



**ESTIMATIVA DO ESTADO DE SULFETAÇÃO POR QUÍMICA
MINERAL DA ESFALERITA DO DEPÓSITO POLIMETÁLICO
SANTA MARIA, BACIA DO CAMAQUÃ – RS.**

BRUNO PETRACCO DE MIRANDA

Porto Alegre
2019

BRUNO PETRACCO DE MIRANDA

**ESTIMATIVA DO ESTADO DE SULFETAÇÃO POR QUÍMICA
MINERAL DA ESFALERITA DO DEPÓSITO POLIMETÁLICO
SANTA MARIA, BACIA DO CAMAQUÃ – RS.**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadores: Prof. Dr. André Sampaio Mexias
Prof.^a Dra. Márcia Elisa Boscato Gomes

Porto Alegre
2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **“ESTIMATIVA DO ESTADO DE SULFETAÇÃO POR QUÍMICA MINERAL DA ESFALERITA DO DEPÓSITO POLIMETÁLICO SANTA MARIA, BACIA DO CAMAQUÃ – RS.”** elaborado por **“BRUNO PETRACCO DE MIRANDA”**, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Lauro Valentim S. Nardi

Prof. Dr. Everton Marques Bongioiolo

Prof. Dr. Artur Lemos Giovaninni

Porto Alegre, dezembro de 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann
Vice-Reitora: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias
Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

CIP - Catalogação na Publicação

de Miranda, Bruno Petracco
ESTIMATIVA DO ESTADO DE SULFETAÇÃO POR QUÍMICA
MINERAL DA ESFALERITA DO DEPÓSITO POLIMETÁLICO SANTA
MARIA, BACIA DO CAMAQUÃ - RS. / Bruno Petracco de Miranda. -- 2019.
97 f.
Orientadores: André Sampaio Mexias, Márcia Elisa Boscato Gomes.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências,
Curso de Geologia, Porto Alegre, BR-RS, 2019.

1. Química Mineral. 2. Esfalerita. 3. Depósito Santa Maria. 4.
Depósitos Epitermais. I. Mexias, André
Sampaio, orient. II. Gomes, Márcia Elisa Boscato, orient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

AGRADECIMENTOS

Pai, Mãe, Gi e Mari por todo amor, apoio e incentivo desde sempre. Pedro, Rafa e Nado por toda a preza. À minha família pelos exemplos. Boca pela parceria. Meu muitíssimo obrigado!

Também sou muito grato à UFRGS, a toda comunidade do Instituto de Geociências, aos ótimos professores que tive, em especial ao meu amigo Mexias. Agradeço também ao CAEG, ao *student chapter* da SEG-UFRGS e meus colegas de curso, em especial, Drago, Gabrilene, Vini, Casão, Renan, Laura, Mona, Cassiani, Chong, Cassiani, Camis, Patrão, Jaque, Adri, Will e João. Agradeço também a Suzan e o Ismael pela ajuda neste trabalho.

Obrigado Fontana, Doda e Txélo pelo incentivo desde o pré-cambriano.

Obrigado ao pessoal da Nexa pelas amostras. Obrigado a todos da Anglo com que tive a oportunidade de trabalhar e aprender, em especial, Paulo, Marco, Pedro, Bebeto, Luana, Zé Célio, Bira, Gil, Carlinho, Todinho, Gilsinho, Vevê e Gedeon.

Agradeço também ao pessoal do Poente, Santos Dumont e da 188, ao Moca, Coruja, Pato, Alemão, Léo e Cachaça. E aos meus amigos mineiros: Artur, Mirna, Geleca, Rasga, Nathan e Luciana.

A todos, de verdade, meu muito obrigado!

*É muito tempo,
para tão curto espaço.*

Autor desconhecido.

RESUMO

O depósito Santa Maria (Cu-Zn-Pb) localiza-se no distrito de Minas do Camaquã, a cerca de 3 Km da Mina do Camaquã, sul do município de Caçapava do Sul - RS. As mineralizações da região de Minas do Camaquã estão hospedadas em arenitos e conglomerados da Formação Rincão dos Mouras do Grupo Santa Bárbara – Bacia do Camaquã. Os modelos metalogenéticos propostos para as mineralizações da região de Minas do Camaquã, foram variados e modificados ao longo das últimas décadas. O modelo epitermal é o mais encontrado na literatura recente. Depósitos epitermais são classificados em alta, intermediária ou baixa sulfetação, um espectro contínuo de variações de pH, salinidade e temperatura, entre outras características dos fluidos mineralizantes. A classificação destes depósitos é classicamente feita com base em assembleias minerais características, entretanto tais assembleias nunca foram identificadas com clareza no depósito Santa Maria ou na Mina do Camaquã. Estudos de petrologia experimental realizados desde a década de 1960 demonstraram que o conteúdo molar de FeS na esfalerita, quando associada a pirita ou pirrotita, é função da fugacidade do S e da temperatura dos fluidos hidrotermais, servindo portanto, como uma ferramenta alternativa para a classificação de depósitos epitermais. Este trabalho se propôs a estimar o estado de sulfetação do depósito Santa Maria com base no estudo da química mineral da esfalerita. Foram utilizadas nove amostras de zonas mineralizadas retiradas de testemunhos da sondagem. As amostras foram descritas microscopicamente para identificação das assembleias de alteração, também utilizou-se Difractometria de Raios X para caracterização de algumas espécies secundárias. Quatro amostras foram selecionadas para as análises de Microsonda Eletrônica, foram realizadas mais de 350 análises de química mineral pontual, dois perfis e um mapa composicional. Os resultados obtidos revelaram duas espécies de esfalerita, uma primária precipitada diretamente do fluido hidrotermal (esfalerita I) e uma espécie mais tardia (esfalerita II), formada nas bordas e como micro vênulas dentro dos cristais da espécie primária. A origem da esfalerita II é associada ao enriquecimento em Cu, por ação de fluidos carbonáticos nos cristais da espécie primária. Os valores da porcentagem molar de FeS nos cristais de esfalerita I que ocorrem associados a pirita encontrados, variam entre 0,740% e 0,089%, com uma média em 0,281%. As temperaturas homogeneização de inclusões fluidas encontradas na literatura para as esfaleritas do depósito Santa Maria estão entre 117 e 289°C, com uma média em 210°C. Os resultados de química mineral das espécies de esfalerita obtidos neste trabalho, com as temperaturas de formação encontradas na literatura, sugerem que o depósito Santa Maria é do tipo epitermal de sulfetação intermediária a alta.

Palavras-chave: Química Mineral, Esfalerita, Depósitos Epitermais, Depósito Santa Maria.

ABSTRACT

The Santa Maria deposit (Cu-Zn-Pb) is located in the district of Minas do Camaquã, about 3 Km away from the Camaquã Mine, south of Caçapava do Sul - RS. The mineralizations of the region of Minas do Camaquã are hosted in sandstones and conglomerates of the Rincão dos Mouras Formation of the Santa Bárbara Group - Camaquã Basin. The metallogenic models proposed for mineralizations in the region of Minas do Camaquã have varied and modified over the last decades. The epithermal model is the most recurring model in recent literature. Epithermal deposits are categorized in high, intermediate or low sulfidation, a continuous spectrum of pH, salinity and temperature variations, among other characteristics of ore-forming fluids. The classification of these deposits is historically based on typical mineral assemblages, however such assemblages have never been clearly identified in the Santa Maria deposit or in the Camaquã Mine. Experimental petrology studies conducted since the 1960s have shown that the molar content of FeS in sphalerite, when associated with pyrite or pyrrotite, is a function of the fugacity of S and the temperature of hydrothermal fluids, thus serving as an alternate tool for the classification of epithermal deposits. This work aimed at estimating the sulfidation state of the Santa Maria deposit based on the study of sphalerite mineral chemistry. Nine samples of mineralized zones taken from drill holes were used. Samples were described microscopically for identification of alteration assemblages, and X-ray diffractometry was also used to characterize a few secondary species. Four samples were selected for the microprobe analysis. More than 350 punctual mineral chemistry analyzes, two profiles and a compositional map were performed. The results revealed two species of sphalerite: a primary one, precipitated directly from the hydrothermal fluid (sphalerite I) and a later species (sphalerite II), formed at the edges and as micro venules within the crystals of the primary species. The origin of sphalerite II is associated with Cu enrichment, by the action of carbonate fluids in the crystals of the primary species. The molar percentage values of FeS in the sphalerite I crystals that occur associated with the found pyrite range from 0.740% to 0.089%, with an average of 0.281%. The homogenization temperatures in fluid inclusions found in the literature for the Santa Maria deposit sphalerites are between 117 and 289 ° C, with an average of 210 ° C. The mineral chemistry results of the sphalerite species obtained in this work, along with the formation temperatures found in the literature, suggest that the Santa Maria deposit is an intermediate to high sulfidation epithermal type.

Key-words: Mineral Chemistry, Sphalerite, Epithermal Deposits, Santa Maria Deposit.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	12
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	13
2. OBJETIVOS E METAS.....	15
2.1 OBEJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. JUSTIFICATIVA.....	15
4. ESTADO DA ARTE.....	16
4.1 GEOLOGIA REGIONAL	16
4.1.1 BACIA DO CAMAQUÃ	16
4.1.2 ESTRATIGRAFIA DA ÁREA DE ESTUDO	19
4.1.3 O DEPÓSITO POLIMETÁLICO SANTA MARIA.....	22
4.1.4 GÊNESE DO MINÉRIO	22
4.2 DEPÓSITOS EPITERMAIS	23
4.2.1 DEPÓSITOS ESPITERMAIS DE ALTA SULFETAÇÃO.....	25
4.2.2 DEPÓSITOS EPITERMAIS DE SULFETAÇÃO INTERMEDIÁRIA..	25
4.2.3 DEPÓSITOS EPITERMAIS DE BAIXA SULFETAÇÃO.....	25
4.3 ESTADO DE SULFETAÇÃO E QUÍMICA MINERAL DA ESFALERITA	26
5. METODOLOGIA	29
5.1 AMOSTRAGEM.....	29
5.2 MICROSCOPIA ÓPTICA.....	29
5.3 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X.....	31
5.4 MICROSSONDA ELETRÔNICA	32
6. RESULTADOS.....	35
6.1 PETROGRAFIA	35
6.1.1 ASPECTOS MACROSCÓPICOS	35
6.1.2 PETROGRAFIA MICROSCÓPICA.....	39
6.2 DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	47
6.3 MICROSSONDA ELETRÔNICA	49
6.3.1 CÁLCULO DA FÓRMULA ESTRUTURAL DAS ESFALERITAS.....	58

6.4 ESTIMATIVA DO ESTADO DE SULFETAÇÃO DO DEPÓSITO SANTA MARIA	59
7. DISCUSSÕES.....	61
8. CONCLUSÕES.....	65
9. REFERÊNCIAS	67
APÊNDICE A – Descrições Macroscópicas.....	70
APÊNDICE B - Descrições Microscópicas	74
APÊNDICE C – Difratoogramas de Raios X.....	84
APÊNDICE D – Microsonda Eletrônica.	89

1. INTRODUÇÃO

O depósito polimetálico Santa Maria hospeda mineralizações de Cu, Zn e Pb, além de Au e Ag em quantidades menos expressivas. Localizado na região de Minas do Camaquã, sul do município de Caçapava do Sul (RS), a região já foi importante produtora de cobre, com Au - Ag como subprodutos. O minério foi explorado de forma intermitente ao longo do século XX, através de cavas e galerias na Mina do Camaquã, desativada desde 1996. O depósito Santa Maria foi descoberto na década de 1970 pela Companhia Brasileira de Cobre (CBC). Diversos projetos de pesquisa mineral foram realizados na região do depósito Santa Maria desde sua descoberta, atualmente os recursos do depósito somam 26,04 Mt @ 1,24% de Zn, 1,89% de Pb (CARVALHO, 2016).

As mineralizações de Cu, Zn e Pb do depósito Santa Maria ocorrem como *strings* e disseminadas nos arenitos da formação Rincão dos Mouras do Grupo Santa Bárbara, Bacia do Camaquã (LAUX *et al.*, 2005). Diversos modelos metalogenéticos já foram propostos para as mineralizações da região de Minas do Camaquã, entretanto atualmente é consenso que as mineralizações são de origem hidrotermal (e.g. REMUS *et al.*, 2000; LAUX *et al.*, 2005; RENAC *et al.*, 2014) e as discussões se concentram em caracterizações mais específicas. Este trabalho utiliza-se do modelo epitermal para a mineralização das rochas do depósito Santa Maria.

Os modelos epitermais são classificados em alta, intermediária e baixa sulfetação, um espectro contínuo de variações da pH, temperatura, salinidade e grau de mistura entre fluidos magmáticos e meteóricos em condições favoráveis a mineralização (SIMMONS, WHITE e DAVIS, 2005). As assembleias minerais de depósitos epitermais costumam ser boas ferramentas para a classificação do depósito, no entanto, estas assembleias nunca foram descritas na região de Minas do Camaquã (LAUX *et al.*, 2005).

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Os modelos propostos para a mineralização na região de Minas do Camaquã (Mina do Camaquã e Depósito Santa Maria) foram variados e aperfeiçoados ao longo do tempo. Atualmente, o modelo mais aceito é o hidrotermal/epitermal (e.g. LAUX *et al.*, 2005; RENAC *et al.*, 2014). O modelo epitermal é sustentado por características como o controle estrutural do minério, temperaturas <300°C e baixas salinidades dos fluidos mineralizantes, entre outras características deste tipo de depósito (LAUX *et al.*, 2005). REMUS (1999) já havia demonstrado que o enxofre dos sulfetos da Mina do Camaquã (pirita, calcopirita e bornita) e do Depósito Santa Maria (esfalerita e galena) é de origem magmática e propôs um modelo magmático distal para as mineralizações. Os estudos posteriores, que propuseram o modelo epitermal, concentraram-se na Mina do Camaquã, de modo que o Depósito Santa Maria ainda é uma potencial fonte de informações sobre o sistema hidrotermal que mineralizou as rochas da região de Minas do Camaquã.

A classificação de depósitos epitermais em alta, intermediária ou baixa sulfetação é classicamente feita através da ocorrência de assembléias minerais típicas para cada um dos tipos de depósito. Estas assembléias nunca foram descritas na região de Minas do Camaquã (LAUX *et al.*, 2005). RENAC *et al.* (2014) propuseram um modelo epitermal de baixa sulfetação para a Mina do Camaquã, estes autores apresentam um modelo de evolução isotópica dos fluidos hidrotermais com misturas de água magmática e meteórica. DRIEMEYER (2018) relatou a ocorrência de hinsdalita no Depósito Santa Maria, um mineral do Super Grupo das Alunitas, característico de depósitos epitermais de alta sulfetação.

Trabalhos de petrologia experimental (e.g. BARTON e TOULMIN, 1966 SCOTT e BARNES, 1971; CZAMANSKE, 1974) demonstraram que a proporção molar de Fe na esfalerita é sensível à temperatura e fugacidade do enxofre nos fluidos que a formaram, se em assembleia com pirita ou pirrotita. Portanto, o estudo da química mineral da esfalerita pode servir como uma ferramenta na caracterização de um depósito epitermal nos termos de seu estado de sulfetação. As proporções molares de Fe na esfalerita podem variar entre 40 e 20% para condições de baixa sulfetação, de 20 a 1% para sulfetação intermediária e de 1 a 0,05% para de alta.

Nesse trabalho, foi estudado o minério de zinco do Depósito Santa Maria com a finalidade de testar se essa espécie mineral apresenta variações químicas e petrográficas que possibilitem interpretações a respeito do estado de sulfetação dos fluidos hidrotermais que mineralizaram as rochas do depósito Santa Maria.

1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na porção centro-sul do estado do Rio Grande do Sul, no distrito de Minas do Camaquã, sul do município de Caçapava do Sul (Figura 1). A região está inserida na carta topográfica de Minas do Camaquã, folha SH.22-Y-A-V-3 MI-2996/3. O acesso até a região a partir de Porto Alegre se faz em sentido oeste pela RS-290, percorrendo-se cerca de 200Km, quando então usa-se a RS-392 em sentido sul por cerca de 80Km, até o encontro desta com a RS-153. Segue-se então cerca de 40Km até a RS-625, onde percorre-se mais 30km, em sentido leste, até o distrito de Minas do Camaquã. A exceção da última estrada, todas as demais são pavimentadas.

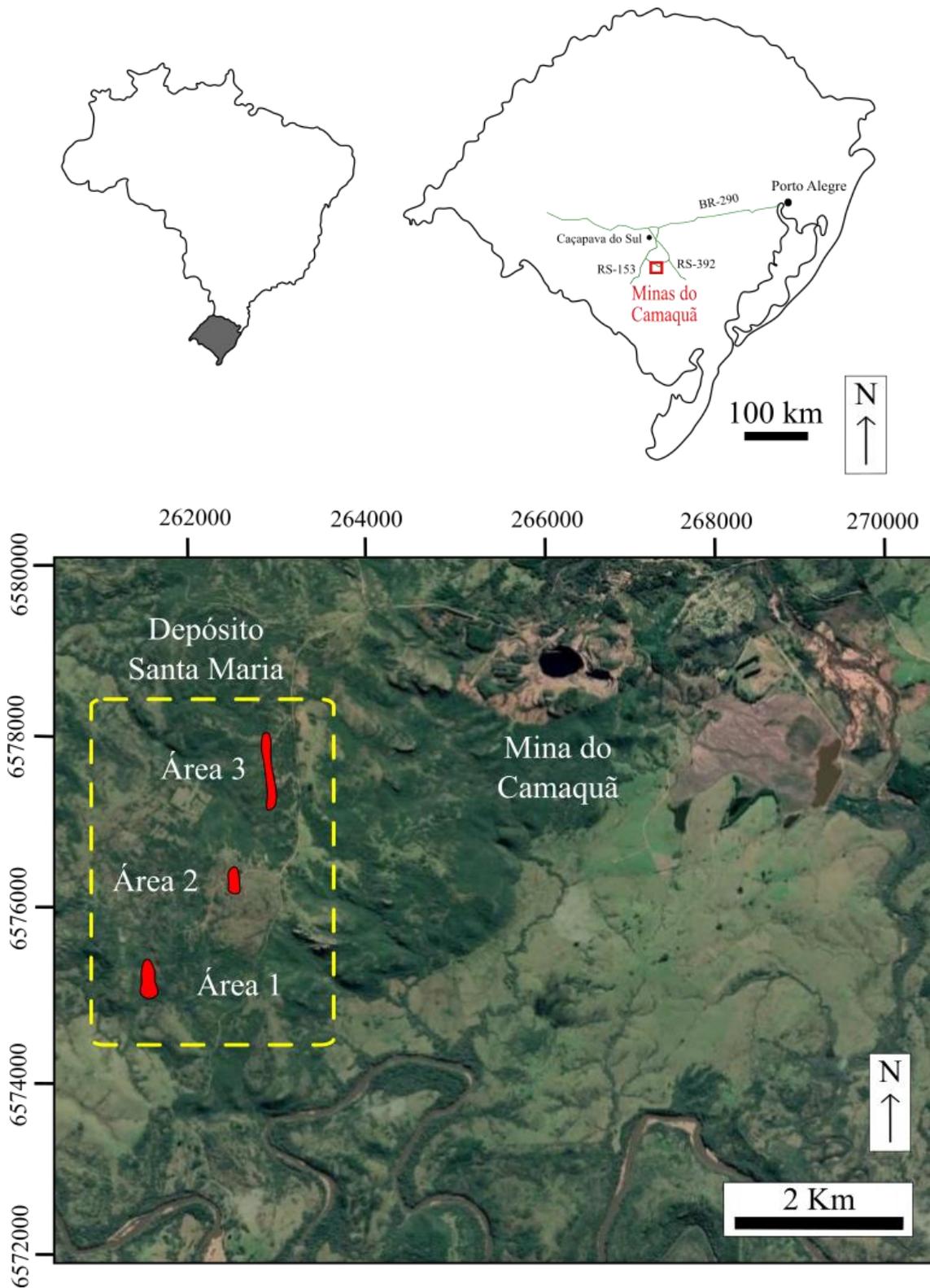


Figura 1. Mapa de localização da Região de Minas do Camaquã com vias de acesso. Área do Depósito Santa Maria destacado em amarelo, com as Áreas 1, 2 e 3 em polígonos preenchidos de vermelho. Adaptado de Driemeyer (2018).

2. OBJETIVOS E METAS

2.1 OBJETIVO GERAL

Esse trabalho tem como objetivo estimar o estado de sulfetação dos fluidos hidrotermais que atuaram nas rochas do Depósito Santa Maria através do estudo petrográfico e da química mineral da esfalerita.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Descrever as amostras com auxílio de lupa binocular para a escolha dos melhores locais a serem laminados.
2. Identificar as assembleias hidrotermais por petrografia microscópica de luz transmitida e refletida e estabelecer suas cronologias relativas.
3. Caracterizar as mineralogias de alteração por Difractometria de Raios X.
4. Realizar análises de química mineral nas espécies de esfalerita identificadas na etapa de petrografia microscópica.
5. Gerar e interpretar gráficos, perfis e mapas composicionais para os minerais de minério analisados na microsonda eletrônica.

3. JUSTIFICATIVA

Este trabalho tem relevância principalmente científica e justifica-se pela contribuição que virá a oferecer para o entendimento da gênese e das condições físico-químicas de formação do minério na região de Minas do Camaquã. Entretanto o conhecimento da química mineral dos sulfetos também pode vir a ser útil para o melhor aproveitamento do minério a ser explorado.

4. ESTADO DA ARTE

4.1 GEOLOGIA REGIONAL

O Escudo Sul-riograndense (Figura 2) localiza-se na porção centro sul do estado do Rio Grande do Sul e é classicamente dividido em uma unidade geotectônica Paleoproterozoica e três unidades Neoproterozoicas. O cráton Rio de La Plata é a unidade Paleoproterozoica do escudo, representado pelo complexo granulítico Santa Maria Chico (HARTMANN *et al.*, 1999), limitado pelo lineamento de Ibaré de direção NW no contato deste com o terreno São Gabriel, localizado a leste do cráton. As unidades predominantemente Neoproterozoicas são, de Oeste para Leste, os terrenos São Gabriel, Tijucas e Pelotas limitados entre si por zonas de cisalhamento de direção NNE.

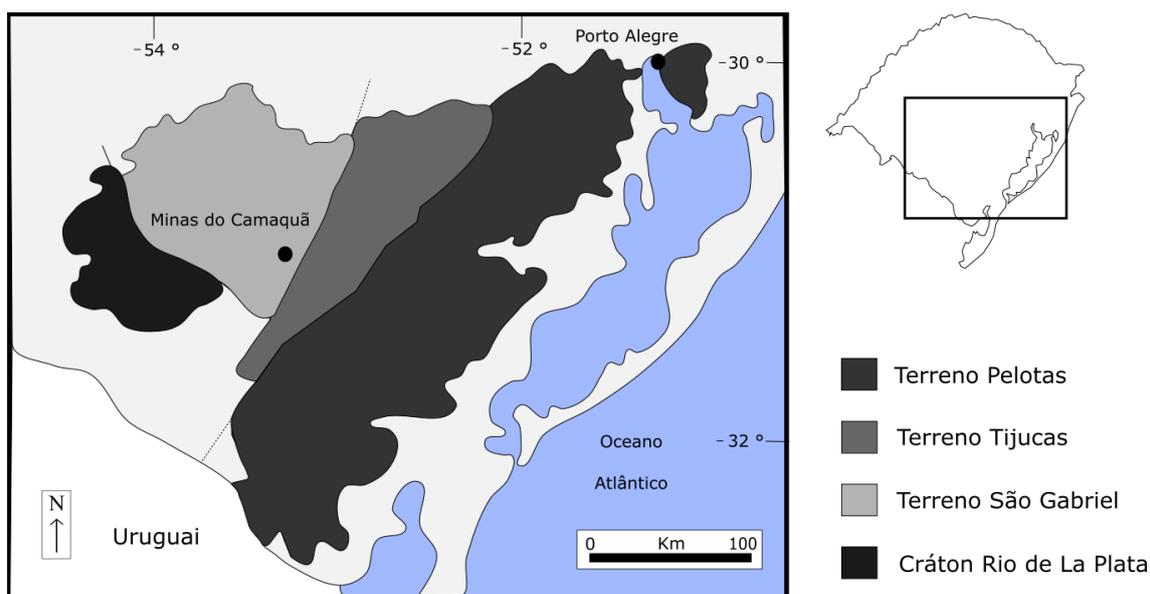


Figura 2: Compartimentação geotectônica do escudo Sul-riograndense. Adaptado de Remus (1999).

4.1.1 BACIA DO CAMAQUÃ

Bacia do Camaquã (Figura 3) é entendida com a sobreposição de diversas bacias preenchidas no intervalo entre 630 e 510 Ma, independentes entre si, mas com as suas gêneses relacionadas aos estágios tardi a pós colisionais do Ciclo Basiliano no Cinturão

Dom Feliciano (PAIM, WILDNER e CHEMALE JR, 2014). As sub-bacias Piquirí-Boicí e Guaritas assentam-se sobre o terreno tijucas, a sub-bacia Santa Bárbara sobre o terreno São Gabriel e as sub-bacias Ramada e Taquarembó sobre os terrenos São Gabriel e o Cráton Rio de La Plata, respectivamente (Figura 3). PAIM, WILDNER e CHEMALE JR (2014) dividem o preenchimento da Bacia do Camaquã em quatro pulsos tectono-vulcano-sedimentares, estas seqüências de preenchimento sobrepõem-se umas às outras em discordâncias angulares e, à exceção da primeira, todas apresentam episódios vulcânicos expressivos em sua base.

