



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



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE MINÉRIO DE ZINCO DA  
MINA DE VAZANTE-MG**

**Rodrigo Martins Dornelas**

**MONOGRAFIA nº 306**

**Ouro Preto, dezembro de 2018**



**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE  
MINÉRIO DE ZINCO DA MINA DE VAZANTE-MG**







## **FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**

### **Reitora**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Aparecida Marlière de Lima

### **Vice-Reitor**

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

### **Pró-Reitora de Graduação**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tânia Rossi Garbin

### **ESCOLA DE MINAS**

#### *Diretor*

Prof. Dr. Issamu Endo

#### *Vice-Diretor*

Prof. Dr. Hernani Mota Lima

### **DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

#### *Chefe*

Prof. Dr. Marco Antonio Fonseca



# **MONOGRAFIA**

**Nº 306**

## **CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE MINÉRIO DE ZINCO DA MINA DE VAZANTE-MG**

**Rodrigo Martins Dornelas**

*Orientador*

Prof. MSc. Edison Tazava

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC402, ano 2018.2.

**OURO PRETO**

**2018**

---

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

Direitos de tradução e reprodução reservados.

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

Revisão geral: Rodrigo Martins Dornelas

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

D713c Dornelas, Rodrigo Martins.  
Caracterização mineralógica de amostras de minério de zinco da Mina de  
Vazante - MG [manuscrito] / Rodrigo Martins Dornelas. - 2018.

44f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. MSc. Edison Tazava.

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

1. Mineralogia. 2. Microscopia óptica. 3. Zinco. I. Tazava, Edison. II.  
Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 553.44

## Ficha de Aprovação

---

### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TÍTULO:** CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE MINÉRIO DE ZINCO DA MINA DE VAZANTE - MG

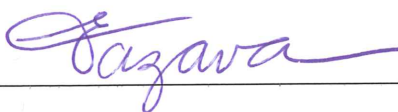
**AUTOR:** Rodrigo Martins Dornelas

**ORIENTADOR:** Edison Tazava

**Aprovada em:** 12 de dezembro de 2018

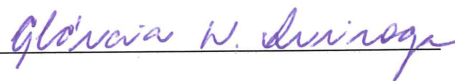
#### BANCA EXAMINADORA:

Prof. MSc. Edison Tazava



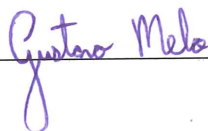
DEGEO/UFOP

Profa. Dr<sup>a</sup>. Gláucia Nascimento Queiroga



DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Gustavo Henrique Coelho de Melo



DEGEO/UFOP

Ouro Preto, 12/12/2018



## Agradecimentos

---

Agradeço a Deus pela vida.

Aos meus pais pela confiança e apoio incondicional, obrigado investirem todo tempo e recurso necessários à realização do meu maior sonho: tornar-me um Engenheiro Geólogo. Todos os méritos e conquistas destes anos de Ouro Preto e da minha vida inteira atribuo a vocês, meus maiores exemplos de luta e perseverança, meus maiores exemplos de vida.

Aos meus irmãos pelo carinho e compreensão. Obrigado por aceitar os desafios para os quais me propus e assumir as nossas responsabilidades em casa. Me orgulho muito de vocês.

Aos meus tios, tias, primos e primas por sempre estarem comigo nesta caminhada que se iniciou a muito tempo atrás. Em vocês sempre encontrarei abrigo. Obrigado por tudo!

À Universidade Federal de Ouro Preto pela educação gratuita e de qualidade. À Fundação Gorceix por investir na pesquisa, acreditando na força do conhecimento para transformação. Agradeço todo suporte financeiro fomentado por bolsas de campo durante todo curso.

À Nexa Resources e seus funcionários, especialmente ao Basílio, Camilo e Jaisson, pelo apoio e suporte durante o decorrer do trabalho disponibilizando tanto pessoal quanto material para o desenvolvimento da dissertação.

Ao Laboratório de Microscopia e Microanálises (LMIC) do DEGEO/UFOP, integrante da Rede de Microscopia e Microanálises de Minas Gerais (FAPEMIG, Brasil), pelas imagens de elétrons retroespalhados obtidas e pelas análises químicas semi-quantitativas.

Ao Laboratório de Microscopia Eletrônica NanoLab, na Redemat da Escola de Minas/UFOP por fornecer apoio material e técnico para experimentos envolvendo microscopia eletrônica. Obrigado ao Prof. Kruger pela paciência e conhecimentos compartilhados.

Ao Prof. Edison Tazava pela orientação e amizade demonstrada pelo esforço em me manter no caminho certo, buscando sempre o melhor pra mim. Que minha vida profissional seja regida pelos seus ensinamentos. Muito obrigado por tudo!

Aos funcionários dos laboratórios do DEGEO e da Escola de Minas pela paciência apoio e conhecimentos compartilhados para a realização deste trabalho.

Aos Profs. Gláucia, Maria Silvia, Cris e Max pela disponibilidade e atenção inquestionáveis. Obrigado por momentos tão agradáveis e divertidos na presença de cada um de vocês.

Aos funcionários e amigos do DEGEO, em especial à Laura, ao Marquinhos, a técnica Débora e ao motorista Girley que me trataram de maneira ímpar, fazendo-me sentir como se fosse pertencente de suas próprias famílias.

Aos amigos Thomaz e Pedro por serem minha segunda família e provarem que a amizade supera quaisquer problemas e que juntos somos insuperáveis.

À Rep. Mansão Amarela por me proporcionar um ambiente ideal para este sonho se tornar realidade, ao mesmo tempo em que me distraia nos piores momentos para reflexão.





# SUMÁRIO

---

|       |                                                           |    |
|-------|-----------------------------------------------------------|----|
| 1     | CAPITULO 1 INTRODUÇÃO .....                               | 1  |
| 1.1   | Apresentação.....                                         | 1  |
| 1.2   | Localização da área de estudo .....                       | 1  |
| 1.3   | Natureza do problema.....                                 | 1  |
| 1.4   | Objetivos.....                                            | 3  |
| 1.5   | Materiais e métodos .....                                 | 3  |
| 1.5.1 | Revisão bibliográfica.....                                | 4  |
| 1.5.2 | Trabalho de campo – coleta de amostras .....              | 4  |
| 1.5.3 | Preparação de amostras .....                              | 4  |
| 1.6   | Microscopia Óptica.....                                   | 4  |
| 1.6.1 | MEV .....                                                 | 5  |
| 1.6.2 | Sistema TIMA-MIRA .....                                   | 5  |
| 2     | CAPÍTULO 2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....              | 7  |
| 2.1   | Contexto geotectônico .....                               | 7  |
| 2.2   | Unidades Estratigráficas .....                            | 8  |
| 2.2.1 | Idades do Grupo Vazante .....                             | 10 |
| 2.3   | Arcabouço Estrutural .....                                | 11 |
| 2.4   | Evolução tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília ..... | 13 |
| 2.5   | Falha de Vazante.....                                     | 14 |
| 2.5.1 | Evolução geológica da Falha de Vazante.....               | 15 |
| 3     | CAPITULO 3 DEPÓSITO DE VAZANTE .....                      | 17 |
| 3.1   | Controles estratigráficos .....                           | 19 |
| 3.2   | Controles Estruturais .....                               | 19 |
| 3.3   | Alteração hidrotermal e minério .....                     | 20 |
| 3.3.1 | Fluido hidrotermal.....                                   | 21 |
| 3.4   | Guias de exploração.....                                  | 22 |
| 3.4.1 | Escala regional .....                                     | 22 |
| 3.4.2 | Escala local.....                                         | 22 |
| 4     | CAPÍTULO 4 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA .....              | 23 |
| 4.1   | Caracterização mineralógica por litotipo .....            | 24 |
| 4.1.1 | Brecha dolomítica .....                                   | 25 |
| 4.1.2 | Brecha hematítica .....                                   | 27 |

|       |                                          |    |
|-------|------------------------------------------|----|
| 4.1.3 | Brecha willemítica .....                 | 30 |
| 4.2   | Sistema TIMA-MIRA .....                  | 33 |
| 4.3   | Mineralogia dos litotipos estudados..... | 33 |
| 4.3.1 | Brecha dolomítica.....                   | 34 |
| 4.3.2 | Brecha willemítica .....                 | 35 |
| 4.3.3 | Brecha hematítica .....                  | 37 |
| 4.3.4 | Brecha esfalerítica .....                | 37 |
| 5     | CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES.....               | 39 |
| 5.1   | Considerações finais.....                | 39 |
| 6     | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....         | 41 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.1</b> - Localização da Província Tocantins; Mapa geológico da Faixa Brasília ..... | 2  |
| <b>Figura 1.2</b> – Mapa de localização e acesso da área de estudo .....                       | 3  |
| <b>Figura 1.3</b> - Sequência das etapas executadas em uma análise no sistema TIMA-MIRA .....  | 6  |
| <b>Figura 2.1</b> - Subdivisão tectônica das unidades supracrustais da faixa Brasília .....    | 8  |
| <b>Figura 2.2</b> - Coluna estratigráfica do Grupo Vazante.....                                | 11 |
| <b>Figura 2.3</b> - Seção esquemática .....                                                    | 12 |
| <b>Figura 2.4</b> - Mapa simplificado .....                                                    | 13 |
| <b>Figura 2.5</b> - Mapa estrutural simplificado da Faixa Brasília.....                        | 14 |
| <b>Figura 3.1</b> - Mapa regional dos grupos Vazante e Canastra.....                           | 18 |
| <b>Figura 3.2</b> - Seção geológica indicando zona de mistura e condições físico-química ..... | 21 |
| <b>Figura 4.1</b> – Frente de lavra mostrando a brecha dolomítica mineralizada.....            | 24 |
| <b>Figura 4.2</b> - Mapa geológico do Nível 500 (mina subterrânea) .....                       | 25 |
| <b>Figura 4.3</b> - Fotomicrografias de amostra de brecha dolomítica.....                      | 26 |
| <b>Figura 4.4</b> – Imagem de elétrons retroespalhados da brecha dolomítica .....              | 27 |
| <b>Figura 4.5</b> - Fotomicrografias de amostra de brecha hematítica .....                     | 28 |
| <b>Figura 4.6</b> - Imagem de elétrons retroespalhados da brecha hematítica.....               | 29 |
| <b>Figura 4.7</b> – Espectros de EDS.....                                                      | 30 |
| <b>Figura 4.8</b> - Fotomicrografia de amostras de brecha willemítica.....                     | 31 |
| <b>Figura 4.9</b> - Imagem de elétrons retroespalhados da brecha willemítica .....             | 32 |
| <b>Figura 4.10</b> - Resultado da análise do sistema TIMA-MIRA da amostra FS11.....            | 34 |
| <b>Figura 4.11</b> - Resultado da análise do sistema TIMA-MIRA da amostra CL01 .....           | 35 |
| <b>Figura 4.12</b> - Resultado da análise do sistema TIMA-MIRA da amostra FS9.....             | 36 |
| <b>Figura 4.13</b> - Resultado da análise do sistema TIMA-MIRA da amostra FS4.....             | 37 |
| <b>Figura 4.14</b> – Sequência paragenética da zona mineralizada de zinco silicatado .....     | 38 |



## ÍNDICE DE TABELAS

---

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1.1</b> - Especificação das amostras .....                             | 5  |
| <b>Tabela 4.1</b> - Amostragem dos litotipos estudados.....                      | 23 |
| <b>Tabela 4.2</b> - Composição mineralógica modal das amostras por litotipo..... | 33 |



## Resumo

---

Caracterizado como o principal distrito plumbo-zincífero do Brasil e um dos maiores do mundo devido seu potencial metalogenético, o Distrito Zincífero de Vazante (DZV) possui ocorrências nos municípios de Vazante, Paracatu e Lagamar. O principal mineral em que o zinco se encontra em Vazante é a willemita. Além deste mineral de minério primário, o DZV possui uma gama de outros minerais nos quais o zinco ocorre associado, tais como a franklinita, a esfalerita e a dolomita zincífera. A mineralização do DZV caracteriza-se por ser silicatada, rica em dolomita e minerais carbonáticos. Foram estudadas amostras de dois corpos mineralizados do DZV (Lumiadeira e Sucuri) que hospedam quatro litotipos descritos: brechas dolomítica, esfalerítica, hematítica e willemítica. As amostras de brecha dolomítica apresentam grãos de quartzo e willemita fraturados, ocorrendo veios preenchidos por dolomita, hematita e pertencem a uma etapa pré-mineralização. A brecha hematítica contém esfalerita, galena e dolomita como os principais minerais das amostras descritas além da hematita. Na brecha willemítica ocorrem cristais grossos e fibrorradiados de willemita em conjunto com dolomita e quartzo que, associados à hematita, indica a formação na etapa sin-mineralização do depósito. A dolomita zincífera ocorre em brechas dolomíticas de fase anterior à mineralização, representada por veios preenchidos por willemita substituindo a dolomita. Inserção de hematita associada a franklinita, willemita e dolomita ocorrem na fase de sin-mineralização. O quartzo tem maiores ocorrências nas fases pré e pós-mineralização de zinco. A brecha esfalerítica ocorre em fase pós-mineralização, onde a esfalerita associa-se a galena e willemita. As amostras estudadas do corpo Sucuri são de brechas dolomítica e willemítica e contém maiores quantidades de willemita e dolomita do que as amostras estudadas do corpo Lumiadeira, que contém mais contribuições de hematita, franklinita e quartzo entre brechas hematítica, willemítica, dolomítica e esfalerítica. As análises de mineralogia automatizada foram bastante eficientes na caracterização das amostras estudadas. Além do curto tempo para serem geradas, apresentam uma precisão muito maior e permitiram a identificação de fases minerais não observadas ao microscópio óptico.

**Palavras-chave:** Distrito Zincífero de Vazante; Brecha Mineralizada; Caracterização Mineralógica; Microscopia Óptica; Mineralogia Automatizada.





## Abstract

---

Characterized as the main plumb-zinciferous district in Brazil and one of the largest in the world due to its metallogenetic potential, the Vazante Zinciferous District (VZD) has occurrences in the municipalities of Vazante, Paracatu and Lagamar. The main mineral in which zinc is found in Vazante is willemite. In addition to this primary ore, VZD has a range of other minerals in which zinc occurs associated, such as franklinite, sphalerite and zinc dolomite. The mineralization of VZD is characterized by being silicate, rich in dolomite and carbonate minerals. Samples of two mineralized bodies of the VZD (Lumiadeira and Sucuri) were studied that host four described lithotypes: dolomitic, sphaleritic, hematitic and willemitic breccias. The dolomitic breccia samples present fractured quartz and willemite grains, with grains filled by dolomite, hematite and belonging to a pre-mineralization stage. The hematitic breccia contains sphalerite, galena and dolomite as the main minerals of the samples described in addition to the hematite. In the willemitic breccia, coarse and fibrostened crystals of willemite occur in conjunction with dolomite and quartz, which, associated with hematite, indicates formation in the sin-mineralization stage of the deposit. Zinc dolomite occurs in pre-mineralized dolomitic breccias, represented by willemite-filled veins replacing dolomite. Insertion of hematite associated with franklinite, willemite and dolomite occur in the sin-mineralization phase. Quartz has higher occurrences in the pre- and post-mineralization phases of zinc. The sphaleritic breccia occurs in the post-mineralization phase, where sphalerite associates with galena and willemite. The studied samples of the Sucuri body are of dolomitic and willemitic breccias and contain larger amounts of willemite and dolomite than the studied samples of the Lumiadeira body, which contains more contributions of hematite, franklinite and quartz between hematitic, willemitic, dolomitic and sphaleritic breccias. The analyzes of automated mineralogy were quite efficient in the characterization of the studied samples. Besides the short time to be generated, they present a much greater precision and allowed the identification of mineral phases not observed under the optical microscope.

**Key words:** Vazante Zinciferous District; Mineralized Breccia; Mineralogical Characterization; Optical Microscopy; Automated Mineralogy.



# CAPITULO 1

## INTRODUÇÃO

---

### 1.1 Apresentação

O Distrito Zincífero de Vazante - DZV (Pinto *et al.* 2001) corresponde a uma área que abrange três municípios da região Noroeste de Minas Gerais: Vazante, Paracatu e Lagamar (Figura 1.1). Este distrito vem sendo estudado desde a década de 1930 e conta com um grande acervo bibliográfico, tendo, com o tempo, estudos teóricos e econômicos incrementado o conhecimento do DZV.

As primeiras lavras começaram na década de 1950 com a retirada do zinco produzido a partir do enriquecimento supergênico (calamina), esta lavra iniciou-se à céu aberto pela Companhia Mineira de Metais (CMM). A partir de 1980, desenvolveu-se a lavra subterrânea no depósito de Vazante (Dardenne & Botelho 2014).

O DZV possui uma reserva total de cerca de 60 milhões de toneladas de zinco, contabilizando o minério já lavrado e recurso estimado, com uma porcentagem média de 20%, considerando tanto o zinco silicatado, a willemita, quanto o oxidado, a calamina (Oliveira 2013). Estes dados indicam que o DZV é um depósito de zinco de classe mundial, sendo este o maior depósito plumbo-zincífero do Brasil e um dos maiores do mundo.

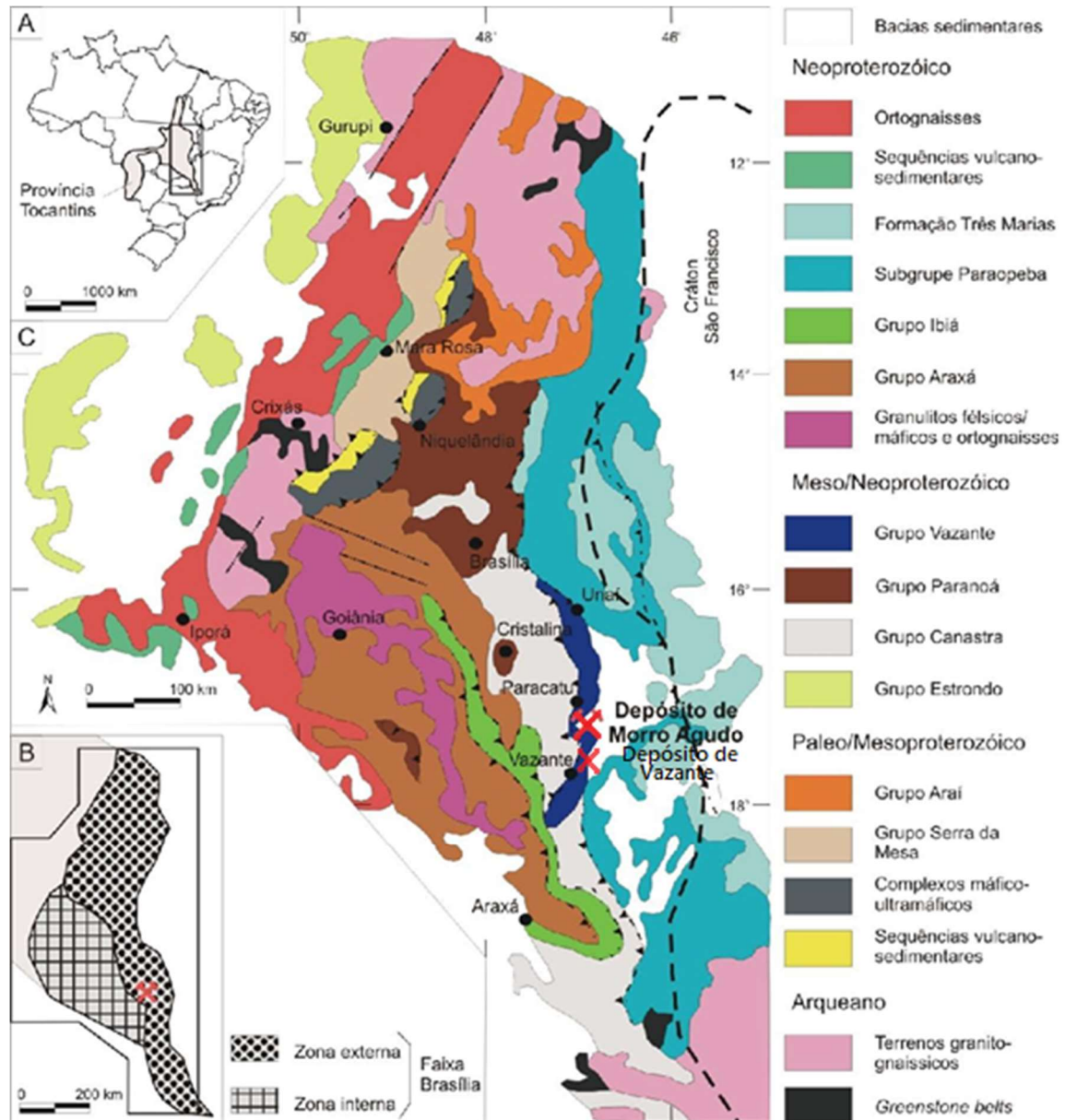
### 1.2 Localização da área de estudo

O Distrito Zincífero de Vazante (Pinto *et al.* 2001) abrange os municípios de Paracatu, Vazante e Lagamar, posicionadas no Noroeste de Minas Gerais como mostra a figura 1.2, a cerca de 510 km de Belo Horizonte e 350 km de Brasília – DF. O acesso, a partir de Belo Horizonte, é feito pela BR-040 ou BR-262. O município de Paracatu encontra-se a 110 km a norte de Vazante ou a 200 km a sul da capital federal, enquanto Lagamar está localizada a cerca de 40 km a sul de Vazante (Figura 1.2).

### 1.3 Natureza do problema

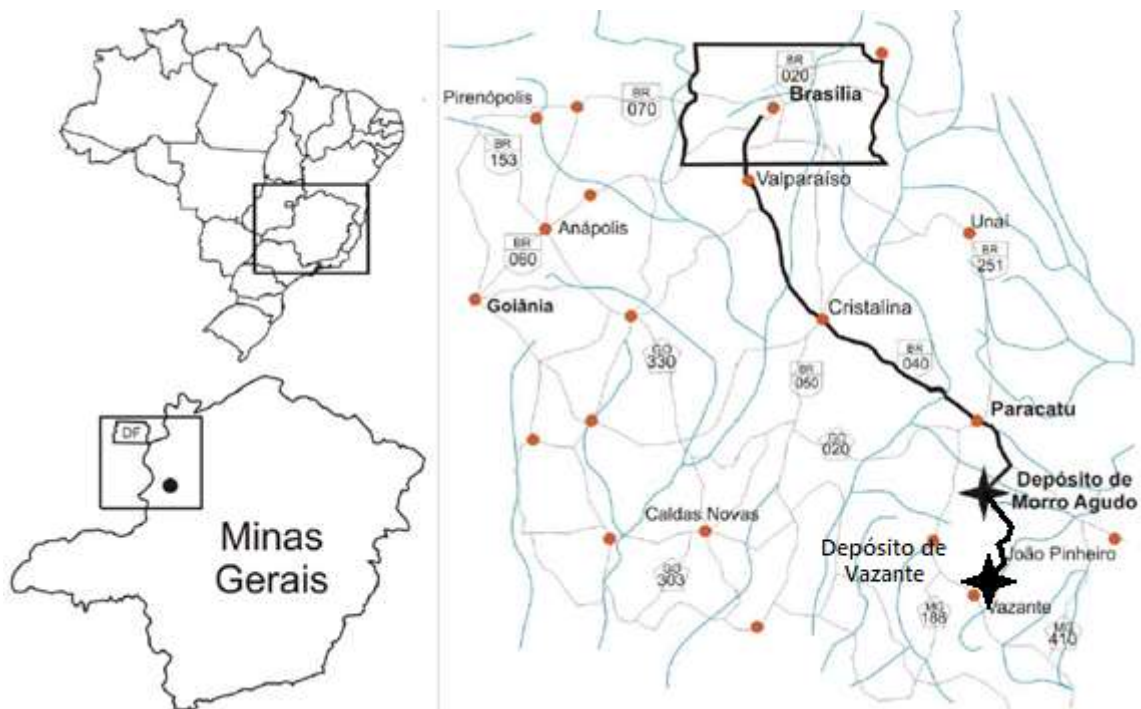
O Distrito Zincífero de Vazante (DZV) possui um grande acervo de dados geológicos, geofísicos e de recursos minerais elaborados desde sua descoberta e publicado por diferentes órgãos até hoje. A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) publicou cinco folhas geológicas mapeadas na escala de 1:100.000, além de levantamentos geofísicos de semi-detulhe realizados em parceria com a Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG) e dados de testemunho de sondagens do Projeto Sondagem do Bambuí em conjunto com o Departamento Nacional

de Pesquisa Mineral (DNPM). Além de dados da CPRM, outros dados são relevantes para o estudo do DZV como artigos, dissertações, teses e estudos realizados por empresas (incluindo a detentora do direito de lavra – Nexa Resources). Este material é utilizado para a caracterização mineralógica de amostras de minério de zinco do Distrito Zinífero de Vazante.



