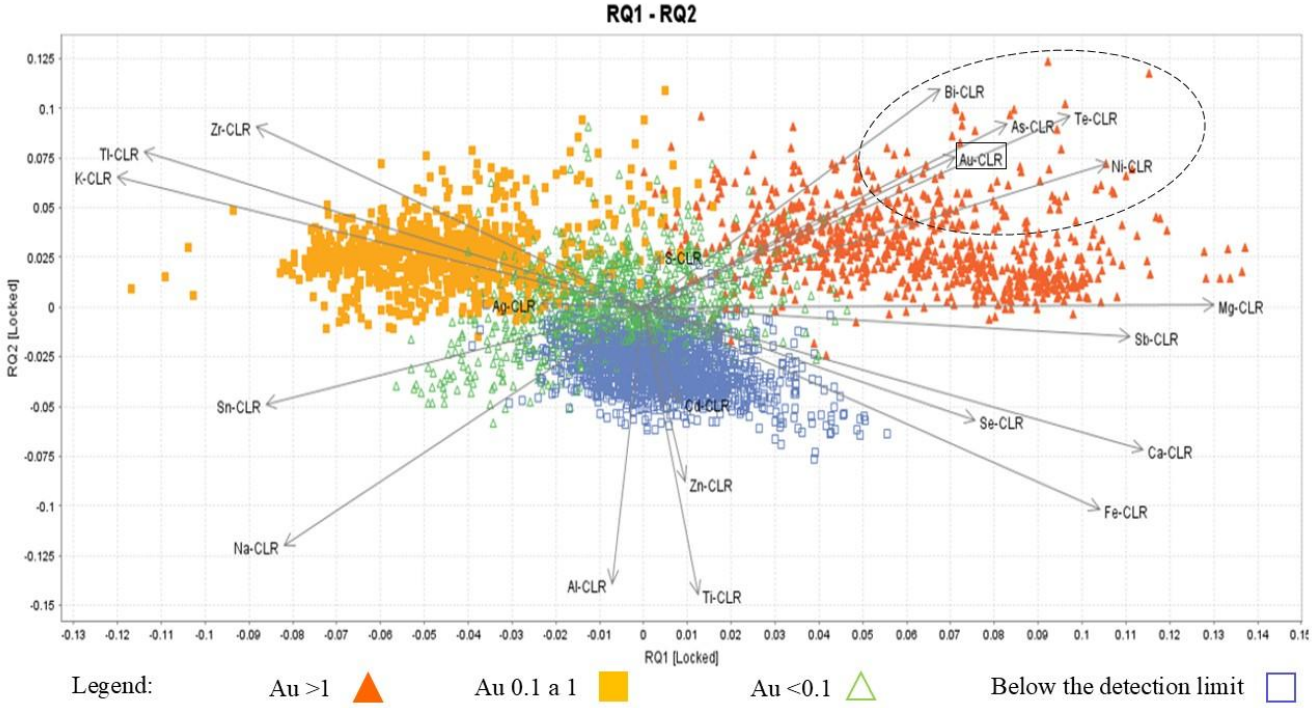
Table 4 - Correlation matrix of Au with siderophile and chalcophile elements.

Correlation	Au-CLR	Zn-CLR	As-CLR	Sb-CLR	W-CLR	Co-CLR	Ni-CLR	Cu-CLR	Pb-CLR	Te-CLR	Bi-CLR	Ag-CLR	Tl-CLR
Au-CLR	**1**	-0.29	0.33	0.22	0.45	0.17	0.22	-0.06	-0.37	**0.56**	**0.56**	0.1	-0.24
Zn-CLR	-0.29	**1**	-0.09	0.098	-0.3	0.2	-0.05	0.039	0.21	-0.17	-0.14	0.06	-0.28
As-CLR	0.33	-0.09	**1**	0.47	0.27	0.36	**0.68**	-0.48	-0.12	**0.52**	0.42	-0.29	-0.26
Sb-CLR	0.22	0.098	0.47	**1**	0.084	**0.65**	**0.54**	-0.21	-0.29	0.45	0.12	-0.18	-0.56
W-CLR	0.45	-0.3	0.27	0.084	**1**	0.095	0.2	-0.2	-0.39	0.38	0.39	-0.09	-0.11
Co-CLR	0.17	0.2	0.36	**0.65**	0.095	**1**	**0.65**	0.0093	-0.54	0.36	0.17	-0.21	-0.72
Ni-CLR	0.22	-0.05	**0.68**	**0.54**	0.2	**0.65**	**1**	-0.32	-0.26	**0.54**	0.4	-0.22	-0.35
Cu-CLR	-0.06	0.039	-0.48	-0.21	-0.2	0.0093	-0.32	**1**	-0.05	-0.27	-0.09	**0.53**	-0.08
Pb-CLR	-0.37	0.21	-0.12	-0.29	-0.39	-0.54	-0.26	-0.05	**1**	-0.27	-0.13	0.24	0.38
Te-CLR	**0.56**	-0.17	**0.52**	0.45	0.38	0.36	**0.54**	-0.27	-0.27	**1**	**0.71**	-0.01	-0.3
Bi-CLR	**0.56**	-0.014	0.42	0.12	0.39	0.17	0.4	-0.09	-0.13	**0.71**	**1**	0.17	-0.18
Ag-CLR	0.1	0.06	-0.29	-0.18	-0.09	-0.21	-0.22	**0.53**	0.24	-0.01	0.17	**1**	0.044
Tl-CLR	-0.24	-0.28	-0.26	-0.56	-0.11	-0.72	-0.35	-0.08	0.38	-0.3	-0.18	0.044	**1**

*The maximum correlation is 1, demonstrating that an element is 100% correlated with itself.
Source: Prepared by the author

The strong correlation factor of 0.71 (Table 4) between Te and Bi corroborates the association of Au with these elements, which is reflected in the mineralogy and texture of the mineralization host rock (Figs. 15), where native Au particles present in the rocks are almost always found together with native bismuth telluride particles (Fig. 15h). High Au content is observed where there is a correlation of As, Te, and Bi, evidenced in the porous core of pyrite (Fig. 15j). The graph (Fig. 16) clearly shows the associations and dissociations of elements with Au, with two trends—one negative and one positive—for the association of Au with Bi, As, and Te (Table 4 and Fig. 15h).

Figure 16 - Principal Component Analysis (PCA) plot of geochemical data from Córrego Brandão, showing the relationship between element distribution and their association with Au contents.



The X-axis corresponds to PC1 (RQ1), which represents the largest variance within the sample set, while the Y-axis corresponds to PC2 (RQ2), representing the smaller variance. The smaller the angle between the vectors, the stronger the correlation between the elements; conversely, the larger the angle between the vectors, the weaker the correlation (dissociation).
Source: Prepared by the author

Positive and negative values are observed for PC2 (vertical axis), which reflects a dissociation among large-ion lithophile elements. The positive values include Zr, Tl, and K, belonging to a set of samples enriched in potassium-bearing minerals, likely biotite (Fig. 14ab). These samples contain moderate Au concentrations, ranging from 0.1 to 1 ppm, and mark the intermediate zone of hydrothermal alteration (Figs. 16 and Table 5). Conversely, the negative values include Al, Ti, Zn, and Cd, which display similar geochemical behavior and belong to a set of samples rich in plagioclase, carbonate, and amphiboles, typically associated with barren rocks. This group of samples distributed along PC2 preserves the primary geochemical signature of the mineralization host rock.

5.5.3 Discussion

5.5.3.1 Hydrothermal alteration and the temporal relationship between mineral phases

Dziggel et al. (2009b) report that, at the beginning of fluid-rock interaction, the highest permeabilities are probably generated along lithological contacts, since these present mechanical anisotropies. The hydrothermal alteration observed in the Córrego Brandão deposit is related to the temporal sequence of mineral phases.

At Córrego Brandão, the quartz-carbonate paragenesis that replaces metamorphic minerals, such as amphiboles, modifies the structure of the precursor rock, the metabasalts. This progression extends from the distal hydrothermal alteration zone, less affected, to the proximal zone, more intensely affected. On this basis, Table 5 was produced as the result of observations and interpretations, based on mineralogical associations and textural characteristics of the studied rocks. The minerals present in the three alteration zones (Table 5) were distinguished as: metamorphic or hydrothermal (carbonates, oxides, sulfides, and their related phases). Metamorphic minerals were classified as those typical of the original paragenesis of the metabasalts, formed during regional metamorphism. Hydrothermal minerals, on the other hand, were identified based on their textural associations, indicating the replacement of pre-existing minerals, related to the circulation of hydrothermal fluids and their interaction with the mineralization host rock.

5.5.3.2 Metamorphic minerals

Hornblende is the main amphibole, observed in coarse, dark green to yellowish crystals that define the foliation of the amphibolites. Quartz 1 occurs as fine, grayish grains parallel to foliation. Biotite 1 appears in thin, laminated brownish masses, and its formation seems to result from hornblende metamorphism. Plagioclase occurs as fine- to coarse-grained crystals associated with fine biotite. Chlorite 1 (ferromagnesian) replaces amphiboles and biotite, occurring as thin, colorless bands. Epidote is observed in granular crystals, fine to coarse, greenish to yellow, without preferred orientation. Tourmaline locally occurs as fine crystals disseminated in a grayish

quartzose mass. Rutile and ilmenite are the dominant oxide phases, occurring as interstitial fillings between amphiboles.

5.5.3.2.1 Distal zone

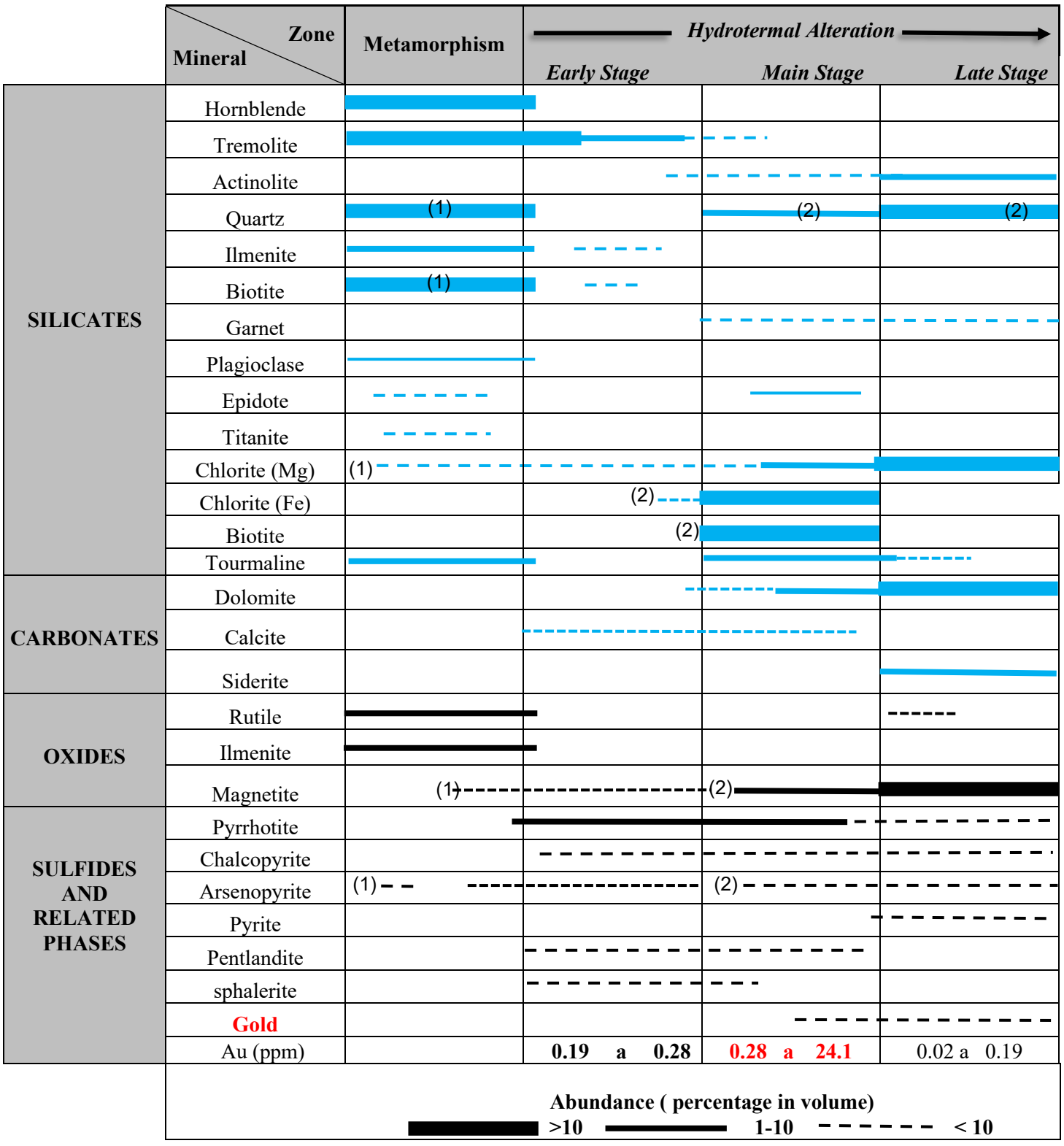
The distal zone is delineated by the paragenesis amphibole + quartz + biotite + plagioclase + carbonate + rutile + ilmenite. Carbonate 1 occurs in veinlets discordant with the foliation of the amphibolites, as fine, clear crystals, suggesting late veinlets and indicating the distal zone of hydrothermal alteration. Pyrrhotite is the main sulfide observed in the distal zone, occurring as fine disseminated anhedral to subhedral crystals. Chalcopyrite, arsenopyrite, pentlandite, and sphalerite occur in trace amounts and in association with pyrrhotite.

5.5.3.2.2 Intermediate zone

The intermediate zone, or pre-hydrothermal alteration zone, is characterized by bleaching of the mineralization host rocks (Fig. 8), and may present magnetic attractions due to magnetite. Paragenesis is defined by amphibole + biotite + chlorite + quartz + carbonate + epidote + pyrrhotite + magnetite + arsenopyrite. This alteration zone is marked by hydration replacement of amphiboles (hornblende by tremolite), observed in light green bands. Biotite 2 defines brownish bands, occurring as aggregates; the crystals are medium to coarse (mica fish texture), subhedral, and show no preferred orientation relative to foliation.

Chalcopyrite, pentlandite, and pyrite occur in minor amounts and in association with pyrrhotite. Magnetite 1 (Fig. 14e) is observed as fine, grayish, subhedral crystals undergoing replacement by pyrrhotite. Arsenopyrite 1 occurs as coarse, subhedral to euhedral crystals associated with quartz±carbonate veins.

Table 5 - Paragenetic sequence of metamorphic and hydrothermal minerals (silicates, carbonates, oxides, sulfides, and related phases) from the Córrego Brandão deposit.



Source: Prepared by the author

5.5.3.2.3 Proximal Zone

In the main zoning (ore zone), the host rocks exhibit coarser grain size than the unaltered equivalents of the same lithologies. The original mineralogy is completely or partially replaced, and this altered portion is represented by carbonates, amphiboles, chlorite, quartz, garnet, sulfides, and oxides. Mineral paragenesis is defined by dolomite/siderite + actinolite/tremolite + chlorite + quartz + garnet + magnetite + arsenopyrite + pyrrhotite and gold.

Soares et al. (2025) demonstrate that the abundance of magnetite in proximal alteration zones further constrains the chemistry of hydrothermal fluids, as it indicates relatively low sulfur activity (magnetite-pyrrhotite boundary). Dolomite occurs in stringers, modifying the fabric of the mineralization host rocks. Coarse crystals with a cloudy appearance are observed and identified through XRD analyses (Table 3) and petrography. Junqueira (1997) describes that the hydration or carbonation of rocks is a good example of metasomatism. The chlorite and carbonate present in the mineralization host rocks of Córrego Brandão may have originated from the metasomatism of mafic and ultramafic rocks, as defined by Vieira (1988) and described by Junqueira (1997).

Actinolite (Fig. 14e) is the predominant amphibole, occurring as a replacement of tremolite. Two types of chlorites (1 and 2) are observed: chlorite 1, rich in iron (Fe), occurs in colorless to pale green bands, and chlorite 2, rich in chromium (Cr), distinguished by its anomalous interference color and “Berlin Blue” hue. According to Cândia et al. (1999), the presence of chromium in some silicate phases (serpentine, chlorite, amphiboles), produced by re-equilibria involving chromite spinel, shows that Cr is extracted from spinel along with the $MgAl_2O_4$ component. This suggests that chlorite 2 probably formed through interaction with spinel or another magmatic mineral, reflecting the dynamics of mineral re-equilibration processes during fluid–mineralization host rock interaction.

Locally, remnants of garnet replaced by chlorite are observed. According to Dziggel et al. garnet growth in stage I is characterized by the formation of Mn-rich, Ca-poor porphyroblasts in zones of high permeability; the presence of a water-rich fluid promotes garnet formation. Fabricio-Silva (2016) describes three generations of garnet (Grt1, Grt2, and Grt3) in the Turmalina deposit, formed under conditions of progressive

metamorphism, retrograde metamorphism, and regional metamorphism. The indicator garnet from the mineralized zone at CBR shows similarities to Grt1 as described by Fabricio-Silva (2016), such as silicate, sulfide, and oxide inclusions, along with pressure shadows. The same authors interpret the origin of this garnet as being associated with the Archean event and formed under retrograde metamorphic conditions.

In Córrego Brandão, two types of magnetite are identified: magnetite 1, observed and described in the intermediate mineralization zone, and magnetite 2 (Figs. 15fgh), identified as an index (indicator) mineral of gold mineralization, containing inclusions of gold particles, disseminated in chloritic bands and parallel to carbonate veinlets (Fig. 14e). Multiple generations of veins, superimpositions on large and small scales of multiple alteration stages, fluid/rock interaction, and secondary weathering processes result in a variety of different types of hydrothermal magnetite (Nadoll et al. 2014).

Araújo (2018) conducted studies on iron formation layers hosting gold in some deposits of the Quadrilátero Ferrífero and identified four types of magnetite, based on their textural characteristics and mineral associations, interpreted as diagenetic and hydrothermal. Nadoll et al. (2014) emphasize that it is important to consider the different types of hydrothermal magnetite when assigning specific minor and trace element concentrations to a specific deposit or type of mineralization. SEM-EDS analyses of magnetite 2 crystals from Córrego Brandão revealed a moderate amount of chromium (1.06 atom%). Based on the studies by Araújo (2018) and Nadoll et al. (2014), magnetite 1 from the proximal mineralization zone at Córrego Brandão is interpreted as igneous magnetite, while magnetite 2 is interpreted as having formed in a hydrothermal environment. Therefore, one of the main challenges for researchers investigating hydrothermal magnetite is to diligently record the wide variety of minor and trace element compositions in magnetite that reflect a diverse history of formation and alteration (Nadoll et al. 2014).

Pyrrhotite (Fig. 14d) occurs in smaller proportion, disseminated in chlorite bands and in textural equilibrium with magnetite, arsenopyrite 2 (Fig. 14h) is observed disseminated in carbonate bands.

Gold particles are observed in chlorite and carbonate bands (Fig. 14h), occurring as free grains and/or included within magnetite crystals (Figs. 15fghi),

forming fine- to coarse-needle acicular crystals, with golden-yellow coloration on the edges and reddish tones in the center.

5.5.3.3 Mineralizations of the Quadrilátero Ferrífero and Their Correlation with Córrego Brandão

In the context of the Quadrilátero Ferrífero (QF), the Pari mine, located in the northeastern portion of the QF, in the municipality of Santa Bárbara - MG, Florália district, presents mineralizations with characteristics similar to those of Córrego Brandão, as described by Abreu (1995; 2005). The similarities include petrographic aspects of the lithotypes and the metamorphic grade. However, according to Abreu (1995), at the Pari mine, mineralization occurs in two lithotypes and is situated in the upper part of unit B, called the “Pari horizon.” This unit is composed of garnetiferous amphibolites and metric intercalations of Algoma-type oxide-facies BIFs. Being the main gold-bearing horizon, it shows sulfide mineralization, containing arsenopyrite and pyrrhotite (Abreu, 1995). This horizon could be correlated to Córrego Brandão, considering the presence of gold hosted in banded and foliated hornblende schists. According to Abreu (1995), gold occurs free, included in first-generation arsenopyrites and, occasionally, in magnetite. However, to date, studies carried out at Córrego Brandão have not identified the presence of BIFs, which represents a significant difference between the mineralizations.

In the Pitangui Greenstone Belt, located in the southwestern portion of the QF, gold deposits are hosted in metabasalts, such as Carrapicho Norte, located in the municipality of Papagaios - MG, recently described by Camargos (2025). In the Papagaios deposit, subvertical shear zones mineralized with gold occur predominantly in mafic metavolcanic rocks, with subordinate lenses of banded iron formation (Maurer, 2022). The mineralization is characterized by a sulfide paragenesis dominated by pyrite, pyrrhotite and, to a lesser extent, chalcopyrite (Camargos, 2025). Sulfidation of the mineralized zone is marked by the presence of four types of pyrite, four of pyrrhotite, and three of arsenopyrite (Maurer, 2022). The author also reports that the higher the content of Bi, Ag, Pb, Sb, Zn, Co, Ni, and Cu in the sulfides, the higher the gold content of the mineralized zone in the Papagaios deposit. According to Camargos (2025), the metabasalts are among the mineralization host rocks themselves, which

were influenced by adjacent granitic intrusions. The mineralization may have been associated with mineralizing fluids from these intrusions, as in the Southern Cross district (Doublier et al. 2014). In Córrego Brandão, tonalitic apophyses are observed cutting metabasalts, which may suggest a contribution of fluids from intrusions of the Caeté Complex. Similar apophyses are described in the Turmalina deposit by Fabricio-Silva, (2016; 2019) whose mineralogy resembles that of the Mato Dentro Intrusive Suite.

In the northern portion of the QF is the Cuiabá mine, a world-class orogenic gold deposit (Vitorino et al. 2020). Historically, the economic production of gold at Cuiabá derives from sulfide ores (pyrite and pyrrhotite) hosted in BIFs with a replacement style (Ribeiro-Rodrigues et al. 2007; Vitorino et al. 2020). Recently, Vitorino et al. (2020), Kresse et al. (2020), and Fernandes et al. (2023) described gold mineralizations in quartz±carbonate veins and hydrothermal alteration in metabasalts: Viana and Galinheiro Footwall are located in the upper metamafic unit, and Veio de Quartzo in the lower metamafic unit (Fernandes et al. 2023). Gold is mainly present as visible particles in the V1 and V2 systems, but also locally associated with pyrite and pyrrhotite (Vitorino et al. 2020).

The Santana deposit, located in the central-western portion of the QF, near Nova Lima - MG, contains gold hosted in mylonitized ultramafic rocks (Lobato et al. 2001). According to the authors, mineralization occurs in quartz ± carbonate veins, which are surrounded by alteration zones rich in white mica. The gold-bearing quartz veins described in Cuiabá and Santana are similar to the quartz veins observed in CBR, differing in the alteration zone.

In the central-northeastern portion of the QF, south of the city of Caeté and southwest of Córrego Brandão, occurs the Tinguá mineralization. It is hosted in a sequence of komatiitic basalts, composed of intercalations between rocks and inter-trap sediments (Souza Filho, 1991). In the same context as Tinguá occur the Verenos, Carrancas, Geriza, Lavra Velha, Cutão, Serra do Paraíso, and Fernandes deposits (Fig. 7). According to Souza Filho (1991), these gold mineralizations correspond to quartz±carbonate sulfide veins with free gold or to replacement deposits of carbonaceous metacherts with gold disseminated in sulfides. The Moita, Catita, and Juca Vieira deposits (Fig. 7), located south of Caeté, are inserted in the same lithological context as Córrego Brandão, in volcanic rocks belonging to the Ouro Fino Unit. Vial et al. (2007) describe Moita as a deposit with disseminated sulfides and

veins, with gold present in sulfides and, in the oxidized portion, as free gold in boxwork and clay-altered zones. According to the authors, the Moita deposit is similar to the Alto Gago, Catita, and Carrapato de Baixo deposits. Juca Vieira (Fig. 7) is a disseminated deposit, with auriferous veins associated with quartz - carbonate - sulfide ± albite veins (Lobato et al. 2001). Guimarães (1931) reports that the deposit occurs between layers of schist (amphibolites), with a concordant quartz vein with the schist layers, partly smoky, partly milky, containing carbonate (dolomite), and mineralized with free gold, arsenopyrite, pyrrhotite, and galena. According to the Report for NI 43-101 (2022), anomalous gold values occur near the contact with foliated rocks of granitic composition in the Caeté Complex.

In Córrego Brandão, a late mineralization hosted in smoky to milky quartz veins and veinlets, with high As contents, is interpreted by the authors as the northern extension of the mineralized veins exposed in the Catita and Juca Vieira mines.

This mineralization shares characteristics such as structural control exerted by shear zones and proximity to granitoids. Shear zones also acted as pathways for contemporaneous granite (Kolb et al. 2015). Associated with fluids probably derived from equal or greater depths, deposits hosted in amphibolite-facies rocks are likely closer to the fluid source than those in greenschist-facies rocks and, therefore, may preserve less modified fluid characteristics (Doublier et al. 2014; Ridley ; Diamond, 2000). Even if magmatic fluids did not directly contribute to mineralization, granitic magmas may have played an important role in providing heat, especially at deeper crustal levels, which can increase devolatilization during metamorphism (Kolb et al. 2015a; Yardley ; Cleverley, 2013).

5.5.3.4 Geochemical Signature

According to Brando Soares et al. (2018), multielement geochemical assays are used to understand the distribution of Au when compared to elements that typically exhibit similar or comparable geochemical behavior in highly sulfide-rich zones.

The PCA analysis (Fig. 16) depicts the dissociation and association of Au with 21 other elements, where PC1 highlights the variance in this dataset. This variance is mainly related to rocks that lack sulfide mineralization but display a more basic geochemical signature, containing elements commonly associated with igneous rocks

such as Zr, Tl, K, Sn, Na, Al, Ti, Zn, and Cd. In contrast, mineralized rocks show anomalous Au enrichment and are associated with elements located on the opposite side of PC1, such as Ni, Te, As, and Bi, which occur in sulfide-bearing rocks. For this reason, S plots near the center of the distribution.

The enrichment in Au observed along positive PC1 (horizontal axis) is positively correlated with siderophile and chalcophile elements such as Ni, Te, As, and Bi, while being negatively related to enrichment in Sn and Na, which are plotted in the negative PC1. Within ferromagnesian chlorite, cobalt arsenide (skutterudite) was identified—a hydrothermal mineral found in moderate- to high-temperature veins with other Ni-Co minerals. The matrix also reveals a strong positive correlation between Ni and As, Sb, Co, and Te, which may indicate an ultramafic contribution to the mineralizing fluids, derived from hydrothermal solution interaction with the host rocks at Córrego Brandão.

Somarin et al. (2024) describe that some arsenide/sulfarsenide-bearing mineralized veins may result from remobilization of elements during prolonged magmatic, hydrothermal, and structural activity. This suggests that, at Córrego Brandão, mineralization was remobilized, potentially caused by reactivation of the Caeté Fault during the Neoproterozoic, associated with the D4 (compressional) deformation event described by Baltazar (2019).

In summary, the geochemical signature along PC1 reflects hydrothermal alteration with a potential mafic/ultramafic contribution from the mineralization host rock at Córrego Brandão.

5.5.3.5 Mesozonal vs. Hypozonal Deposits

Gebre-Mariam et al. (1995) classified so-called “mesothermal” deposits as mesozonal, and deeper deposits, hosted in amphibolite or lower granulite facies terranes, as hypozonal.

Sibson (2004) describes the mesozonal environment for mineralization occurs at the base of the seismogenic zone of the upper continental crust. Groves et al. (2020) state that mesozonal orogenic gold deposits are dominated by structurally controlled auriferous arsenopyrite-pyrite-quartz (scheelite) veins. Hypozonal deposits, in contrast, represent ancient mesozonal deposits that were later metamorphosed to amphibolite facies (Ma et al. 2024; Phillips ; Powell, 2009; Tomkins ; Grundy, 2009).

These deposits appear to be restricted to Precambrian terranes with variable host rocks ranging from amphibolite and banded iron formation to marble and granite. Hypozonal hydrothermal alteration in gold deposits is, therefore, likely restricted to temperatures ≤700 °C (Kolb et al. 2015).

The formation of synmetamorphic and structurally controlled hydrothermal gold deposits is linked to the infiltration of large volumes of externally derived fluids (Dziggel et al. 2009). Several features of Precambrian orogenic gold deposits are inconsistent with a purely metamorphic continental fluid source. These include the occurrence of hypozonal deposits in amphibolite facies terranes (Groves et al. 2020). According to Kolb et al. (2015b), in several hypozonal deposits, the isotopic signature of the fluid indicates an external fluid source or the involvement of a magmatic fluid.

Córrego Brandão displays a geochemical signature composed of Au-Bi-Te-W-As ± Sb-Ni-Co-Ag. Recently, Soares et al. (2025) interpreted that bismuth-bearing associations occur in some orogenic gold deposits formed under high-pressure conditions. According to Groves (1993), this geochemical signature is typical of intrusion-related hypozonal deposits, where mineralization occurs in fault systems located within the deep crust. Fabrício-Silva (2016) identified similar traits in the Turmalina Mine, and Brando Soares et al. (2018), in a study of the São Sebastião deposit. Both authors interpreted these deposits as representing the deepest portions of the auriferous system of the QF.

The mineralization style of Córrego Brandão is orogenic; however, the mineralizing fluid must have been neutral to oxidizing, as it produced more magnetite and siderite (oxidizing environment) than sulfides (reducing environment). This is generally typical of high-temperature, high-salinity magmatic hydrothermal fluids, with low HS– and abundant Cl, B, F, and CO_2. It is important to note that fluid inclusion studies in quartz veins have not been performed, which could help define the physicochemical characteristics of mineralizing fluids. In the Quadrilátero Ferrífero, few deposits hosted in the Rio das Velhas Greenstone Belt—which contains the region's main gold deposits—display such features.

5.5.4 Conclusions

The analyzed data present characteristics such as structural control exerted by shear zones, proximity to granitoid bodies, and geochemical signature, where Córrego Brandão is representative of hypozonal gold deposits hosted in metamafic rocks. Based on the integration of petrographic and geochemical data obtained from drill hole samples taken at Córrego Brandão, the following aspects are concluded below.

- The proximity of CBR to the Caeté granodiorite, which is younger than the base of the GBRV (Endo et al. 2019), and contains rocks with distinctive characteristics and a sequence of unconventional metamorphic rocks, sets it apart from other Neoarchean gold deposits in the QF;
- The absence of garnet in barren rocks suggests that, in the mineralization host rocks of Córrego Brandão, garnet is essentially hydrothermal in origin, possibly influenced by fluids derived from nearby intrusive bodies. Its growth occurred in a more continuous hydrothermal flow environment, with greater fluid–rock interaction.
- The mineralization style of CBR is orogenic, with mineralization and hydrothermal alteration associated with a steep shear zone;
- The mineralizing fluid must be reducing and tending toward oxidizing, since it produces more magnetite than sulfides, normally generated in a reducing environment. Among the hydrothermal halos, distinct zoning patterns, compositional and textural variations in the rocks occur, potentially generated during the first deformational event D1 (compressional), recorded in the amphibolites, with significant presence of carbonate-group minerals;
- The occurrence of thin, clear carbonate veinlets in the amphibolites suggests late-stage veining, indicating the distal zone of hydrothermal alteration. Dolomite and siderite mark the proximal zone of mineralization;
- Two types of mineralization were distinguished at Córrego Brandão: the main mineralization hosted in hydrothermally altered amphibolites, with gold occurring in its free form or included within magnetite crystals, both dispersed in the ferromagnesian chlorite matrix, and with gold particles included in porous pyrite crystals, along with arsenopyrite crystals showing compositional variation between core and rim, containing Fe, As, and enrichment in Te and Bi. The second, “late” mineralization is related to auriferous quartz veins and veinlets with high As content (a style similar to the Catita and Juca Vieira mines);

- The presence of Cr-rich chlorite and cobalt arsenide suggests a strong influence of mafic/ultramafic contributions in the Córrego Brandão mineralization process, potentially caused by the reactivation of the Caeté Fault during the Neoproterozoic, associated with the D4 (compressional) deformation event;
- It is concluded that internal fractures in garnets, filled with opaque minerals and amphiboles, are associated with a distinct hydrothermal flow. This suggests that multiple pulses of mineralizing fluids occurred at Córrego Brandão, possibly remobilizing gold and concentrating it in magnetite or pyrite;
- The paragenesis of amphibole + biotite + garnet containing trace mineral phases rutile + titanite suggests lower amphibolite facies metamorphism, distinguishing it from most of the QF, where mineralization host rocks are predominantly in greenschist facies;
- The gold enrichment depicted in the positive PC1 of the principal component analysis is positively correlated with enrichment in siderophile and chalcophile elements such as Ni, Te, As, and Bi, supporting a potential mafic/ultramafic contribution during the mineralization process;
- Based on the defined styles, hydrothermal mineralogy, and the nature and degree of metamorphism of the host rocks, the authors interpreted both mineralization styles as related to hypozonal deposits.

5.5.5 Final Considerations

In recent decades, exploration studies have advanced into regions where prospective models deviate from the “classical” ones, such as the Cuiabá, Lamego, Raposos, and Morro Velho mines. Therefore, the use of additional characterization tools, including geochemistry, geoprocessing techniques, and new technologies, has become necessary, presenting new challenges for geosciences and mineral exploration.

It should be noted that no fluid inclusion studies in quartz veins or LA-ICP-MS analyses on magnetite crystals have been carried out. Such analyses could help define the physicochemical characteristics of the mineralizing fluids as well as the concentrations of minor and trace elements, opening opportunities for future additional studies.

Acknowledgments

This study was made possible thanks to the support and data kindly provided by Jaguar Mining Inc. and Dr. Rosaline Cristina Figueiredo e Silva, who is the recipient of a fellowship from the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq). The results and conclusions presented here are part of the master's research of W.V.C Fernandes, who would like to express his sincere gratitude to the Graduate Program in Geology at UFMG and to CAPES for the support granted in the form of a master's scholarship.

6 CONCLUSÕES GERAIS

Com base na integração de dados petrográficos e geoquímicos oriundos da jazida Córrego Brandão, conclui-se os seguintes aspectos abaixo.

- O depósito aurífero de Córrego Brandão apresenta características típicas de mineralizações hipozonais hospedadas em rochas metamáficas, com controle estrutural por zonas de cisalhamento e proximidade a corpos graníticos;
- A mineralização é do tipo orogênico, associada a fluidos hidrotermais de caráter oxidante, com assinatura geoquímica rica em elementos como Au, Bi, Te, W, As, Ni e Co, sugerindo contribuição máfica/ultramáfica;
- Foram identificados dois estilos de mineralização: um principal, disseminado em anfibolitos alterados, e outro tardio, em veios de quartzo auríferos;

Com base na assinatura geoquímica composta por Au-Bi-Te-W-As ± Sb-Ni-Co-Ag, assim como a paragênese anfibólio + biotita + granada contendo as fases minerais traços rutilo + titanita sugerindo metamorfismo fácies anfibolito inferior, os autores interpretaram ambos os estilos de mineralização de CBR como relacionados a depósitos hipozonais.

REFERÊNCIAS

ABREU, Gustavo Correa de. Geologia e metalogênese do ouro da mina do Pari, nordeste do Quadrilátero Ferrífero-MG. Dissertação de Mestrado—São Paulo: Universidade de São Paulo, 14 dez. 1995.

ALKMIM, F. F.; MARSHAK, S. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero FerríferoPrecambrian Research. [S.l.: S.n.].

ALKMIM, Fernando F.; MARTINS-NETO, Marcelo A. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil. Marine and Petroleum Geology, v. 33, n. 1, p. 127–139, 2012.

ALKMIM, Fernando F.; TEIXEIRA, Wilson. The Paleoproterozoic mineiro belt and the Quadrilátero Ferrífero. In: São Francisco Craton, Eastern Brazil: tectonic genealogy of a miniature continent. [S.l.]: Springer, 2016. p. 71–94.

ALKMIM, Fernando Flecha. O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO: UMA REVISÃO. Anais 4° Simpósio Sobre o Cráton do São Francisco e Orógenos Marginais, p. 14–14, nov. 2019.

ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de. O cráton do São Francisco. Revista Brasileira de geociências, v. 7, n. 4, p. 349–364, 1977.

BALTAZAR, O. F.; ZUCCHETTI, M. 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, v. 32, n. 3–4, p. 471–499, nov. 2007.

BALTAZAR, Orivaldo Ferreira; LOBATO, Lydia Maria. Structural evolution of the Rio Das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: Influence of proterozoic orogenies on its western Archean gold deposits. Minerals, v. 10, n. 11, p. 1–38, 1 nov. 2020.

BARBOSA, A. L. M. de. Síntese da evolução geotectônica da América do Sul. Boletim do Instituto de Geologia/Escola de Minas, v. 1, p. 91–111, 1966.

BRANDO SOARES, Mariana et al. Geology of the Pitangui greenstone belt, Minas Gerais, Brazil: Stratigraphy, geochronology and BIF geochemistry. Precambrian Research, v. 291, p. 17–41, 1 abr. 2017.

CABRAL, Alexandre Raphael et al. Late Cambrian Au-Pd mineralization and Fe enrichment in the Itabira District, Minas Gerais, Brazil, at 496 Ma: constraints from U-Pb monazite dating of a Jacutinga lode. Economic Geology, v. 110, n. 1, p. 263–272, 2015.

CHAVES, Joanna et al. The Archean Rio das Velhas greenstone belt revisited: new insights into the stratigraphy. Journal of the Geological Survey of Brazil, v. 3, p. 113–149, 2020.

CORDANI, Umberto G. O Cráton do São Francisco e as faixas brasilianas: meio século de avanços. 2017.

DERBY, Orville A. The iron ores of Brazil. Rem: Revista Escola de Minas, v. 63, p. 473–479, 2010.

DORR, J. V. N. Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilatero Ferrifero, Minas Gerais, Brazil. Professional Paper, p. A1–A110, 1969.

FABRICIO-SILVA, Wendell. Evolução Tectonotermal e Processos Multifásicos de Mineralização de Ouro do Depósito Turmalina, Quadrilátero Ferrífero, Brasil. Dissertação de Mestrado—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

FARINA, F. et al. The Archean–Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brasil): Current models and open questions. Journal of South American earth sciences, v. 68, p. 4–21, 2016.

FARINA, Federico; ALBERT, Capucine; LANA, Cristiano. The Neoarchean transition between medium- and high-K granitoids: Clues from the Southern São Francisco Craton (Brazil). Precambrian Research, v. 266, p. 375–394, 1 set. 2015.

FERNANDES, Raphael do Carmo; RONCATO, Jorge; SÉRGIO DE PAULA, Rodrigo. Structural model and features of the world-class Cuiabá orogenic gold deposit, Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero region, Brazil. Journal of South American Earth SciencesElsevier Ltd, , 1 mar. 2023.

FERREIRA, Raianny. Caracterização químico-faciológica dos derrames komatiíticos do Grupo Quebra Osso, greenstone belt Rio das Velhas, no setor leste do Quadrilátero Ferrífero/MG. Dissertação de Mestrado—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 23 mar. 2020.

GOLDFARB, Richard J.; GROVES, David I. Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time. LithosElsevier, , 5 jan. 2015.

GOURCEROL, B. et al. Results of LA-ICP-MS sulfide mapping from Algoma-type BIF gold systems with implications for the nature of mineralizing fluids, metal sources, and deposit models. Mineralium Deposita, v. 53, n. 6, p. 871–894, 1 ago. 2018.

GROVES, D. I. et al. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. Ore Geology Reviews, v. 13, n. 1–5, p. 7–27, jun. 1998.

HAGEMANN, Steffen; J. R. RIDLEY. Hydrothermal fluids in epi-and katazonal crustal levels in the Archaean: implications for PTXt evolution of lode-gold mineralisation." Hydrothermal fluids in epi-and katazonal crustal levels in the Archaean: implications

for PTXt evolution of lode-gold mineralisation. In: An International Conference on Crustal Evolution, Metallogeny and Exploration of the Eastern Goldfields. [S.l.: S.n.]. v. Vol. 1993/54 p. 123–130.

KRESSE, Carolin et al. Fluid signature of the shear zone–controlled Veio de Quartzo ore body in the world-class BIF-hosted Cuiabá gold deposit, Archaean Rio das Velhas greenstone belt, Brazil: a fluid inclusion study. Mineralium Deposita, v. 55, n. 7, p. 1441–1466, 13 out. 2020.

LADEIRA, E. A. Metalogenia dos depósitos de ouro do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Brasília: Principais depósitos minerais do Brasil. Metais básicos não ferrosos, ouro e alumínio, 1988.

LANA, Cristiano et al. The ancestry and magmatic evolution of Archaean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, southeast Brazil. Precambrian Research, v. 231, p. 157–173, jul. 2013.

LIMA, Luiz Cláudio. Geologia do Depósito Lode Au-As-Sb Laranjeiras, em Metaturbitos do Grupo Nova Lima, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Dissertação de Mestrado—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

LOBATO, Lydia Maria; RIBEIRO-RODRIGUES, Luiz Cláudio; VIEIRA, Frederico Wallace Reis. Brazil's premier gold province. Part 11: Geology and genesis of gold deposits in the Archean rio das velhas greenstone belt, Quadrilátero ferrifero. Mineralium Deposita, v. 36, n. 3–4, p. 249–277, 2001a.

LOBATO, Lydia Maria; RIBEIRO-RODRIGUES, Luiz Cláudio; VIEIRA, Frederico Wallace Reis. Brazil's premier gold province. Part 11: Geology and genesis of gold deposits in the Archean rio das velhas greenstone belt, Quadrilátero ferrifero. Mineralium Deposita, v. 36, n. 3–4, p. 249–277, jun. 2001b.

MANTESSO-NETO, Virgínio et al. Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. 2004.

MARTÍNEZ DOPICO, Carmen I. et al. U–Pb ages and Hf-isotope data of detrital zircons from the late Neoarchean-Paleoproterozoic Minas Basin, SE Brazil. Precambrian research, v. 291, p. 143–161, 2017.

MARTINS, Breno de Souza et al. The Archean BIF-hosted Lamego gold deposit, Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero: Evidence for Cambrian structural modification of an Archean orogenic gold deposit. Ore Geology Reviews, v. 72, p. 963–988, jun. 2016.

MASOUDI, F.; MEHRABI, B.; MAHMOUDI, Sh. Garnet (almandine-spessartine) growth zoning and its application to constrain metamorphic history in Dehsalm Complex, Iran. 2006.

MAURER, Victor Câmara. Composição Química de Sulfetos Associados à Mineralização de Ouro Orogênico no Greenstone Belt Pitangui: Exemplos dos

Depósitos Pitangui e Papagaios. Tese de Doutorado—Ouro Preto, MG: Universidade Federal de Ouro Preto, 2022.

MENDES, Mônica de Cássia Oliveira et al. Datação U-Pb in situ por LA-ICPMS em zircões detríticos da Formação Cercadinho, Supergrupo Minas. Geologia USP. Série Científica, v. 14, n. 1, 2014.

NEVES, Sergio Pacheco. Comparative geological evolution of the Borborema Province and São Francisco Craton (eastern Brazil): Decratonization and crustal reworking during West Gondwana assembly and implications for paleogeographic reconstructions. Precambrian Research, v. 355, p. 106119, 2021.

NOCE, Carlos Mauricio; TASSINARI, Colombo; LOBATO, Lydia Maria. Geochronological framework of the Quadrilátero Ferrífero, with emphasis on the age of gold mineralization hosted in Archean greenstone belts. Ore Geology Reviews, v. 32, n. 3–4, p. 500–510, nov. 2007.

PEREIRA, L. M. M. Estudo da Alteração Hidrotermal do Corpo SE-2, nível 5 da mina de ouro de Juca Vieira, Quadrilátero Ferrífero, MG. Unpublished M. Sc. Thesis, Instituto de Geociências, UFMG, 1996.

REIS, Luciana Andrade et al. A bacia de antepaís paleoproterozoica Sabará, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. 2002.

RIBEIRO, Yuri et al. 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, MGGeonomos. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <www.igc.ufmg.br/geonomos>.

RICCOMINI, Cláudio. Geologia regional do quadrilátero ferrifero (MG, Brasil): uma tentativa de síntese e novas ideias. Anais, v. 1, p. 199–213, 1982.

RONCATO, Jorge Geraldo Roncato et al. Metaturbidite-hosted gold deposits, córrego do sítio lineament, quadrilátero ferrífero, Brazil. Brazilian Journal of Geology, v. 45, n. 1, p. 5–22, 1 mar. 2015.

ROSIÈRE, Carlos A. et al. The itabirites of the Quadrilátero Ferrífero and related high-grade iron ore deposits: an overview. 2008.

RUY, Andréia Cristina et al. Uso de dados aerogeofísicos de alta densidade para mapeamento geológico em terrenos altamente intemperizados: o estudo de caso da região de Cláudio, porção sul do Cráton São Francisco. Revista Brasileira de Geofísica, v. 24, p. 535–546, 2006.

SIBSON, R. H. Fault rocks and fault mechanisms. Journal of the Geological Society, v. 133, n. 3, p. 191–213, 1977.

SILVA, Gorki Pomar Andreatta; CARNEIRO, Mauricio Antônio. A suíte metatholeiítica da seqüência metavulcanossedimentar Rio Manso, Quadrilátero Ferrífero (MG). Rem: Revista Escola de Minas, v. 62, p. 423–430, 2009.

TASSINARI, Colombo C. G. et al. Geochronology and thermochronology of gold mineralization in the Turmalina deposit, NE of the Quadrilátero Ferrífero region, Brazil. Ore Geology Reviews, v. 67, p. 368–381, 2015.

TEIXEIRA, Wilson. Evidências de uma tectônica tangencial proterozóica no Quadrilátero Ferrífero, MG. Anais, v. 6, p. 2589–2604, 1990.

VIAL, D. S. et al. Smaller gold deposits in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. Ore Geology Reviews, v. 32, n. 3–4, p. 651–673, nov. 2007a.

VIAL, Diogenes Scipioni et al. The geology of the Morro Velho gold deposit in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. Ore Geology Reviews, v. 32, n. 3–4, p. 511–542, nov. 2007b.

VITORINO, André L. A.; FIGUEIREDO E SILVA, Rosaline C.; LOBATO, Lydia M. Shear-zone-related gold mineralization in quartz-carbonate veins from metamafic rocks of the BIF-hosted world-class Cuiabá deposit, Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: Vein classification and structural control. Ore Geology ReviewsElsevier B.V., , 1 dez. 2020.

APÊNDICE A — COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DE ARTIGO

Outlook

ENC: SAMES-D-25-00559 - Confirming your submission to Journal of South American Earth Sciences

De Walace Fernandes <walacevinicius@hotmail.com>
Data Seg, 18/08/2025 22:15
Para IGC-Colegiado Pos-Graduacao Geologia <posgeol@igc.ufmg.br>

Boa noite.

Segue abaixo, e-mail da Journal of South American Earth Sciences, comprovando a submissão do meu artigo, conforme orientação do PPGEOL para defesa de mestrado.

att,

Walace Fernandes
Bacharel em Geologia - UNIBH
Mestrando em Geologia Econômica e Aplicada - UFMG

linkedin.com/in/walace-fernandes

De: em.sames.0.95833e.00fd07ed@editorialmanager.com <em.sames.0.95833e.00fd07ed@editorialmanager.com>
em nome de Journal of South American Earth Sciences <em@editorialmanager.com>
Enviado: segunda-feira, 18 de agosto de 2025 22:12
Para: walace vinicius fernandes <walacevinicius@hotmail.com>
Assunto: SAMES-D-25-00559 - Confirming your submission to Journal of South American Earth Sciences

This is an automated message.

Córrego Brandão gold deposit, Greenstone Belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: mineral chemistry, petrography and geochemistry Dear Geologo fernandes,

We have received the above referenced manuscript you submitted to Journal of South American Earth Sciences. It has been assigned the following manuscript number: **SAMES-D-25-00559**.