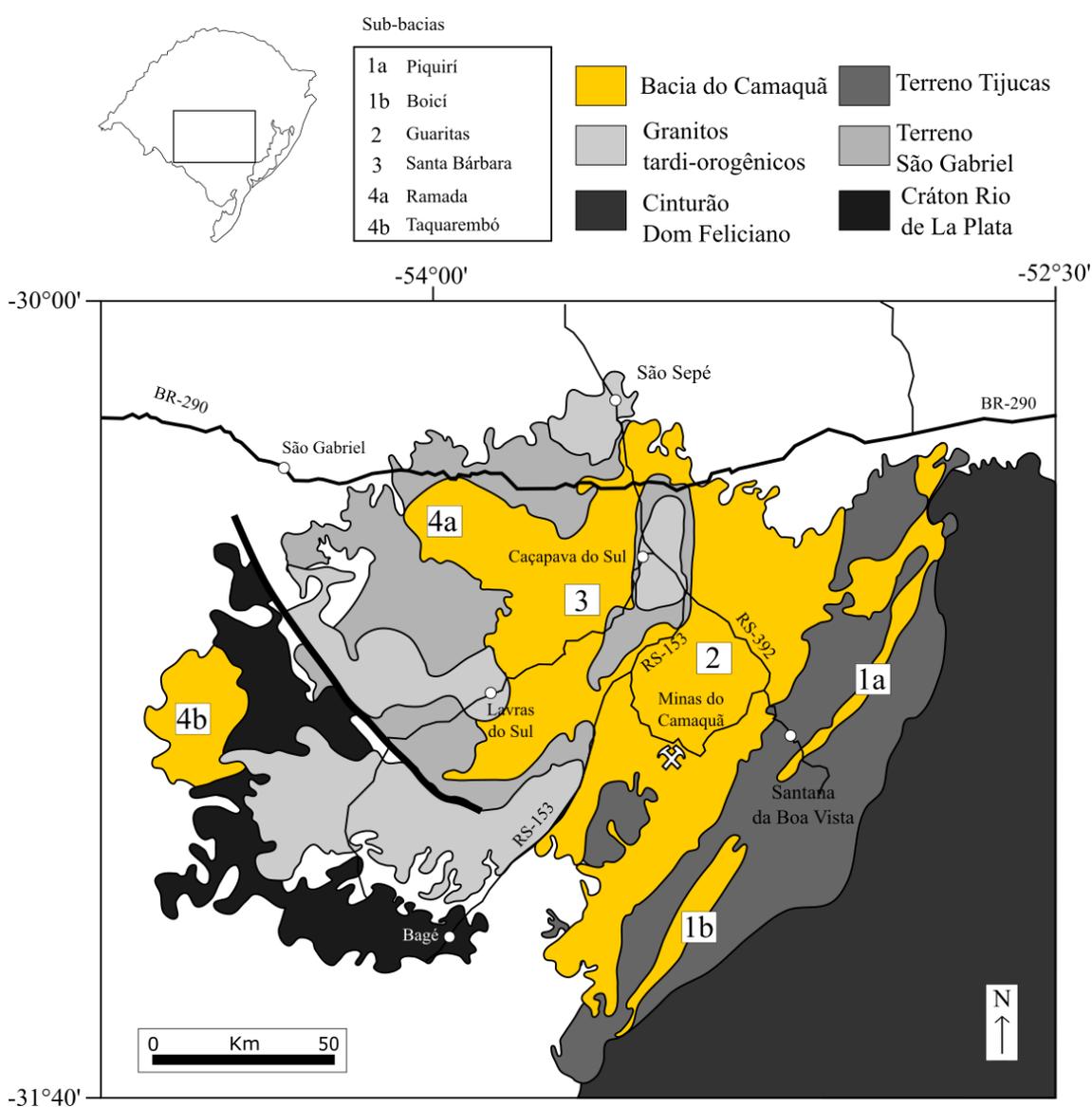


Figura 3: Contexto Geológico da Bacia do Camaquã com a localização das sub-bacias. Adaptado de Paim (2014).

A primeira fase de preenchimento da Bacia do Camaquã se deu em um ambiente de retro-arco, sendo representada pelas rochas do Alogruppo Maricá em um estágio tardi-orogênico da orogenia brasileira (PAIM, WILDNER e CHEMALE JR, 2014). Essa sequência está bem preservada na sub-bacia da Ramada, assentando-se sobre o terreno São Gabriel, que representa a porção cratônica desta sub-bacia, a oeste, enquanto a margem ativa estava localizada a leste, segundo os referidos autores essa porção foi soerguida e serviu de área fonte para a base do Alogruppo Bom-Jardim na sub-bacia Piquirí. A segunda fase de preenchimento também é atribuída aos estágios tardi-orogênicos em um contexto de transcorrência em um ambiente de *back-arc*. PAIM, WILDNER e CHEMALE JR (2014) dividem o Alogruppo Bom Jardim em porções oeste e leste, separados pelo alto de Caçapava do Sul. Este Alogruppo registra a deposição siliciclástica e de fluxos piroclásticos e lavas da Formação Hilário, por magmas toleíticos e calcialcalinos alto-K a shoshoníticos (NARDI e LIMA, 1985). A deposição siliciclástica se deu em ambientes predominantemente deltaicos e de planícies entrelaçadas que gradam para turbiditos arenosos.

O Alogruppo Santa Bárbara encontra-se em discordância angular com o Alogruppo Bom Jardim sotoposto e com o Alogruppo Guaritas sobreposto. Essa sub-bacia formou-se na fase pós-orogênica do Ciclo Brasileiro em um contexto de rift. Em sua base encontram-se as rochas vulcânicas da Formação Acampamento Velho, representados por lavas e fluxos piroclásticos de afinidade bimodal sódica (SOMMER *et al.* 2005 *apud* DRIEMEYER, 2018). A sequência siliciclástica deste Alogruppo compreende arenitos e conglomerados intercalados de forma abrupta com pacotes areno-pelíticos. Em termos gerais, essas rochas depositaram-se em ambientes deltaicos e planícies entrelaçadas gradando para sistemas lacustres. O último pulso de preenchimento da Bacia do Camaquã está registrado pelo Alogruppo Guaritas, também em um contexto de rift. Na base deste Alogruppo intercalam-se os depósitos eólicos da formação Pedra Pintada com os derrames básicos a intermediários da Formação Rodeio Velho (PAIM, WILDNER e CHEMALE JR, 2014). Estas fases de preenchimento e suas principais características estão sumarizadas na Figura 4.

Estágio evolutivo	Bacia	Ambiente Tectónico	Magmatismo	Ambiente Depositional
Tardi orogênicas	Maricá	Retro-arco		Marinho
	Bom Jardim	Transcorrente	Evento Bom Jardim: Magmas toleíticos e calcialcalinos alto-K a shoshoníticos	Lacustre profundo com leques de borda associados
Pós orogênicas	Santa Bárbara	Rifte	Evento Acamapamento Velho: Magmatismo bimodal de afinidade alcalina sódica	Lacustre raso com deltas e leques associados
	Guaritas	Rifte	Evento Rodeio Velho: Magmatismo basico alcalino	Lacustres rasas, aluvias e eólicas

Figura 4: Resumo das características da Bacia do Camaquã apresentadas por Paim (2014).

4.1.2 ESTRATIGRAFIA DA ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho adota a coluna estratigráfica do Grupo Santa Bárbara proposta por FAMBRINI *et al.* (2007) construída sob critérios litoestratigráficos e já usada em trabalhos voltados ao estudo do hidrotermalismo e mineralização das rochas da área de estudo (e.g. RIOS, 2012; LINDENBERG, 2014; DRIEMEYER, 2018). As mineralizações do depósito Santa Maria estão hospedadas na Formação Rincão dos Mouras do Grupo Santa Bárbara, este grupo é dividido em quatro formações: Passo da Capela, Seival, Rincão dos Mouras e João Dias.

Supergupo Camaquã	Suíte Intrusiva Rodeio Velho		
	Grupo Guaritas		
	Grupo Santa Bárbara	Formação João Dias	
		Formação Rincão dos Mouras	Conglomerado Superior
			Arenito Intermediário
			Conglomerado Inferior
		Formação Seival	Arenito Inferior
	Formação Passo da Capela		
	Grupo Bom Jardim		

Figura 4: Coluna litoestratigráfica proposta por Fambrini (2007).

A base do Grupo Santa Bárbara é representada pela formação Passo da Capela, constituída por sucessões de arenitos, siltitos e conglomerados com contribuições subordinadas de argilitos. Essas sucessões são interpretadas por FAMBRINI *et al.* (2007) como turbiditos distais de leque subaquosos formados abaixo do nível de ação de ondas compondo uma sucessão retrogradacional com predomínio de fácies finas em franjas externas dos leques subaquosos. Sobrepostos em contato erosivo às fácies distais, depositaram-se os arenitos conglomeráticos e conglomerados em camadas tabulares, com estruturas internas predominantemente maciças e que transicionam, em direção ao topo da sequência, para arenitos grossos em camadas menos espessas, também tabulares, formados por fluxos de gravidade e correntes de turbidez abaixo do nível de ação de ondas. A formação Passo da Capela ainda compreende uma sucessão de ritmitos de arenitos finos a médios com estratificação *hummocky* intercalados com siltitos em camadas tabulares, com espessuras centimétricas a decimétricas com argilitos subordinados representando depósitos de costa-afora (*offshore*). Esses depósitos são interpretados por FAMBRINI *et al.* (2007) como resultado do transporte e acumulação

esporádicos gerados por ondas de tempestades combinados com a deposição por fluxos oscilatórios e unidirecionais em ambiente marinho raso.

Segundo FAMBRINI *et al.* (2007) a Formação Seival é composta de arenitos e siltitos em sucessões de fácies que indicam deposição em ambientes de face litorânea e em planície de maré. O primeiro é representado por arenitos médios a finos maciços e com estratificação de baixo ângulo associados a finas películas de argila com gretas de contração. Os depósitos associados a planícies de maré são compostos por arenitos médios bem selecionados com estratificações de baixo ângulo com sentido bimodal em sucessões granodecrescentes para o topo.

A formação Rincão dos Mouras hospeda as mineralizações de cobre da Mina do Camaquã. Essa formação é composta por espessos pacotes de conglomerados granocrescentes para o topo, estes pacotes são interpretados por FAMBRINI *et al.* (2007) como depósitos de leques aluviais. Os pacotes de conglomerados são intercalados com pacotes subordinados de arenitos conglomeráticos e arenitos com estratificações cruzadas acanaladas, relacionados, segundo o autor, a implementação de sistemas fluviais entrelaçados.

A formação João Dias é composta principalmente por arenitos médios bem selecionados com ocorrências localizadas de pacotes finos de arenitos finos e conglomerados (FAMBRINI *et al.* 2007). Essa formação apresenta na base das sequências arenitos médios, micáceos, com estratificações cruzadas de baixo ângulo tangencial e planar de pequeno porte e estratificações plano paralelas depositados em condições de costa-afora (*foreshore*) e de fácies litorânea superior (*upper shore-face*). A porção superior da Formação João Dias é composta também por arenitos micáceos associados com estratificação cruzada de baixo ângulo tangencial e planar e estratificação cruzadas do tipo hummocky, as primeiras depositas em condições de face litorânea intermediária (*medium foreshore*) e a última relacionada a eventos de tempestade esporádicos.

4.1.3 O DEPÓSITO POLIMETÁLICO SANTA MARIA

O depósito Santa Maria foi descoberto em 1970 pela Companhia Brasileira de Cobre (CBC), desde então diversas empresas e *Joint Ventures* (JV) realizaram projetos de pesquisa mineral na área de forma intermitente. As campanhas de sondagem realizadas na área somam mais de 80 mil metros perfurados e os resultados das avaliações de reservas publicados por estas empresas estão sumarizados na Tabela 1 (CARVALHO, 2016).

Tabela 1: Síntese do histórico das campanhas de pesquisa mineral realizadas no Depósito Santa Maria. (CARVALHO, 2016).

Período	Empresa	Recursos
1981-1996	CBC e Grupo Bom Jardim	33.4 Mt @ 1.44% Pb e 1.06% Zn.
2008	JV - Mineração Santa Maria Ltda e IamGold/CBC.	6.3 Mt @ 3.07% Zn e 2.56% Pb.
2009	Mineração Santa Maria Ltda	14.2 Mt @ 1,97% de Zn, 2,86% de Pb e 11,58 g/t de Ag.
2012	Mineração Santa Maria Ltda	43 Mt@ 2,5%Zn+Pb (incluindo 13 Mt@ 5%Zn+Pb).

As mineralizações do depósito Santa Maria estão hospedadas nas sequências siliciclásticas do Grupo Santa Bárbara, este grupo ocorre basculado com cerca de 30° de mergulho em sentido NW na região de Minas do Camaquã. O minério de mais alto teor ocorre como *strings* de sulfeto maciço encaixados em estruturas NW-SE, o minério de mais baixo teor ocorre disseminado nos arenitos, preenchendo a porosidade secundária da rocha. Em escala de depósito, a mineralização de Zn (esfalerita) e Pb (galena) tende a ser mais rasa que a de Cu (calcopirita, bornita, calcocita), a primeira acompanhando as zonas de ilitização e a segunda zonas de cloritização (RIOS, 2012).

4.1.4 GÊNESE DO MINÉRIO

Diversos modelos metalogenéticos foram propostos para as mineralizações da região de Minas do Camaquã ao longo das últimas décadas. Entre as décadas de 1930 e

1960, diversos autores vincularam o minério à atividade magmática sincrônica a deposição do Grupo Bom Jardim (PAIM, 2002). A partir dos anos 70, predominou o modelo sedimentar singenético, apoiado na observação de sulfetos disseminados ocorriam concordantes ao acamamento da rocha (PAIM, 2002). Atualmente o modelo mais aceito e utilizado neste trabalho é de um depósito do tipo epitermal (LAUX *et al.*, 2005; RENAC *et al.*, 2014). O modelo epitermal proposto por estes autores apoia-se na observação do controle estrutural da mineralização, *stock-work* discordante ao acamamento da rocha, temperaturas <300°C e baixa salinidade dos fluidos

REMUS, HARTMANN, *et al.*, (2000) obtiveram resultados muito homogêneos para o $\delta^{34}\text{S}$ em sulfetos da Mina do Camaquã e do Depósito Santa Maria. Os valores de $\delta^{34}\text{S}$ apresentados por estes autores estão entre -1.8 a +0.6‰ para a Mina do Camaquã (pirita, calcopirita e bornita) e -2.6 a +1.1‰ para o Depósito Santa Maria (galena e esfalerita), indicando uma origem magmática para o enxofre destes sulfetos. As temperaturas de homogeneização em inclusões fluidas os veios de quartzo na Mina do Camaquã de no máximo 210°C, com salinidade do fluido entre 7,1 e 14% de NaCl equiv. (BECKEL, 1992 *apud* REMUS *et al.*, 2000). As temperaturas de homogeneização para inclusões fluidas em esfaleritas e carbonatos do depósito Santa Maria estão entre 117 e 289°C, com um média em 210°C e salinidades entre 2,3 e 17,7% NaCl equiv. (LIMA, 1996 *apud* REMUS *et al.*, 2000).

RENAC *et al.*, (2014) estudaram a evolução isotópica dos fluidos hidrotermais das sequencias paragenéticas da Mina do Camaquã, e propuseram um modelo de evolução química, isotópica e de temperaturas dos pulsos hidrotermais. As variações isotópicas de S, O, H e C em piritas, calcopiritas, argilominerais e carbonatos como veios ou disseminados sugerem que a mineralização das rochas da Mina do Camaquã se deu a partir de um complexo sistema hidrotermal. Os referidos autores propõem uma evolução dos fluidos hidrotermais em que os sulfetos foram precipitados a partir de diversos pulsos hidrotermais, de origem magmática, e que as fases finais de cristalização dos minerais de ganga apresentam composições isotópicas com misturas de fontes de água magmática e meteórica.

4.2 DEPÓSITOS EPITERMAIS

Os depósitos epitermais são importante fontes de ouro, prata e metais base, estes depósitos formam-se nas porções mais rasas de grandes sistemas hidrotermais, geralmente subaéreos. Devido à pouca profundidade (1 a 2 km), onde prevalecem condições hidrostáticas, as temperaturas de formação do minério estão entre ~150 e ~300°C. A mineralização depende da composição química do fluido e é controlada pelos gradientes de temperatura e pressão destes sistemas. As principais características deste tipo de depósito estão sumarizadas na Figura 5.

LINDGREN (1933) propôs o primeiro esquema de classificação de depósitos epitermais com base na mineralogia de minério como *gold-*, *silver-* ou *metals base rich*. (ricos em ouro, prata ou metais base) (EINAUDI, HEDENQUIST e INAN, 2003). Atualmente, os depósitos epitermais são classificados em alta intermediária ou baixa sulfetação, que representa um espectro contínuo de variações físico-químicas entre os dois membros extremos. O estado de sulfetação de um depósito epitermal é reflexo das variações de temperatura, pH, salinidade dos fluidos e grau de mistura entre águas magmáticas e meteóricas. Cada um dos tipos de depósitos epitermais geram assembleias de alteração características, que frequentemente servem como ferramenta para a classificação do depósito (SIMMONS, WHITE e DAVIS, 2005).

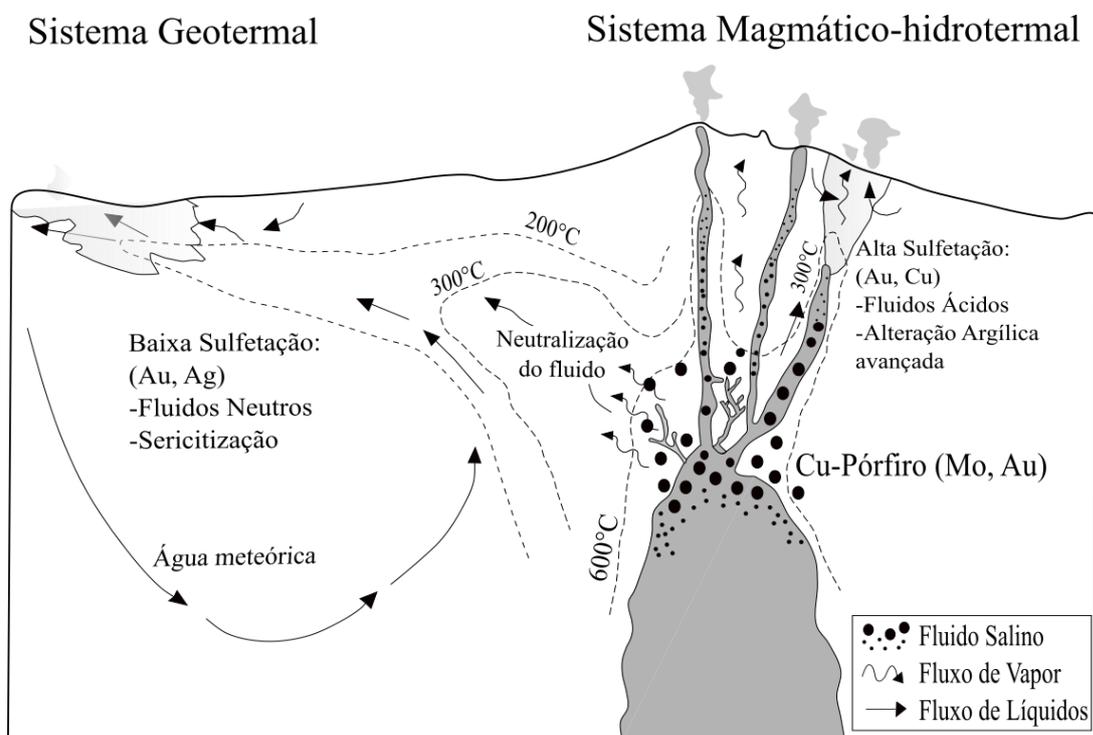


Figura 5: Principais características de depósitos epitermais de baixa e alta sulfetação e a relação espacial destes com sistemas Cu-Pórfiro. Adaptado de ROBB,(2005).

4.2.1 DEPÓSITOS EPITERMAIS DE ALTA SULFETAÇÃO

Este tipo de depósito ocorre nas zonas proximais a intrusão. A assembleia característica deste tipo de depósito é quartzo + alunita ± pirofilita ± dickita que refletem condições de pH baixo. Os fluidos mineralizantes são derivados diretamente da intrusão e são resultado da saturação dos voláteis do magma. As principais especiações de enxofre em solução aquosa são SO_2 , SO_4^{-2} ou HSO_4^- (S^{+4} e S^{+6}). Com o decorrer da saturação, as espécies SO_2 e CO_2 passam para a fase gasosa e enriquecem a fase líquida em H^+ , deixando o líquido ácido (SIMMONS, WHITE e DAVIS, 2005). Esta acidificação do fluido o deixa com alta capacidade de lixiviação, removendo grande parte dos elementos maiores da rocha encaixante gerando a textura *Vuggy*, e alteração argílica avançada, características deste tipo de depósito. As assembleias de sulfetos características deste depósito são compostas pirita + enargira ± luzonita, seguidas por calcopirita + pirita ± tenantita ± esfalerita ± galena (EINAUDI, HEDENQUIST e INAN, 2003). Devido à alta quantidade de enxofre, este pode ocorrer em sua forma nativa (SIMMONS, WHITE e DAVIS, 2005).

4.2.2 DEPÓSITOS EPITERMAIS DE SULFETAÇÃO INTERMEDIÁRIA

Neste tipo de depósito a mineralização tende a ocorrer na forma de veios, *stock-works* e brechas. Entre os principais minerais de alteração estão a assembleia de quartzo-carbonato, adularia e ilita mais próximas a mineralização, e as argilas ilita-esmectita na alteração propílica distal (EINAUDI, HEDENQUIST e INAN, 2003).

4.2.3 DEPÓSITOS EPITERMAIS DE BAIXA SULFETAÇÃO

Neste tipo de depósito o enxofre ocorre em sua forma reduzida HS^- e H_2S . Halos de ilita, ou clorita, ± adularia gradando para alteração propílica, indicam condições de pH próximo ao neutro (EINAUDI, HEDENQUIST e INAN, 2003). Os fluidos também apresentam baixas salinidades e com significativa contribuição de águas meteóricas.

Estes depósitos são mais distais em relação a intrusão, portanto de temperaturas mais baixas (entre 150 e 250°C). A assembleia característica é adularia, sericita e clorita e tende a concentrar-se junto a falhas e zonas de falha. Com o aumento da contribuição de águas meteóricas o fluido fica menos salino e perde capacidade de transporte mineralizando a rocha na forma de veios e como sulfetos disseminados. A fase sulfetada é composta principalmente por pirita-pirrotita-arsenopirita e esfalerita rica em Fe. (SIMMONS, WHITE e DAVIS, 2005).

Características de Depósitos Epitermais

pH Ácido Alunita, caulinita, pirofilita, quartzto <i>vuggy</i>		pH Neutro Quartzo-adularia ± ilita, calcita
Alta Sulfetação Pirita-enargita ± luzonita, covelita	Sulfetação Intermediária Tenantita, tetraedrita, hematita-pirita- magnetita, pirita, calcopirita, esfalerita (pobre em Fe)-pirita	Baixa Sulfetação Arsenopirita-loellinguita-pirrotita, pirrotita, esfalerita (rica em Fe)- pirita
Oxidado Alunita, hematita-magnetita		Reduzido Magnetita-pirita-pirrotita, clorita-pirita

Figura 6: Principais características minerais e químicas de depósitos epitermais. Adaptado de (SIMMONS, WHITE e DAVIS, 2005).

4.3 ESTADO DE SULFETAÇÃO E QUÍMICA MINERAL DA ESFALERITA

O trabalho de (BARTON e TOULMIN, 1966) é um dos pioneiros no estudo das relações de fases do sistema Fe-Zn-S. Através de estudos de petrologia experimental estes autores calcularam as variações composicionais da esfalerita no sistema Fe-Zn-S, cristalizadas entre 580°C e 850°C. Estes autores demonstraram que a proporção molar de FeS contida na esfalerita, associada a pirita ou pirrotita, é controlada pela fugacidade de enxofre e da temperatura do fluido hidrotermal que a originou (Figura 7). O trabalho de (SCOTT e BARNES, 1971) calibrou as variações composicionais da esfalerita para temperaturas entre 322°C e 584°C, obtendo resultados muito consistentes com as extrapolações para baixas temperaturas de (BARTON e TOULMIN, 1966), com uma pequena variação para a curva *solvus* pirita + pirrotita. O trabalho de (SCOTT e KISSIN, 1973) estudou as relações de fase do sistema Fe-Zn-S em temperaturas inferiores a 300°C de esfaleritas de ocorrência natural e sintéticas, obtendo composições semelhantes para

os dois tipos. Estes resultados também são consistentes com os resultados experimentais da distribuição univariante de assembleias do sistema Fe-S, sugerindo que as relações de fases do sistema Fe-Zn-S propostas por BARTON e TOULMIN (1966) podem ser extrapoladas para temperaturas inferiores a 300°C, embora a atividade de FeS possa ser significativamente diferente a altas temperaturas.