**Figura 1.1** - A) Localização da Província Tocantins no território brasileiro. B) Detalhe da referida Província enfocando a Faixa Brasília e suas Zonas Interna e Externa (onde se localiza o depósito de Morro Agudo). C) Mapa geológico regional da Faixa Brasília com a localização dos depósitos de Morro Agudo e Vazante, pertencentes ao DZV (modificado de Dardenne 2000).

Apesar do grande acervo geológico do DZV, a procura por novas áreas de exploração mineral continua fomentando pesquisas para adquirir um maior entendimento das áreas adjacentes, já que se encontram apenas estudos superficiais disponíveis destas áreas, sendo a análise de testemunhos de sondagem, bem como a confecção e análise de lâminas delgadas polidas, essenciais para a compreensão dos diferentes tipos de minério e da previsibilidade do comportamento frente as rotas de processamento mineral na fase de beneficiamento.



**Figura 1.2** – Mapa de localização e acesso da área de estudo (Neves 2011).

## 1.4 Objetivos

O estudo teve como foco principal a caracterização dos diferentes litotipos de minério, a partir da análise dos padrões de intercrescimento, textura, tamanho de grão, composição modal e identificação de subprodutos e deletérios dos dois corpos estudados (Lumiadeira e Sucuri).

## 1.5 Materiais e métodos

Inicialmente os trabalhos desenvolveram-se através de revisão bibliográfica, com a leitura e interpretação de dados obtidos anteriormente e publicados por diferentes fontes e com diferentes objetivos. Nesta etapa reuniram-se as informações mais relevantes para um melhor entendimento da área a ser estudada.

Para alcançar os objetivos, foram realizadas análises de furos de sondagens, coleta de amostras, confecção de lâminas delgadas polidas, descrição em microscópio ótico, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e utilização do sistema TIMA-MIRA (TIMA – *Tescan Integrated Mineral Analyzer*, MIRA).

A análise e descrição de testemunhos de sondagem permitiu uma melhor compreensão das unidades não aflorantes, além de se tornar um importante instrumento para a identificação da continuidade dos corpos que contém o mineral de minério.

### **1.5.1 Revisão bibliográfica**

Esta etapa inicial dos trabalhos constituiu-se na reunião, leitura e interpretação de artigos publicados sobre a região a ser estudada.

Além da bibliografia específica do Distrito Zincífero de Vazante, livros didáticos, teses e materiais de aula relacionados à Geologia Econômica, Geologia Estrutural, entre outros campos que auxiliaram o cumprimento dos objetivos já relacionados, também serviram de base para contextualizar as interpretações contidas neste trabalho.

### **1.5.2 Trabalho de campo – coleta de amostras**

A etapa de campo teve por objetivo o reconhecimento da área de estudo, descrição de testemunhos de sondagem, seleção e coleta de amostras para a caracterização mineralógica. Foram três dias de campo entre visitas à mina subterrânea e análises de furos de sondagem na litoteca da empresa.

### **1.5.3 Preparação de amostras**

Realizada a etapa de campo, 14 lâminas delgadas polidas foram produzidas no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia (DEGEO) da Escola de Minas – UFOP a partir das amostras coletadas em campo, para análise sob microscopia óptica de luz refletida e transmitida. As amostras de testemunhos de sondagem e de frente de lavra foram fornecidas pela empresa Nexa Resources.

## **1.6 Microscopia Óptica**

As lâminas delgadas polidas foram obtidas de amostras de quatro testemunhos de sondagem de galerias de pesquisa dos corpos mineralizados atualmente em exploração mineral e amostras de frente de lavra da Mina de Vazante, sendo nove amostras de três furos e da frente de lavra do Corpo Lumiadeira (FS1, FS2 FS3, FS4, FS5, FS6, FS11, CL01, CL02) e cinco de um furo do Corpo Sucuri (FS7, FS8, FS9, FS10, FS12) ( Tabela 1.1).

**Tabela 1.1** - Especificação das amostras (dados fornecidos pela empresa).

| Amostra | Furo                       | Corpo      | Profundidade (m) | Descrição petrográfica          |
|---------|----------------------------|------------|------------------|---------------------------------|
| FS1     | GP 507 P9275 S F13         | Lumiadeira | 183,20 – 183,35  | Brecha dolomítica/dolomito rosa |
| FS2     | GP 507 P9275 S F13         | Lumiadeira | 183,60 – 183,70  | Brecha dolomítica/dolomito rosa |
| FS3     | GP 507 P9275 S F13         | Lumiadeira | 201,10 – 201,22  | Brecha dolomítica/dolomito rosa |
| FS4     | GP 507 P9875 S F10         | Lumiadeira | 162,80 – 162,95  | Brecha hematítica               |
| FS5     | GP 507 P9875 S F10         | Lumiadeira | 165,33 – 165,43  | Brecha hematítica               |
| FS6     | GP 507 P9875 S F10         | Lumiadeira | 170,80 – 170,95  | Brecha hematítica               |
| FS7     | GP 484 P12675 S F12        | Sucuri     | 106,10 – 106,25  | Brecha dolomítica/dolomito rosa |
| FS8     | GP 484 P12675 S F12        | Sucuri     | 108,30 – 108,50  | Brecha dolomítica/dolomito rosa |
| FS9     | GP 484 P12675 S F12        | Sucuri     | 118,90 – 119,05  | Brecha willemítica              |
| FS10    | GP 484 P12675 S F12        | Sucuri     | 121,70 – 121,81  | Brecha willemítica              |
| FS11    | GP 507 P9275 S F12         | Lumiadeira | 193,60 – 193,75  | Brecha willemítica              |
| FS12    | GP 484 P12675 S F12        | Sucuri     | 117,10 – 117,18  | Brecha willemítica              |
| CL01    | Amostra de frente de lavra | Lumiadeira | 345              | Brecha dolomítica/dolomito rosa |
| CL02    | Amostra de frente de lavra | Lumiadeira | 345              | Brecha dolomítica/dolomito rosa |

As amostras foram caracterizadas no Laboratório de Microscopia Óptica, localizado no Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto utilizando-se microscópio óptico Zeiss com um sistema de captura de imagem acoplado (câmera Axio com *software* Zen. As lâminas foram descritas em luz refletida e transmitida com o objetivo caracterização dos minerais translúcidos e opacos. Além disso, para a quantificação das fases minerais, foi realizada análise modal.

### 1.6.1 MEV

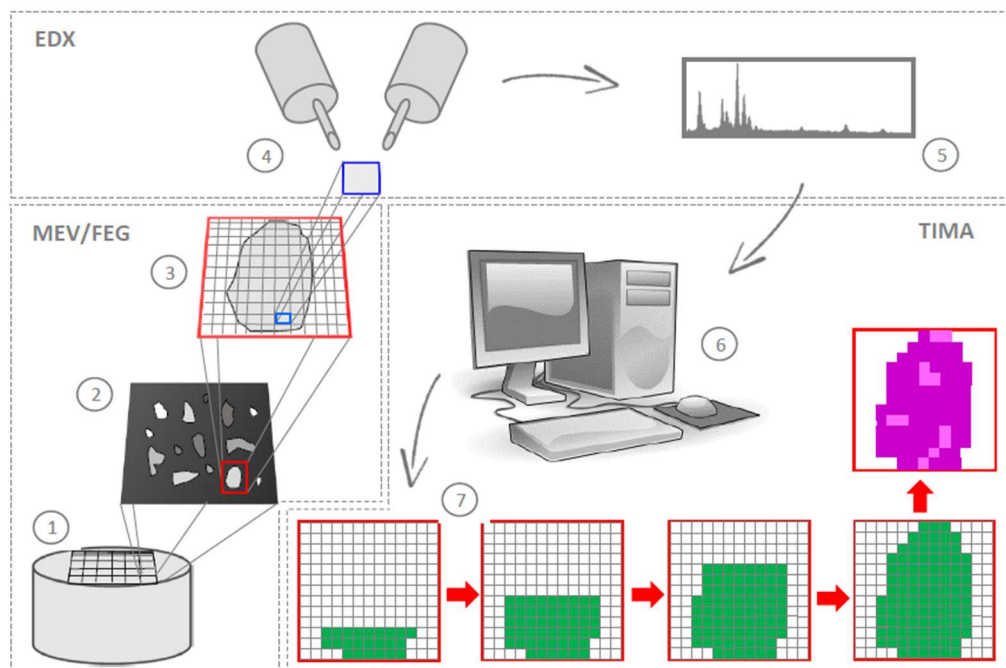
As imagens de elétrons retroespalhados foram obtidas no Laboratório de Microscopia e Microanálises (LMIC) do Departamento de Geologia da UFOP, em microscópio eletrônico de varredura JEOL modelo JSM-6510, com 20kV na fonte de geração do feixe de elétrons e 10 mm *work distance* e *spot size* entre 64 e 70..

### 1.6.2 Sistema TIMA-MIRA

O sistema utilizado neste trabalho foi o TIMA-MIRA fabricado e desenvolvido pela TESCAN<sup>TM</sup>. Este sistema foi elaborado exclusivamente para a indústria de mineração, o qual gera resultados de análises mineralógicas quantitativas de inúmeros tipos de amostras num breve espaço de tempo, incluindo rochas, minérios, concentrados, entre outros. Integra-se de um *software* de controle de varredura e de análise de dados minerais, nomeado TIMA (*Tescan Integrated Minerals Analyzer*), e de um *hardware* SEM-EDX (SEM – *Scanning Electron Microscope*, EDX – *Energy Dispersive X-ray spectroscopy*) integrado, conhecido como MIRA (nome comercial), que é composto de um microscópio eletrônico de varredura, com canhão de elétrons por emissão de campo (FEG – *Field Emission Gun*),

associado a dois detectores por dispersão de energia de raios-X (TESCAN 2015) (Sylvester 2012, Ferreira 2013).

A identificação da fase mineral é realizada no *software* MIRA, através da comparação das intensidades dos picos dos elementos químicos do espectro obtidos com os dados computados no programa, possibilitando a construção de uma imagem da partícula em questão. Quando todas as partículas da área têm suas medidas adquiridas, o procedimento se repete em um novo campo (Sylvester 2012, Ferreira 2013). Toda a sucessão de procedimentos é ilustrada na Figura 1.3.



**Figura 1.3** - Sequência das etapas executadas em uma análise no sistema TIMA-MIRA: (1) varredura da amostra; (2) individualização das partículas por nível de BSE; (3) varredura pontual da partícula individualizada; (4) análise pontual no EDX; (5) aquisição do espectro de raios-X; (6) identificação da fase mineral correspondente ao espectro de raios-X; (7) atribuição da fase à uma imagem. (Jaime *et al.* 2009).

A crescente demanda mundial por produtos da mineração associada à consequente diminuição destes recursos resulta na busca por alternativas eficientes de caracterização mineralógica que acarreta em importantes diferenças nos custos de produção destes recursos. Atualmente os estudos de mineralogia automatizada são amplamente utilizados na industrial mineral a partir de informações sobre a distribuição estatística do tamanho dos grãos além da associação mineralógica de interesse que contribuem para a otimização de processos e resolução de problemas na recuperação do minério na etapa de beneficiamento mineral.

As imagens do Sistema TIMA-MIRA foram obtidas no Laboratório Nanolab – Redemat – Escola de Minas da UFOP utilizando resoluções com *pixels* de 3, 10, 20 e 50 micrômetros para a obtenção dos dados das amostras.



## CAPÍTULO 2

### CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

---

O Distrito Zincífero de Vazante é formado pelos depósitos de Vazante, Ambrósia e Fagundes e é considerado o mais importante distrito de zinco do Brasil. A mineralização está associada a uma brecha dolomítica a dolarenítica, foi estudada por diversos autores e este capítulo apresenta um resumo dos dados mais relevantes.

#### 2.1 Contexto geotectônico

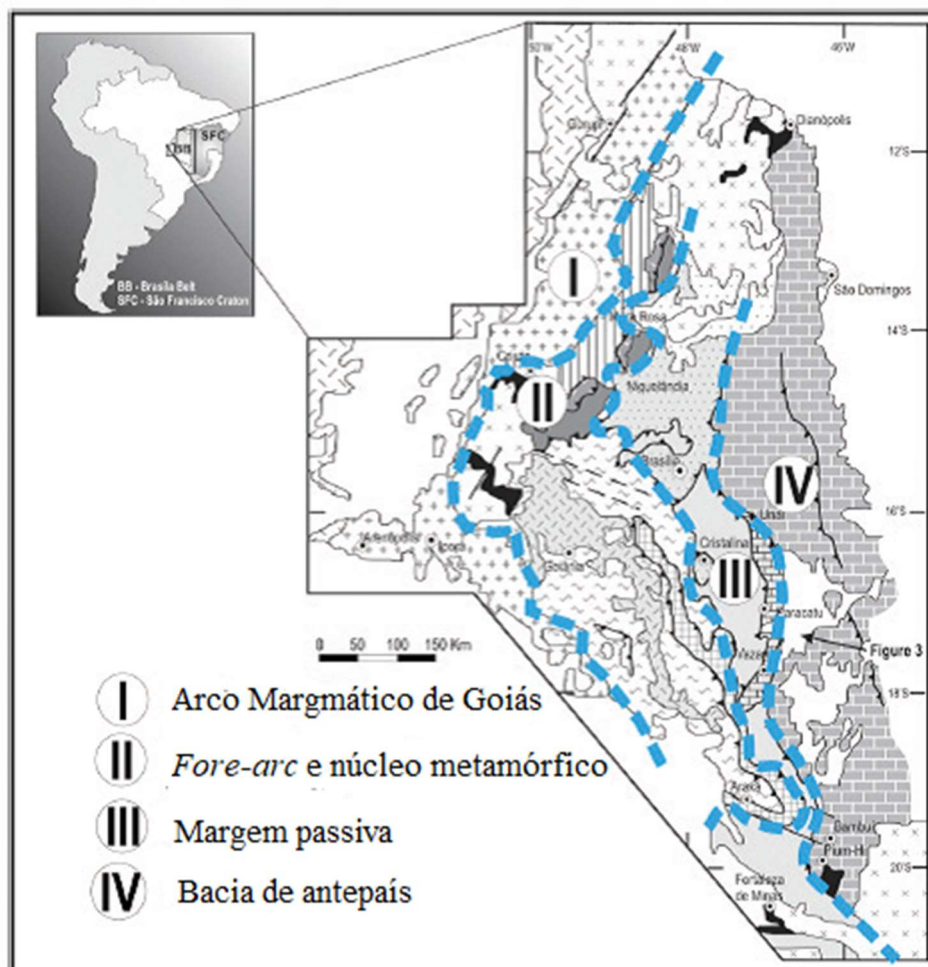
O início do ciclo Brasileiro é marcado pelo rifteamento do supercontinente Rodínia, no Neoproterozóico, há cerca de 960 Ma, consolidando sua fragmentação 750-650 Ma (Brito Neves *et al.* 1999). Após este período houve um período de aglutinação de terrenos cratônicos com orogênese acrescionária e colisional formando, de forma diacrônica, o então supercontinente Gondwana entre 620-500 Ma.

A Província Tocantins situa-se entre os crátons São Francisco-Congo e Amazonas (Almeida *et al.* 1981) e é resultado da colisão diacrônica entre os crátons São Francisco, Amazonas e Paranapanema (Dardenne 2000) que marca o fechamento do oceano Goianides no início da aglutinação do supercontinente Gondwana. Envolve, segundo Dardenne (2000), as faixas Paraguai e Araguaia, na margem leste do cráton Amazonas, e a faixa Brasília na fronteira leste do cráton São Francisco (Figura 2.1).

A Província Tocantins é descrita por Fuck (1994) nos terrenos geotectônicos seguintes:

- Arco magmático de Goiás: compõe-se de granitoides associados a sequências vulcanossedimentares características de arcos magmáticos.
- Maciço de Goiás: situa-se na porção central da Província Tocantins e compreende terrenos arqueanos e paleoproterozóicos. Fuck (1994) diz que o maciço possui uma interpretação muito complexa e ainda há poucos estudos sobre este terreno.
- Cráton São Francisco: integra embasamento granito-gnáissico arqueano e paleoproterozóico e ampla cobertura sedimentar com pouca ou nenhuma deformação.
- Faixa de Dobramentos Brasília (FDB): é uma faixa móvel e dispõe de embasamento paleoproterozóico retrabalhado, riftes e magmatismo paleo e mesoproterozóicos, depósitos de talude (margem passiva) meso a neoproterozóicos e depósitos de antepaís. A deformação possui vergência tectônica para leste e metamorfismo crescente de leste

para oeste, chegando a fácies anfibolito e granulito. Neste terreno está incluída a área de estudo.



**Figura 2.1** - Subdivisão tectônica das unidades supracrustais da faixa Brasília conforme suas semelhanças no sistema deposicional. Extraído de Pimentel *et al.* (2011).

O Grupo Vazante localiza-se na borda Oeste do cráton São Francisco, a sul da Faixa Brasília. Constitui-se essencialmente de sequências pelito-carbonática, metamorfasadas em fácies xisto verde na zona da fronteira entre a FDV e o cráton São Francisco.

## 2.2 Unidades Estratigráficas

Dardenne *et al.* (1998) e Dardenne (2000) dividiram a sequência pelito-carbonática em sete formações conforme a Figura 2.2 e atualmente essa coluna estratigráfica é amplamente utilizada na literatura. Signorelli *et al.* (2013) incluem as formações basais Retiro (ou Santo Antônio do Bonito) e Rocinha ao Grupo Bambuí ao correlacionar suas colunas estratigráficas com datação de zircões detríticos.

Formação Retiro (Santo Antônio do Bonito): formação basal na estratigrafia do Grupo Vazante restrita a leste da cidade de Coromandel, na porção sul da bacia, este pacote possui espessura estimada entre 100 a 25 m. Constitui-se de níveis pelítico ardorianos intercalados em pacotes métricos de quartzitos brancos, ademais conglomeráticos. Verificam-se localmente ocorrências de horizontes diamictitos relativos a movimentos turbidíticos correlatos de ambiente glácio-marinho (Souza 1997) contendo clastos de quartzito, calcários, dolomitos, metassiltitos e granitoides com matriz pelítica com níveis fosfáticos associados.

Formação Rocinha: Esta formação possui espessura entre 500 e 1000 m e concebe uma sequência rítmica arenosa e pelítica na base, seguida por um pacote espesso de metapelitos e metassiltitos, passando de maneira vertical para pelitos cinza escuro, carbonáticos e piritosos com finas laminações fosfáticas. Na parcela do topo ocorrem ritmitos (quartzitos e metassiltitos) que alojam o depósito de Lagamar, constituído essencialmente por fosfarenitos.

Formação Lagamar: Este segmento possui espessura aproximada de 250 m e é caracterizado na sua parte basal pela alternância entre conglomerados, quartzitos, metassiltitos e ardórias. Brechas dolomíticas sucedem esta alternância às quais transcorrem níveis de calcários cinza escuros, bem estratificados, com intercalações de brechas lamelares e, por fim, dolomitos estromatolíticos estabelecendo biohermas de cor bege claro, constituídos por dolomitos com esteiras microbiais, dolarenitos e dolorruditos oncolíticos, além de estromatólitos com laminações convexas e cônicas do tipo *Conophyton metula* e *Jacutophyton* depositados em ambientes de águas agitadas.

Formação Serra do Garrote: Possui espessura total inferida de mais de 1000 m, contendo dobramentos e falhas de baixo ângulo que dificultam a análise da espessura real. É composta por pelitos cinza escuros a esverdeados, às vezes rítmicos, carbonosos e piritosos com finas intercalações de quartzitos.

Formação Serra do Poço Verde: Dispõe de espessura total calculada entre 1300 e 1600 m, principalmente dolomítica e subdividida em quatro membros da base para o topo: (a) Membro Morro do Pinheiro Inferior: composta principalmente por dolomitos intercalados com brechas e dolarenitos. (b) Membro Morro do Pinheiro Superior: descrita como dolomitos com esteiras microbiais intercalados com dolarenitos, brecha lamelar e folhelhos carbonosos secundários. (c) Membro Pamplona Inferior: constituído por ardórias e filitos, dolomito micrítico, comumente róseo, com tapetes microbiais. (d) Membro Pamplona Superior: formada por dolomito com esteiras algais, laminações e *mud cracks* intercaladas com dolarenitos e brechas lamelares.

Formação Morro do Calcário: apresenta espessuras maiores que 900 m na região de Morro Agudo, Paracatu e Unaí, sendo composta essencialmente por dolorruditos evidenciando o retrabalhamento de biohermas estromatolíticas parcialmente preservadas, associadas à fácies de dolarenitos intraclásticos oolíticos e oncolíticos. Essa espessura anormal indica que, na porção norte da bacia, as formações Morro do Calcário e Serra do Poço Verde devem representar uma sequência dolomítica única, depositada em continuidade, não sendo possível a individualização das subdivisões observadas na região de Vazante. Ademais, esta formação possui um nível entre 200 e 300m caracterizado pela presença de dolomitos róseos estromatolíticos estabelecendo bioestromos e biohermas com colunas de laminações convexas, associados a dolarenitos oolíticos e oncolíticos e dolorruditos. Nestas rochas estão inseridas as minerações de zinco e chumbo dos depósitos de Morro Agudo, Ambrósia e Fagundes.

Formação Lapa: composta pelos membros Serra da Lapa e Serra do Velosinho, esta formação possui os níveis dolomíticos variam de 100 a 200 m de espessura na região de Vazante, chegando a mais de 800 m na região de Paracatu e está localizada no topo da coluna estratigráfica do Grupo Vazante (Dardenne, 2000). Essa sequência é caracterizada por filitos carbonosos, metassiltitos carbonáticos, lentes de dolomito e níveis quartzíticos. As lentes carbonáticas contêm fácies de dolomitos laminados escuros, maciços, por vezes dolarenitos impuros.

### **2.2.1 Idades do Grupo Vazante**

Zircões detríticos ao longo dos níveis siliciclásticos da coluna estratigráfica do Grupo Vazante foram datados por Rodrigues *et al.* (2012), estas idades equivalem à idade máxima de deposição. Os zircões mais novos encontrados na base da sequência, representada pelas formações Retiro e Rocinha, são de  $935 \pm 14$  Ma e os mais antigos 2,2 Ga. Zircões com idades variando entre 1,3 Ga e 2,1 Ga foram encontrados na Formação Serra do Garrote, foram encontradas idades semelhantes nas formações Morro do Calcário e Lapa, com picos principais em 1,2 Ga.

Valeriano *et al.* (2004) obtiveram idades de metamorfismo relativos a datações de K/Ar e Rb/Sr feitas em sedimentos pelíticos, resultando numa idade de cerca de 600 Ma. Entretanto, datações Pb/Pb feitas em galena encontrada em Morro Agudo e Vazante, mostram idades variando entre 1200 Ma e 650 Ma.