To track the status of your manuscript, please log in as an author at https://www.editorialmanager.com/sames/, and navigate to the "Submissions Being Processed" folder.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind

regards,
Journal of South American Earth Sciences

ANEXO A – RESULTADOS DE ANÁLISES POR DRX

CETEM CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL UNIDADE DE PESQUISA DO MCTI — MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES — PÁTRIA AMADA BRASIL GOVERNO FEDERAL

COORDENAÇÃO DE ANÁLISES MINERAIS - COAMI

Setor de Caracterização Tecnológica – SCT

BOLETIM DE ANÁLISES **002 SCT/ 2021**	
ENSAIO **Difração de Raios X (DRX)**	
Identificação da Amostra Número de entrada (SCT): **Descrição:** Amostras de minério aurífero **Identificação do solicitante:**	**Identificação do Solicitante** **Empresa:** Jaguar Mining **Contato:** Dra. Mariana Brando Soares **Tel.:** 21 97483-2202 **E-mail:** mariana.soares@uerj.br **Data:** 02/12/2021
Equipe: Felipe E.A. Alves, Josimar F. Lima, Edivaldo C. Silva	Pesquisador responsável: Reiner Neumann Telefone: 3865-7263

METODOLOGIA

As amostras foram quarteadas em um quarteador rotativo Quantachrome para separação de uma alíquota de 3 gr.

Todas as alíquotas para análise quantitativa por DRX foram moídas em moinho McCrone em 15 mL de água, com meio moedor de ágata, por 10 minutos. A suspensão da amostra moída foi descarregada numa placa de Petri de teflon, e seca em estufa a 60°C. Depois de seca, a amostra foi retomada com auxílio duma espátula plástica, desagregada por moagem manual num gral de ágata, montada no suporte do tipo backload (para redução de orientação preferencial) e analisada no difratômetro de raios X.

As análises por DRX, pelo método do pó, foram executadas em equipamento

Bruker-AXS D4 Endeavor, radiação Co Kα (40 kV/40 mA), com passo de 0,01° 2Θ, tempo de contagem de 184 segundos por passo com detector linear sensível à posição do tipo silicon drift LynxEye, coletados de 5 a 90° 2Θ, e em geometria Θ-2Θ do goniômetro. A interpretação qualitativa de espectro foi efetuada por comparação com padrões contidos no banco de dados relacional PDF 4+ (ICDD, 2021) em software Bruker Diffrac.EVA.

A análise quantitativa foi calculada pelo método de refinamento de espectro multifásico total (método de Rietveld), por parâmetros fundamentais, com software Bruker-AXS Topas, v. 5.

As informações de estruturas cristalinas das fases refinadas são oriundas do banco de dados da Bruker AXS. Esse método não enxerga fases amorfas. Em alguns casos foram apresentados grupos de minerais; nesse caso, como estrutura e ocupação de sítios dos minerais é similar, DRX não faz muita distinção entre membros dum mesmo grupo, e foi usado o bom senso mineralógico para a seleção da(s) estrutura(s) para quantificação. Para o grupo do anfibólio, foram refinadas cummingtonita, grunetita e hornblenda, para o grupo das micas muscovita e fluorflogopita, para o do epidoto a clinozoisita, plagioclásio corresponde a andesina, e turmalina a dravita.

RESULTADOS

Os resultados quantitativos são reproduzidos nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Quantificação de minerais por DRX/método de Rietveld (% massa).

	FCBR 002 - 0009	FCBR 002 - 0010	FCBR 002 - 0011	FCBR 002 - 0012	FCBR 002 - 0013	FCBR 002 - 0014	FCBS003 - 0118	FCBS003 - 0119	FCBS003 - 0120
Anfibólio	1.6	4.8	3.1	2.9	2.4	**4.3**	25.1	16.2	14.4
Anatásio	1.8	1.5	1.8	0.9	1.2	**2.3**	nd	nd	nd
Apatita	nd	nd	nd	nd	nd	**nd**	1.5	nd	nd
Arsenopirita	nd	nd	nd	nd	nd	**nd**	0.8	1.4	1.1
Calcita	nd	nd	nd	nd	nd	**nd**	1.5	1.0	1.9
Clorita	nd	nd	nd	nd	nd	**nd**	16.6	23.1	20.5
Grupo da Dolomita	nd	nd	nd	nd	nd	**nd**	17.9	10.2	43.5
Grupo do Epidoto	nd	nd	nd	nd	nd	**nd**	1.4	1.5	nd
Gibbsita	nd	nd	0.8	0.2	2.5	**nd**	nd	nd	nd
Goethita	29.8	36.1	56.0	36.9	30.7	**32.4**	nd	nd	nd
Hematita	4.9	21.0	5.0	35.3	20.2	**16.3**	nd	nd	nd
Ilmenita	3.4	2.7	1.6	0.9	1.0	**1.8**	nd	1.9	0.4
Caolinita	31.7	17.2	25.3	13.7	19.2	**30.6**	nd	nd	nd
Magnetita	nd	nd	0.6	6.4	17.1	**6.6**	5.3	4.9	0.2
Mica 1	nd	3.7	0.3	0.4	1.7	**nd**	nd	nd	nd
Mica 2	nd	nd	nd	nd	nd	**nd**	nd	nd	nd
Plagioclásio	nd	nd	nd	nd	nd	**nd**	nd	nd	nd
Pirita	nd	nd	nd	nd	nd	**nd**	nd	nd	nd
Pirrotita	nd	nd	nd	nd	nd	**nd**	2.6	2.9	0.4
Quartzo	2.2	3.5	2.0	0.4	nd	**nd**	6.7	6.7	14.0
Rutilo	1.1	0.3	0.1	0.1	0.3	**0.4**	nd	nd	nd
Siderita	nd	nd	nd	nd	nd	**nd**	16.7	22.5	0.2
Talco	3.9	6.8	2.9	1.5	2.7	**5.4**	nd	4.3	2.2
Titanita	nd	nd	nd	nd	nd	**nd**	3.4	2.7	1.2
Turmalina	19.4	2.5	0.3	0.4	1.0	**nd**	0.6	0.6	nd
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	**100.0**	100.0	100.0	100.0

Nd – não detectado.

Tabela 7 – Quantificação de minerais por DRX/método de Rietveld (% massa).

	FCBS003 - 0121	FCBS003 - 0122	FCBS003 - 0123	FCBS003 - 0124	FCBS003 - 0125	FCBS003 - 0126	FCBS003 - 0127	FCBS003 - 0128	FCBS003 - 0129
Anfibólio	nd	1.4	nd	nd	0.7	1.7	nd	1.2	1.4
Anatásio	nd	nd	0.4	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Apatita	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Arsenopirita	nd	nd	nd	1.0	0.9	1.5	0.8	1.0	0.9
Calcita	0.3	4.0	4.1	4.5	4.7	6.2	23.6	3.6	4.8
Clorita	48.1	33.5	70.5	21.6	19.9	30.1	18.1	22.5	13.0
Grupo da Dolomita	44.3	34.0	8.8	10.8	32.4	17.9	32.2	5.5	5.2
Grupo do Epidoto	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Gibbsita	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Goethita	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hematita	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ilmenita	1.3	nd	1.3	1.2	0.1	0.6	nd	1.1	0.8
Caolinita	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Magnetita	0.6	0.9	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Mica 1	nd	4.5	4.5	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Mica 2	nd	nd	nd	44.5	10.3	16.6	5.0	36.0	45.2
Plagioclásio	nd	nd	nd	2.3	1.5	1.5	nd	1.7	2.2
Pirita	nd	nd	0.2	1.4	1.1	5.5	nd	nd	0.1
Pirrotita	0.4	0.4	0.3	0.8	0.6	0.8	0.3	0.3	0.5
Quartzo	4.3	21.1	9.7	11.3	27.5	16.8	19.7	26.6	25.5
Rutilo	nd	0.4	0.3	0.6	0.5	0.9	0.2	0.4	0.2
Siderita	0.6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Talco	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Titanita	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Turmalina	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Nd – não detectado.

APÊNDICE B— FICHAS DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Fichas contendo descrições de 25 lâminas delgadas, oriundas de testemunhos de sondagem diamantada.

Lista de abreviações de minerais Warr, (2021).

Act = actinolita
Apy = Arsenopirita
Au = Ouro
Bi phases = Minerais portadores de bismuto
Bt = Biotita
Cb = Carbonato indistinto
Ccp = Calcopirita
Chl = Clorita
Cum = Cummingtonita
Dol = Dolomita
Ep = Epidoto
Fe-Act = Ferroactinolita
Grt = Granada
Gru = Grunerita
Hbl = Hornblenda
Ilm = Ilmenita
Mag = Magnetita
Pn = Petlandita
Pl = Plagioclásio
Opa = Opacos
Pyh = Pirrotita
Py = Pirita
Rt = Rutilo
Qz = Quartzo
Sc = Indicador cinemático
Sr = Sericita
Sp = Esfalerita
Tlc = Talco
Tur = Turmalina
Tr = Tremolita
Ttn = Titanita

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
Dissertação de Mestrado – Walace Fernandes
Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBR14-AM-01 (delgada)
Drillhole ID: FCBR014

Petrógrafo: Walace Fernandes
Profundidade (m): 42.2

Tipo de Amostra: Testemunho
Teor Au (ppm): 0.19

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Quartzo-biotita-anfibólio xisto - Rocha em transição de coloração verde-média a cinza-média, bandada, intercalando pacotes mais silicosos e biotíticos, com porções brechadas pontuais. Apresenta veios e vênulas de quartzo paralelos á foliação. Sulfetação fina a média, à base de pirrotita.

Foto da Amostra	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Quartzo (35%) + Epidoto (30%) + Clorita (15%) + Biotita (8%) + Tremolita (2%) + Turmalina (<1%)

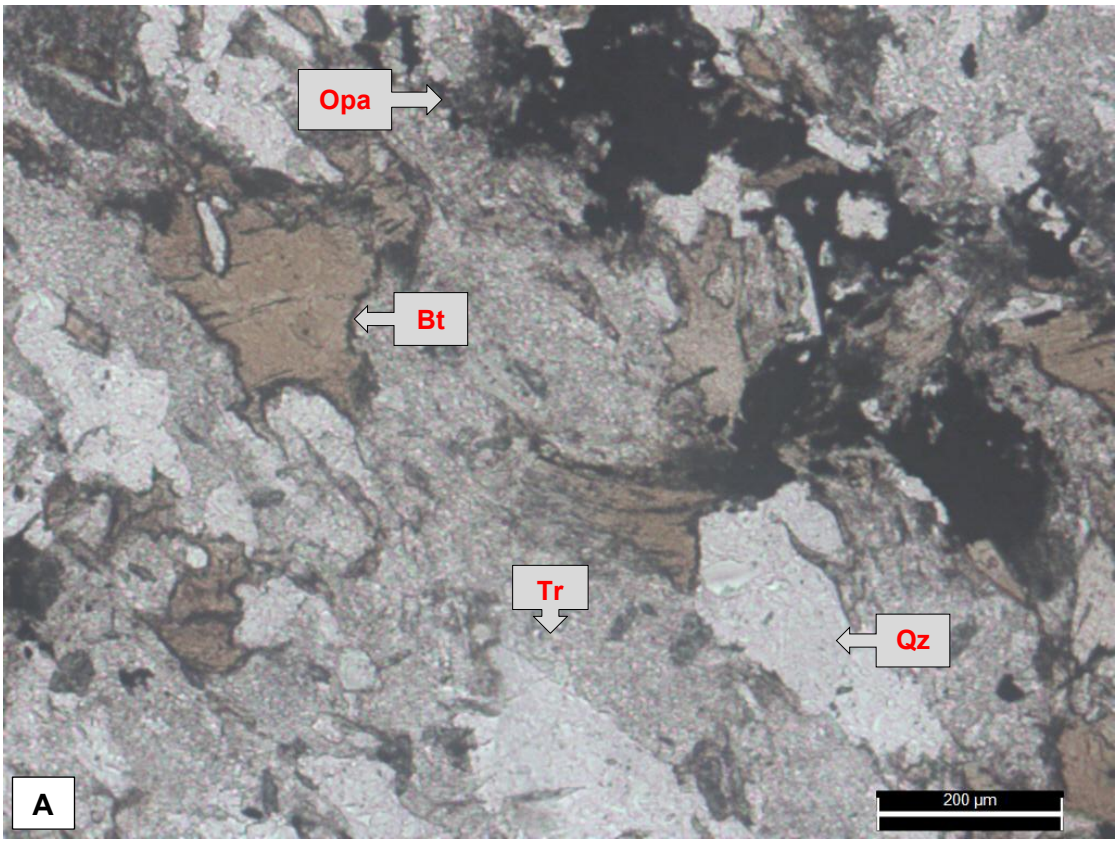
Opacos: Pirita (7%) + Esfalerita (1%) + Calcopirita e Pirrotita (<1%)

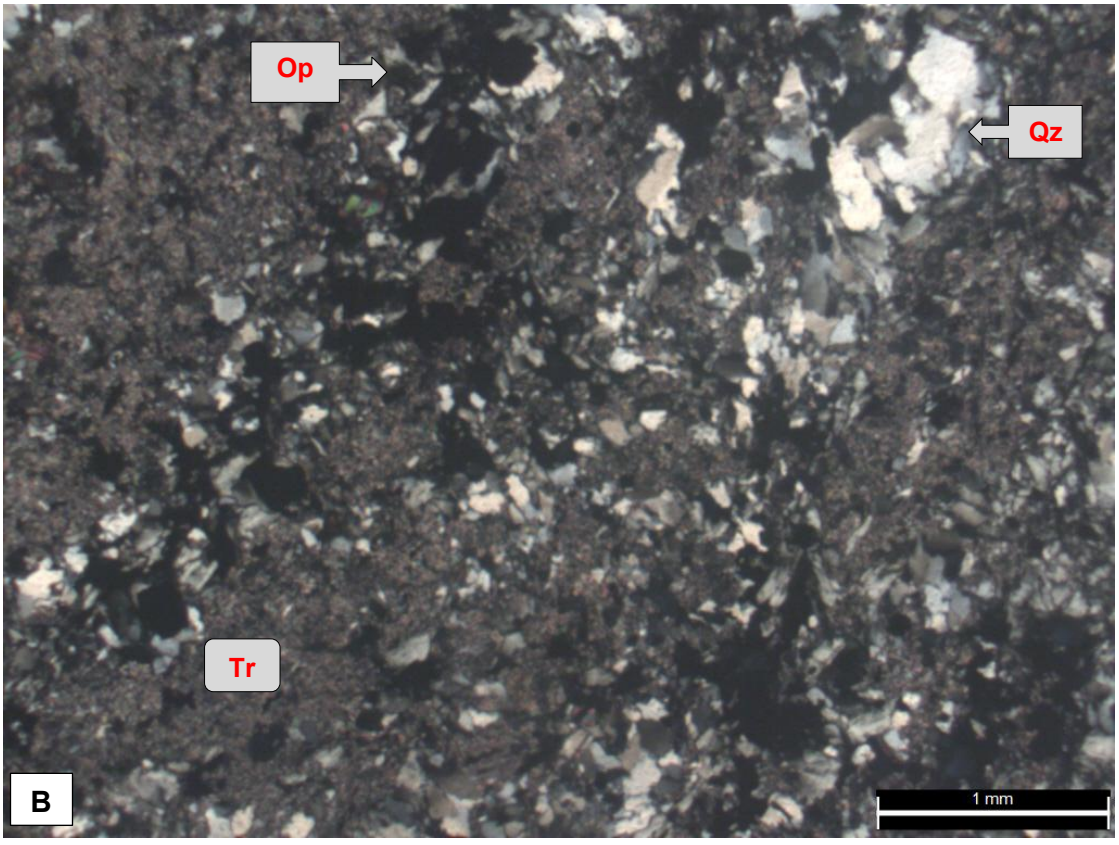
Rocha lepidogranoblástica de granulação fina.

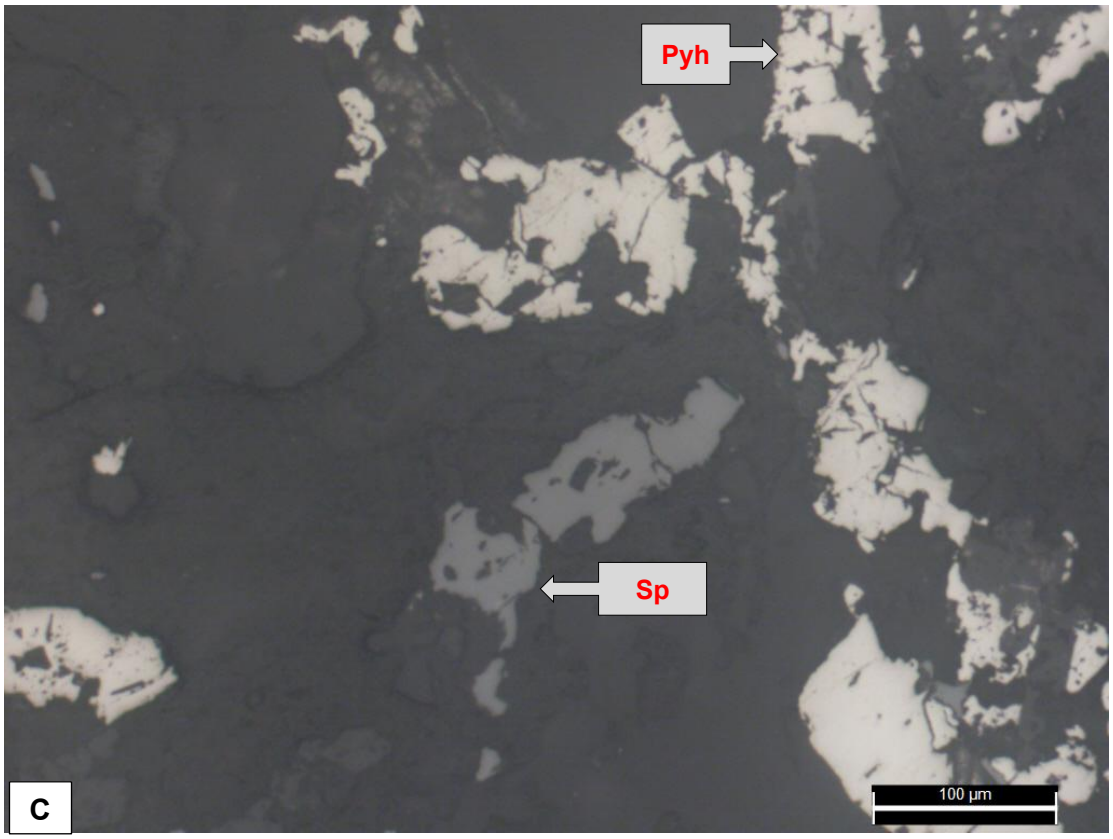
I. O quartzo é o principal constituinte da matriz, e os cristais são acinzentados, observados como lobados, com bordas serrilhadas e apresentando extinção ondulante. O epidoto ocorre em cristais esverdeados a amarelados pálidos, granulares finos, subédrico, com pleocroísmo imperceptível. A clorita é observada incolor, com cores de interferência cinza e fraco pleocroísmo. A biotita ocorre em lamelas marrons, sem orientação, cristais subédricos e com relevo moderado, definindo níveis micáceos delgados. A tremolita é observada em cristais verde-claros, com formas prismáticas longas e cores de interferência fortes. A turmalina é observada em cristais amarronzados, granulares, localmente ocorrendo em seção basal e prismas trigonais de faces abauladas.

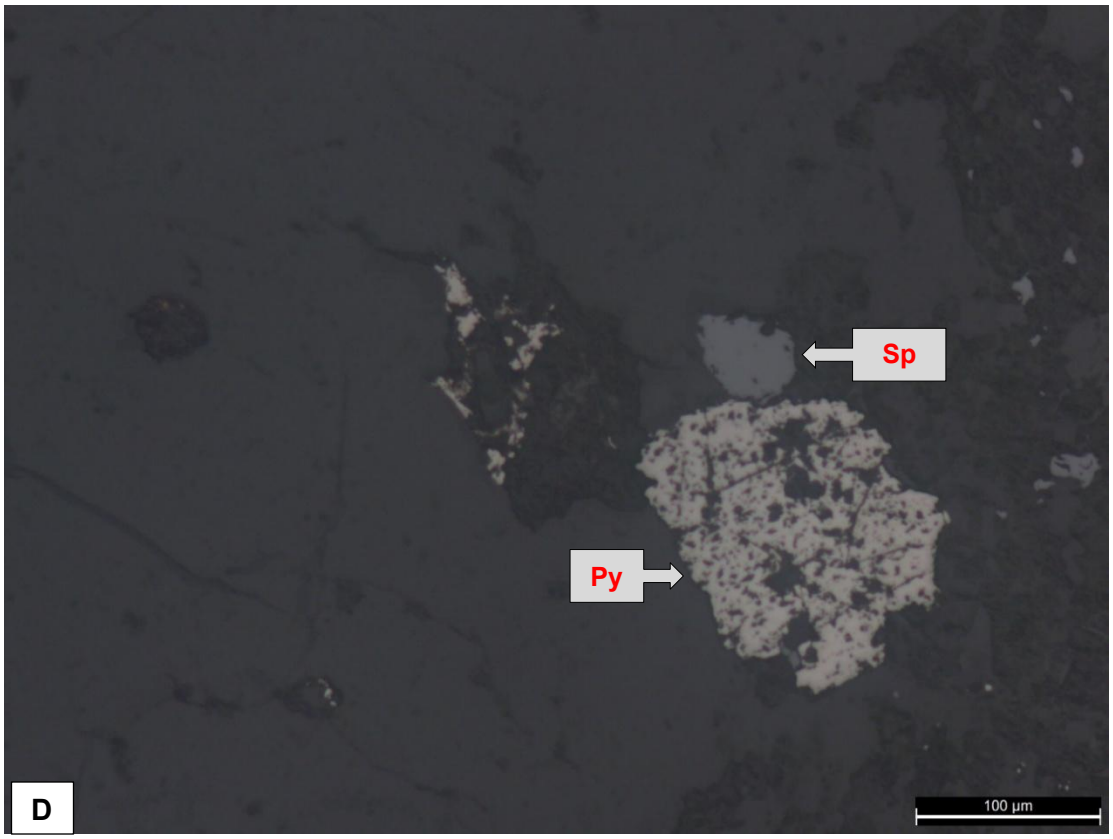
II. A pirita ocorre dispersa na matriz e preenchendo vênulas de quartzo; os cristais são amarelos pálidos, finos a médios e anédricos. A esfalerita é observada em cristais finos, acinzentados, anédricos e subarredondados. Calcopirita e pirrotita ocorrem em cristais extremamente finos e em equilíbrio textural com a pirita.

Fotomicrografias









Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos e d) paralelos

Objetivas: a) 10x, b) 2.5x; c) 20x e d) 20x

Nome da Rocha: Clorita-epidoto-quartzo- xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado – Walace Fernandes
Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBR14-AM-02 (delgada) **Drillhole ID:** FCBR014

Petrógrafo: Walace Fernandes **Profundidade (m):** 55.6

Tipo de Amostra: Testemunho **Teor Au (ppm):** 0.02

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Quartzo-biotita-anfibólio xisto - Rocha sã de coloração verde-média, laminada e foliada, com vênulas de carbonato preferencialmente paralelas à foliação. Apresenta sulfetação fina esporádica, predominando a pirrotita (Pyh) sobre a pirita (Py) disseminada.

Foto da Amostra	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Biotita (35%) + Tremolita (30%) + Quartzo (20%) + Clorita (5%) + Epidoto (<1%)

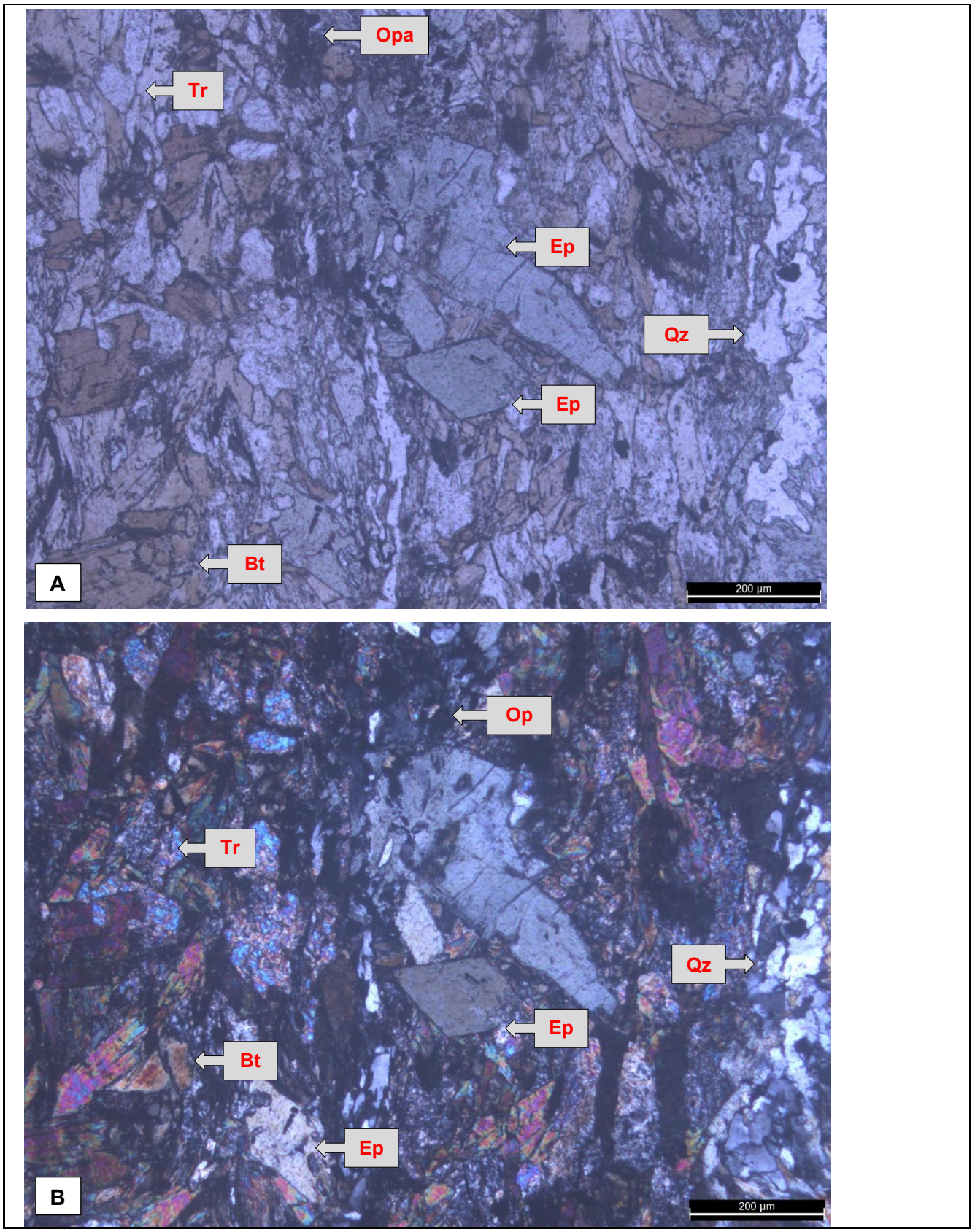
Opacos: Pirrotita (5%) + Ilmenita (3%) + Pirita (1%)

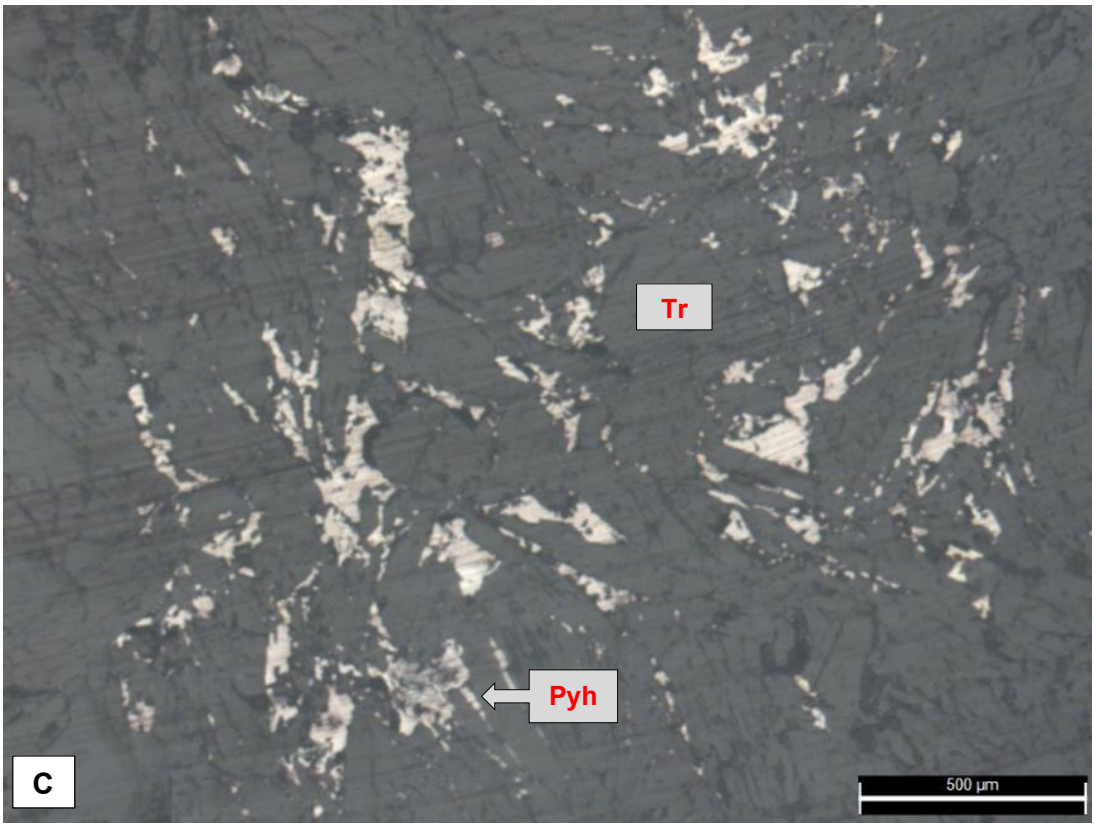
Rocha de granulação fina a média com textura granolepidogranoblástica. Apresenta um bandamento composicional irregular, definido pela alternância de níveis de biotita, tremolita, quartzo e clorita.

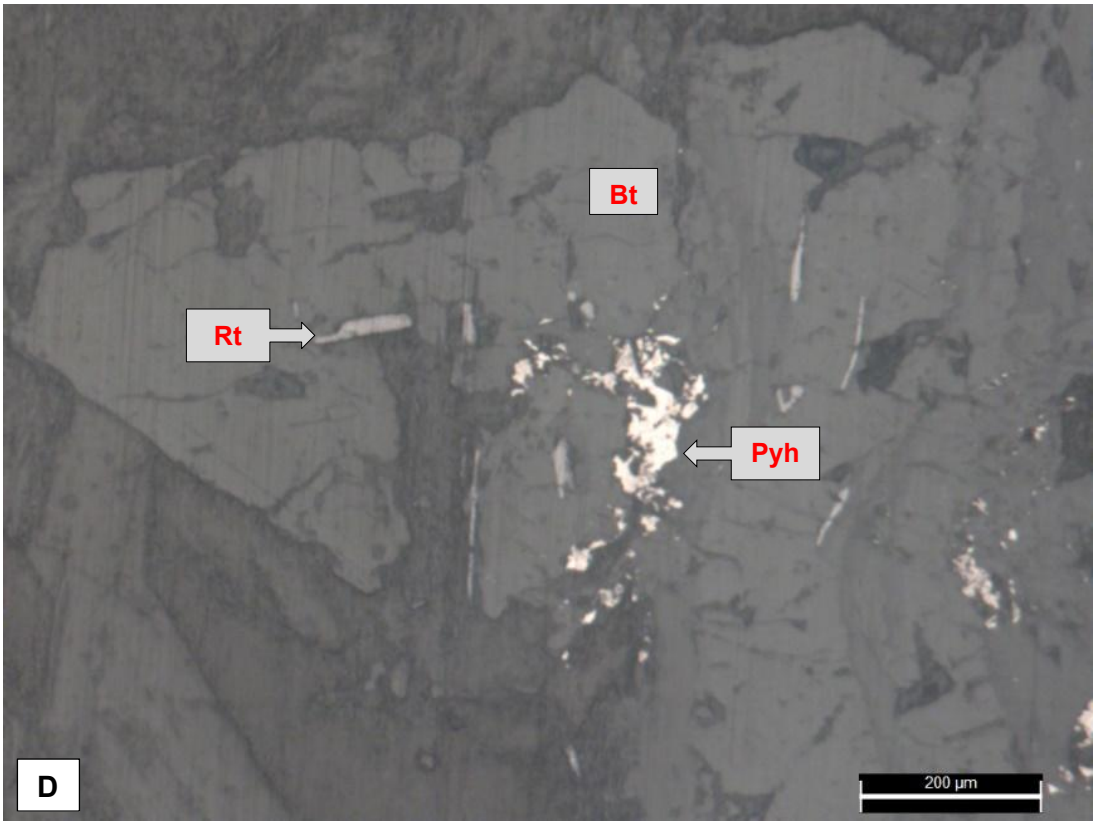
I. A biotita é o principal constituinte da matriz, sendo observada marcando a foliação e aparentemente deformada. Os cristais ocorrem em tom marrom, são anédricos, sem orientação definida, com clivagem perfeita, extinção mosqueada e localmente cloritizados. A tremolita apresenta-se formando agregados radiais, em prismas incolores a verde-pálidos, com relevo moderado e elevada birrefringência. O quartzo ocorre em cristais cinza, granoblásticos, agrupados em bandas. A clorita é observada fina, variando de verde-claro a incolor, associada à tremolita e biotita. O epidoto é observado em cristais ortorrômbicos, verde-pálidos, granulares de tamanho grosso a fino, apresentando relevo alto e, ao cruzamento dos nicóis, exibe cores anômalas em azul-cinza.

II. A pirrotita é abundante, sendo observada preenchendo espaços entre cristais e clivagens de anfibólio, em cristais anédricos. O rutilo ocorre como cristais extremamente pequenos e aciculares, por vezes preenchendo interstícios dos cristais grossos de biotita. Em luz transmitida, os cristais de rutilo são observados em tom marrom escuro, normalmente com fraco pleocroísmo. A pirita ocorre aparentemente intercrescendo com a pirrotita, em cristais extremamente finos e anédricos. Obs: Dada a associação mineral, o sistema cristalino ortorrômbico e a birrefringência mais baixa, o epidoto descrito acima é interpretado como zoisita, pertencente à série da clinozoisita.

A pirrotita aparentemente sobrecresce sobre os anfibólios. São observados dois tipos de biotita: a primeira é mais fina e subparalela à foliação, de origem metamórfica; a segunda é de origem hidrotermal, sendo mais grossa e sem orientação definida.
Fotomicrografias


Opa
Tr
Ep
Qz
Ep
Bt
A
200 µm
Op
Tr
Qz
Ep
Bt
Ep
B
200 µm





Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos; e d) paralelos

Objetivas: a) 5x; b) 5x; c) 10x e d) 10x

Nome da Rocha: Quartzo-tremolita-biotita xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado – Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBR025-AM01 (delgada) **Drillhole ID:** FCBR0025

Petrógrafo: Walace Fernandes **Profundidade (m):** 40.2

Tipo de Amostra: Testemunho **Teor Au (ppm):** 0.08

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Quartzo-anfibólio xisto - Rocha fresca de coloração verde-média, laminada a bandada, intercalando bandas silicosas e bandas com anfibólio grosso. Apresenta frequentes vênulas de quartzo-carbonato discordantes em relação á foliação.

Foto da Amostra	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Hornblenda (45%) + Quartzo (30%) + Carbonato (10%)

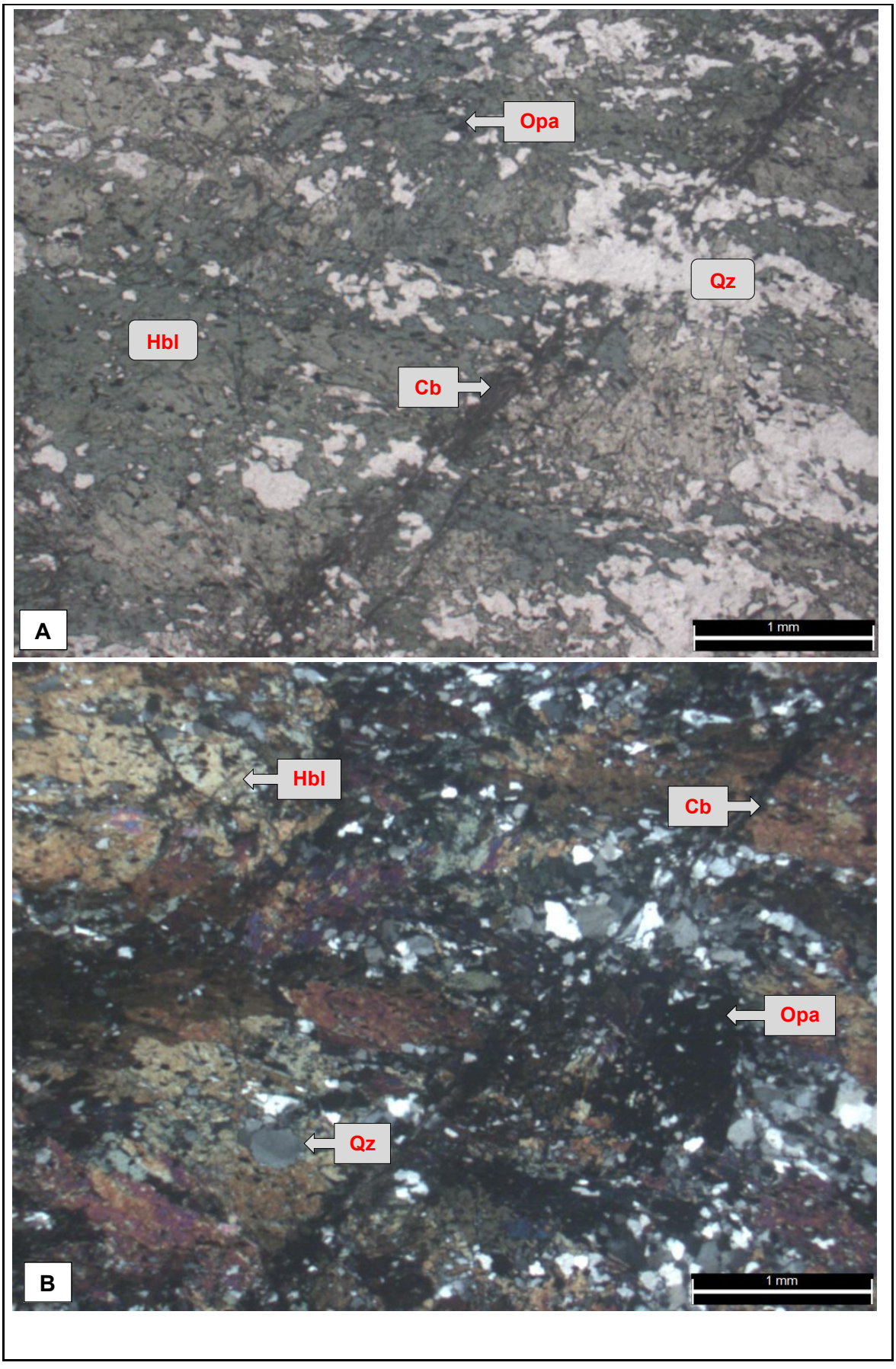
Opacos: Rutilo (7%) + Pirrotita (4%) + Calcopirita (2%) + Pirita (1%) + Petlandita (1%) + Esfarelita (<1%)

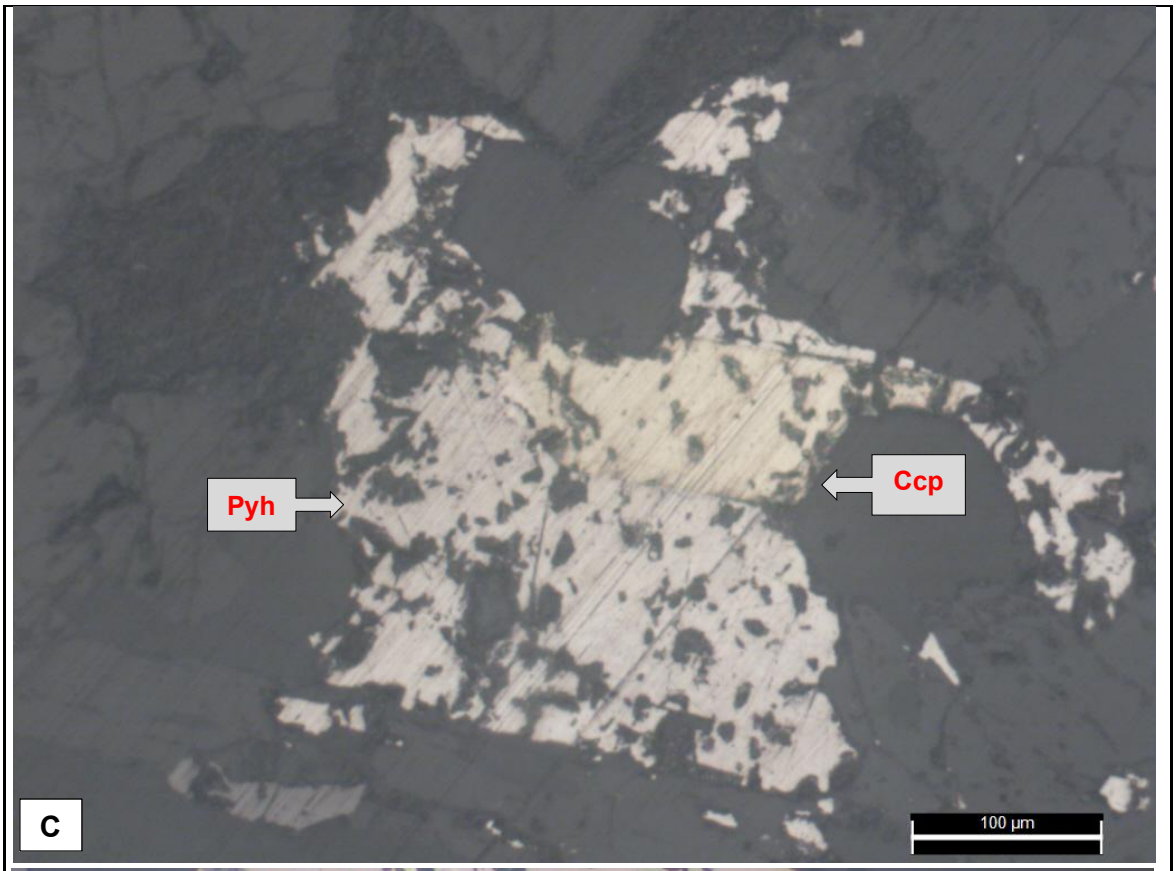
Rocha de granulação fina a grossa, com textura nematoblástica e presença de vênulas.

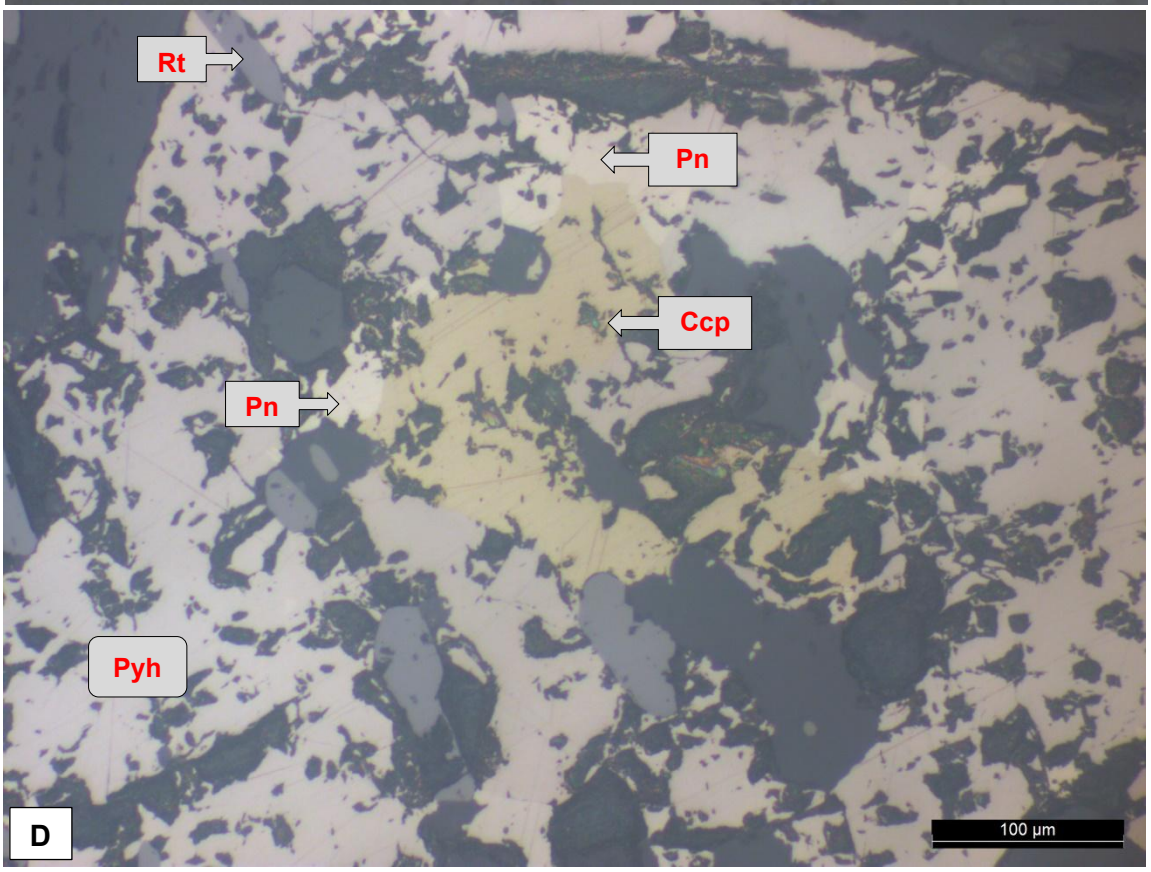
I. A hornblenda constitui o principal mineral da rocha. Os cristais são observados em tamanhos variando de finos a grossos, com formas prismáticas, às vezes granulares, euédricos a subédricos. Apresenta forte pleocroísmo, variando de verde-escuro a amarelado, com relevo moderado a alto. O quartzo ocorre em cristais finos a médios, anédricos, com extinção ondulante. São observados dois tipos de carbonato. O primeiro tipo ocorre em cristais incolores, anédricos, com duas direções de clivagem perfeitas, maclas e pleocroísmo de relevo. O segundo tipo é encontrado de forma localizada, em vênulas que intersectam a matriz, com cristais extremamente finos e límpidos.

II. O rutilo é o óxido mais abundante, ocorrendo de modo intersticial nas hornblendas e associado à pirrotita. É observado em lamelas extremamente finas e, por vezes, tabulares, aparentemente orientadas segundo a foliação. A pirrotita é observada em cristais finos, euédricos a subédricos, com forte anisotropia. A calcopirita é encontrada em associação com a pirrotita, com cristais de cor amarelo-forte e subédricos. A pirita ocorre em cristais de granulação média a grossa e em contato por substituição com a pirrotita. Petlandita ocorre nas bordas da calcopirita, aparentemente substituindo a pirrotita em cristais de tom amarelo-bronze claro, xenomórficos e com boa

refletividade. A esfalerita é observada em cristais finos, acinzentados, subarredondados, anédricos e em íntima associação com a pirrotita. **Obs:**
Fotomicrografias


Opa
Qz
Hbl
Cb
A
1 mm
Hbl
Cb
Opa
Qz
B
1 mm





Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos e d) paralelos

Objetivas: a) 2.5x; b) 2.5x, c)20x e d) 20x

Nome da Rocha: Carbonato-quartzo-hornblenda xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado – Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBR025-AM02 (delgada) **Drillhole ID:** FCBR0025

Petrógrafo: Walace Fernandes **Profundidade (m):** 43.8

Tipo de Amostra: Testemunho **Teor Au (ppm):** 0.05

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Anfibólio-quartzo xisto - Rocha fresca de coloração verde-média, laminada a bandada, intercalando bandas silicosas e bandas com anfibólio grosso. Apresenta frequentes vênulas de quartzo e quartzo-carbonato discordantes em relação à foliação.