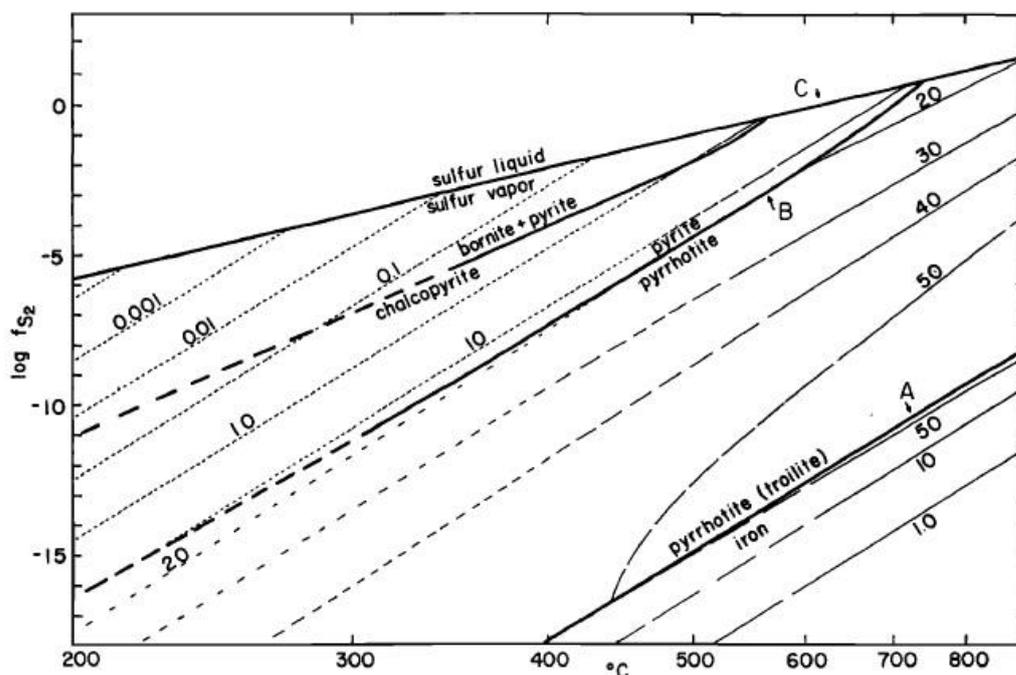


Figura 7: Diagrama de estabilidade de fases sulfetadas do sistema Zn-Fe-S em função da fugacidade do S e da temperatura, com as linhas (pontilhadas) de proporções molares de FeS na esfalerita associada a pirita ou pirrotita. Extraído de BARTON e TOULMIN (1966)

O conteúdo de FeS na esfalerita é em função da atividade do Fe no fluido hidrotermal, que para uma dada temperatura é inversamente relacionada a atividade do enxofre (SCOTT e KISSIN, 1973). A proporção molar de FeS na esfalerita é, portanto, controlada em função do estado de sulfetação do fluido hidrotermal, desde que o minério de zinco esteja associado a pirita ou pirrotita. Os valores giram em torno de 40 a 20% em mol para condições baixa sulfetação, de 20 a 1% para sulfetação intermediária e de 1 a 0,05 para condições de alta sulfetação.

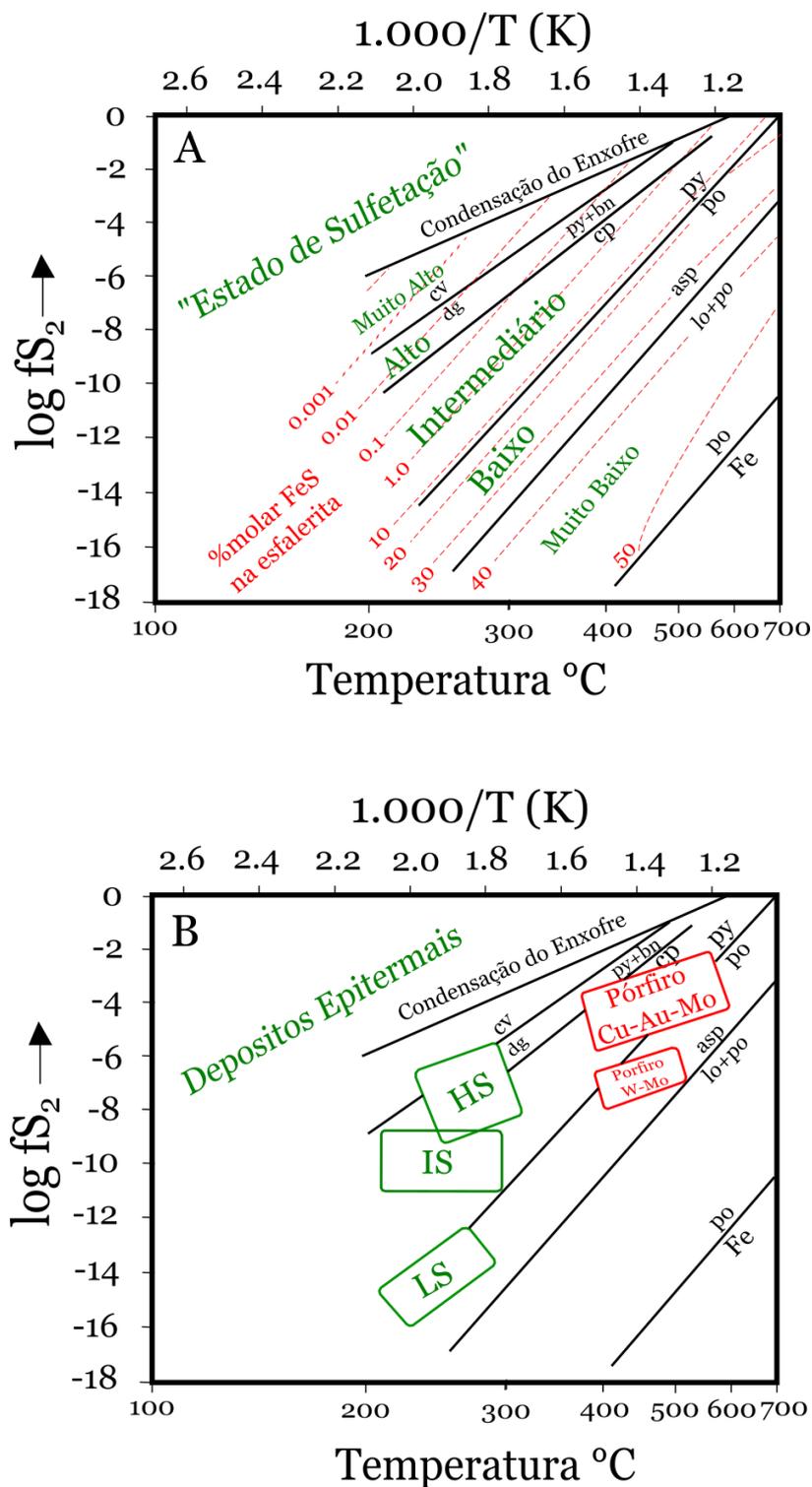


Figura 8: Diagramas de estabilidade das fases sulfetadas do sistema Zn-Fe-S em função da fugacidade do S e da temperatura, relacionados ao estado de sulfetação do fluido hidrotermal com base da química mineral da esfalerita em (a) e a classificação de depósitos epitermais e pórfiros em (b). cv: covelita, py: pirita, bn: bornita, cp: calcopirita, po: pirrotita, asp: arsenopirita, lo: loenlinguita. HS: High Sulfidation (alta sulfetação, IS: intermediare sulfidation (sulfetação intermediária e LS: Low sulfidation (baixa Sulfetação. Adaptado de (FONBOTÉ, KOUZMANOV, et al., 2017).

5. METODOLOGIA

5.1 AMOSTRAGEM

Foi realizado um trabalho de campo em janeiro de 2019 na sede do Projeto Caçapava do Sul da empresa Nexa *Resources*, localizado no distrito de Minas do Camaquã. A empresa cedeu cordialmente nove amostras de três testemunhos de sondagem para a realização deste trabalho. As amostras dos testemunhos BRSMDD0031 e BRSMDD0096 já haviam sido previamente selecionadas pela equipe de geólogos da empresa e o testemunho de sondagem BRSMDD0186 foi disponibilizado para amostragem. As amostras foram selecionadas buscando-se trechos ricos no minério em diferentes modos de ocorrência: como vênulas, disseminado ou maciço. A relação das amostras e suas respectivas profundidades estão sumarizadas na tabela abaixo.

Tabela 2: Relação das amostras utilizadas neste trabalho.

Testemunho de Sondagem	Área	Profundidade (m)	Amostra
BRSMDD 0186	1 (Porção Norte)	119,43	1-119
		139,00	1-139
		177,60	1-177
		271,05	1-270
		271,90	1-271
		274,31	1-274
BRSMDD 0031	2	187,45	2-187
BRSMDD 0096	3	140,66	3-140
		141,26	3-141

5.2 MICROSCOPIA ÓPTICA

A microscopia óptica é uma técnica amplamente usada em geologia e consiste na observação de materiais rochosos ao microscópio para determinações qualitativas destes

materiais e também para estimativas quantitativas, além da observação de aspectos texturais de minerais e seus arranjos espaciais que permitem inferir os processos que atuaram durante ou posteriormente a formação da rocha. A microscopia pode ser feita em microscópios de luz transmitida para identificação de minerais translúcidos, os que permitem a passagem de luz, ou de luz refletida para o estudo de minerais opacos (FRANK, 2014).

Em microscopia de luz refletida uma fonte luminosa posiciona-se abaixo da amostra e a atravessa para formar a imagem pela interação das objetivas e oculares, o aumento da imagem é feito por lentes convergentes do microscópio. Essa técnica permite a visualização dos minerais através de luz natural para a determinação de cor, forma, fraturas e alterações presentes na amostra e por luz polarizada que gera um contraste entre os grãos que ocorrem com diferentes orientações, possibilitando a identificação de minerais através da sua birrefringência (FRANK, 2014).

Em microscopia de luz refletida o funcionamento do microscópio é muito semelhante ao de luz transmitida, no entanto a fonte luminosa posiciona-se acima da amostra e incide sobre esta para que a reflexão desta forme a imagem a ser observada. A luz refletida é capturada pela objetiva, onde é formada a imagem, que então é projetada para a ocular. Essa técnica é muito usada para o estudo de minerais opacos que não permitem a passagem da luz (GOLDENSTEIN, 2007).

As amostras a serem analisadas passam por um processo de confecção de uma lâmina delgada, que consiste em uma lamínula da rocha com 30 μm de espessura colada em uma chapa de vidro, geralmente de 2 x 3 cm e com uma espessura de alguns milímetros. Para a preparação da lâmina delgada a rocha é serrada em um bloco de 2 x 3 com cerca de 1 cm de altura e então é colada no vidro, desbastada e polida até que se atinja a espessura de 30 μm .

A microscopia óptica foi usada para identificação das mineralogias de alteração e das assembleias minerais que se sobrepõem na rocha, tanto de luz refletida como transmitida, muitas vezes utilizadas simultaneamente. Os aspectos texturais das gerações de minério e ganga observados, seja em veios maciços, vênulas, disseminados, ou por feições de corrosão entre fases minerais contribuíram para o levantamento de hipóteses no que diz respeito a origem das fases de minério e suas relações com a ganga.

5.3 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

A Difratometria de Raios X é uma técnica muito utilizada em geologia para caracterização mineralógica de materiais rochosos, sobretudo de argilominerais, que por suas granulometrias demasiadamente finas são de difícil identificação por métodos óticos convencionais.

Raios X são as ondas eletromagnéticas compreendidas no intervalo de comprimento de onda entre 1Å e 10^{-5}Å . Como qualquer outro tipo de onda, os Raios X sofrem o fenômeno da difração quando interagem com obstáculos físicos cujas dimensões são semelhantes ao seu comprimento de onda. As espécies minerais são compostas pelo arranjo de planos atômicos repetitivos no espaço, estas distâncias interplanares variam de 1Å a 3Å . Cada espécie mineral possui uma distância entre seus planos atômicos própria e previamente conhecida, gerando portanto, um padrão de difração que é característico para cada uma destas espécies (HINRICHS, 2014).

O funcionamento do equipamento consiste em um feixe monocromático de Raios X sobre uma amostra. O feixe vai mudando o ângulo (θ) no decorrer da análise enquanto o detector está sempre posicionado em ângulo (2θ) em relação ao feixe incidente, para que se analise somente os padrões de difração dos planos que estão paralelos a superfície da amostra. O resultado da análise é um gráfico, denominado de difratograma cujo eixo das abscissas é o ângulo 2θ e na ordenada a intensidade da difração. Neste gráfico são plotados os picos de difração que são gerados quando a Lei de Bragg é satisfeita, isto é, $2d\sin\theta = n\lambda$, onde d é a distância interplanar, θ é o ângulo da difração, n é a ordem de difração e λ é o comprimento de onda do Raio X (HINRICHS, 2014).

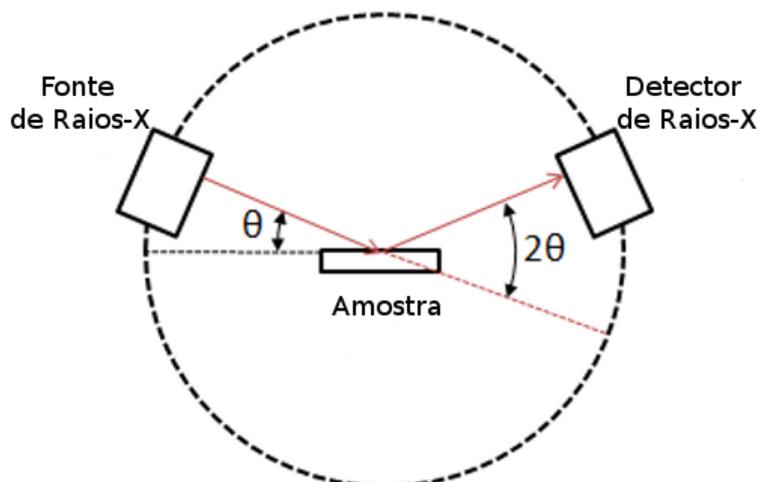


Figura 9: Síntese do funcionamento do Difratômetro de Raios X. Retirado de UNICAMP (2019)

As análises de Difractometria de Raios X podem ser de dois tipos. A mais simples é denominada de análise de rocha total, que consiste na cominuição da amostra, algo em torno de 5 gramas, colocada em um recipiente de vidro e analisada. Este tipo de análise é utilizado quando se tem interesse na caracterização mineralógica holística de algum material rochoso. O segundo tipo de análise é denominado de argilas orientadas. A preparação da amostra passa por um processo mais elaborado, que consiste na cominuição do material, desagregação das argilas e decantação para que se separe a fração argilosa das demais granulometrias.

5.4 MICROSSONDA ELETRÔNICA

A Microsonda Eletrônica realiza análises qualitativas e quantitativas, essa técnica é muito usada em geologia para quantificação química de espécies minerais. O equipamento funciona com a emissão de um feixe de elétrons com energia suficiente para instabilizar a configuração eletrônica dos átomos que compõe a amostra analisada fazendo com que estes emitam Raios X. Cada elemento químico emite um padrão espectral de Raios X característico, sendo portanto, passíveis de identificação (GOMES, 1984). O equipamento possui espectrômetros por dispersão de comprimento de onda - WDS (*wavelength-dispersive spectrometer*) que são calibrados para analisar os elementos químicos de interesse.

A amostra a ser analisada pode ser uma lâmina delgada ou uma seção polida. É necessário que a amostra esteja bem polida para estar lisa e plana para evitar irregularidades em sua superfície que podem gerar a absorção do feixe de elétrons. Em caso análise em materiais mal condutores de energia faz-se a metalização da amostra, geralmente com carbono. Essa camada metalizada deve conter a mesma espessura que da amostra utilizada como padrão a fim de evitar erros na quantificação química (GOMES, 1984) (HINRICHS, 2014).

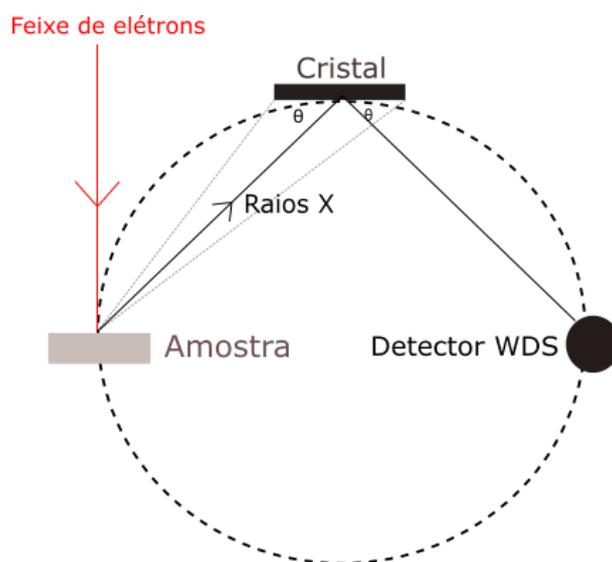


Figura 10: Síntese do funcionamento da microsonda eletrônica. Modificado de (CARLETON, 2019).

O Laboratório de Microsonda Eletrônica da UFRGS possui com uma Microsonda CAMECA SX-50® com quatro espectrômetros do tipo dispersão em comprimento de onda (WDS), além de um microscópio ótico acoplado com magnificação única de 400 vezes, nos modos de luz refletida e transmitida.

Neste trabalho foram realizadas quase 400 análises químicas pontuais de Zn, Fe, Cu, Pb e S. Também foram feitos dois perfis e um mapa composicional analisando-se Zn, Fe, Cu, Pb, S e Ca.

Para calcular a fórmula estrutural das esfaleritas utilizou-se a seguinte fórmula para a esfalerita: (Zn, Fe, Cu) : S. Portanto com uma proporção entre a soma das proporções atômicas dos elementos dos metais e o enxofre de 1:1. Os cálculos foram realizados com a seguinte forma para os metais:

Proporção molar do metal = ((% em massa do metal obtida na análise de microsonda / peso atômico do elemento) / soma da proporção atômica dos metais).

Para o enxofre:

Proporção molar do enxofre = (% em massa obtida na análise de microsonda / peso atômico do enxofre).

Utilizou-se os pesos atômicos: 32,06u para o S, 55,845u para o Fe, 63,546u para o Cu e 65,38u para o Zn (IUPAC, 2018).

6. RESULTADOS

6.1 PETROGRAFIA

6.1.1 ASPECTOS MACROSCÓPICOS

Após a etapa de campo as amostras foram descritas em laboratório com o uso de lupa binocular. A descrição das amostras serviu para um entendimento preliminar dos processos de mineralização e para a escolha dos locais de maior interesse para a confecção das lâminas delgadas.

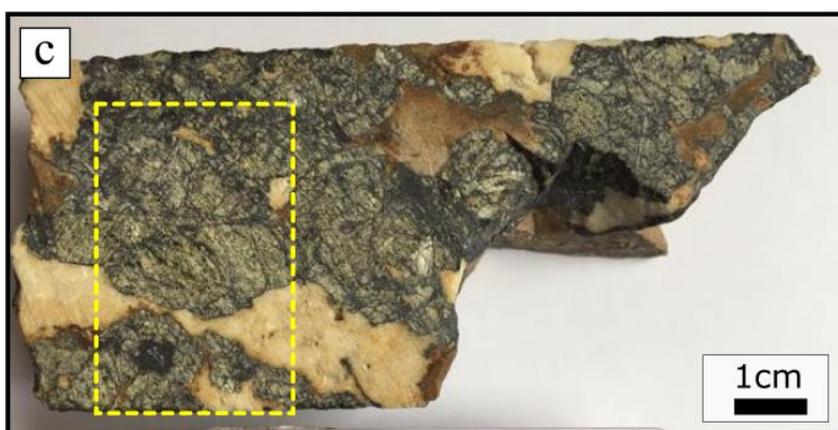
As rochas hospedeiras do minério são arenitos finos a médios, moderadamente selecionados. Macroscopicamente a mineralização é por esfalerita e galena, por vezes associadas a pirita. Os minerais de minério ocorrem como veios milimétricos e centimétricos, por vezes brechando a rocha (Figura 12.e, Figura 13.e), e como veios encaixados em estruturas com formas mais regulares (Figura 11.e). Para ambos os casos, os veios são compostos principalmente por esfalerita de cor verde ocorrendo como cristais milimétricos a centimétricos subédricos, que sempre apresentam vênulas e coroas de alteração de cores escuras associadas a galena. A pirita ocorre em cristais subédricos a euédricos associados aos cristais de esfalerita verde, na amostra 1-119 (Figura 11.a). A galena é principal mineral de minério que ocorre disseminado no arenito (Figura 11.e, Figura 12.e, Figura 13.a).

Os veios carbonáticos de calcita + siderita são a fase tardia mais comum, ocorrem com formas irregulares e espessuras milimétricas e centimétricas (Figura 11.c). A ocorrência de barita é restrita a amostra 3-140 (Figura 13.c).

1-119



1-139



1-177

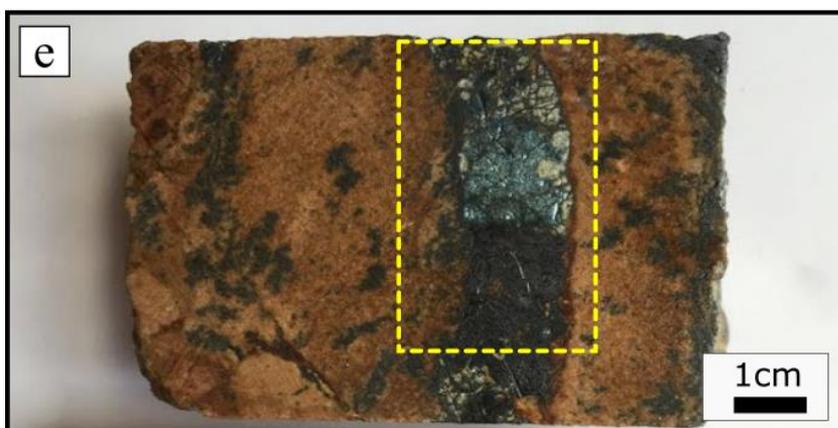
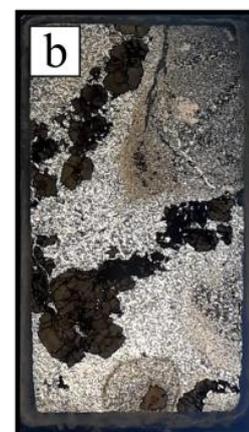
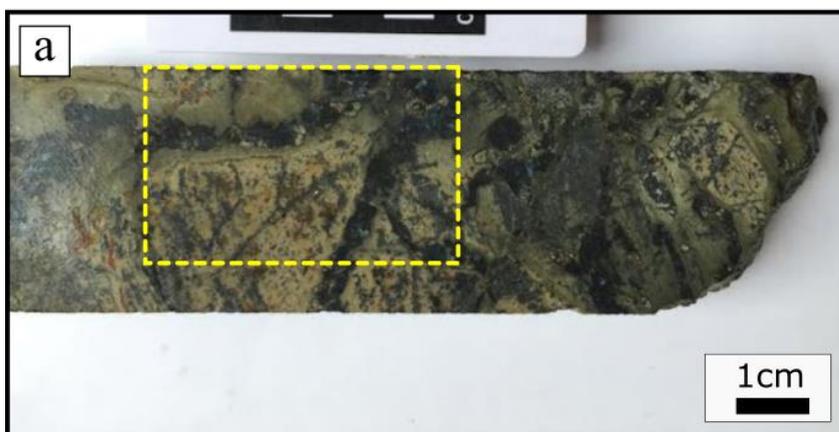
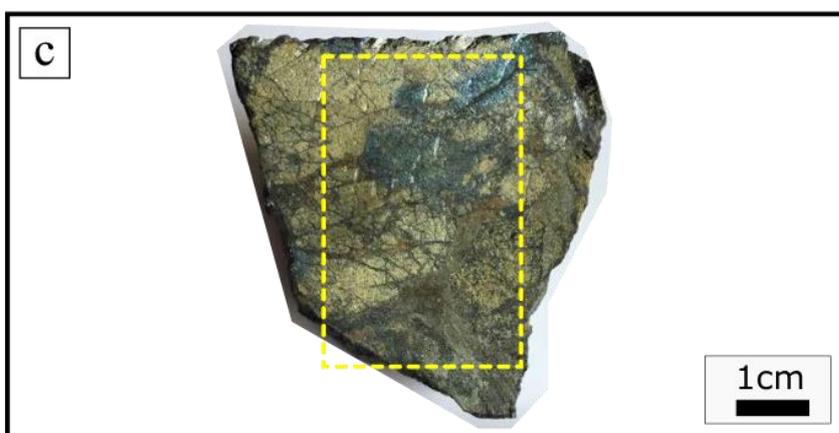


Figura 11: Fotos das amostras 1-119 em (a), 1-139 em (c) e 1-177 em (e) do testemunho de sondagem BRSMDD0186 da área 1 do depósito Santa Maria, o retângulo amarelo representa a área que foi laminada. As fotos (b), (d), (f) e são as lâminas delgadas sob luz polarizada das amostras 1-119, 1-139 e 1-177, respectivamente.

1-270



1-271



1-274

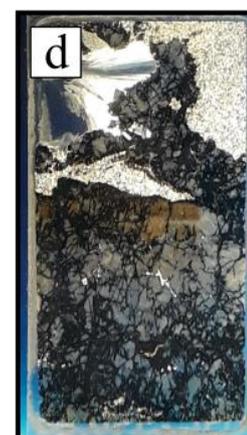
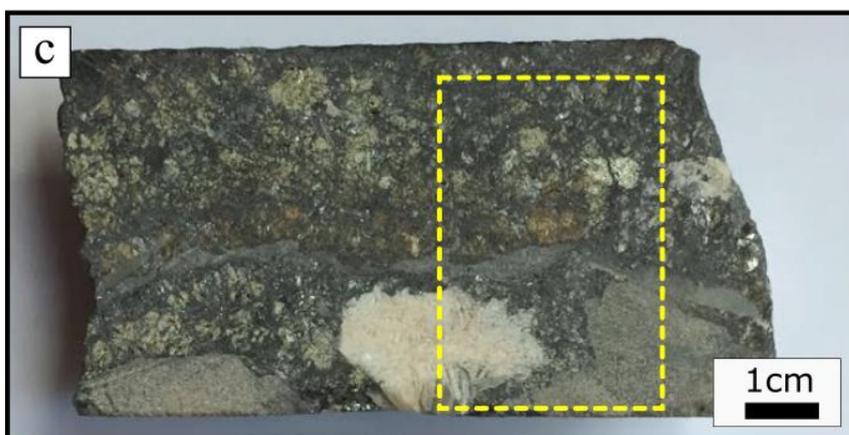


Figura 12:: Amostras 1-270 em (a), 1-271 (c) e 1-274 (e) do testemunho de sondagem BRSMSMDD0186 da área 1 do depósito Santa Maria, o retângulo amarelo representa a área que foi laminada. As fotos (b), (d) e (f) são as laminas delgadas sob luz polarizada das amostras 1-270, 1-271 e 1-274, respectivamente.