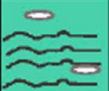
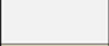
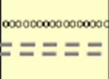
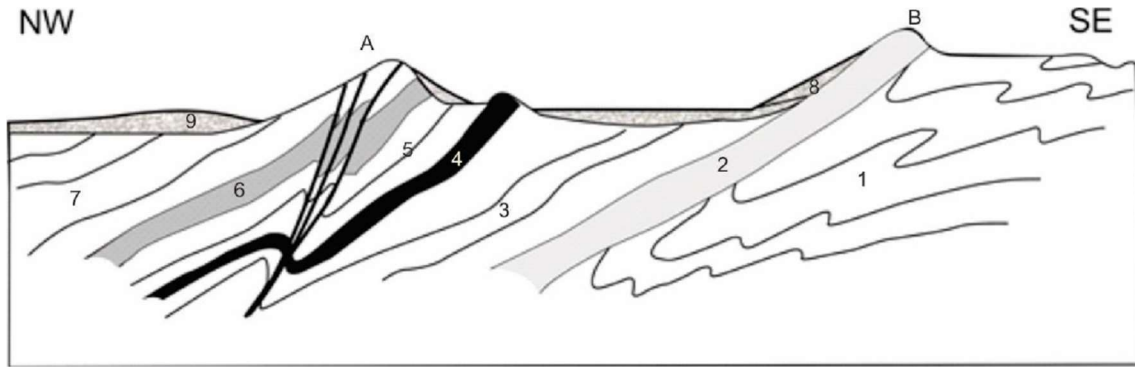
| Formação                                                                            |                                  | Membro                     | Espessura (m) | Descrição                                                                              | Ambiente deposicional         | Idade                                                                             | Depósitos minerais                                                                                 |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|    | Serra da Lapa                    |                            | 650           | Ardósia cinza rica em carbonatos, lentes de ardósia dolomito carbonático               | Submaré                       | U-Pb zircão : 1082±14 Ma<br>T <sub>DM</sub> =1.72-1.91 Ga                         |                                                                                                    |  |
|    | Morro do Calcário                | Pamplona Superior          | 200-300       | Bioherma estromatolítica, brecha dolomítica e dolarenito<br>Siltito cinza escuro basal | Submaré<br>Praia              | U-Pb zircão : 1137±8 Ma<br>Re-Os: 1112 ± 50 Ma                                    | Pb-Zn sulfetados<br>Morro Agudo<br>Ambrosia,<br>Fagundes<br>Bom sucesso                            |  |
|    | Serra do Poço Verde              | Pamplona Médio             | 400           | Dolomito rosa com esteiras estromatolíticas e <i>mud cracks</i>                        | Submaré a intermaré           | T <sub>DM</sub> =1.82-2.10 Ga                                                     | Zn silicatado<br>Vazante,<br>Extensão<br>Norte<br>Varginha,<br>Olho d'Água<br>Cerrado,<br>Pamplona |  |
|    |                                  | Pamplona Inferior          | 100-200       | Ardósia cinza e verde, siltitos com dolomito rosa                                      | Intermaré, supramaré a Sabkha |                                                                                   |                                                                                                    |  |
|    |                                  | Morro do Pinheiro Superior | 300-500       | Dolomita cinza escuro com tapetes estromatolíticos                                     | Submaré a intermaré           |                                                                                   |                                                                                                    |  |
|    |                                  | Morro do Pinheiro Inferior | 500           | Dolomito cinza claro a rosa com intercalações de brechas e dolarenitos                 | Submaré a intermaré           |                                                                                   |                                                                                                    |  |
|   | Serra do Garrote                 |                            | >1000         | Ardósia cinza a filito com camadas ricas em C e intercalações menores de quartzito     | Marinho raso                  | U-Pb zircão : 1296±13 Ma<br>Re-Os: 1354 ± 88 Ma<br>T <sub>DM</sub> = 2.03-2.05 Ga |                                                                                                    |  |
|  | Lagamar                          | Sumidoro                   | 250           | Calcário, brecha dolomítica com bioherma estromatolítica no topo                       | Fácies intermaré              |                                                                                   |                                                                                                    |  |
|  |                                  | Arrependido                |               | Conglomerado                                                                           |                               |                                                                                   |                                                                                                    |  |
|  | Rocinha                          |                            | 1000          | Ritmitos com ardósias fosfatadas                                                       | Marinho raso                  | U-Pb zircão : 935±14 Ma                                                           |                                                                                                    |  |
|  | Retiro (Santo Antônio do Bonito) |                            | 250           | Intercalações de quartzito, fosforito, diamictito e ardósias                           | Glacial-marinho               | U-Pb zircão : 997±29 Ma                                                           |                                                                                                    |  |

Figura 2.2 - Coluna estratigráfica do Grupo Vazante (traduzido de Olivo *et al.* 2018)

## 2.3 Arcabouço Estrutural

Em virtude de uma saliência no contorno da margem do paleocontinente São Francisco, a geometria que define a Faixa Brasília apresenta elevada concavidade voltada para leste.

O comportamento plástico das unidades pelíticas do Grupo Vazante é notabilizado pela acomodação em dobras isoclinais e falhas de baixo ângulo (Figura 2.3), enquanto que os dolomititos apresentam-se reologicamente rígidos, formando dobras suaves e fraturas espaçadas (Dardenne 1974).



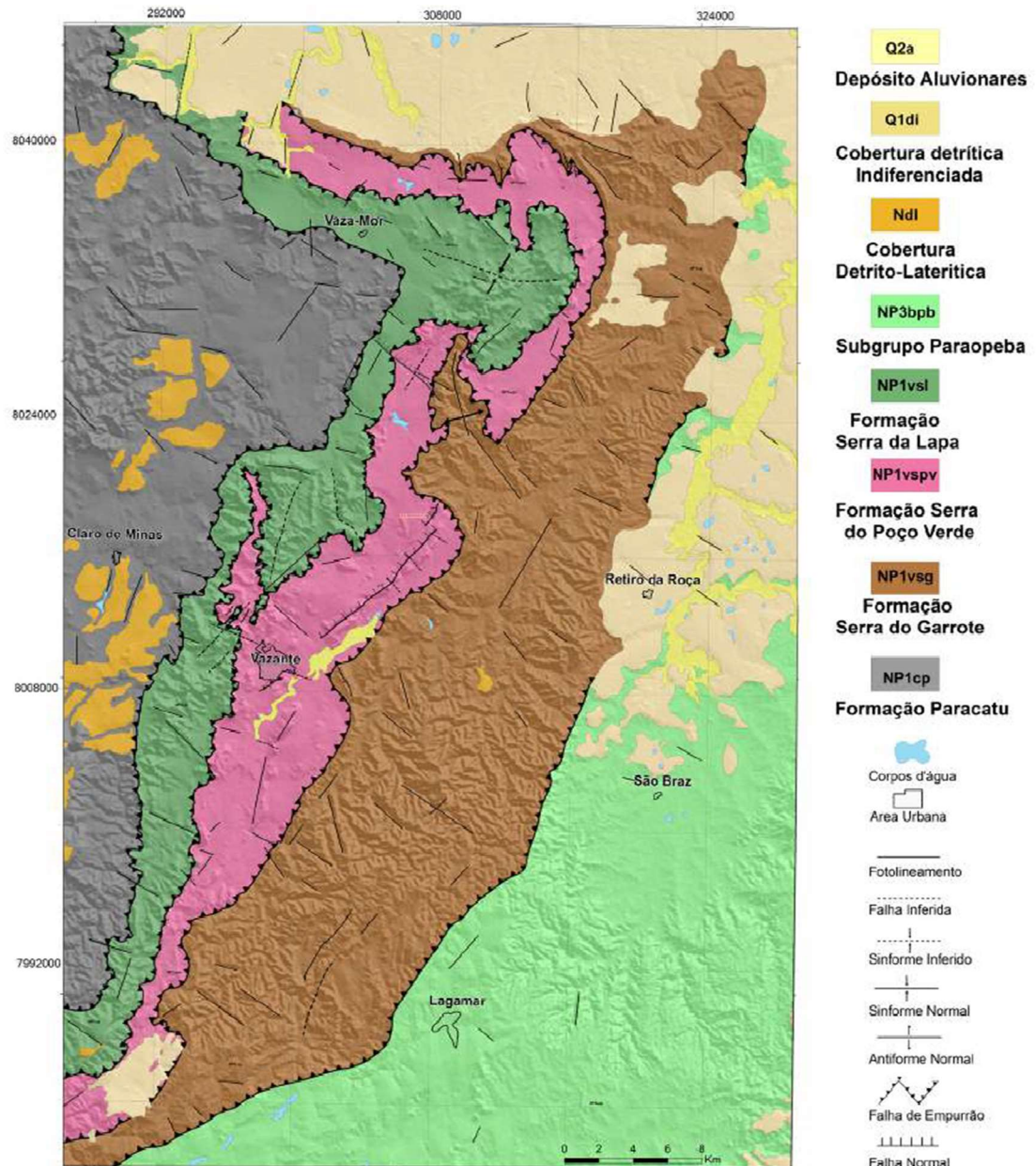
**Figura 2.3** - Seção esquemática que representa de maneira geral a geometria estrutural transversal da faixa Vazante (Rostirolla *et al.* 2002).

Na Figura 2.3: “A” representa a zona de falha de e “B” a zona de falha da Serra do Garrote. Os números representam: 1- metapelitos da Formação Serra do Garrote; 3- metadolomito do Membro Morro do Pinheiro Superior; 4- filitos intermediários do Membro Morro do Pinheiro; 5- metadolomitos do Membro Morro do Pinheiro Superior; 6- rochas do Membro Pamplona Inferior; 7- Membro Pamplona Médio; 8- coluviões; 9- alúvios.

A base cartográfica utilizada no mapa do DZV (Signorelli *et al.* 2013), conforme mostrada na Figura 2.4, consiste nas seguintes unidades tectono-estratigráficas: Formação Paracatu (Grupo Canastra), formações Serra do Garrote, Serra da Lapa, Serra do Poço Verde (Grupo Vazante) e Subgrupo Paraopeba (Gurupi Bambuí), além de depósitos aluvionares e coberturas detrito-lateríticas.

A Formação Serra do Garrote forma uma falha de empurrão com o Subgrupo Paraopeba, posicionando, tectonicamente, o Grupo Vazante sobre o Grupo Bambuí. Dentro do Grupo Vazante as unidades apresentam contatos tectônicos entre si, a Formação Serra da Lapa sobrepõe a Formação Serra do Poço Verde, esta, por sua vez, cavalga a Formação Serra do Garrote. Os grupos Canastra e Vazante possuem limites tectônicos formados por falhas de empurrão.



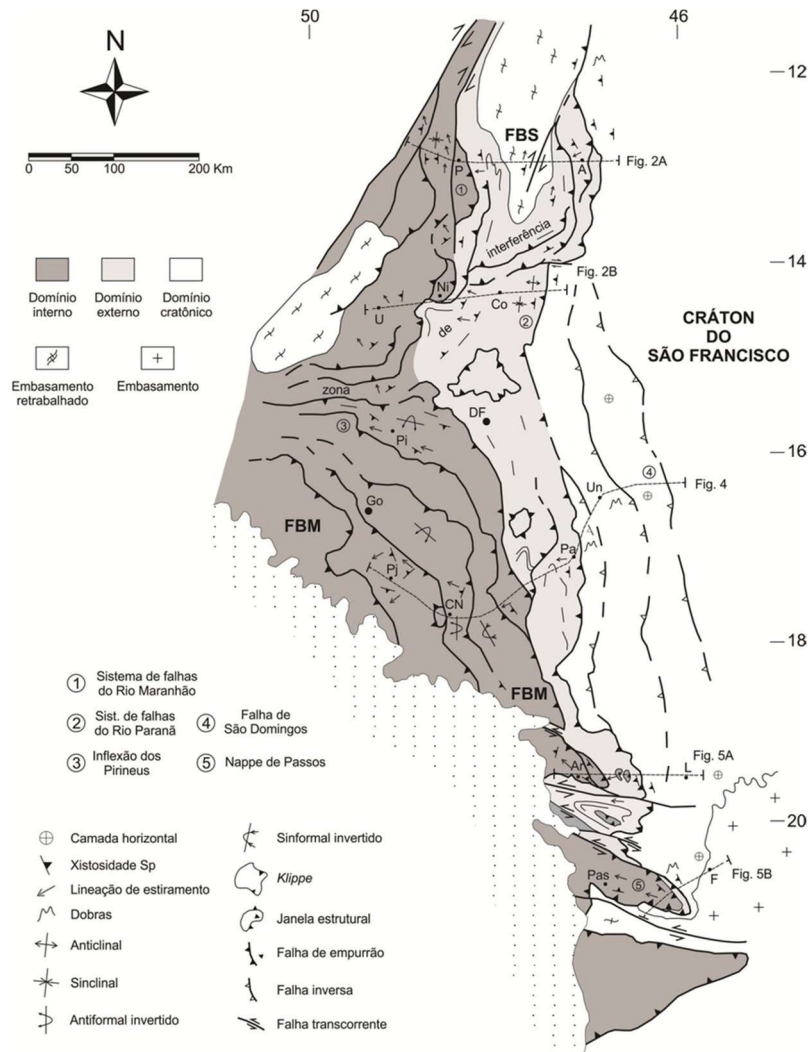


**Figura 2.4** - Mapa simplificado (Signorelli *et al.* 2013).

## 2.4 Evolução tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília

Segundo Valeriano *et al.* (2008), a evolução da Faixa Brasília é subdividida em três etapas entre os períodos de 1,0 a 0,6. Começando seu ciclo com uma fase extensional que resultou na composição de uma margem passiva com deposição de sedimentos Neoproterozóicos na porção ocidental do paleocontinente São Francisco-Congo. Após esta fase, a partir do desenvolvimento da bacia oceânica, uma zona de subducção foi desenvolvida relativa ao Arco Magmático de Goiás. O progressivo fechamento do Oceano Goianides culminou no choque do paleocontinente Paranapanema com os blocos

do Maciço de Goiás e do Arco Magmático de Goiás, formando a atual configuração da Faixa Brasília, como na Figura 2.5.



**Figura 2.5** - Mapa estrutural simplificado da Faixa Brasília e porção adjacente do Cráton do São Francisco, com indicação dos domínios cratônicos, externo e interno e com localização das seções estruturais (Schobbenhaus *et al.* 1984 e Bizzi *et al.* 2004).

## 2.5 Falha de Vazante

Com cerca de 12 km de extensão e direção N50E e mergulho médio entre 50 e 70°, a Falha de Vazante a geometria sugere uma cinemática sinistral normal e foi a estrutura que serviu para a percolação do fluido mineralizante do depósito de Vazante (Dardenne 1999).



### 2.5.1 Evolução geológica da Falha de Vazante

Pesquisas vêm sendo feitas ao longo dos anos para o aprofundamento do conhecimento da gênese da Falha de Vazante que possui uma história bastante complexa. Quatro fases de deformação sucessivas, num único ciclo tectônico, foram descritas por Pinho *et al.* (1989) e Pinho (1990):

- i. Primeira fase: corresponde a uma fase extensional de caráter rúptil, este processo um sistema de *horsts* e *grabens* em que se originou a sedimentação do Grupo Vazante.
- ii. Segunda fase: fase de caráter compressivo que foi responsável pela reativação da Falha de Vazante com cinemática transcorrente sinistral. Esta fase foi também responsável pela inversão tectônica da bacia. A mineralização de Vazante é relativa a esta fase de deformação, segundo Slezak (2012) e Slezak *et al.* (2014), e seria derivado de sucessivos ciclos de deformação rúptil correlacionados com fluxo de fluidos.
- iii. Terceira fase: dá sequência aos processos compressionais da bacia, gerando seu encurtamento e desenvolvendo falhamentos reversos de alto ângulo.
- iv. Quarta fase: tem características de tectônica extensional de acomodação dos blocos regionais, com movimentos predominantemente verticais com pequenos rejeitos no *trend* mineralizado.

Dornelas, R. M. 2018, Caracterização Mineralógica de Minério de Zinco ..., n. 306, 44p.

## CAPITULO 3

### DEPÓSITO DE VAZANTE

---

Os depósitos de zinco silicatado são geralmente de alto teor de zinco (entre 16 e 38%) e baixos teores de chumbo e sulfetos (Hitzman 2003). Isto faz destes depósitos alvos atrativos para exploração e processamento mineral, além de diminuir os impactos ambientais devido à lixiviação do metal e drenagens ácidas. Além de a produção mundial de zinco ocorrer em sua maior parte através dos depósitos sulfetados, resultando em maior quantidade de pesquisas realizadas e consequentemente, no conhecimento da área (McGladrey *et al.* 2017).

Grande parte dos estudos já realizados (Slezak *et al.* 2014, Dardenne 1999) é focada nos controles estruturais, alteração, mineralogia do minério e geoquímica de depósitos específicos ou ocorrências. Há também contribuições sobre a evolução do fluido mineralizante na bacia e as variações nas propriedades físicas da rocha devido à mineralização (McGladrey *et al.* 2017). Diversas sequências carbonáticas com potencial para hospedar tipos equivalentes de mineralização e pertencem ao Proterozóico e Paleozóico ao redor do mundo têm evolução similar à do Grupo Vazante (Figura 3.1).

Ainda se discute sobre a interpretação do sistema deposicional do Grupo Vazante. Enquanto uns autores propõem que os sedimentos foram depositados num ambiente de margem passiva (Pimentel 2001) na borda oeste do cráton São Francisco, outros autores (Dardenne 1998) propõem um ambiente de bacia *foreland*. Investigações geoquímicas recentes das unidades siliciclásticas indicam que os sedimentos provêm, em sua maior parte, de rochas vulcânicas félsicas derivadas de arcos continentais ao invés de rochas retrabalhadas típicas de ambiente de margem passiva (Fernandes 2017).

A sequência estratigráfica da área é descrita por Dardenne (1999) e Dardenne *et al.* (2001), como detalhado no Capítulo 2. As rochas do Grupo Vazante são cortadas por diques máficos deformados e metamorfizados com idades entre 1,16 a 1,21 Ga (Babinski 2005), idades essas que representam a idade máxima de cristalização dos diques (Pimentel 2001, Fuck 1994).

O corpo de minério de Vazante se estende por cerca de 5 km de comprimento e mais de 500 m abaixo da superfície, tendo entre cinco e dez metros de espessura.



**Figura 3.1** - Mapa regional dos grupos Vazante e Canastra com a localização dos depósitos de Vazante, Morro Agudo, Ambrósia e Fagundes (adaptado de Monteiro 2006).

### 3.1 Controles estratigráficos

A mineralização de zinco silicatado está hospedada principalmente nos dolomitos da Formação Serra do Poço Verde que faz contato com as formações Serra do Garrote (na base) e Morro do Calcário (no topo). Segundo Rigobello *et al.* (1998) e Dardenne (2000), a Formação Serra do Poço Verde é segmentada em quatro membros, da base para o topo:

- a. Membro Morro do Pinheiro Inferior: compõe-se de dolomitos cinza-claros e rosados, maciços além de níveis secundários de dolarenitos, por vezes oncolíticos, brechas lamelares e lentes de estromatólitos colunares.
- b. Membro Morro do Pinheiro Superior: apresenta dolomitos cinza-médios a escuros com estruturas olho-de-pássaro e esteiras algais. Também é possível identificar horizontes subordinados de dolarenitos, brechas lamelares e folhelhos carbonosos com pirita.
- c. Membro Pamplona Inferior: constituído por folhelhos carbonáticos, ardósia carbonosa cinza-claro, lilás a esverdeada com níveis dolomíticos finos.
- d. Membro Pamplona Superior: inclui dolomitos cinza-claros a róseos com laminações algais, intercalados a horizontes de dolarenitos, brechas lamelares e estromatólitos colunares e raras lentes de filito preto.

A maior parte dos depósitos de zinco está alojada no contato entre os membros Morro do Pinheiro Superior e Pamplona Inferior (Slezak *et al.* 2014). Entretanto, algumas ocorrências também se localizam na zona intermediária entre os dolomitos e filitos do membro Morro do Pinheiro Superior (Carvalho 2017) em contato tectônico de uma unidade carbonática indiferenciada, que Baia (2013) tentou correlacionar com a formação Morro do Calcário.

No geral, o corpo de minério ocorre principalmente nas unidades dolomíticas intercaladas com faixas de rochas siliciclásticas, como exposto na Figura 3.2, que foram depositadas em submaré a supramaré, num ambiente do tipo sabkha. Estas unidades estão comumente em contato tectônico ou subjacente a uma sequência de rochas siliciclásticas.

### 3.2 Controles Estruturais

A mineralização de zinco silicatado na mina de Vazantes ocorre em dolomitos brechados e hidrotermalmente alterados (comumente Fe-carbonato e hematita) intercalados com ardósias, filitos e diques máficos ao longo de uma falha na direção N50E e com mergulho entre 60-70° (Dardenne 1999). A falha sofreu múltiplas reativações durante a Orogênese Brasileira, incluindo falhamento reverso durante a compressão, que posteriormente evoluiu para uma falha sinistral normal durante o evento orogênico (Pinho 1990, Dardenne 2000).

### 3.3 Alteração hidrotermal e minério

Os primeiros estágios de alteração hidrotermal associados à alteração supergênica de zinco silicatado no DZV são caracterizados pela retirada do Fe na dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), com ocorrências locais de siderita ( $\text{FeCO}_3$ ) e secundárias de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ). Estes minerais preenchem veios, zonas de dissolução e a cimentação de clastos dentro de rochas dolomíticas brechadas (Dardenne 2000, Slezak *et al.* 2014). A intensidade da alteração do Fe-carbonato comumente aumenta em direção ao núcleo do corpo de minério. O estágio de alteração subsequente é normalmente encontrado ao redor do corpo de minério e é caracterizado por altas proporções de hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) com ocorrências secundárias de quartzo, que substituíram o dolomito hospedeiro.

O início da precipitação da hematita, normalmente precede a formação da willemita ( $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$ ), e ambos minerais continuam a precipitar durante o principal estágio do minério, com presenças secundárias de zincita ( $\text{ZnO}$ ), franklinita ( $(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Zn})^{2+}(\text{Fe}, \text{Mn})^{3+}_2\text{O}_4$ ), greenockita ( $\text{CdS}$ ) e raramente smithsonita ( $\text{ZnCO}_3$ ).

Os diques máficos encontram-se hidrotermalmente alterados e contêm ocorrências de Zn-clorita ( $(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH})_6$ ), esfalerita ( $\text{ZnS}$ ) e franklinita.

Os sulfetos incluem galena ( $\text{PbS}$ ), esfalerita, calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) e covelita ( $\text{CuS}$ ). Prata nativa foi observada localmente associada a sulfetos de cobre. Estes sulfetos foram interpretados como tardios (Slezak *et al.* 2014), entretanto, não é possível determinar o tempo de ocorrência deste evento. Apatita ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$ ), Zn-clorita, barita ( $\text{BaSO}_4$ ) e anglesita ( $\text{PbSO}_4$ ) foram formadas em estágios posteriores.