Foto da Amostra	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Quartzo (47%) + Hornblenda (35%)

Opacos: Ilmentita (10%) + Pirrotita (5%) + Magnetita (2%) + Calcopirita (1%)

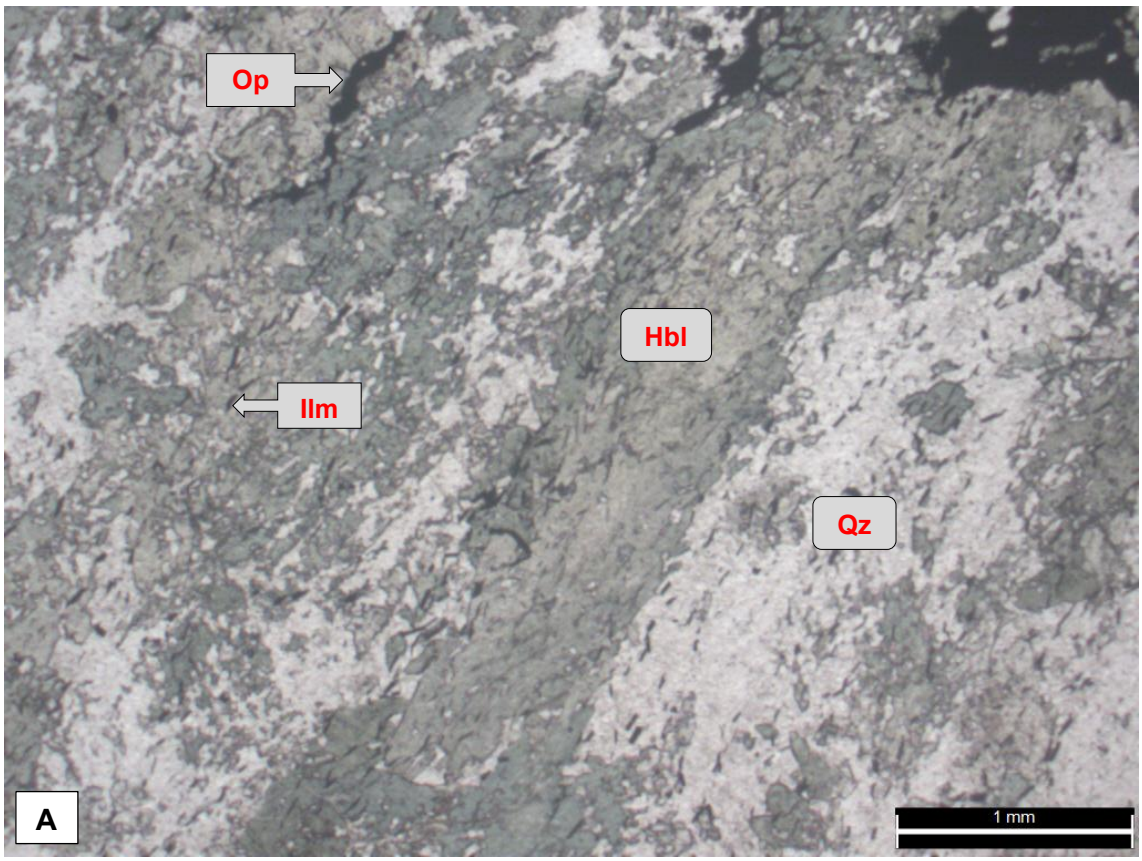
Rocha lepidoblástica de granulação fina a média.

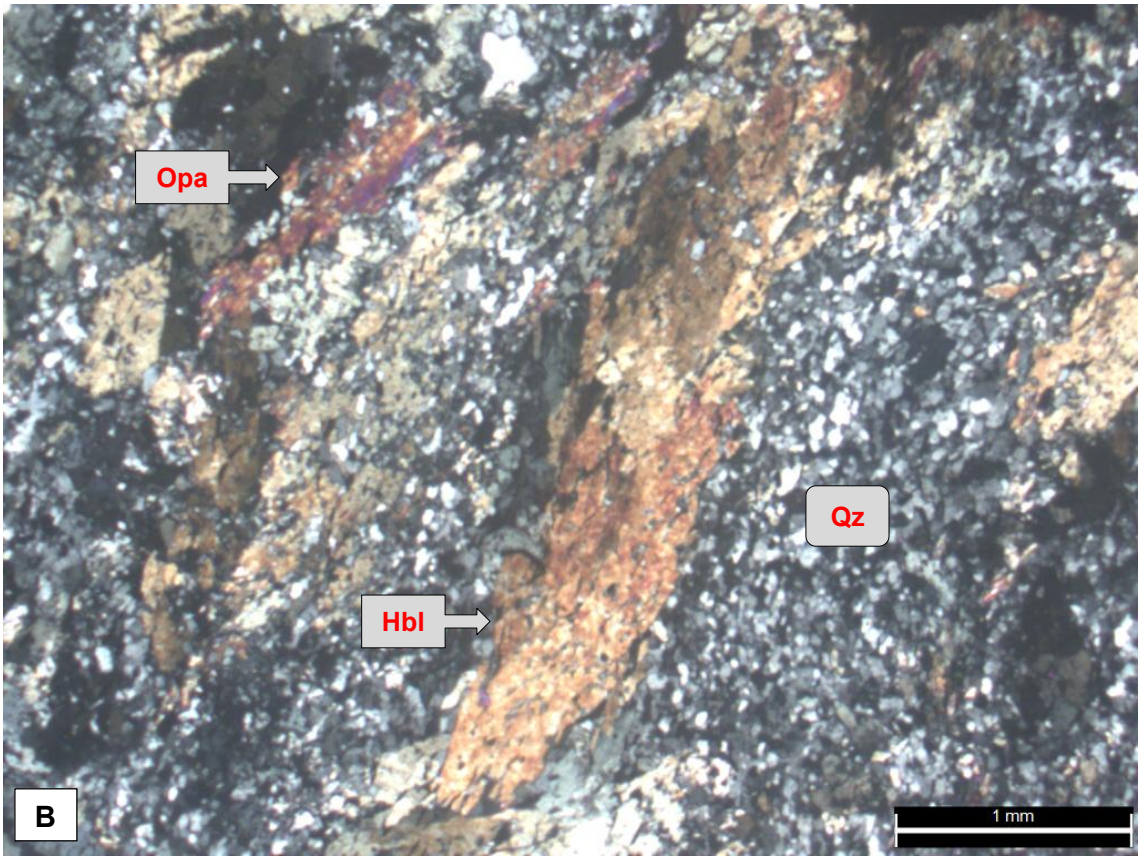
I. O quartzo constitui o principal mineral da rocha, apresentando-se em cristais finos a grossos, formando agregados poligonais, com contatos retilíneos a côncavo-convexos e extinção ondulante. A hornblenda é observada em cristais finos a grossos, prismáticos, às vezes granulares, com formas anédricas a subédricas. Nota-se forte pleocroísmo, variando de verde a amarelado, com relevo moderado a alto. Minerais opacos são observados sobre a hornblenda, sobressaindo e preenchendo suas microfraturas.

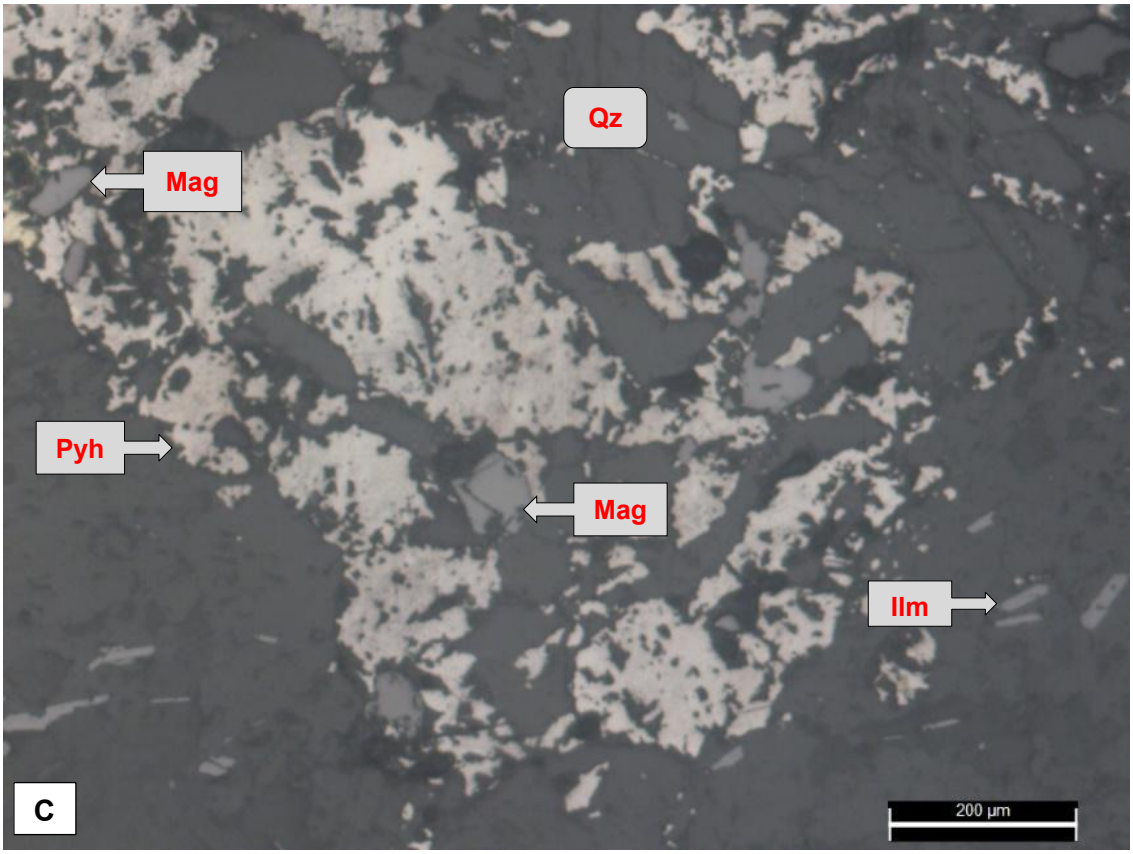
II. A ilmenita ocorre em cristais lamelares, cinza-acastanhados, extremamente finos, dispersos na matriz e alinhados com a foliação. A pirrotita se apresenta em cristais grossos, anédricos e disformes, com forte anisotropia e cor de reflexão em tons marrons e amarelados. A magnetita ocorre em cristais finos, cinza, subédricos; sob luz transmitida, é observada como opaca. A calcopirita é observada em cristais finos, anédricos a subédricos, e em intercrescimento com a pirrotita.

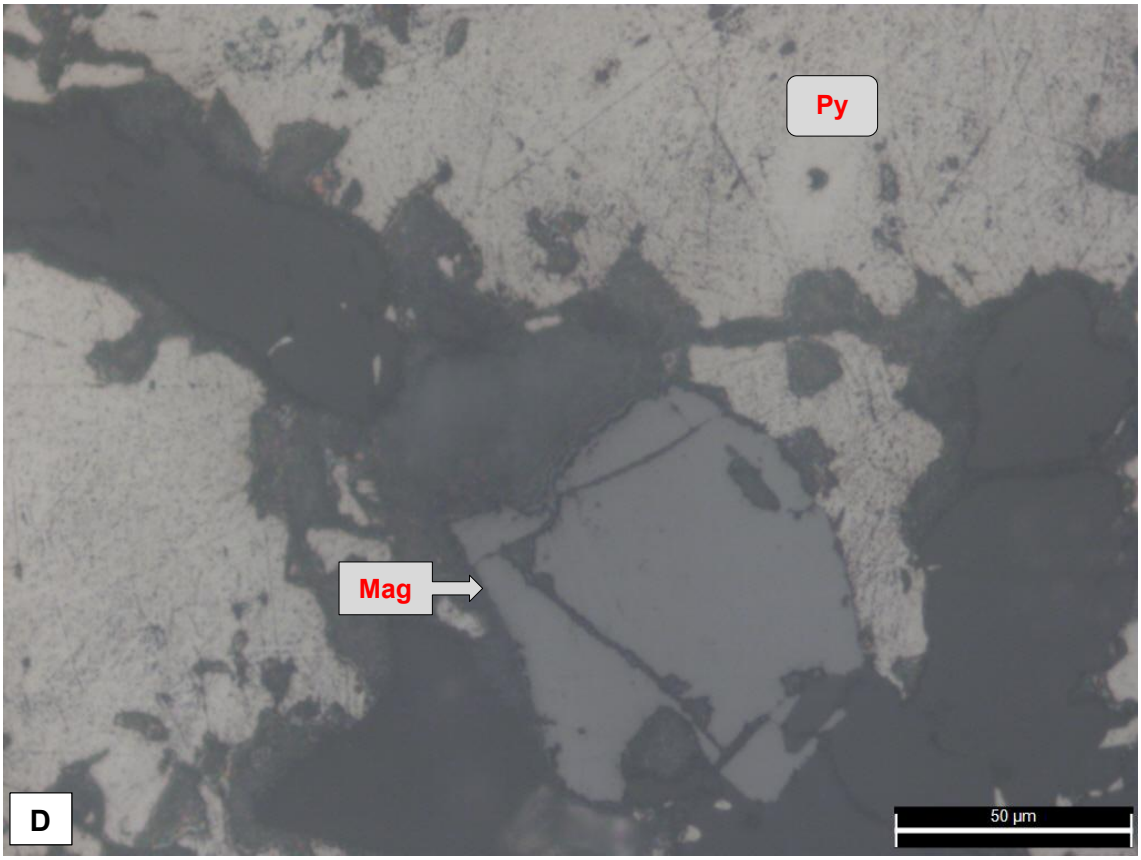
Obs: A magnetita e a calcopirita são observadas em aparente equilíbrio textural com a pirrotita.

Fotomicrografias









Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos e d) paralelos

Objetivas: a) 2.5x; b) 10x; c) 10x e d) 50x

Nome da Rocha: Hornblenda-quartzo – xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado – Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBR06-AM-03 **Drillhole ID:** FCBR006

Petrógrafo: Walace Fernandes **Profundidade (m):** 48.9

Tipo de Amostra: Testemunho **Teor Au (ppm):** 0.28

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Quartzo-carbonato-sericita xisto - Rocha sã de coloração verde-média a cinza-clara, laminada e foliada, intercalando possível metachert. Apresenta lâminas com biotita e vênulas frequentes de carbonato, fortemente dobradas. Sulfetação fina e pontual, com pirrotita disseminada.

Foto da Amostra	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Carbonato (50%) + Biotita (20%) + Clorita (20%) + Quartzo (3%)

Opacos: Rutilo (4%) + Pirrotita (3%) + Arsenopirita (1%)

Rocha granolepidoblástica extremamente fina e inequigranular.

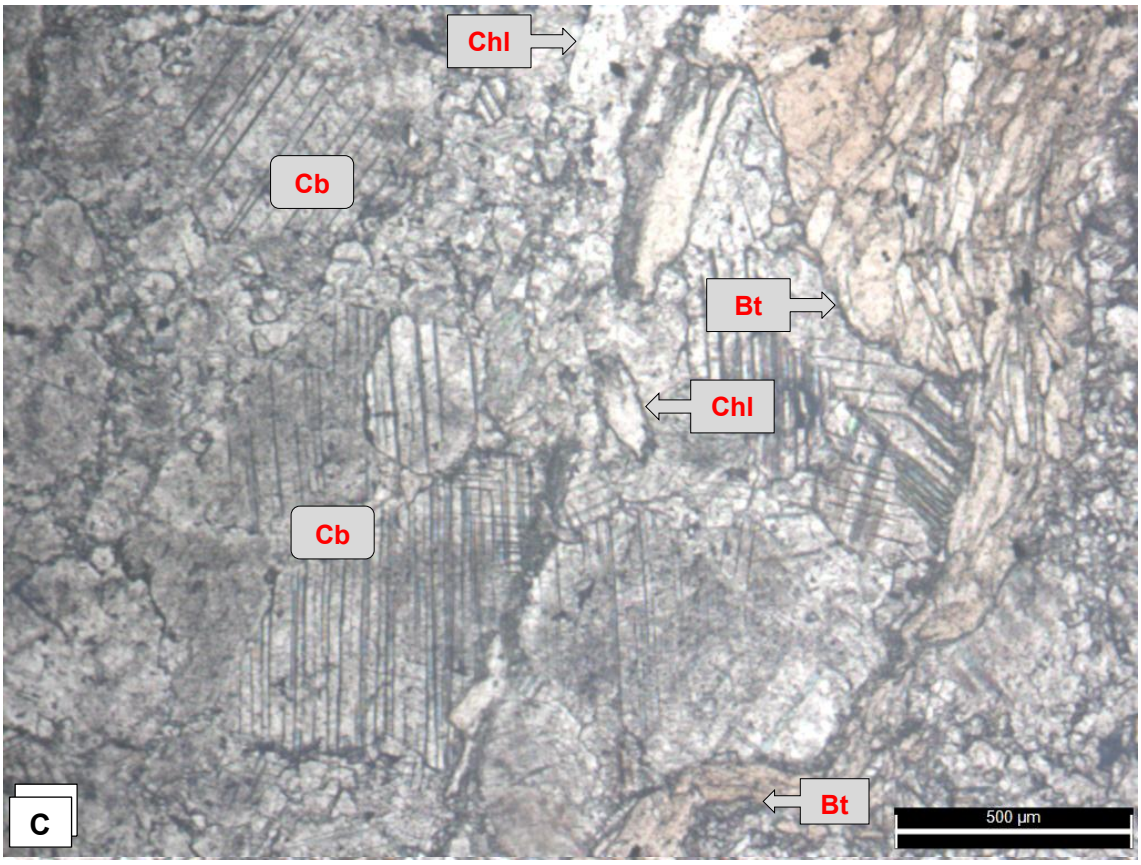
I. O carbonato é o principal constituinte da matriz, apresentando cristais incolores, finos a grossos, subédricos a anédricos, onde podem ser observadas maclas e pleocroísmo de relevo. O quartzo é observado em cristais incolores, finos a médios, com extinção ondulante. A biotita ocorre em veios aparentemente dobrados, marcando a foliação, com cristais amarronzados, grossos a finos, anédricos a subédricos, exibindo clivagem perfeita e extinção mosqueada. A clorita ocorre bordejando a biotita, em cristais finos, tabulares pseudohexagonais, com cor de interferência anômala cinza.

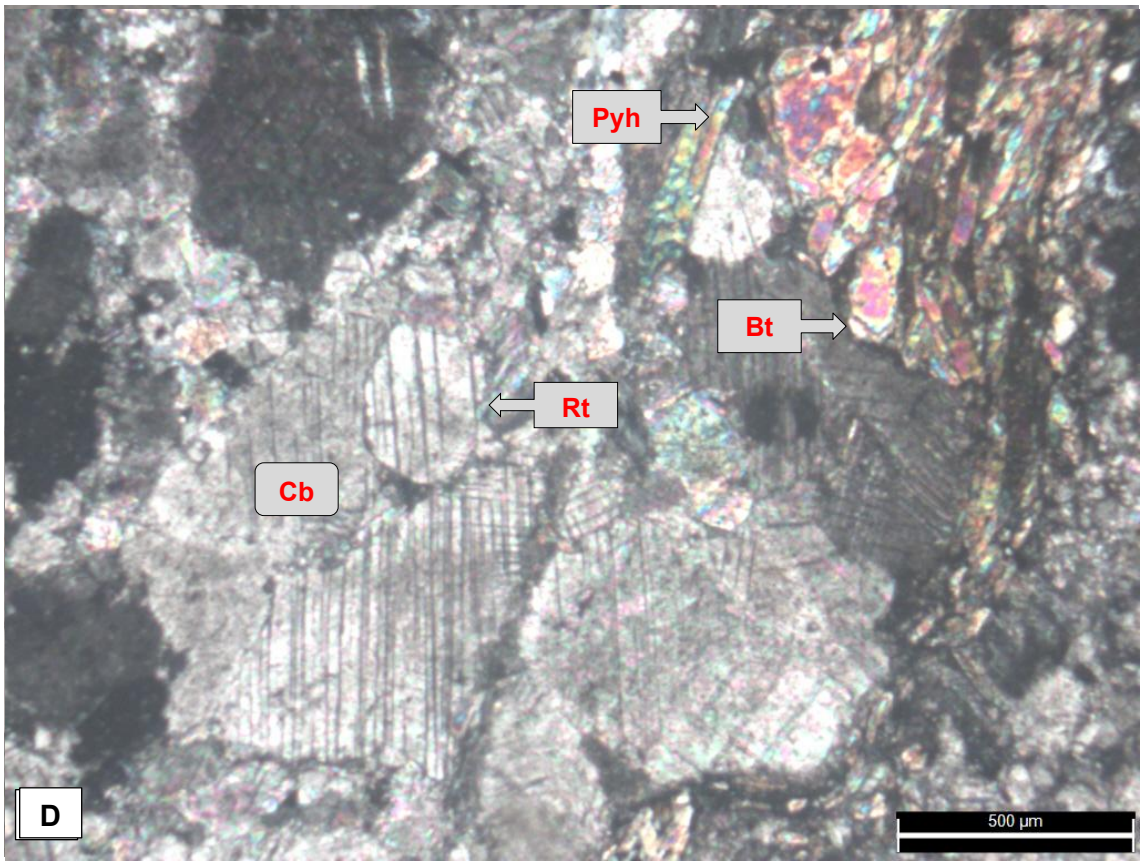
II. O rutilo ocorre em cristais extremamente finos e subédricos, que em luz transmitida são observados em tom marrom. A pirrotita ocorre em feixes aparentemente dobrados, distribuída de forma heterogênea, presente em massas cloríticas e biotíticas. Os cristais de pirrotita são amarelo-

amarronzados, anédricos e finos, com anisotropia variando entre cinza azulado e marrom-avermelhado. Arsenopirita é observada associada a biotita, em cristais finos disseminados, em tom cinza do aço e refletividade muito luminosa.

Obs: A relação textural entre a clorita e a biotita é de substituição.

Fotomicrografias





Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos e d) paralelos **Objetivas:** a) 5x; b) 5x; c) 5x e d) 10x

Nome da Rocha: Clorita-biotita-carbonato xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes
Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBR06-AM01 **Drillhole ID:** FCBR006

Petrógrafo: Walace Fernandes **Profundidade (m):** 58.6

Tipo de Amostra: Testemunho **Teor Au (ppm):** 2.42

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Clorita-quartzo xisto - Rocha sã de coloração verde-média, laminada e foliada, relativamente preservada. Rica em vênulas e veios de quartzo-carbonato, essencialmente paralelos à laminação, com algumas estruturas subordinadamente discordantes. Localmente, ocorrem veios ou injeções de biotita (?), com quartzo.

Foto da Amostra	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Clorita (39%) + Tremolita (30%) + Quartzo (10%) + Turmalina (3%) + Epidoto (2%) plagioclasio (1%)

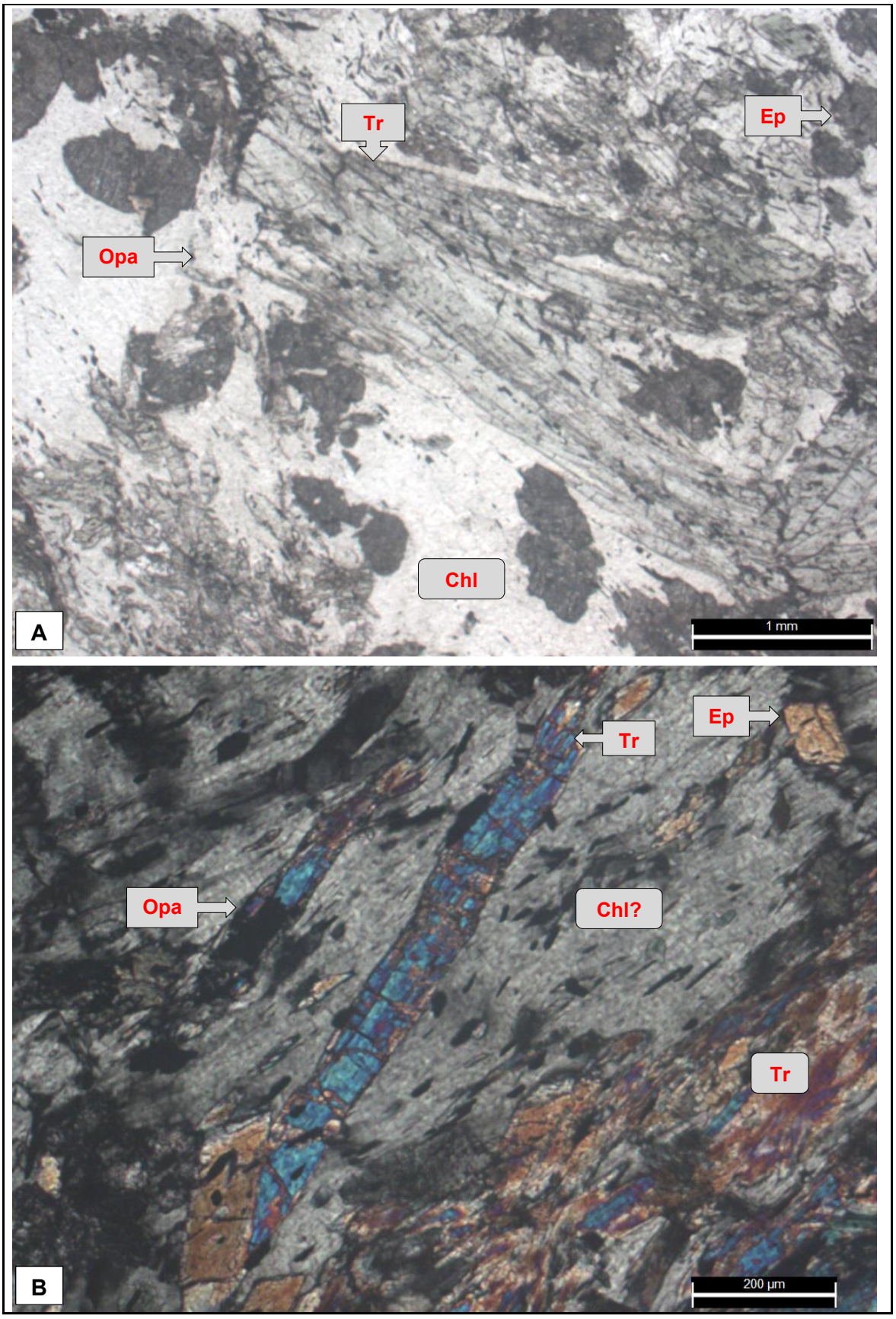
Opacos: Pirrotita (10%) + Ilmenita (5%) + Calcopirita (1<%)

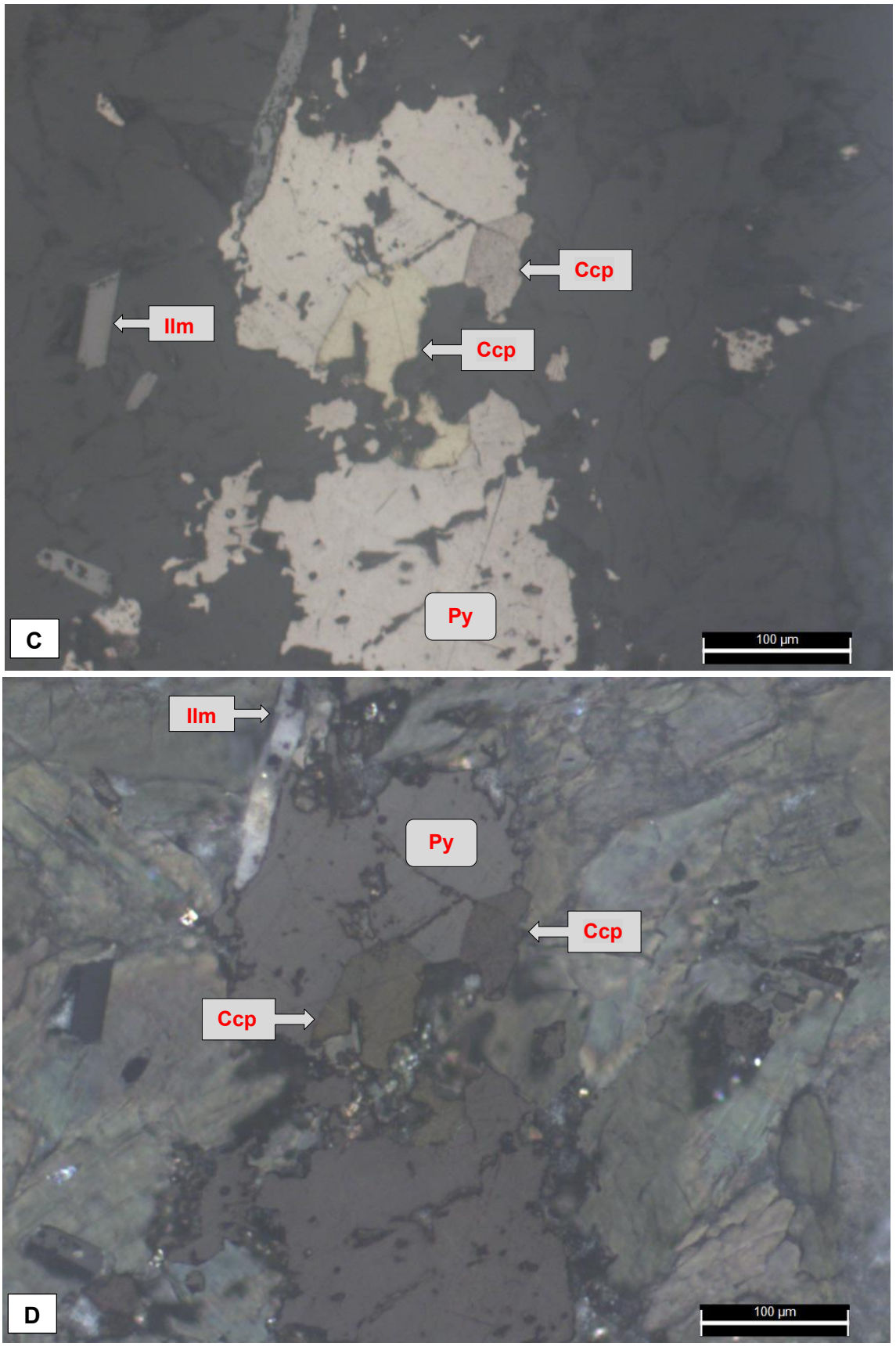
Rocha nematoblástica de granulação fina a grossa, com matriz deformada.

I. A clorita é o principal constituinte da rocha, ocorrendo incolor, raramente com cores verde pálidas, formando agregados lamelares, com fraco pleocroísmo em tons de verde e relevo baixo. A tremolita é observada formando agregados fibrosos; os cristais são incolores, finos a grossos, com relevo médio a alto. Em geral, os cristais são prismáticos, às vezes longos ou em seções basais, apresentando fraturas preenchidas por minerais opacos finos. Os cristais de quartzo ocorrem em veios, sendo observados como cristais acinzentados límpidos, finos a grossos, anédricos e apresentando extinção ondulante. A turmalina é observada em cristais finos a grossos, granulares, por vezes em seção basal, com faces abauladas, apresentando fraco pleocroísmo de azul a esverdeado, relevo médio-alto e com inclusões. O epidoto é observado em cristais alterados, anédricos, com alto relevo, mostrando cores de interferência intensas e zonadas, variando de azul a amarelo. O plagioclásio ocorre em cristais finos incolores, subédricos a anédricos e em processo de sassuritização para epidoto.

II. A pirrotita se apresenta em relação de equilíbrio com a calcopirita; os cristais são finos, anédricos,

com anisotropia variando de cinza a marrom-vermelho. A calcopirita ocorre intercrescida nas bordas da pirrotita, em cristais finos e subédricos. A ilmenita ocorre em cristais extremamente finos, tabulares a lamelares, subparalelos à foliação ou inclusos em interstícios de cristais de anfibólio.
Fotomicrografias


Tr
Ep
Opa
Chl
A
1 mm
Ep
Tr
Opa
Chl?
Tr
B
200 µm



Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos; d) cruzados **Objetivas: a)** 10x, b) 20x; c) 20x; e , d) 20x

Nome da Rocha: Quartzo-tremolita-clorita xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBR06-AM02 **Drillhole ID:** FCBR006

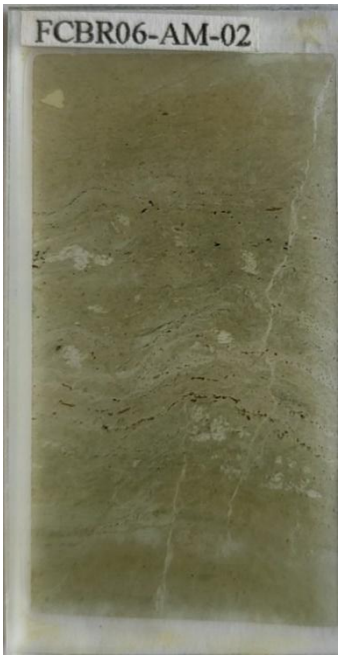
Petrógrafo: Walace Fernandes **Profundidade (m):** 59.6

Tipo de Amostra: Testemunho **Teor Au (ppm):** 0.11

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Clorita-quartzo xisto - Rocha sã de coloração verde-média, laminada e foliada, relativamente preservada. Rica em vênulas e veios de quartzo-carbonato, essencialmente paralelos à laminação, com algumas estruturas subordinadamente discordantes. Localmente, ocorrem veios ou injeções de biotita (?), com quartzo.

Foto da Amostra	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Actinolita/Tremolita (70%) + Clorita (20%) + Carbonato (5%) + Quartzo (2%)

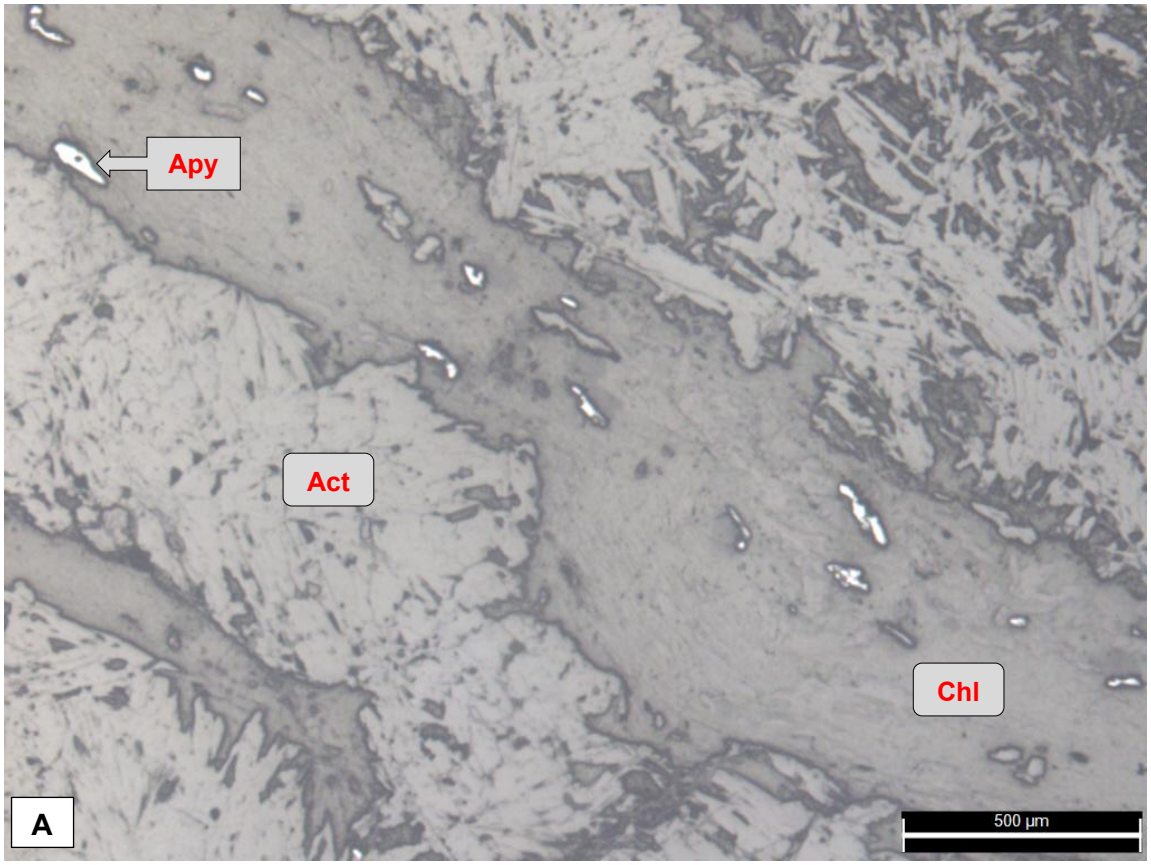
Opacos: Arsenopirita (2%) + Pirita (1%)

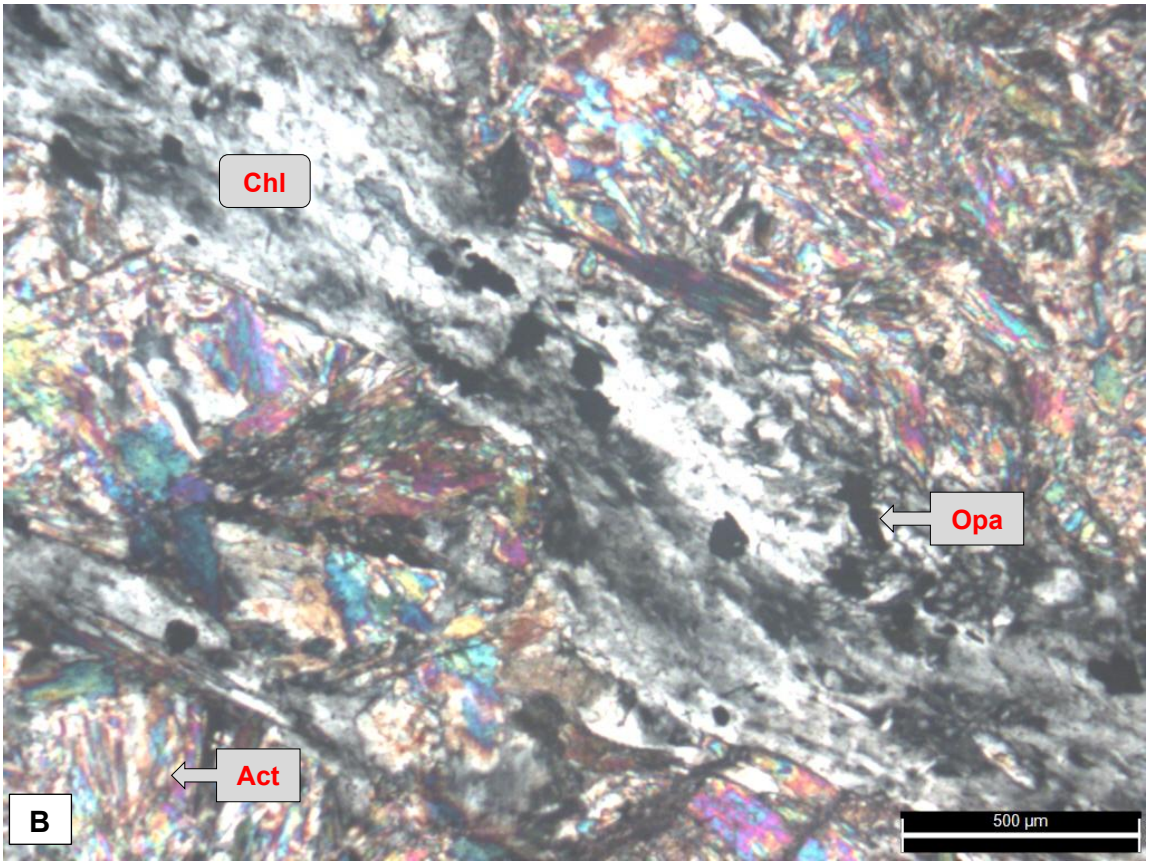
Rocha nematoblástica com matriz de granulação fina a média, venulada.

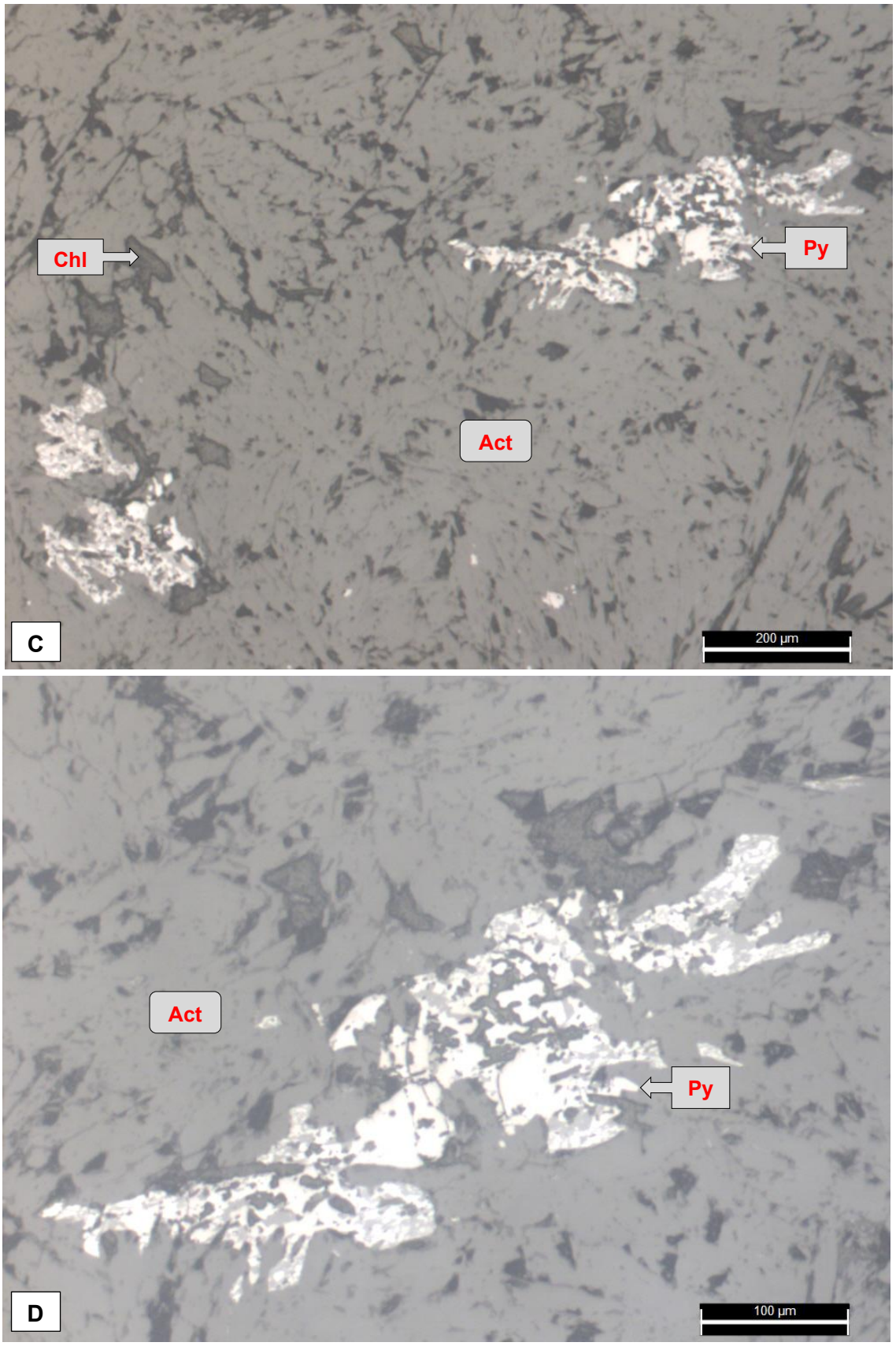
I. A rocha é composta principalmente por actinolita, que se apresenta em cristais verde pálidos, formando agregados fibrosos e radiais, finos a médios, prismáticos curtos, e por vezes longos. A actinolita possui relevo moderado e cores brilhantes de birrefringência de primeira ordem. É frequentemente poiquiloblástica e está em leve processo de alteração pela clorita. A clorita ocorre de forma foliada, com cor de interferência anômala cinza e apresentando discreto pleocroísmo. O carbonato e o quartzo aparecem em cristais extremamente finos, formando vênulas delgadas que cortam a foliação.

II. A arsenopirita é observada como branca ou levemente amarelada, subparalela à foliação e associada a microbandas de clorita. Ocorre em cristais extremamente finos, granulares e anédricos. A pirita é encontrada em cristais dispersos entre a actinolita, apresentando coloração de branca a amarelada e também sendo anédrica.

Fotomicrografias







Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos e d) paralelos **Objetivas:** a) 5x, b) 5x c) 10x e d) 20x

Nome da Rocha: Carbonato-clorita-actinolita/tremolita xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBR08-AM01

Drillhole ID: FCBR008

Petrógrafo: Walace Fernandes

Profundidade (m): 43.8

Teor Au (ppm): 1.16

Tipo de Amostra: Testemunho

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Quartzo-clorita-sericita xisto - Rocha sã de coloração cinza-clara a esbranquiçada, apresentando uma estrutura laminada. Os primeiros metros são ligeiramente lixiviados. A rocha possui frequentes lâminas de biotita, com algumas porções subordinadas de clorita. Vênulas de carbonato estão presentes, sem orientação preferencial.