2-187



3-140



3-141

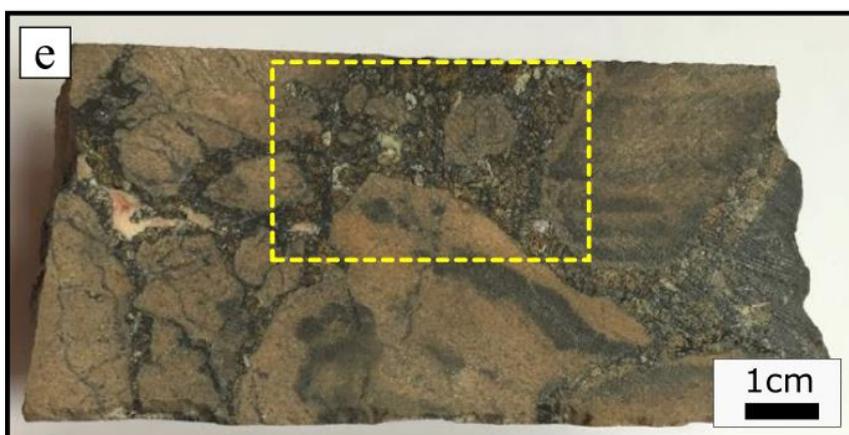


Figura 13: Amostra 2-187 em (a) do testemunho de sondagem BRSMSMDD0031 da área 2 do depósito Santa Maria. Amostras 3-140 e 3-141 do testemunho de sondagem BRSMSMDD0096 da área 3 do depósito Santa Maria. Os retângulos amarelos representam as áreas que foram laminada. As fotos (b), (d) e (f) são as laminas delgadas sob luz polarizada das amostras 2-187, 3-140 e 3-141, respectivamente.

6.1.2 PETROGRAFIA MICROSCÓPICA

Todas as amostras utilizadas neste trabalho foram laminadas e descritas em microscópio petrográfico de luz transmitida e refletida. Nestas amostras a esfalerita é mineral de minério mais abundante, o que não necessariamente reflete as características do depósito uma vez que foram selecionadas as amostras mais ricas no minério de zinco. Também cabe salientar que se priorizou a amostragem e laminação das zonas mineralizadas, uma parte pouco expressiva das amostras representa as rochas encaixantes e estas encontram-se muito modificadas pelos processos de mineralização.

As rochas hospedeiras do minério são arenitos finos e médios de composição arcoseana, moderadamente selecionados e comumente com grãos subarredondados com laminação pouco a moderadamente marcada (Figura 14.a Figura 14.c). As proporções entre os feldspatos são variáveis com uma tendência de predomínio de grãos de feldspato alcalino sobre os plagioclásios. A illita é o argilomineral mais frequente nas amostras e ocorre como vênulas milimétricas envelopando os minerais de minério.

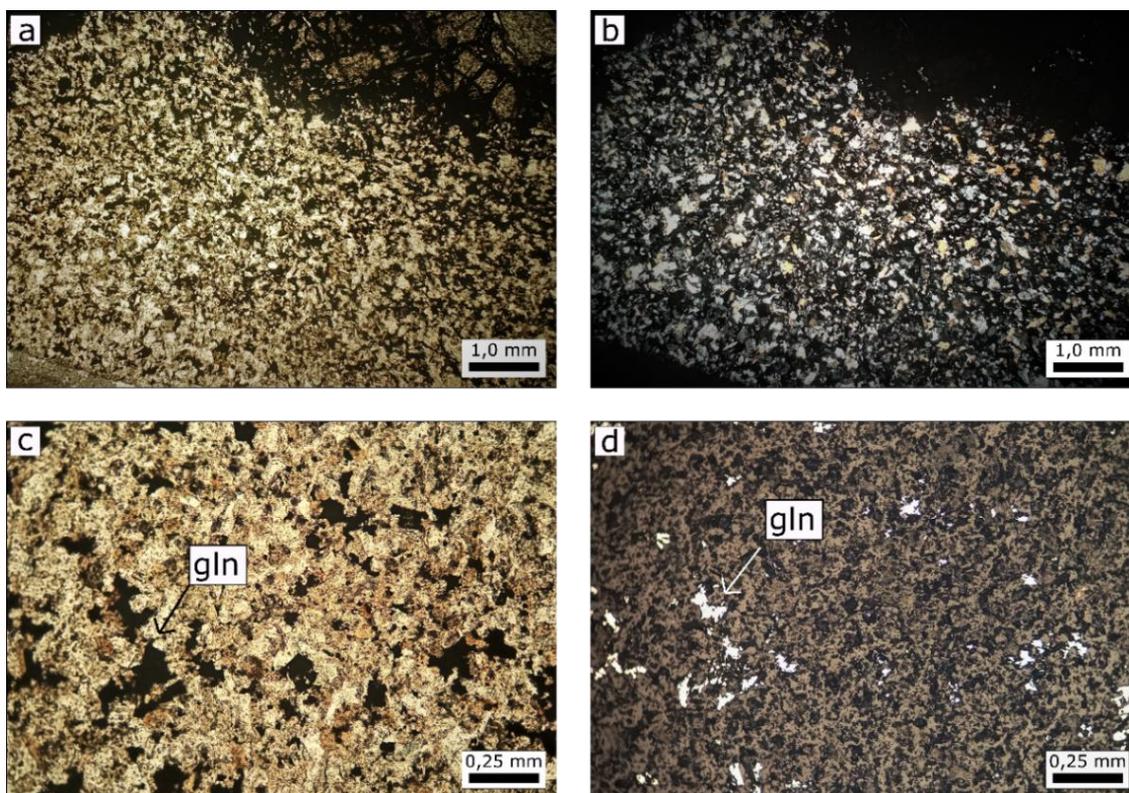


Figura 14 - Fotomicrografias dos arenitos hospedeiros do minério. Mineralização disseminada de galena preenchendo a porosidade da rocha em (a) sob luz transmitida natural, em (b) sob luz transmitida polarizada, em (c) sob luz transmitida natural e (d) sob luz refletida. Gln: galena.

A esfalerita ocorre como duas espécies distintas petrograficamente, uma translúcida ao microscópio de cor verde amarelada denominada de esfalerita I (Sph_I), e uma outra espécie opaca de cor cinza avermelhado denominada de esfalerita II (Sph_{II}). Observando-se em luz transmitida a esfalerita I ocorre como cristais milimétricos, subédricos, envoltos por uma coroa e cortados por vênulas opacas (esfalerita II \pm galena) (Figura 15.a, Figura 15.b). Usando-se simultaneamente a luz refletida e a luz transmitida do microscópio (Figura 15.b, Figura 15.c) é possível distinguir-se as duas espécies do minério de zinco, e a espécie opaca da galena (Figura 15.f). Utilizando-se somente luz refletida as duas espécies de esfalerita são rigorosamente iguais petrograficamente (Figura 15.e, Figura 15.f).

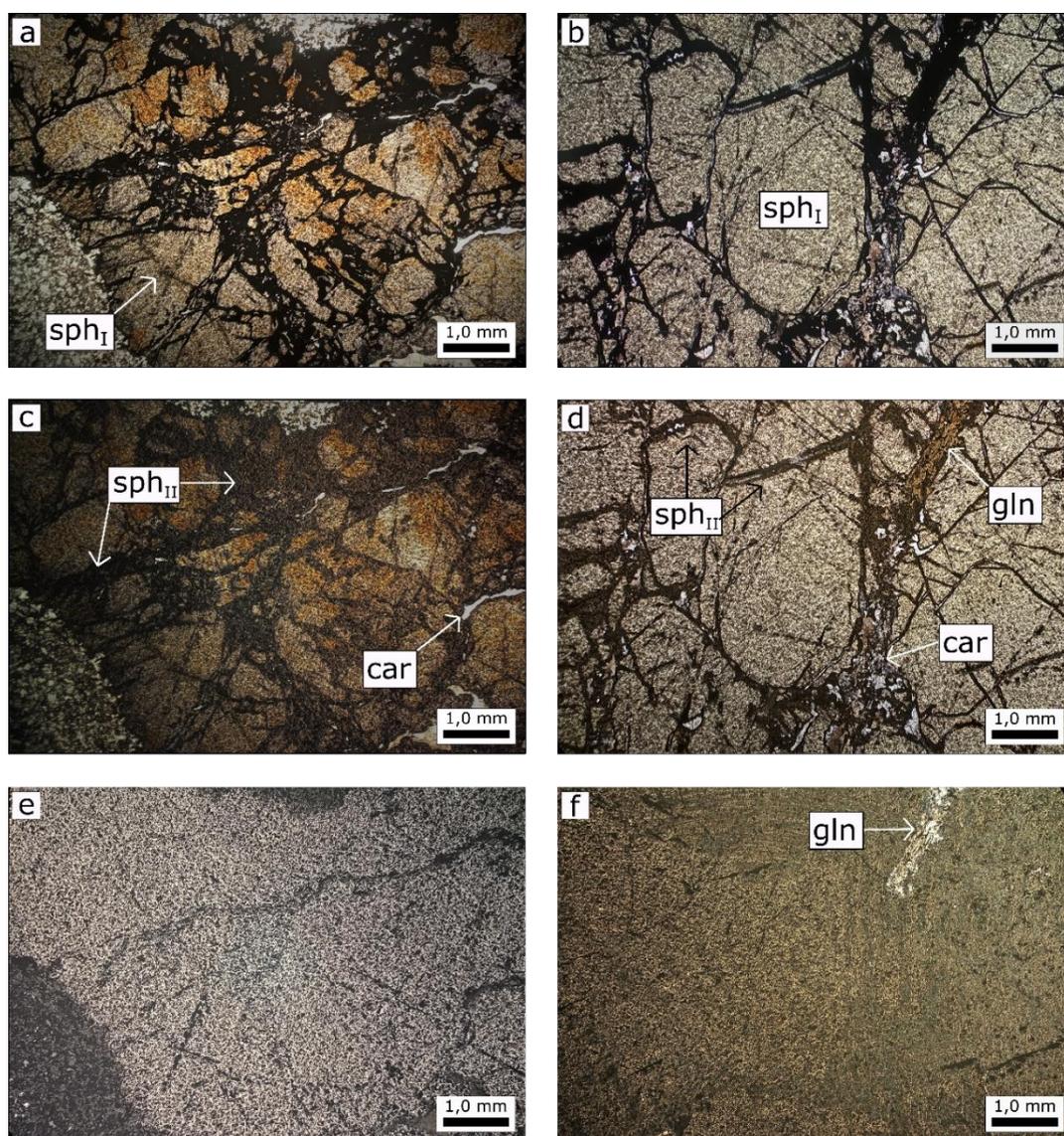


Figura 15: As fotos (a) (c) e (d) são de um mesmo campo de visão da amostra 3-141 mostrando as espécies de esfalerita translúcida e opaca em luz transmitida em (a), em luz transmitida e refletida usadas simultaneamente em (c) e sob luz refletida em (e). As fotos (b) (d) e (f) representam um mesmo campo de

visão da amostra 1-272, mostrando a esfalerita translúcida com coroas de esfalerita opaca associada a galena em luz transmitida em (b), em luz transmitida e refletida usadas simultaneamente em (d) e sob luz refletida em (f). Sph_{II}: esfalerita II, sph_I: esfalerita I, gln: galena, car: veios carbonáticos.

A esfalerita I ocorre em cristais de tamanhos milimétricos, subédricos a anédricos que formam veios de espessuras milimétricas a centimétricas (Figura 15.a, Figura 15.b), a esfalerita I também ocorrem como cristais dispersos pela rocha e em meio a zonas de ilitização da matriz da rocha (Figura 16.a). Em ambos os modos de ocorrência a esfalerita I está sempre associada a esfalerita II, e por vezes também com galena (Figura 15.b, Figura 16.d). Os veios de esfalerita I representam os volumes mais expressivos do minério de zinco nas amostras deste trabalho, como, por exemplo, nas amostras 1-139 (Figura 11.b) e 3-140 (Figura 13.c). Os cristais de esfalerita translúcida que ocorrem dispersos pela rocha, ocorrem em assembleia com a pirita e associados a esfalerita opaca e galena são restritos a amostra (Figura 11.a). A pirita que ocorre em assembleia com a esfalerita translúcida forma cristais milimétricos, euédricos frequentemente brechados por veios carbonáticos (Figura 16.a, Figura 16.b).

Nas amostras 3-140, 3-141, 1-270 e 1-274 a espécie translúcida apresenta zonações de cores acastanhadas (Figura 16.g, Figura 16.h). Em ambas as gerações de esfalerita ocorrem inclusões microcristalinas, brancas de hábito acicular e ocorrendo em duas direções perpendiculares entre si (Figura 16.d).

A esfalerita II apresenta cores cinza avermelhadas em luz refletida (Figura 15.c, Figura 15.d) e desenvolve-se como coroas nas bordas dos cristais de esfalerita translúcida (Figura 15.c, Figura 15.d) e como micro vênulas com formas irregulares dentro dos cristais da esfalerita I (Figura 16.a). Esta fase opaca está sempre associada a veios carbonáticos e, aparentemente é tão melhor desenvolvida, quanto mais abundantes são os veios carbonáticos. A esfalerita II frequentemente também ocorre misturada a massas anédricas de galena (Figura 15.d, Figura 17.g).

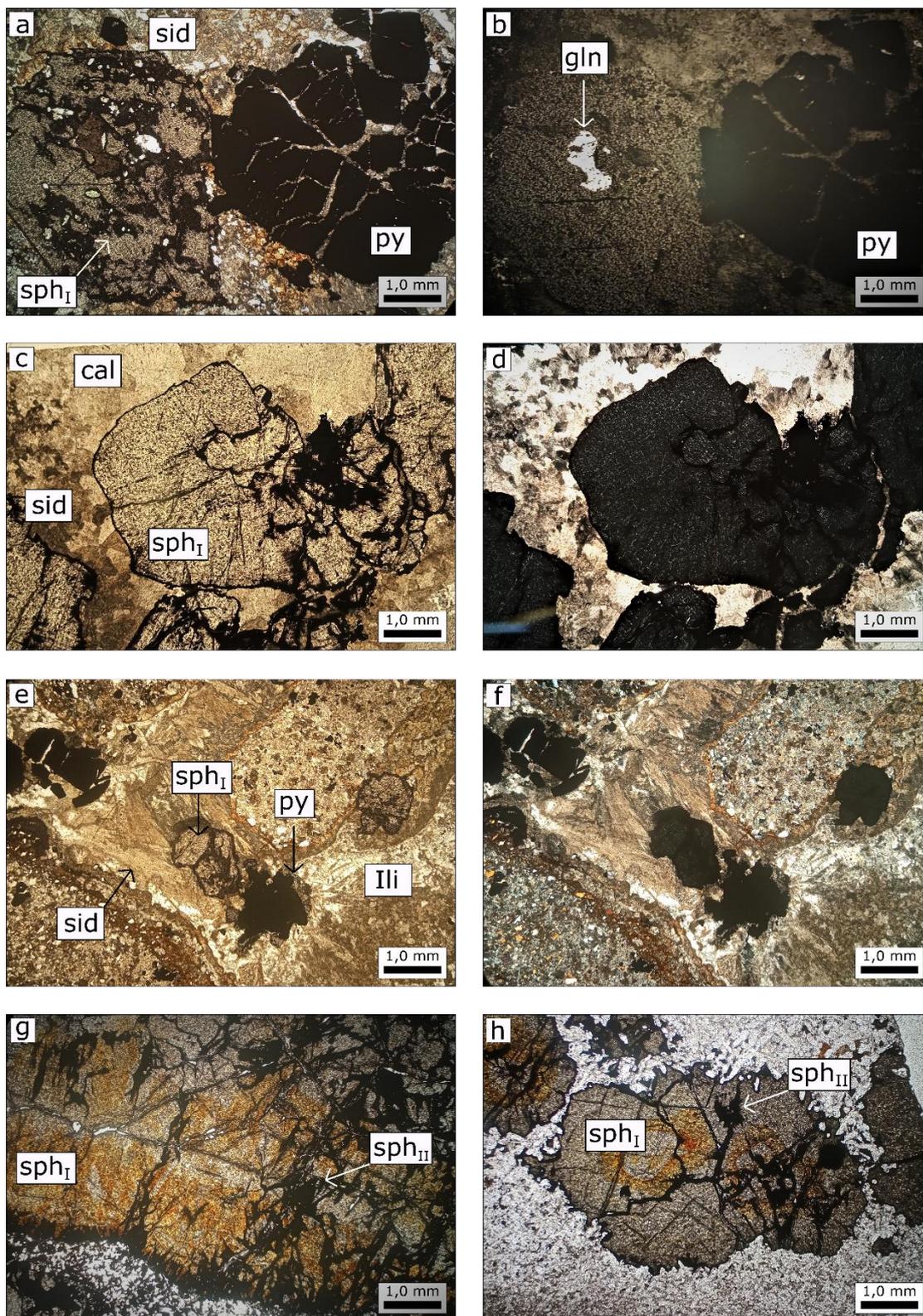


Figura 16: Esfalerita I associada a pirita em (a) e (b) da amostra 1-119, repare que o grão de pirita está brechado pelos veios carbonáticos. Esfalerita I em meio ao veio de carbonato tardio em (c) e (d) da amostra 1-139, na foto (d) é possível ver as inclusões micro cristalinas brancas. Esfalerita associada a pirita instabilizadas pelos veios de siderita e ilita em (e) e (f), da amostra 1-119. Zonações amareladas nos cristais de esfalerita em (g) e (h) das amostras 3-140 e 1-270, respectivamente. Sph_I: esfalerita I, sph_{II}: esfalerita II, gln: galena, py: pirita, cal: calcita, sid: siderita, Ili: Ilita.

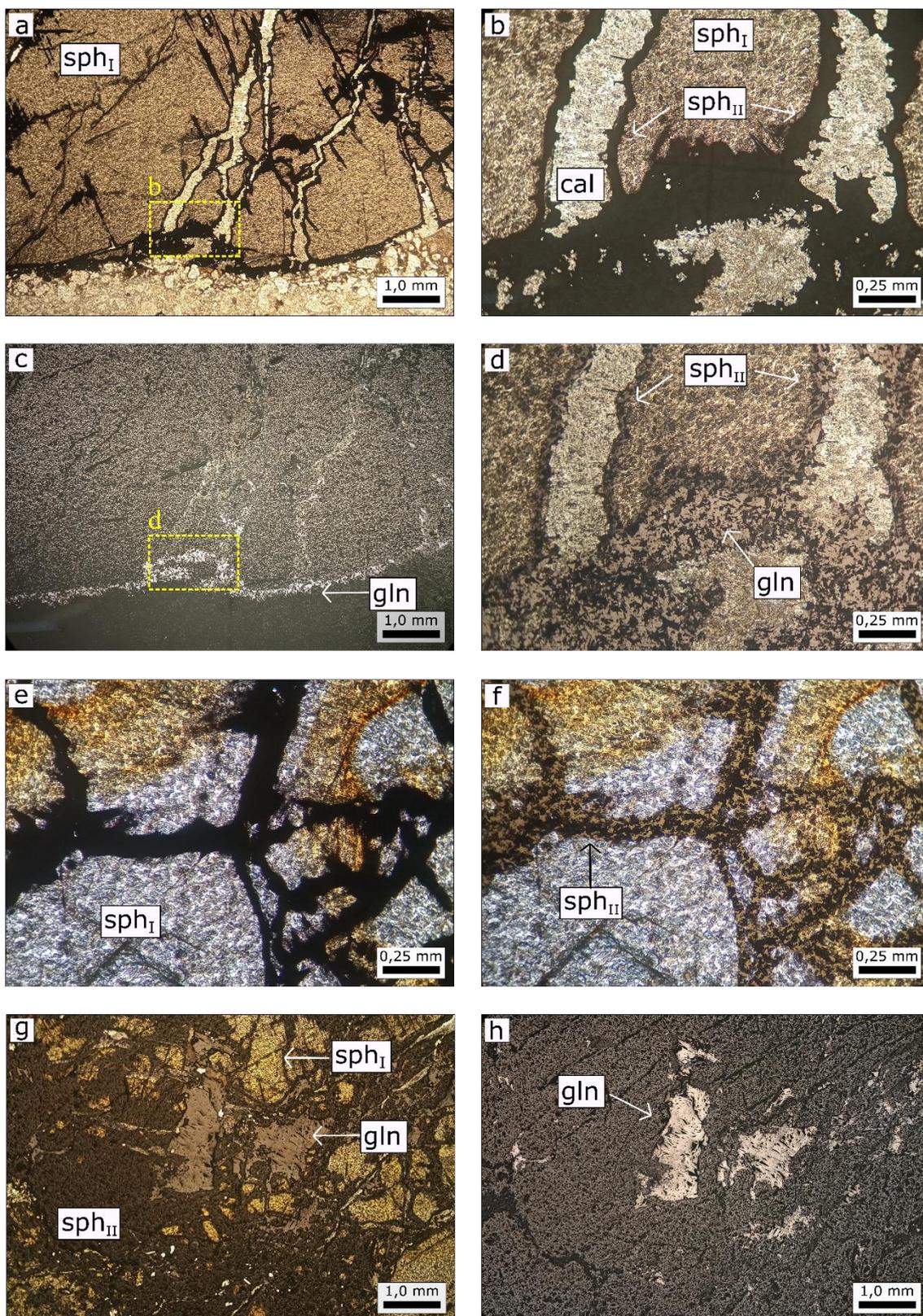


Figura 17: Cristal de esfalerita I da amostra 1-177 com veios carbonáticos e com a formação de esfalerita II em assembleia com a galena e associada aos veios carbonáticos em (a) sobre luz transmitida, e em (c) sob luz refletida, o retângulo amarelo nas fotos (a) e (c) representa os campos de visão das fotos (b) em luz transmitida e (d) em luz refletida, respectivamente. Detalhe das micro vênulas de esfalerita II dentro do grão de esfalerita I da amostra 1-271 sobre luz transmitida em (e) e em luz transmitida e refletida usadas simultaneamente em (f). Galena associada a formação de esfalerita II em (g) com luz transmitida

e refletida usadas simultaneamente e sobre luz refletida em (g) da amostra 1-274. *Sph_{II}*: esfalerita II, *sph_I*: esfalerita I, *gln*: galena, *cal*: calcita.

A galena é uma fase sulfetada relativamente abundante nas amostras deste trabalho. Também foram identificadas duas gerações do minério de chumbo, descritas neste trabalho como galena I e galena II.

A galena I ocorre em cristais subédricos, de tamanhos milimétricos que frequentemente ocorre em assembleia com pirita (Figura 18.c, Figura 18.d). Essa geração de galena é bem menos abundante que a galena II nas lâminas descritas.

A fase mais expressiva do minério de chumbo ocorre como massas anédricas misturadas a fase opaca da esfalerita (Figura 18.a, Figura 18.b), formando as coroas nas bordas e vênulas sub milimétricas dentro dos cristais de esfalerita translúcida. A galena que ocorre disseminada nos arenitos, em cristais anédricos preenchendo a porosidade da rocha, foi relacionada a segunda geração do minério de chumbo devido a continuidade física claramente observada na amostra 1-177.

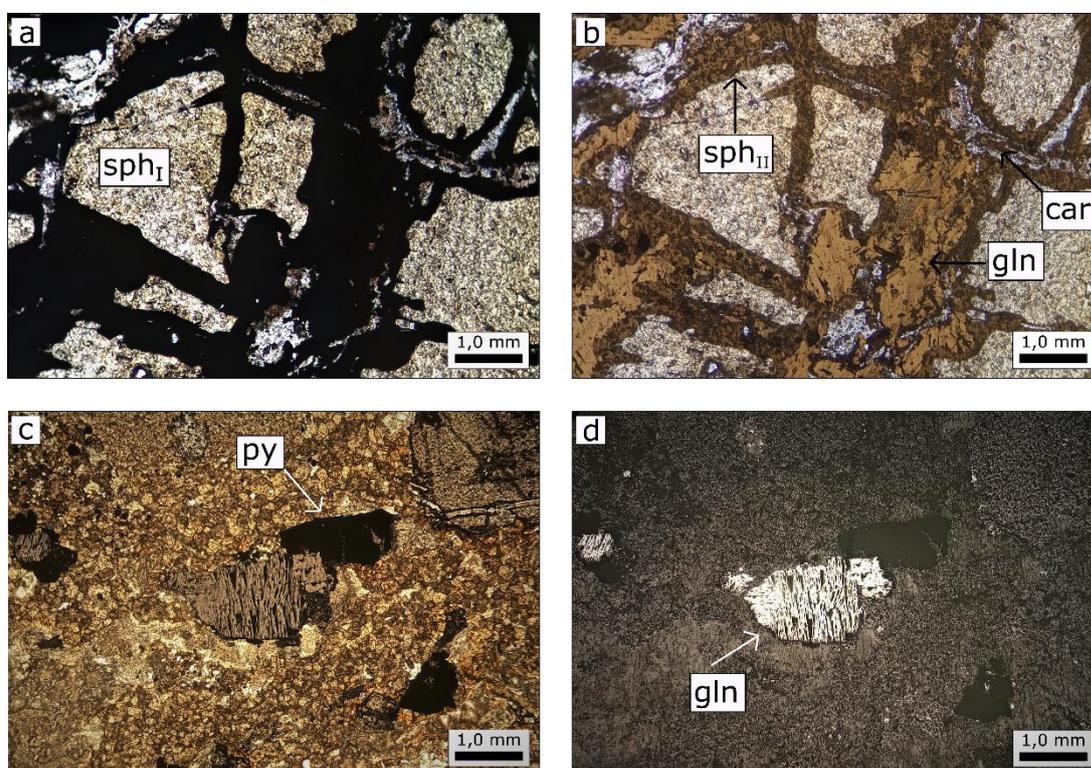


Figura 18: Assembleia de esfalerita opaca e galena II, associadas aos veios carbonáticos, como coroas nos cristais de esfalerita verde em (a) e (b). Galena I em assembleia com pirita em (c) e (d). *Sph_{II}*: esfalerita II, *sph_I*: esfalerita I, *gln*: galena, *py*: pirita, *car*: veios carbonáticos.