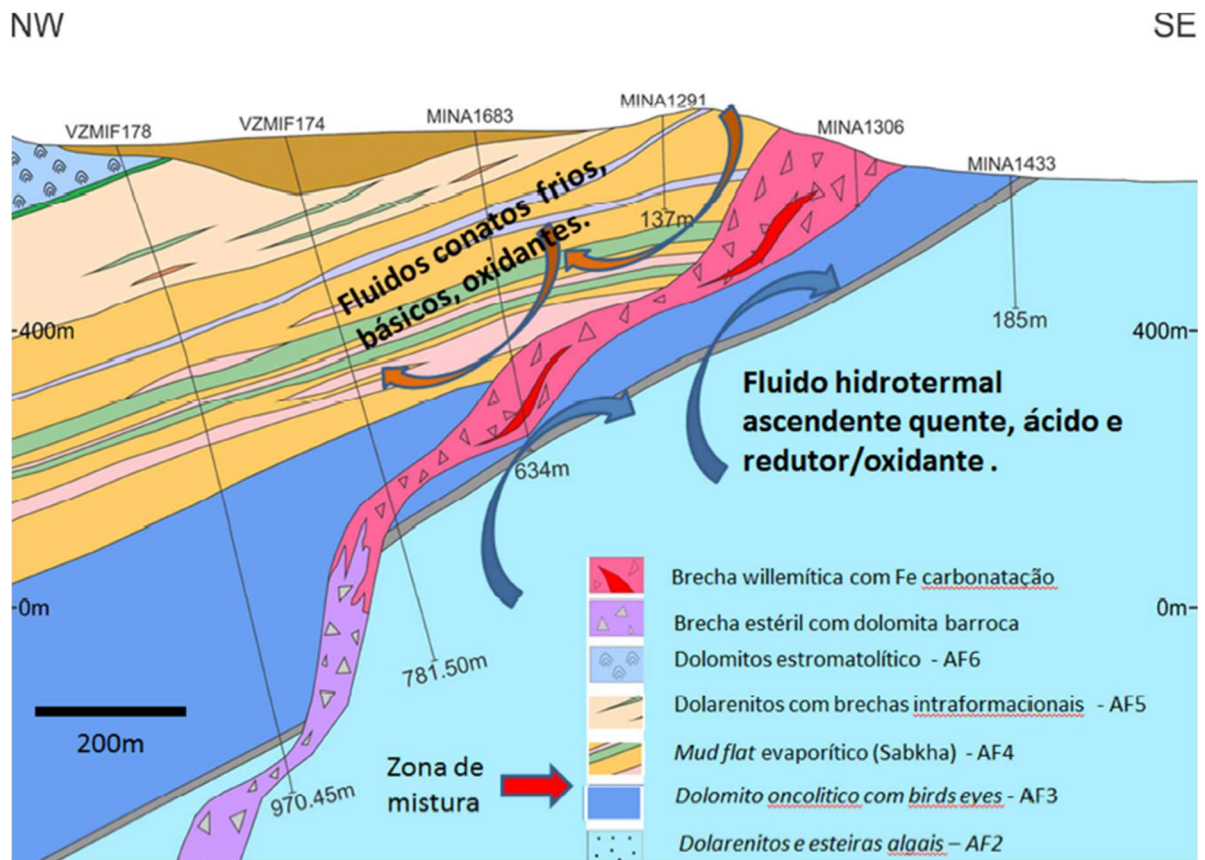
Os dados sugerem que os fluidos hidrotermais intercalados com a rocha hospedeira durante a alteração do Fe-carbonato foram enriquecidos com Zn e outros minerais associados com o minério. Entretanto, houve mudanças relevantes no sistema hidrotermal, envolvidos com a alteração dominante do carbonato, em que o ferro que ocorre na forma  $\text{Fe}^{2+}$ , passa para a alteração dominante hematítica ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Também houve aumento de sílica, que foi responsável pela precipitação em grandes quantidades de willemita em rochas dolomíticas pobres em sílica. O último estágio de veios sulfetados tem uma associação metálica diferente, contendo Cu e Ag, que indica uma fonte diferente comparada aos sistemas de zinco silicatado (Figura 3.2).

### 3.3.1 Fluido hidrotermal

Um conjunto de minerais semelhantes aos encontrados no DZV foram encontrados experimentalmente por Appold & Monteiro (2009) a partir do contato de um fluido quente ( $>200^{\circ}\text{C}$ ), com pH ácido, pobre em enxofre e metalífero com um outro fluido mais frio, pH alto e pobre em metais.

Segundo Baia (2013) a precipitação da willemita observadas no DZV pode estar associada à mistura de um fluido bacinal ascendente, quente, ácido e rico em metais com um fluido meteórico, descendente, frio e básico.

A gênese do minério silicatado de zinco pode ser referente à existência de fácies do tipo sabkha, de supramaré, encontrada restritamente no DZV (Oliveira 2013). Devido ao pH neutro e as condições oxidantes associados a essa litofácies, a precipitação da willemita teria sido beneficiada em oposição à da esfalerita.



**Figura 3.2** - Seção geológica indicando zona de mistura e condições físico-química dos fluidos hidrotermais responsáveis pela mineralização willemítica na falha de Vazante (Oliveira 2013).

### **3.4 Guias de exploração**

O DZV compartilha muitas similaridades com outros depósitos de willemita, sugerindo que estes depósitos foram formados por processos parecidos. Para o Distrito de Vazante são listados os seguintes guias de exploração:

#### **3.4.1 Escala regional**

Rochas carbonáticas que se formaram em bacias epicontinentais ao longo de margens passivas rasas, contendo sequências de rochas carbonáticas (armadilha de fluidos) e xistos / filitos negros (possível fonte de elementos relacionados ao minério). Estas bacias devem ter sofrido subsequentemente deformação durante grandes eventos orogênicos que formam cinturões tectônicos (por exemplo, Cinturão de Dobramento de Brasília, Cinturão do Zambeze e Faixa de Flinders). O evento orogênico criou e reativou estruturas adequadas como condutos de fluido de minério ao longo dos quais a mistura pode ocorrer, causa metamorfismo que pode levar à desvolatilização das camadas de sal que formam as salinas e fornece a energia para circular os fluidos salinos para a superfície, ao mesmo tempo do fluxo descendente de água (Fuck *et al.* 2014)

#### **3.4.2 Escala local**

Zonas de falhas rasas e brechas associadas a dobras e falhas regionais (por exemplo, falhas de descolamento causadas pelo dobramento flexural) devem ser direcionadas, pois criam um ambiente favorável entre fluidos salinos basais e águas meteóricas oxidantes. Os contatos estratigráficos são importantes para controlar a propagação de falhas, o fluxo de fluidos e a precipitação mineral. Os elementos Ag, Be, Cd, Cu, Ge, Pb e V devem ser utilizados como elementos farejadores em escala local para análises geoquímicas. Concentrações mais elevadas de Ag, As, Ba, Be, Bi, Cu, Fe, Ge, Hg, In, Mo, Ni, Pb, S, Sb, U, V, W e Zn e a abundância de hematita em brechas indicam locais de fluidos mistura e proximidade com as zonas de minério de willemita. Como willemita e hematita são as fases mais abundantes na brecha do minério e mais densas (3,9 a 4,2 e ~ 5,2 g / cm<sup>3</sup>, respectivamente) que os principais componentes minerais das rochas hospedeiras dolomíticas (2,7 a 3,2 g / cm<sup>3</sup>), portanto aerogravimetria poderia ser usada para identificar corpos de minério em profundidade (Fuck *et al.* 2014).



## CAPÍTULO 4

### CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

---

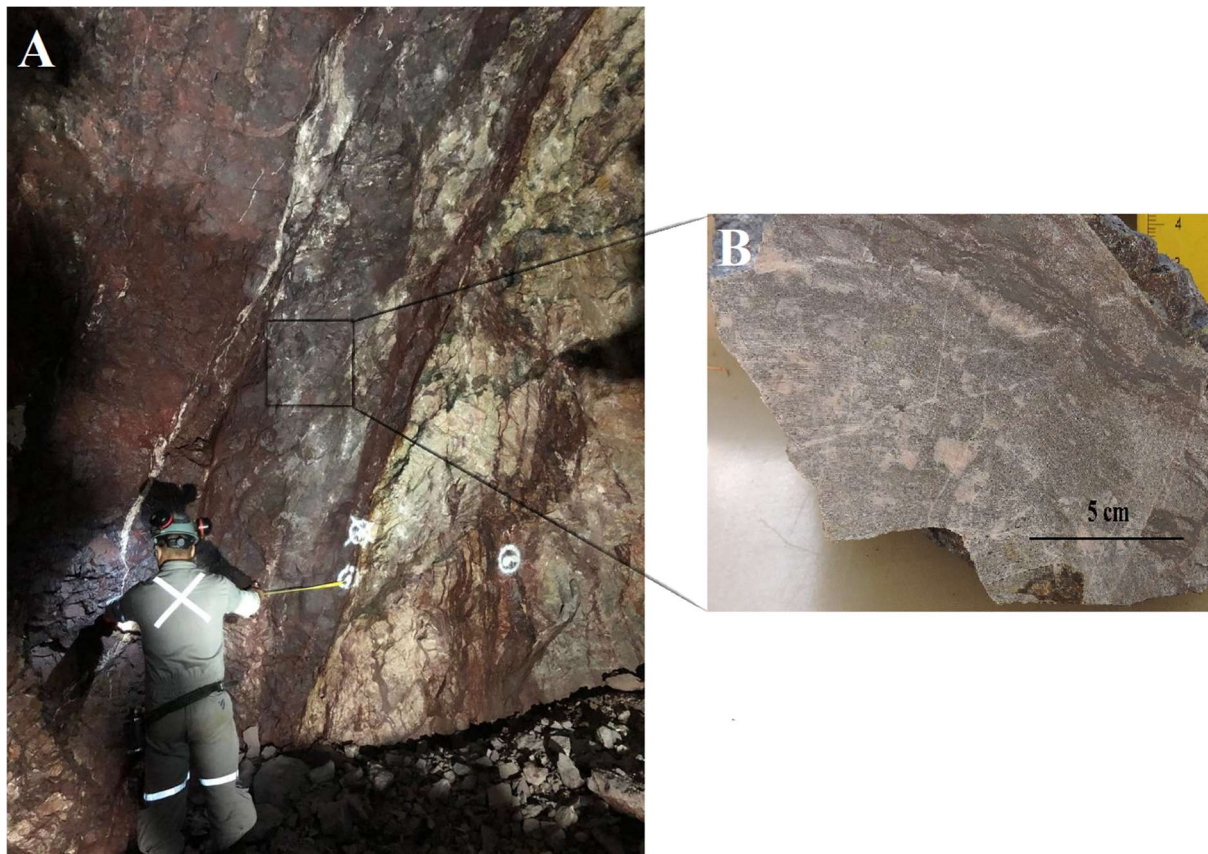
Serão apresentadas neste capítulo as análises microscópicas realizadas nas amostras coletadas em dois corpos mineralizados na Mina de Vazante, denominados Lumiadeira e Sucuri. As descrições completas encontram-se no APÊNDICE I. A Tabela 4.1 mostra alguns exemplos de testemunhos de sondagem utilizados para a caracterização.

Além das análises realizadas por meio do microscópio ótico, serão apresentados também os resultados da microscopia eletrônica de varredura e do sistema TIMA-MIRA.

**Tabela 4.1** - Amostragem dos litotipos estudados

| Lâmina | Profundidade (m) | Litotipo            | Amostra                                                                              |
|--------|------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| FS3    | 201,10 – 201,22  | Brecha dolomítica   |   |
| FS7    | 106,10 – 106,25  | Brecha dolomítica   |  |
| FS4    | 162,80 – 162,95  | Brecha esfalerítica |  |
| FS6    | 170,80 – 170,95  | Brecha dolomítica   |  |
| FS9    | 118,90 – 119,05  | Brecha willemítica  |  |
| FS11   | 193,60 – 193,75  | Brecha dolomítica   |  |

Além dos furos de sondagem, algumas amostras foram coletadas, também, diretamente da frente de lavra, conforme representado na Figura 4.1.



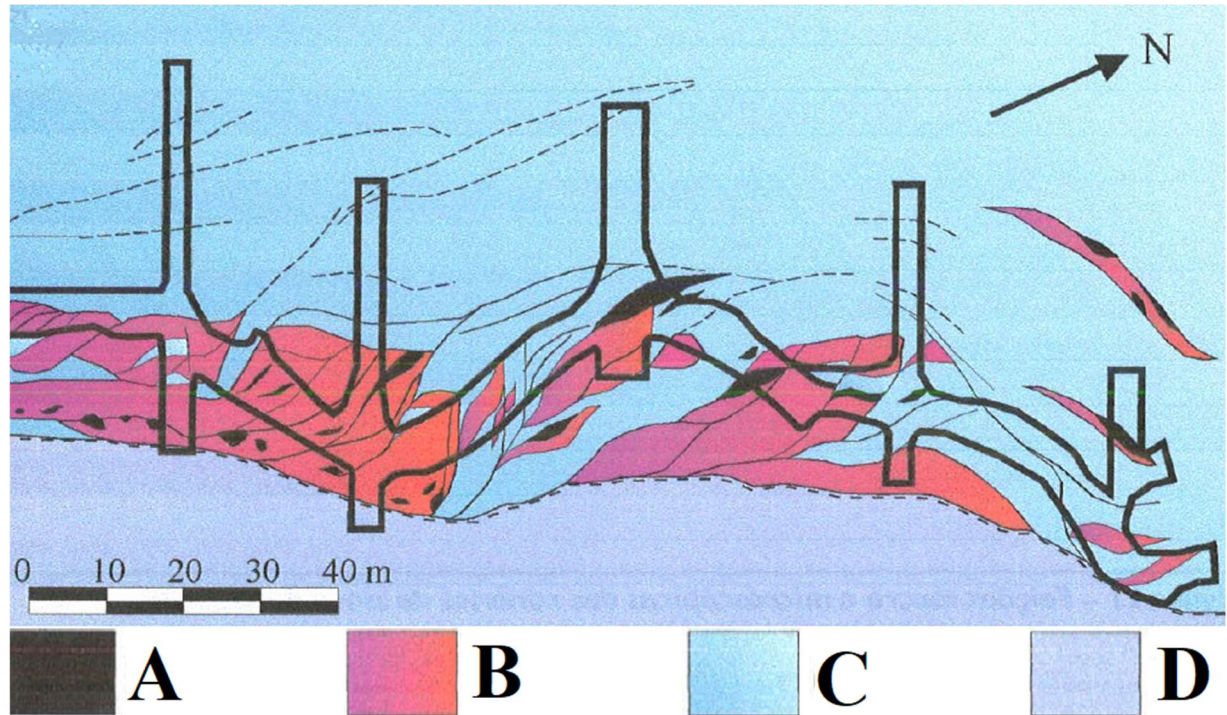
**Figura 4.1** – A: Frente de lavra mostrando a brecha dolomítica mineralizada. Profundidade: 345 m. B: Amostra de onde foi confeccionada a lâmina CL02.

#### 4.1 Caracterização mineralógica por litotipo

Segundo Dardenne (1998), observa-se na Mina de Vazante litotipos hospedeiros do minério de zinco, que sofreram alteração devido à interação de fluidos com rochas carbonáticas em uma falha tectônica. Os dois corpos mineralizados caracterizam-se por apresentar brechas de falha e são classificados na mina utilizando-se três termos (dolomítica, hematítica e willemítica), entretanto foi possível separar quatro litotipos, incluindo a brecha esfalerítica.



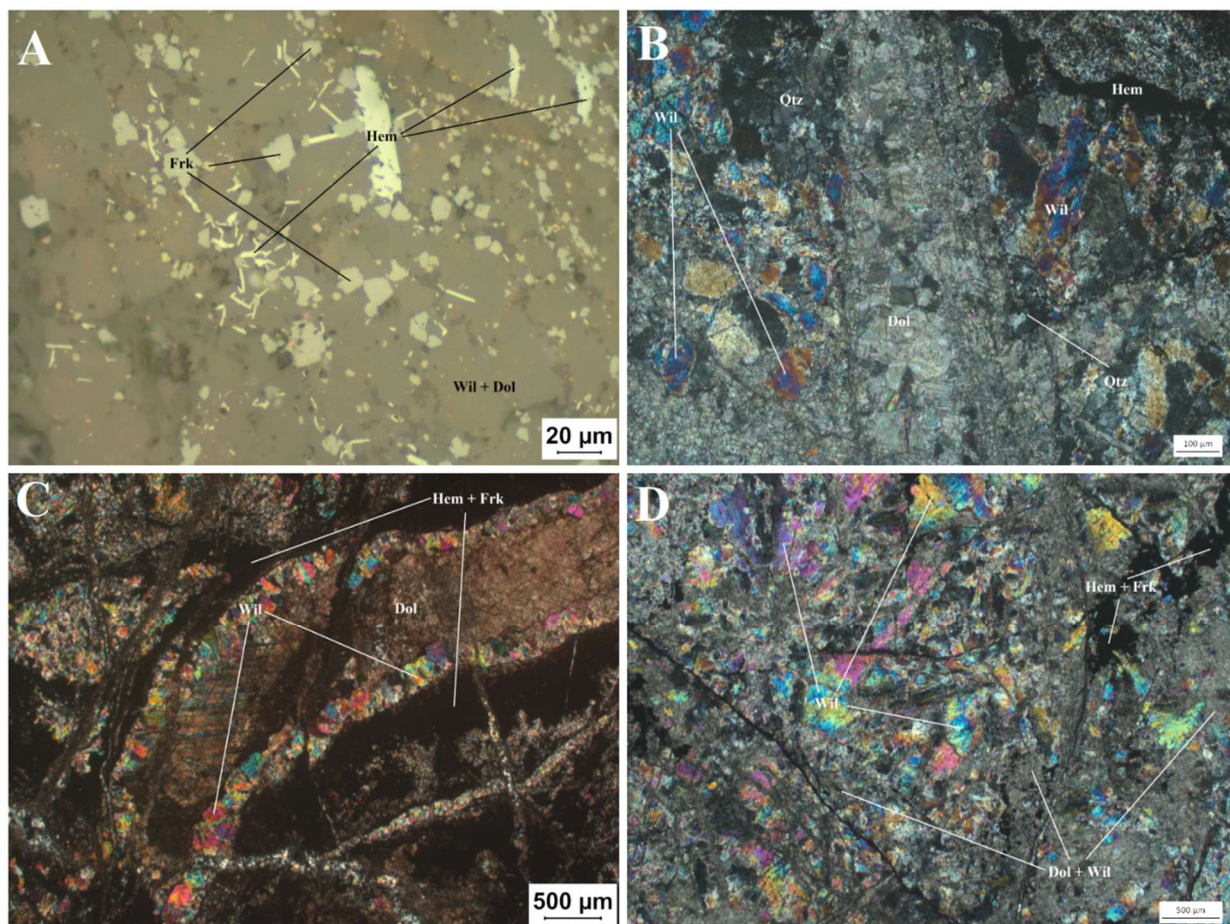
Segundo Monteiro (2002), após um estágio de mineralização willemítica, ocorreu uma alteração hidrotermal em que houve a substituição das rochas mineralizadas por dolomita e hematita, principalmente (Figura 4.2). A dolomita se comporta como matriz que envolve pequenos fragmentos de hematita e willemita, ao passo que a hematita se aglomera em planos de falha.



**Figura 4.2** - Mapa geológico do Nível 500 (mina subterrânea) mostrando a morfologia e a distribuição dos corpos de minério. A: Minério sulfetado com inserções de galena, hematita, dolomita e quartzo (brecha hematítica). B: Minério formado majoritariamente por willemita e veios de dolomita e quartzo (brecha willemítica). C: Dolomitos do Membro Pamplona Inferior brechados e alterados hidrotermalmente (brecha dolomítica). D: Dolomitos hidrotermalizados com veios de dolomita e hematita do Membro Morro do Pinheiro Superior (Monteiro 2002).

#### 4.1.1 Brecha dolomítica

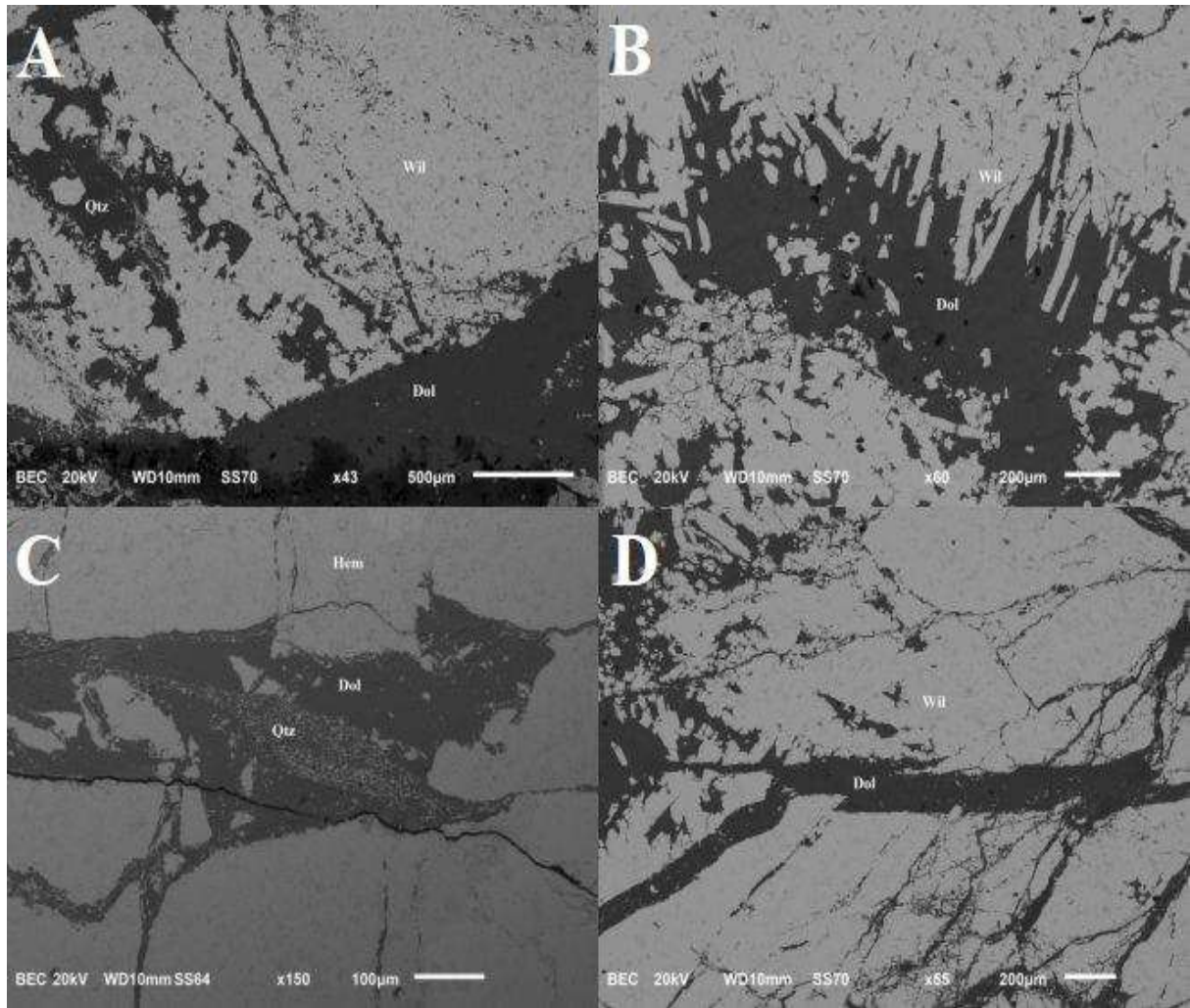
As amostras de minério hospedadas nas rochas dolomíticas descritas são caracterizadas por intensa brechagem, apresentando grãos de quartzo e willemita fraturados. A willemita é transparente translúcida, uniaxial positiva e não possui pleocroísmo, possui cores de interferência variáveis fosforescentes. O quartzo apresenta-se mais frequente, enquanto minerais de zinco sulfetados, como esfalerita e galena, aparecem em menor quantidade, franklinita dispersa na dolomita em grãos finos, substituindo a hematita, dolomita em veios, willemita associada a dolomita e a hematita associada a franklinita (Figura 4.3).



**Figura 4.3** - Fotomicrografias de amostra de brecha dolomítica. A: Imagem sob luz refletida plano-polarizada da amostra FS1 mostrando a franklinita dispersa na dolomita em grãos finos, substituindo a hematita. B: Imagem de luz transmitida polarizada cruzada da amostra FS3 mostrando a dolomita em veios, já a willemita apresenta grãos substituídos por dolomita. C: Imagem de luz transmitida polarizada cruzada da amostra FS7 que mostra veios preenchidos por dolomita, circundados por willemita e hematita. D: Imagem de luz transmitida polarizada cruzada da amostra CL01 mostrando a willemita associada a dolomita e a hematita associada a franklinita. Dol = dolomita; Frk = franklinita; Hem = hematita; Qtz = quartzo; Wil = willemita.

Os veios preenchidos por dolomita e hematita são constantemente cortados por outros veios ou brechados e acompanham a mineralização willemítica. Minerais de willemita fraturados e estirados, veios preenchidos por dolomita (Figura 4.4).