Foto da Amostra	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

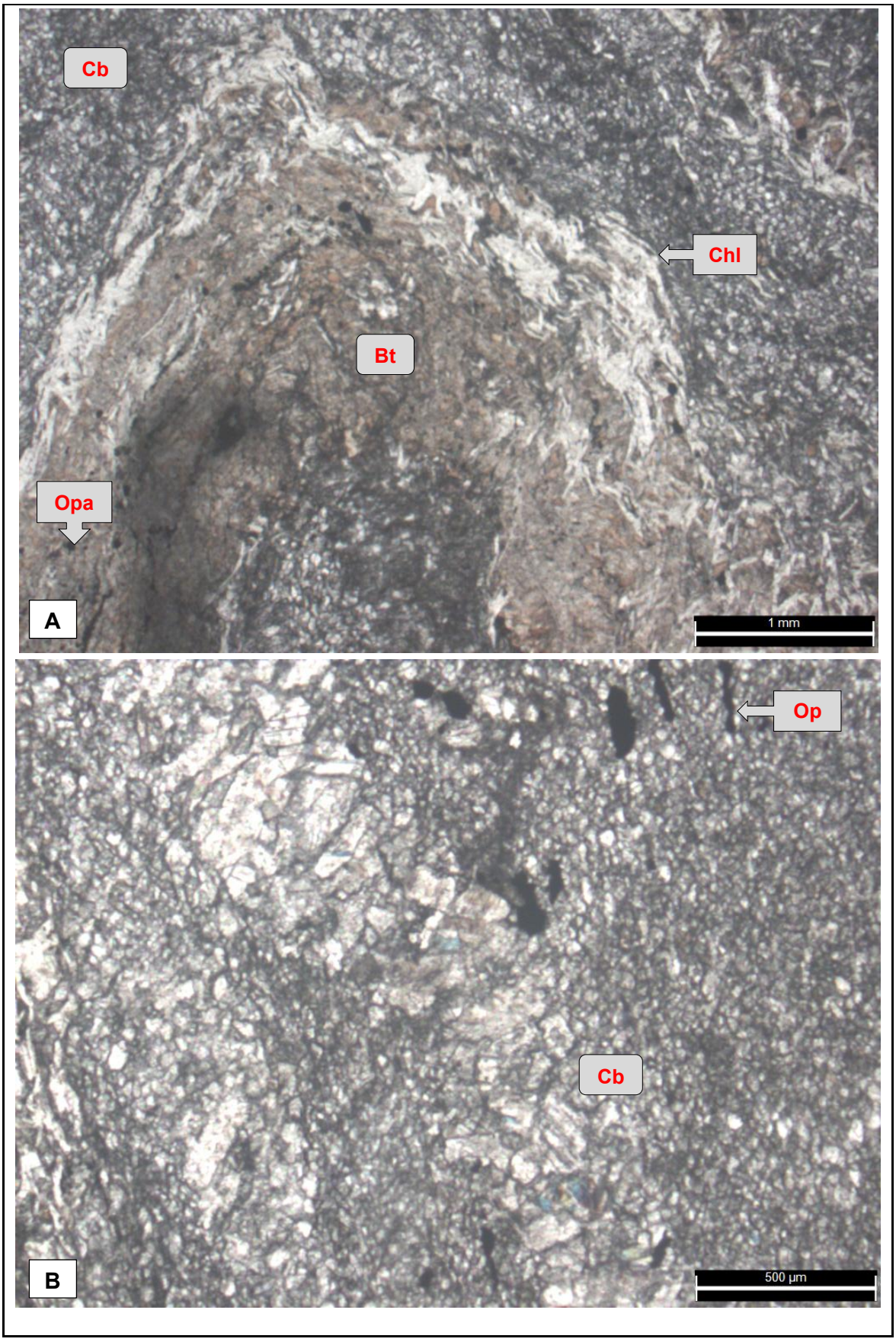
Transparentes: Clorita (30%) + Biotita (30%) Carbonato (26%) + Tremolita (5%) + Quartzo (2%)

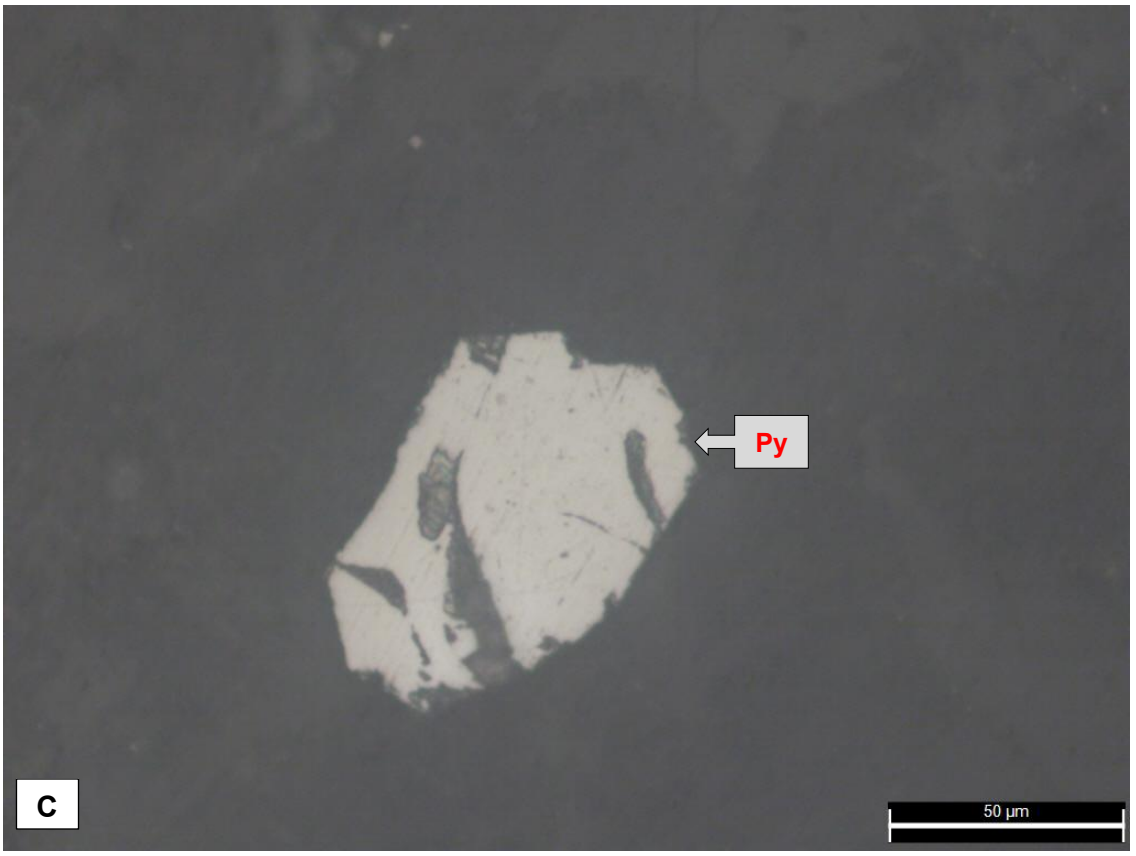
Opacos: Pirrotita (5%) + Pirita (2%)

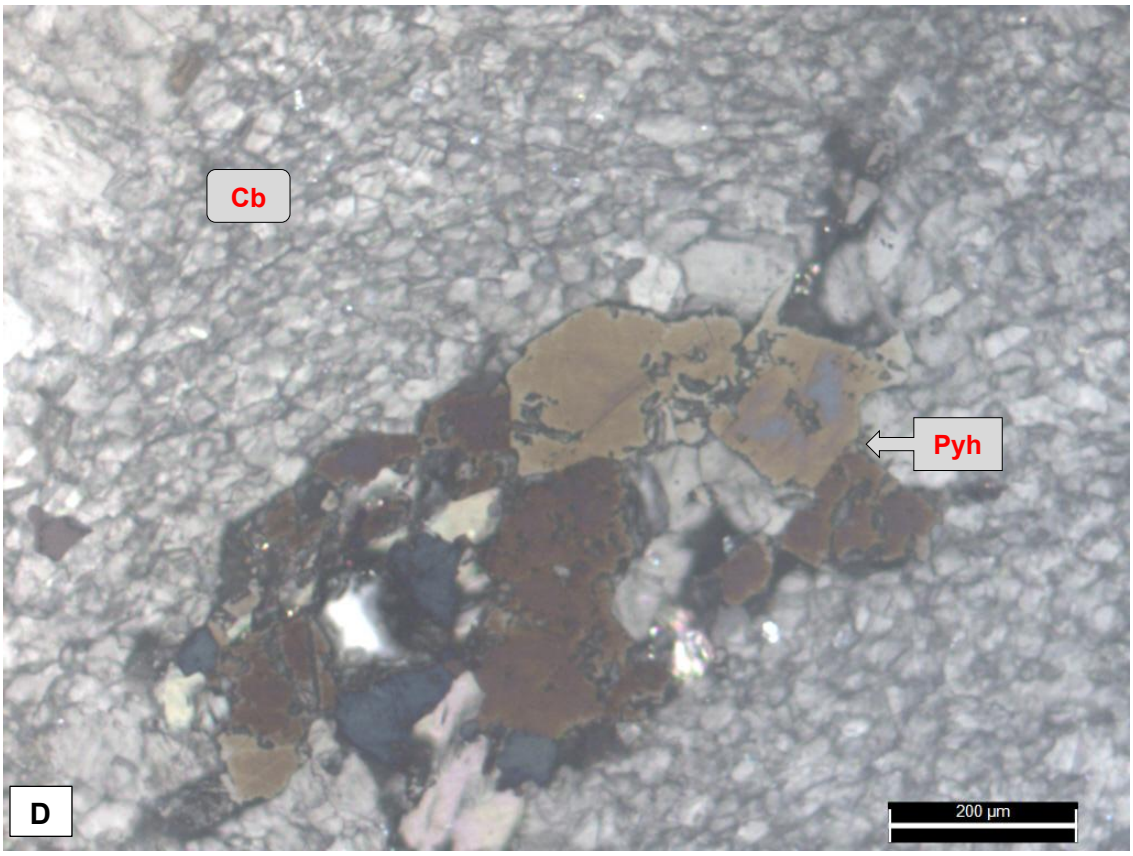
Rocha lepidoblástica com matriz de granulação fina, apresentando uma estrutura bandada e destacando-se por dobras milimétricas abertas.

I. A clorita magnesiana é o principal constituinte da rocha, observada como incolor, em agregados finos a médios, com extinção pseudo-paralela e não mosqueada, e com cor de interferência cinza. A biotita ocorre em cristais micáceos marrons, sem orientação, apresentando forte pleocroísmo de claro para escuro e estando em processo de substituição por clorita. O carbonato é encontrado em cristais incolores, extremamente finos a médios. A tremolita é observada em relictos verde-claros a incolores, aparentemente alterados. O quartzo está presente entre os carbonatos, em veios e em cristais finos. O carbonato ocorre em formas anédricas a subédricas, geralmente com granulação fina, embora em

	vênulas sejam observados cristais mais grossos.
II.	A pirrotita e a pirita ocorrem disseminadas em vênulas de carbonato e quartzo, em uma relação de equilíbrio. Os cristais são extremamente finos, apresentando formas euédricas a subédricas.
Fotomicrografias	


Cb
Chl
Bt
Opa
A
1 mm
Op
Cb
B
500 µm





Polarizadores: a) paralelos s; b) paralelos; c) e d) **Objetivas: a)** 2.5x, b) 5x; c) 50x e d) 10x

Nome da Rocha: Carbonato-biotita-clorita – xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBS-03-AM01

Drillhole ID: FCBS003

Petrógrafo: Walace Fernandes

Profundidade (m): 69.0

Tipo de Amostra: Testemunho

Teor Au (ppm): 0.01

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Quartzo-carbonato-anfibólio- clorita xisto - Rocha de cor verde médio a escuro, com granulação predominantemente fina. Apresenta vênulas de carbonato brancas, essencialmente calcíticas, com rara sulfetação de pirrotita fina. Alguns níveis finos contêm cristais de anfibólio de poucos milímetros, enquanto outros aparentam possuir uma quantidade limitada de biotita.

Foto da Amostra



Foto da Lâmina



Descrição Microscópica

<u>Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)</u>

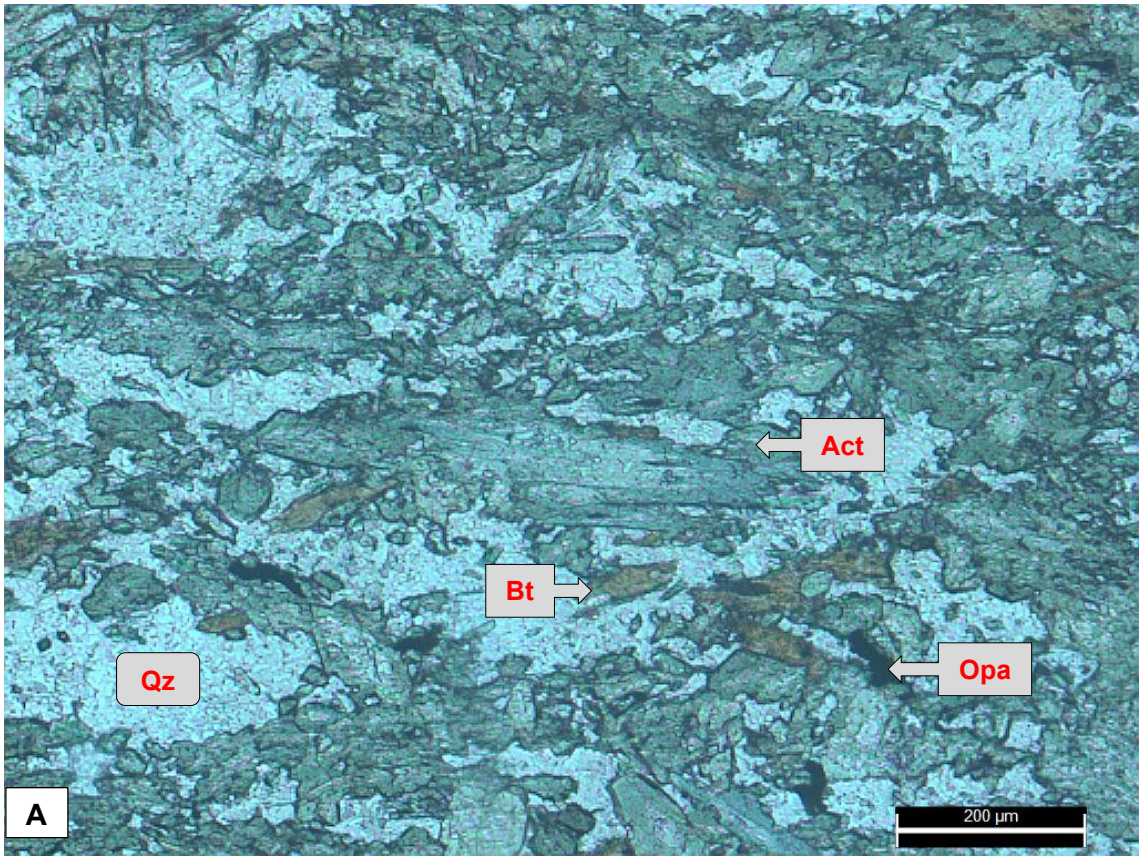
Transparentes: Actinolita (50%) + Quartzo (40%) + Carbonato (4%) + Biotita (1%

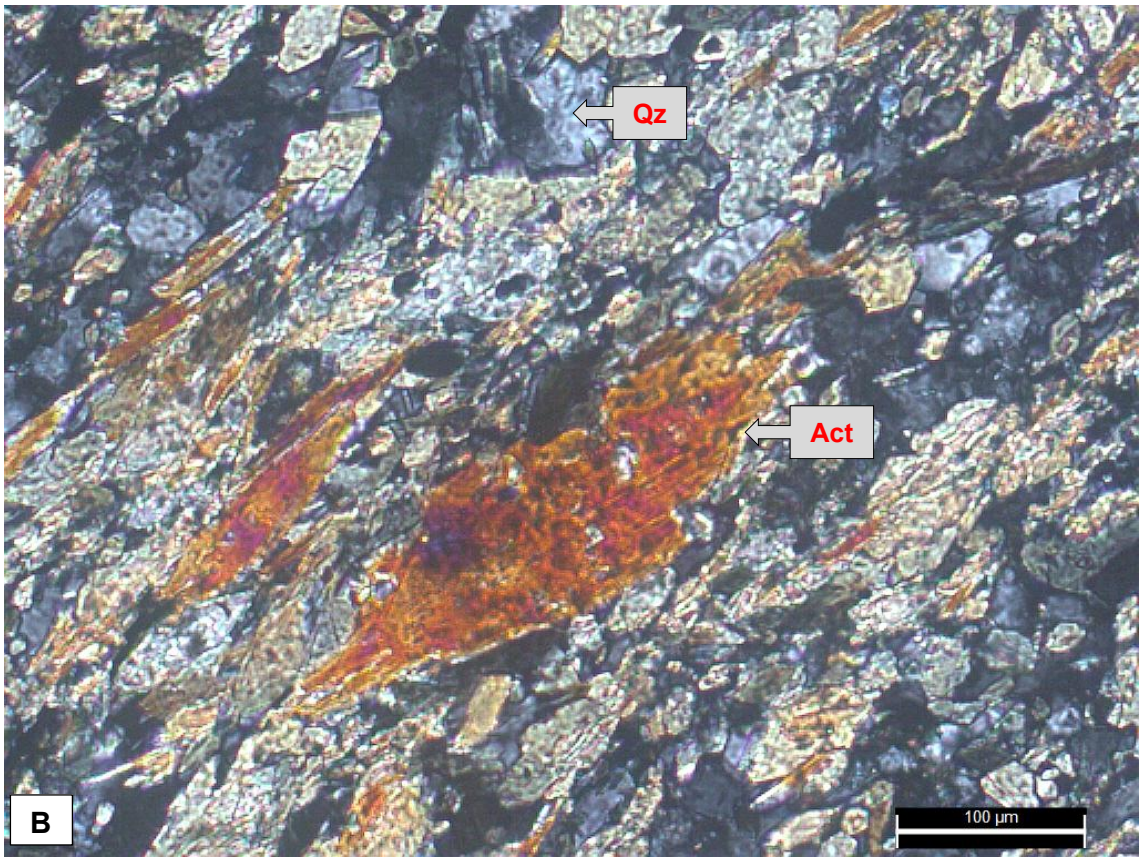
Opacos: Pirrotita (3%) + Pirita (1%) + Ilmenita (1%)

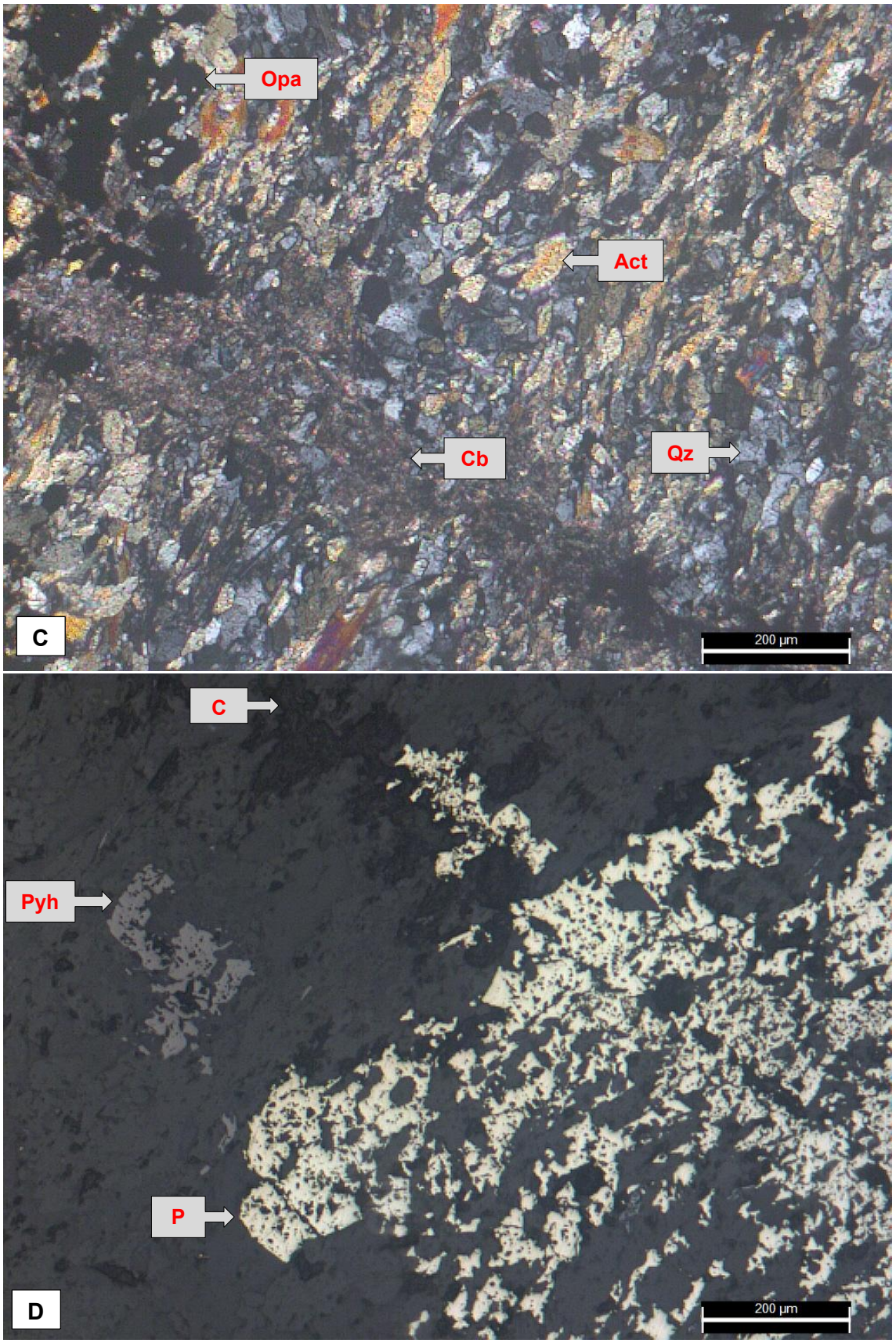
Rocha nematoblástica com matriz extremamente fina, foliada e venulada.

I. A actinolita ocorre em cristais verdes-azulados, pleocroicos de incolor a esverdeado, subédricos e prismáticos longos, apresentando relevo médio e cores de interferência amareladas. O quartzo é observado em cristais equigranulares, finos a grossos, intercalados na matriz com actinolita e apresentando extinção ondulante. O carbonato é observado em vênulas que cortam a foliação, em cristais finos e límpidos. A biotita é observada em cristais marrons, geralmente finos, bordejando a actinolita.
A pirrotita e a pirita ocorrem disseminadas na massa quartzosa, em cristais finos e euédricos. A pirita é observada associada às vênulas de carbonato, com cristais grossos e euédricos, em tons marrom-amarelado claro. A ilmenita é encontrada associada à actinolita, em cristais tabulares finos.

Fotomicrografias







Polarizadores: a) paralelos b)cruzados; c) cruzados e d) paralelos **Objetivas:** a) 10x, b) 20x; c) 10x e d) 10x

Nome da Rocha: Carbonato-quartzo-actinolita xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBS-03-AM02 **Drillhole ID:** FCBS003

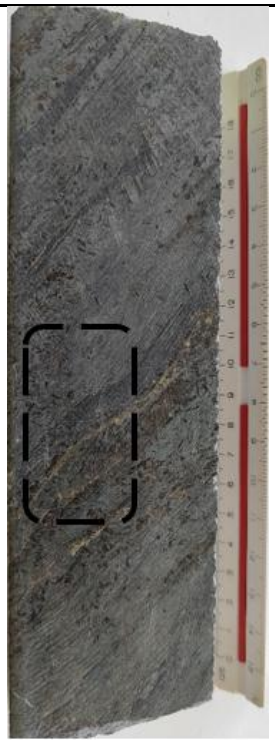
Petrógrafo: Walace Fernandes **Profundidade (m):** 75.85

Tipo de Amostra: Testemunho **Teor Au (ppm):** 0.18

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Biotita-anfibólio-clorita xisto - Rocha de coloração verde médio a escuro, com aspecto foliado. Apresenta níveis verdes de anfibólio de até alguns milímetros, orientados de acordo com a foliação principal. Também contém biotita, clorita e níveis cinza translúcido de sílica.

Foto da Amostra	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

<u>Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)</u>

Transparentes: Quartzo (40%) + Tremolita (27%) + Biotita (15%) + Turmalina (8%) + Clorita (5%)

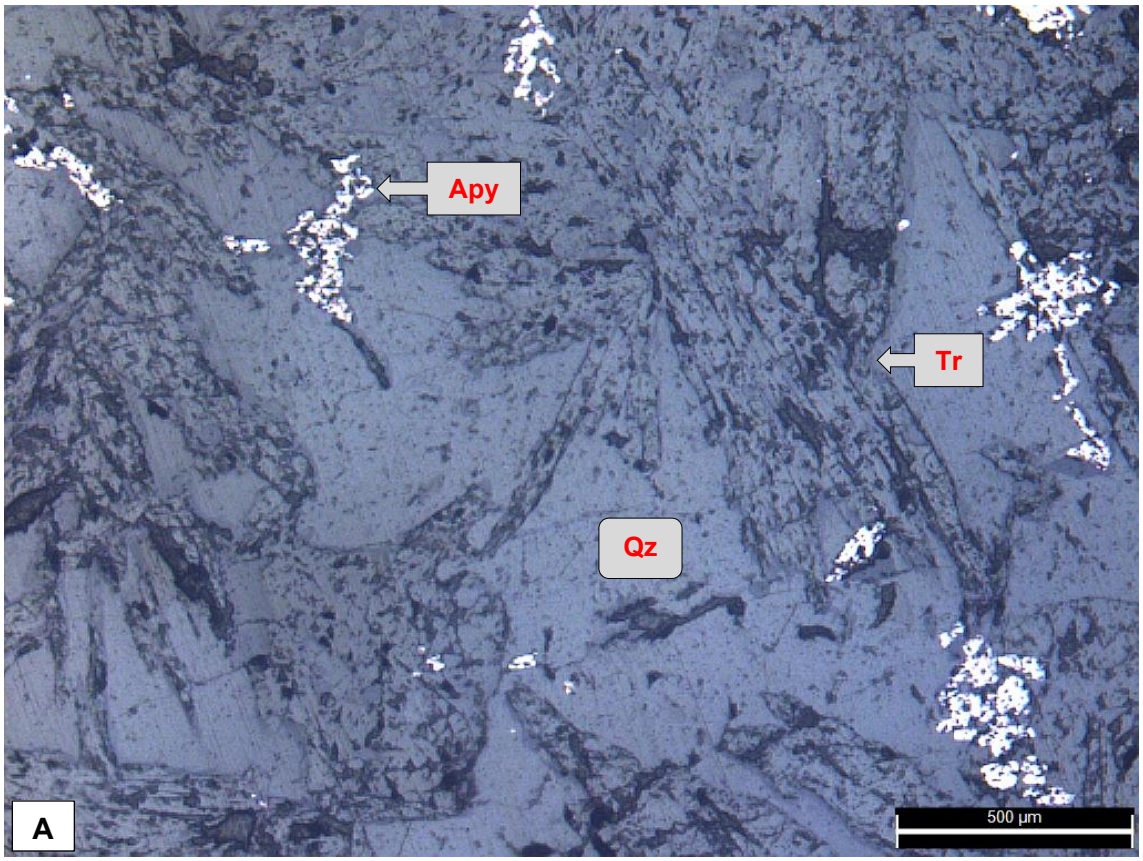
Opacos: Arsenopirita (4%) + Pirrotita (1%)

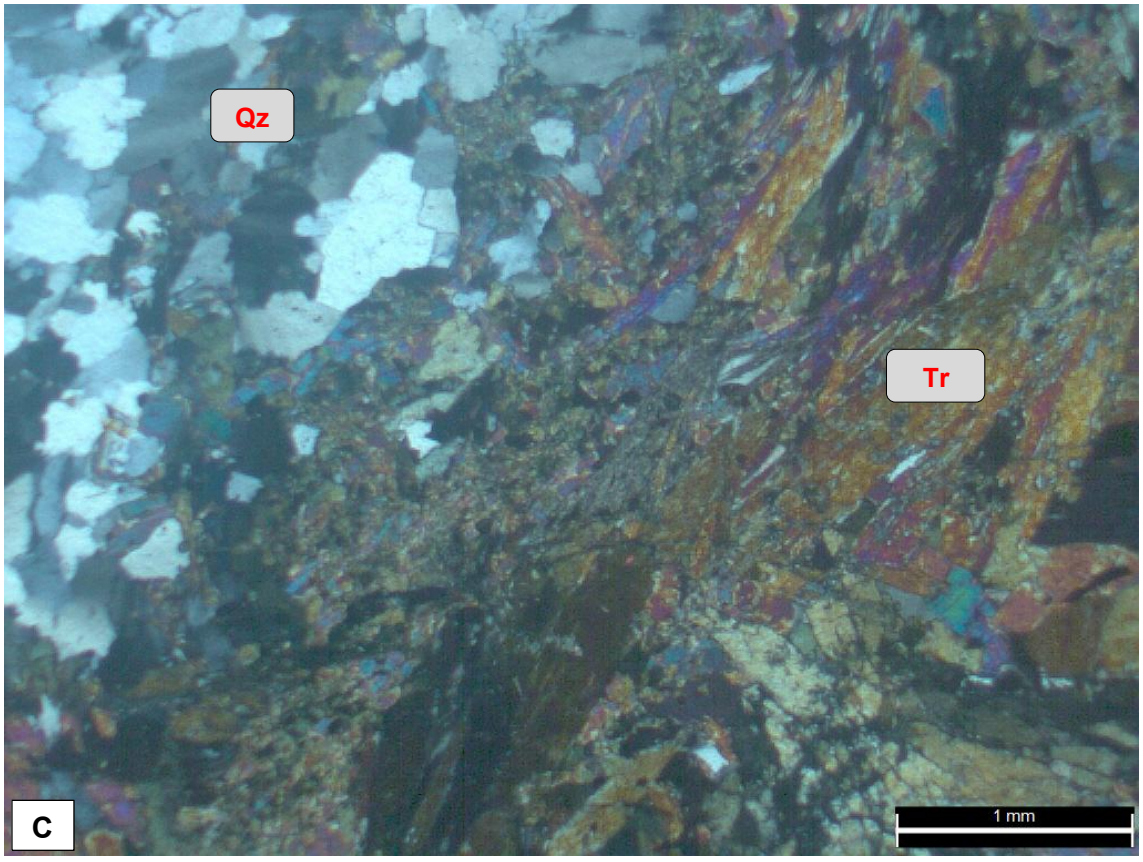
Rocha granolepidoblástica de granularidade média, apresentando um bandamento ígneo composicional remanescente que foi significativamente obliterado.

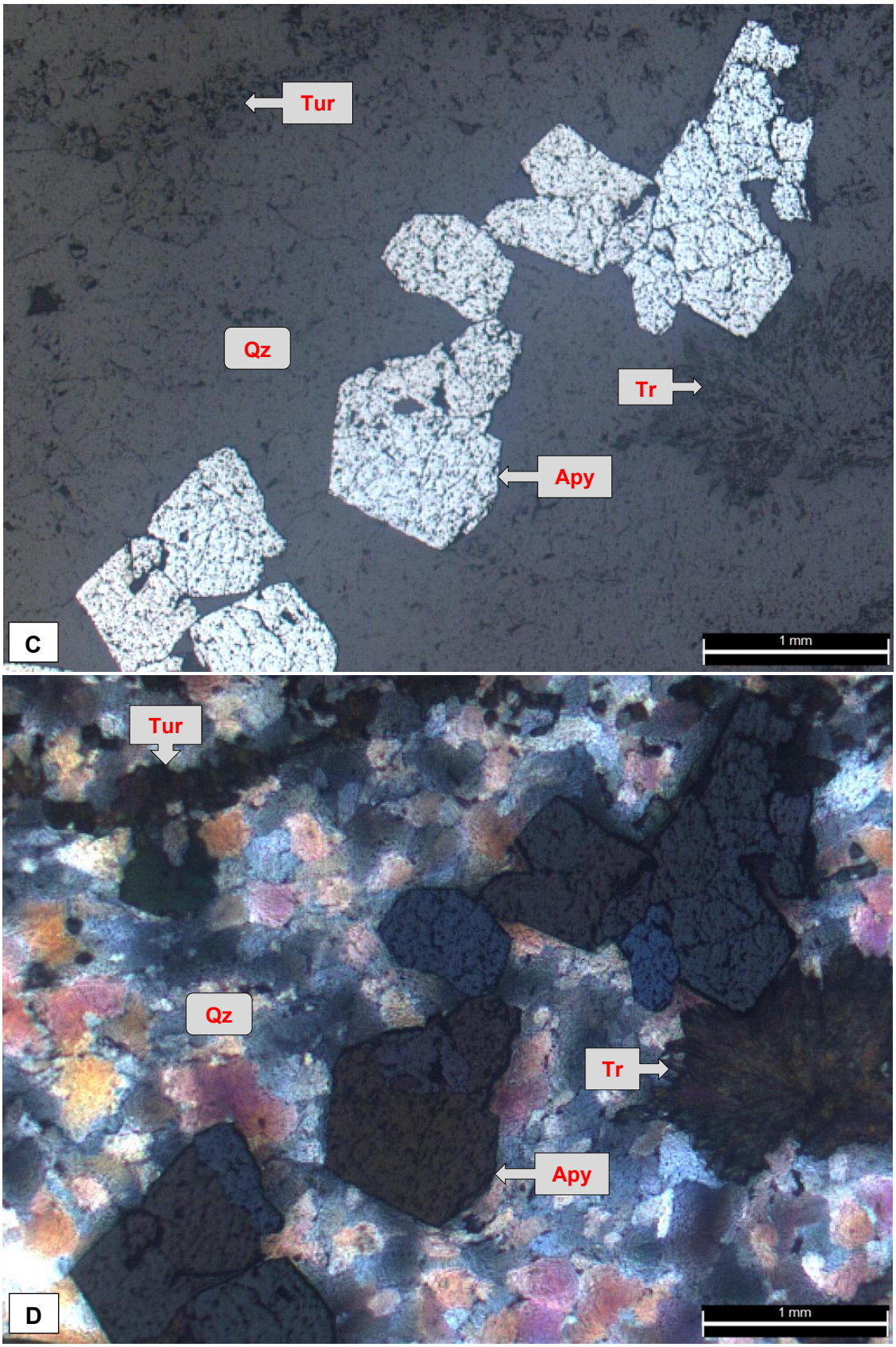
I. O quartzo é o principal constituinte da rocha, ocorrendo em veios com cristais médios e lobados, onde se observa extinção ondulante. A tremolita é observada em cristais prismáticos longos, subédricos a anédricos, por vezes formando agregados radiais. A biotita ocorre em cristais marrons, grossos, sem orientação. Os cristais de turmalina são finos, de cor verde-amarronzada; em locais pontuais, são observadas seções basais com prismas trigonais de faces abauladas, de cor preto-amarronzada. A clorita ocorre fina, em contato com o quartzo e a actinolita, em cristais incolores, aparentemente substituindo a tremolita.

II. A arsenopirita ocorre em veios de quartzo, com cristais pseudomorfos grossos (cerca de 1 mm), euédricos, de cor cinza a branco, apresentando alta reflectância e anisotropia forte, variando de marrom a "Azul da Prússia". A pirrotita é observada em cristais finos, anédricos, disseminados e em

associação com a tremolita.
Fotomicrografias


Apy
Tr
Qz
A
500 µm


Qz
Tr
C
1 mm



Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos e d) cruzados

Objetivas: a)5x; b) 2.5x; c) 2.5x e d) 2.5x

Nome da Rocha: Biotita-tremolita-quartzo xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBS003-003

Drillhole ID: FCBS003

Petrógrafo: Walace Fernandes

Profundidade (m): 76.75

Tipo de Amostra: Testemunho

Teor Au (ppm): 0.1

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Biotita-anfibólio-clorita xisto - Rocha de coloração verde médio a escuro, com aspecto foliado. Apresenta níveis verdes de anfibólio de até alguns milímetros, orientados segundo a foliação principal. Também contém biotita, clorita e níveis de sílica translúcida de cor cinza. Há sulfetação de pirrotita e pirita ao longo de todo o intervalo.

Foto da Amostra

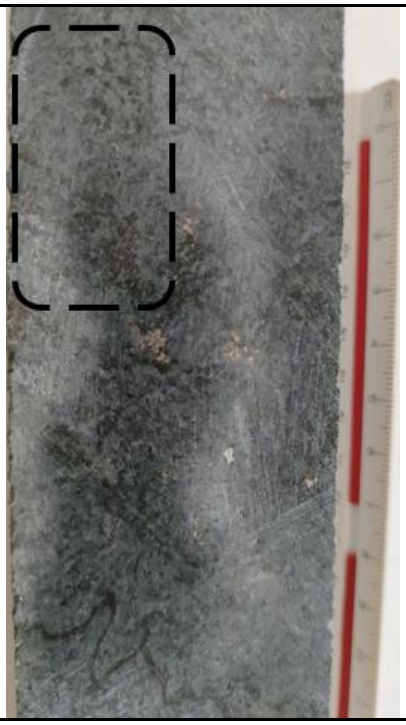


Foto da Lâmina



Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Hornblenda (47%) + Quartzo (33%) + Biotita (10%) + Clorita (5%)

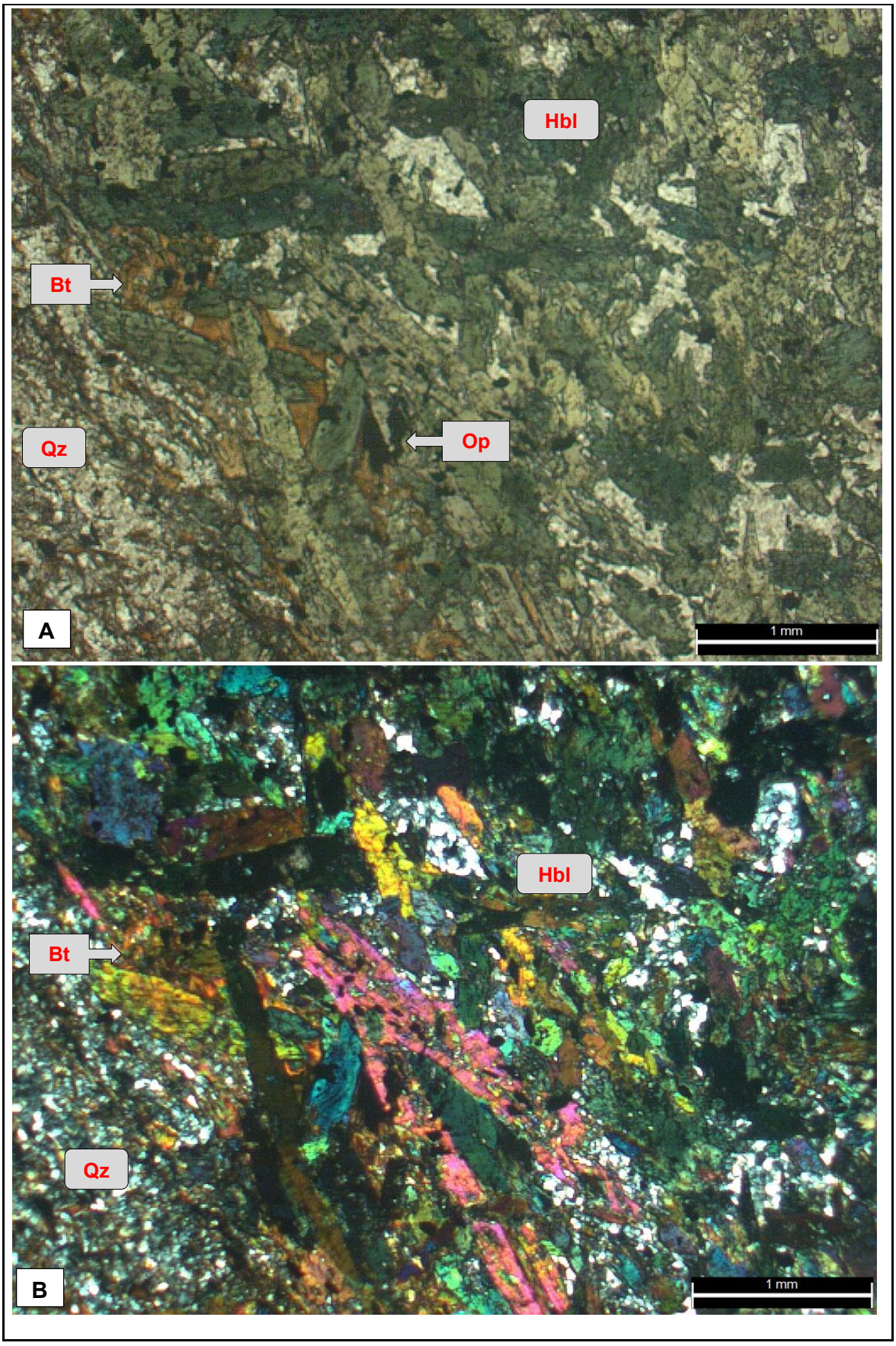
Opacos: Pirrotita (2%) + Ilmentita (1%) + Magnetita (1%) + calcopirita (1%)

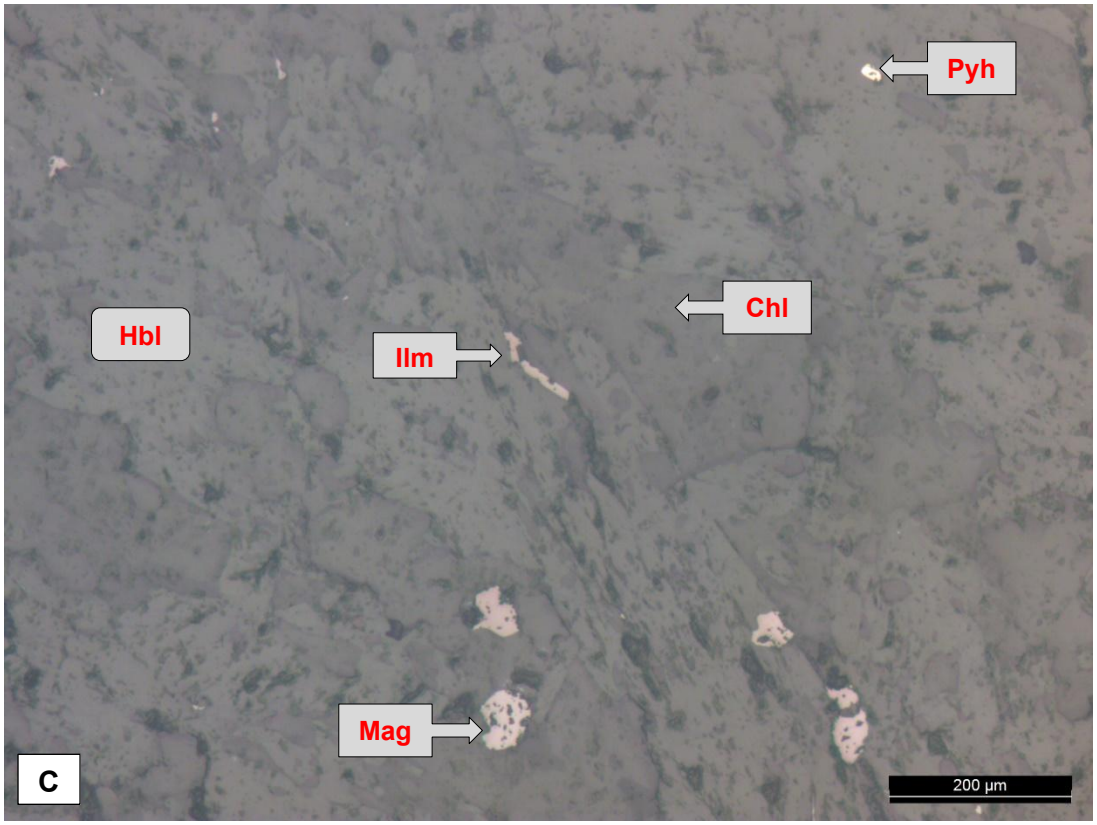
Rocha nematoblástica de granularidade variando de fina a média.

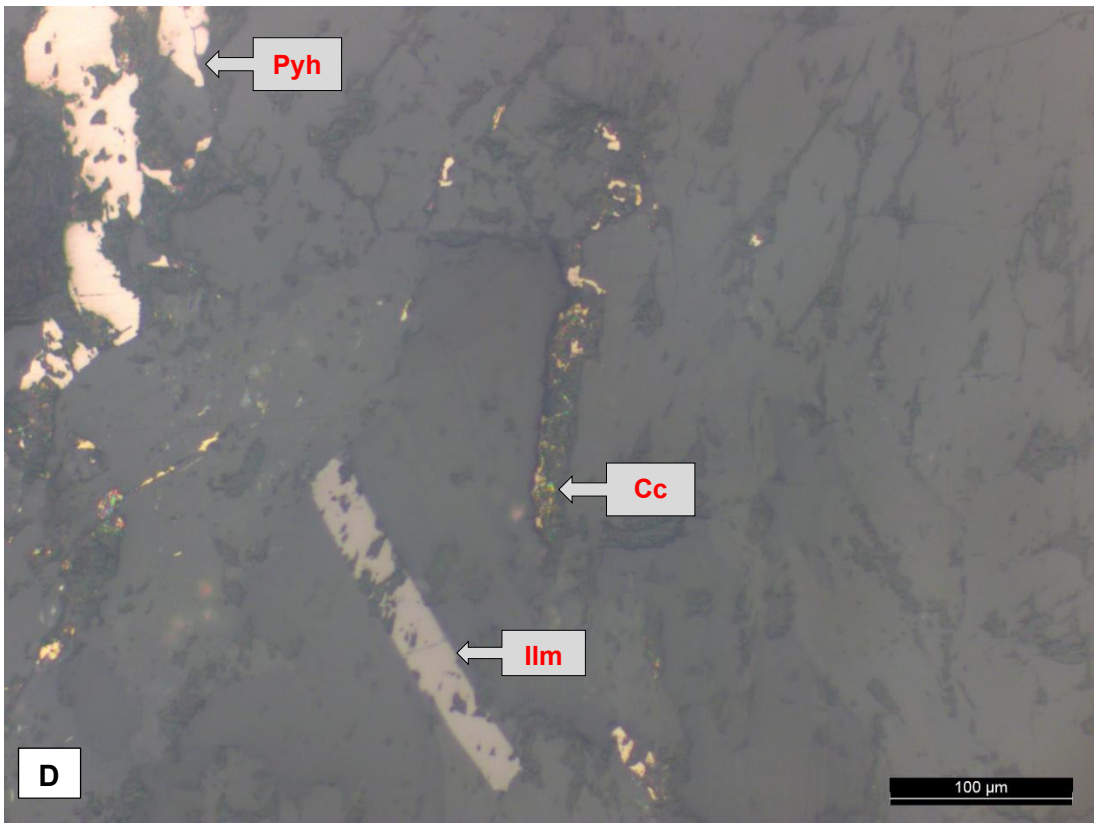
I. A hornblenda é o principal constituinte da rocha, com cristais verde-escuros, prismáticos curtos a longos, anédricos a subédricos, apresentando pleocroísmo intenso de verde-escuro a amarelo-claro. Opacos preenchem microfraturas, e o relevo é geralmente moderado a alto. O quartzo ocorre em vênulas, geralmente lobado, com cristais granulares finos onde se observa extinção ondulante. A biotita aparece em lamelas paralelas à foliação, com cristais fraturados, pleocroicos variando de quase preto a castanho-claro, apresentando relevo moderado e boa clivagem em uma direção, aparentemente sem alteração. A clorita é observada alterando a hornblenda, em cristais verde-claros e foliados.

II. A pirrotita e a calcopirita preenchem interstícios na hornblenda, sendo subparalelas à foliação e em equilíbrio textural. São observados em cristais finos e anédricos. A ilmenita ocorre em cristais orientados, paralelo a foliação, tabulares, anédricos e extremamente finos. Cristais de magnetita são

observados disseminados, em cristais finos e anédricos. Calcopirita é observada associada a pirrotita, ocorrendo em grãos anédricos finos, em tom amarelo forte e brilho intenso.
Fotomicrografias


Hbl
Bt
Qz
Op
A
1 mm
Hbl
Bt
Qz
B
1 mm





Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos e d) paralelos

Objetivas: a) 2.5x; b) 2.5x; c) 10x e d) 20x

Nome da Rocha: Biotita-quartzo-hornblenda xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBS-03-AM007 **Drillhole ID:** FCBS003

Petrógrafo: Walace Fernandes **Profundidade (m):** 85.10

Tipo de Amostra: Testemunho **Teor Au (ppm):** 0.08

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Quartzo-biotita-anfibólio xisto - Rocha cinza a esverdeada, laminada a bandada, com níveis silicosos, cloríticos, biotíticos e possivelmente sericíticos. Biotita aparenta estar sobrecrescida em alguns níveis, com cristais de 1-2 mm. Presença de forte sulfetação de pirrotita em alguns níveis.

Foto da Amostras	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Biotita (35%) + Quartzo (25%) + Clorita (20%) + Carbonato (2%) + Epidoto (1%)

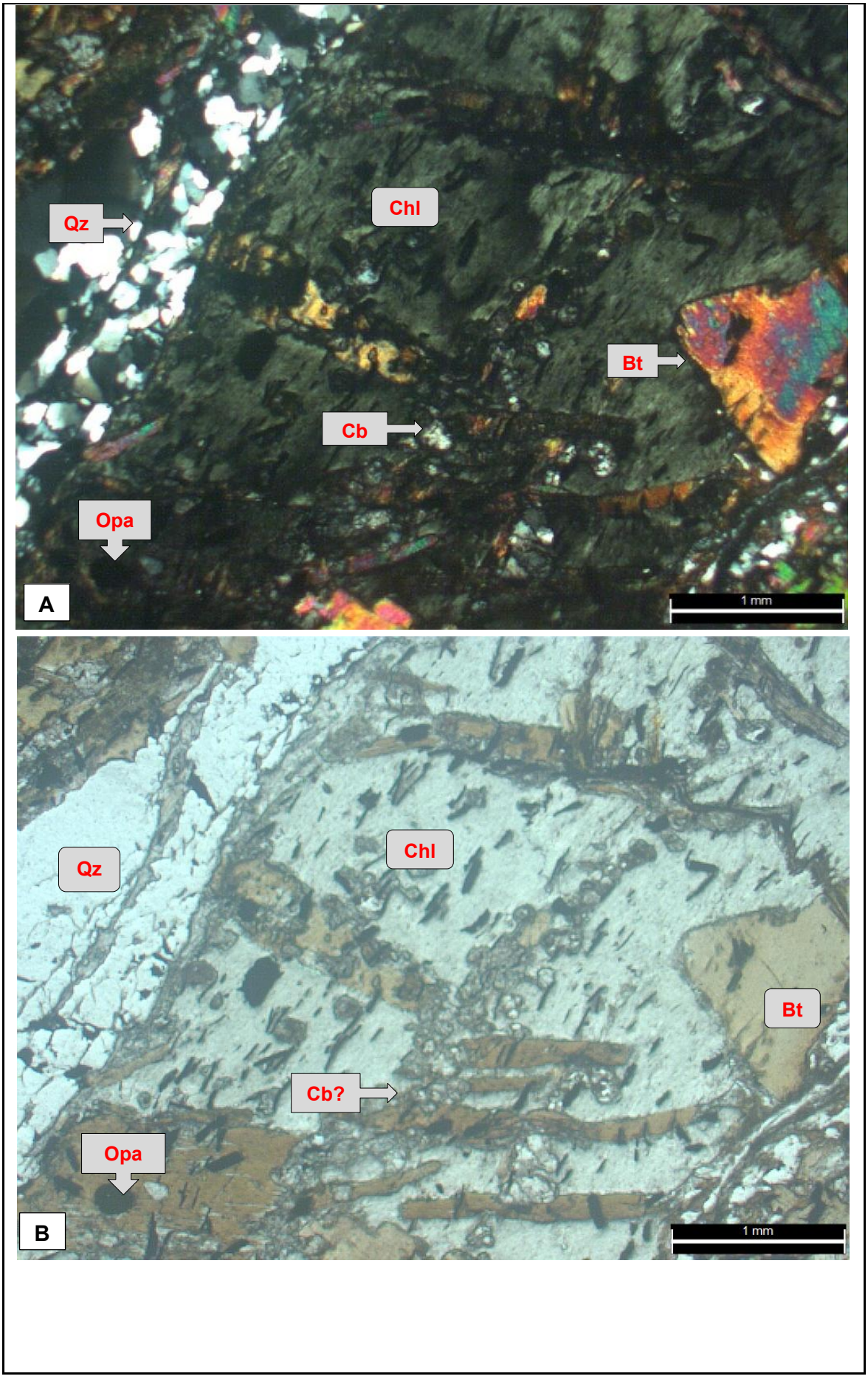
Opacos: Ilmenita (5%) + Pirita (3%) + Pirrotita (1%) + Calcopirita (<1%)

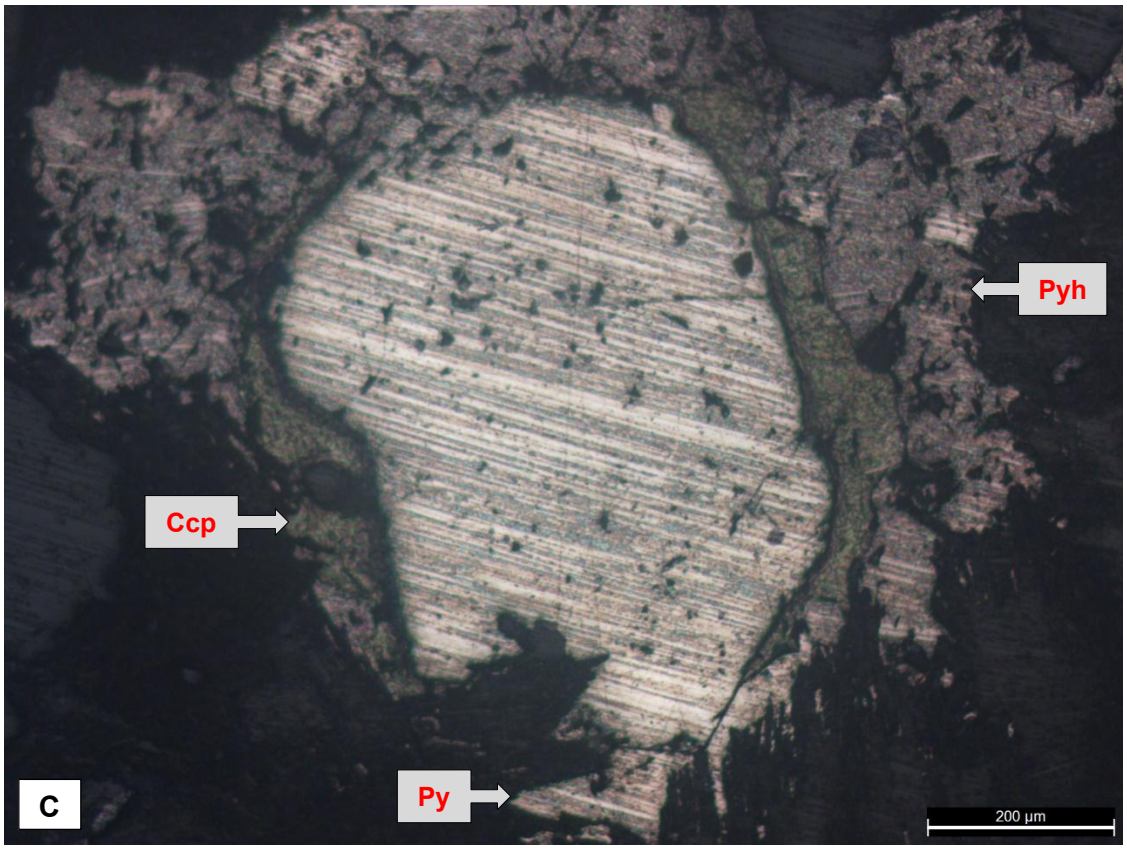
Rocha lepidogranoblástica com granularidade varinado de fina a grossa, apresentando um bandamento ígneo composicional remanescente que foi significativamente obliterado.