Nas amostras da Área 3 foi identificada uma assembleia de galena II \pm calcopirita \pm bornita (Figura 19.a, Figura 19.b). Os sulfetos de Cu e Fe ocorrem nas bordas desta geração de galena, com formas anédricas, inclusos nos cristais de esfalerita translúcida. A ocorrência dos sulfetos de Cu e Fe preferencialmente nas bordas da galena II, sugere que a precipitação de calcopirita e bornita ocorreu nas fases finais desta assembleia.

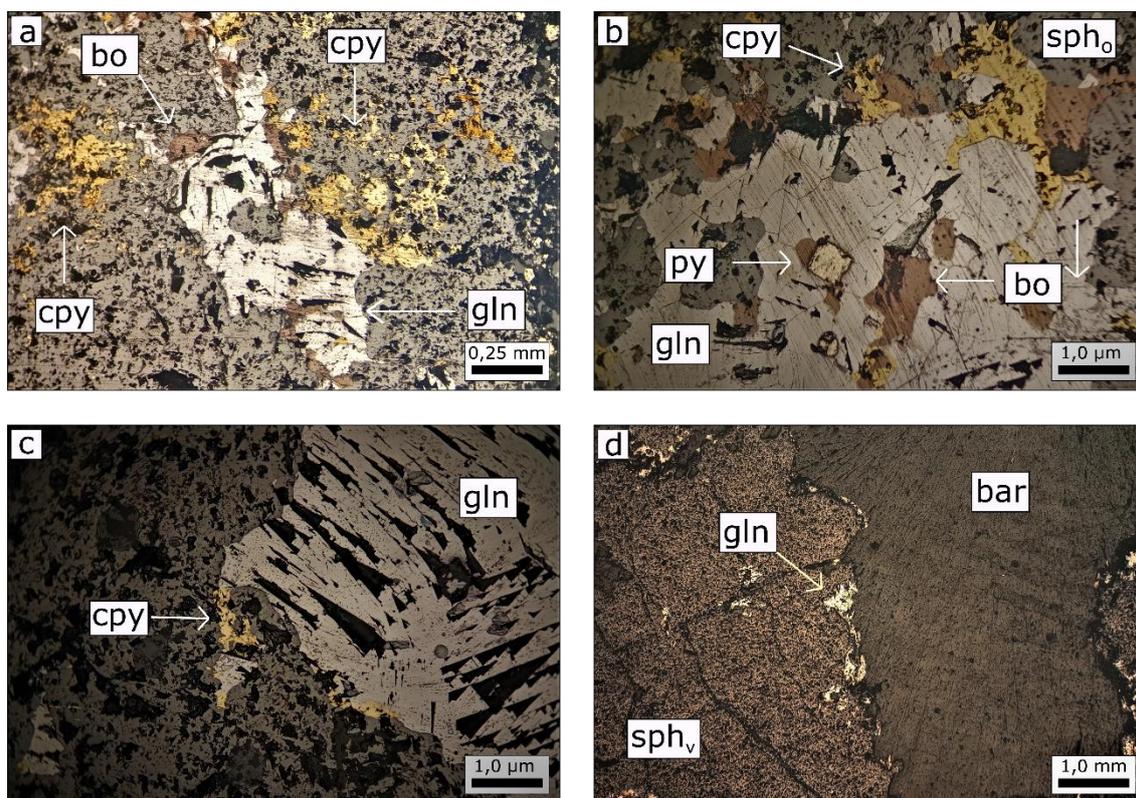


Figura 19: Assembleia de galena II com sulfetos de cobre e ferro em (a) (b) na amostra 3-140 e (c) na amostra 3-141. Galena remobilizada nas bordas do cristal de barita na amostra 3-140 em (d). *Sph_o*: esfalerita opaca, *sph_v*: esfalerita translúcida, *gln*: galena, *py*: pirita, *cpy*: calcopirita, *bo*: bornita, *bar*: barita.

Foram identificadas, portanto, duas gerações de assembleias de mineralização nas amostras deste trabalho. A primeira é representada pela assembleia esfalerita I \pm galena I \pm pirita. E a segunda: galena II \pm calcopirita \pm bornita, associadas aos veios carbonáticos e a formação da espécie de esfalerita II.

A fase de ganga mais comum são veios carbonáticos tardios, com proporções variadas de calcita, siderita e ankerita que ocorrem em espessuras de até 1 centímetro,

como na amostra 1-139 (Figura 11.c), não estando relacionados aos veios carbonáticos descritos anteriormente, que instabilizam o minério de zinco. A ocorrência de barita é restrita a amostra 3-141 (Figura 13.c), ocorre com padrão radial de crescimento. Este cristal de barita apresenta também uma cutícula de galena sub milimétrica (Figura 19.d).

6.2 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

Foram selecionadas áreas mais ricas no minério de zinco para as análises de rocha total, antes da realização das análises de microsonda eletrônica. Tratou-se de tentativa de identificar dois padrões para os picos das espécies de esfaleritas que poderiam indicar variações no conteúdo de ferro entre as duas espécies, como demonstrado na literatura por BARTON e TOULMIN (1966).

Entretanto as análises de Difractometria de Raios X de rocha total serviram para a caracterização das espécies carbonáticas associadas ao minério. Calcita, siderita e ankerita são as fases carbonáticas dominantes na amostra 1-119 (Figura 20). A análise semi-quantitativa de Difractometria de Raios X indicou cerca de 17% de siderita e 13% de ankerita na zona mineralizada desta amostra. Dolomita e ankerita também são fases carbonatadas presentes em algumas amostras. Quase todas as amostras apontaram a presença de illita, mesmo pelo método de rocha total.

O resultado das análises de Difractometria de Raios X de todas as amostras estão nos apêndices do trabalho.

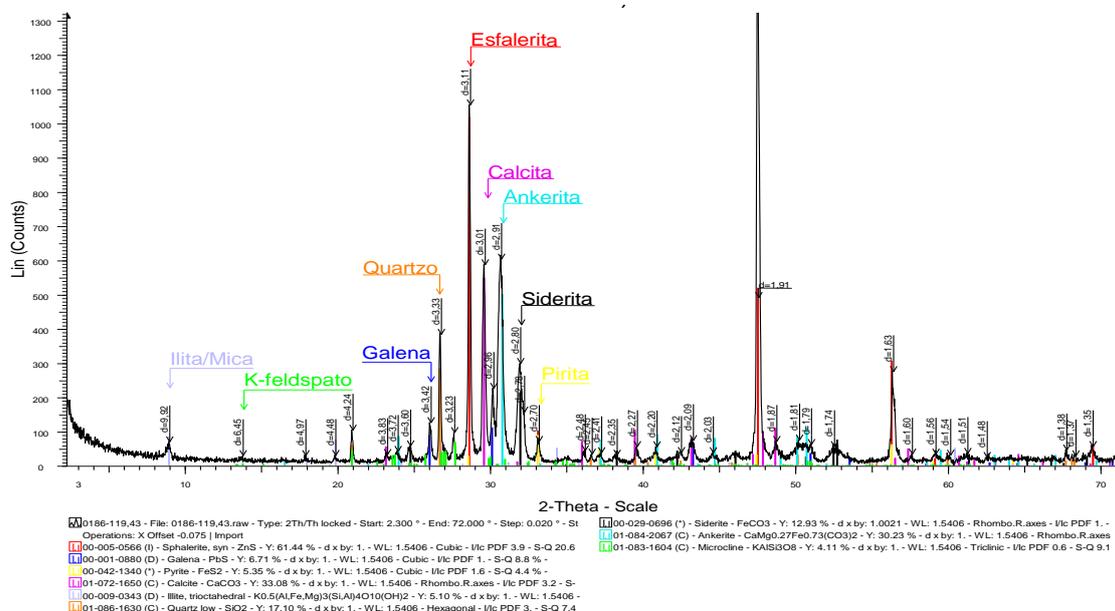


Figura 20: Difractograma de Rocha Total para a amostra 1-119.

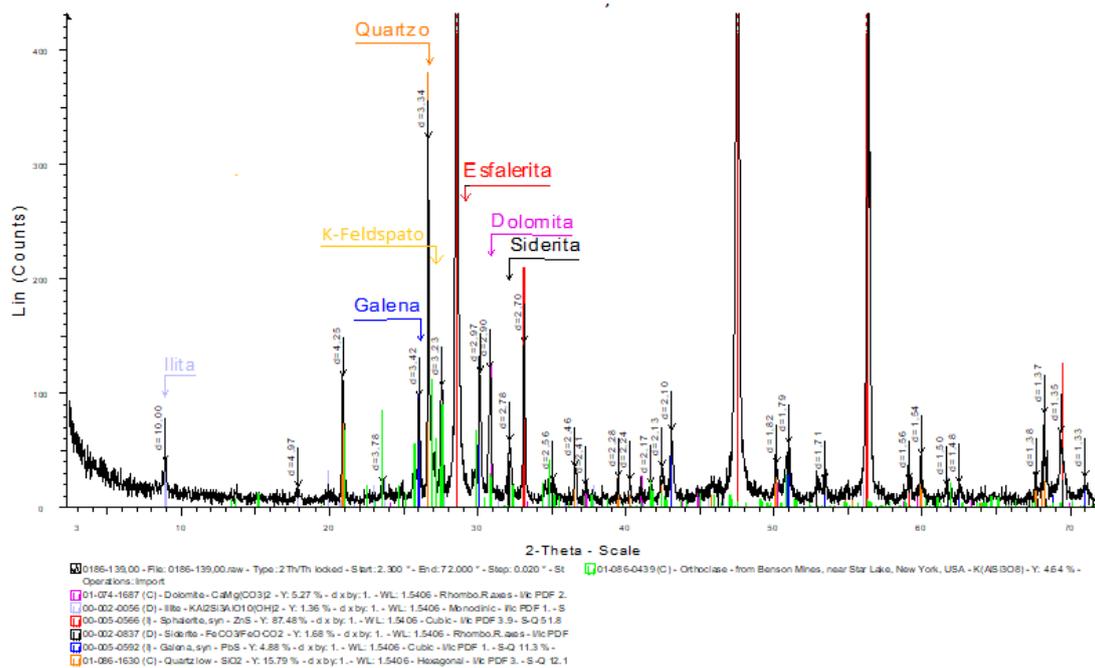


Figura 21: Difractograma de rocha total para a amostra 1-139.

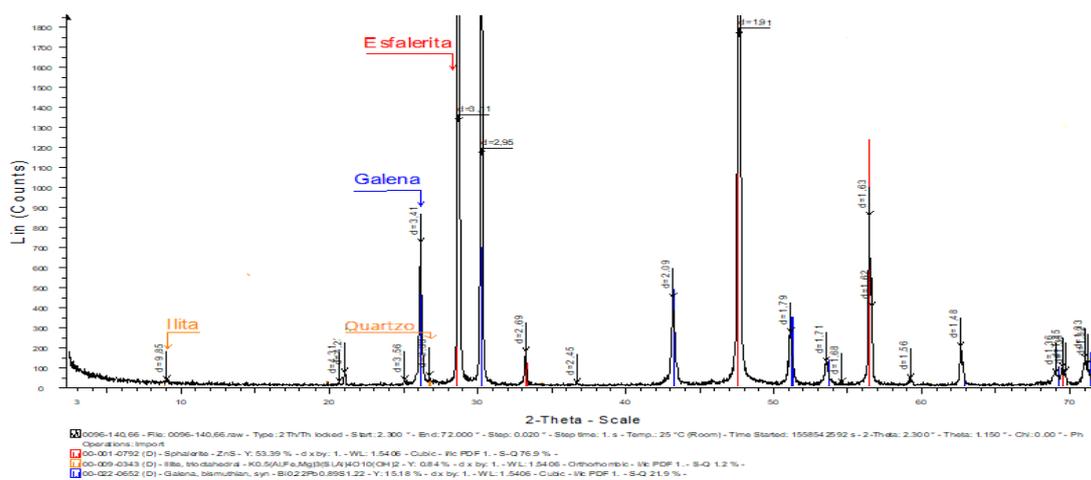


Figura 22: Difractograma de rocha total para a amostra 3-140.

6.3 MICROSSONDA ELETRÔNICA

Foram realizadas mais de 350 análises de química mineral pontual nas amostras 1-119, 1-177, 1-271 e 3-140, também foram feitos perfis composicionais nas amostras 1-177 e 1-119, além de um mapa composicional na amostra 1-177. Os elementos químicos selecionados para análise pontuais e para o mapa composicional foram: Zn, Fe, Cu, Pb e S, com a adição de Ca no espectrômetro EDS para os perfis composicionais. Para a confecção dos gráficos de química mineral utilizou-se somente análises com o fechamento da porcentagem em peso entre 99,00% e 101,00%. As análises de química mineral pontual para as espécies de esfalerita somam mais de 200 análises com o fechamento dentro dos valores estabelecidos.

As análises realizadas nas espécies de esfalerita apresentaram porcentagens em peso de Cu e Fe variáveis entre valores nulos a até cerca de 1,5%. Nas amostras 1-177 e 1-271 o gráfico Zn x Fe (Figura 23.a), ambas as espécies de esfalerita (Sph I e Sph II) apresentam quantidades de ferro similares para cada amostra analisada, os resultados de cada amostra apresentam uma tendência de formar aglomerados, isto é, não variações significativas do ferro para as espécies de esfalerita I e II. Os resultados das análises de química mineral na amostra 1-119 (Figura 24), apresentam um padrão de aglomerados de pontos para a esfalerita I e uma tendência de aumento da quantidade de ferro em detrimento do Zinco para a esfalerita II. A amostra 3-140 tem seus resultados em um aglomerado um pouco menos denso que as demais amostras, mas ainda sim com valores de Fe, em peso, similares ao das outras amostras (Figura 25).

O gráfico Zn x Cu (Figura 23.b) apresenta resultado um padrão de variações composicionais diferentes do gráfico de Zn X Fe. Há uma clara diferença composicional para o Cu entre as espécies de esfaleritas opacas e translúcidas. A espécie translúcida apresenta valores próximos a 0,0% de Cu em peso, enquanto a espécie opaca apresenta resultados de até 1,6% em peso.

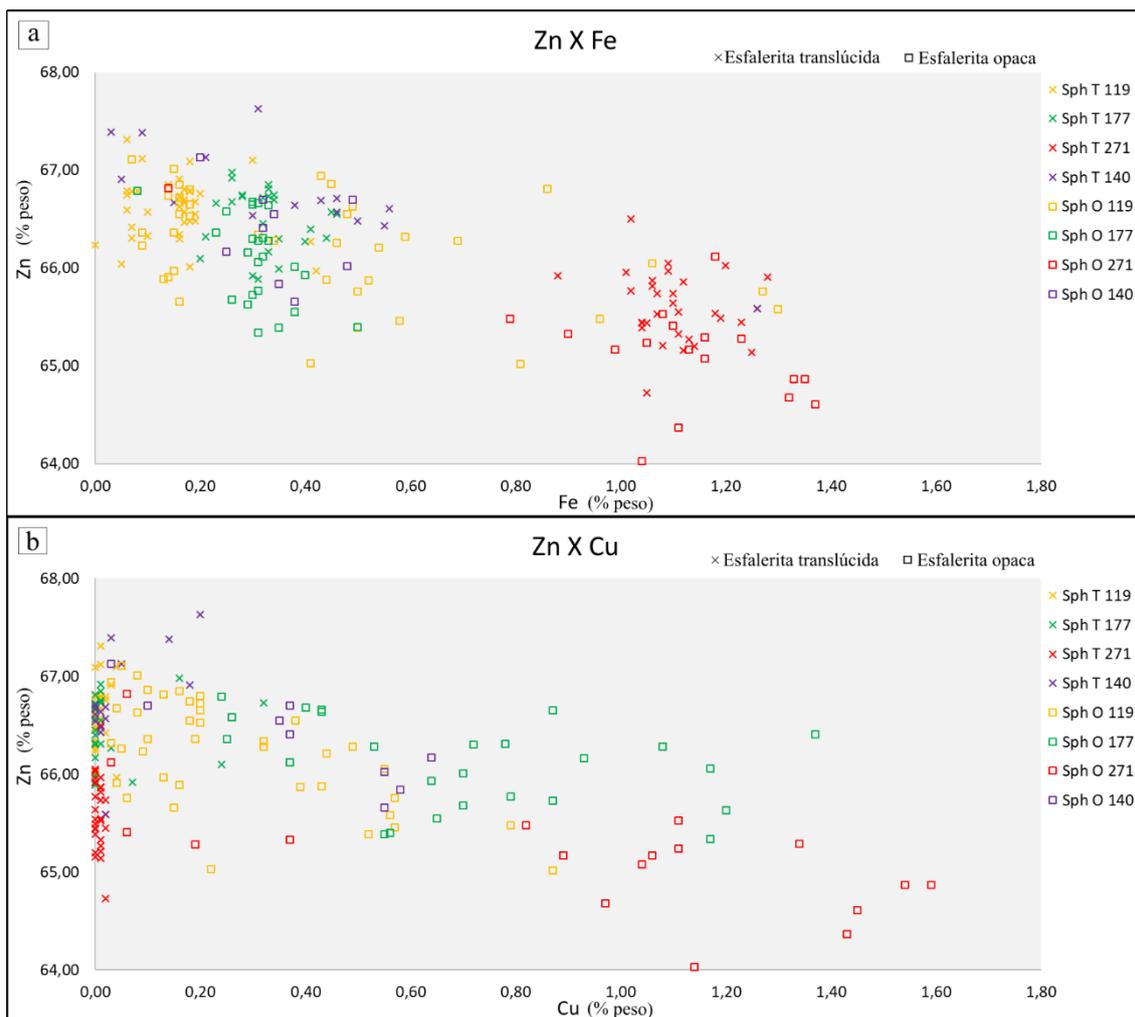


Figura 23: Gráfico composicional de Zn X Fe para as espécies translúcida e opaca de esfalerita em (a) e de Zn X Cu em (b). O “x” representa a espécie translúcida e o “□” a espécie opaca, as cores representam as amostras.

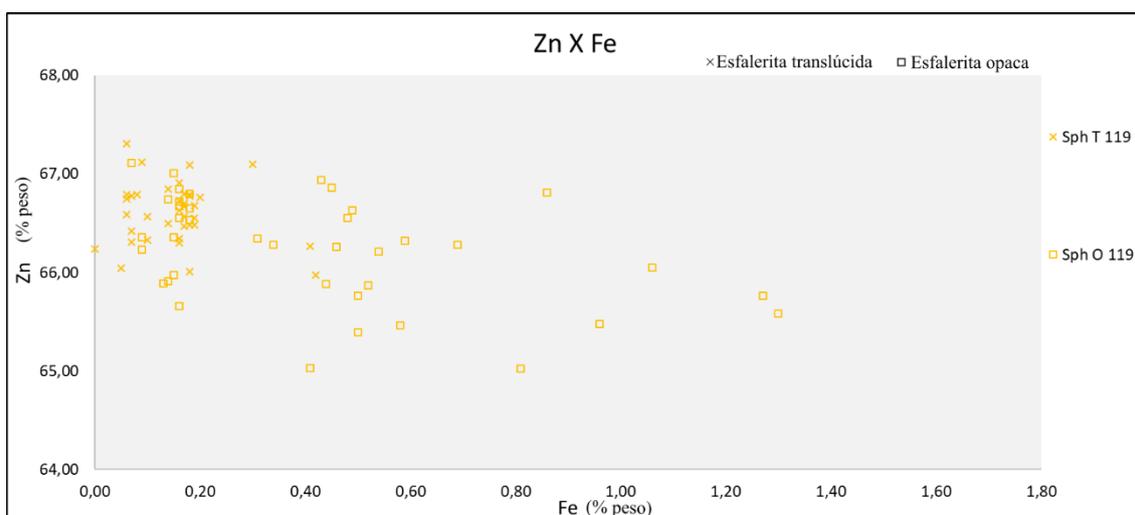


Figura 24: Gráfico composicional de Zn X Fe para a amostra 1-119. O “x” representa a espécie translúcida e o “□” a espécie opaca.

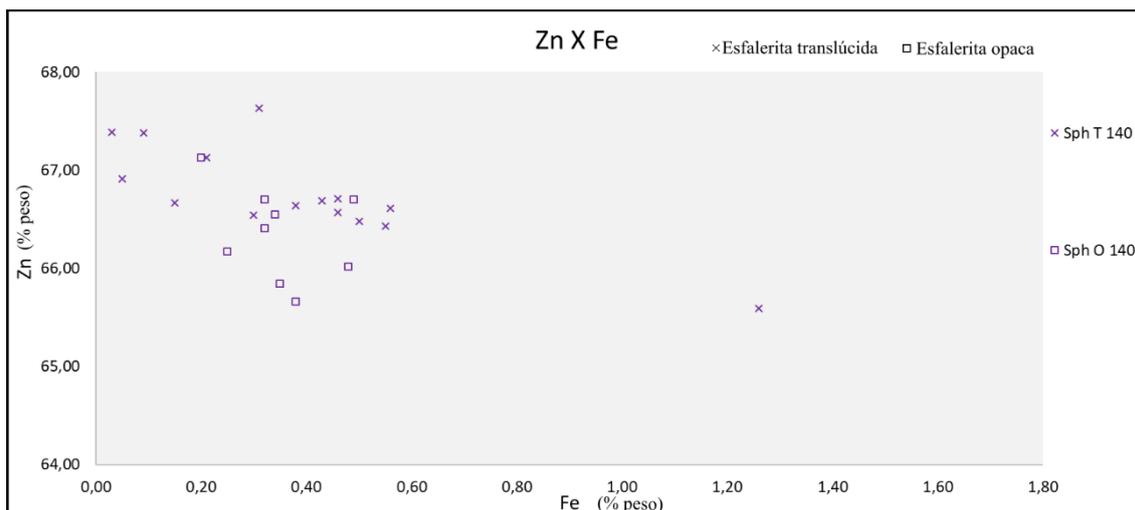


Figura 25 Gráfico composicional de Zn X Fe para a amostra 3-140. O “x” representa a espécie translúcida e o “□” a espécie opaca.

Foi realizado um perfil composicional na amostra 1-119 (Figura 26.a) de 150 μm de comprimento, e outro de 140 μm na amostra 1-177 (Figura 27.a). Em ambos os casos o perfil foi realizado saindo de um cristal de esfalerita translúcida (porção esquerda do gráfico) até um veio carbonático (porção direita do gráfico), passando pela zona de interferência do veio carbonático na esfalerita, onde forma-se a esfalerita II. A localização dos perfis está marcada em vermelho nas Figura 26.b e Figura 27.b.

Na amostra 1-119 o Cu apresenta um aumento significativo no sentido do veio, na região onde ocorre a espécie opaca, localizada entre os pontos 70 μm e 90 μm do eixo “x” do gráfico (Figura 26.a). Também é possível notar um aumento, ainda que muito tímido, para o Fe no mesmo sentido e nessa mesma região indicada, para o Cu. O S e o Zn apresentam o mesmo padrão de diminuição no sentido do veio carbonático, enquanto o Fe e o Ca aumentam significativamente a partir de 90 μm . Note que a proporção de Fe dentro do veio carbonático é pouco homogênea. Para o Pb foi detectado apenas um ruído na análise

No gráfico do perfil composicional da amostra 1-177 (Figura 27.a), os resultados indicam um aumento de Cu a partir de 50 μm no sentido do veio carbonático, mesma zona onde o Zn começa a apresentar oscilações. O Fe e o Ca apresentam padrões de aumento muito parecidos na zona do perfil onde começa o veio carbonático. O Pb apresenta um aumento pontual na região de 85 μm associado com um tímido aumento de

S na mesma região, onde ocorre um cristal de galena II associada com a formação da esfalerita II (Figura 26.b).

Os mapas composicionais foram realizados na amostra 1-177, também em uma zona onde ocorre um cristal de esfalerita I cortado por um veio carbonático com a formação de esfalerita II (Figura 28.a, Figura 28.b).