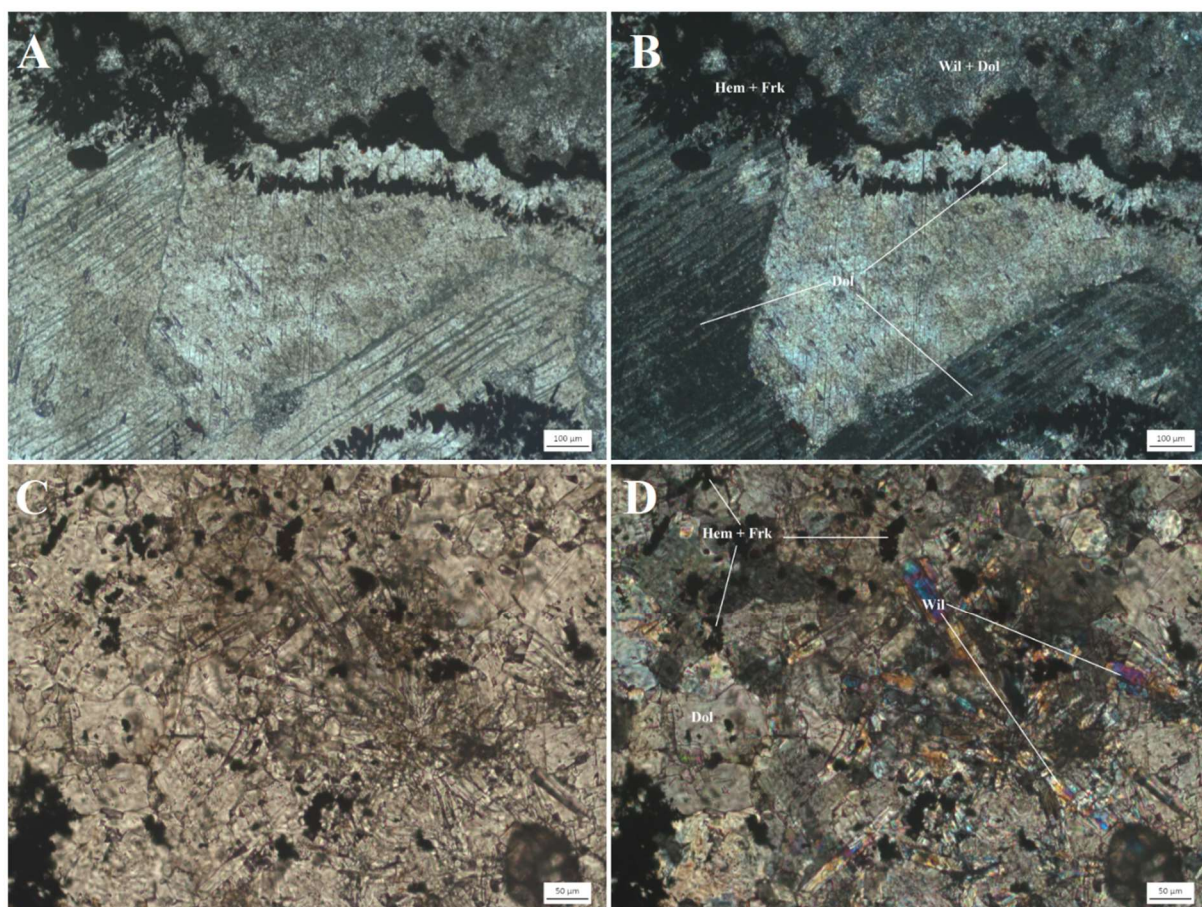




**Figura 4.4** – Imagem de elétrons retroespalhados da brecha dolomítica. A: Willemita fraturada com veios preenchidos por dolomita e quartzo (amostra FS3). B: Minerais de willemita fraturados e estirados (amostra CL01). C: Grão de quartzo em meio a dolomita (amostra CL02). D: Willemita alterada e fraturada, preenchida por dolomita (amostra CL01). Dol = dolomita; Hem = hematita; Qtz = quartzo; Wil = willemita.

#### 4.1.2 Brecha hematítica

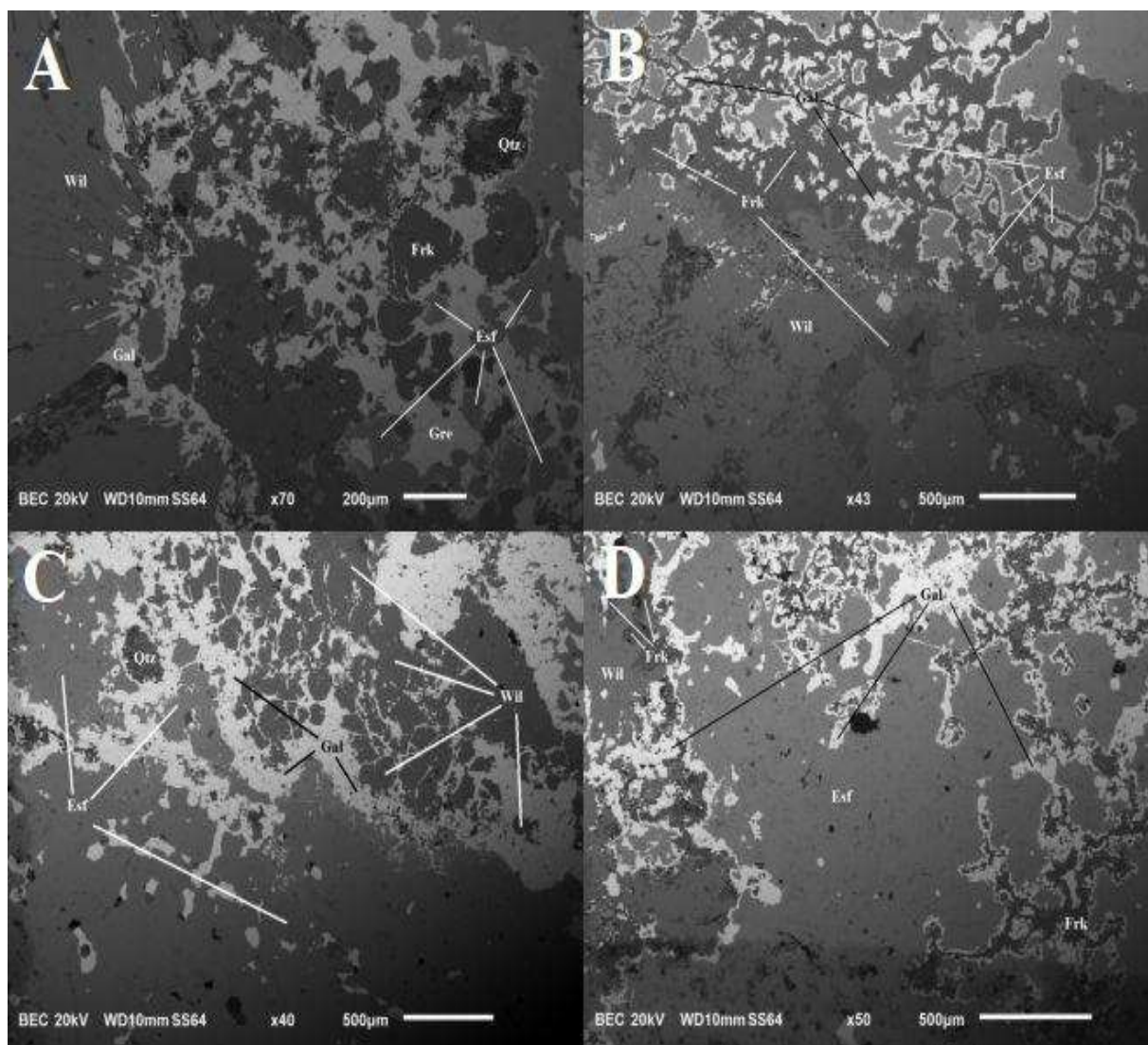
Neste litotipo observa-se que os minerais da rocha hospedeira, como dolomita e willemita preenchendo veios associados ao quartzo. A dolomita apresenta-se com coloração marrom em granulação fina e clivagem romboédrica. A esfalerita ocorre em associada a galena, hematita e franklinita em meio a dolomita e willemita. Hematita bastante disseminada, bordejando veios e fraturas e os grãos de dolomita, grãos de hematita associada a franklinita (Figura 4.5).



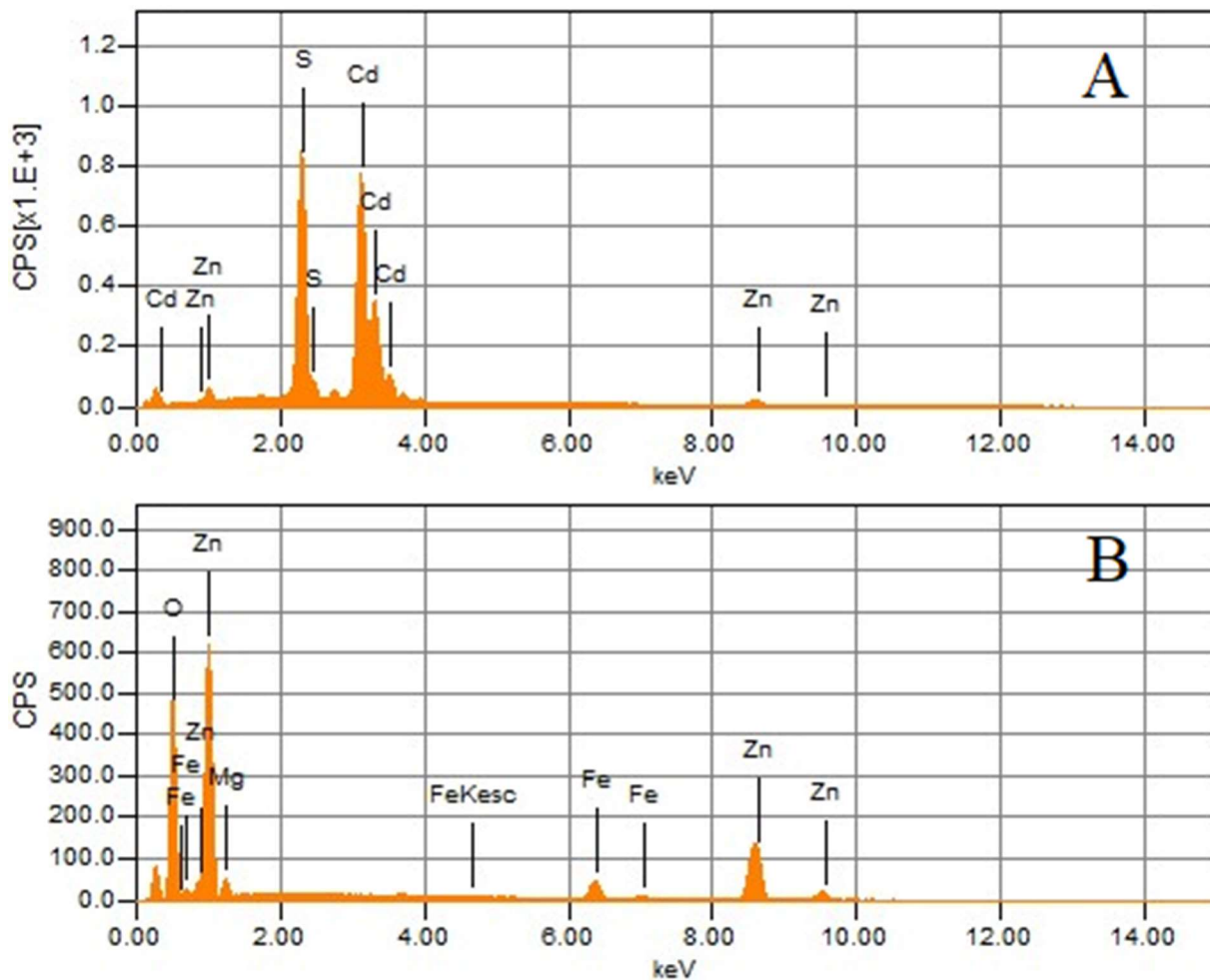
**Figura 4.5** - Fotomicrografias de amostra de brecha hematítica. A e B: Imagem de luz transmitida plano-polarizada e imagem de luz transmitida polarizada cruzada, respectivamente, da amostra FS5 mostra a hematita bastante disseminada, bordejando veios e fraturas e os grãos de dolomita. C e D: Imagem de luz transmitida plano polarizada e imagem de luz transmitida polarizada cruzada, respectivamente, da amostra FS6 com grãos de hematita associada a franklinita. Dol = dolomita; Frk = franklinita; Hem = hematita; Wil = willemita.

Neste litotipo, nota-se a presença da associação mineral entre esfalerita, galena, franklinita e quartzo com a willemita (Figura 4.6), sugerindo que este último mineral adveio da reação da esfalerita em contato com o quartzo. A galena pontualmente aparenta proteger a esfalerita de uma substituição total, preservando o mineral de zinco sulfetado. Franklinita em associação com a esfalerita, galena, greenockita e willemita. Esfalerita alterando-se para galena e franklinita com willemita associada. A greenockita e a franklinita foram identificadas com MEV, conforme mostrado nos espectros da Figura 4.7.





**Figura 4.6** - Imagem de elétrons retroespalhados da brecha hematítica, imagens da amostra FS4. A: Franklinita em associação com a esfalerita, galena e greenockita com a willemita. B: Esfalerita alterando-se para galena e franklinita com willemita associada. C: Willemita intensamente alterada e fraturada, associada a galena e esfalerita. D: Esfalerita e galena com ocorrência de franklinita associada a willemita. Dol = dolomita; Esf = esfalerita; Frk = franklinita Gal = galena; Gre = greenockita; Qtz = quartzo; Wil = willemita.

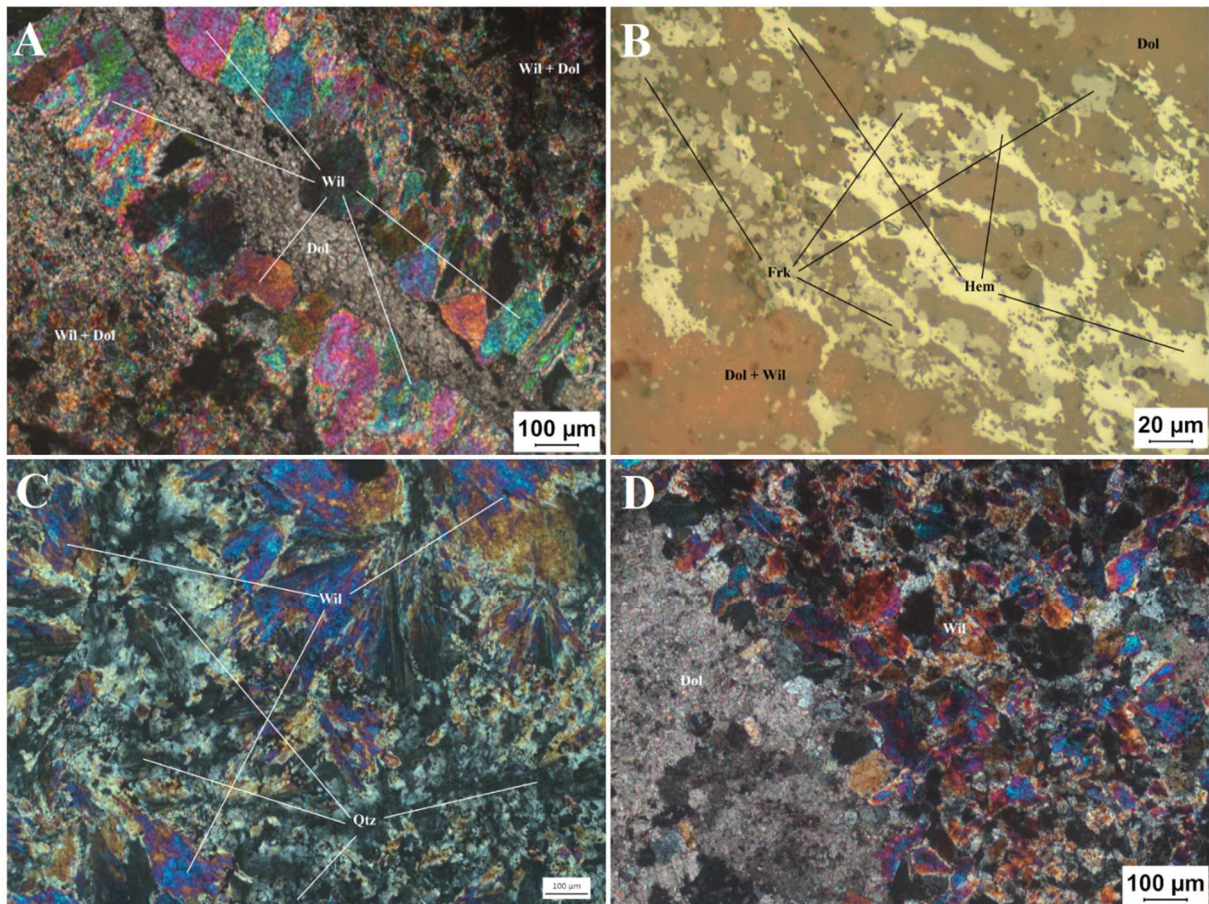


**Figura 4.7** – Espectros de EDS da greenockita e da franklinita indicadas na figura 4.6 A.

### 4.1.3 Brecha willemítica

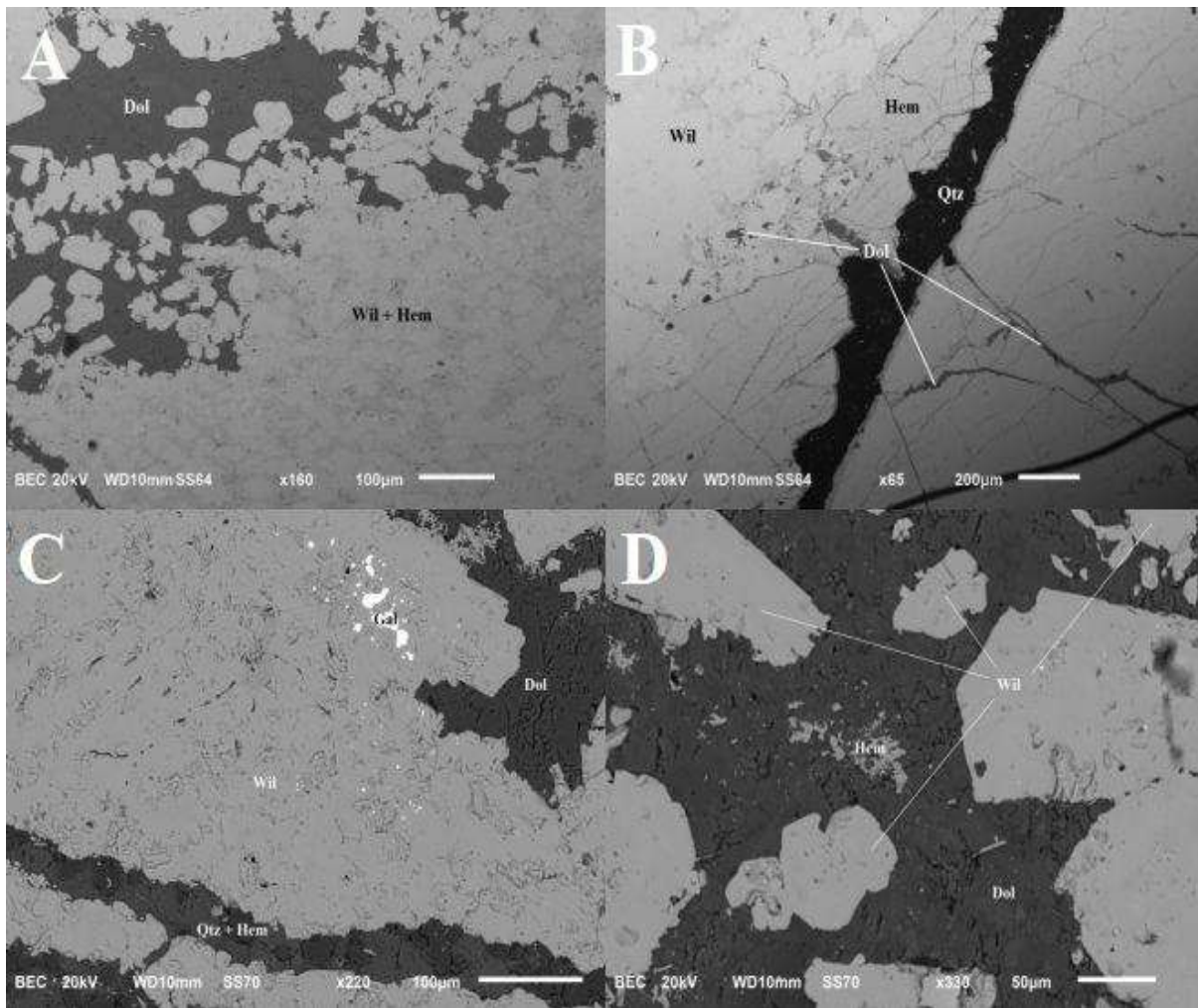
Nas amostras de brecha willemítica estudadas, pode-se observar a willemita em pacotes cortados por veios de hematita e dolomita e grande quantidade de veios preenchidos por quartzo cortando todos os outros minerais. Dolomita em veios por vezes com willemita, willemita ocorre em toda a lâmina em grãos finos por vezes circundados por dolomita ou substituindo o quartzo, hematita bastante estirada e alterada para franklinita em meio à dolomita e willemita, alguns grãos de willemita em arranjos circulares aparecem associados ao quartzo em grãos muito finos (Figura 4.8).





**Figura 4.8** - Fotomicrografia de amostras de brecha willemítica. A: Imagem de luz transmitida plano-polarizada da amostra FS11 mostrando a dolomita em veios por vezes com willemita. A willemita ocorre em toda a lâmina em grãos finos, por vezes circundados por dolomita ou substituindo o quartzo. B: Imagem de luz refletida plano polarizada da amostra FS11 hematita bastante estirada e alterada para franklinita em meio à dolomita e willemita. C: Imagem de luz transmitida polarizada cruzada da amostra FS10 mostrando a willemita alterada, alguns grãos em arranjos circulares aparecem associados ao quartzo em grãos muito finos. D: Imagem de luz transmitida polarizada cruzada da amostra FS12 veios de dolomita; a willemita está bastante alterada e em granulação fina. Dol = dolomita; Frk = franklinita; Hem = hematita; Qtz = quartzo; Wil = willemita.

A willemita ocorre como cristais grossos fibrorradiados e associada a dolomita e quartzo. Nas amostras deste litotipo, a formação de hematita e franklinita acompanha a willemita e dolomita rica em zinco. Alguns canais são preenchidos com dolomita, enquanto a hematita está associada à willemita, ocorrência de galena em meio à willemita, cortada por veios de quartzo e hematita, grão de hematita quase completamente dissolvido em meio à dolomita, grãos de willemita (Figura 4.9).



**Figura 4.9** - Imagem de elétrons retroespalhados da brecha willemítica. A: Willemita com hematita alterada quando em contato com a dolomita (amostra FS11). B: Veio de quartzo em grão de hematita. Alguns canais são preenchidos com dolomita, enquanto a hematita está associada à willemita (amostra FS11). C: Ocorrência de galena em meio à willemita, cortada por veios de quartzo e hematita (amostra FS9). D: Grão de hematita quase completamente dissolvido em meio à dolomita, grãos de willemita (amostra FS9). Dol = dolomita; Gal = galena; Hem = hematita; Wil = willemita.

## 4.2 Sistema TIMA-MIRA

O tempo de análise das amostras no MLA é o principal fator contra este método, pois ao se aumentar a resolução dos resultados (diminuindo o tamanho dos *pixels*) aumenta-se o tempo necessário para atingir a imagem final. Para realização deste trabalho foram utilizadas resoluções com *pixels* de 3, 10, 20 e 50 micrometros analisados em uma amostra da brecha dolomítica, duas da hematítica e três da brecha willemítica.

Imagens de elétrons retroespalhados auxiliaram a diminuir o tempo gasto pelo Sistema TIMA-MIRA fornecendo informações dos minerais principais e suas associações, resultando em melhor aproveitamento do tempo das análises.

## 4.3 Mineralogia dos litotipos

As amostras dos corpos Lumiadeira e Sucuri do DZV foram analisadas previamente considerando a classificação da mina, como três brechas distintas pelo principal mineral constituinte (dolomita, hematita e willemita) e, desta maneira, foram separadas para melhor direcionar os estudos e consequentes resultados. A Tabela 4.2 mostra a mineralogia modal dos diferentes tipos de brecha descritos que compõem o Distrito Zincífero de Vazante.