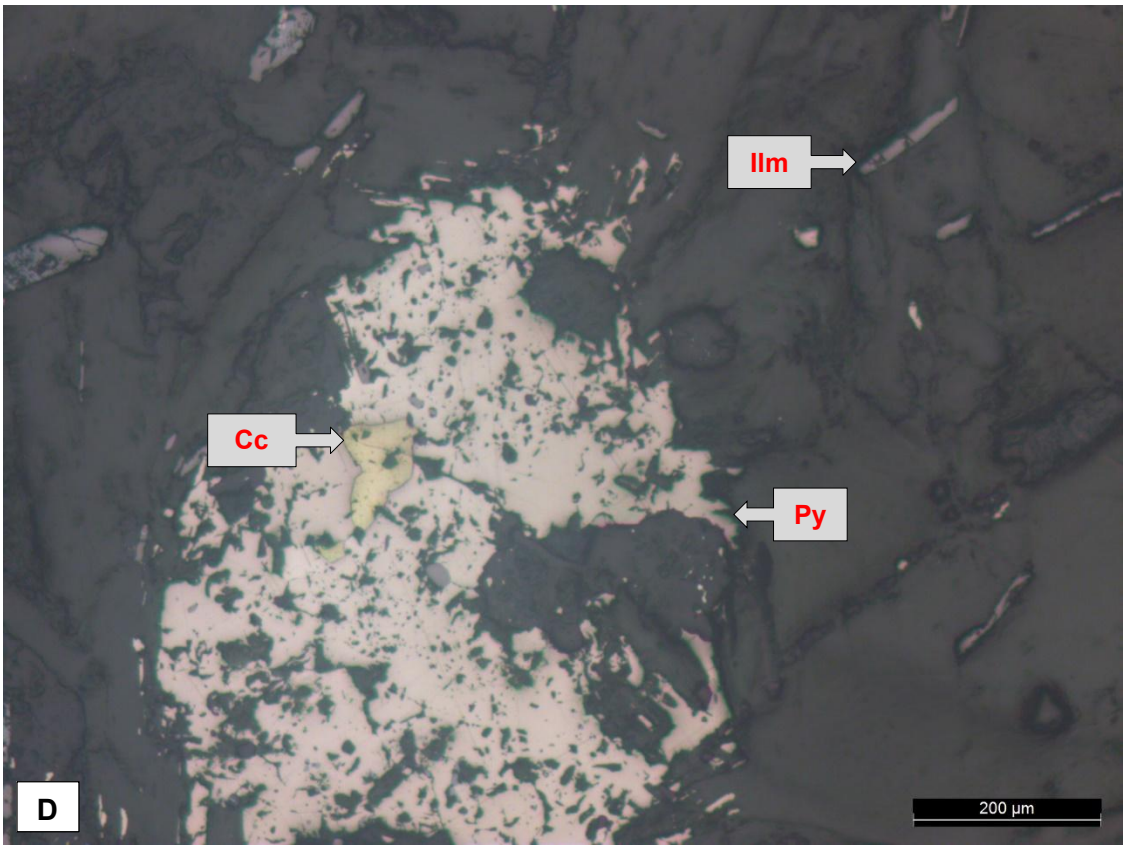
I. A biotita é o principal mineral da rocha, apresentando cor amarronzada, ocorrendo em cristais xenomórficos, sem orientação, geralmente médios a grossos, subédricos a anédricos. O quartzo é observado em veios, com cristais finos a grossos, anédricos, exibindo cores de interferência variando de branco a cinza escuro. A clorita aparece em tonalidades de cinza a levemente esverdeada, com relevo baixo, e a nicóis cruzados (NC), os cristais mostram coloração cinza em vários tons, com extinção paralela às fibras. O carbonato é observado em cristais granulares finos, anédricos, com cor de reflexão cinza escuro e "pleocroísmo de relevo". O epidoto, com cor esverdeada a amarelo pálido, é observado sobre a biotita, ocorrendo em cristais finos, anédricos, e com alto relevo.

II. A ilmenita é observada nas faixas da clorita e aparentemente ocupando espaços intersticiais da biotita, em cristais cinza-amarronzados, sub-orientados, tabulares finos e subédricos. A pirita ocorre substituindo a pirrotita, em cristais grossos e anédricos. A pirrotita é observada em cristais finos, margeando a pirita. A calcopirita ocorre em equilíbrio textural com a pirrotita, em cristais finos a médios e anédricos. **Obs:** A biotita parece ser de origem hidrotermal, evidenciada pela sua desorientação em relação à foliação e sobrecimento. A coloração de interferência cinza-esverdeada da clorita sugere uma composição magnesiana. A pirita é observada sobrecrescendo a pirrotita.

Observa-se uma íntima associação textural entre pirita, calcopirita e pirrotita.
Fotomicrografias


Qz
Chl
Bt
Cb
Opa
A
1 mm
Qz
Chl
Bt
Cb?
Opa
B
1 mm





Polarizadores: a) cruzados; b) paralelos; c) paralelos e d) paralelos

Objetivas: 2.5x; 2.5x; 10x e 10x

Nome da Rocha: Clorita- quartzo-biotita xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBS-03-AM008 **Drillhole ID:** FCBS003

Petrógrafo: Walace Fernandes **Profundidade (m):** 90.95

Tipo de Amostra: Testemunho **Teor Au (ppm):** 0.15

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Quartzo-biotita-anfibólio xisto - Rocha de cor cinza médio a esverdeada, exibindo uma textura laminada e bandada. A estrutura da rocha é composta por níveis de coloração verde, predominando anfibólio e clorita, intercalados com níveis silicosos em tons de cinza. A biotita é observada preferencialmente próxima aos níveis silicosos, ocorrendo em cristais de até 3 milímetros, organizados em níveis radiais.

Foto da Amostra	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Hornblenda (35%) + Biotita (25%) + Clorita (20%) + Quartzo (10%) + Turmalina (3%)

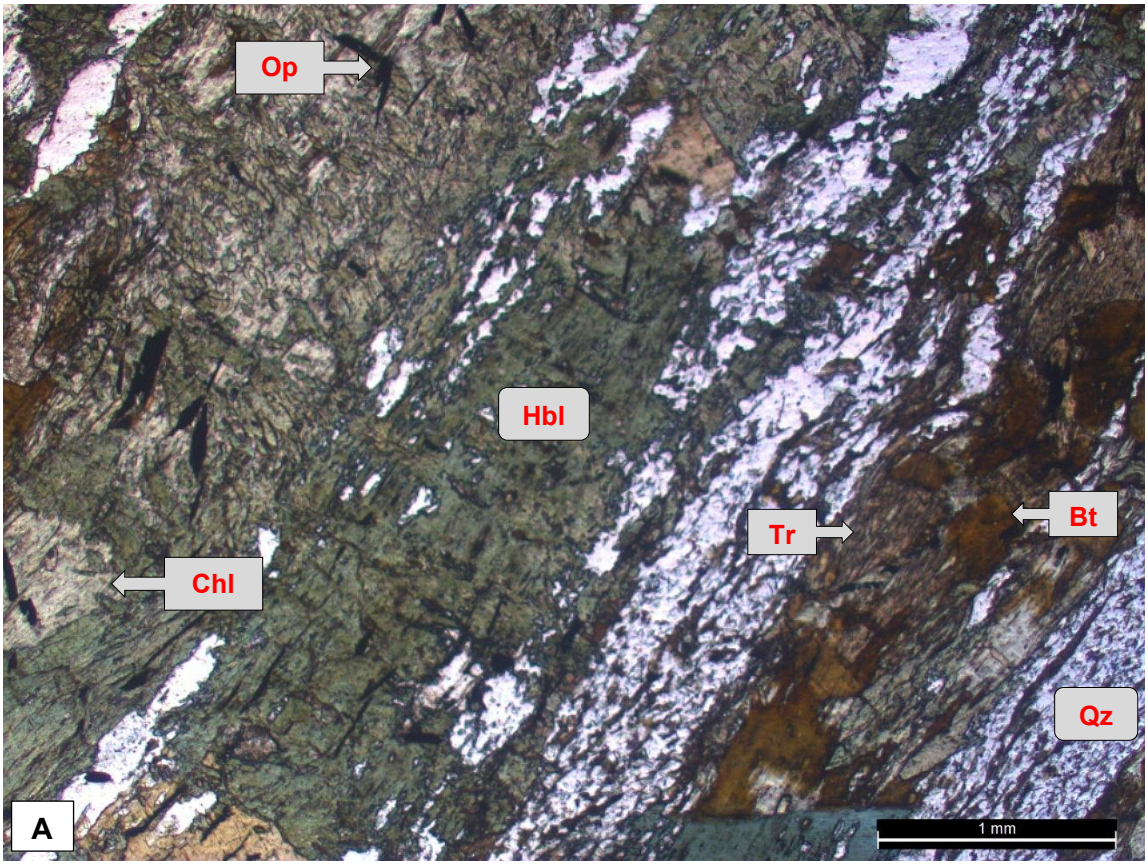
Opacos: Pirita (3%) + Ilmenita (2%) + Pirrotita (1%) + Arsenopirita (1%)

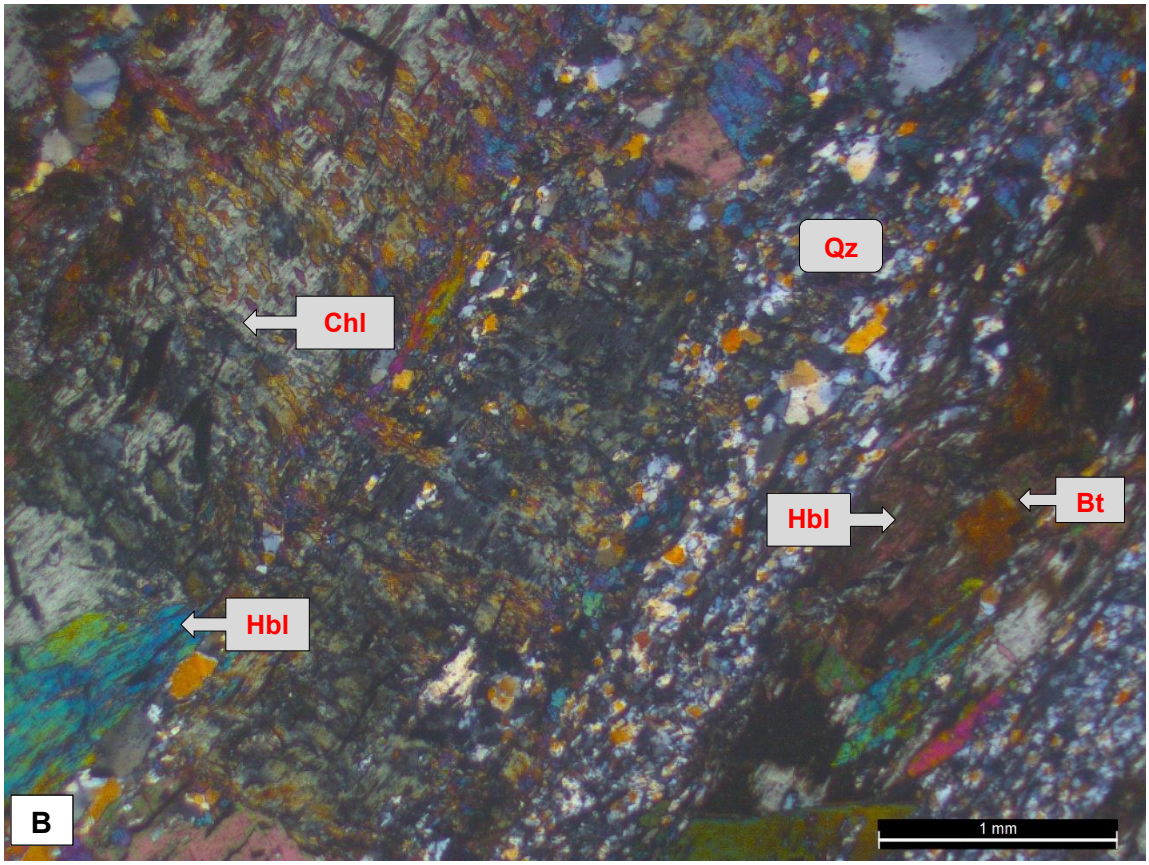
A rocha possui uma textura granolepidoblástica, com uma trama formada por cristais inequigranulares.

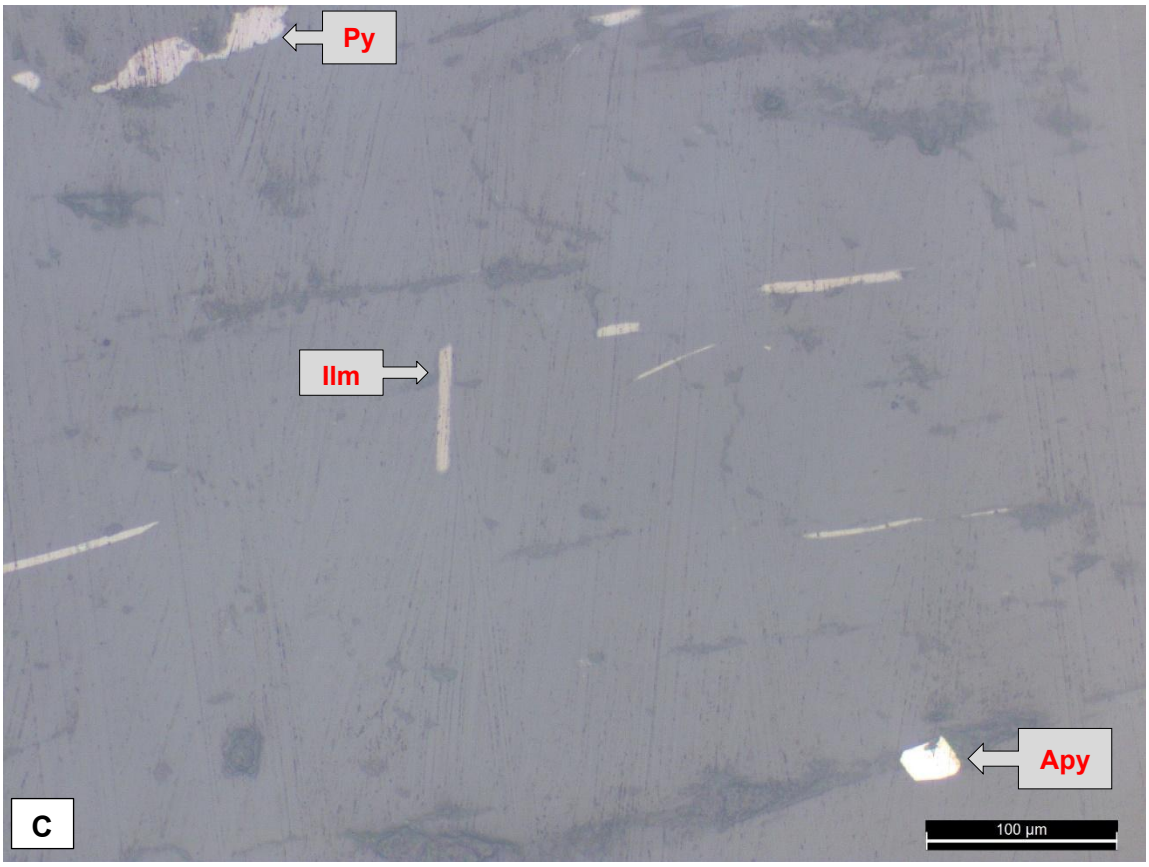
I. Hornblenda é o mineral predominante na rocha, presente em cristais prismáticos longos, ocasionalmente com formações fibrosas-radiadas, exibindo forte pleocroísmo com tonalidades que variam de verde a azul. Biotita aparece em duas fases distintas, ambas de coloração marrom: a primeira consiste em finas lamelas alinhadas à foliação, enquanto a segunda inclui cristais maiores (> 1 mm), que formam agregados anédricos e sem orientação definida. Clorita é encontrada em agregados asbestiformes, incolores, com baixo relevo. Sob nicóis cruzados (NC), os cristais exibem várias tonalidades de cinza com extinção paralela às fibras. Quartzo está presente em cristais extremamente finos, frequentemente encontrados em veios.Turmalina é notada em veios, com cristais granulares de relevo moderado. Em alguns casos, observam-se prismas trigonais com faces abauladas.

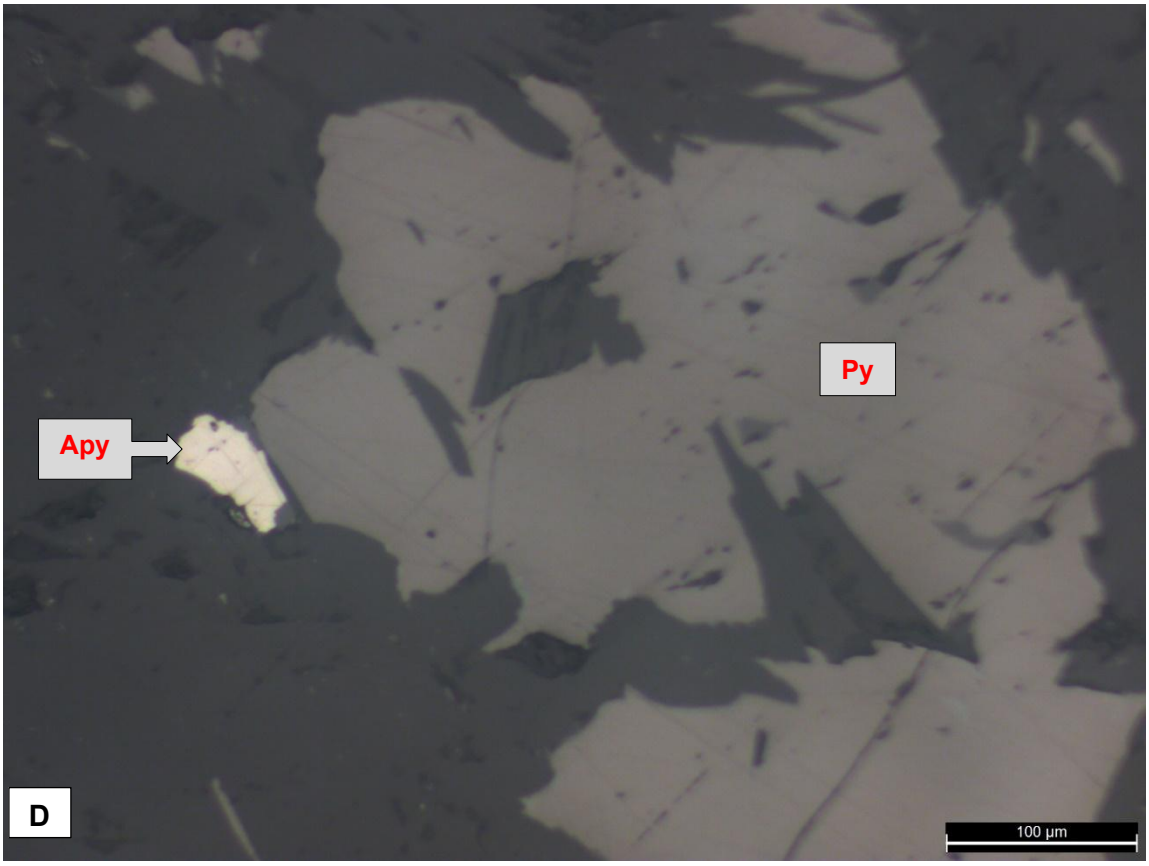
II. Pirita é encontrada em cristais que variam de finos a grossos, apresentando uma coloração amarelo-creme. Os cristais são anédricos e possuem formas muito irregulares. Ilmenita ocorre em cristais tabulares extremamente finos, particularmente concentrados paralelamente e subordinadamente nos planos de clivagem dos anfibólios. Pirrotita é observada em cristais finos e granulares, com cor de reflexão variando em tons de marrom. Arsenopirita é encontrada em cristais finos e anédricos. Quando o mineral está na vizinhança da pirita, apresenta uma cor de reflexão muito luminosa, variando de branco a levemente amarelado. **Obs:** Observa-se uma estrutura em pente composta por grandes cristais de biotita, que crescem perpendicularmente à direção da foliação.

Fotomicrografias









Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos e d) paralelos
Objetivas: a) 2.5x; b) 2.5x; c) 20x e d) 20x

Nome da Rocha: Clorita-biotita-hornblenda xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBS-03-AM03

Drillhole ID: FCBS003

Petrógrafo: Walace Fernandes

Profundidade (m): 111.10

Tipo de Amostra: Testemunho

Teor Au (ppm): 0.02

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Anfibólio-clorita xisto - Rocha de coloração verde escuro, caracterizada por cristais de anfibólio que predominam na rocha, atingindo até 5 mm. Estes cristais tendem a estar orientados de acordo com a foliação principal. A rocha apresenta uma estrutura laminada-foliada com níveis silicosos distintos. Observa-se uma sulfetação fina, predominantemente de pirrotita (Pyh), com pirita (Py) subordinada.

Foto da Amostra



Foto da Lâmina



Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Hornblenda (53%) + Quartzo (35%)

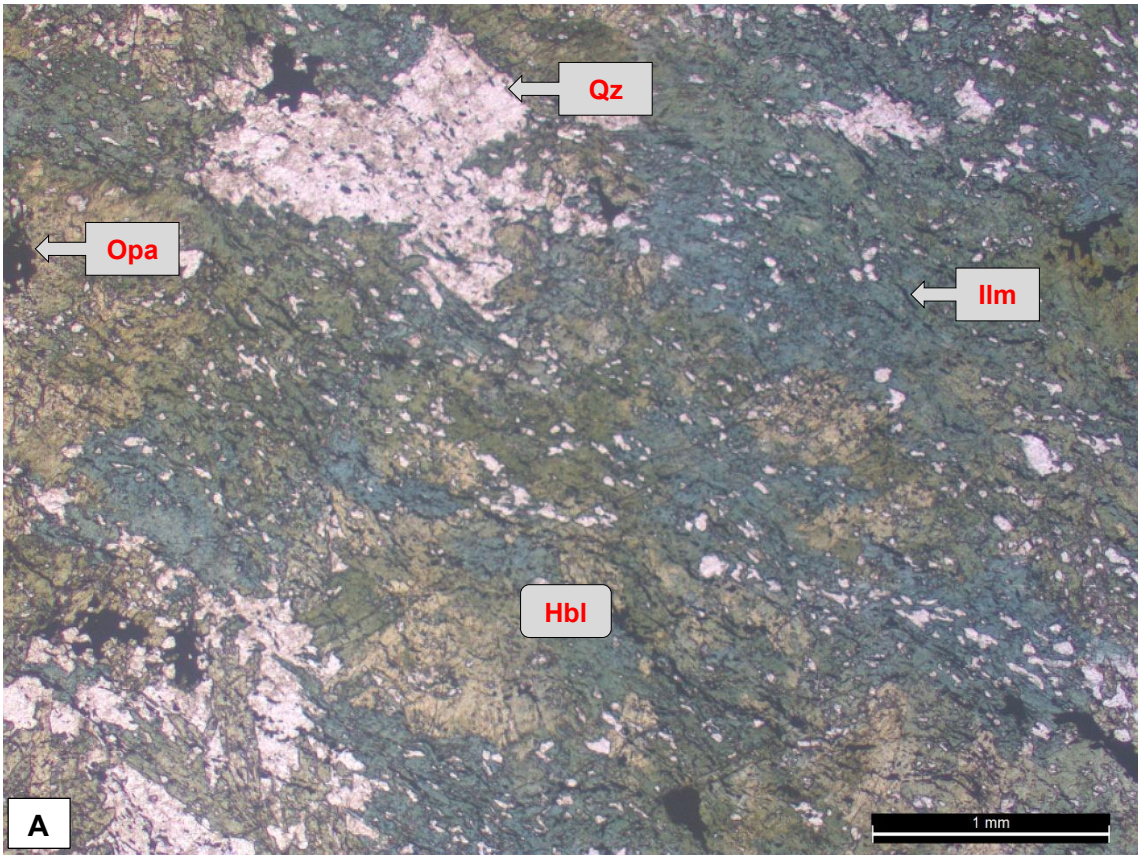
Opacos: Ilmenita (7%) + Pirrotita (3%) + Pirita (1%) + Calcopirita (1%)

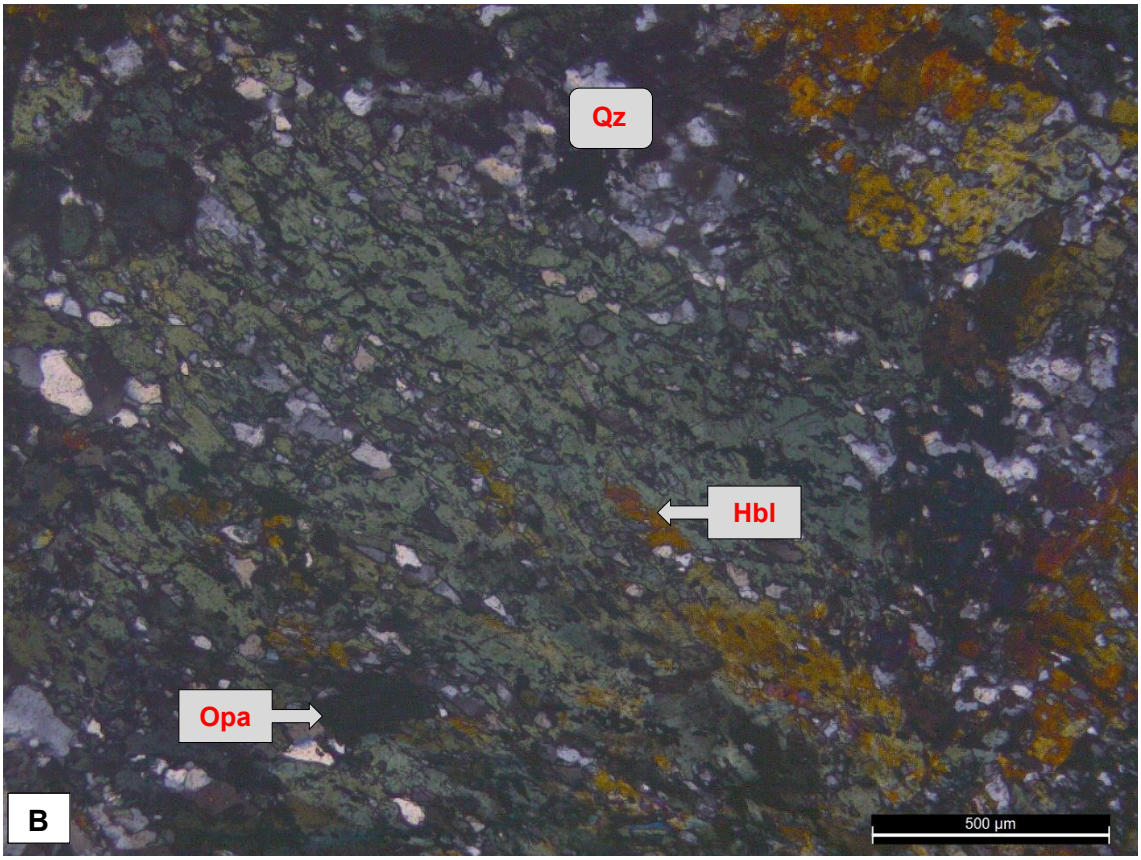
Rocha nematoblástica de matriz de granulação fina a média, apresentando clivagem de crenulação. A composição modal é dominada por anfibólio verde (hornblenda) e quartzo.

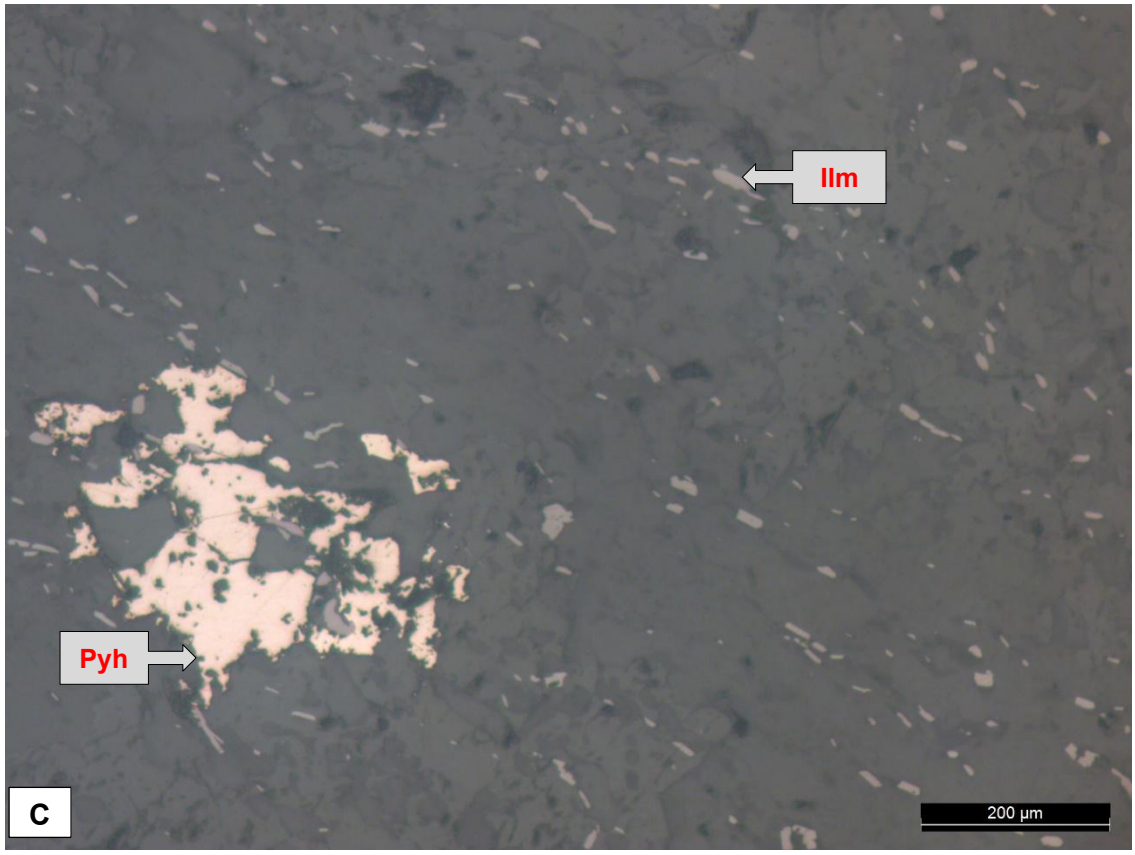
I. A hornblenda é observada em cristais verdes, variando de finos a grossos, com formas prismáticas, por vezes granulares, e anédricas a subeuédricas. Apresenta forte pleocroísmo de verde a amarelado, com relevo moderado a alto. O quartzo ocorre em cristais cinzas, finos, e em alguns casos grossos, semiorientados no sentido da foliação.

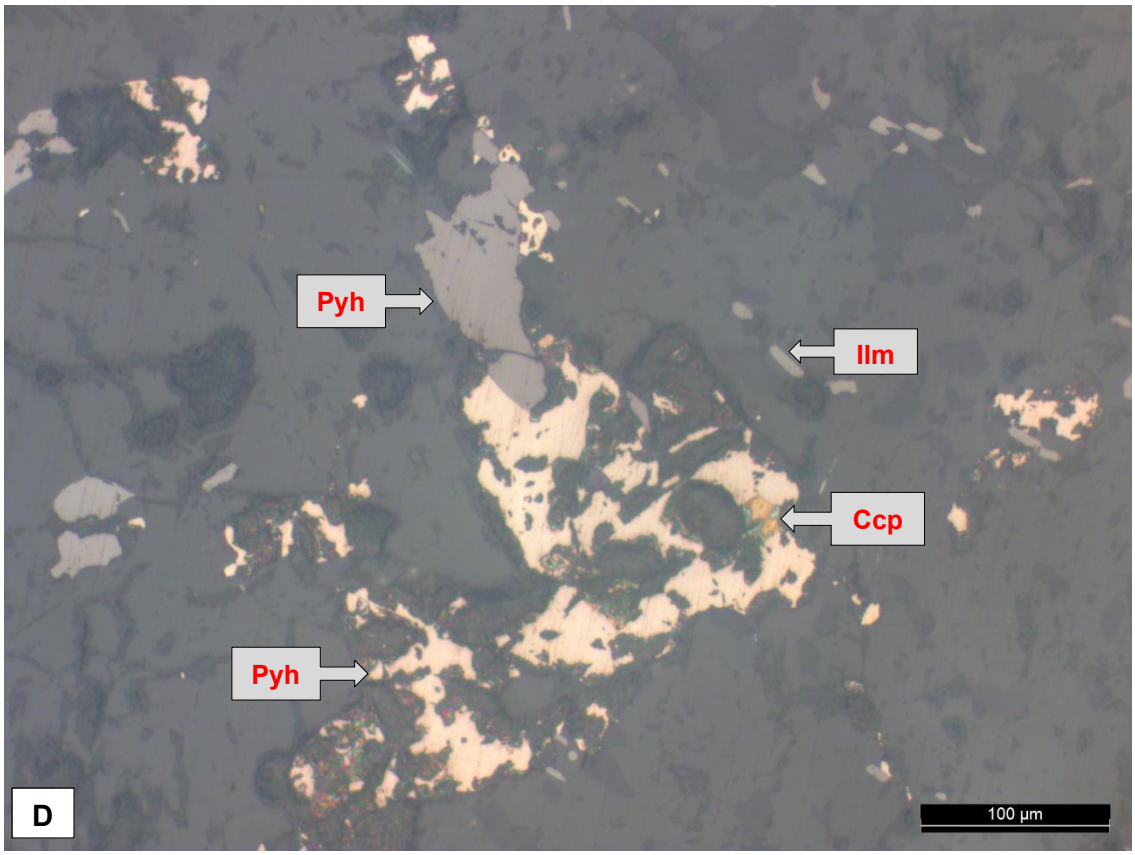
II. A ilmenita é observada em cristais cinza a amarronzados, extremamente finos, tabulares e alongados, preenchendo interstícios da hornblenda. A pirrotita, de cor amarelo-bronze, ocorre em cristais anédricos, granulares e finos, em equilíbrio textural com a pirita. A pirita é observada em cristais amarelo latão pálido, médios, anédricos, disseminados ao longo da massa quartzosa. Calcopirita é observada associada a pirrotita, ocorrendo como massas, em cristais finos, anédricos e tom amarelo forte.

Fotomicrografias









Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos e d) paralelos **Objetivas:** a) 2.5x; b) 5x; c) 10x e d) 20x

Nome da Rocha: Quartzo-hornblenda xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes
Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: : FCBS-03-AM04 **Drillhole ID:** FCBS003

Petrógrafo: Walace Fernandes **Profundidade (m):** 115.2

Tipo de Amostra: Testemunho **Teor Au (ppm):** 3.36

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Anfibólio-quartzo-biotita-granada xisto - Rocha com aspecto foliado e laminado, com níveis cloríticos, verde-escuros e finos, contendo magnetita muito fina, e níveis silicosos acinzentados. Ocorre granada de até 5 mm, pouco deformada, indicando características sin- a tardi-cinemáticas.

Foto da Amostra



Foto da Lâmina



Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Carbonato (40%) + Clorita (20%) + Quartzo (14%) + Actinolita/Tremolita (13%) + Granada (2%)
Opacos: Magnetita (8%) + Arsenopirita (2%) + Pirita (1%) + Pirrotita (1%) + Calcopirita (<1%) + Ouro (<1%)

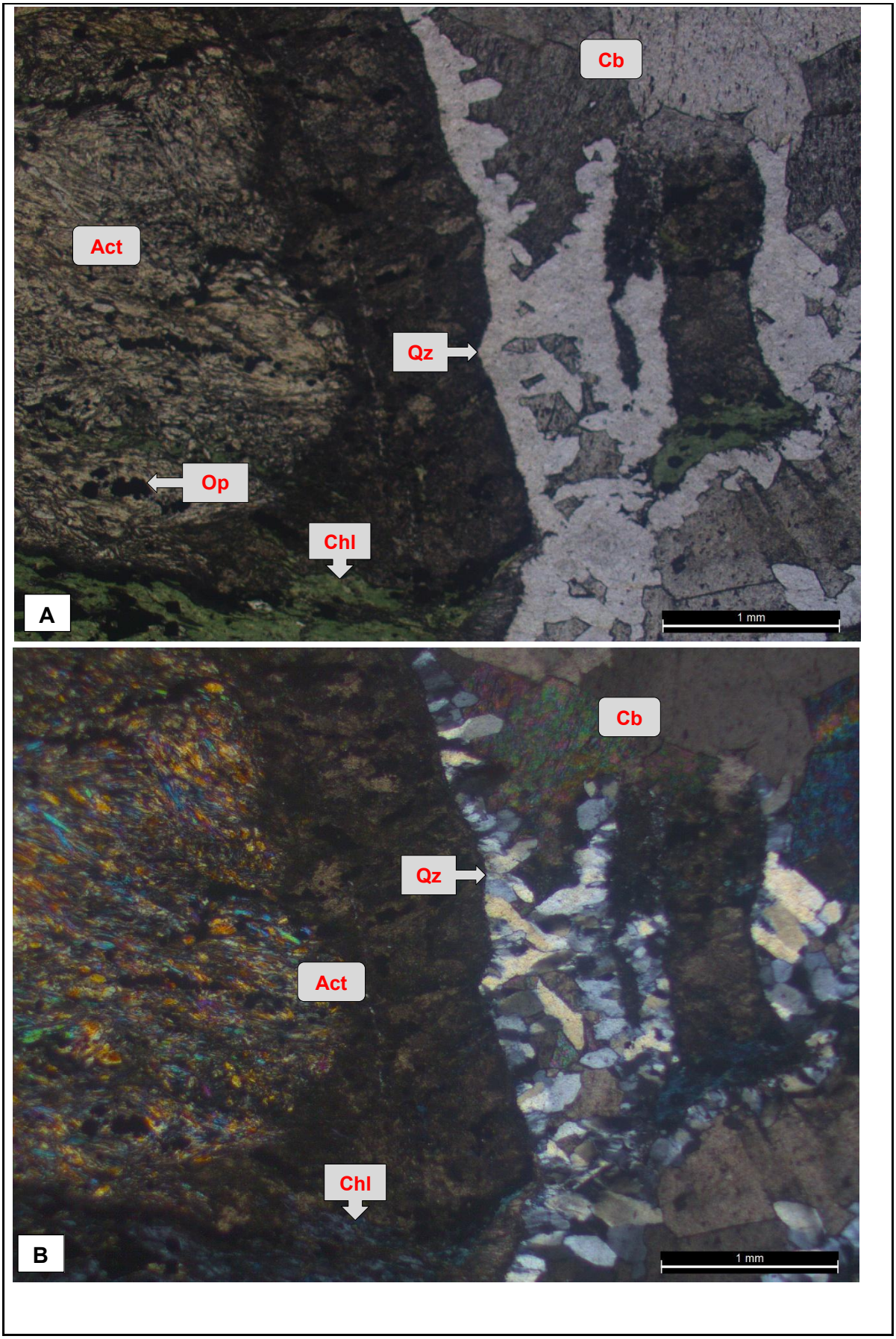
Rocha hospedeira palimpsética (reliquiar) de matriz porfiroblástica, intensamente obliterada.

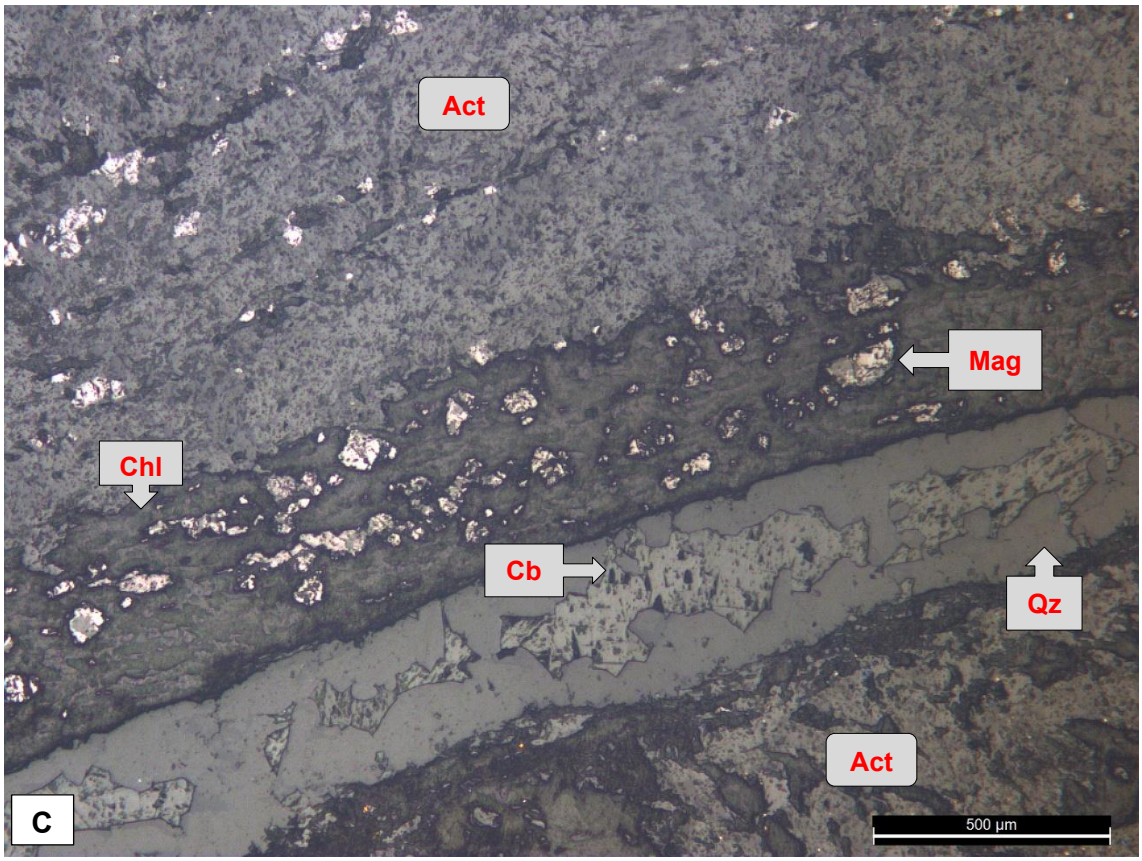
I. O carbonato é o principal mineral da rocha, ocorrendo em vênulas que obliteram a matriz reliquiar. Os cristais de carbonato são observados em uma variedade de tamanhos, de extremamente finos a grossos, com formas subédricas a anédricas e coloração variando de branco a cinza. A clorita é encontrada em agregados foliados, ocasionalmente com formas tabulares pseudohexagonais. Sob luz natural (NP), a clorita apresenta tons de verde a incolor, enquanto sob luz polarizada (NC) exibe uma cor de interferência anômala conhecida como "Berlim Blue." O quartzo ocorre em cristais finos a médios, frequentemente associados às bordas dos cristais de carbonato, formando uma textura intergranular. A tremolita é identificada em cristais incolores a verde pálidos, com formas prismáticas longas a curtas, e às vezes formando agregados radiais. Há indicações de que a tremolita está sendo substituída por clorita. A granada é presente em cristais subarredondados, geralmente como porfiroblastos incolores. Apresenta sombras de pressão e textura poiquiloblástica "*snowball*", frequentemente associada a clorita e minerais opacos nas bordas.

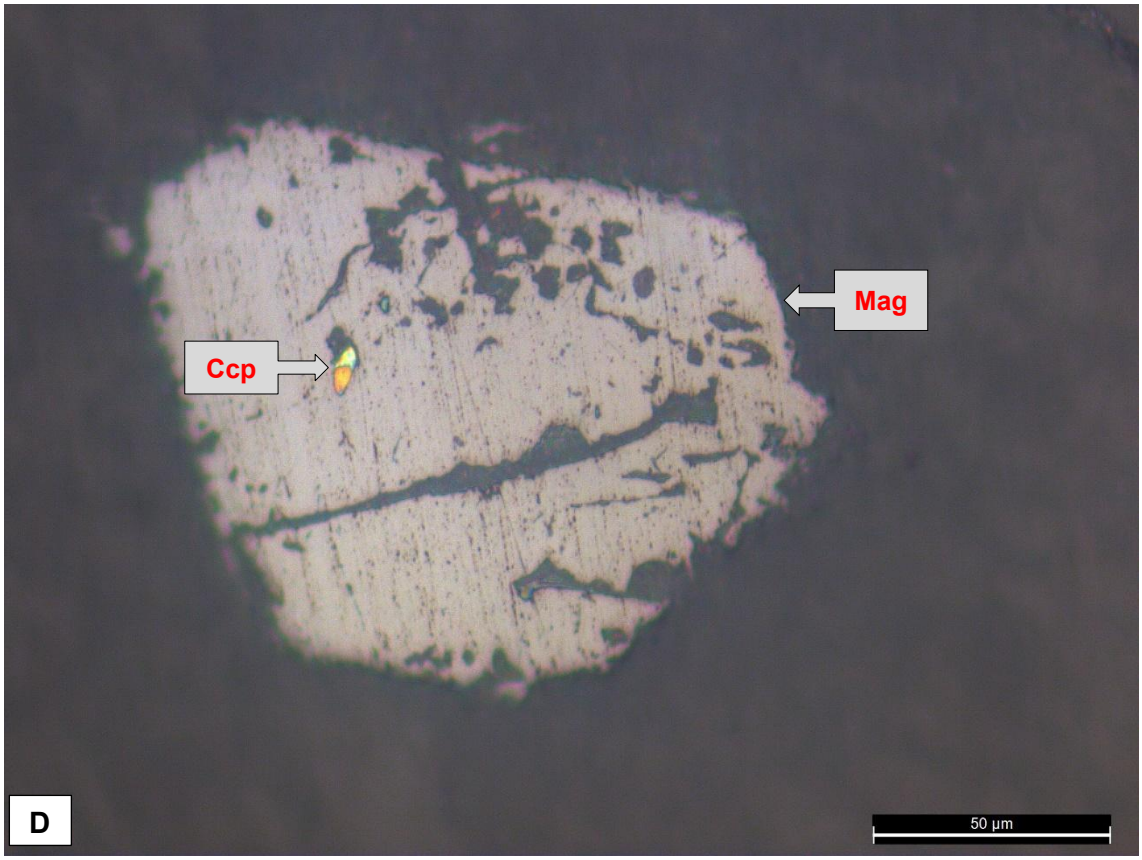
II. A magnetita ocorre em proporção significativa, com cristais apresentando uma coloração que vai do cinza claro ao suavemente amarronzado, variando de finos a médios e localmente grossos, subédricos a anédricos. Uma partícula de ouro, extremamente fina, é observada inclusa em um cristal de magnetita. A arsenopirita é encontrada em cristais com coloração cinza aço a branco, finos, subédricos, e apresentando elevada cor de reflexão. A pirita ocorre em cristais disseminados, finos a médios, anédricos e frequentemente em aparente equilíbrio textural com a magnetita. A pirrotita e a calcopirita ocorrem em cristais extremamente finos a médios, também em equilíbrio textural.