O Fe ocorre em concentrações muito mais significativas dentro do veio carbonático que nas espécies de esfalerita, a proporção de Fe transiciona de modo abrupto das bordas do veio para o cristal de esfalerita (Figura 28.c). Também é possível notar a heterogeneidade do Fe dentro do veio carbonático com variações entre o amarelo e o vermelho. O cobre ocorre em proporções anômalas na região de contato entre o veio e o cristal de esfalerita e apresenta uma distribuição de concentração difusa dentro do cristal de esfalerita, isto é, com contatos mais graduais entre a borda do veio e a esfalerita (Figura 28.d). Há uma anomalia negativa da concentração de S nas bordas do veio (Figura 28.f), relacionável com uma anomalia positiva de Pb (Figura 28.g). O Ca concentra-se dentro do veio carbonático sem variações significativas de concentração. O Zn concentra-se na região da esfalerita, com algumas variações de concentração, entre tonalidades vermelha e verde (Figura 28.e), note que há uma depleção em Zn no quadrante superior esquerdo, relacionável ao Cu (Figura 28.d).

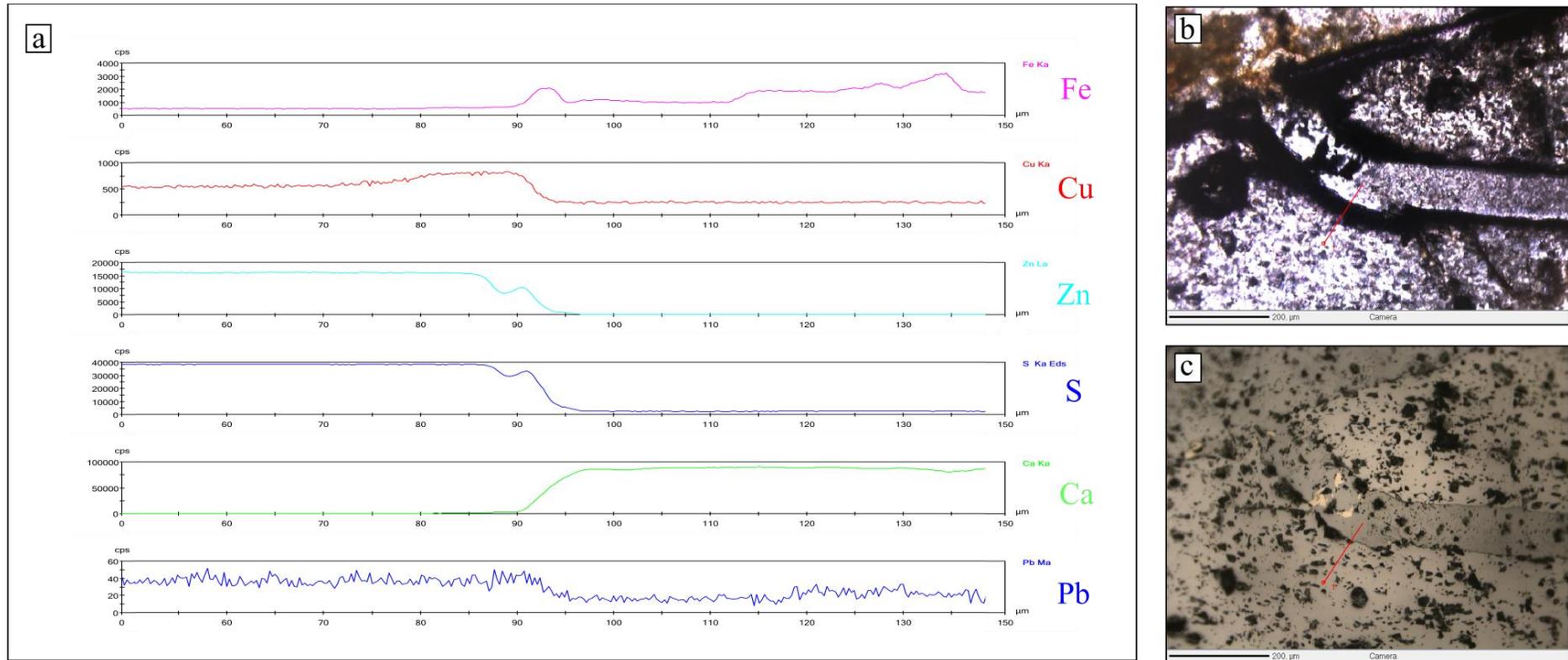


Figura 26: Perfil composicional da amostra 1-119 em (a), selecionou-se a região central do perfil com a finalidade de mostrar melhor a zona onde ocorrem as variações composicionais das espécies de esfalerita e do carbonato, a versão completa encontra-se nos apêndices do trabalho. Localização do perfil nas fotos em luz transmitida em (b) e em luz refletida em (c).

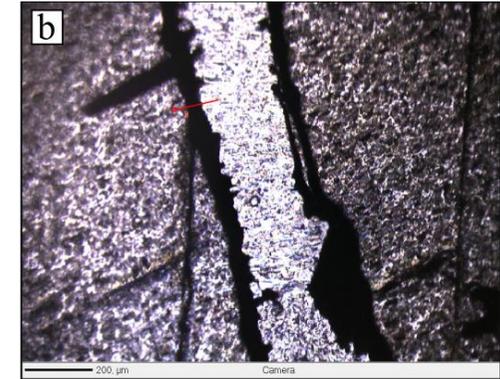
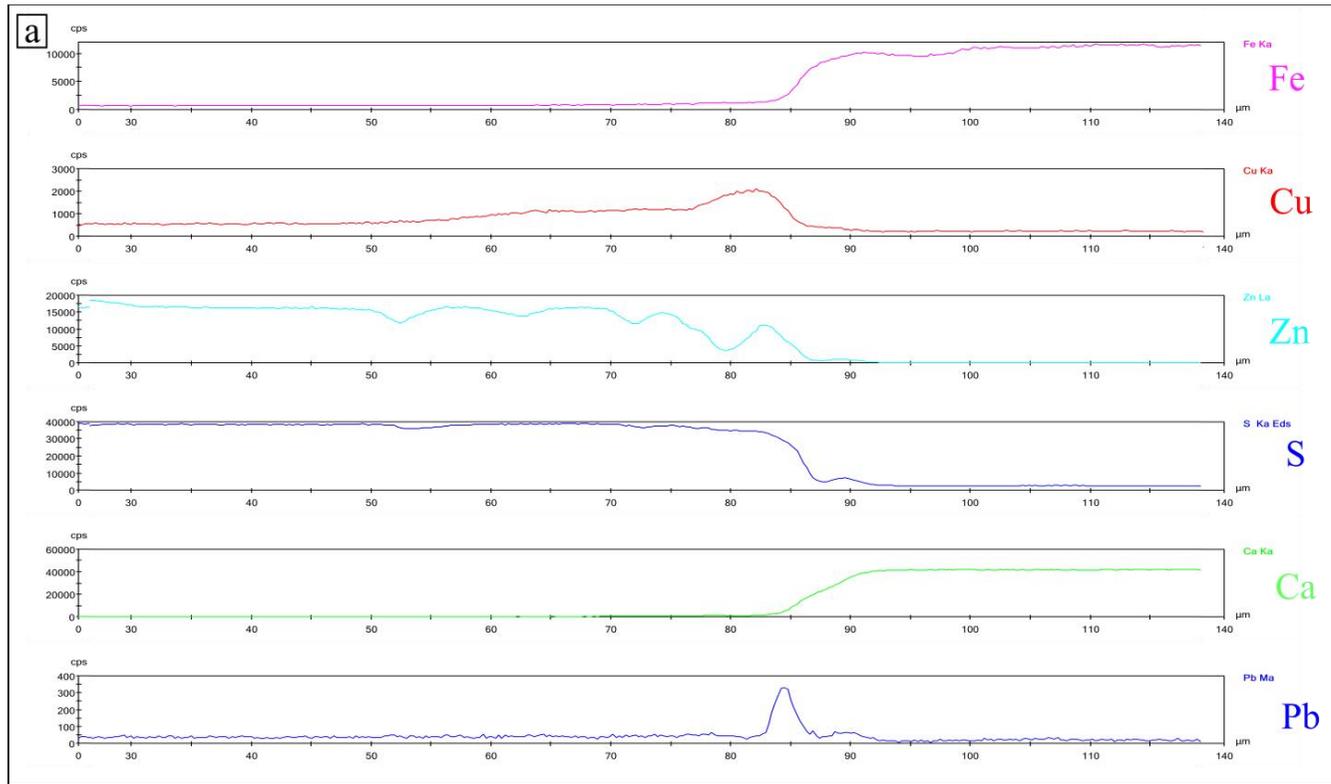


Figura 27: Perfil composicional da amostra 1-177 em (a), selecionou-se a região central do perfil com a finalidade de mostrar melhor a zona onde ocorrem as variações composicionais das espécies de esferalerita e do carbonato, a versão completa encontra-se nos apêndices do trabalho. Localização do perfil nas fotos em luz transmitida em (b) e em luz refletida em (c).

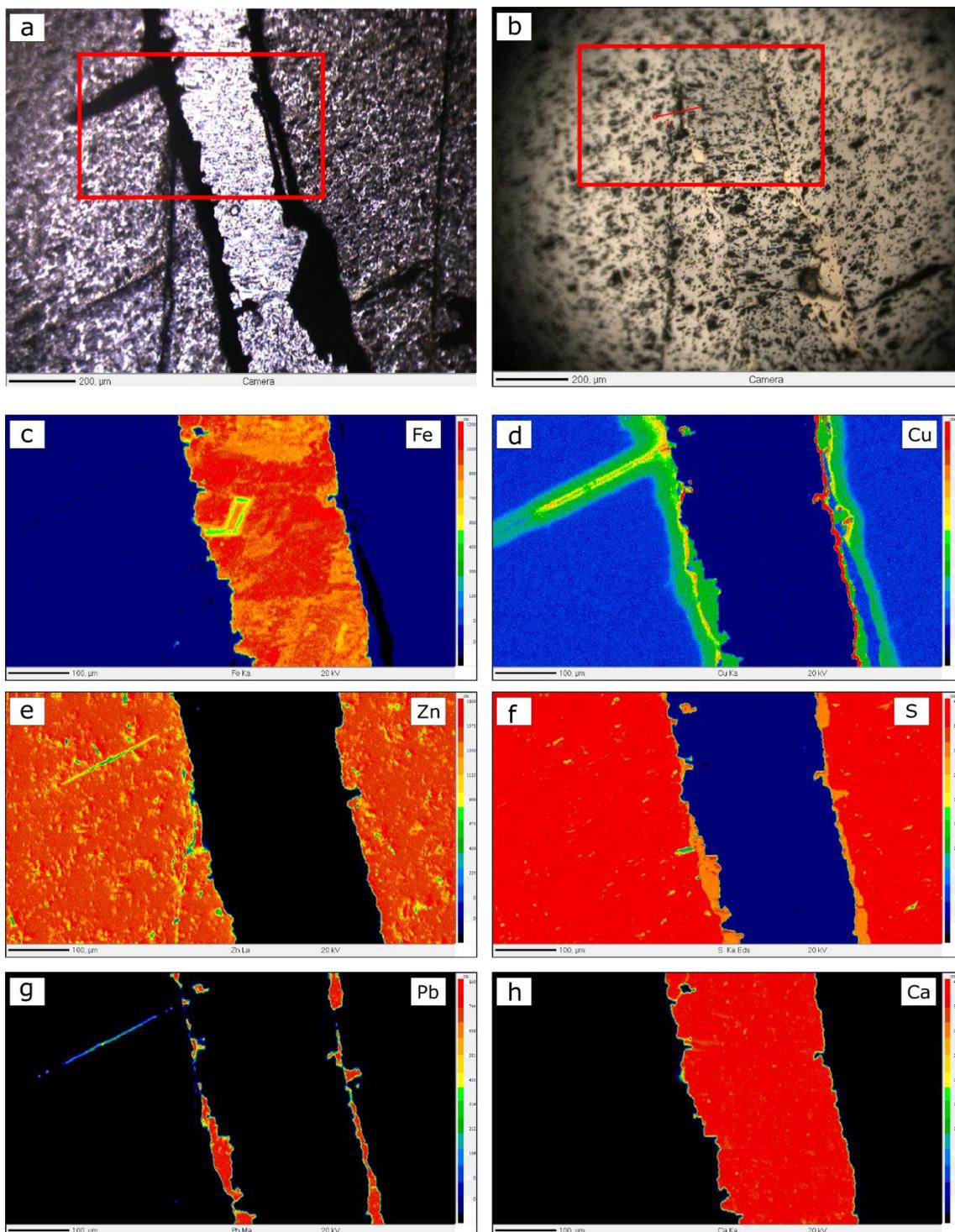


Figura 28: Área que foram confeccionados os mapas composicionais destacadas em vermelho nas fotos (a) sobre luz transmitida e em (b) sob luz refletida. Os elementos mapeados foram Fe, Cu, Zn, S, Pb e Ca, os resultados estão nas imagens (c), (d), (e), (f), (g) e (h), respectivamente. Ao lado esquerdo de cada mapa composicional está uma escala de cor relacionada a concentração do elemento.

6.3.1 CÁLCULO DA FÓRMULA ESTRUTURAL DAS ESFALERITAS

Calculou-se uma fórmula estrutural para cada uma das espécies de esfaleritas de cada amostra, o resultado está sumarizado na tabela abaixo.

Tabela 3: Fórmulas estruturais das esfaleritas I e II para cada amostra analisada.

Amostra	Esfalerita I	Esfalerita II
1-119	(Zn _{0,997} , Fe _{0,003} , Cu _{0,000}) S	(Zn _{0,990} , Fe _{0,008} , Cu _{0,003}) S
1-177	(Zn _{0,994} , Fe _{0,006} , Cu _{0,000}) S	(Zn _{0,983} , Fe _{0,005} , Cu _{0,011}) S
1-271	(Zn _{0,981} , Fe _{0,019} , Cu _{0,000}) S	(Zn _{0,964} , Fe _{0,019} , Cu _{0,016}) S
3-140	(Zn _{0,992} , Fe _{0,007} , Cu _{0,000}) S	(Zn _{0,989} , Fe _{0,006} , Cu _{0,005}) S

A percentagem molar de FeS nas esfaleritas apresentaram valores relativamente homogêneos para cada amostra analisada da Área 1 do depósito Santa Maria, e um pouco menos homogêneo para a amostra analisada da área 3.



Figura 29: Gráfico de percentagem molar de FeS nos cristais de esfalerita I das amostras 1-119, 1-177, 1-271 e 3-140.

6.4 ESTIMATIVA DO ESTADO DE SULFETAÇÃO DO DEPÓSITO SANTA MARIA

Os resultados de química mineral obtidos para as espécies de esfalerita foram convertidos de % em peso, para as proporções molares dos elementos químicos. A conversão foi feita para adequação dos resultados deste trabalho com os gráficos propostos na literatura, que relacionam a química mineral com o estado de sulfetação do depósito mineral. Para interpretação do estado de sulfetação do fluido hidrotermal usou-se somente os dados da amostra 1-119, onde o minério de zinco ocorre associado a pirita.

Os valores de percentagem molar de Fe obtidos na amostra 1-119 variam entre 0,740 e 0,089, demonstrados no gráfico da (Figura 29).

As temperaturas de homogeneização em inclusões fluidas primárias de esfaleritas e carbonatos do depósito Santa Maria caem entre 117 e 289°C com uma média em 210°C (LIMA, 1998 apud REMUS *et al.*, 2000).

Associando-se este espéctro de temperaturas com os dados de química mineral deste trabalho é possível estimar as condições do estado de sulfetação da assembleia I do depósito Santa Maria estão entre condições de sulfetação intermediária a alta (Figura 30).

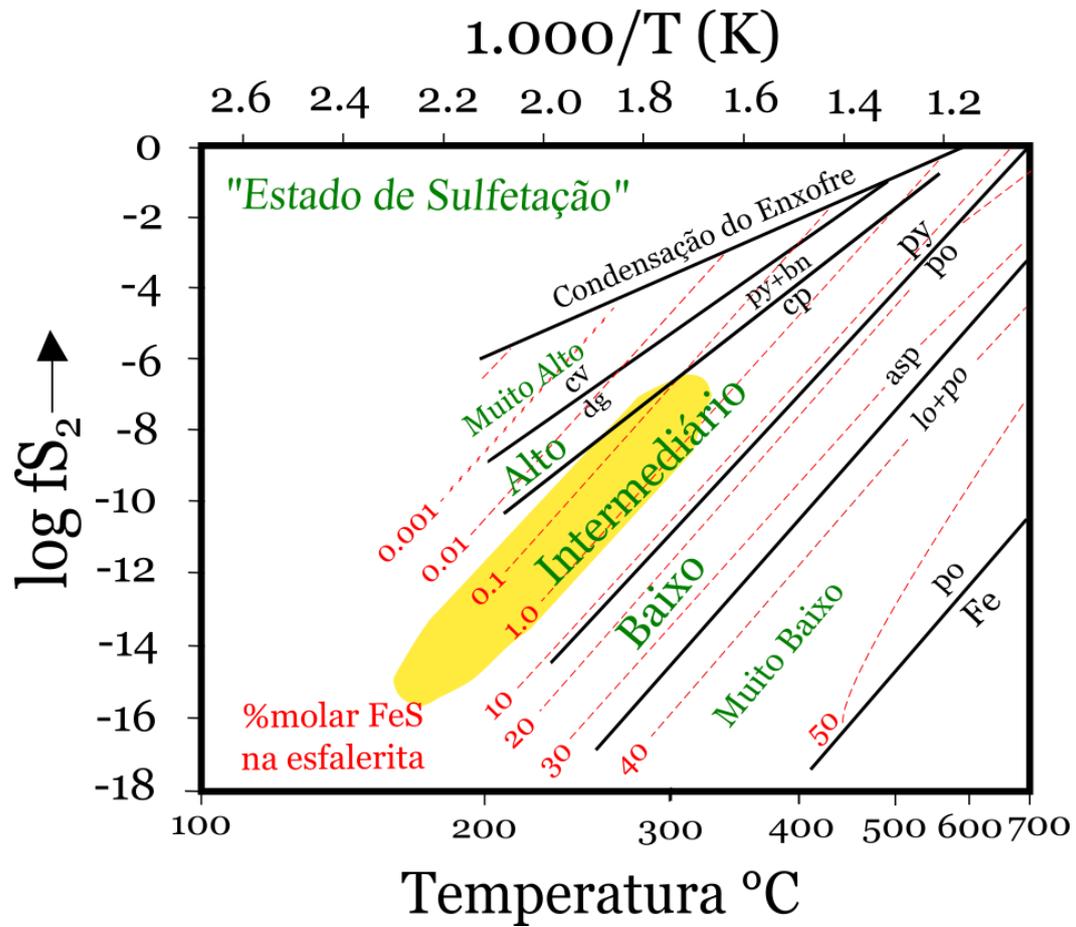


Figura 30: Região estimada para as condições de formação da esfalerita I da amostra 1-119 destacada em amarelo no diagrama de estabilidade das fases sulfetadas do sistema Zn-Fe-S. Adaptado de FONBOTÉ, KOUZMANOV, et al. (2017).

7. DISCUSSÕES

A concepção de que o sistema hidrotermal que mineralizou as rochas da região de Minas do Camaquã ocorreu a partir de pulsos de fluidos que evoluíram em termos composicionais é suportada por diversos autores (e.g. LAUX *et al.*, 2005; RENAC *et al.*, 2014, RIOS, 2012; LINDENBERG, 2014; DRIEMEYER, 2018). Embora os referidos trabalhos não estejam perfeitamente em acordo acerca de suas interpretações a respeito da ordem de precipitação do minério, composições químicas e isotópicas dos fluidos e modelos metalogenéticos, é consenso que a mineralização ocorreu em diversos pulsos hidrotermais.

O estudo petrográfico das amostras identificou uma espécie de esfalerita primária (Sph I), translúcida ao microscópio, e uma espécie opaca ao microscópio (Sph II). A espécie opaca é claramente o resultado de uma alteração química sobre a esfalerita I pela interação com os fluidos carbonáticos. Esta espécie ocorre como cutículas, nas bordas nos cristais de esfalerita I, e como micro vênulas dentro dos grãos da esfalerita I. Os gráficos de química mineral sugerem que a mudança da característica óptica entre as esfaleritas é em função do aumento da quantidade de Cu, não demonstrado qualquer relação com as variações das concentrações de Fe no minério de Zinco.

Na amostra 1-119 os cristais de esfalerita e de pirita ocorrem em assembleia (Figura 16.a). Nesta amostra, a esfalerita I ocorre como cristais subédricos a euédricos dispersos pela rocha, ao contrário da maioria das amostras, onde a esfalerita tende a formar veios de espessuras centimétricas. A pirita e a esfalerita apresentam padrões distintos de interação com os veios carbonáticos. Enquanto a pirita apresenta feições de quebra (brechação) por estes veios, a esfalerita apresenta feições de reação química com estes veios, formando a esfalerita II, pelo enriquecimento em Cu.

Também foram identificadas pelo menos duas gerações de galena. Uma geração identificada como galena I, que ocorre como cristais milimétricos subédricos, frequentemente em assembleia com a pirita, restrita a poucas amostras. A geração de galena mais tardia, denominada de galena II, ocorre como cristais anédricos em clara associação com a formação das cutículas e vênulas de esfalerita opaca.

Os sulfetos de Cu e Fe ocorrem como traços nas amostras da Área 1 e em proporções um pouco mais expressivas nas amostras da Área 3. Calcopirita e bornita são

as fases principais e ocorrem em assembleia com a galena II, preferencialmente nas bordas dos cristais de galena (Figura 19.a, Figura 19.b). A ocorrência destas fases sulfetadas de Cu e Fe preferencialmente nas bordas dos grãos de galena II, sugere que a calcopirita e a bornita cristalizaram em fases mais tardias da mesma assembleia que formou a galena II.

Os veios carbonáticos ocorrem em todas as amostras da Área 1 e 3, e estão sempre associados a formação da esfalerita II e frequentemente também associados com a galena II. Esses veios são compostos por misturas em proporções variáveis de calcita e siderita, com dolomita e ankerita subordinadas. As relações petrográficas da esfalerita II com os veios carbonáticos e o enriquecimento destas em Cu, sugerem este elemento foi trazido pelos fluidos que formaram os veios carbonáticos. Este sistema também continha proporções significativas de Fe, indicado pela presença de siderita nas amostras. Na amostra 1-139 ocorre um veio de calcita com siderita subordinada, sem feições de reação com as esfaleritas I e II, entendido como uma fase mais tardia. As fases de ganga tardias são barita e calcita + siderita, identificadas somente nas amostras 3-140 e 1-139, respectivamente.

As assembleias sulfetadas identificadas neste trabalho são, portanto, em ordem cronológica relativa:

I – esfalerita I (granular e em veios) \pm galena \pm pirita;

II - galena \pm calcopirita \pm bornita, associada aos veios carbonáticos e a formação das cutículas e vênulas de esfalerita II.

Não foram identificadas feições petrográficas que possam estabelecer uma relação temporal que permita individualizar as esfaleritas granulares das esfaleritas que ocorrem em veios, deste modo ambas foram descritas como a assembleia I.

Para a amostra 1-119, onde a esfalerita primária ocorre em assembleia com a pirita, o conteúdo de Fe nas espécies de esfalerita apresenta dois padrões de distribuição distintos no gráfico Zn X Fe (Figura 24). Os resultados das análises para a esfalerita II distribuem-se neste gráfico com variações do conteúdo de Fe entre 0,20 a 1,20% em peso, apresentando uma tendência de aumento do Fe em detrimento do Zinco, enquanto a espécie primária forma um aglomerado de pontos mais denso próximo a 0,20% em peso.

Nas amostras 1-177 e 1-271 o conteúdo de Fe nas esfaleritas I e II apresentam uma tendência de aglomeração no gráfico de Zn X Fe (Figura 23.a) para cada amostra, independentemente da espécie analisada (Sph_I ou Sph_{II}). Para a amostra da Área 3 (3-140), os pontos no gráfico Zn X Fe (Figura 25) formam um aglomerado menos denso, mas ainda dentro de um mesmo range de variações dos valores de FeS que as demais amostras. Esta amostra também não apresentou diferenças composicionais significativas entre as espécies I e II. A análise do gráfico Zn X Fe ainda sugere que o aumento da quantidade de Fe nas duas espécies de esfalerita é em detrimento do conteúdo de Zn.

O padrão de enriquecimento em Fe para a esfalerita II observado somente na amostra 1-119, pode ser explicado pela maior quantidade de siderita e ankerita associadas a assembleia II que ocorre nesta amostra (Figura 16.e).

Considerando-se todas as amostras da Área 1 analisadas em microsonda, nota-se uma tendência de aumento da quantidade de Fe nos cristais de esfalerita I proporcional ao aumento da profundidade da amostra. A ausência de pirita associada à esfalerita I nas amostras 1-177 e 1-271, dificulta o entendimento das variações do estado de sulfetação do fluido hidrotermal com o aumento da profundidade. Entretanto este aumento da quantidade de Fe da esfalerita I em profundidade, pode sugerir que a assembleia I formou-se condições de mais alta sulfetação na porção mais superior da Área 1 do depósito Santa Maria, que nas porções mais basais do depósito. Além disso, a ausência de pirita nas amostras 1-177 e 1-271, permite a suposição de que devido as condições de mais baixa sulfetação em profundidade o Fe disponível, durante a formação da assembleia I, foi consumido pela esfalerita I, não tendo formado o sulfeto de Ferro.

O Cu apresenta um padrão de concentração entre as esfaleritas I e II diferente do padrão do Fe. As esfalerita I apresenta valores nulos de Cu enquanto a esfalerita II apresenta valores de até 1,5% em peso. Os perfis composicionais realizados nas amostras 1-119 e 1-177 indicam um aumento gradual da quantidade de Cu na esfalerita II no sentido do veio carbonático. Estes resultados apontam que a entrada mais expressiva de Cu no sistema está relacionada a assembleia II. Seja pela alteração química dos cristais de esfalerita I, formando a esfalerita II, nas Áreas 1 e 3 do depósito Santa Maria, seja pelo Cu formando seus próprios sulfetos, preferencialmente na Área 3. O gráfico de Zn X Cu (Figura 23.b) também indica um enriquecimento de Cu para nas análises da esfalerita II, embora um pouco menos claro que para o Fe, em função do aumento da profundidade da

amostra. Entretanto preferiu-se não fazer interpretações a respeito do estado de sulfetação dos fluidos da assembleia II.