A análise do Sistema TIMA-MIRA permitiu um refinamento dos dados obtidos na descrição em microscópio óptico, permitindo perceber fases e associações minerais em menor escala, bem como uma determinação modal mais precisa das amostras. Os minerais descritos como ‘Não classificados’, na maioria dos casos, são variações composicionais dos principais minerais constituintes das rochas.

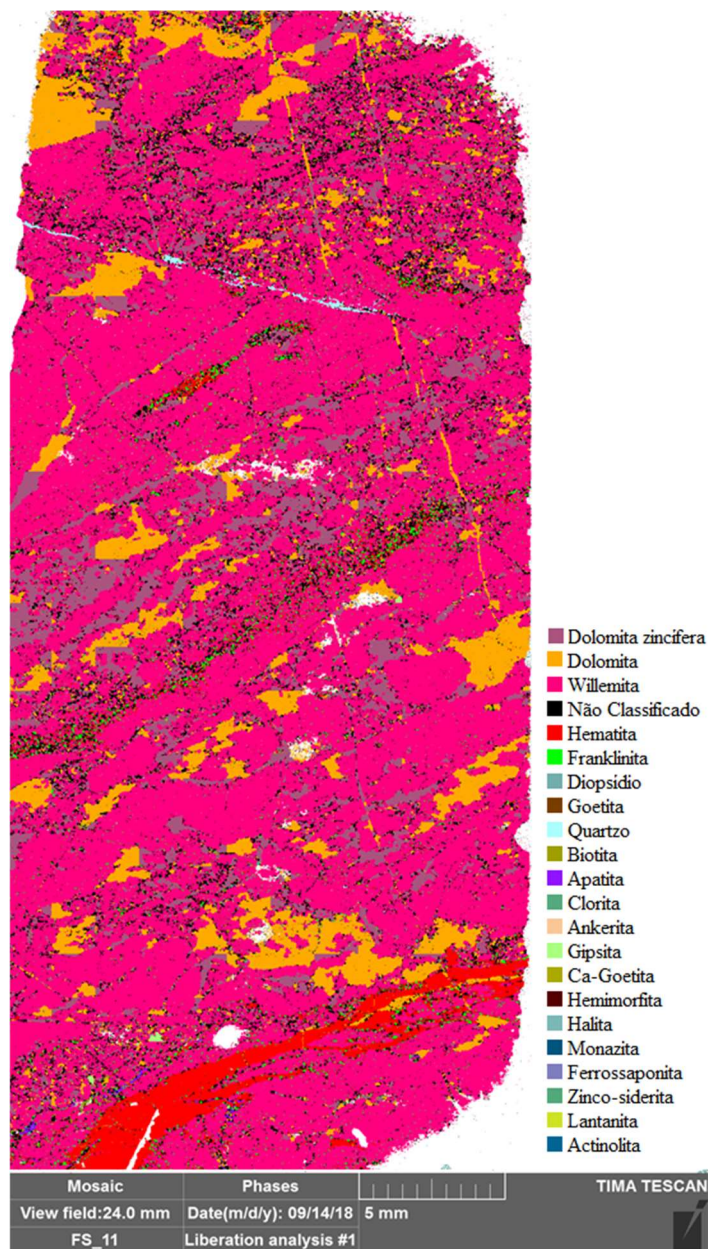
**Tabela 4.2** - Composição mineralógica modal, com base nas amostras estudadas, por litotipo.

| <i>Minerais (%)</i><br><i>Litotipo</i> | <b>Dolomita</b> | <b>Esfalerita</b> | <b>Franklinita</b> | <b>Hematita</b> | <b>Quartzo</b> | <b>Willemita</b> |
|----------------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|-----------------|----------------|------------------|
| <i>B. Dolomítica</i>                   | 50              | 2                 | 3                  | 15              | 10             | 20               |
| <i>B. Hematítica</i>                   | 20              | -                 | 15                 | 35              | 15             | 15               |
| <i>B. Willemítica</i>                  | 20              | -                 | 5                  | 15              | 5              | 55               |
| <i>B. Esfalerítica</i>                 | 10              | 55                | <1                 | -               | 10             | 10               |



#### 4.3.1 Brecha dolomítica

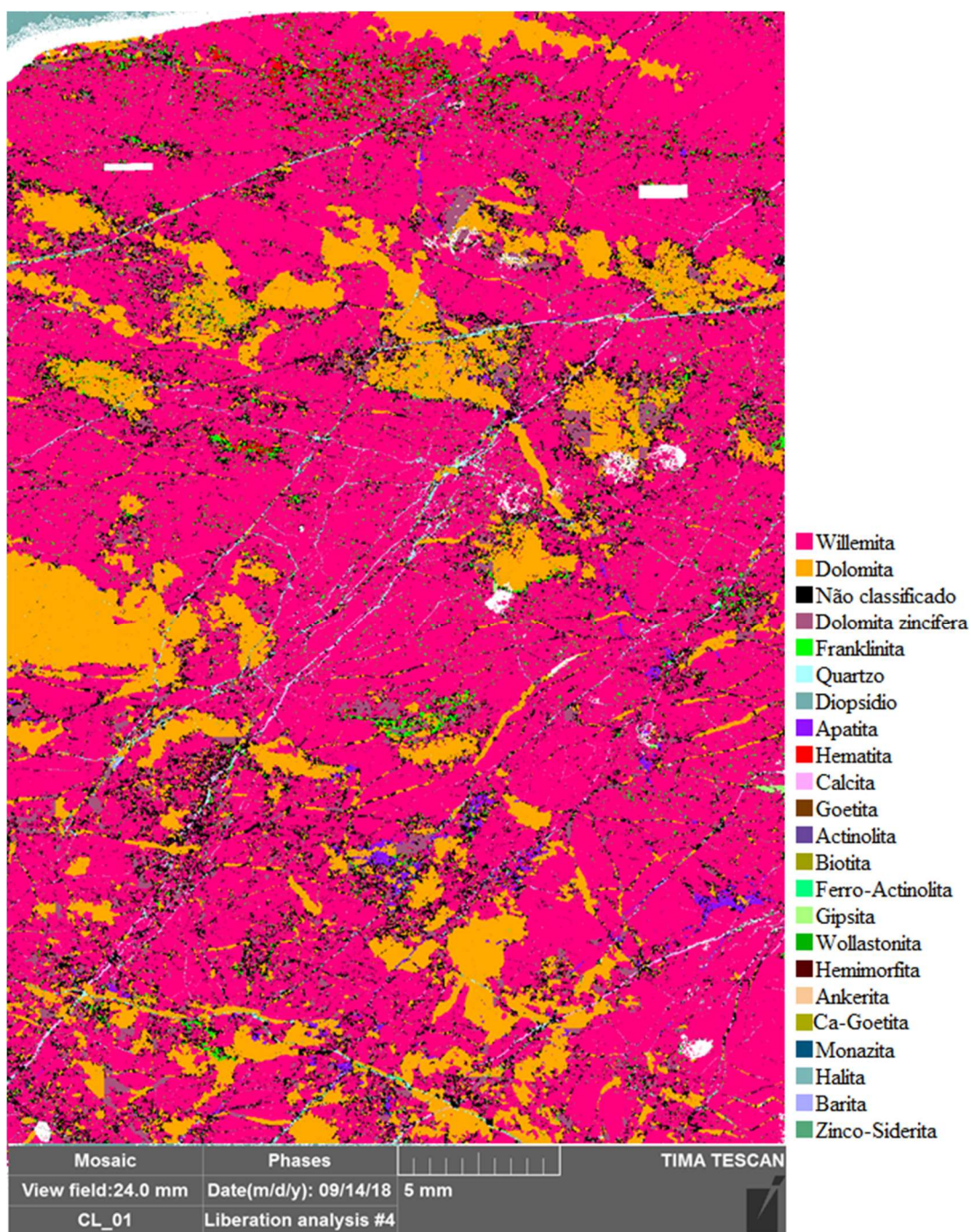
As amostras FS3, FS5, FS6, FS7, FS8 e FS11 foram classificadas como brecha dolomítica, algumas amostras contém willemita e hematita entre os minerais principais, exemplificada na Figura 4.10. A franklinita aparece como um dos principais minerais acessórios, com ocorrência de esfalerita e calcocita.



**Figura 4.10** - Resultado da análise do sistema TIMA-MIRA da amostra FS11. Brecha dolomítica do corpo Lumiadeira.

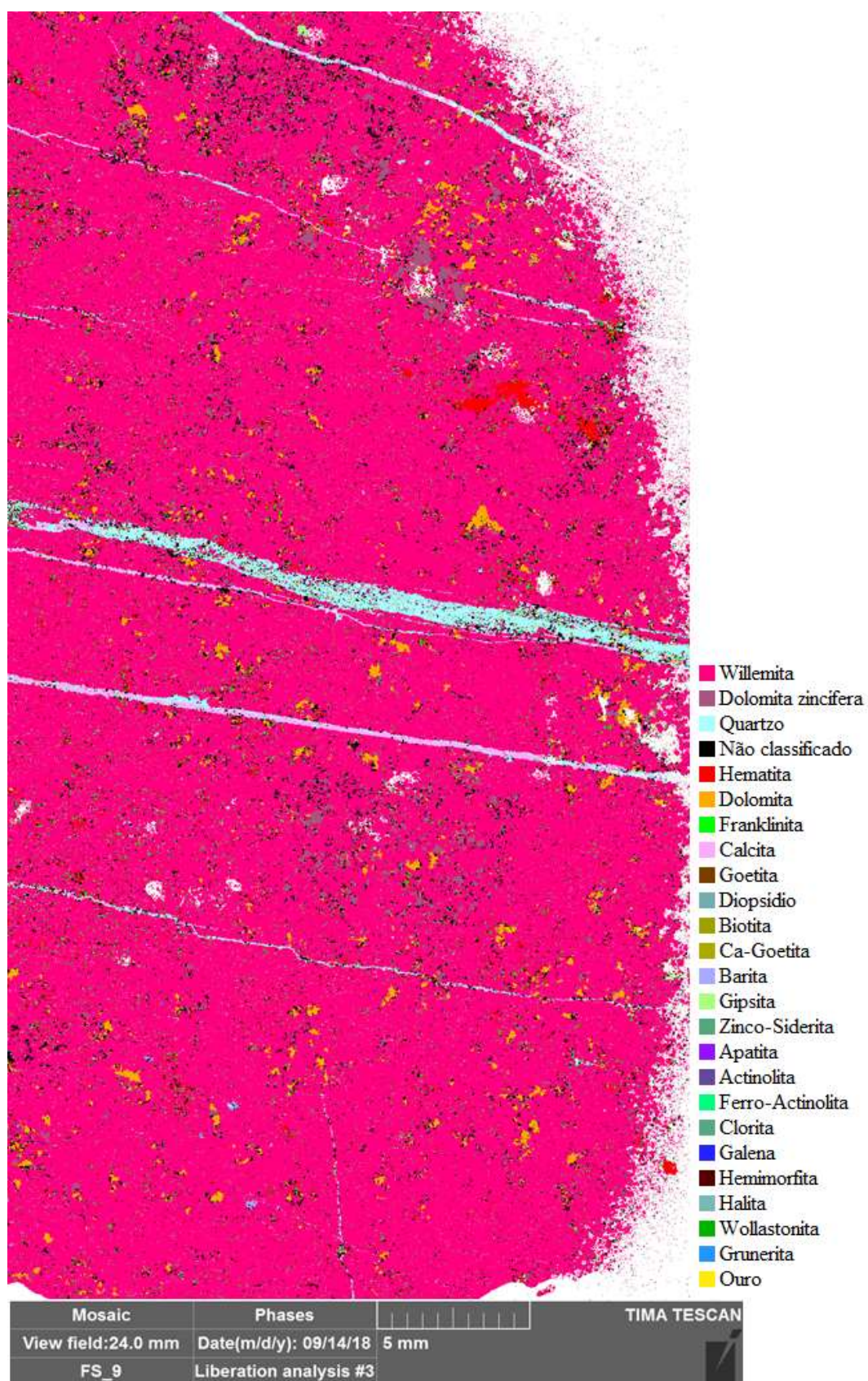
### 4.3.2 Brecha willemítica

A Figura 4.11 exibe grande participação da willemita na composição modal das amostras FS1, FS2, FS10, FS9 e CL01 classificadas como brecha willemítica. Presença de dolomita e hematita como minerais principais. Vale destacar que neste litotipo foi descrito a maior quantidade de franklinita entre todas as unidades estudadas, sendo este o mais frequente dos minerais acessórios deste litotipo seguido do quartzo (Figura 4.12).



**Figura 4.11** - Resultado da análise do sistema TIMA-MIRA da amostra CL01. Brecha willemítica do corpo Lumiadeira.





**Figura 4.12** - Resultado da análise do sistema TIMA-MIRA da amostra FS9. Amostra de brecha willemítica do corpo Sucuri.

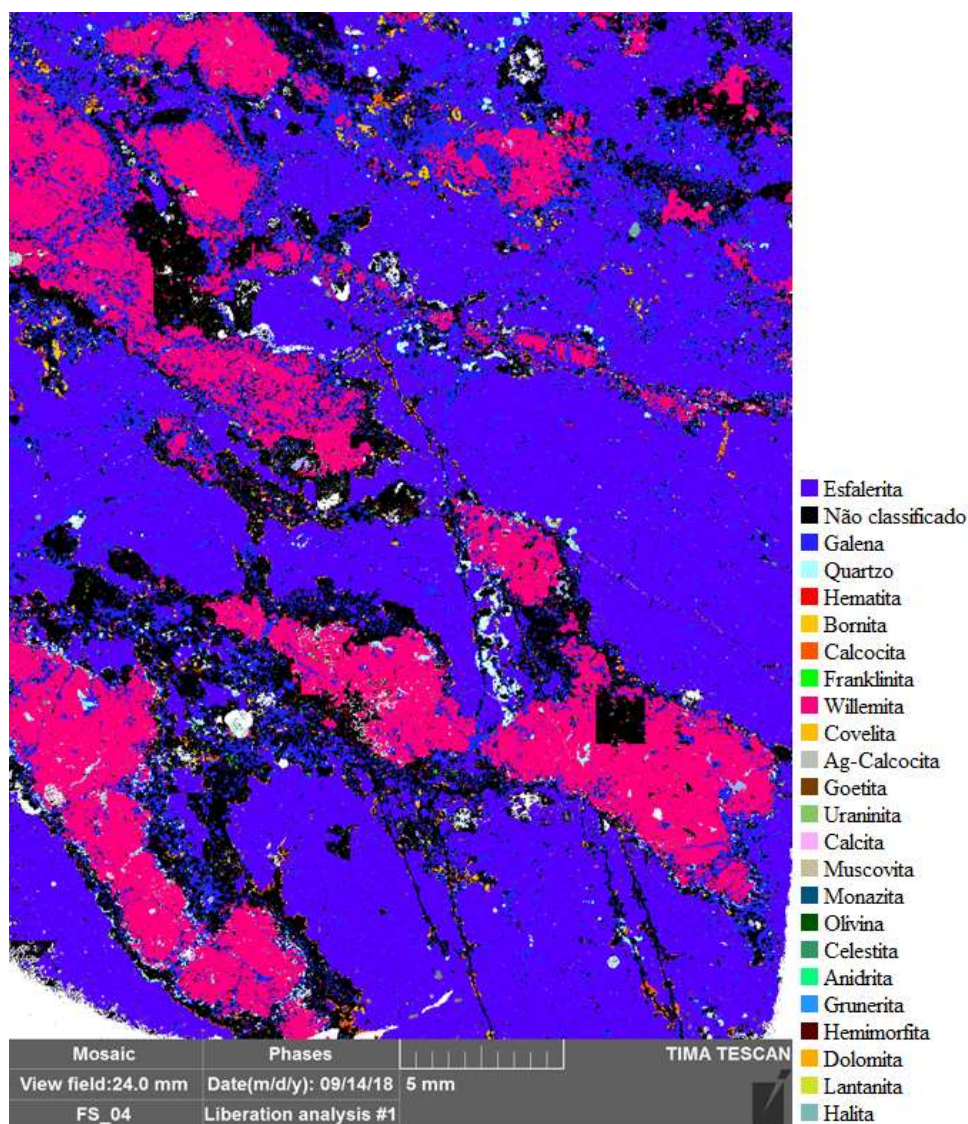


### 4.3.3 Brecha hematítica

Dolomita, quartzo e willemita ocorrem como minerais principais na amostra CL02 classificada como brecha hematítica. A hematita acompanha veios preenchidos por dolomita e willemita.

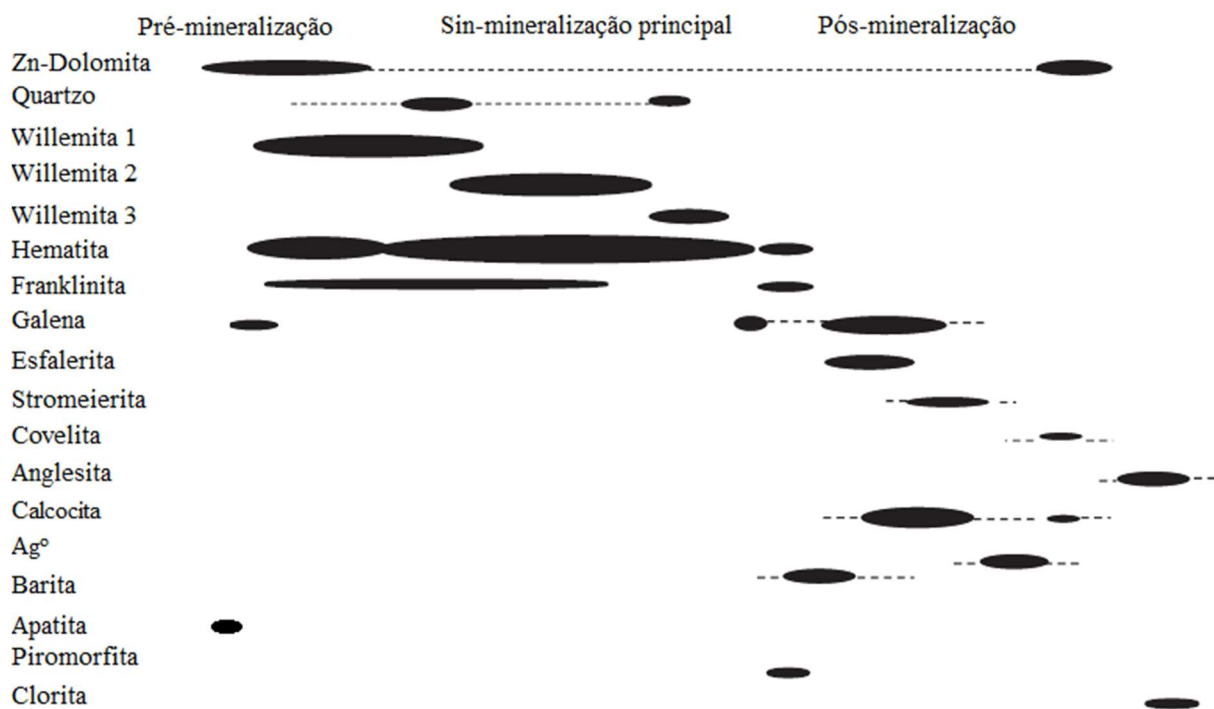
### 4.3.4 Brecha esfalerítica

Contribuição de willemita, dolomita e quartzo microcristalino preenchendo fraturas na amostra FS4 classificada como brecha esfalerítica. Ocorrências de calcocita associada a galena, franklinita e covelita como minerais acessórios, conforme Figura 4.13.



**Figura 4.13** - Resultado da análise do sistema TIMA-MIRA da amostra FS4. Brecha esfalerítica do corpo Lumiadeira.

A dolomita zincífera ocorre em brechas dolomíticas, foram descritos veios preenchidos por willemita substituindo a dolomita e ocorrem em fase anterior à mineralização zincífera. A willemita substitui a dolomita com inserção de hematita associada a franklinita numa fase de mineralização. O quartzo tem maiores ocorrências nas fases pré e pós-mineralização. As caracterizações mineralógicas das brechas, descritas nas amostras dos corpos Lumiadeira e Sucuri do DZV, corroboram Slezak *et al.* (2014) que interpretaram baseados em trabalhos de campo e relações texturais, a sequência paragenética das brechas da mina de Vazante (Figura 4.14):



**Figura 4.14** – Sequência paragenética da zona mineralizada de zinco silicatado nos corpos mineralizados do Distrito Zincífero de Vazante (Slezak *et al.* 2014).

- Etapa pré-mineralização: brechação com precipitação de dolomita ferífera nas rochas carbonáticas da Formação Serra do Poço Verde.
- Etapa sin-mineralização: formação da brecha hematítica e willemítica, com múltiplas ocorrências de willemita, hematita, franklinita, dolomitos zincíferos e feríferos preenchendo e substituindo fraturas nas rochas carbonáticas.
- Etapa pós-mineralização principal: ocorrência de veios sulfetados ricos em Pb e Ag cortam os minerais formados na etapa anterior.



## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES

---

O trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar os minerais de minério e de ganga dos litotipos mineralizados da Mina de Vazante (corpos Lumiadeira e Sucuri) por meio da utilização de descrição sob microscopia ótica, MEV e o sistema TIMA-MIRA. Com esse fim foram estudadas 7 amostras da brecha dolomítica, 3 amostras da brecha hematítica e 4 amostras da brecha willemítica.

O Distrito Zincífero de Vazante caracteriza-se por ser silicatado, rico em dolomita e minerais carbonáticos. A willemita, a esfalerita e a franklinita são os principais minerais minério de zinco observados nas amostras estudadas.

As brechas dolomíticas estudadas são caracterizadas, em média, por cerca de 45% da composição mineralógica modal de dolomita seguido da willemita e quartzo, com 30% e 10% respectivamente. A franklinita aparece como um dos principais minerais acessórios, com ocorrências de esfalerita e calcocita. Segundo Monteiro (2002), ocorrem veios subparalelos a um bandamento original ou segundos planos de cisalhamento e fraturas de extensão, também observado nas amostras descritas deste litotipo. Os veios são preenchidos por dolomita e hematita e acompanham mineralização willemítica, sendo constantemente brechados ou cortados por outros veios

A brecha hematítica com dolomita, willemita e quartzo compoendo os minerais principais junto da hematita. Há ocorrência de galena e calcocita como minerais acessórios incluindo covelita e franklinita mais raros. A associação e o arranjo textural entre esfalerita, galena, franklinita e quartzo com a willemita nas amostras descritas nas amostras da brecha hematítica corrobora a descrição de Monteiro (2002) que diz que, pontualmente, a galena protege a esfalerita de sua total transformação.

A brecha willemítica possui participação de mais de 40% da willemita na composição modal das amostras da brecha willemítica. Presença de dolomita, com cerca de 30% e da hematita com mais de 10% de ocorrência. Vale destacar que neste litotipo foi descrito a maior quantidade de franklinita entre todas as unidades estudadas, sendo este o mais frequente dos minerais secundários deste litotipo seguido do quartzo. A willemita ocorrendo como cristais grossos fibrorradiados associados a dolomita e quartzo, descritas nas amostras de brecha willemítica, sustenta o fato de que a brecha ou mineralização willemítica ocorre como bolsões tectonicamente imbricados em dolomitos brechados (Monteiro 2002).

A willemita possui diferentes características ópticas durante as etapas de mineralização do DZV, entretanto sua composição química pouco varia. Há ocorrência de willemita com formato de bastão substituindo dolomita e quartzo nas brechas dolomíticas, esta característica é típica do litotipo que foi formado na etapa pré-mineralização, concordante com o proposto por Slezak *et al.* (2014).

A variação mineralógica entre as brechas descritas nos litotipos dos dois corpos mineralizados é coincidente com a paragênese mineral apresentada por Slezak *et al.* (2014) A dolomita zincífera ocorre em brechas dolomíticas, foram descritos veios preenchidos por willemita substituindo a dolomita e ocorrem em fase anterior à mineralização zincífera. A willemita substitui a dolomita com inserção de hematita associada a franklinita numa fase de singenética à mineralização. O quartzo tem maiores ocorrências nas fases pré e pós-mineralização de zinco.