Obs: A coloração azul da clorita á NC, sugere ser clorita rica em cromo (Cr), as sombras de pressão observadas nos cristais de granada, podem indicar movimentação. A magnetita ocorre associada a clorita (Cr). Pirrotita

ocorre associada ao carbonato.
Fotomicrografias


Cb
Act
Qz
Op
Chl
A
1 mm
Cb
Qz
Act
Chl
B
1 mm





Polarizadores a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos e d) paralelos

Objetivas: a) 2.5x; b) 2.5x; c) 5x e d) 50x

Nome da Rocha: Actinolita/tremolita-quartzo-clorita-carbonato xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBS-03-AM010 **Drillhole ID:** FCBS003

Petrógrafo: Walace Fernandes **Profundidade (m):** 115.3

Tipo de Amostra: Testemunho **Teor Au (ppm):** 0.02

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Biotita-granada-quartzo-anfibólio xisto - A rocha apresenta um aspecto bandado e laminado, com níveis finos verde-escuros cloríticos e níveis claros acinzentados silicosos. Os níveis cloríticos contêm magnetita muito fina, enquanto os níveis silicosos abrigam biotita. A rocha também contém granada pouco deformada, com cristais de até 5 mm (sin a tardi cinemática).

Foto da Amostra	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Actinolita/Tremolita (30%) + Carbonato (25%) + Clorita (20%) + Quartzo (10%) + Granada (4%)

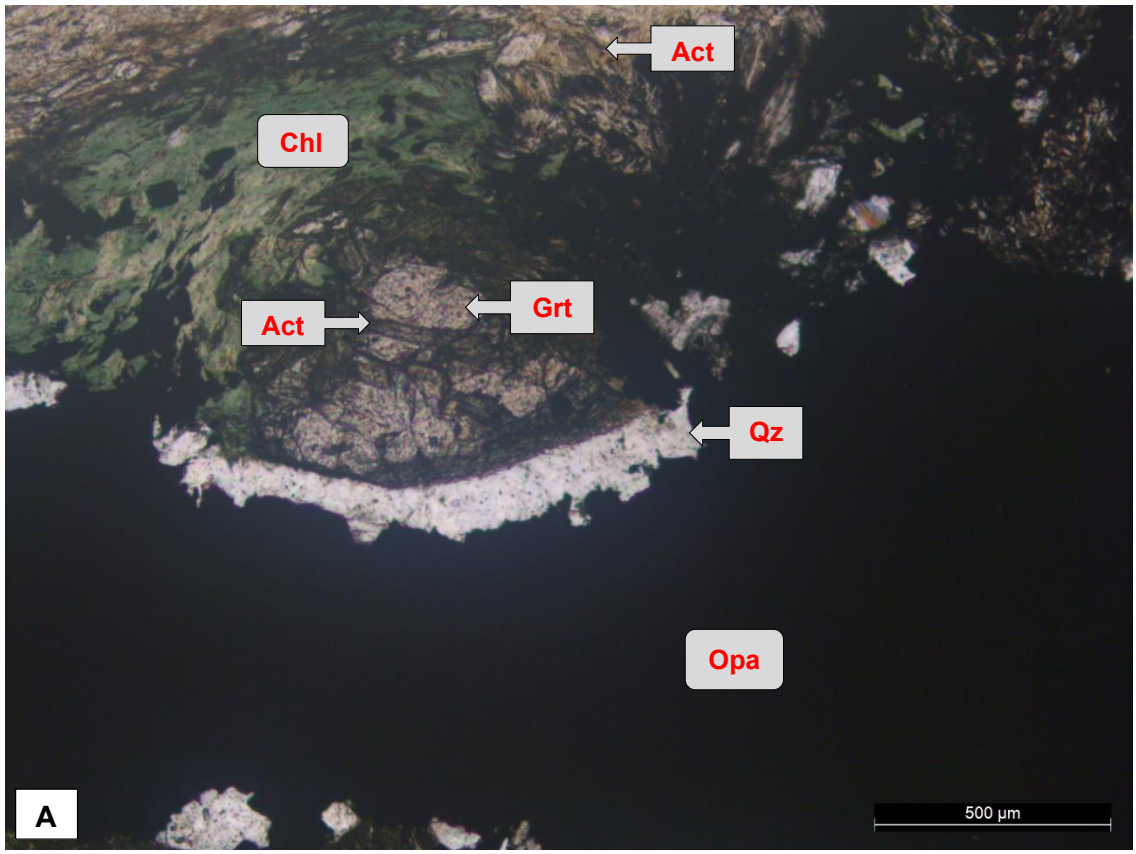
Opacos: Pirrotita (5%) + Magnetita (5%) + Calcopirita (1%)

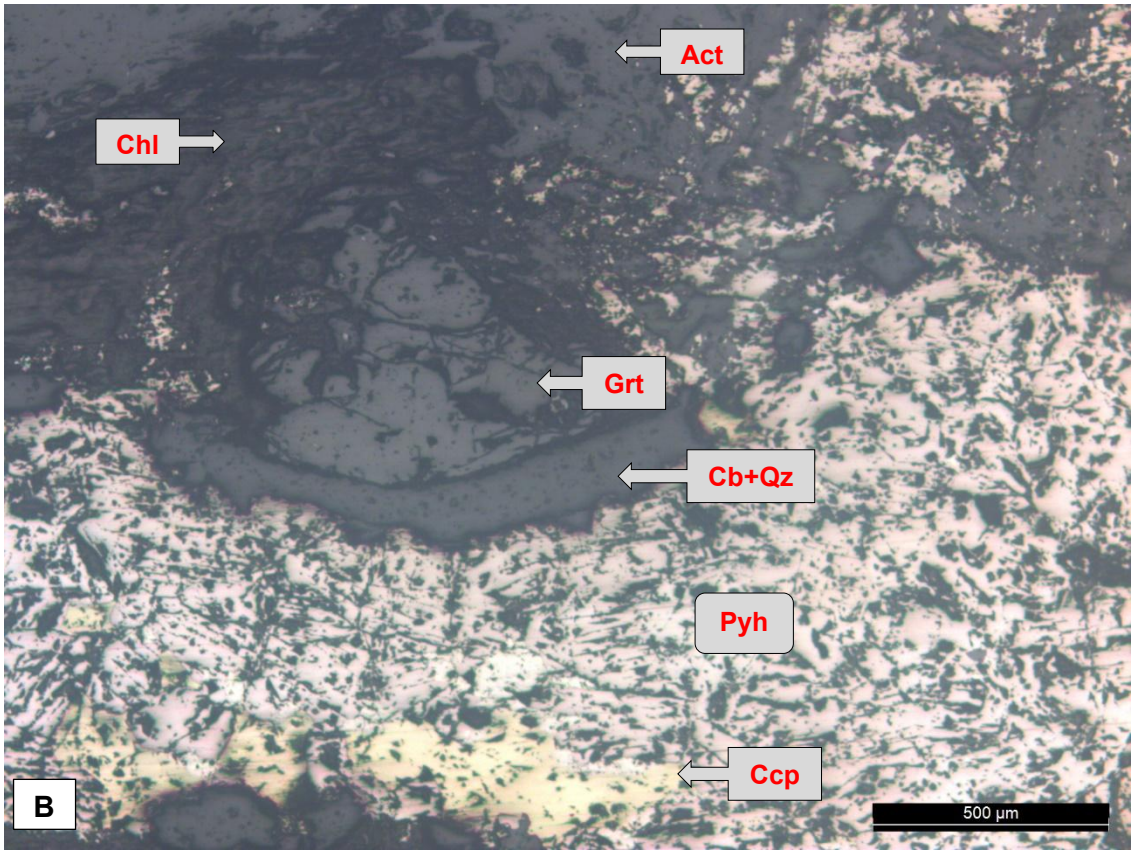
Rocha palimpsética (reliquiar), de matriz fina a grossa, intensamente perturbada.

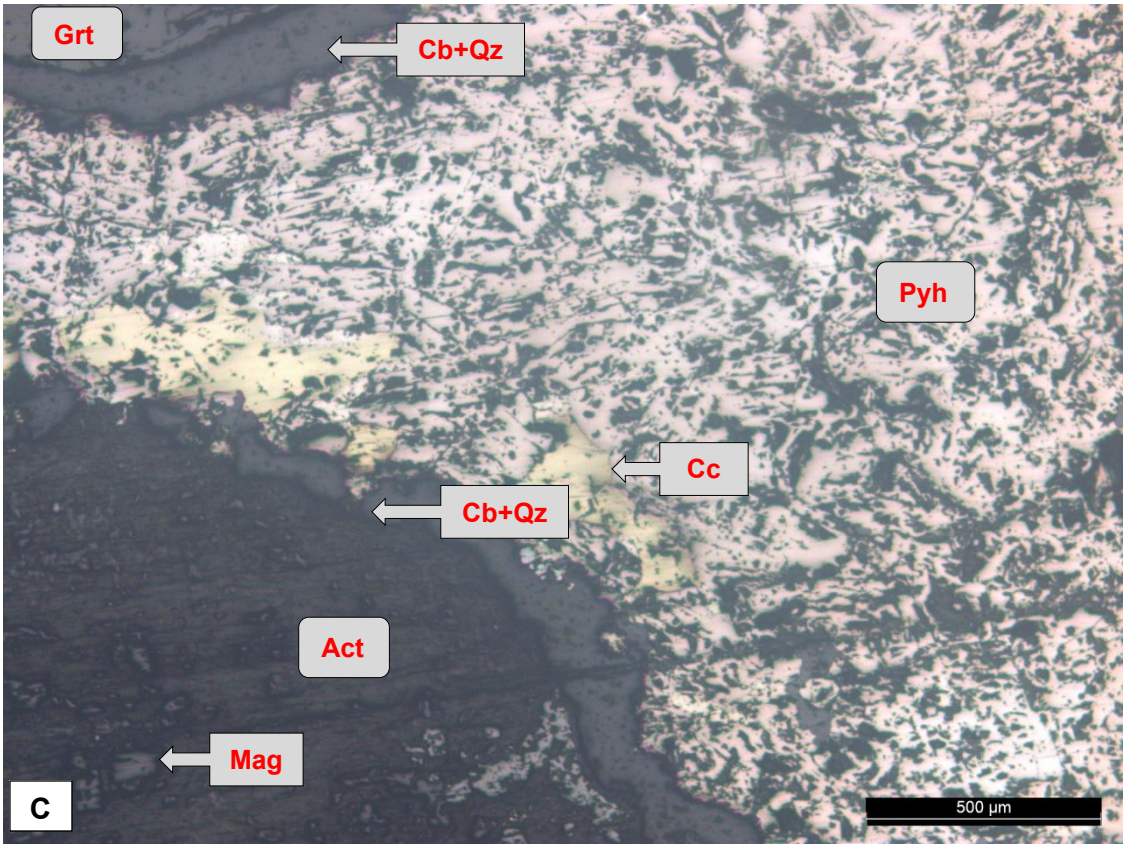
I. A actinolita é o principal mineral da rocha, ocorre em cristais que variam de incolores a verde pálido, com formas prismáticas longas ou curtas, frequentemente formando agregados radiais. Esses cristais aparentam estar sendo substituídos por clorita, por vezes preenchendo fraturas nas granadas. O carbonato é observado em microvênulas, apresentando cristais que variam de extremamente finos a grossos, com formas subédricas a anédricas, obliterando a matriz reliquiar da rocha. A clorita é observada em agregados foliados, ocasionalmente com formas tabulares pseudohexagonais. À luz polarizada (NP), ela apresenta tons de verde a incolor. Já na luz polarizada cruzada (NC), a clorita exibe uma coloração azul conhecida como "*Berlim Blue*". O quartzo bipiramidal é encontrado em cristais de tamanho fino a médio, frequentemente rodeando cristais finos de carbonato. A granada ocorre em granoblastos, que estão intensamente fraturados e em avançado processo de substituição por clorita.

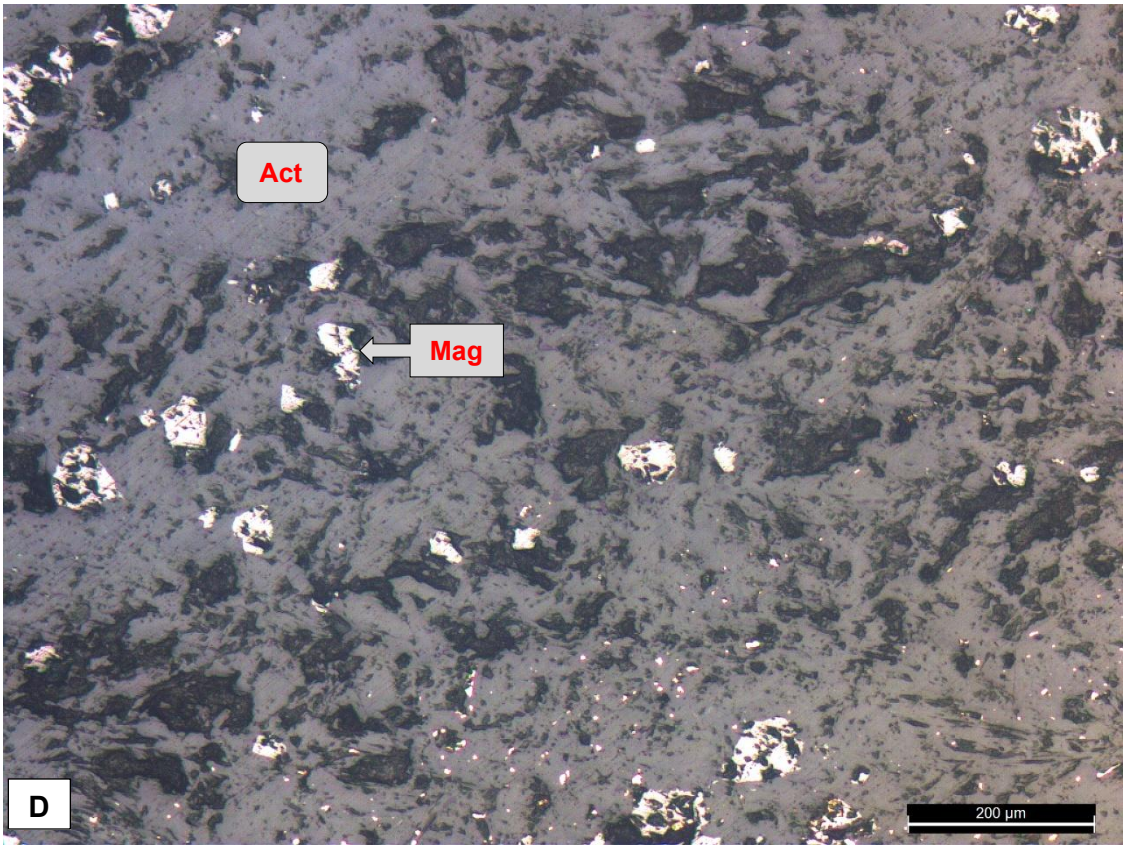
II. A pirrotita e a calcopirita ocorrem em equilíbrio textural, preenchendo veios quartzo-carbonáticos, em cristais muito finos e anédricos. A magnetita é encontrada em cristais disseminados finos e anédricos, apresentando uma coloração levemente cinza a suavemente amarronzada sob NC.

Fotomicrografias









Polarizadores: a) paralelos; b) paralelos; c) paralelos e d) paralelos **Objetivas: a)** 5x; b) 5x; c) 5x e d) 10x

Nome da Rocha: Clorita-carbonato-actinolita xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBS-03-AM05 **Drillhole ID:** FCBS003

Petrógrafo: Walace Fernandes **Profundidade (m):** 116.0

Tipo de Amostra: Testemunho **Teor Au (ppm):** 1.73

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Biotita-granada-quartzo-anfibólio xisto - A rocha apresenta um aspecto bandado e laminado, com níveis finos verde-escuros cloríticos e níveis claros acinzentados silicosos. Os níveis cloríticos contêm magnetita muito fina, enquanto os níveis silicosos abrigam biotita. A rocha também contém granada pouco deformada, com cristais de até 5 mm (sin a tardi cinemática).

Foto da Amostra	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

Transparentes: Actnolita/Tremolita (32%) + Carbonato (25%) + Clorita (15%) + Granada (5%) + Quartzo (4%) + Biotita (1%)

Opacos: Magnetita (7%) + Arsenopirita (5) + Pirrotita (3%) + Calcopirita (2%) Pirita (1%)

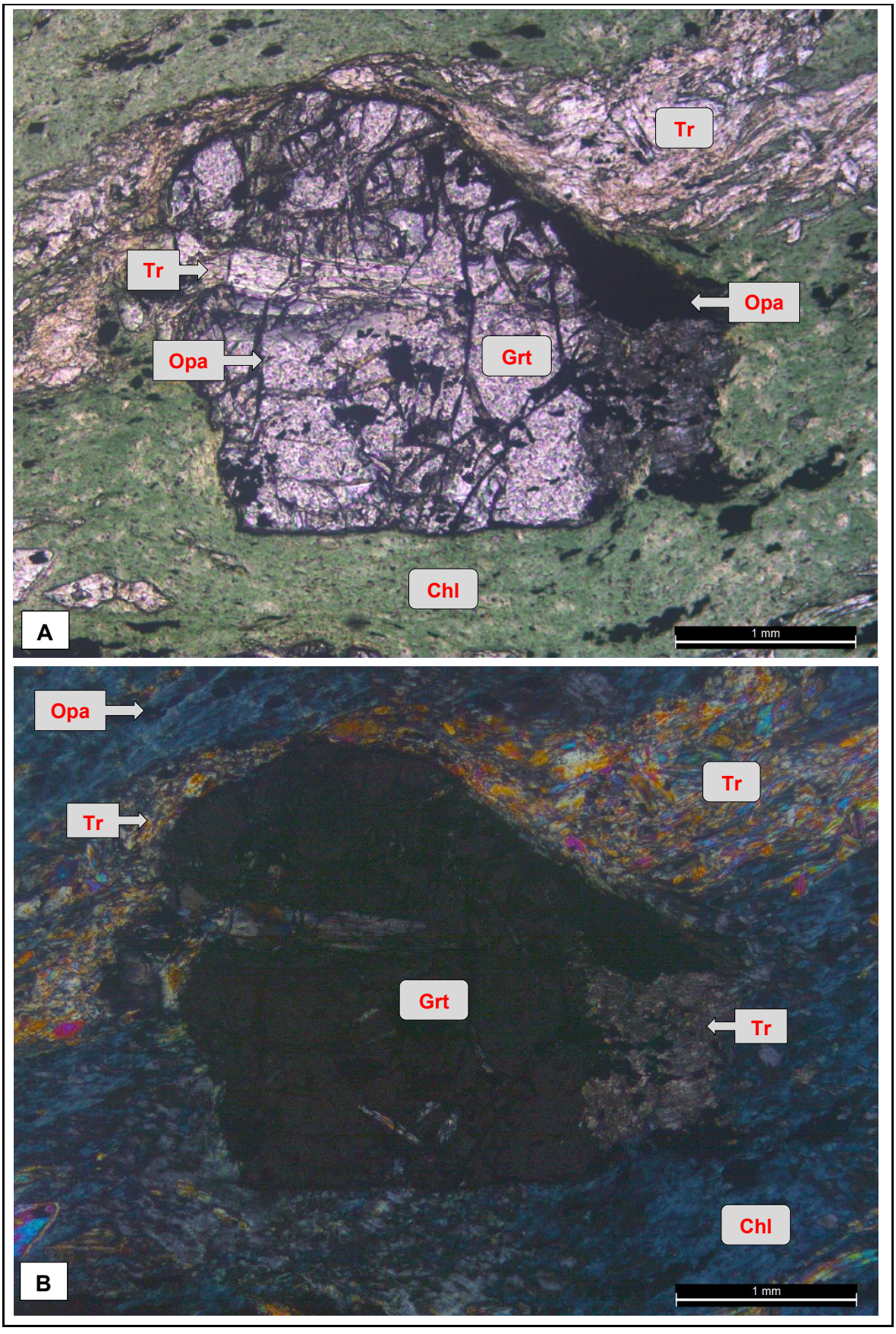
<u>Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)</u>

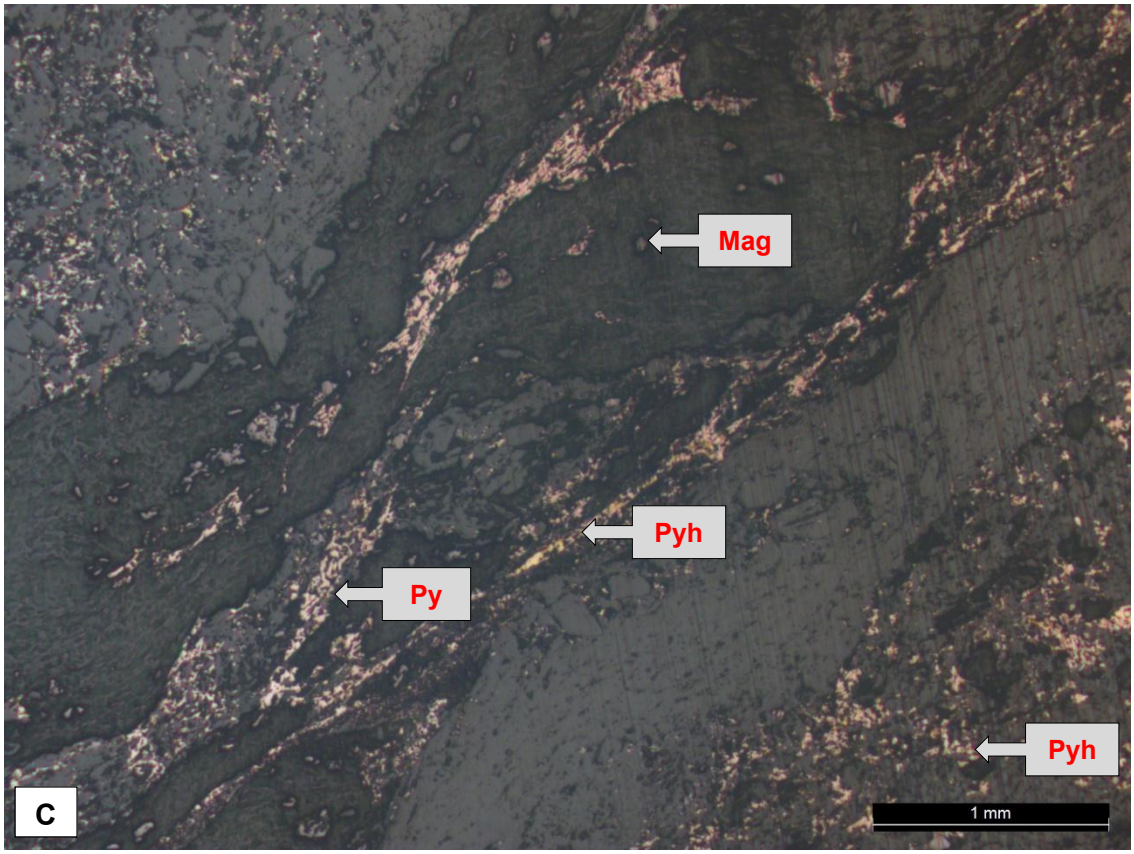
Rocha porfiroblástica, de matriz fina a grossa contendo microfraturas.

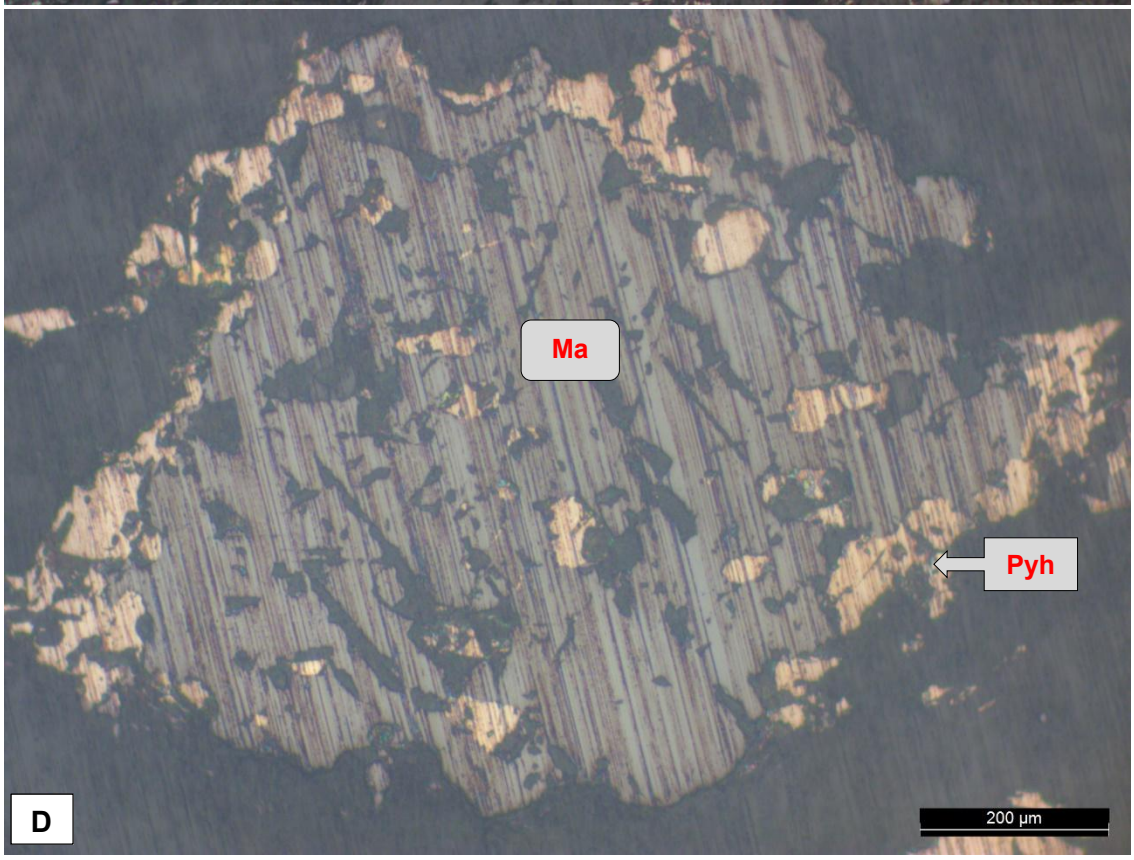
I. A tremolita é o principal mineral da rocha, ocorrendo em agregados radiais de cristais incolores a verde claro, prismáticos curtos a longos, subédricos a anédricos, com cores de interferência fortes. O carbonato ocorre em cristais finos a médios, anédricos, apresentando pleocroísmo de relevo. A clorita ocorre como alteração da tremolita, em cristais pseudohexagonais, com tons de verde a incolor. Á NC, a clorita exibe uma coloração azul "*Berlim Blue*", típica da clorita férrica. O quartzo ocorre em cristais finos e cinza nas vênulas, apresentando extinção ondulante. A granada é observada em granoblastos rotacionados, subédricos a anédricos, com alto relevo e fraturas intragranulares. Em alguns cristais, observam-se inclusões de tremolita e minerais opacos preenchendo as microfraturas. A biotita é observada em cristais lamelares finos, com coloração amarronzada clara a escura, anédricos a subédricos, e apresenta pleocroísmo de castanho claro a preto.

II. A magnetita ocorre em cristais com coloração marrom a arroxeada, octaédricos finos a médios, anédricos e apresentando discreto pleocroísmo. A arsenopirita e a pirrotita são encontradas preenchendo microfraturas na granada. A arsenopirita ocorre em cristais acinzentados e anédricos, enquanto a pirrotita é observada em cristais finos a médios, também anédricos e aparentemente substiuindo a magnetita. A calcopirita ocorre em cristais extremamente finos, substituindo a pirrotita. A pirita aparenta ser subparalela à foliação, encontrada em cristais finos a médios e anédricos. **Obs:** A clorita (Cr) substitui a tremolita, enquanto a clorita (Mg) substitui a granada. Cristais de pirrotita e

arsenopirita preenchem microfraturas e estão presentes na borda da granada. A magnetita está associada à clorita (Cr). O fluxo granular pode ter causado a rotação da granada, e, posteriormente, o fluxo cataclástico gerou as microfraturas.
Fotomicrografias


Tr
Tr
Opa
Opa
Grt
Chl
A
1 mm
Opa
Tr
Tr
Grt
Tr
Chl
B
1 mm





Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c)) paralelos e d) paralelos
Objetivas: a) 2.5x; b) 2.5x; c) 2.5 e d) 10x

Nome da Rocha: Clorita-carbonato-actinolita xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBS-03-AM06

Drillhole ID: FCBS003

Petrógrafo: Walace Fernandes

Profundidade (m): 117.35

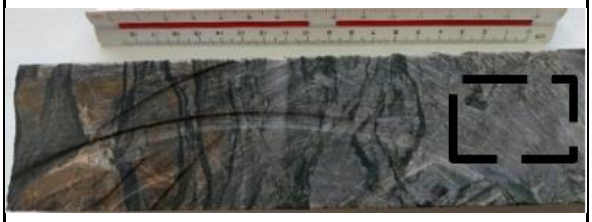
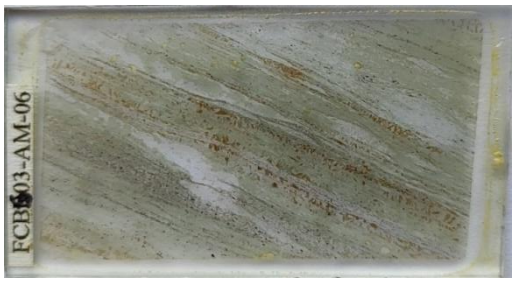
Tipo de Amostra: Testemunho

Teor Au (ppm): 0.15

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Quartzo-carbonato-sericita xisto - A rocha é geralmente de cor creme claro a cinza claro, contendo lâminas verdes cloríticas, finas e dobradas, com feições sigmoidais. Há um trecho que se assemelha bastante a uma rocha carbonática laminada (metacalcário/marga), mas, em geral, a rocha é bastante silicosa.

Foto da Amostra	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Tremolita (25%) + Clorita (15)% + Quartzo (16%) + Biotita (16%) + Epidoto (15%) + Granada (5%) + Turmalina (<1%)

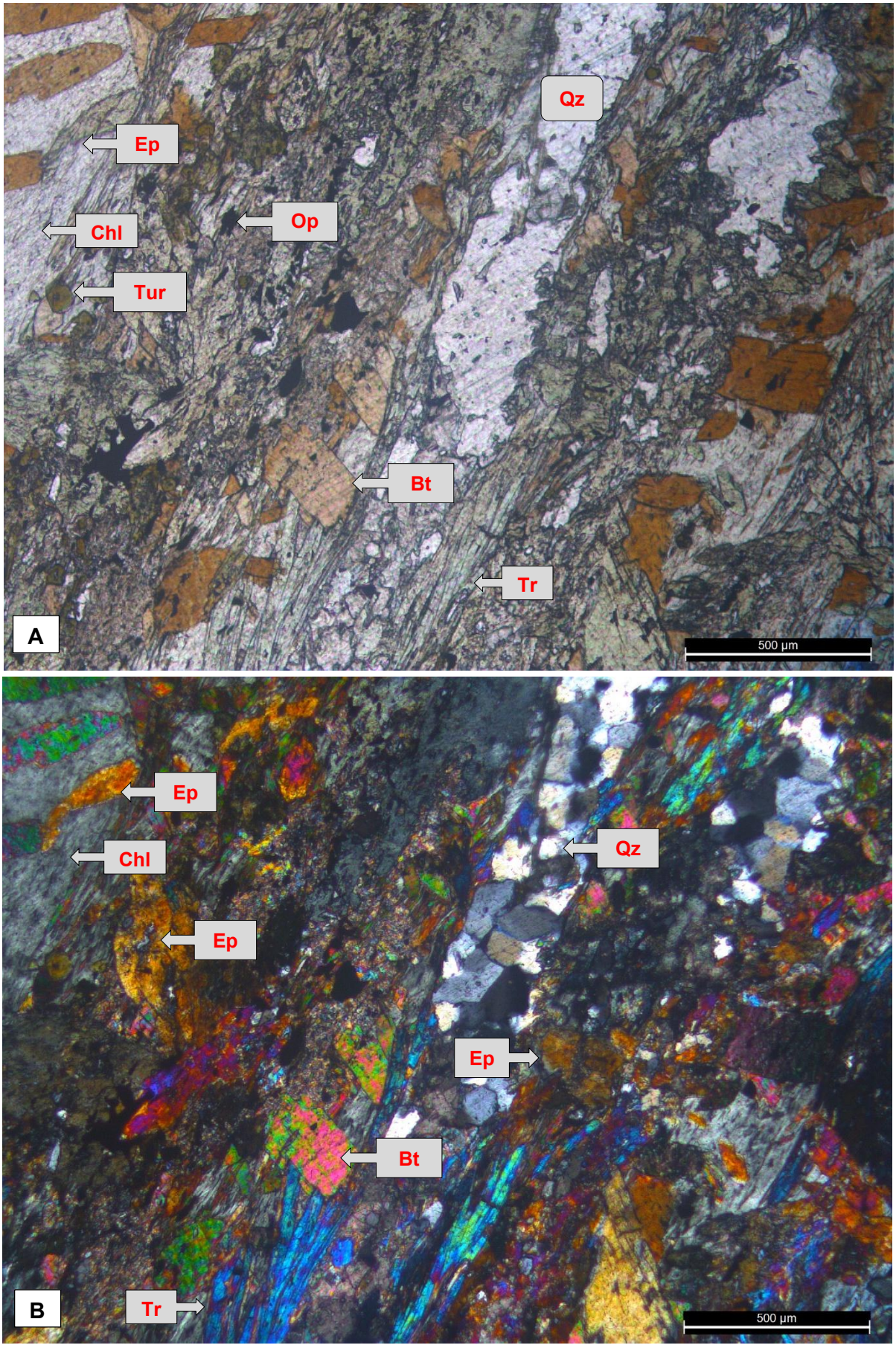
Opacos: Rutilo (3%) + Pirrotita (2%) + Arsenopirita (1%) + Calcopirita (1%) Pentlandita (1%) + Pirita (<1%)

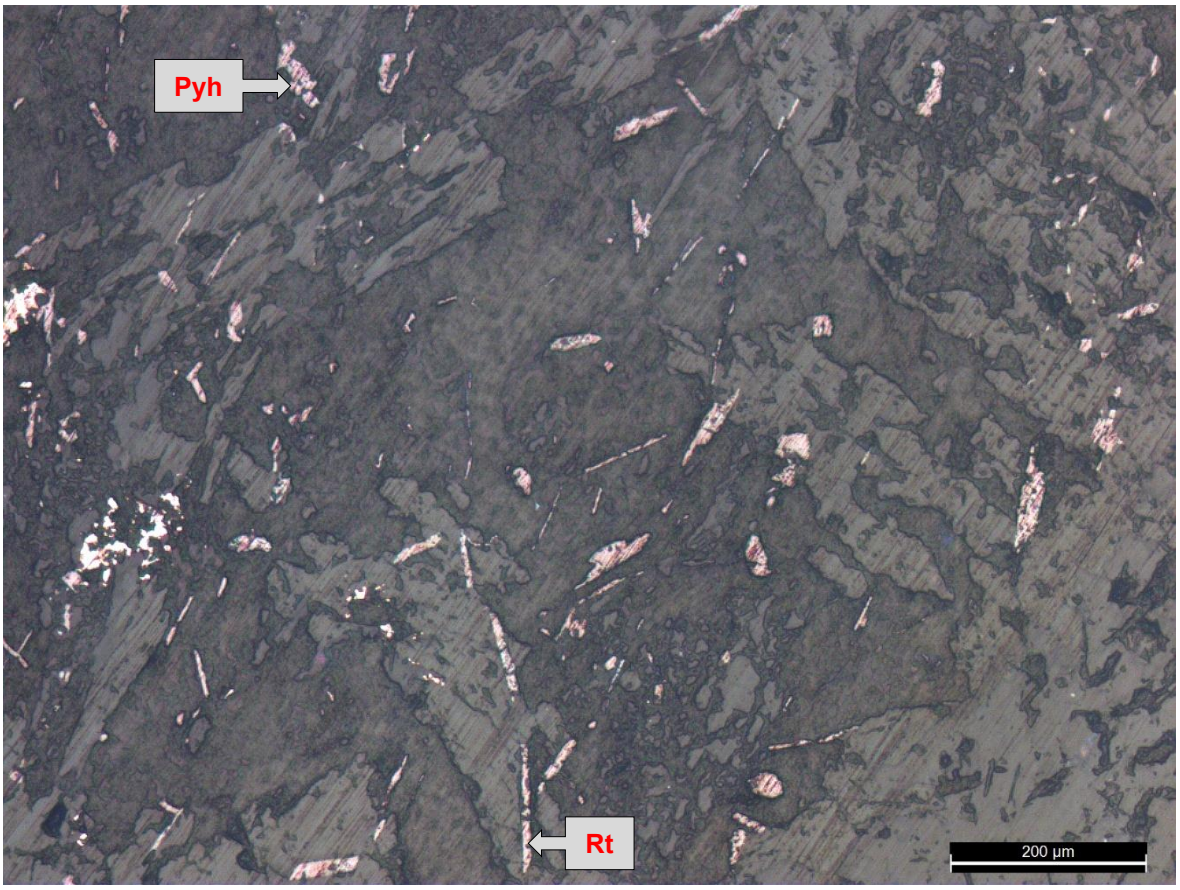
A rocha é granulonematoblástica, com uma matriz fina a média e estrutura foliada.

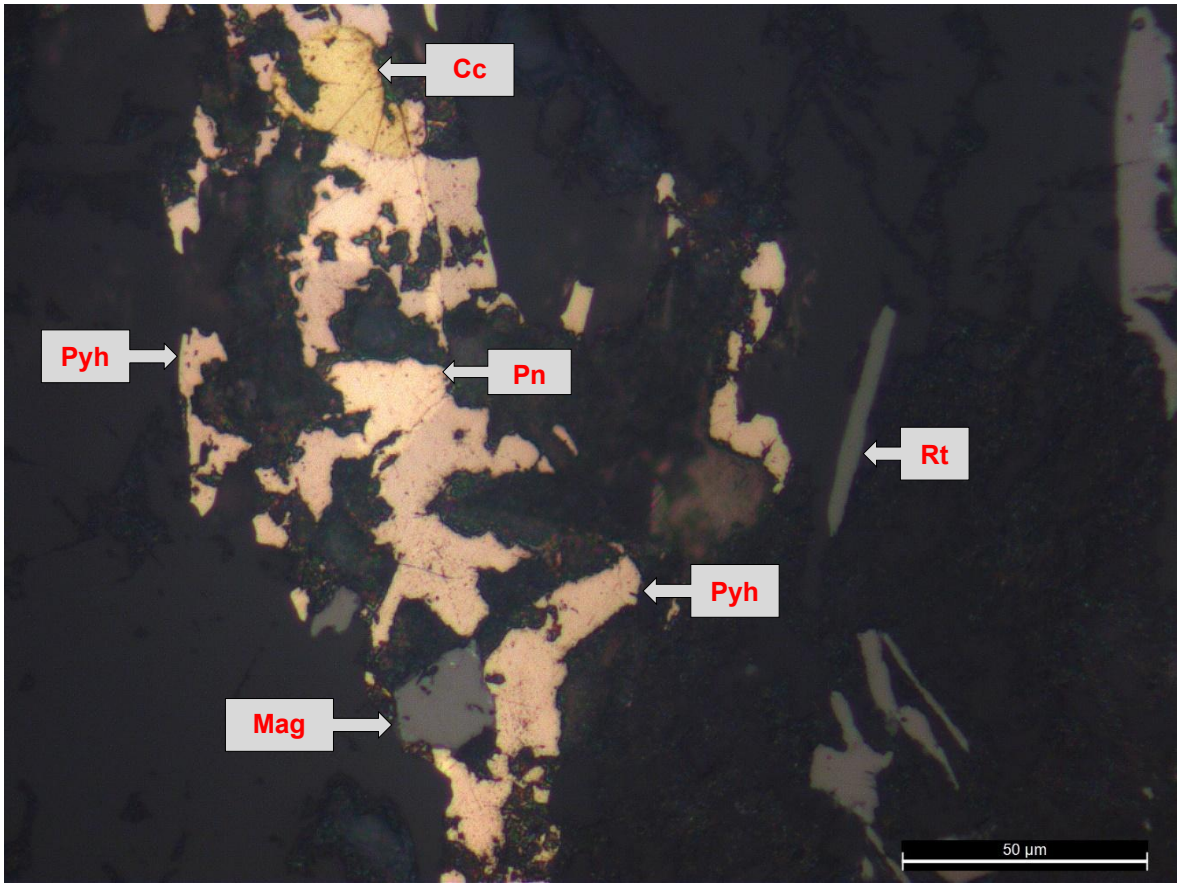
I. A tremolita é o principal mineral da rocha. Seus cristais variam de incolores a verde pálido, são prismáticos e longos, formando agregados fibrosos, às vezes radiais, e frequentemente exibem múltiplas maclas "multiple twinning". A clorita é observada em cristais brancos, prismáticos, com pleocroísmo variando de incolor a verde pálido, aparentemente substituindo a tremolita. O quartzo é encontrado em vênulas, com cristais de coloração cinza, finos a grossos, anédricos e apresentando extinção ondulante. A biotita ocorre em cristais variando de amarronzados claros a escuros, lamelares, grossos, euédricos e pode exibir textura degussada pontual na rocha. O epidoto aparece em cristais finos a grossos, subédricos, em tons amarelos-esverdeados, com alto relevo e cores de interferência intensas. Às vezes, os cristais mostram seção basal losangular. Os cristais de granada aparecem como resquícios isótropos e estão em processo de substituição por clorita. A turmalina ocorre em cristais prismáticos, com coloração variando de amarronzada a esverdeada, anédricos, e por vezes apresenta seção basal. O rutilo é encontrado como cristais muito pequenos, na forma de aciculares, às vezes preenchendo os interstícios dos cristais de biotita mais grossos. Em luz transmitida, os cristais de rutilo são observados como marrom escuro, normalmente com fraco pleocroísmo.

II. A pirrotita ocorre em cristais finos, subédricos, com anisotropia variando de cinza suave a marrom-vermelho. A arsenopirita é observada disseminada entre os cristais de anfibólio, em cristais que variam de cinza a branco, com formas prismáticas a distorcidas, subédricos a anédricos. Calcopirita está presente substituindo a pirrotita, em cristais finos e anédricos. A ilmenita ocorre em cristais tabulares extremamente finos, disseminados e suborientados. A pentlandita, associada à pirrotita, é observada em cristais amarelo-bronze claro, com média refletividade e alta isotropia a NC. A pirita é encontrada em cristais finos, anédricos a subédricos, apresentando idiomorfismo e alto relevo. Obs: Os cristais de tremolita observados, contém feições do subgrupo dos clinoanfibólios, da série grunerita/cummingtonita. A presença de epidoto, pode ter origem do processo de "saussuritização" a substituição do componente anortita dos plagioclásios.

Fotomicrografias


Qz
Ep
Chl
Op
Tur
Bt
Tr
A
500 µm
Ep
Chl
Qz
Ep
Ep
Bt
B
Tr
500 µm





Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos e d) paralelos **Objetivas:** a) 5x; b) 5x; c) 10x e d) 50x

Nome da Rocha: Quartzo-clorita-tremolita xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBS-03-AM012

Drillhole ID: FCBS003

Petrógrafo: Walace Fernandes

Profundidade (m): 117.60

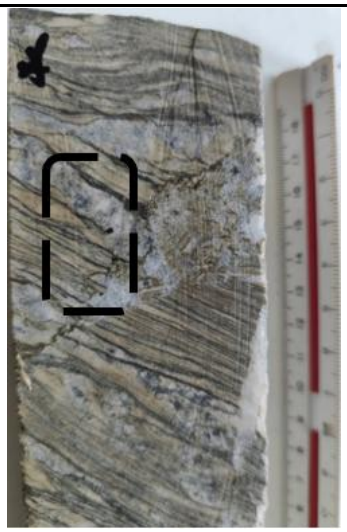
Tipo de Amostra: Testemunho

Teor Au (ppm): 0.15

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Quartzo-carbonato-sericita xisto - A rocha é geralmente de cor creme claro a cinza claro, contendo lâminas verdes cloríticas, finas e dobradas, com feições sigmoidais. Há um trecho que se assemelha bastante a uma rocha carbonática laminada (metacalcário/marga), mas, em geral, a rocha é bastante silicosa.