As análises de microsonda convertidas de porcentagem em peso para suas proporções molares, apresentaram valores de até ~1,9% mol de FeS para as esfaleritas I e II, e de até ~1,6% mol de Cu para a esfalerita II.

O conteúdo de FeS na esfalerita é função da temperatura e da fugacidade do S no fluido hidrotermal, se em assembleia com pirita ou pirrotita. A amostra 1-119 foi a única utilizada para estimativa do estado de sulfetação do depósito Santa Maria neste trabalho, porque só nesta amostra a esfalerita I ocorre em assembleia com a pirita. Os valores de porcentagem molar de FeS na esfalerita I da amostra 1-119 variam de ~0,1 a 0,7 %, com uma média em torno de ~0,2%. Como demonstrado nos estudos de BARTON e TOULMIN, (1966); CZAMANSKE (1974), e apresentando no gráfico de FONBOTÉ *et al.*, (2017) (Figura 30), estes valores de % molar de FeS na esfalerita, para precipitações entre temperaturas de 200 a 300 °C, indicam necessariamente condições de sulfetação intermediária a alta.

As interpretações acerca do estado de sulfetação do fluido hidrotermal para a assembleia II é ainda mais complexa. Os resultados obtidos neste trabalho sugerem que houve um enriquecimento em Cu no sistema, relacionado a assembleia II descrita como galena II \pm calcopirita \pm bornita associada aos veios carbonáticos e a formação da esfalerita opaca. Haja visto a frequente ocorrência de siderita nestes veios carbonáticos, entende-se também que havia Fe no sistema hidrotermal associado a assembleia II. A instabilização da esfalerita translúcida e consequente formação da esfalerita opaca se deu com a entrada de Cu na espécie opaca, embora houvesse também Fe disponível no sistema.

Os estudos citados que relacionam a fugacidade do S com a temperatura no fluido hidrotermal e a química mineral da esfalerita, foram realizados a partir da cristalização das fases minerais em capsulas com fluidos de composição química bem conhecida. Optou-se por não interpretar as condições do estado de sulfetação dos fluidos que geraram a assembleia II, uma vez a esfalerita II formou-se pela instabilização química da esfalerita I e não precipitada diretamente de um fluido. Entretanto a preferência pelo Cu ao invés do Fe, no momento da formação da esfalerita II pode ser explicada pelo caráter fortemente calcófilo deste elemento.

8. CONCLUSÕES

Os dados e discussões apresentadas neste trabalho permitem as seguintes conclusões:

- 1) Foram identificadas duas espécies de esfalerita distintas petrograficamente. Uma primária, precipitada diretamente do fluido hidrotermal, translúcida ao microscópio – esfalerita I. A segunda espécie de esfalerita descrita é opaca ao microscópio óptico, com cores avermelhadas – esfalerita II. Esta espécie opaca forma-se como cutículas e como micro vênulas dentro dos cristais da espécie translúcida, resultado da alteração dos grãos da esfalerita I por fluidos carbonáticos. As diferenças ópticas descritas foram atribuídas ao enriquecimento em Cu da espécie opaca e relação a translúcida, não apresentando relações com o conteúdo de Fe.
- 2) As mineralizações do Depósito Santa Maria ocorreram associadas a pelo menos dois pulsos mineralizantes, identificados como as assembleias: I - esfalerita I \pm galena \pm pirita; e assembleia II - galena \pm calcopirita \pm bornita que ocorre associada aos veios carbonáticos e a formação das cutículas e vênulas da esfalerita II. Identifica-se ainda, pelo menos um pulso hidrotermal tardio, composto por calcita + siderita com proporções menos expressivas de ankerita e dolomita e também barita.
- 3) A precipitação da esfalerita I na amostra 1-119 se deu a partir de um fluido hidrotermal em condições de sulfetação intermediária a alta.
- 4) As amostras 1-177 e 1-271 estavam em condições de mais equilíbrio químico em termos do conteúdo de Fe que a amostra 1-119, em relação a interação destas com os fluidos carbonáticos relacionados a assembleia II.
- 5) A quantidade absoluta de Fe na esfalerita I das amostras da Área 1 aumenta em função do aumento da profundidade das amostras.
- 6) Fluidos carbonáticos relacionados a assembleia II levaram uma quantidade de Cu apreciável ao sistema hidrotermal, tardia a precipitação da esfalerita I.

- 7) Nas amostras descritas a quantidade mais expressiva do minério de Pb é relacionada a assembleia II.
- 8) A precipitação dos sulfetos de Cu e Fe está relacionada as fases mais finais da precipitação do minério de Pb da assembleia II.
- 9) As amostras da Área 3 apresentam quantidades mais significativas de sulfetos de cobre e ferro que as amostras da Área 1.

9. REFERÊNCIAS

- BABISNKI, M. et al. Juvenile accretion at 750–700 Ma in southern Brazil. **Geological Society of America**, May 1996. 439-442.
- BARTON, P. B. Phase Relations Involving Sphalerite in the Fe-Zn-S System. **Economic Geology and The Bulletin of the Society of Economic Geologists**, Agosto 1966. 815-849.
- BARTON, P. B.; TOULMIN, P. Phase Relations Involving Sphalerite in the Fe-Zn-S System. **Economic Geology and The Bulletin of the Society of Economic Geologists**, Agosto 1966. 815-849.
- CARLETON. **Geochemical Instrumentation and Analysis**, 2019. Disponível em: <https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/wds.html>. Acesso em: 12 maio 2019.
- CARVALHO, E. C. B. **Estudo de Impacto ambiental - Lavra de minério metálico a céu aberto com recuperação de área degradada Caçapava do Sul - RS**. Geoprospec. Porto Alegre. 2016.
- CZAMANSKE, G. K. The FeS Content of Sphalerite Along the Chalcopyrite-Pyrite-Bornite-Sulfur Fugacity Buffer. **Economic Geology**, v. 69, p. 1328-1334, 1974.
- CZAMANSKE, G. K.; RYE, R. O. Experimentally Determined Sulfur Isotope Fractionation between Sphalerite and Galena in the Temperature Range 600° to 275°C. **Economic Geology**, v. 69, p. 17-25, 1974.
- DRIEMEYER, D. Estudo da Zonação Vertical da Alteração Hidrotermal e Mineralizações Associadas na Área 2 do Depósito Polimetálico Santa Maria, Minas do Camaquã/Rs. **Monografia (Graduação)**, 2018. 144.
- EINAUDI, M. T.; HEDENQUIST, J. W.; INAN, E. E. Sulfidation State of Fluids in Active and Extinct Hydrothermal Systems: Transitions from Porphyry to Epithermal Environments. **Giggenbach Volume, Society of Economic Geologists and Geochemical Society, Special Publication 10 (S.F. Simmons, ed.)**, Fev. 2003.
- FAMBRINI, L. G. et al. Evolução Estratigráfica e Paleogeográfica do Grupo Santa Bárbara (Ediacárico) na Sub-bacia Camaquã Central, RS. **Revista do Instituto de Geociências - USP.**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 1-24, Outubro 2007.
- FONBOTÉ, L. et al. Sulfide Minerals in Hydrothermal Deposits. **Elements**, p. 97-105, Abril 2017.
- FRANK, H. T. Mineralogia I. **Apostila de Mineralogia I - UFRGS**, 2014.
- GERALD, C. K.; RYE, R. O. Experimentally Determined Sulfur Isotope Fractionations between Sphalerite and Galena in the Temperature Range 600° to 275 C. **Economic Geology**.
- GOLDENSTEIN, H. **Microscopia Ótica Apostila da Disciplina de Técnicas de Caracterização de Materiais. Escola Politécnica, USP. São Paulo**. [S.l.]: [s.n.], 2007.

GOMES, C. B. **Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia**. [S.l.]: [s.n.], 1984.

HARTMANN, L. A. et al. Magmatism and Metallogeny in the Crustal Evolution of Rio Grande do Sul Shield, Brazil. **Pesquisa em Geociências**, Porto Alegre, p. 45-63, set./out. 1999.

HARTMANN, L. A.; PHILLIP, R. P.; CHEMALE JR, F. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-cambriano. In: FRANTZ, J. C. **50 Anos de Geologia no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: [s.n.], 2007. p. 97-123.

HINRICHS, R. **Técnicas instrumentais não destrutivas aplicadas a gemas do Rio Grande do Sul**. [S.l.]: [s.n.], 2014.

IUPAC. **www.iupac.org**, 2018. Disponível em: <https://iupac.org/wp-content/uploads/2018/12/IUPAC_Periodic_Table-01Dec18.jpg>. Acesso em: 15 out. 2019.

K.CZAMANKE, G. The FeS Content of Sphalerite Along the Chalcopyrite-Pyrite-Bornite Sulfur Fugacity Buffer. **Economic Geology**, v. 69, 1974.

LAUX, J. H. et al. Ore genesis at the Camaquã copper mine, a neoproterozoic sediment-hosted deposit in Southern Brazil. **Ore Geology Reviews**, 2005. 71-89.

LINDENBERG, M. T. Caracterização das Zonas de Alteração Hidrotermal e do Minério de Cu - Pb - Zn na Área 3 (Jazida Santa Maria) e Mina Uruguai, Minas do Camaquã/RS. **Monografia (Graduação)**, Porto Alegre, 2014. 71.

NARDI, L. V. S.; LIMA, E. F. A associação shoshonítica de Lavras do Sul, Rs. **Boletim Brasileiro de Geociências**, Junho 1985. 139-146.

PAIM, P. S. G. Minas do Camaquã, RS. Marco da história da mineração de cobre no Brasil. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Brasília: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)/Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP)**., 2002. 501-510.

PAIM, P. S. G.; WILDNER, W.; CHEMALE JR, F. Estágios Evolutivos da Bacia do Camaquã (RS). **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM**, Santa Maria, v. 36, p. 138-193, 2014.

REMUS, M. V. D. et al. Distal Magmatic-Hydrothermal Origin for the Camaquã Cu (Au-Ag) and Santa Maria Pb, Zn (Cu-Ag) Deposits, Southern Brazil. **ondwana Research**, v. 3, p. 155-174, 2000.

RENAC, C. et al. Isotopic fluid changes in a Neoproterozoic porphyry-epithermal system: The Uruguay Mine, southern Brazil. **Ore Geology Reviews**, 2014. 146-160.

RIOS, F. S. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E MINERALÓGICA DA ALTERAÇÃO HIDROTERMAL NO DEPÓSITO DE Pb-Zn-(Cu-Ag) DE SANTA MARIA, DISTRITO MINEIRO DE CAMAQUÃ (RS). **Monografia (Graduação)**, São Paulo, 2012. 104.

ROBB, L. **Introduction to ore-forming processes**. [S.l.]: [s.n.], 2005.

SCOTT, S. D.; BARNES, H. L. Sphalerite Geothermometry and Geobarometry. **Economic Geology**, 1971. 653-669.

SCOTT, S. D.; KISSIN, S. A. Sphalerite Compositioinn the Zn-Fe-S System Below 300°C. **Economic Geology**, 1973. 457-479.

SIMMONS, S. F.; WHITE, N. C.; DAVIS, J. A. Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits. **Economical Geology**, p. 485-522, 2005.

SOMMER, C. A. Potassic and low- and high-Ti mildly alkaline volcanism in the Neoproterozoic Ramada Plateau, southernmost Brazil. **Journalof South American Earth Science**, p. 237-254, 2005.

UNICAMP. **LABORATÓRIO DE FÍSICA MODERNA**, 2019. Disponível em: <<https://sites.ifi.unicamp.br/lfmoderna/conteudos/difracao-de-raio-x/>>. Acesso em: 12 maio 2019.

APÊNDICE A – Descrições Macroscópicas.

Amostra 1-119

Litologia: Arenito médio a fino, moderadamente selecionado com pouquíssima sulfetação disseminada, possivelmente galena de granulação muito fina.

Mineralização: A parte mineralizada acompanha zonas de alteração a ilita. Ocorrem cristais de até 0,5 subédricos a euédricos de esfalerita verde associada a pirita. A pirita forma massas anédricas de até 1 cm. Esses cristais de esfalerita verde são cortados finos veios e bordeados por esfalerita negra. Ocorrem também fino veios de calcita tardios que estão concentrados no contato entre a parte mineralizada e a encaixante. Associado a esses veios de calcita ocorre um mineral vermelho que carece de confirmação mas está sendo entendido como siderita ou uma terceira geração de esfalerita de cor vermelha.

Amostra 1-139

Litologia: Arenito fino a médio, moderadamente selecionado com cimentação por carbonato que representa 50% da amostra.

Mineralização: O minério é composto por 80% de esfalerita e 20% de galena. Dos 80% de esfalerita 60% ocorre como a fase verde amarelada e 20% como a fase negra. A esfalerita verde ocorre em cristais pouco maiores que 1 cm euédricos a subédricos, esses cristais de esfalerita verde são cortados por finos veios e bordeados de esfalerita negra. A galena se apresenta em agregados de 0,5 cm, com pirita associada e posteriores as fases de esfalerita verde e negra. A amostra apresenta veios de quartzo + calcita com a possível siderita vermelha nas bordas do veio.

Amostra 1-177

Litologia: Arenito médio, bem selecionado. Com siderita e calcita na cimentando da rocha.

Mineralização: Nessa amostra a parte mineralizada ocorre como um veio de esfalerita verde e negra com predominância da fase negra e galena de um 1 cm de

espessura com um contato abrupto entre os sulfetos perpendicular a orientação do veio. Este veios apresenta feições de corrosão da encaixante (enseadas de dissolução). Ocorrem também alguns veios mais finos dessas mesmas fases associados a quartzo calcita e siderita, possivelmente tardios em relação ao minério mas encaixados nas mesmas estruturas. O veio principal do minério nessa amostra é bordejado por um fino veio de siderita, que é melhor desenvolvido na parte que ocorre o minério de chumbo.

A esfalerita verde ocorre como cristais subédricos de 0,3 cm e precoces a fase negra que ocorre como uma massa de difícil individualização dos grãos. A galena ocorre como cristais euédricos de 0,5 cm.

Amostra 1-271

Litologia: Arenito fino com intenso processo de venulação que dificulta a identificação da litologia.

Mineralização: A mineralização ocorre de forma venular e disseminada na rocha. O minério venular ocorre como veios de 0,5 cm de espessura discordantes a S0 da rocha e é composto majoritariamente por esfalerita negra-azulada com um pouco de esfalerita verde e pirita (e/ou calcocita com pontos de bornita). Por vezes esses veios são envelopados por um processo de alteração da rocha a ilita. O minério disseminado é de difícil identificação e ocorre concordante a S0 da rocha. Também ocorrem nódulos de 0,3 cm de esfalerita verde bordejados por esfalerita negra disseminados pela rocha. A amostra apresenta um processo de ilitização intenso, esse argilomineral forma veios de menos de 0,5 cm de espessura que frequentemente ocorre capeando o minério.

Amostra 1-272

Litologia: Amostra composta só por minério.

Mineralização: Esfalerita verde ocorre como cristais subédricos de até 2 cm cortados por veios de esfalerita negra. A galena ocorre como agregados de boa cristalinidade com pequenas inclusões da esfalerita verde.

Amostra 1-274

Litologia: Arenito fino brechado pelo processo de sulfetação e intensamente alterado a siderita com veios milimétricos de calcita. Os clastos da encaixante do minério apresentam uma instabilização e “corrosão” pelo processo de formação do minério e por vezes está envelopados por veios de ilita.

Mineralização: A esfalerita verde ocorre como cristais de até 0,8 cm euédricos cortados por finos veios de galena e esfalerita negra. Ocorrem agregados de pirita associados ao minério de zinco, frequentemente mais próximos às bordas do minério. Finíssimos veios carbonáticos tardios cortam a parte mineralizada.

Amostra 3-140

Litologia: Amostra de sulfeto maciço em que encaixante representa menos de 10 % do volume da amostra, trata-se de um arenito fino com sulfetação disseminada. A encaixante está intensamente corroída pelo processo de formação do minério.

Mineralização: A amostra é uma mistura de galena (50%) e esfalerita verde (30%) e cerca de 10% de esfalerita negra. A esfalerita verde ocorre como cristais de 0,5 cm subédricos. A galena ocorre como uma massa em que não é possível individualizar os cristais mas apresenta uma cristalinidade bem desenvolvida e de muito difícil individualização da esfalerita negra. Ocorre um veio de granulação muito fina de siderita e um veio tardio de quartzo.

Amostra 3-141

Litologia: Arenito fino brechado pelo processo de sulfetação. Os clastos são angulosos e estão corroídos pelo processo de sulfetação. Esses clastos apresentam sulfetação muito fina disseminada de difícil identificação da mineralogia secundária.

Mineralização: O minério é composto 20% de galena que ocorre de forma maciça, 50% de esfalerita verde em cristais de até 0,7 cm e 30% de esfalerita negra, ambos minerais ocorrem juntos no processo de brechação da rocha e estão acompanhados de pequenos agregados de pirita. A esfalerita verde parece estar associada a siderita enquanto a negra está associada a pirita.

Amostra 2-187

Litologia: Arenito médio, mal selecionado de cor esbranquiçada.

Mineralização: Mineralização disseminada acompanhando o processo de albitização pouco expressivo. Formação de k-feldspato hidrotermal (?). Finíssimos veios de galena associada a pirita.

APÊNDICE B - Descrições Microscópicas

Amostra 1-119

A lâmina delgada representa uma zona de intensa venulação de argilominerais e carbonatos com mineralização associada. A rocha hospedeira do minério é um arenito muito fino mal selecionado com grãos subarredondados e subangulosos. A matriz da rocha está ilitizada e cloritizada.

O veio principal da amostra apresenta uma zonação de ilita na parte externa e mais delgada e em sua parte interna e mais espessa com carbonatação por siderita e calcita.

A esfalerita verde ocorre em cristais subédricos de tamanho milimétrico que ocorrem imersos aos veios de ilita e carbonatos (Fig. 8e, f) e por vezes são acompanhados de pirita. Estes cristais apresentam uma cutícula de esfalerita opaca com galena subordinada.

A galena ocorre como poucos cristais submilimétrico subédricos dispersos dentro do arenito ou como cristais anédricos inclusos nos cristais de esfalerita verde. Em ambas as situações a galena está associada a esfalerita opaca, que geralmente ocorre como cutículas e finos veios dentro da esfalerita verde.

Os cristais de pirita são subédricos de tamanho milimétrico e estão brechados pelo processo de carbonatação.

Amostra 1-139

A amostra representa uma zona de mineralização maciça de Zn-Pb cortada por um veio de carbonato tardio.

A esfalerita verde ocorre cristais subédricos de tamanho centimétricos e milimétricos translúcidos, estes cristais de esfalerita verde são apresentam uma “cutícula” sub-milimétrica de esfalerita opaca. Localizadamente a esfalerita opaca chega a formar cristais anédricos milimétricos associados aos cristais de galena. Notou-se a presença de

cristais brancos de granulação muito fina e de hábito acicular ocorrendo dentro dos grãos de esfalerita verde orientados em duas direções principais ortogonais entre si.

A galena ocorre como cristais anédricos dispersos imersos entre os cristais de esfalerita verde e chegam a ter 5 mm de tamanho e apresentam feições de corrosão na esfalerita verde. Esses grãos de galena são subédricos e estão associados a esfalerita negra

Ocorrem veios de calcita com siderita subordinada que chegam a ter 1 cm de espessura e parecem mais inertes a esfalerita verde. Os veios de siderita são mm e apresentam leves feições de corrosão com a esfalerita. Observou-se que as cutículas de esfalerita opaca estão frequentemente associada a siderita e são mais desenvolvidas junto aos veios de siderita.

Amostra 1-177

A amostra é composta por um veio de esfalerita e galena com 1 cm de espessura encaixado no arenito hospedeiro da mineralização de Pb-Zn.

A hospedeira do minério é um arenito arcoseano médio a fino, mal selecionado, os grãos são subarredondados e com cimentação carbonática. O arcabouço da rocha é composto por 85% de quartzo, 10% de feldspatos e 5% de micas com sulfetação disseminada de galena em cristais anédricos obliterando a porosidade da rocha.

A esfalerita verde é dominante sobre a esfalerita opaca, os cristais de esfalerita verde são cortados por veios carbonáticos sub-milimétricos que ocorrem bordejados por esfalerita opaca. Ocorrem inclusões brancas aciculares microcristalinos dentro dos cristais de esfalerita verde com duas direções preferencias ortogonais (Fig. 14c, d). Na zona mais rica em esfalerita do veio principal da amostra ocorre uma fina película de galena associada a esfalerita negra. Os veios de carbonato associados a esfalerita são dominados por calcita.

A galena que compoe o veio principal da amostra ocorre como uma massa com uma cutícula de siderita bem desenvolvida como a fase carbonatada principal associada a este sulfeto, que não se desenvolve junto a parte mais rica em esfalerita. A galena

tambem forma finos veios que cortam os cristais de esfalerita verde e como uma fina película cortando a zona mais rica em esfalerita do veio principal.

Amostra 1-271

A amostra é um arenito encaixante de veios formados por agregados de cristais de esfalerita subédricos arredondados e cristais de galena anédricos.

A rocha hospedeira dos veios é um arenito quartzoso médio com grãos de quartzo de baixa esfericidade e bem arredondados. A rocha é composta por 90% de quartzo, 10% de feldspatos. Ocorre galena disseminada preenchendo a porosidade da rocha. O minério ocorre em dois veios principais compostos por cristais esféricos e é composto por 70% de esfalerita e 30% de galena.

A esfalerita verde ocorre em grãos de até 5mm que apresentam-se muitas vezes zonados com o centro do cristal com forma de coroas amareladas. Estes cristais de esfalerita verde são cortados e bordejados por finos veios de esfalerita opaca e por vezes apresentam cristais de galena inclusos associados a fase de esfalerita opaca.

A galena ocorre em cristais anédricos junto aos cristais de esfalerita verde e associada a esfalerita opaca.

Amostra 1-272

A amostra representa uma zona de mineralização de Zn-Pb maciça cortada por veios carbonáticos. Sendo 90% de minério, dos quais 90% é o minério de Zinco e 10% de minério de chumbo, os 10% restantes da lâmina são minerais de ganga.

A esfalerita verde ocorre como cristais subédricos de tamanho milimétrico cortada por veios sub-milimétricos de esfalerita opaca, por vezes associada a galena. Estes veios de esfalerita opaca e galena frequentemente ocorrem associados a veios carbonáticos em variadas proporções.

A galena ocorre como cristais anédricos quase sempre associada a esfalerita opaca e carbonatos (siderita+calcita).

Amostra 1-274

A amostra representa um veio de 2 a 3 cm de espessura brechando e com feições de instabilização do arenito encaixante do minério. Os clastos do arenito são arredondados e apresentam sulfetação disseminada de galena e são cortados por finos veios carbonáticos.

A esfalerita verde ocorre como cristais milimétricos subédricos bordejados e cortados por veios de esfalerita opaca associada a galena e frequentemente a veios carbonáticos. Esses veios da assembleia de esfalerita opaca e galena por vezes formam cutículas finas na esfalerita verde, e por vezes chegam a formar massas mais espessas que apresentam feições de corrosão nos grãos de esfalerita verde.

Os cristais de galena são anédricos e são sempre subordinados a esfalerita opaca em termos de abundância.

Amostra 3-140

A amostra representa um veio de minério de Zn-Pb-Cu com relictos da rocha hospedeira do minério. A lâmina delgada é constituída por 70% de minerais de minério, 15% da rocha hospedeira da mineralização e 15% por minerais de ganga.

A rocha hospedeira do minério é um arenito fino mal selecionado de composição arcoseana com grãos angulosos subarredondados. A composição da rocha é de 60% de quartzo 35% de feldspatos e 5% de micas. A porosidade primária da rocha é parcialmente obliterada por galena disseminada em grão anédricos. O minério é composto por 88% de esfalerita, 10% de galena e 2% por calcopirita+bornita. Os minerais de ganga representam 15% da lâmina delgada. A barita é a fase dominante que ocorre como um veio de aspecto radia. Subordinadamente ocorrem finos veios de calcita tardio em pequenas proporções.

A esfalerita ocorre em pelo menos duas gerações. A precoce e mais abundante apresenta-se em agregados microcristalinos de cor verde amarelada observável em microscopia de luz transmitida daqui em diante chamada de esfalerita verde. Essa fase ainda apresenta uma zonação em tons acastanhados que ocorre próximo ao contato com o arenito. O minério de zinco também ocorre como uma fase opaca de cor avermelhada que ocorre como finos veios que cortam a fase de esfalerita verde precoce. A proporção relativa entre essas duas fases é de cerca de 85% esfalerita verde e 15% esfalerita opaca. Destaca-se ainda a possível ocorrência localizada da esfalerita verde com doença da calcopirita, entretanto a origem dessa calcopirita é dúbia uma vez que só foi observada próxima a cristais de galena, o que está sendo interpretado como uma assembléia descrita nos parágrafos seguintes.

A galena apresenta-se em cristais anédricos de tamanho milimétrico que ocorrem inclusos dentro dos agregados de esfalerita verde que cresceram instabilizando a esfalerita verde. Nota-se a presença de galena formando uma “cutícula” sobre o veio de quartzo. Identificou-se a assembleia galena+calcopirita±bornita±pirita em que o minério de chumbo é a fase mais abundante e os sulfetos de cobre e ferro encontram-se principalmente nas bordas dos grãos de galena. Esta assembleia galena+calcopirita±bornita±pirita ocorre como vênulas sub-milimétricas cortando na esfalerita verde. O minério de chumbo também ocorre em cristais sub-milimétricos obliterando a porosidade primária do arenito encaixante.