Maior quantidade de willemita e dolomita em amostras descritas do corpo Sucuri, composto por brechas dolomíticas e willemíticas. Nas amostras do corpo Lumiadeira são descritas maiores contribuições de hematita, franklinita e quartzo em associação com willemita e dolomita, entre as brechas hematítica, willemítica, dolomítica e esfalerítica descritas.

As análises de mineralogia automatizada foram bastante eficientes na caracterização das amostras estudadas. Além do curto tempo para serem geradas, apresentam uma precisão muito maior e permitiram a identificação de fases minerais não observadas ao microscópio óptico.

Este trabalho foi feito com amostras pontuais, sugere-se trabalhos sistemáticos das variações mineralógicas dos litotipos e consequente estudo das implicações nas fases de beneficiamento mineral.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Almeida, F. F. M.; Hasui, Y. e Fuck, R. A. 1981, *Províncias Estruturais Brasileiras*. Ciências da Terra, **17**: 1-29.
- Appold, M.S. & Monteiro, L.V.S. 2009. *Modelagem numérica de silicato de zinco hidrotermal e mineralização de sulfetos no depósito de Vazante, no Brasil*. Fluidos hidrotermais, **9**, 96–115.
- Babinski, M.; Monteiro, L.V.S.; Getter, A.H.; Bettencourt, J.S.; Oliveira, T.F. *Geoquímica dos isótopos dos diques máficos do depósito de zinco não-sulfetados de Vazante, no Brasil*. J. S. Am. Ciências da Terra. 2005, **18**, 293–304.
- Baia, F.H. *Brechas Hidrotermais da Mina do Cercado e das Ocorrências Olho D'água, Mata II e Pamplona: Implicações Metalogenéticas e Prospectivas Para Zinco na Região de Vazante, MG*. Tese de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil, 2013.
- Brito Neves B.B., Neto, M C. C., & Fuck R. A. 1999. *De Rodínia ao Gondwana Ocidental: Uma abordagem para o ciclo Brasileiro-Pan Africano e colagem orogênica*. Capítulo **22**: 155-166.
- Carvalho, I.A.K.; Olivo, G.R.; Moura, M.A.; Oliveira, G.D. *Evolução do Fluido na Parte Sul do Grupo Vazante: Implicações para Exploração de Depósitos de Metal Base*. Geologia de minério. Rev. 2017, **91**, 588–611.
- Companhia Mineira de Metais (1987) *Planta Geológica do Nível 500, Lavra Subterrânea, Vazante, CMM (VZ-0705; Escala 1:200)*
- Dardenne M. A., Freitas-Silva F. H., Souza J. C. F., Campos J. E. G. 1998. *Evolução tectonossedimentar do Grupo Vazante no contexto da Faixa de Dobramentos Brasília*. In: SBG, XXXX Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, Resumos, p. 26.
- Dardenne M.A. 2000. *O Cinturão de Dobras Brasília*. In: U.G. Cordani, E. G. Milani, A. Thomaz Filho e D.A. Campos (eds.), *Evolução tectônica da América do Sul*, p. 231-263.
- Dardenne M.A.; Schobbenhaus C.S., 2001. *Metalogênese do Brasil. Brasília*. UnB/CNPq. 392 p.
- Dardenne, M. A. 1974. *Geologia da região de Vazante, Minas Gerais, Brasil*. In: SGB, XXVIII. Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, Resumos, p.182-185.
- Fernandes, N.; Olivo, G.R.; Layton-Matthews, D.; Oliveira, G.D. *Metal-enriched pelitic units in the Proterozoic sediment-hosted Vazante Zn district, Minas Gerais, Brazil: Sources of base-metals for the carbonate-hosted deposits* – In: Proceedings of the 14th Biennial SGA Meeting of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits, Quebec, QC, Canada, 20–23 Agosto 2017; p. 3.
- Fuck R. A. 1994. *A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins*. In: SBG, 4° Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, Brasília, Anais, **4**: 184-187.
- Fuck, R. A.; Pimentel, M.M.; Alvarenga, C.J.; Dantas, E.L. 1993. *The Northern Brasília Belt. In São Francisco Craton, Eastern Brazil: Tectonic Genealogy of a Miniature Continent*; Heilbron, M., Cordani, U.G., Alkmim, F.F., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2017; pp. 205–220.
- Heineck, C.A.; Vieira, V.S.; Drumong, J.B.V.; Leite, C.A.L.; Lacerda Filho, J.V.; Valente, C.R., Souza, J.D.; Lopes, R.C.; Malouf, R.F.; Oliveira, I.W.B.; Sachs, L.L.B.; Paes, V.J.C.; Junqueira, P.A. 2004. *Folha SE.23-Belo Horizonte*. In: Schobbenhaus, C., Gonçalves, J.H., Santos, J.O.S., Abram, M.B., Leão Neto, R., Matos, G.M.M., Vidotti, R.M., Ramos, M.A.B., Jesus, J.D.A. de (eds.). *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Programa Geologia do Brasil – PGB*. CPRM, Brasília. CD-ROM.
- Hitzman, M.W.; Reynolds, N.A.; Sangster, D.F.; Allen, C.R.; Carman, C.E. *Classification, genesis, and exploration guides for non-sulfide zinc deposits*. Geologia Econômica. 2003, **98**, 685–714.
- McGladrey, A.; Olivo, G.; Silva, A.M.; Oliveira, G.D.; Botura Neto, B.; Perrouty, S. *The Integration of Physical Rock Properties, Mineralogy and Geochemistry for the Exploration of Large Zinc Silicate Deposits: A Case Study of the Vazante Zinc Deposits*, Minas Gerais, Brasil. J. Geofísica aplicada. 2017, **136**, 400–416.

- Monteiro, J.V.S.; Bettencourt, J.S.; Spiro, B.; Graça, R.; Oliveira, T.F. *The Vazante zinc mine, Minas Gerais, Brazil: Constraints on willemite mineralization and fluid evolution*. *Exploração mineral*. 1999, **8**, 21–42.
- Monteiro, L. V. S. Estudo Metalogenético das Mineralizações de Zinco e Chumbo dos Depósitos de Vazante, Ambrósia e Fagundes, Faixa Vazante – Paracatu, Minas Gerais. Tese de Doutorado, USP. 317p.
- Monteiro, L.V.S.; Bettencourt, J.S.; Juliani, C.; Oliveira, T.F. *Geology, petrography, and mineral chemistry of the Vazante non-sulfide and Ambrosia and Fagundes sulfide rich carbonate-hosted Zn–(Pb) deposits*, Minas Gerais, Brasil. *Geologia de minério. Rev.* 2006, **28**, 201–234.
- Monteiro, L.V.S.; Bettencourt, J.S.; Juliani, C.; Oliveira, T.F. *Non-sulfide and sulfide rich zinc mineralization in the Vazante, Ambrosia and Fagundes deposits, Minas Gerais, Brazil: Mass balance and stable isotope characteristics of the hydrothermal alterations*. *Pesquisa Gondwana*. 2007, **11**, 362–381.
- Neves L. P. 2011. *Características descritivas e genéticas do depósito de Zn-Pb Morro Agudo, Grupo Vazante*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, DF. 311p.
- Oliveira, G. D. 2013. *Reconstrução paleoambiental e quimioestratigrafia dos carbonatos hospedeiros do depósito de zinco silicatado de Vazante, MG*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, DF. 280p.
- Olivo, G. R.; Monteiro, L. V. S.; Baia F.; Slezak, P.; Carvalho, I.; Fernandes, N.; Oliveira, G. D.; Neto, B. B.; McGladrey, A.; Silva, A. M.; Moura, M. A.; Layton-Matthews, D. *The Proterozoic Vazante Hypogene Zinc Silicate District, Minas Gerais, Brazil: A Review of the Ore System Applied to Mineral Exploration*. *Geologia de Minério, Kingston, Canadá*, 17p.
- Pimentel, M. M.; Rodrigues, J. B.; DellaGiustina, M. E. S; Junges, S; Matteini M. e Armstrong R. 2011. *The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS UePb sedimentary provenance data: A review*. *Journal of South American Earth Sciences* 31, p. 345 a 357.
- Pimentel, M.M.; Dardenne, M.A.; Fuck, R.A.; Viana, M.G.; Junges, S.L.; Fischel, D.P.; Seer, H.J.; Dantas, E.L. *Nd isotopes of the provenance of detrital sediments of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil*. *J. S. Am. Ciências da Terra*. 2001, **14**, 571–585.
- Pinho J. M. M., Dardenne M. A., Rigobello A. E. 1990. *Caracterização da movimentação transcorrente da Falha de Vazante, Vazante, MG* In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Natal, 1990, Anais Natal, SBG, v 5, p. 2284-2295
- Pinho, J. M. M. 1990. *Evolução Tectônica da mineralização de zinco de Vazante, Brasília*. Dissertação de Mestrado, UnB. 115p.
- Rodrigues, J.B., Pimentel, M.M., Buhn B., Matteini M., Dardenne, M.A. Alvarenga, C.J.S. & Armstrong. R.A. (2012) - *Provenance of the Vazante Group: New U–Pb, Sm–Nd, Lu–Hf isotopic data and implications for the tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt*. *Pesquisa Gondwana* **21**. 439–450.
- Rostirolla, S.P.; Mancini, F.; Reis Neto, J.M.; Figueira, E.G., 2002, Análise estrutural da mina de Vazante e Adjacências: Geometria, Cinemática e Implicações para a hidrogeologia. *Revista Brasileira de Geociências*, **32(1)**:59-68.
- Signorelli, N., Pinho, J. M. M., Tuller., M. P., Baptista, M. C., Brito, D. C. 2014a. *Folha Lagamar SE.23-Y-A-III: estado de Minas Gerais, escala 1:100.000*. Belo Horizonte: CPRM. Projeto Vazante-Paracatu. Programa Geologia do Brasil.
- Slezak P.; Olivo, G. R.; Oliveira, G. D.; Dardenne, M. A. *Geology, mineralogy, and geochemistry of the Vazante Northern Extension zinc silicate deposit, Minas Gerais, Brazil*. *Geologia de minério, S.N.T.*, n. 56, p. 234 – 257, 2014.
- Slezak, P. R. 2012. *Geology, Mineralogy and Geochemistry of the Vazante Northern Extension Zinc Silicate Deposit, Minas Gerais, Brazil*. Dissertação de Mestrado. Queen's University, Kingston, Canada. 116p.
- Souza, C. F. 1997. *Litoestratigrafia e sedimentologia da Formação Vazante na região de Coromandel – MG*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 76p.
- Valente, C.R.; Lacerda Filho, J.F.; Rizzotto, G.J.; Lopes, R.C.; Romanini, S.J.; Oliveira, I.W.B.; Sachs, L.L.B; Silva, V.A.; Batista, I.H.; 2004. *Folha SE.22-Goiânia*. In: Schobbenhaus, C., Gonçalves, J.H., Santos, J.O.S., Abram, M.B., Leão Neto, R., Matos, G.M.M., Vidotti, R.M., Ramos, M.A.B., Jesus, J.D.A. de (eds.). *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo*, Programa Geologia do Brasil – PGB. CPRM, Brasília. CD-ROM.

Valeriano C. M., Pimentel M. M., Heilbron M., Almeida J. C. H., Trouw R. A. J. 2008. *Tectonic evolution of the Brasília Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana*. Geological Society, London, Special Publications 2008; v.284; p.197-210.

Valeriano C.M., Machado N., Simonetti A., Valladares C.S., Seer H.J., Simões L.S.A. (2004a). *U-Pb geochronology of the southern Brasilia belt (SE-Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West- Gondwana*. Pesquisa pré-cambriana 130, (1-4): 27-55.

Valeriano C.M., Dardenne M.A., Fonseca M.A., Simões L.S.A., Seer, H.J. 2004b. *A Evolução Tectônica da Faixa Brasília*. In: V. Mantesso Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito Neves (eds), *Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, São Paulo, p. 575-592.





**APÊNDICE I**  
**DESCRIÇÕES MICROSCÓPICAS (MICROSCÓPIO ÓPTICO)**

---





## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – TCC

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE MINÉRIO DA MINA DE ZINCO DE VAZANTE, MG

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FS1

Descrição: Rodrigo Dornelas

Empresa: Nexa Resources

Furo: GP 507 P9275 S F13 (Corpo Lumiadeira)

Profundidade: 183,28 - 183,35 m

### Descrição Macroscópica da Lâmina

Brecha willemítica com veios preenchidos por dolomita e hematita frequentemente cortados por outros veios ou intensamente brechados acompanhando a mineralização willemítica.

### Descrição Microscópica

#### Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Willemita (30%), Quartzo (25%), Dolomita (20%), Hematita (10%)

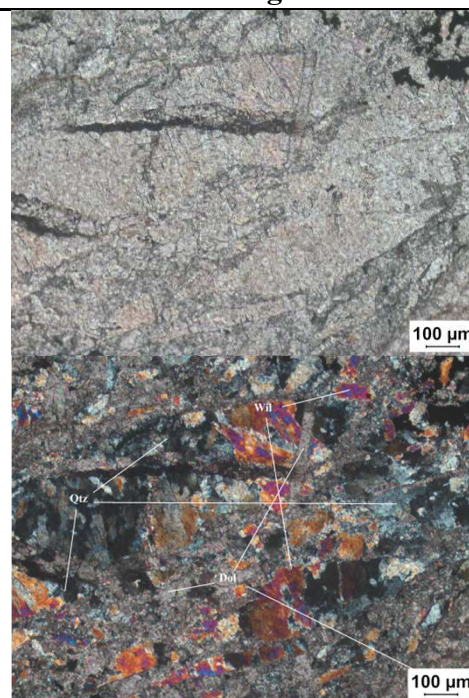
Minerais Acessórios: Calcocita (5%), Esfalerita (5%), Franklinita (5%)

Processos de Alteração: Fraturamento e brechação

### Descrição Microscópica da Lâmina

A willemita aparece disseminada e substituída por dolomita. Em fraturas, a willemita associada a dolomita e quartzo, com cor de interferência de alta ordem. Grãos de quartzo apresentam-se muito fraturados, os maiores são de quartzo microcristalino (17%). O quartzo aparece também preenchendo fraturas com cor de interferência. Dolomita cinza/rosa com cor de interferência alta (cinza ou amarelo até cores de terceira ordem) de textura fina aparecendo nas bordas dos grãos de esfalerita principalmente. A dolomita também preenche fraturas substituindo grãos maiores de willemita. A hematita apresenta-se com grãos maiores que 2,5 mm, bastante fraturadas, por vezes associada a dolomita quando disseminado nas fraturas. A maior parte da franklinita está dispersa na dolomita em grãos de cerca de 0,05 mm ao redor dos grãos de hematita, substituindo partes da hematita, ocorrendo em granulação menor quando dispersa na dolomita.

### Fotomicrografias



**Nome da rocha: Brecha willemítica**

Luz transmitida a) Plano-Polarizada (LPP)  
e b) Polarizada Cruzada (LPC)



## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – TCC

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE MINÉRIO DA MINA DE ZINCO DE VAZANTE, MG

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FS2

Descrição: Rodrigo Dornelas

Empresa: Nexa Resources

Furo: GP 507 P9275 S F13 (Corpo Lumiadeira)

Profundidade: 183,60 - 183,70 m

### Descrição Macroscópica da Lâmina

Brecha com veios de dolomita. Dolomita apresenta grãos maiores de willemita em seu meio. Hematita associada a dolomita em veios, onde sua presença é maior.

### Descrição Microscópica

#### Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Willemita (40%), Dolomita (25%), Hematita (20%)

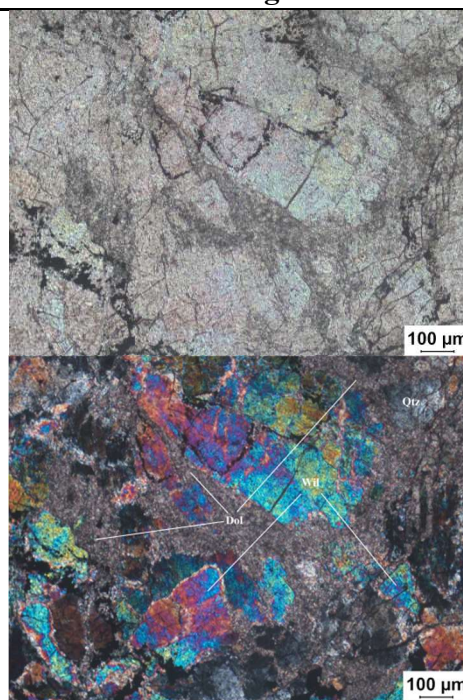
Minerais Acessórios: Quartzo (5%), Franklinita (5%), Calcocita (5%), Esfalerita (<1%)

Processos de Alteração: Fraturamento e brechação

#### Descrição Microscópica da Lâmina

A willemita apresenta-se em cristais de até 5,5mm, parcialmente substituída por dolomita e bastante fraturados, variando sua granulação de 1 a 1,5 mm. Textura de ‘quebra-cabeças’, onde os grãos parecem se encaixar. Em alguns grãos maiores de willemita, a cor de interferência ultrapassa a borda dos grãos. A willemita é presente em fraturas com menor granulação e associada com quartzo. A dolomita apresenta-se principalmente em fraturas substituindo a willemita e a hematita. A hematita e a calcocita aparece bastante fraturadas e em pequenas vênulas (textura esqueletiforme) associada a dolomita. O quartzo preenche fraturas associado a willemita com menor granulação. A franklinita está dispersa na dolomita, aglomerando-se em grãos de hematita dissolvidos.

#### Fotomicrografias



**Nome da rocha: Brecha willemítica**

Luz transmitida a) Plano-Polarizada (LPP) e b) Polarizada Cruzada (LPC)



## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – TCC

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE MINÉRIO DA MINA DE ZINCO DE VAZANTE, MG

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FS3

Descrição: Rodrigo Dornelas

Empresa: Nexa Resources

Furo: GP 507 P9275 S F13 (Corpo Lumiadeira)

Profundidade: 201,10 - 201,22 m

### Descrição Macroscópica da Lâmina

Brecha dolomítica com presença de quartzo microcristalino e dolomita preenchendo fraturas encontradas associada a hematita. A hematita disseminada e alterada.

### Descrição Microscópica

#### Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Dolomita (50%), Willemita (20%), Quartzo (17%), Franklinita (7%)

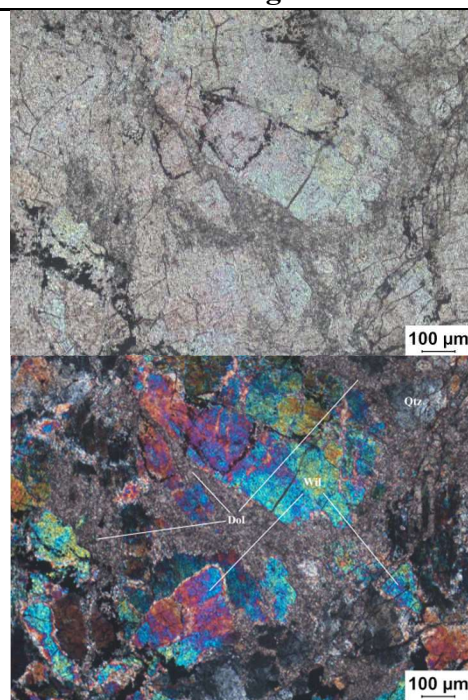
Minerais Acessórios: Hematita (3%), Esfalerita (3%), Calcocita (<1%)

Processos de Alteração: Fraturamento e brechação

#### Descrição Microscópica da Lâmina

A dolomita preenchendo fraturas com coloração marrom claro e clivagem romboédrica. A hematita está alterada e dissolvida. A willemita apresenta-se moderadamente selecionada e grãos dissolvidos. Há dolomita bordejada por willemita, enquanto que os grãos maiores de willemita são quase sempre circundados por hematita. Em sua maior parte, o quartzo apresenta-se microcristalino. Um clasto de cerca de 50 mm apresenta inclusões hematita. A franklinita substituiu a hematita, aparecendo disseminada em grãos finos.

#### Fotomicrografias



**Nome da rocha: Brecha dolomítica**

Luz transmitida a) Plano-Polarizada (LPP) e b) Polarizada Cruzada (LPC)





## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – TCC

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE MINÉRIO DA MINA DE ZINCO DE VAZANTE, MG

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FS4

Descrição: Rodrigo Dornelas

Empresa: Nexa Resources

Furo: GP 507 P9875 S F10 (Corpo Lumiadeira)

Profundidade: 162,80 - 162,95 m

### Descrição Macroscópica da Lâmina

Brecha com contribuição de esfalerita, quartzo e galena em meio a willemita. Fraturas finas preenchidas por willemita e quartzo.

### Descrição Microscópica

#### Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Esfalerita (40%), Galena (15%) Quartzo (10%), Willemita (10%), Dolomita (10%), Hematita (10%)

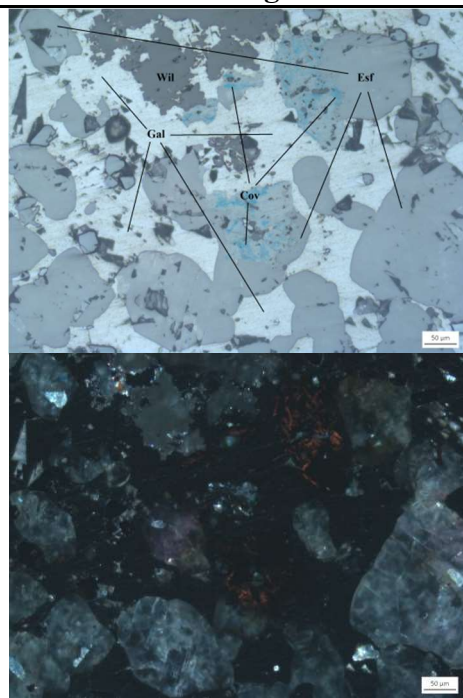
Minerais Acessórios: Calcocita (3%), Covelita (<1%), Franklinita (<1%)

Processos de Alteração: Fraturamento e brechação

#### Descrição Microscópica da Lâmina

A willemita apresenta alguns cristais de cerca de 10 mm, pouco alterados na presença de hematita, apresentando granulação menor quando disseminado na dolomita. A willemita apresenta-se mais alongada. Já o quartzo apresenta-se menos alterado e em maior quantidade preenchendo fraturas junto com a willemita. O quartzo bordeja a willemita na presença da esfalerita. A esfalerita encontra-se disseminada associada a willemita. Covelita parece substitui a esfalerita. A esfalerita se apresenta disseminada e bordejando grãos de willemita. A dolomita está em menor quantidade e possui grãos pequenos de willemita em seu interior. Muitos poucos grãos de calcocita que se confundem com os de esfalerita e covelita. A covelita se apresenta associada a esfalerita, mais presente onde há concentração de esfalerita.

#### Fotomicrografias



**Nome da rocha: Brecha esfalerítica**

Luz refletida a) Plano-Polarizada (LPP) e b) Polarizada Cruzada (LPC)





## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – TCC

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE MINÉRIO DA MINA DE ZINCO DE VAZANTE, MG

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FS5

Descrição: Rodrigo Dornelas

Empresa: Nexa Resources

Furo: GP 507 P9875 S F10 (Corpo Lumiadeira)

Profundidade: 165,33 - 165,43 m

### Descrição Macroscópica da Lâmina

Brecha hematítica com franklinita em meio a dolomita. Há fraturamento preenchido por willemita e quartzo.