Foto da Amostra	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Carbonato (40%) + Actinolita (30%) + Clorita (10%) + Quartzo (3%)

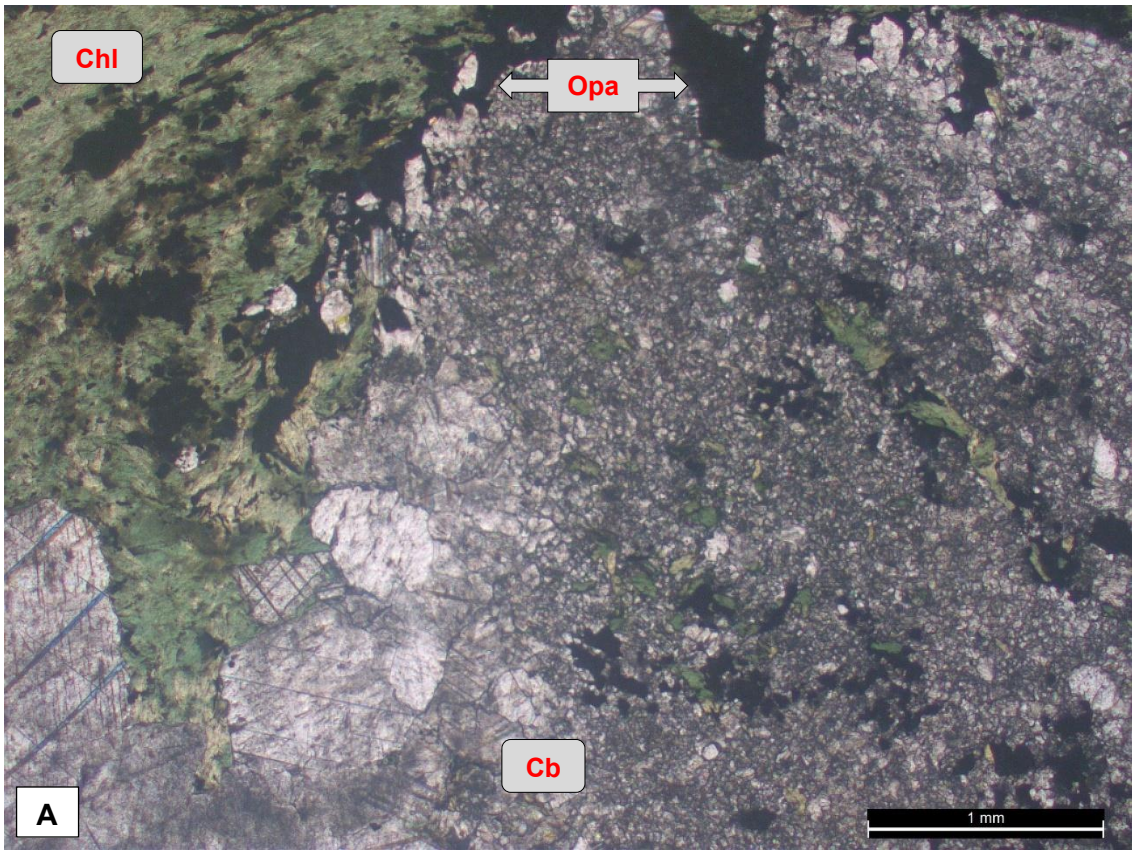
Opacos: Pirrotita (7%) + Calcopirita (5%) + Magnetita (3%) + Pirita (1%) + Petlandita (1%)

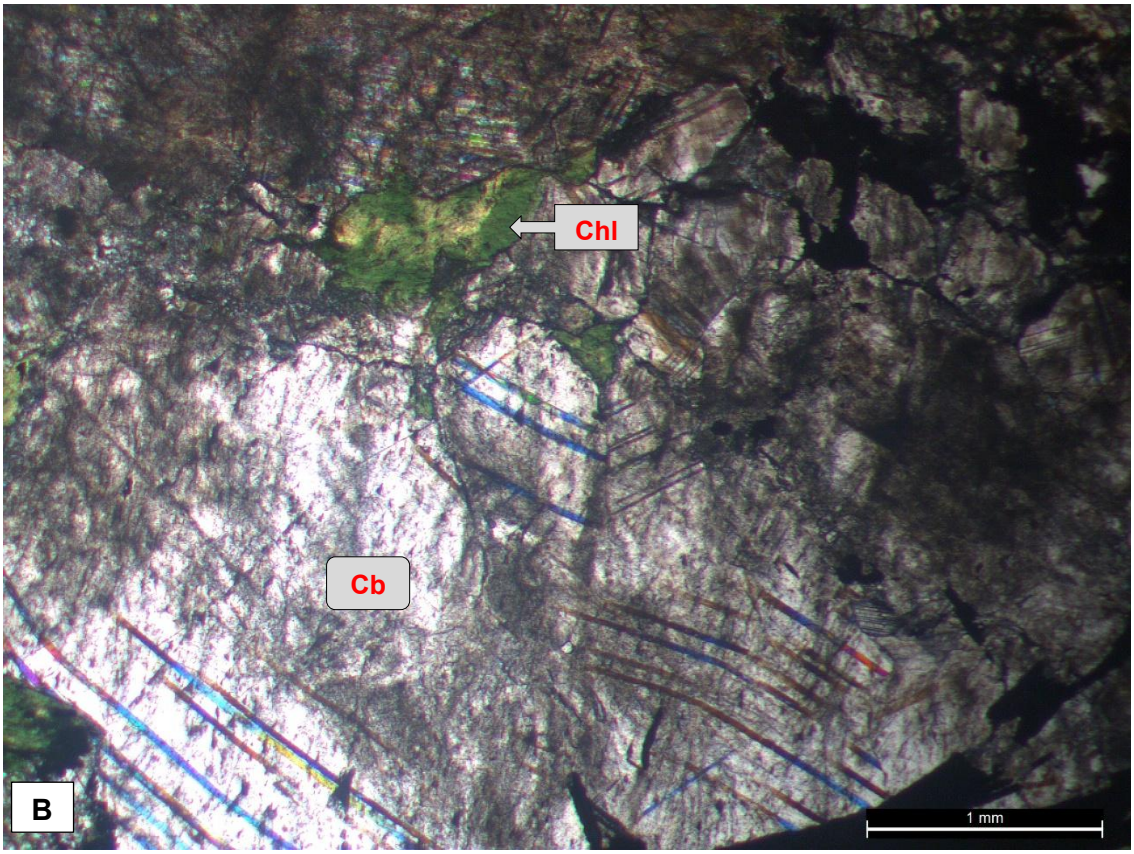
A rocha é porfiroblástica, com uma matriz que varia de fina a grossa, parcialmente obliterada.

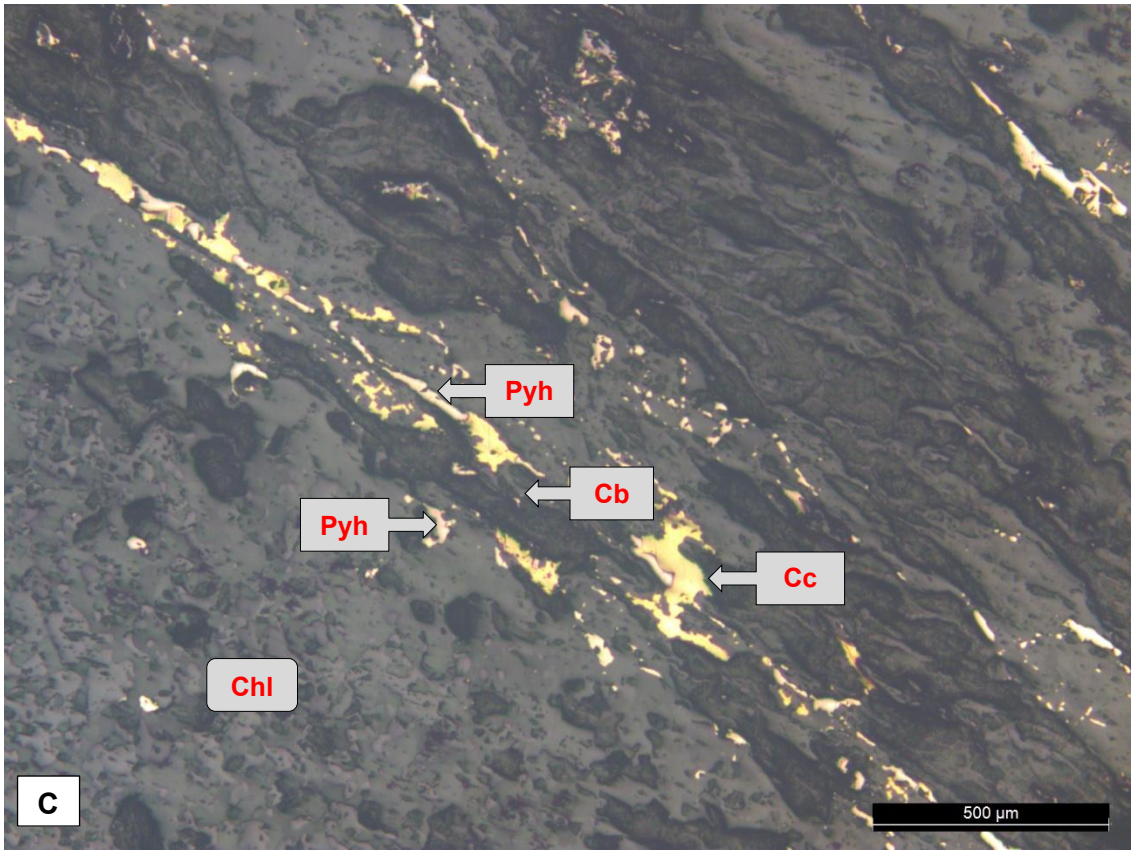
I. O carbonato é o principal constituinte da rocha e ocorre em duas fases. Na primeira fase, é observado em veios, formando porfiroblastos euédricos (“espáticos”), com elevada birrefringência. Na luz polarizada cruzada (NC), esses cristais exibem maclas, como bandas retilíneas paralelas e coloridas. A segunda fase de carbonatos ocorre em microvênulas, formando cristais extremamente finos. No contato com a clorita, esses carbonatos estão associados a minerais opacos. A actinolita aparece em cristais finos, anédricos a subédricos, incolores a verde pálido, com cores de interferência baixas (amareladas). A clorita é observada em processo de alteração da actinolita e apresenta discreto pleocroísmo; por vezes, identificam-se halos pleocróicos em seu entorno. O quartzo é encontrado em cristais extremamente finos intercalados entre os carbonatos.

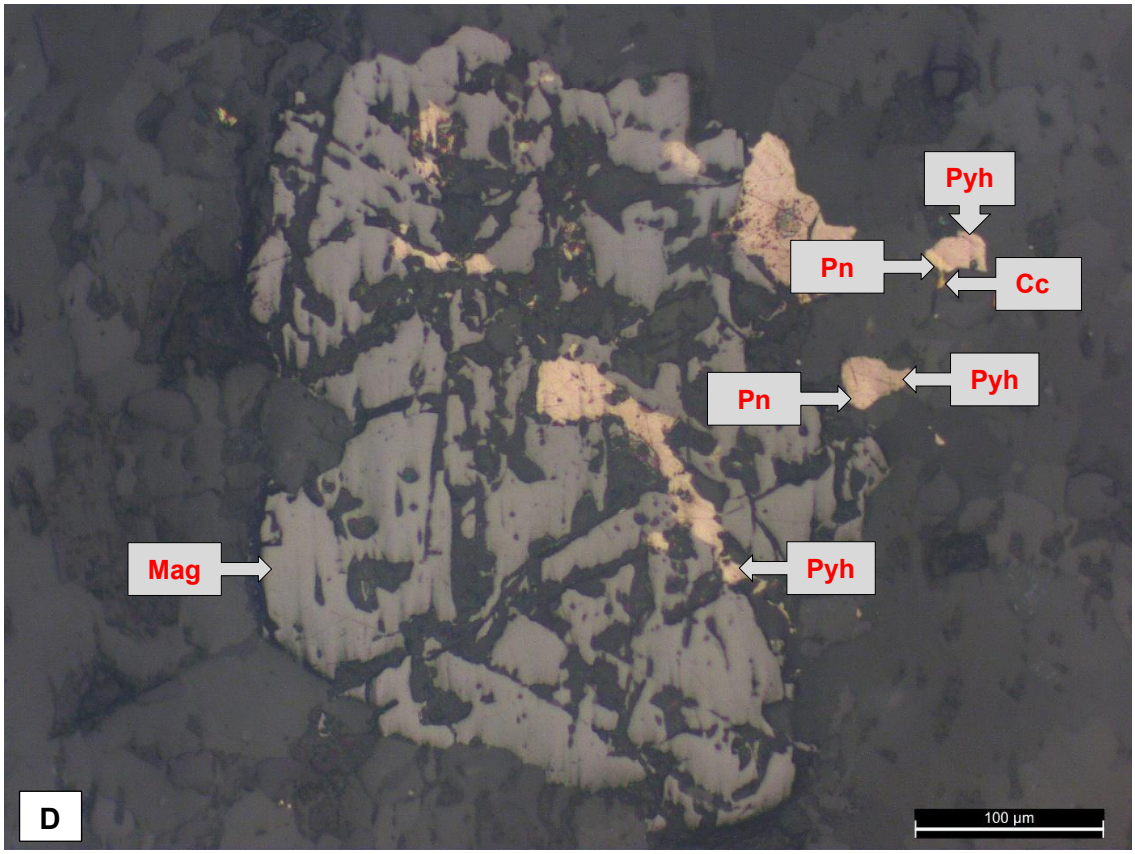
II. A pirrotita é predominante em zonas de clorita, ocorrendo em cristais de tom amarelo-bronze extremamente finos e, por vezes, preenchendo microfraturas. Ela está associada à magnetita. A calcopirita aparece em cristais de coloração amarelo profundo, com brilho metálico, finos e anédricos, substituindo a magnetita. A magnetita é observada disseminada na matriz carbonática fina, em cristais cinza ou azulado-aço, anédricos. A pirita ocorre em cristais amarelo latão pálido, finos e euédricos, e está em equilíbrio textural com a magnetita. Petlandita ocorre nas bordas da pirrotita, em cristais de tom amarelo-bronze claro, xenomórficos e com boa refletividade.

Fotomicrografias









Polarizadores: a) paralelos; b) paralelos; c) paralelos e d) paralelos

Objetivas: a) 2.5x; b) 2.5x; c) 5x e d) 20x

Nome da Rocha: Clorita-actinolita-carbonato-clorita xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes
Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBS-03-AM014 **Drillhole ID:** FCBS003

Petrógrafo: Walace Fernandes **Profundidade (m):** 122.50

Tipo de Amostra: Testemunho **Teor Au (ppm):** 11.35

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Quartzo-carbonato-sericita xisto - A rocha é de cor verde médio a escuro, apresentando uma estrutura laminada a foliada, com níveis verdes cloríticos e outros de cor creme-branco-cinza de quartzo e carbonato, além de vênulas brancas calcíticas. Em alguns trechos, a rocha é laminada a bandada com ocorrência de biotita junto com sílica. Feições sigmoidais são presentes. Há sulfetação de PYH e Py, com níveis que chegam a até 10%. As dobras cisalhadas afetam a laminação, e há sulfetação intensa de Py disseminada.

Foto da Amostra

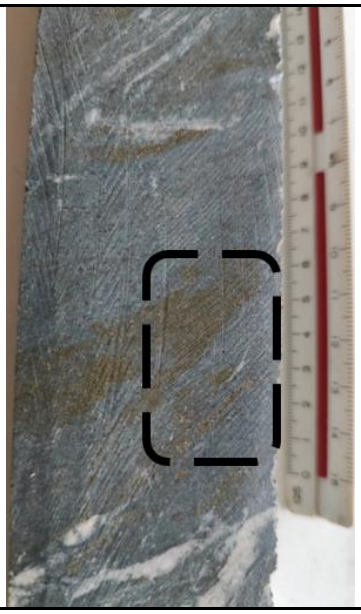


Foto da Lâmina



Descrição Microscópica

Transparentes: Clorita (40%) + Carbonato (15%) + Sericita (10%) + Epidoto (7%) + Biotita (2%) + Quatzo (1%)
Opacos: Ilmenita (17%) + Pirita (7%) + Pirrotita (1%)

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

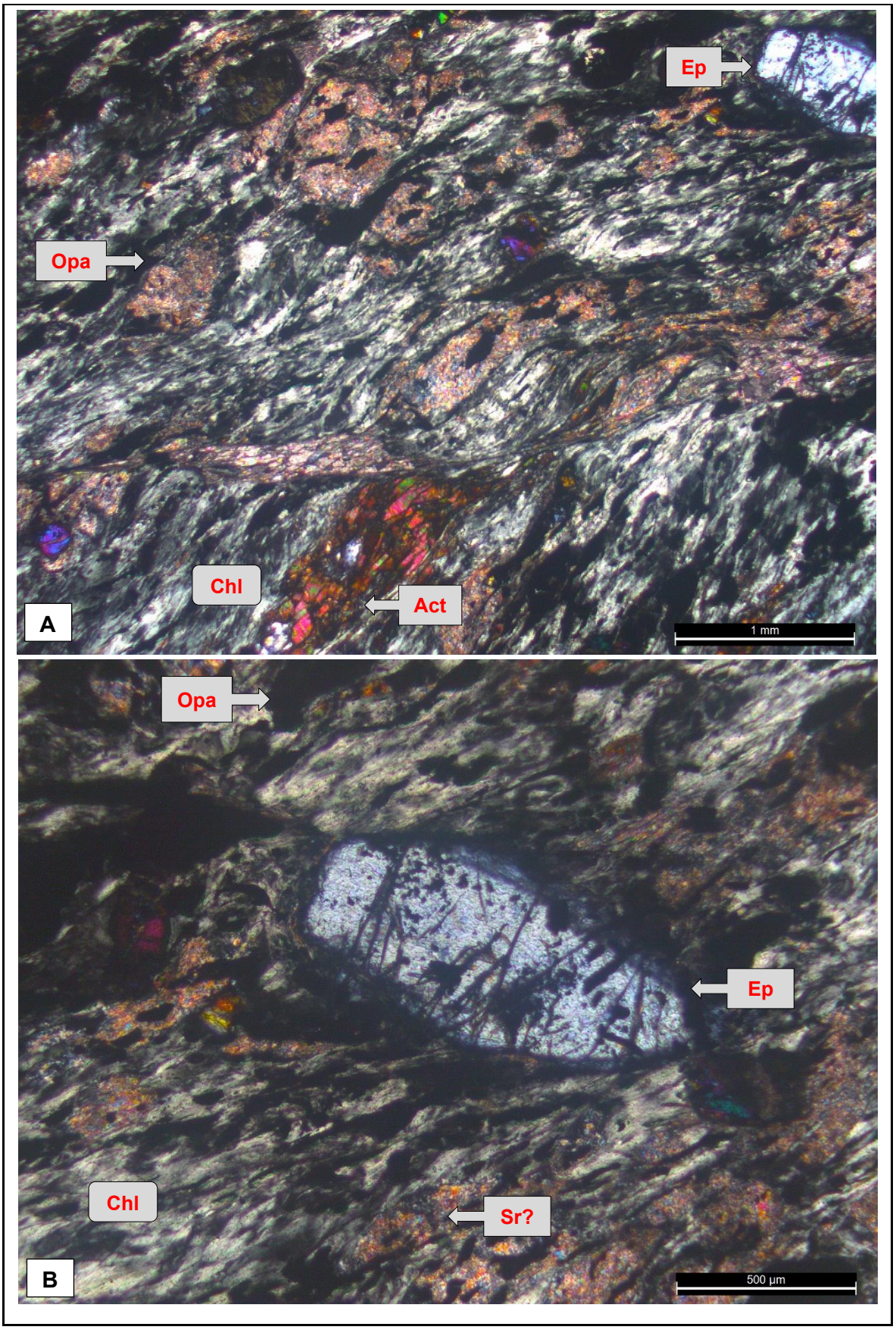
A rocha é lepidoblástica, com uma matriz fina a média, crenulada e apresentando textura "*mica fish*" lenticular.

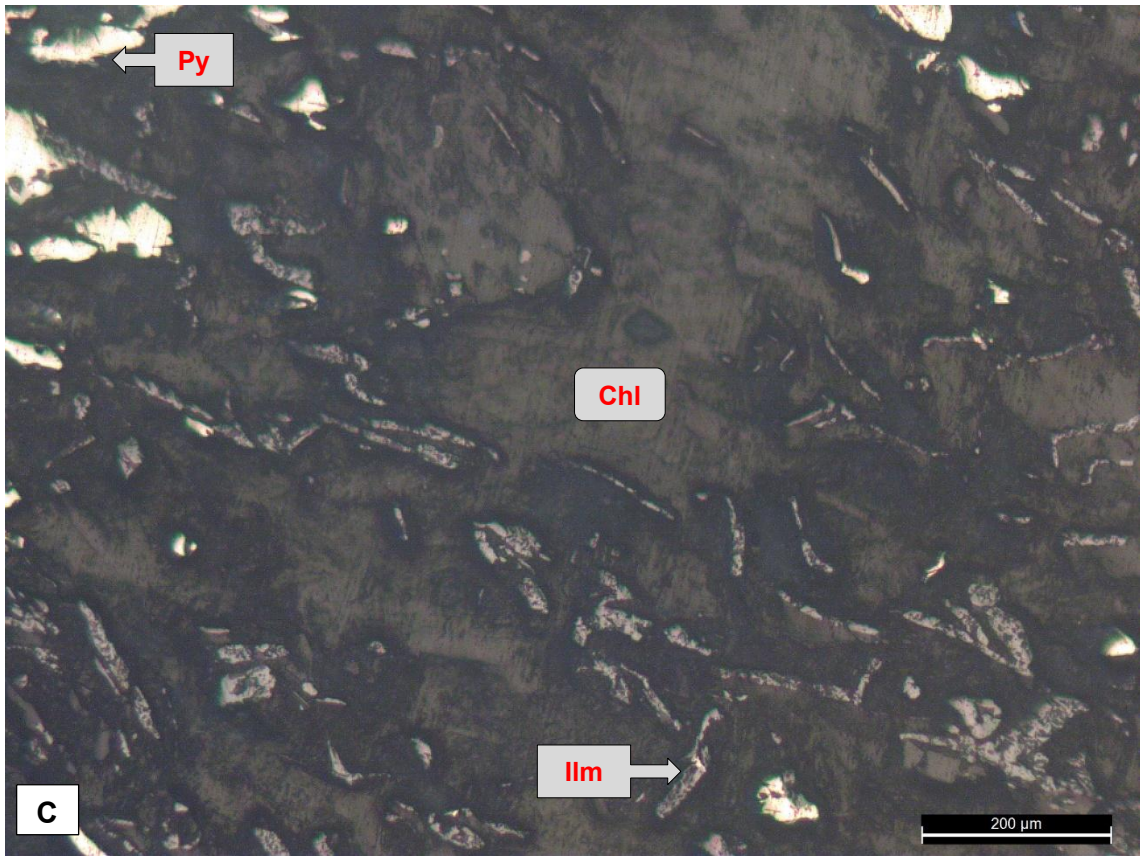
I. A clorita é o principal mineral da rocha, ocorrendo em cristais finos, anédricos, de coloração incolor a verde pálido, substituindo actinolita/tremolita e biotita. O carbonato ocorre em vênulas estiradas, com cristais geralmente extremamente finos e apresentando elevada birrefringência. O epidoto é observado em granulação grossa a fina, com alto relevo, normalmente formando prismas longos. Na luz natural (ND), os cristais se apresentam amarelo pálido, e na luz polarizada cruzada (NC), exibem cores de interferência intensas. Notam-se fraturas perpendiculares ao alongamento do cristal, preenchidas por minerais opacos. O quartzo ocorre em cristais extremamente finos, intercalados entre os carbonatos.Quanto aos opacos, a rocha exibe concentração significativa de pirita e ilmenita.

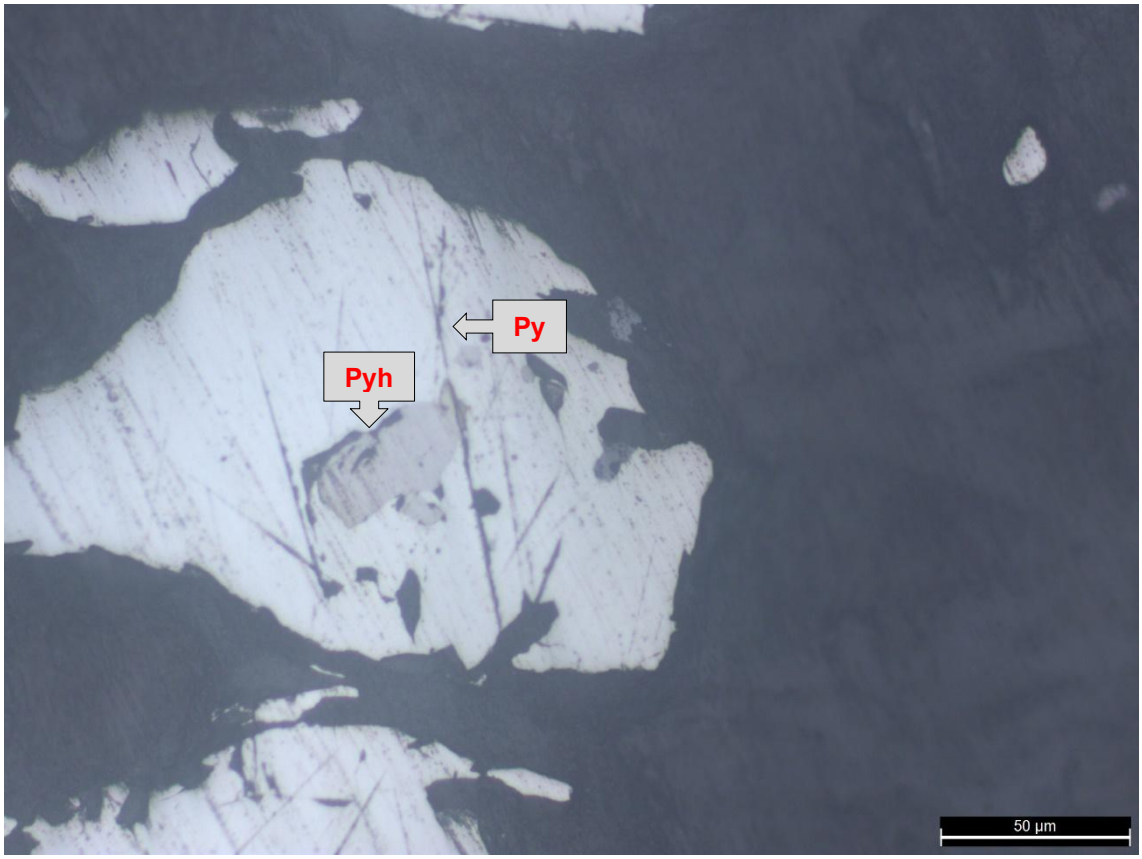
II. A pirita ocorre associada à clorita, em cristais de coloração branco-amarelada, finos, euédricos e, por vezes, alongados, apresentando leve anisotropia anômala em tons marrons. A ilmenita ocorre em cristais lamelares subparalelos à textura da rocha, de coloração acinzentada e alongada. A pirrotita é observada em pequenos cristais "residuais", em processo avançado de substituição por pirita.

Obs: A pirita e a ilmenita aparentam estar em equilíbrio textural, o que pode ser indicativo de

contemporaneidade entre as fases. A leve anisotropia da pirita sugere uma composição arsenical.
Fotomicrografias


Ep
Opa
Chl
Act
A
1 mm
Opa
Ep
Chl
Sr?
B
500 µm





Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos e d) paralelos **Objetivas: a)** 2.5x; b) 5X; c)10x e d) 20x

Nome da Rocha: Epidoto-carbonato-clorita xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBS-03-AM07 **Drillhole ID:** FCBS003

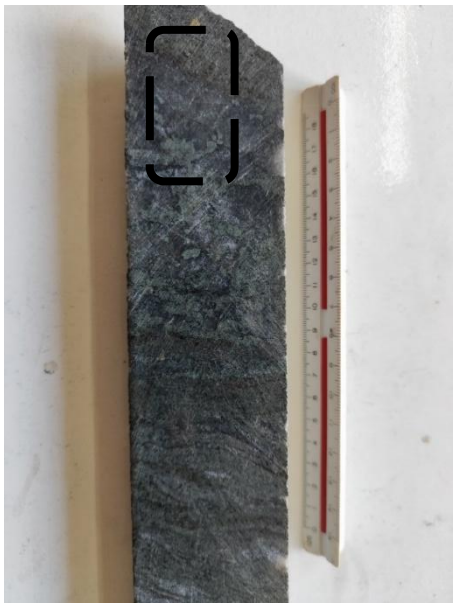
Petrógrafo: Walace Fernandes **Profundidade (m):** 137.80

Tipo de Amostra: Testemunho **Teor Au (ppm):** 3.64

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Quartzo-biotita-anfibólio xisto - A rocha é de cor verde médio a escuro, com aspecto laminado a foliado. Apresenta níveis verdes cloríticos com anfibólio, níveis amarronzados biotíticos e níveis cinza translúcido silicosos. Há sulfetação esporádica de Pyh fina, concordante com a foliação.

Foto da Amostra	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Carbonato (45% + Clorita (40%) + Quartzo (5%) + Tremolita (<1%)

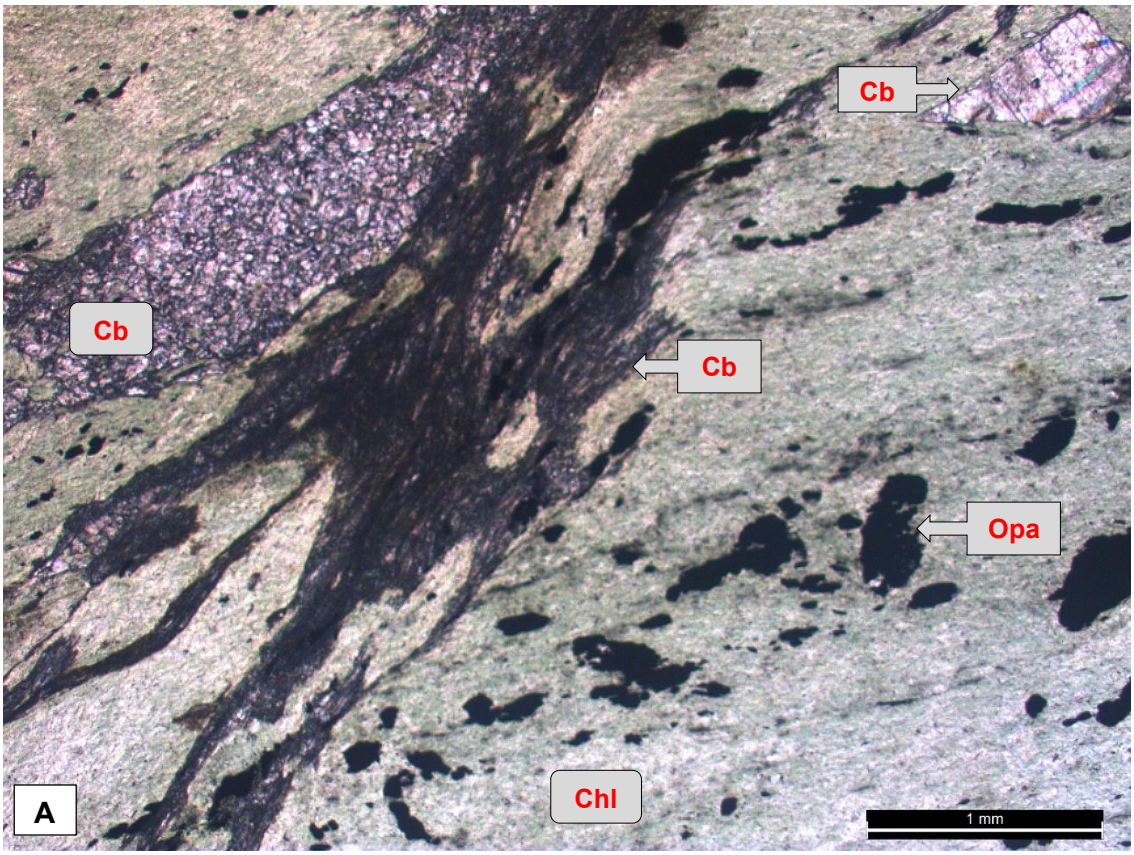
Opacos: Magnetita (10%)

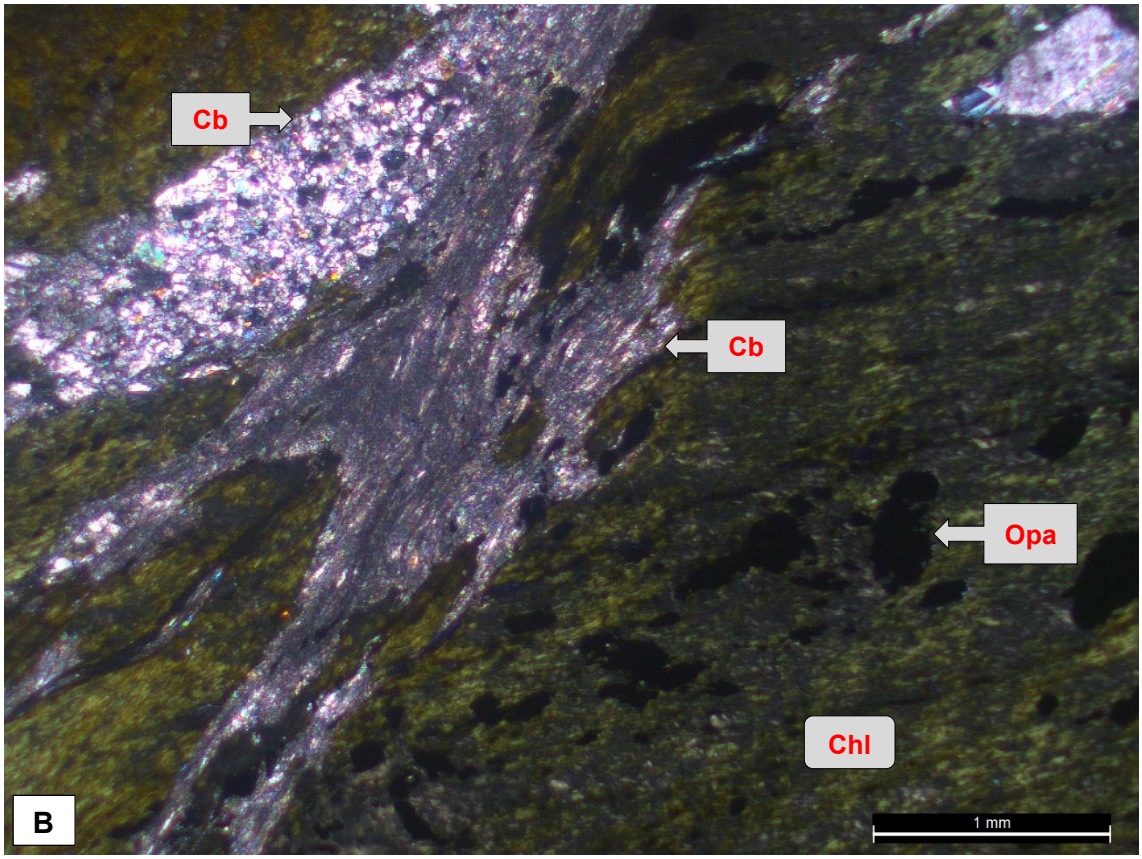
A rocha é granolepidoblástica inequigranular, com matriz reliquiar intensamente obliterada.

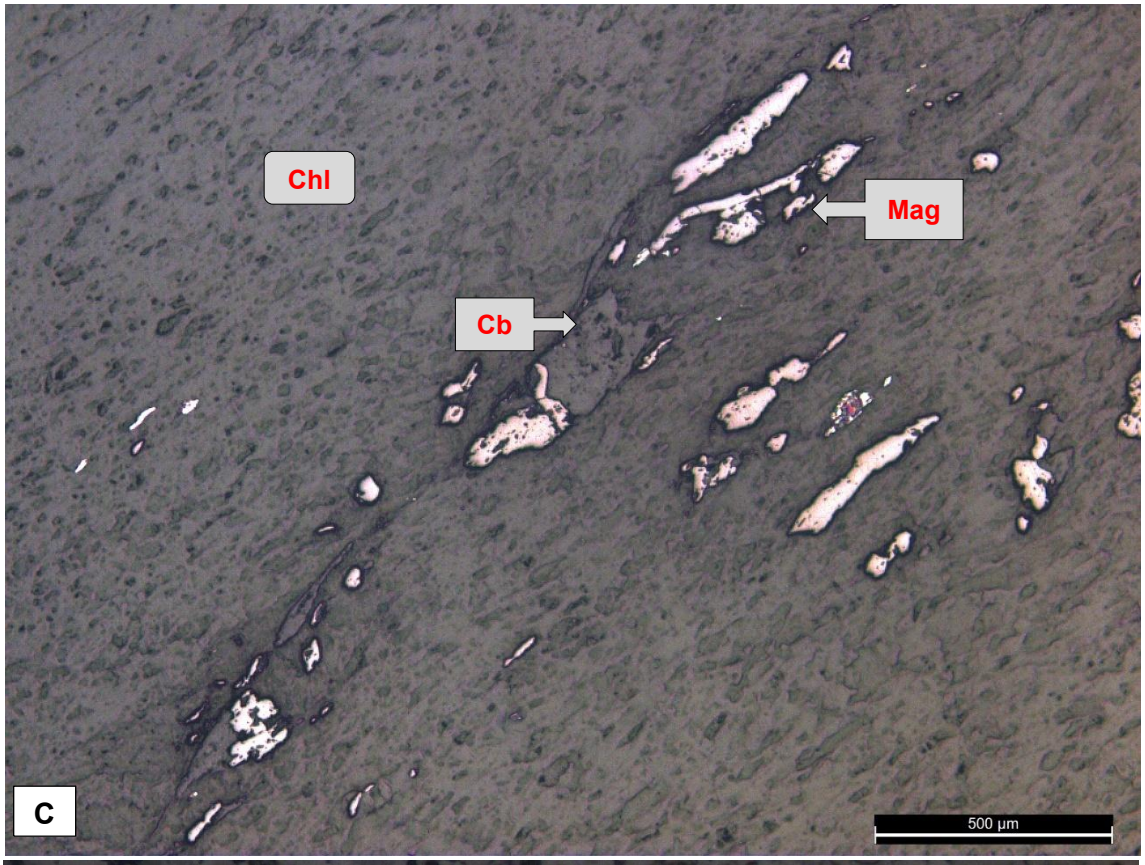
I. O carbonato é o principal mineral da rocha e apresenta dois tipos distintos. O primeiro tipo ocorre em maior concentração, sendo observado em veios, com cristais subédricos a euédricos, localmente exibindo textura porfiroblástica grossa. O segundo tipo de carbonato ocorre em vênulas subparalelas à foliação, onde se observam cristais poligonais granoblásticos de granulação fina, associados a cristais de pirrotita no contato com a clorita. A clorita (magnesiana) é observada em cristais finos, anédricos, com tons verde pálido, aparentemente alterando actinolita/tremolita. O quartzo ocorre em cristais extremamente finos entre os carbonatos. A tremolita é observada localmente em faixas de clorita, apresentando cristais prismáticos longos, com coloração de incolor a verde claro.

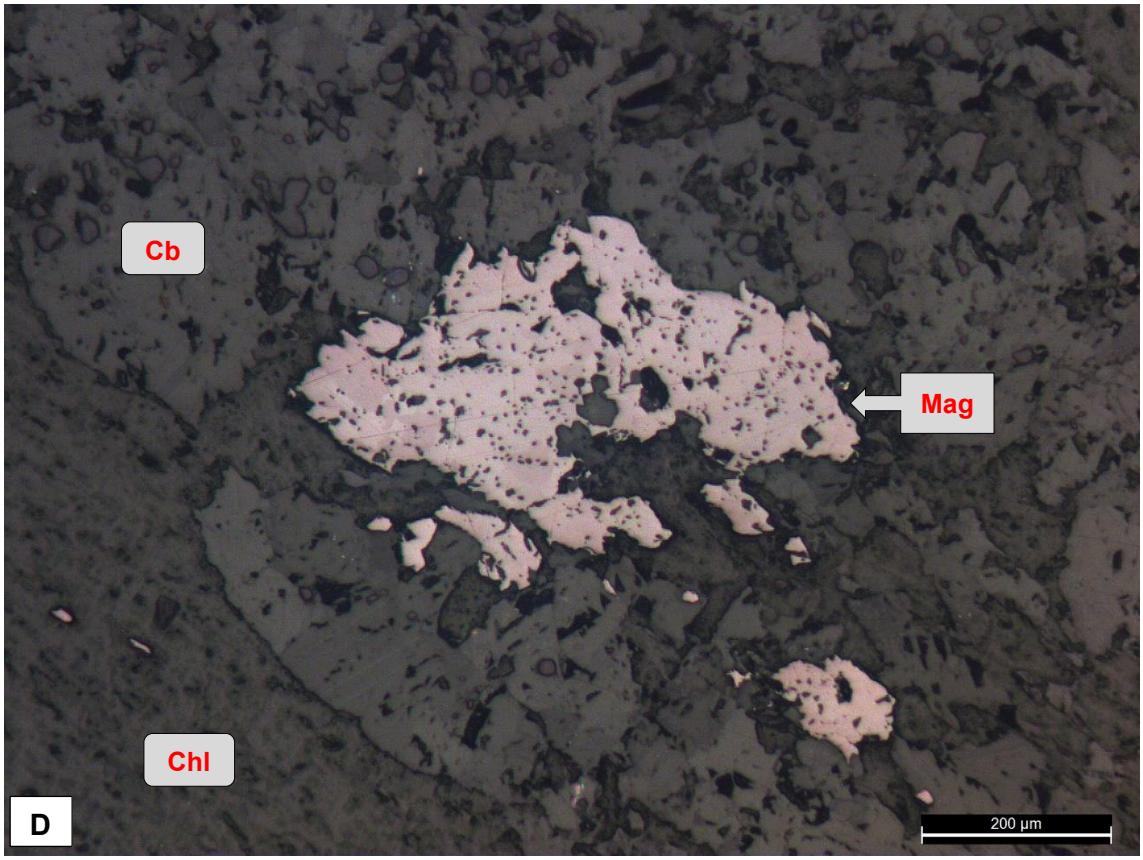
II. A magnetita é observada nas faixas de clorita, ocorrendo em cristais finos, granoblásticos, de coloração cinza levemente róseo, anédricos a subédricos, alongados e com brilho metálico. Esses cristais são notados subparalelos à foliação e associados a vênulas de carbonato fino.

Fotomicrografias









Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos e d) cruzados**Objetivas:** a) 2.5x; b) 2.5x; c) 5x e d) 10x

Nome da Rocha: Clorita-carbonato xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBR017-010

Drillhole ID: FCBR017

Petrógrafo: Walace Fernandes

Profundidade (m): 83.2

Tipo de Amostra: Testemunho

Teor Au (ppm): 24.1

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Biotita-granada-quartzo-anfibólio xisto - A rocha fresca apresenta coloração verde-escura a bege clara, é laminada, com cristais de granada essencialmente euédricos a subédrico e grosso. Lâminas verde-escuras sobrecrescem sobre a matriz clara. No geral, as lâminas encontram-se dobradas.

Foto da Amostra	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Carbonato (30%) + Clorita (27%) + Tremolita (20%) + Granada (3%)

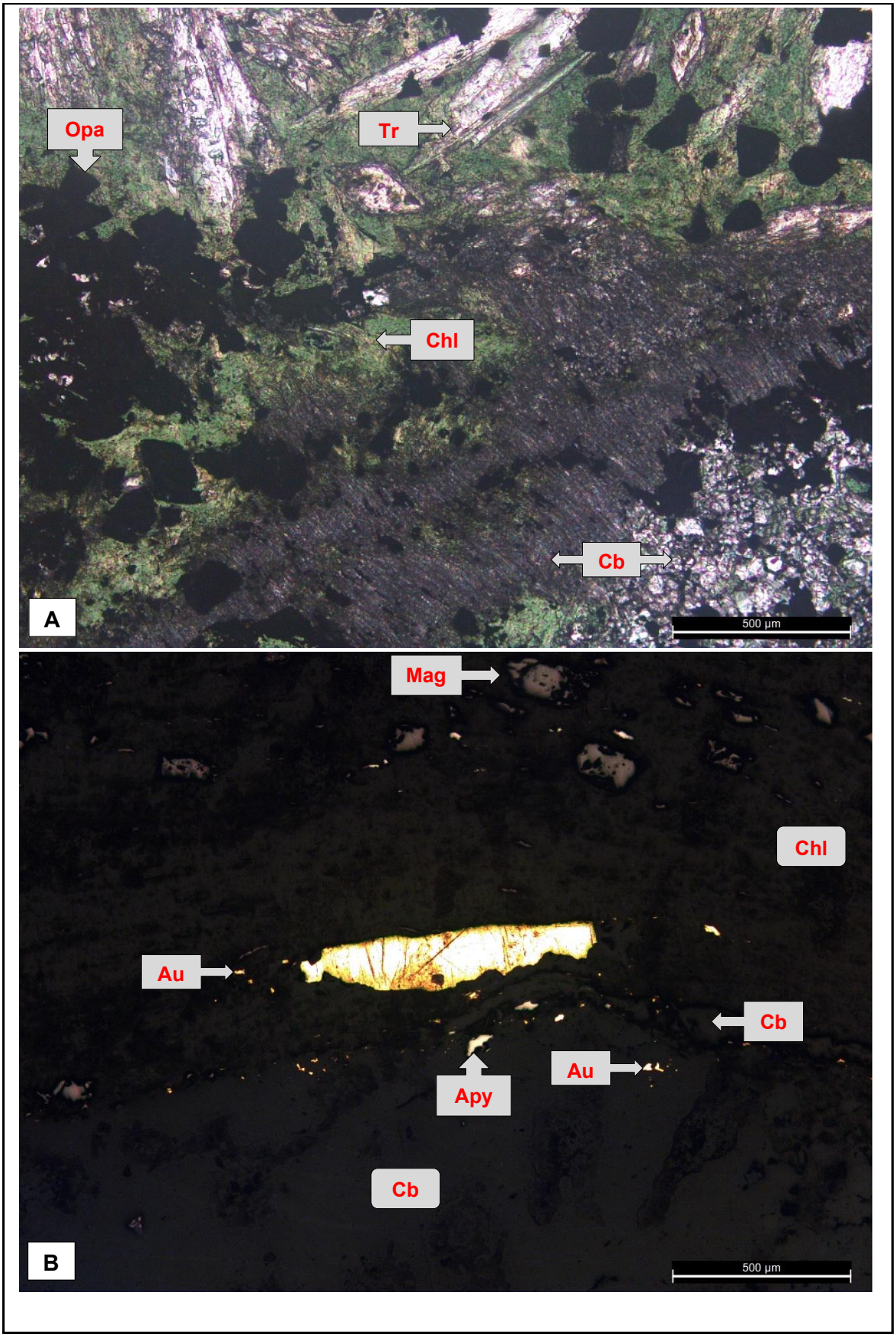
Opacos: Magnetita (10%) + Aspy (5%) + Ouro (5%) + Pirrotita (<1%).

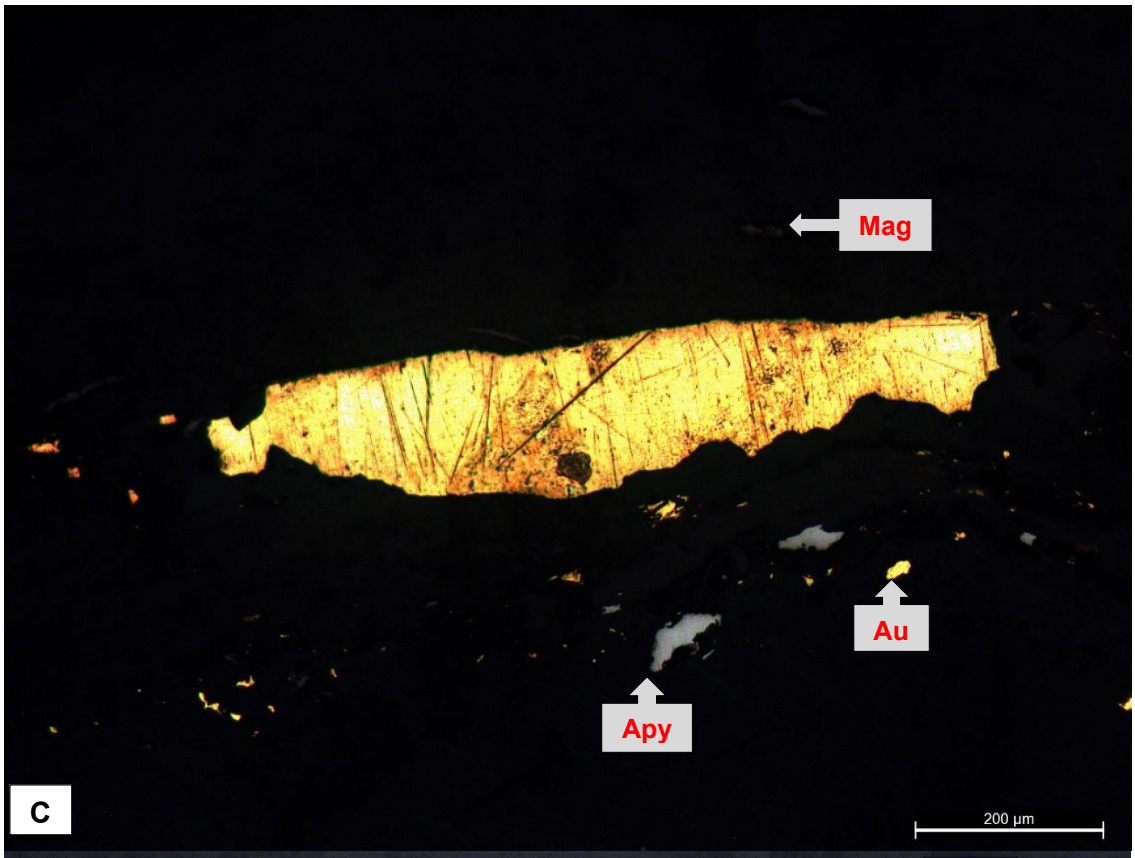
A rocha hospedeira é porfiroblástica, com matriz fina a média, apresentando bandas venulares. A matriz é intensamente obliterada e inequigranular.

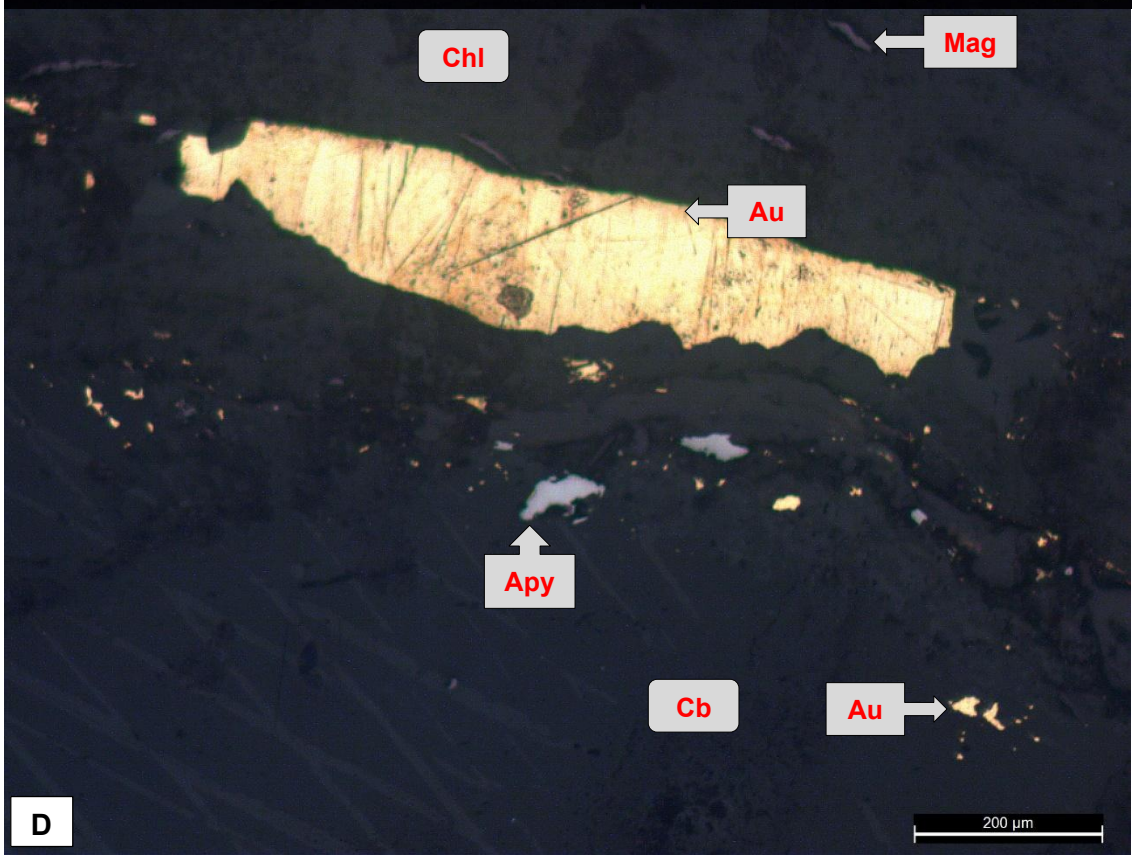
I. O carbonato constitui o principal mineral da rocha, ocorrendo em veios onde se apresenta em grandes cristais euédricos, exibindo clivagem romboédrica, relevo variando de baixo a moderado e maclas abundantes. A clorita é observada em tons verdes (férrica) e incolor (magnesiana), em processo de substituição da tremolita e granada. Na luz polarizada cruzada, apresenta tons violeta rosado a azul. A tremolita ocorre em cristais aciculares, por vezes radiais, de finas fibras, com relevo médio a alto. A granada é observada em cristais finos a grossos, pseudohexagonais, em avançado estado de cloritização.

II. A magnetita ocorre amplamente disseminada, subparalela à foliação e associada à clorita, constituindo cristais cinza anédricos com cor de reflexão levemente amarronzada. A arsenopirita é observada em cristais cinzas a brancos, finos, anédricos, com cores de anisotropia variando entre marrom e azul. O ouro ocorre na forma livre, disseminado e/ou incluso nos cristais de magnetita. É observado próximo ao contato da clorita com o carbonato, apresentando-se em cristais finos (>1µm) e uma partícula visível a olho nu (>500µm). Os cristais variam de coloração, sendo amarelo-ouro nas bordas e avermelhado no centro. São anédricos a subédricos, aciculares finos, com alguns cristais

apresentando forma dentada. A pirrotita ocorre de forma anédrica, em agregados, com tom amarelo a bronze-marrom, disseminada nas faixas de clorita e em equilíbrio textural com a magnetita.
Fotomicrografias


Opa
Tr
Chl
Cb
A
500 µm
Mag
Chl
Au
Cb
Au
Apy
Cb
B
500 µm





Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos e d) cruzados **Objetivas: a)** 5x, b) 5x; c) 10x e d) 10x

Nome da Rocha: Tremolita-clorita-carbonato xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBR017-011

Drillhole ID: FCBR017

Petrógrafo: Walace Fernandes

Profundidade (m): 83.6

Tipo de Amostra: Testemunho

Teor Au (ppm): 24.1

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Biotita-granada-quartzo-anfibólio xisto - A rocha apresenta uma coloração que varia do verde-escuro ao bege claro, exibindo uma textura laminada. Cristais de granada, que são essencialmente euédricos a subeuédricos e de tamanho grosso, estão presentes na rocha. Lâminas de cor verde-escura sobrecrescem a matriz clara, e essas lâminas, em geral, estão dobradas, conferindo à rocha uma estrutura complexa e deformada.

Foto da Amostra



Foto da Lâmina



Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Transparentes: Tremolita (40%) + Clorita (30%) + Granada (12%)

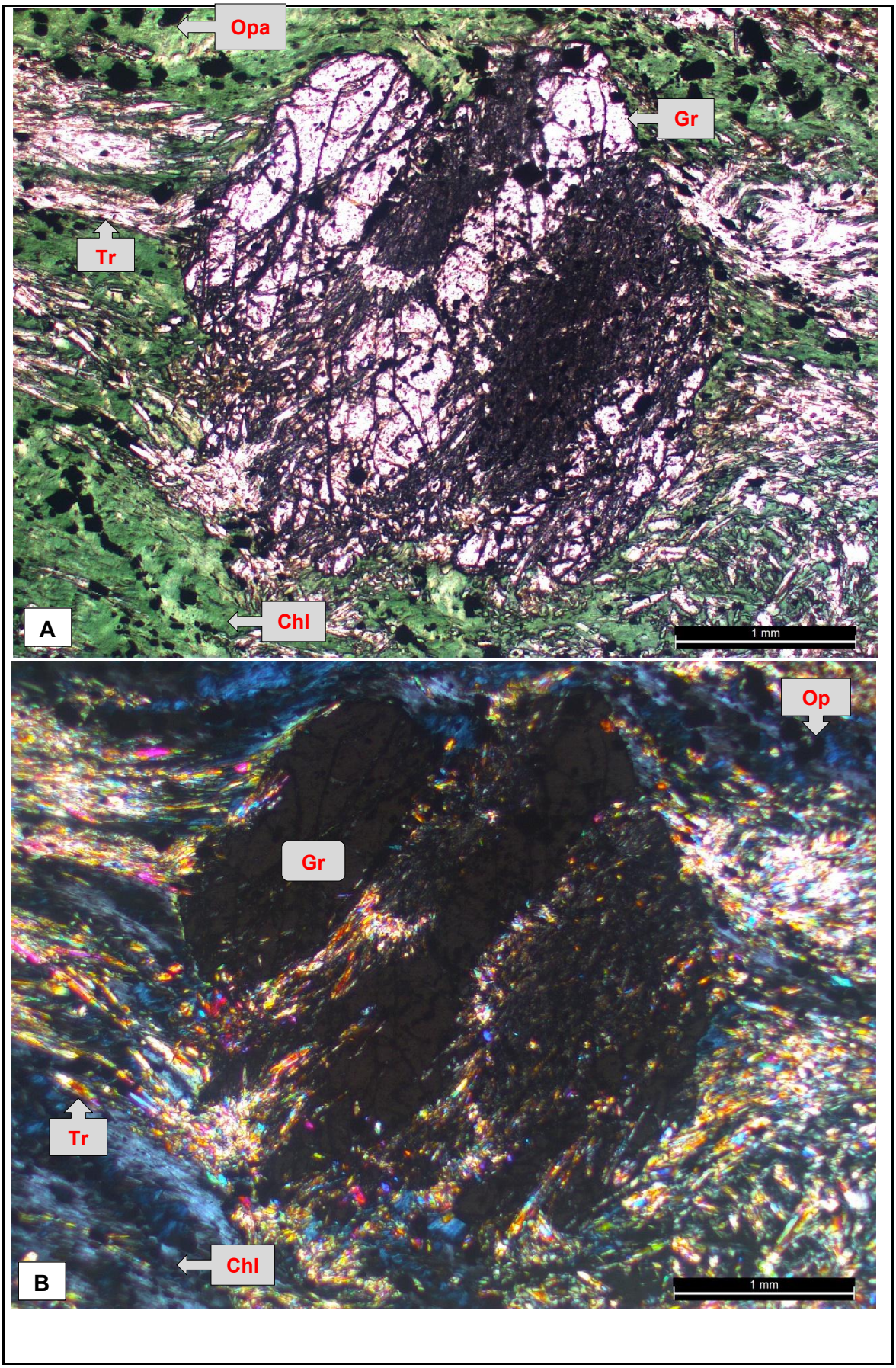
Opacos: Magnetita (12%) + Pirita (4%) + Pirrotita (1%) + Arsenopirita (1%)

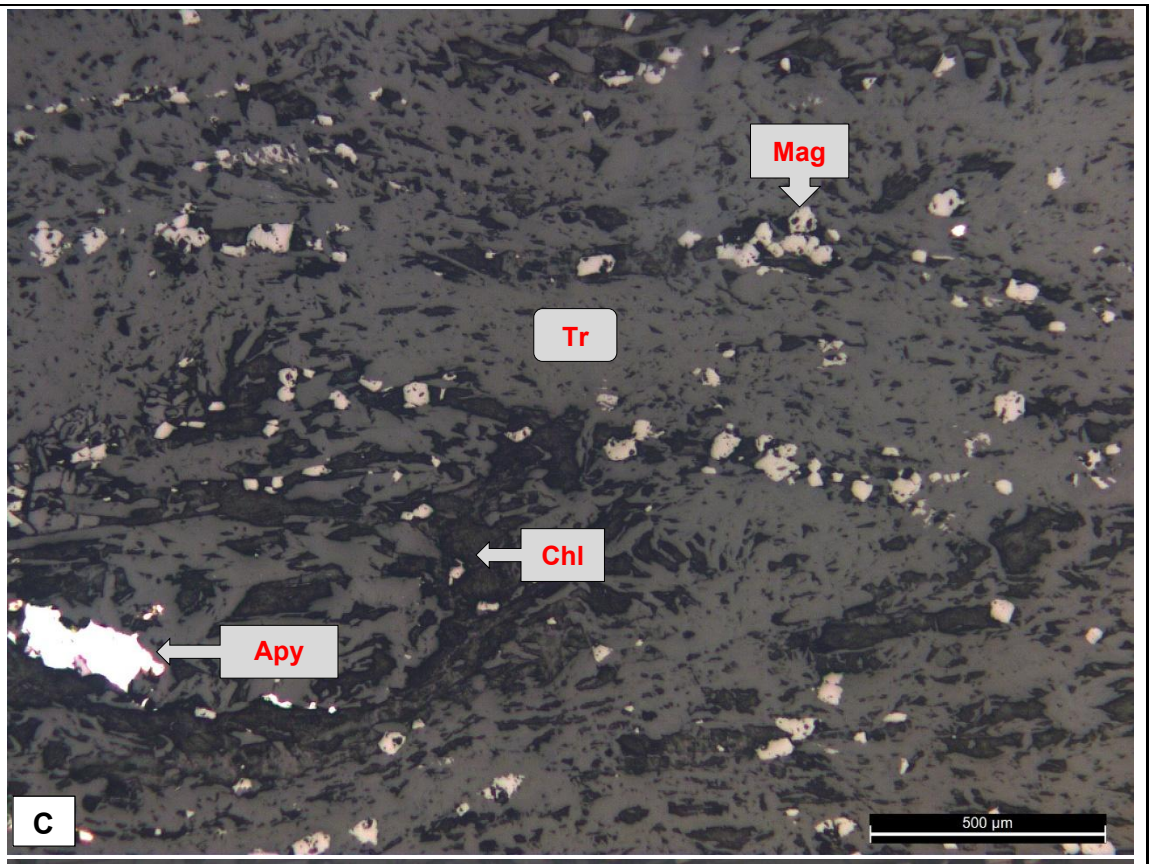
A rocha é porfiroblástica, com uma matriz que varia de fina a grossa, apresentando uma textura inequigranular.

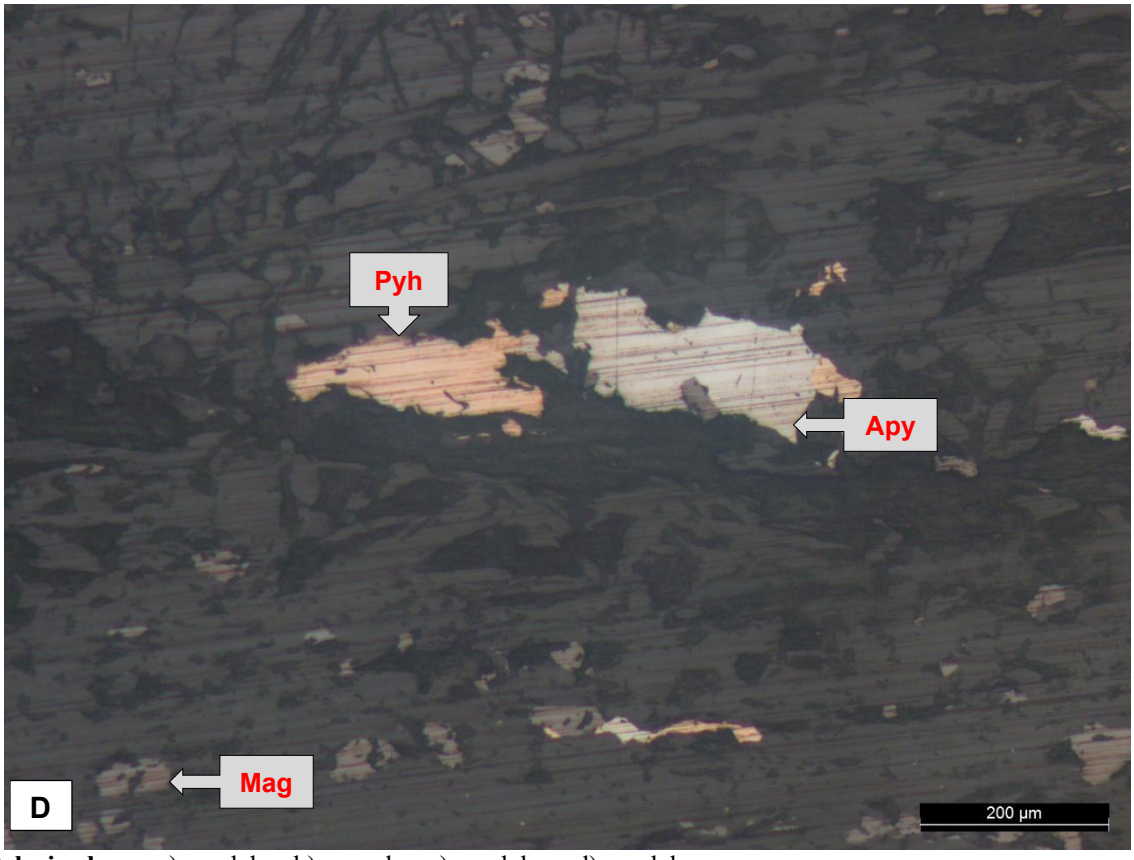
I. A tremolita é o principal mineral da rocha, ocorrendo em cristais prismáticos a fibrosos finos, com tons verde pálidos, birrefringência e pleocroísmo pronunciados. A granada se apresenta em porfiroblastos subédricos, frequentemente rodeados por cristais de tremolita e clorita, exibindo uma textura poiquiloblástica, mais especificamente do tipo "*snow ball*". O fraturamento intragranular na granada é preenchido por opacos e tremolita, e em alguns casos, ainda é possível observar vestígios de seu hábito dodecaédrico original. A clorita é observada em cristais finos e anédricos, substituindo tanto a tremolita quanto a granada. Sob luz polarizada, a clorita exibe tons verdes, enquanto sob luz cruzada, apresenta tons que variam do azul "*Berlim Blue*" ao cinza-azulado.

II. A magnetita é a fase óxido mais abundante, ocorrendo em cristais extremamente finos, anédricos a subédricos, disseminados em locais onde há cloritização. A pirita se apresenta em cristais anédricos a subeuédricos, comumente associada à clorita e à tremolita, e aparentemente arsenical, formando arsenopirita. A pirrotita, em equilíbrio textural com a pirita, ocorre em cristais finos, de cor amarelo-

bronze, granulares e subédricos. Arsenopirita é observada em associação com pirrotita e magnetita, os cristais ocorrem finos, anédricos e com alta refletividade.
Fotomicrografias


Opa
Gr
Tr
Chl
A
1 mm
Op
Gr
Tr
Chl
B
1 mm





Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos e d) paralelos

Objetivas: a) 2.5x, b) 2.5x; c) 5x e d) 10x

Nome da Rocha: Granada-clorita-tremolita xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBR017- 013 **Drillhole ID:** FCBR017

Petrógrafo: Walace Fernandes **Profundidade (m):** 90.2

Tipo de Amostra: Testemunho **Teor Au (ppm):** 0.10

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Quartzo-biotita-anfibólio xisto – A rocha fresca exibe uma coloração verde-média e uma estrutura foliada bem definida. A foliação alterna entre componentes silicosos e anfibolíticos, com lâminas biotíticas intercaladas, mostrando-se suavemente dobrada em geral. A sulfetação na rocha é fina a média, sendo composta predominantemente por pirrotita (Pyh), com pirita (Py) em menor quantidade. Os sulfetos são disseminados e confinados ao longo da foliação da rocha.

Foto da Amostra

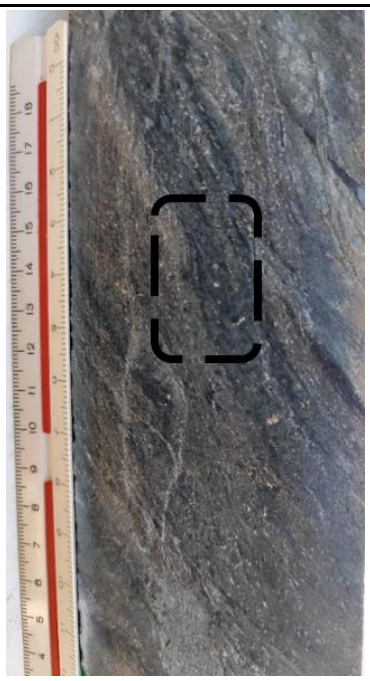


Foto da Lâmina



Descrição Microscópica

Transparentes: Biotita (30%) + Tremolita (25%) + Quartzo (25%) + Clorita (2%)

Opacos: Pirrotita (5%) + + Calcopirita (4%)

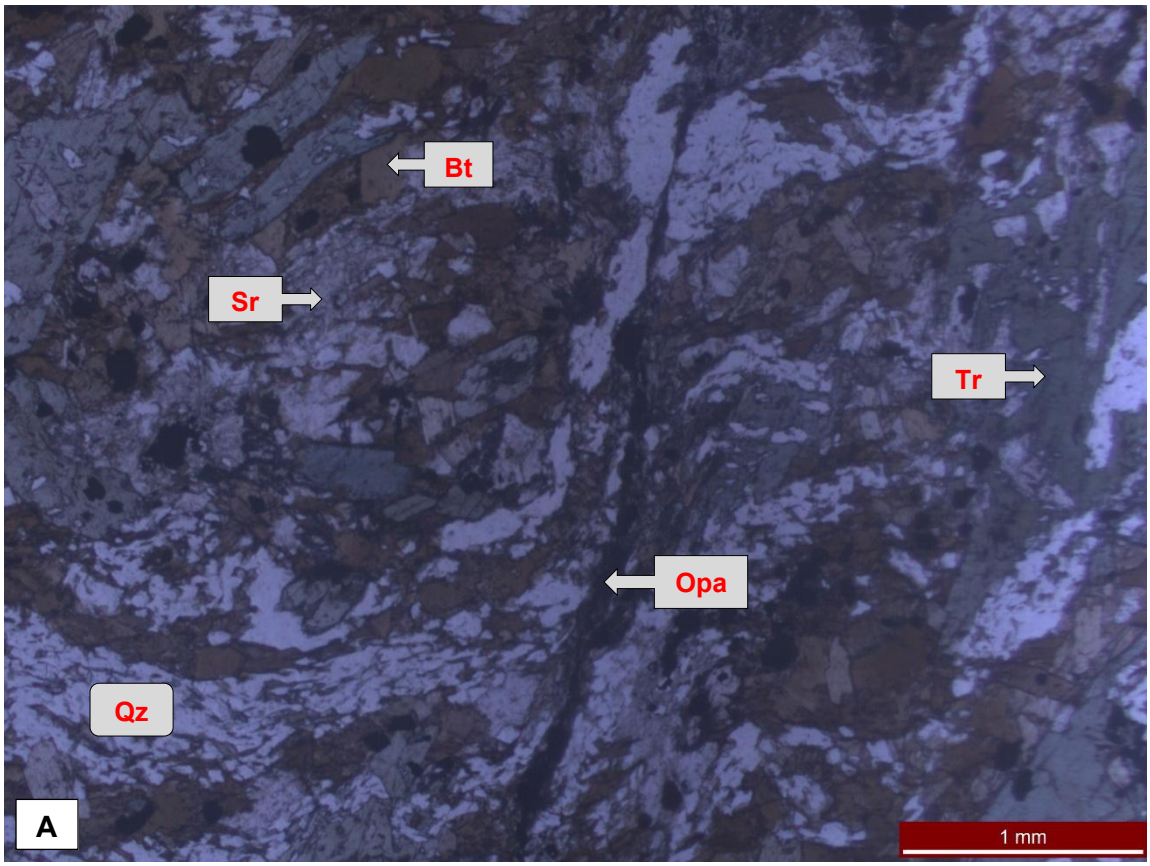
Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

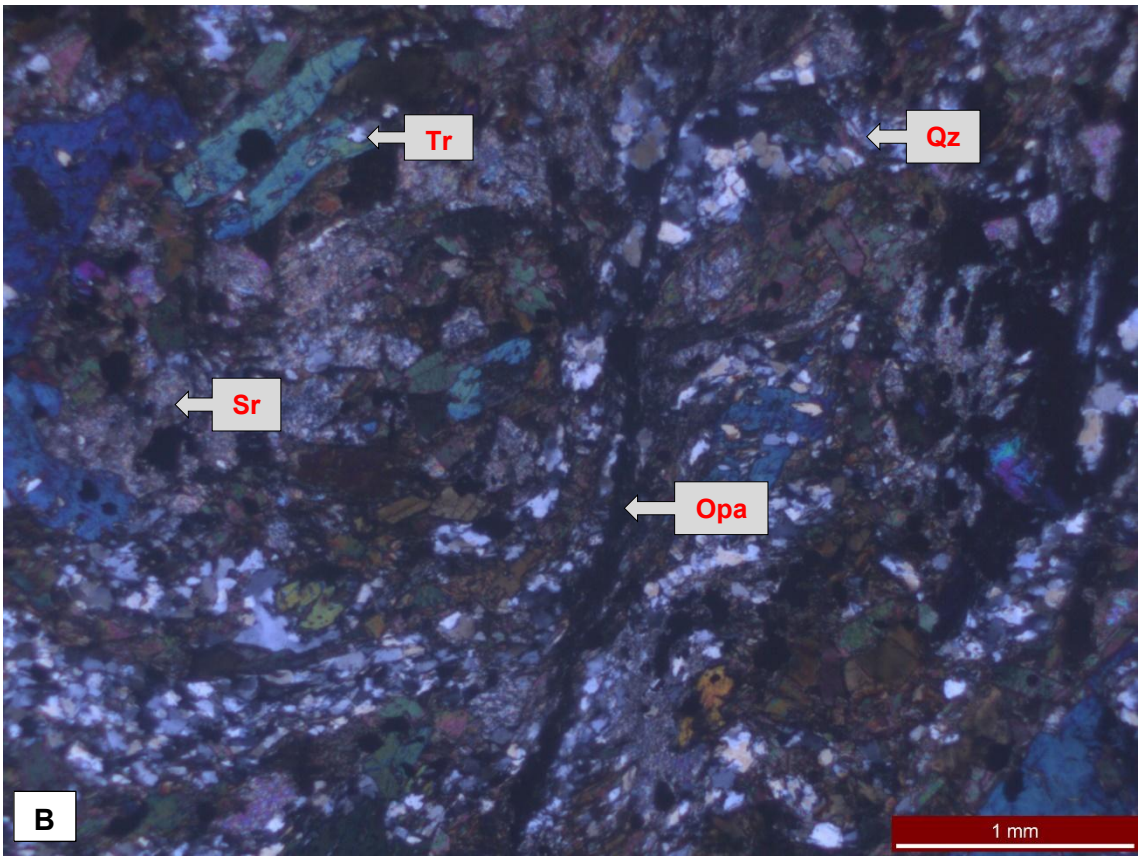
A rocha granonematoblástica possui uma matriz fina a média, exibindo uma estrutura foliada bem definida.

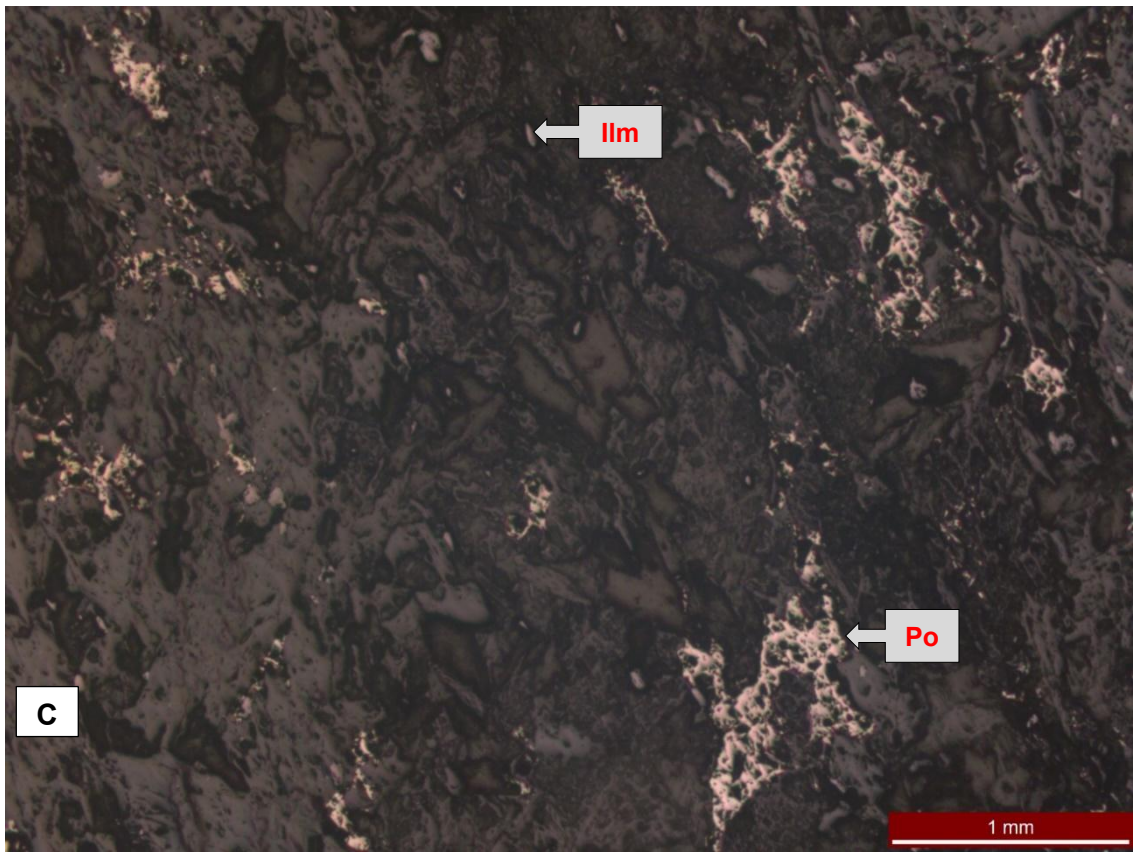
I. A biotita é o principal mineral da rocha, define níveis micáceos, ocorre em cristais marrons, finos a grossos, subédricos e sem orientação. A hornblenda ocorre em tons verdes, cristais tabulares, pleocroímo em tons pálidos a escuro. O quartzo ocorre em veios, constitui agregados poligonais, incolores, finos a médios, apresentando extinção ondulante. A clorita ocorre fina aparentemente substituindo hornblenda.

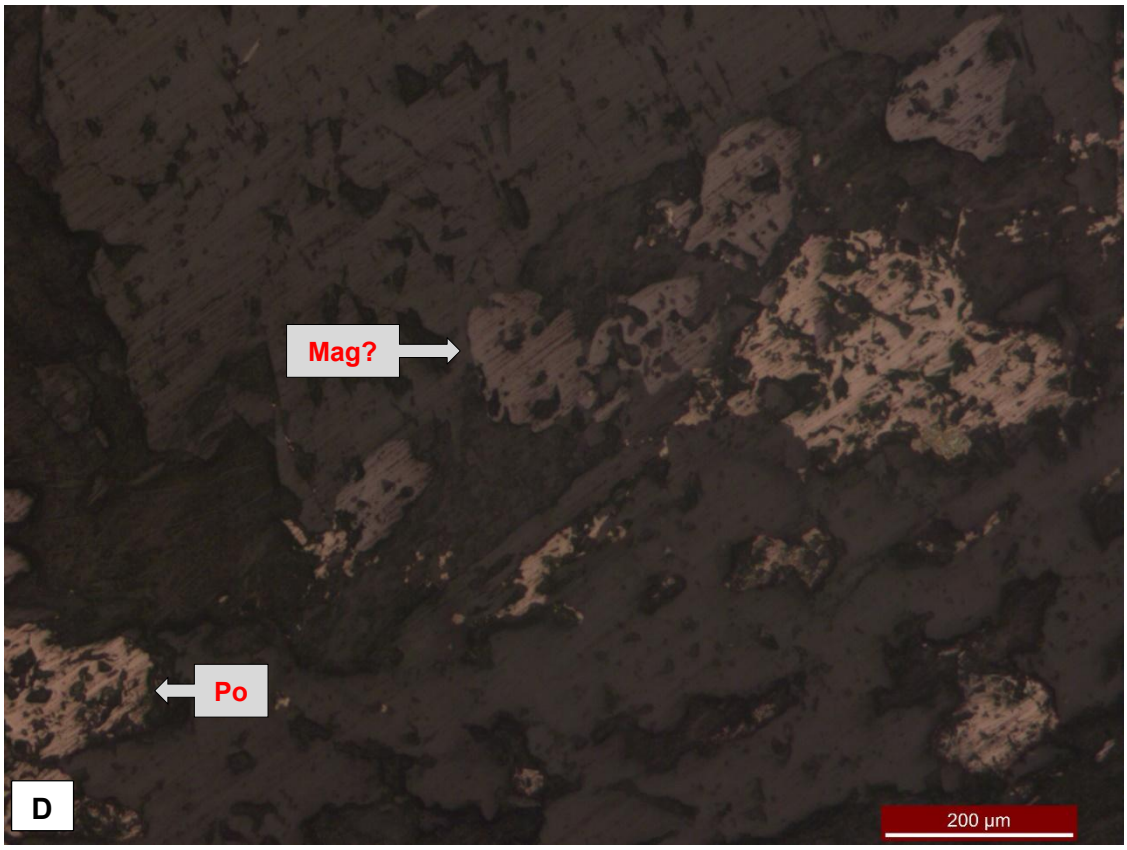
II. A pirrotita ocorre anédrica, em agregados, tons amarelo a bronze-marrom, observada disseminada em locais onde ocorre substiuição de anfibólio (actinolita). A calcopirita ocorre em cristais finos e em equilibrio textural com a pirrotita. **Obs:** Observa-se microfalha dextral preenchida por pirrotita.

Fotomicrografias









Polarizadores: a) paralelos; b) cruzados; c) paralelos e d) paralelos **Objetivas: a)** 5x, b) 2.5x; c) 2.5x e d) 10x

Nome da Rocha: Biotita – actinolita – quartzo xisto

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Dissertação de Mestrado - Walace Fernandes

Orientadoras: Rosaline Silva e Mariana Soares

Número da Lâmina: FCBR017-017

Drillhole ID: FCBR017

Petrógrafo: Walace Fernandes

Profundidade (m): 132.9

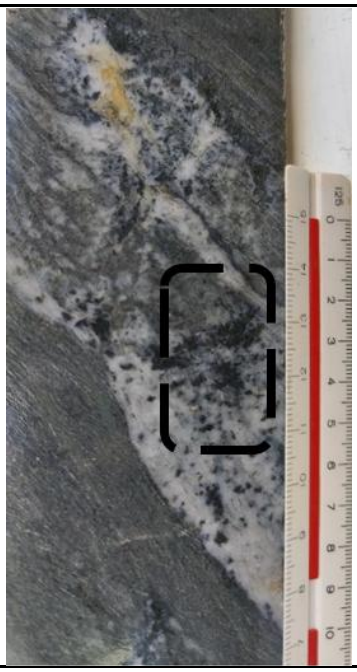
Tipo de Amostra: Testemunho

Teor Au (ppm): 0.09

Unidade Estratigráfica: Ouro Fino

Descrição Macroscópica da Rocha

Quartzo-biotita-anfibólio xisto - A rocha fresca apresenta uma coloração verde-média, exibindo uma estrutura laminada a bandada, com foliação bem definida. A rocha é caracterizada por bandas silicosas e anfibolíticas, intercaladas com lâminas de biotita, que contribuem para a foliação distinta. Localmente, observam-se níveis de hidrotermalito com textura mosqueada, além de veios de quartzo com espessura subcentimétrica.

Foto da amostra	Foto da Lâmina
	

Descrição Microscópica

Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

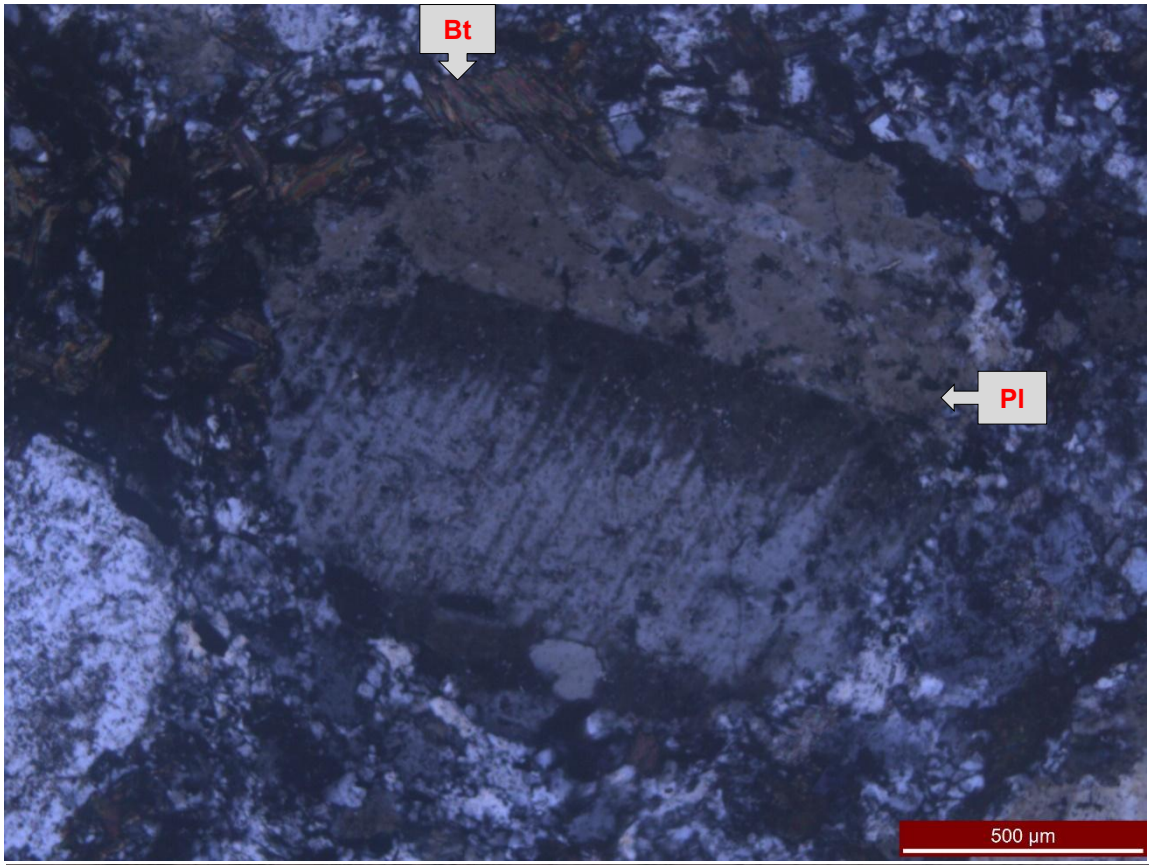
Transparentes: Quartzo (40%) + Plagioclásio (30%) + Actinolita (12%) + Biotita (7%) + Clorita (3%)
Opacos: Pirrotita (8%)

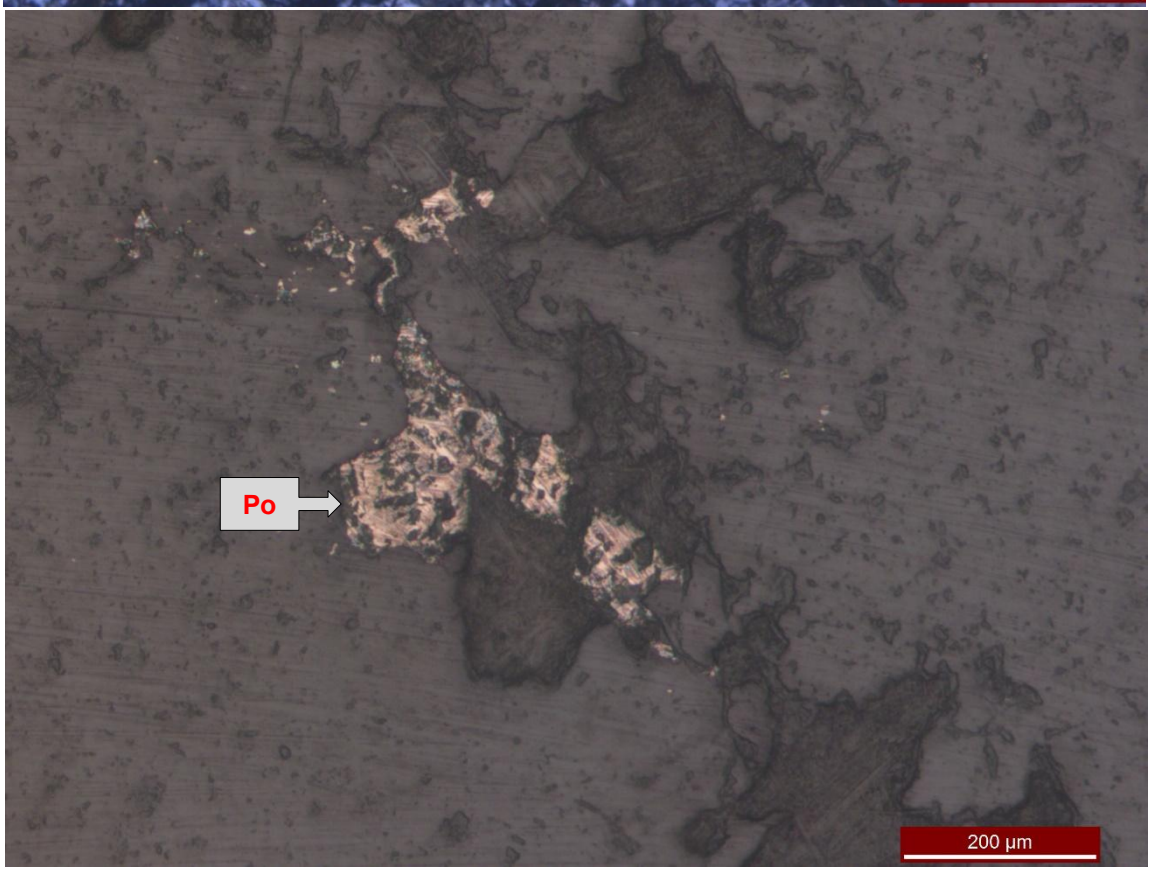
A rocha possui uma matriz granoblástica, caracterizada por uma granulação que varia de fina a grossa, é inequigranular e apresenta textura protomilonitica.

I. O quartzo constitui o principal mineral da rocha, observa-se agregados poligonais finos a grossos, euédricos, apresentando extinção ondulante (aparentemente recristalizados). O plagioclásio é observado localmente em cristais finos a grosssos, incolores, subédricos a anédricos, exibindo clivagem romboédrica e relevo baixo, a NC os cristais ocorre em tons branco-cinza, em alguns cristais é obsevado finas inclusões, maclas polissintéticas e *"calsbard"*. A actinolita é observada em cristais finos, prismáticos, por vezes longos, em tons verde-pálidos, formando agregados fibrosos. A biotita ocorre em cristais, finos, subédricos a anédricos, lamelares, em tons amarronzados claros a escuros.

II. A pirrotita ocorre em cristais finos a grossos, euédricos dispersos na matriz.

Fotomicrografias





Polarizadores: a) cruzados; b) paralelos**Objetivas:** 5x , 10x

Nome da Rocha: Apófise granitica

Table 8 – Excel spreadsheet for amphibole classification, version 1.9.8 of Jan 29, 2021.

						INPUT								
use initial $M^{3+}/\Sigma M$? (TRUE or 1/FALSE or 0)	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE
Analysis (wt%)														
SiO_2	48.97	48.39	31.41	46.70	46.34	51.88	51.24	47.60	18.29	18.29	18.25	48.39	48.58	46.34
Al_2O_3	7.01	7.22	35.30	0.38	5.73	0.87		0.40	18.78	18.59	18.10	7.22	6.75	5.73
MnO				0.92		1.39	1.34	1.15						
Mn_2O_3				1.02		1.55	1.49	1.28						
FeO	7.7	6.71	3.57	24.51	6.13	26.52	26.76	23.93	11.36	11.42	11.81	6.71	6.55	6.13
Fe_2O_3	3.66	3.20	1.70	11.68	2.92	12.63	12.75	11.40	5.41	5.44	5.62	3.20	3.12	2.92
MgO	17.26	18.26	9.87	11.62	17.78	12.62	12.30	11.57	16.80	16.83	16.75	18.26	18.26	17.78
CaO	13.87	13.52	2.99	0.17	12.56							13.52	13.42	12.56
Na_2O			0.84											
Initial Total	98.47	97.29	85.66	97.00	91.46	107.47	105.89	97.32	70.64	70.57	70.53	97.29	96.67	91.46
$Fe^{3+}/\Sigma Fe$ initial	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Manual choice of normalization procedure(s): use initial $M^{3+}/\Sigma M$=false	per 24 (O,OH,F,Cl)	Si–Ca;Li=15 Si–Na=15	per 24 (O,OH,F,Cl)	per 24 (O,OH,F,Cl)	Si–Ca;Li=15 Si–Mg;Li=13 Si–Na=15	per 24 (O,OH,F,Cl)	per 24 (O,OH,F,Cl)	per 24 (O,OH,F,Cl)	per 24 (O,OH,F,Cl)	per 24 (O,OH,F,Cl)	per 24 (O,OH,F,Cl)	Si–Ca;Li=15 Si–Na=15	Si–Ca;Li=15 Si–Na=15	Si–Ca;Li=15 Si–Mg;Li=13 Si–Na=15
						OUTPUT								
Normalization procedures used for average formula (apfu)	per 24 (O,OH,F,Cl)	Si–Ca;Li=15 Si–Na=15	per 24 (O,OH,F,Cl)	per 24 (O,OH,F,Cl)	Si–Ca;Li=15 Si–Mg;Li=13 Si–Na=15	per 24 (O,OH,F,Cl)	per 24 (O,OH,F,Cl)	per 24 (O,OH,F,Cl)	per 24 (O,OH,F,Cl)	per 24 (O,OH,F,Cl)	per 24 (O,OH,F,Cl)	Si–Ca;Li=15 Si–Na=15	Si–Ca;Li=15 Si–Na=15	Si–Ca;Li=15 Si–Mg;Li=13 Si–Na=15
$Fe^{3+}/\Sigma Fe$ used	0.300	1.000	0.300	0.327	1.000	0.337	0.336	0.334	0.300	0.300	0.300	1.000	1.000	1.000
Final wt% values														

MnO	0.00	0.00	0.00	1.83	0.00	2.79	2.69	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn_2O_3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	7.70	0.00	3.57	23.59	0.00	25.11	25.40	22.77	11.36	11.42	11.81	0.00	0.00	0.00
Fe_2O_3	3.66	10.65	1.70	12.71	9.74	14.20	14.26	12.69	5.41	5.44	5.62	10.65	10.39	9.74
H_2O+	2.11	2.13	1.94	1.92	2.00	2.13	2.09	1.94	1.44	1.44	1.43	2.13	2.12	2.00
Total	100.58	100.17	87.60	98.92	94.14	109.60	107.98	99.26	72.08	72.01	71.96	100.17	99.52	94.14
Group	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl
Subgroup of (OH,F,Cl)	Ca	Ca	Mg-Fe-Mn	Mg-Fe-Mn	Ca	Mg-Fe-Mn	Mg-Fe-Mn	Mg-Fe-Mn	Mg-Fe-Mn	Mg-Fe-Mn	Mg-Fe-Mn	Ca	Ca	Ca
Species	magnesio-ferri-hornblende	magnesio-ferri-hornblende	cummingtonite	grunerite	magnesio-ferri-hornblende	grunerite	grunerite	grunerite	cummingtonite	cummingtonite	cummingtonite	magnesio-ferri-hornblende	magnesio-ferri-hornblende	magnesio-ferri-hornblende
Formula	(Ca0.241)Σ0.241 (Ca1.875Fe0.125)Σ2 (Mg3.665Fei0.792FeIII0.392Al0.151)Σ5 (Si6.974Al1.026)Σ8 O22 ((OH)2)Σ2	(Ca0.04)Σ0.04 (Ca2)Σ2 (Mg3.834FeIII1.129Al0.015)Σ4.978 (Si6.817Al1.183)Σ8 O22 ((OH)2)Σ2	()Σ0 (Mg0.752Ca0.496Fe0.461Na0.25)Σ1.959 (Al3.281Mg1.521FeIII0.198)Σ5 (Si4.853Al3.147)Σ8 O22 ((OH)2)Σ2	()Σ0 (Fe1.65Mn0.243Ca0.028)Σ1.921 (Mg2.708Feii1.432FeIII0.861)Σ5.001 (Si7.297Fe0.633Al0.07)Σ8 O22 ((OH)2)Σ2	(Ca0.015)Σ0.015 (Ca1.998Mg0.002)Σ2 (Mg3.963FeIII1.037)Σ5 (Si6.932Al1.009Fe0.059)Σ8 O22 ((OH)2)Σ2	()Σ0 (Fe1.546Mn0.332)Σ1.878 (Mg2.646Feii1.408FeIII0.945)Σ4.999 (Si7.298Fe0.558Al0.144)Σ8 O22 ((OH)2)Σ2	()Σ0 (Fe1.559Mn0.326)Σ1.885 (Mg2.63Feii1.487FeIII0.884)Σ5.001 (Si7.345Fe0.655)Σ8 O22 ((OH)2)Σ2	()Σ0 (Fe1.548Mn0.302)Σ1.85 (Mg2.673Feii1.401FeIII0.926)Σ5 (Si7.374Fe0.553Al0.072)Σ7.999 O22 ((OH)2)Σ2	()Σ0 (Fe1.978Mg1.483)Σ3.461 (Mg3.732FeIII0.848Al0.42)Σ5 (Al4.19Si3.81)Σ8 O22 ((OH)2)Σ2	()Σ0 (Fe1.993Mg1.478)Σ3.471 (Mg3.757FeIII0.854Al0.389)Σ5 (Al4.183Si3.817)Σ8 O22 ((OH)2)Σ2	()Σ0 (Fe2.07Mg1.423)Σ3.493 (Mg3.813FeIII0.887Al0.3)Σ5 (Al4.173Si3.827)Σ8 O22 ((OH)2)Σ2	(Ca0.04)Σ0.04 (Ca2)Σ2 (Mg3.834FeIII1.129Al0.015)Σ4.978 (Si6.817Al1.183)Σ8 O22 ((OH)2)Σ2	(Ca0.036)Σ0.036 (Ca2)Σ2 (Mg3.854FeIII1.108Al0.006)Σ4.968 (Si6.88Al1.12)Σ8 O22 ((OH)2)Σ2	(Ca0.015)Σ0.015 (Ca1.998Mg0.002)Σ2 (Mg3.963FeIII1.037)Σ5 (Si6.932Al1.009Fe0.059)Σ8 O22 ((OH)2)Σ2

Source: Adapted and modified from Locock, 2021.