### Descrição Microscópica

#### Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Hematita (45%), Dolomita (43%), Willemita (8%)

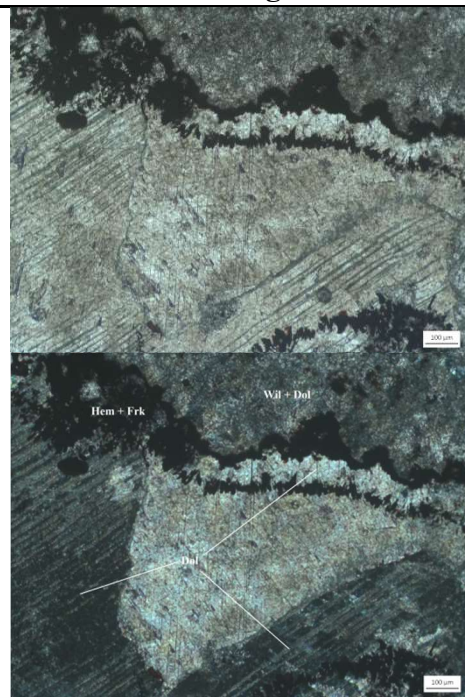
Minerais Acessórios: Quartzo (2%), Franklinita (2%), Calcocita (<1%), Esfalerita (<1%)

Processos de Alteração: Fraturamento e brechação

#### Descrição Microscópica da Lâmina

A dolomita está com clivagem romboédrica e coloração marrom, substituindo grãos de willemita de cerca 5 mm, parece acompanhar a hematita em fraturas. A hematita está disseminada e alterada, acompanhando fraturas, além de bordejar grãos substituídos por dolomita. A willemita apresenta-se em fraturas junto com o quartzo. O quartzo se apresenta principalmente em veios. Os grãos de franklinita ocorrem substituindo a hematita e disseminados.

#### Fotomicrografias



**Nome da rocha: Brecha hematítica**

Luz transmitida a) Plano-Polarizada (LPP) e b) Polarizada Cruzada (LPC)



## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – TCC

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE MINÉRIO DA MINA DE ZINCO DE VAZANTE, MG

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FS6

Descrição: Rodrigo Dornelas

Empresa: Nexa Resources

Furo: GP 507 P9875 S F10 (Corpo Lumiadeira)

Profundidade: 170,80 - 170,95 m

### Descrição Macroscópica da Lâmina

Brecha com dolomita marrom e clivagem romboédrica. Há fraturamento preenchido por willemita e quartzo.

### Descrição Microscópica

#### Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Dolomita (45%), Willemita (25%), Calcocita (15%)

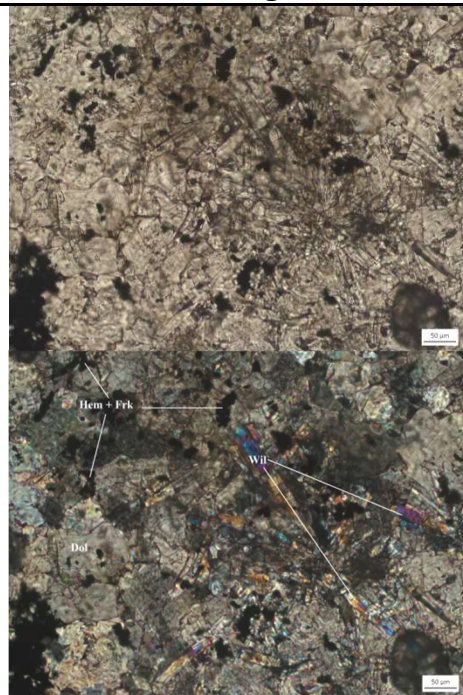
Minerais acessórios: Esfalerita (5%), Galena (5%), Hematita (3%), Quartzo (1%), Franklinita (<1%)

Processos de Alteração: Fraturamento e brechação

#### Descrição Microscópica da Lâmina

A dolomita ocorre em grãos substituídos apresentam-se com clivagem romboédrica, cor de interferência alta (marrom claro), sua parte mais fina contém esfalerita. A willemita contém grãos alterados por dolomita, ocorrem grãos que estão pouco alterados possuindo cor de interferência alta (de terceira ordem), ela se apresenta em cristais euédricos alongados. A calcocita e a hematita aparecem em grãos de cerca de 5 mm, dissolvidos e fraturados, e também associada a esfalerita e galena. A esfalerita aparece em grãos bastante dissolvidos menores que 3 mm.

#### Fotomicrografias



Nome da rocha: Brecha dolomítica

Luz transmitida a) Plano-Polarizada (LPP) e b) Polarizada Cruzada (LPC)



## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – TCC

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE MINÉRIO DA MINA DE ZINCO DE VAZANTE, MG

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FS7

Descrição: Rodrigo Dornelas

Empresa: Nexa Resources

Furo: GP 494 P126755 S F12 (Corpo Sucuri)

Profundidade: 106,10 - 106,25 m

### Descrição Macroscópica da Lâmina

Brecha com dolomita com clivagem romboédrica e coloração marrom com granulação fina dentro de veios associada à hematita acompanhando a mineralização willemítica. Cristais de quartzo pouco deformados. A interação willemita x dolomita é mais evidente:

### Descrição Microscópica

#### Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Dolomita (50%), Willemita (25%), Hematita (15%), Quartzo (10%)

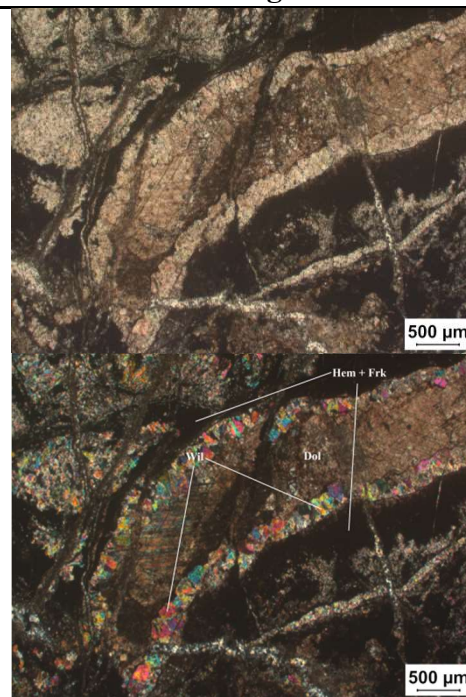
Minerais Acessórios: Franklinita (5%)

Processos de Alteração: Fraturamento e brechação

### Descrição Microscópica da Lâmina

A dolomita ocorre em veios com clivagem romboédrica associada a hematita substituindo e dissolvendo grãos de willemita. A willemita ocorre alterada pela hematita e dolomita. Grãos de willemita de cerca de 8 mm foram alterados. Hematita disseminada apresenta grãos finos e associada a dolomita. O quartzo apresenta-se em canais mais finos, junto com willemita. O contato entre os grãos de quartzo é planar a côncavo-convexo, ocorrendo em porções de no máximo 10 mm. A franklinita ocorre associada a hematita.

### Fotomicrografias



**Nome da rocha: Brecha dolomítica**

Luz transmitida a) Plano-Polarizada (LPP) e b) Polarizada Cruzada (LPC)



## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – TCC

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE MINÉRIO DA MINA DE ZINCO DE VAZANTE, MG

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FS8

Descrição: Rodrigo Dornelas

Empresa: Nexa Resources

Furo: GP 494 P126755 S F12 (Corpo Sucuri)

Profundidade: 108,30 - 108,50 m

### Descrição Macroscópica da Lâmina

Nesta brecha a dolomita está disseminada substituindo a willemita. Veios preenchidos por quartzo em várias direções acompanhados por hematita. Grãos de willemita pouco alterados.

### Descrição Microscópica

#### Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Dolomita (60%), Willemita (20%), Quartzo (10%)

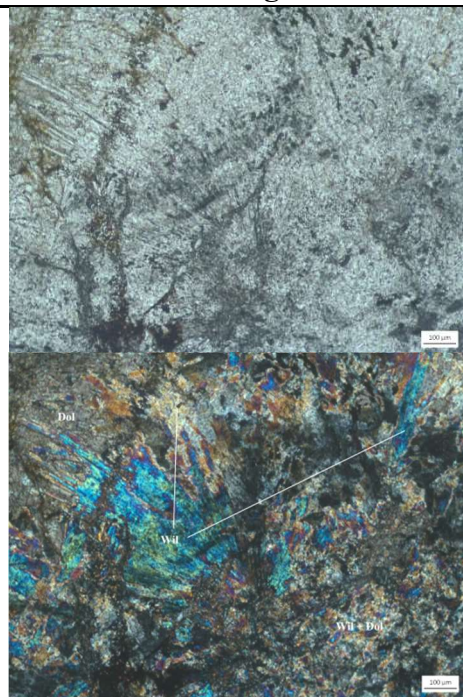
Minerais Acessórios: Hematita (5%), Franklinita (5%), Calcita (<1%)

Processos de Alteração: Fraturamento e brechação

#### Descrição Microscópica da Lâmina

A dolomita está substituindo e dissolvendo willemita. Grãos de willemita substituídos por dolomita. A willemita está alterada pela dolomita. Encontra-se também willemita fina dentro da dolomita. A willemita ocorre com a cor de interferência de alta ordem na associação quartzo + dolomita, aparentemente substituindo grãos de quartzo. Presença maciça de quartzo nas fraturas com grãos bem definidos e contatos planares a côncavo-convexo. Poucos grãos finos de franklinita disseminados, também substituem grãos de hematita.

#### Fotomicrografias



**Nome da rocha: Brecha dolomítica**

Luz transmitida a) Plano-Polarizada (LPP) e b) Polarizada Cruzada (LPC)





## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – TCC

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE MINÉRIO DA MINA DE ZINCO DE VAZANTE, MG

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FS9

Descrição: Rodrigo Dornelas

Empresa: Nexa Resources

Furo: GP 494 P126755 S F12 (Corpo Sucuri)

Profundidade: 118,90 - 119,05 m

### Descrição Macroscópica da Lâmina

Brecha com presença de hematita em associação com franklinita. Willemita alterada para dolomita e hematita. Presença de fraturas preenchidas por quartzo microcristalino acompanhadas por hematita e franklinita.

### Descrição Microscópica

#### Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Willemita (47%), Dolomita (35%), Hematita (10%)

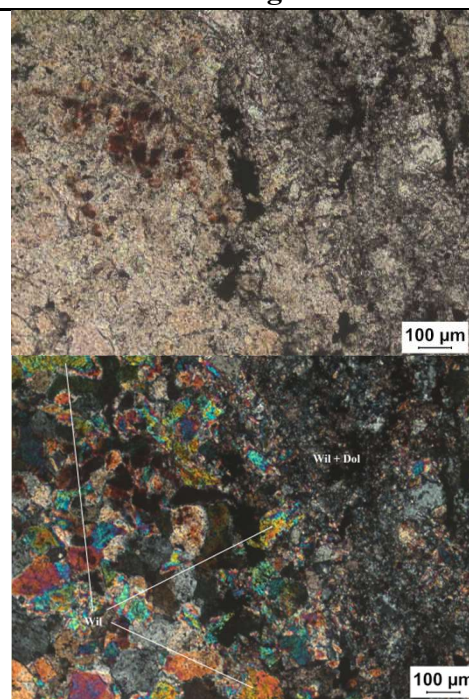
Minerais Acessórios: Quartzo (5%), Franklinita (3%)

Processos de Alteração: Fraturamento e brechação

### Descrição Microscópica da Lâmina

Willemita dissolvida ocorrendo associada ao quartzo com grãos bem selecionados e subangulares entre 0,25 mm e 1 mm. Dolomita bem distribuída com coloração marrom bordejando grãos de willemita. Grãos de dolomita substituem e dissolvem grãos de willemita, além de preencher veios. Hematita pouco disseminada, com grãos muito dissolvidos. Veios com quartzo microcristalino ocorrendo associado a willemita e dolomita em menor quantidade. A franklinita está muito disseminada na lâmina, substituindo grande parte dos grãos de hematita com granulação menor que 0,05mm.

### Fotomicrografias



**Nome da rocha: Brecha willemítica**

Luz transmitida a) Plano-Polarizada (LPP) e b) Polarizada Cruzada (LPC)



## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – TCC

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE MINÉRIO DA MINA DE ZINCO DE VAZANTE, MG

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FS10

Descrição: Rodrigo Dornelas

Empresa: Nexa Resources

Furo: GP 494 P126755 S F12 (Corpo Sucuri)

Profundidade: 121,70 - 121,81 m

### Descrição Macroscópica da Lâmina

Brecha willemítica com hematita associada a franklinita e willemita. Grãos de hematita alterados para franklinita. Grãos de willemita com borda alterada para dolomita.

### Descrição Microscópica

#### Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Willemita (55%), Dolomita (25%), Hematita (10%)

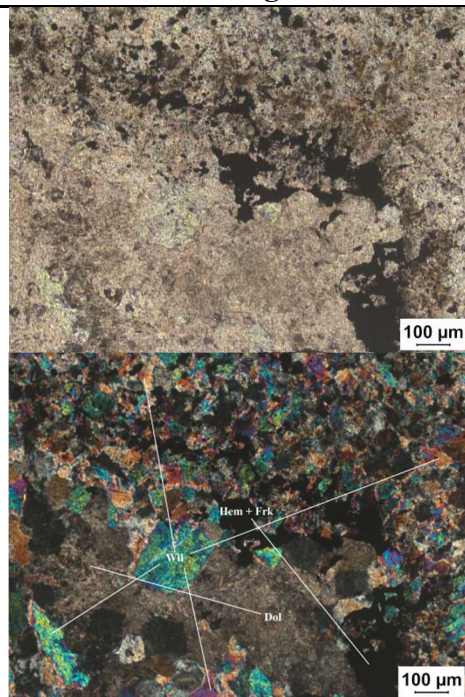
Minerais Acessórios: Quartzo (5%), Franklinita (5%)

Processos de Alteração: Fraturamento e brechação

#### Descrição Microscópica da Lâmina

Grãos finos de willemita alterados pela hematita, preenchendo. A willemita aparece recristalizada, muita interação com hematita. A dolomita aparece pouco disseminada na willemita, principalmente no interior de um veio, substituindo grãos de willemita. A hematita aparece em grãos de cerca de 5 mm, dissolvidos, alguns estirados, também circundando veios com dolomita. O quartzo ocorre em grãos de cerca de 0,02 mm associados a willemita pouco alterada e dolomita. A franklinita ocorre disseminada substituindo grãos de hematita. Quantidade de franklinita é maior na presença de hematita.

#### Fotomicrografias



**Nome da rocha: Brecha willemítica**

Luz transmitida a) Plano-Polarizada (LPP) e b) Polarizada Cruzada (LPC)





## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – TCC

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE MINÉRIO DA MINA DE ZINCO DE VAZANTE, MG

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FS11

Descrição: Rodrigo Dornelas

Empresa: Nexa Resources

Furo: GP 507 P9275 S F12 (Corpo Lumiadeira)

Profundidade: 193,60 - 193,75 m

### Descrição Macroscópica da Lâmina

Brecha dolomítica com veios preenchidos por hematita em associação com franklinita e dolomita. A willemita encontra-se disseminada em cristais grossos fibrorradiados.

### Descrição Microscópica

#### Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Dolomita (60%), Willemita (20%), Hematita (10%)

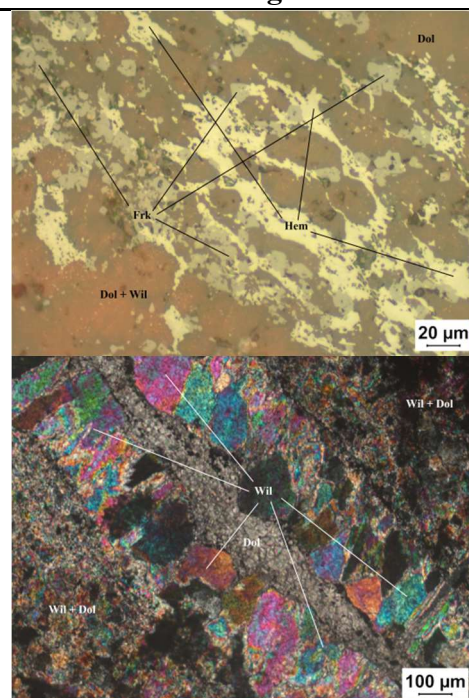
Minerais Acessórios: Quartzo (5%), Franklinita (5%)

Processos de Alteração: Fraturamento e brechação

#### Descrição Microscópica da Lâmina

Dolomita circundando grãos de willemita, substituindo-os ou dissolvendo-os. A willemita está disseminada em grãos finos de granulação de cerca de 0,6 mm, a maior parte está bordejada por dolomita. A willemita também substitui o quartzo. A hematita ocorre preenchendo veios, muito dissolvida e alterada para franklinita. O quartzo aparece substituído por willemita com grãos de cerca de 1 mm. A franklinita está associada a hematita. A franklinita ocorre em grãos finos e bem distribuídos, exceto quando acompanha hematita

#### Fotomicrografias



**Nome da rocha: Brecha dolomítica**

a) Luz refletida Plano-Polarizada (LPP) e b) Luz transmitida Polarizada Cruzada (LPC)



## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – TCC

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE MINÉRIO DA MINA DE ZINCO DE VAZANTE, MG

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: FS12

Descrição: Rodrigo Dornelas

Empresa: Nexa Resources

Furo: GP 494 P126755 S F12 (Corpo Sucuri)

Profundidade: 117,10 - 117,18 m

### Descrição Macroscópica da Lâmina

Brecha willemítica com hematita associada a franklinita. Veios preenchidos por quartzo, porém muito finos. Fraturas contém principalmente hematita e franklinita.

### Descrição Microscópica

#### Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Willemita (42%), Dolomita (28%), Quartzo (15%), Franklinita (10%)

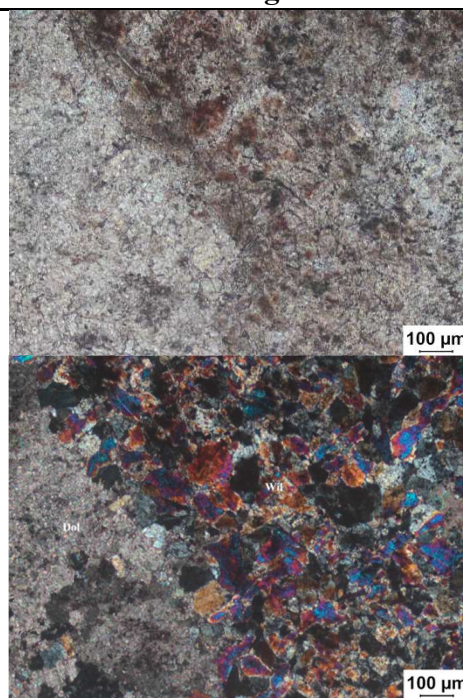
Minerais Acessórios: Hematita (5%)

Processos de Alteração: Fraturamento e brechação

#### Descrição Microscópica da Lâmina

A dolomita ocorre concentrada com clivagem romboédrica e cor de interferência marrom, substituindo bordas dos grãos de willemita. A willemita tem no máximo 0,4 mm, quando na presença de franklinita fica muito fina. A hematita ocorre alterada, fraturada, fina e disseminada, maior parte foi substituído por franklinita. O quartzo ocorre em veios fraturados na forma microcristalina e substituído parcialmente por willemita. Cristais muito finos de franklinita ocorrem disseminados.

#### Fotomicrografias



**Nome da rocha: Brecha willemítica**

Luz transmitida a) Plano-Polarizada (LPP) e b) Polarizada Cruzada (LPC)



## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – TCC

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE MINÉRIO DA MINA DE ZINCO DE VAZANTE, MG

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: CL01

Descrição: Rodrigo Dornelas

Empresa: Nexa Resources

Amostra de frente de lavra (Corpo Lumiadeira)

Nível: 345

### Descrição Macroscópica da Lâmina

A rocha apresenta muita dolomita e hematita preenchendo veios alterando a willemita ao redor das fraturas.

### Descrição Microscópica

#### Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Willemita (45%), Dolomita (30%), Quartzo (15%)

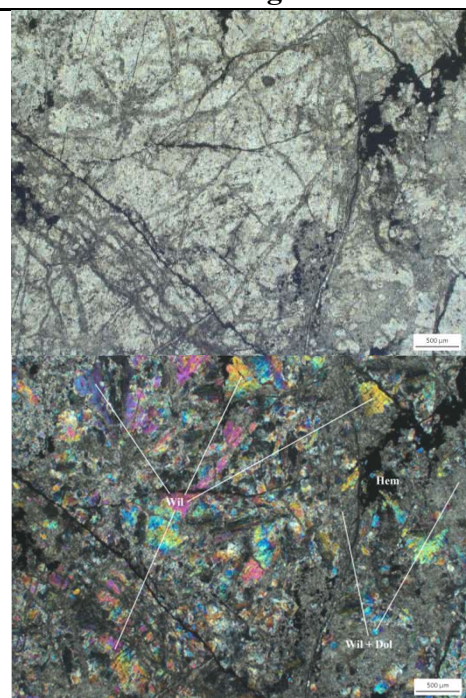
Minerais Acessórios: Hematita (5%), Franklinita (5%), Calcita (<1%)

Processos de Alteração: Fraturamento e brechação

#### Descrição Microscópica da Lâmina

Presença de dolomita preenchendo a maioria das fraturas, substituindo e dissolvendo grãos de willemita com cor de interferência marrom, apresenta clivagem romboédrica. Muitos dos grãos de willemita dissolvidos ou substituídos associados a dolomita, que preenche a maioria das fraturas. A willemita também substitui o quartzo em partes da rocha. Maior parte do quartzo foi substituído por willemita. A hematita está alterada, estirada e dissolvida, ocorre associada a franklinita. A franklinita substitui a hematita e está muito disseminada em grãos finos.

#### Fotomicrografias



**Nome da rocha: Brecha willemítica**

Luz transmitida a) Plano-Polarizada (LPP) e b) Polarizada Cruzada (LPC)



## FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – TCC

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE MINÉRIO DA MINA DE ZINCO DE VAZANTE, MG

Orientador: Edison Tazava

Lâmina: CL02

Descrição: Rodrigo Dornelas

Empresa: Nexa Resources

Amostra de frente de lavra (Corpo Lumiadeira)

Nível: 345

### Descrição Macroscópica da Lâmina

Brecha com willemita menos alterada ocorrendo em veios. Quartzo disseminado em granulação fina.

### Descrição Microscópica

#### Minerais Identificados (ordem decrescente de abundância)

Minerais Essenciais: Hematita (35%), Dolomita (20%), Willemita (15%), Quartzo (15%), Franklinita (15%)

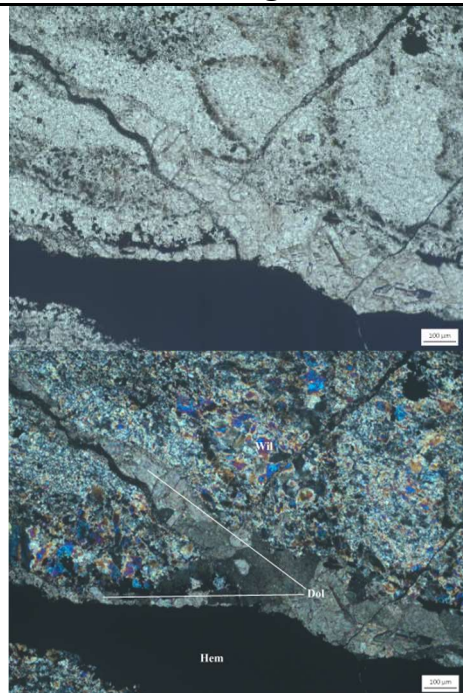
Minerais acessórios: Calcita (<1%), Apatita (<1%)

Processos de Alteração: Fraturamento e brechação

#### Descrição Microscópica da Lâmina

A dolomita aparece pouco disseminada, preenchendo fraturas com cor de interferência marrom a cinza de terceira ordem. A willemita se apresenta muito deformada, substituída por dolomita em alguns veios. Ao substituir quartzo, a willemita fica de granulação maior que a moda. Grãos de willemita com cerca de 1 mm estão associados a opacos e quartzo. Quartzo microcristalino substituído por willemita, alguns grãos estão dissolvidos. A hematita está dissolvida, alterada e fraturada. A franklinita está disseminada na dolomita, willemita e no quartzo.

#### Fotomicrografias



**Nome da rocha: Brecha hematítica**

Luz transmitida a) Plano-Polarizada (LPP) e b) Polarizada Cruzada (LPC)





MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS – DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

## DECLARAÇÃO

---

Declaro que o aluno **RODRIGO MARTINS DORNELAS**, autor do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Caracterização mineralógica de amostras de minério de zinco da Mina de Vazante - MG”, efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.

Ouro Preto, 19 de dezembro de 2018.

Prof. MSc. Edison Tazava.  
Orientador