Amostra 3-141

A lâmina delgada representa uma zona brechada do arenito pelo minério. A hospedeira da mineralização é um arenito de composição arcoseana, fino e mal selecionado com grãos angulosos com a matriz da rocha ilitizada e cloritizada. Os clastos da hospedeira do minério são subarredondados e apresentam feições de corrosão pelo minério de zinco e sulfetação disseminada de galena que ocorre obliterando parcialmente a porosidade da rocha. Siderita e calcita são os minerais de ganga tardios e ocorrem em veios de formas irregulares.

Nesta lâmina o minério é composto por 95% de esfalerita e 5% de galena, sendo os sulfetos de cobre e ferro traços. Do total do minério de zinco cerca de 80% ocorre como a fase verde e 20% a fase opaca.

A esfalerita ocorre principalmente como massas microcristalinas de cor verde amarelada (sph_v) e que localmente apresenta zonações em tons acastanhados (Fig. 5b, d). Essas massas de esfalerita verde são cortadas por veios milimétricos de esfalerita opaca. Localmente dentro destes agregados de esfalerita verde ocorrem cristais de granulação muito fina, provavelmente calcopirita microcristalina. Note que esses cristais amarelados estão associados a esfalerita verde e possivelmente são os causadores dos tons acastanhados observados em outras seções.

A galena está restrita a poucos cristais anédricos de tamanho milimétrico em meio a esfalerita com pouquíssima calcopirita associada as bordas destes grãos.

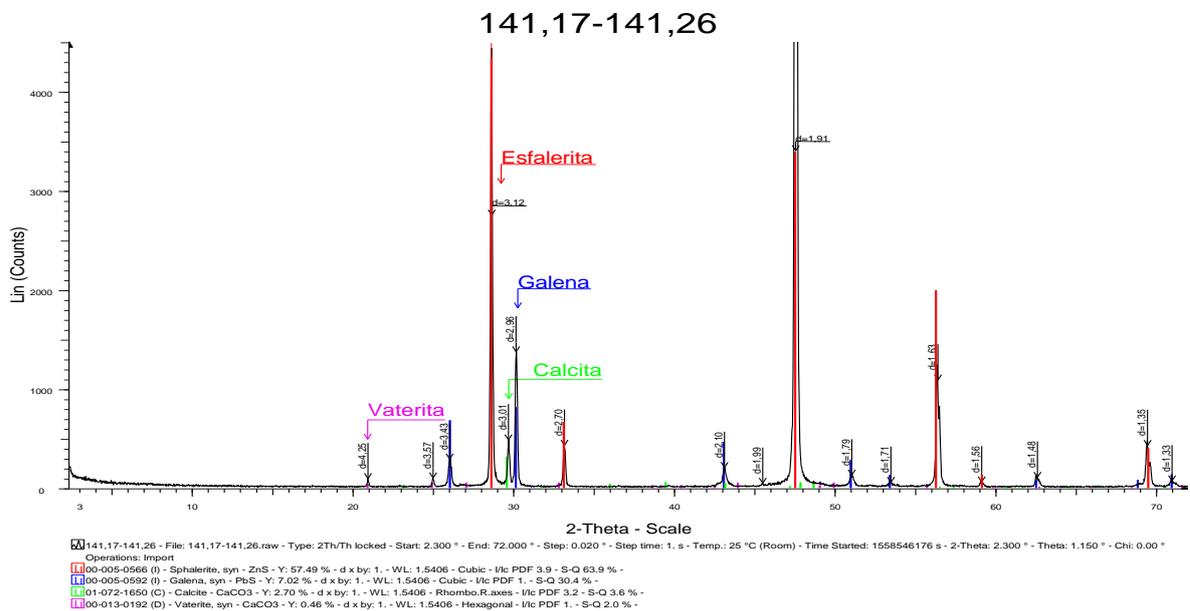
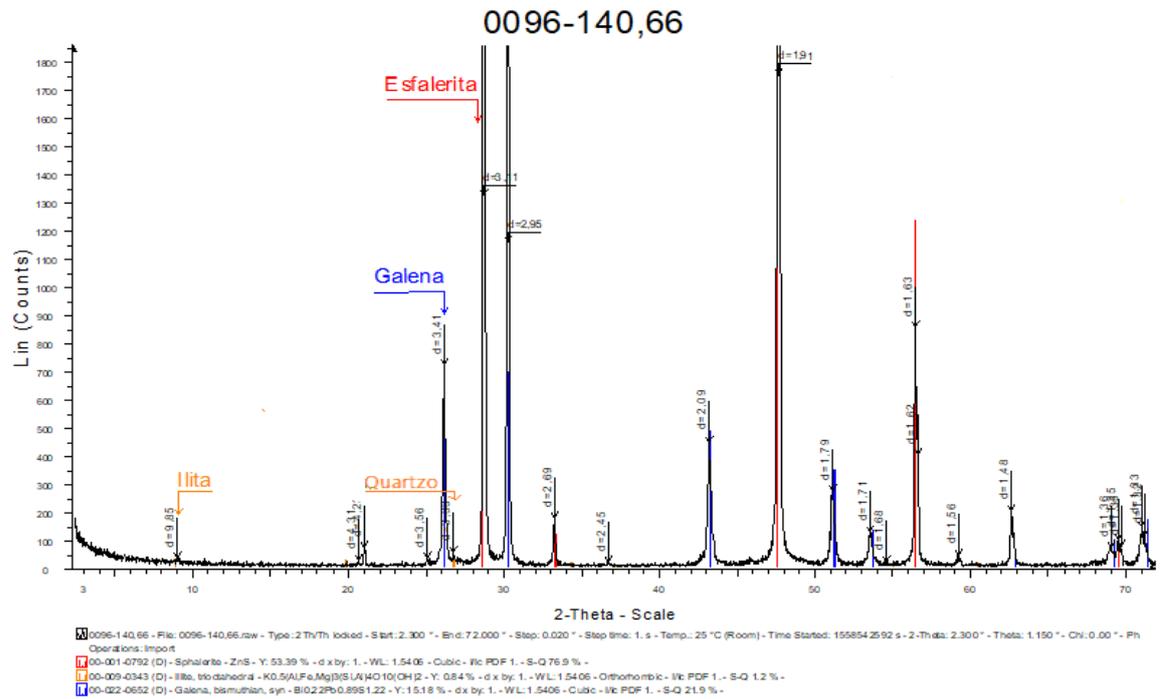
0186	Sph_v	Sph_o	Galena	Ganga/Alteração
1-119	-Cristais subédricos de até 0,5cm imersos em veios de ilita/carbonato .	-Cutícula e em vênulas em cristais de sph _v . -Bordejando localizadamente cristais de galena. -Associada a galena.	-Cristais subédricos mm associados as “vênulas” de sph _o imersos no veios de ilita/carbonato. -Cristais anédricos inclusos na sph _v e associado as vênulas de sph _o .	-Veios zonados com ilita nas borda e carbonatos no centro. -Cristais de py subédricos brechados pelo carbonato.
139,00	-Cristais subédricos de até 0,5 cm com cutículas e vênulas de sph _o . -Com inclusões microcristalin as aciculares brancas.	-Cutícula e em vênulas em cristais de sph _v . -Associada a cristais de galena anédrica.	-Cristais anédricos associados a sph _o .	-Finos veios de quartzo tardio. -Veios carbonátios mm associados a assembleia gal+sph _o . -Veios cm de calcita de bordejada por siderita.

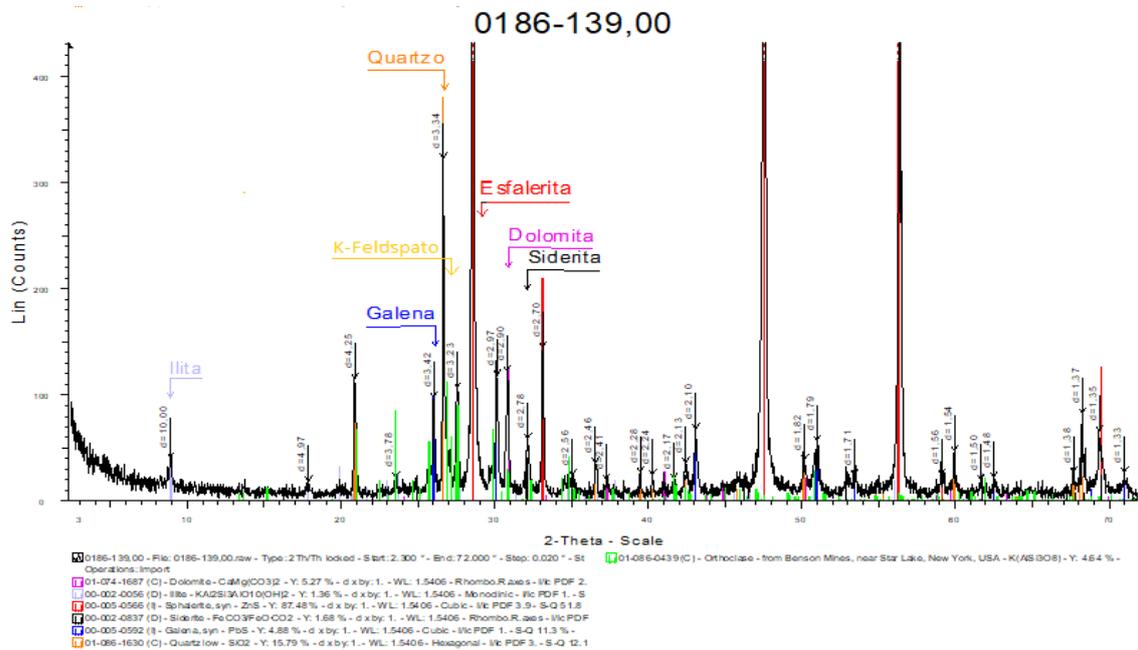
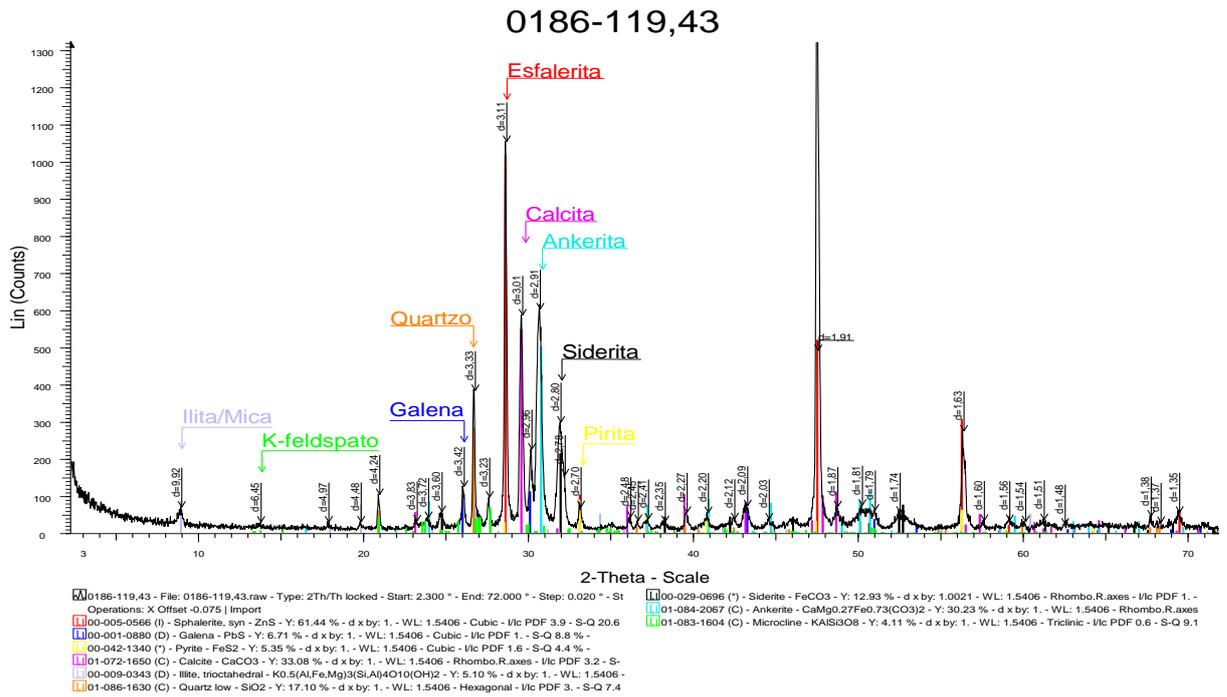
177,60	-Como cristais comondo um veio de 1 cm de espessura cortada por veios carbonáticos.	-Cutículas nos veios de sphv e bordejando veios carbonáticos inclusos na sphv.	-Maciça no veio principal da amostra. -Como veios sub-mm e bordejando a zona rica em sph do veio principal. -Veios associados a sph _o .	-Siderita bordejando a zona rica em galena do veio principal da amostra.
271,05	-Cristais mm subédricos que macroscopicamente formam veios. -Zonação em tons amarelados em alguns cristais.	-Cutícula e em vênulas em cristais de sph _v associadas a galena.	-Associada as venulações sub-mm de spho. -Cristais anédricos mm “misturados” a sphv com spho subordinada.	-Carbonatação na matriz da rocha. -Poucos veios sub-mm carbonáticos.
271,90	-Cristais subédricos de até 0,5 cm com cutículas bem desenvolvidas e vênulas de sph _o .	-Cutícula e em vênulas em cristais de sph _v associadas a galena e carbonatos.	-Cristais anédricos associados as venulações e cutículas de spho.	-Veios carbonáticos de forma irregular.

274,31	-Cristais subédricos de até 0,5 cm com cutículas bem desenvolvidas e vênulas de spho.	-Cutícula e em vênulas em cristais de sph _v associadas a galena e carbonatos que por vezes chegam a formar “massas” bem desenvolvidas com aspectos de corrosão da sph _v .	-Cristais anédricos mm associados as venulações e cutículas de spho. -Disseminada em cristais anédricos na porosidade do arenito.	-Veios carbonáticos de forma irregular.
---------------	---	---	--	---

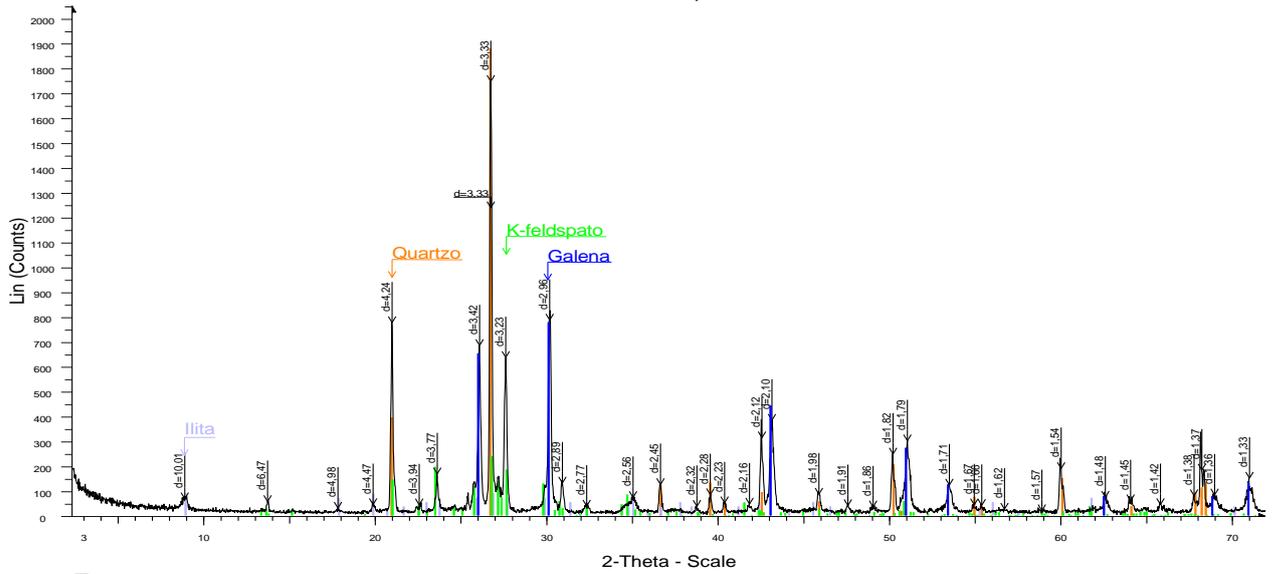
0096	Sph_v	Sph_o	Galena	Ganga
140,66	-Cristais com zonação em tons amararelados próximo ao arenito. -Doença da calcopirita.	-Veios dentro da esfalerita verde.	-Cristais anédricos - Gal±cpy±bo±py	-Quartzo radial cm com cpy inclusa e com cutícula de galena.
141,96	-Com zonação em tons amararelados. -Possível doença da calcopirita.	-Veios dentro da esfalerita verde.	-Cristais anédricos -Gal±cpy	-Finos veios de calcita de forma irregular.

APÊNDICE C – Difratogramas de Raios X



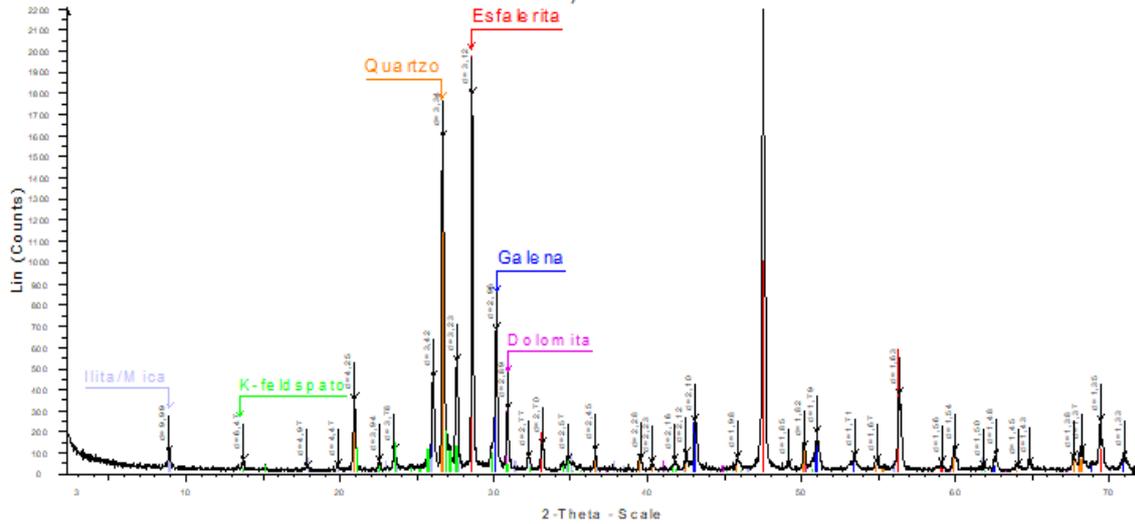


0186-177,66

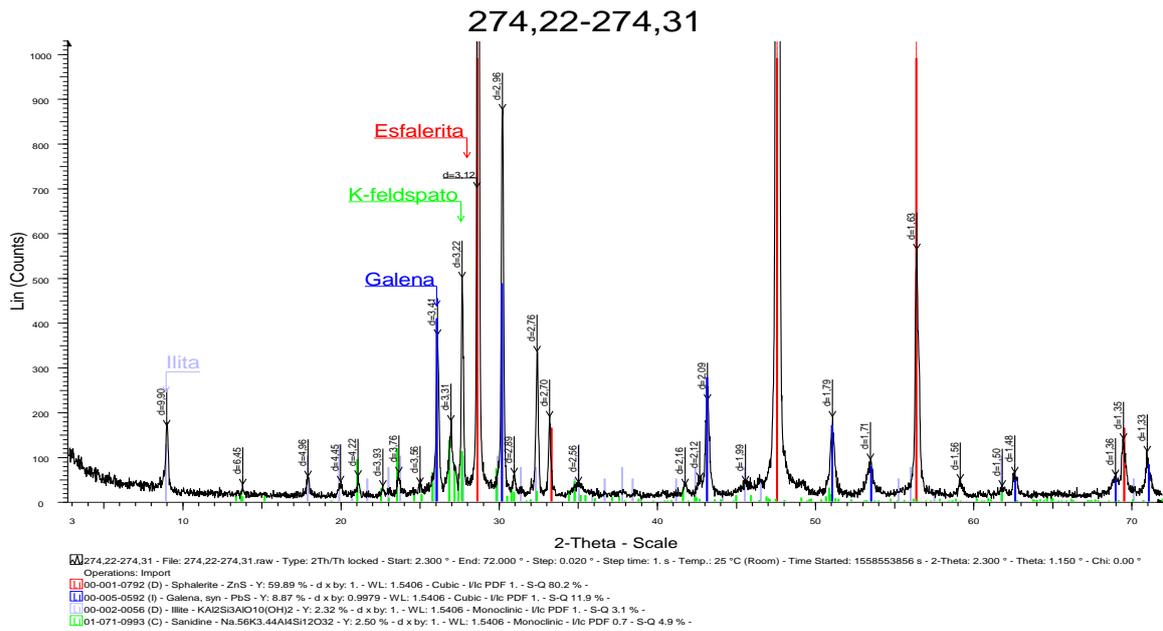
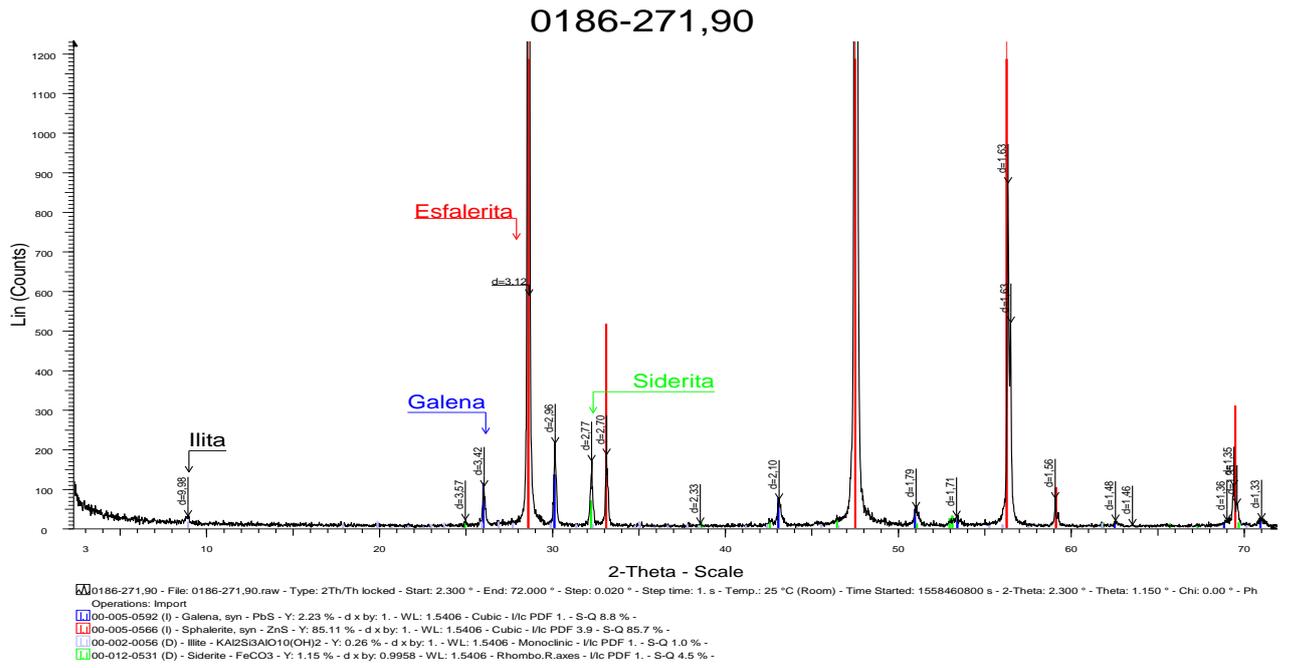


0186-177,66 - File: 0186-177,66.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.300 ° - End: 72.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 1558625152 s - 2-Theta: 2.300 ° - Theta: 1.150 ° - Chi: 0.00 ° - Phi
 Operations: Import
 01-086-1629 (C) - Quartz low - SiO₂ - Y: 107.52 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - I/c PDF 3.1 - S-Q 33.9 % -
 00-005-0592 (I) - Galena, syn - PbS - Y: 44.47 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - I/c PDF 1. - S-Q 43.5 % -
 00-002-0056 (D) - Illite - KAl₂Si₃AlO₁₀(OH)₂ - Y: 5.07 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - I/c PDF 1. - S-Q 5.0 % -
 01-080-2107 (C) - Sanidine high - K(AlSi₃O₈) - Y: 13.65 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - I/c PDF 0.8 - S-Q 17.6 % -

0186 -271,05



0186 -271,05 - File: 0186 -271,05.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.300 ° - End: 72.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 1558550016 s - 2-Theta: 2.300 ° - Theta: 1.150 ° -
 Operations: Import
 01-074-1687 (C) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - Y: 13.66 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo R_h - I/c PDF 2.8 - S-Q 5.8 % -
 00-005-0592 (I) - Galena, syn - PbS - Y: 19.39 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - I/c PDF 1. - S-Q 22.9 % -
 00-002-0056 (D) - Illite - KAl₂Si₃AlO₁₀(OH)₂ - Y: 4.65 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - I/c PDF 1. - S-Q 5.5 % -
 01-086-1630 (C) - Quartz low - SiO₂ - Y: 57.46 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - I/c PDF 3.1 - S-Q 22.5 % -
 00-005-0566 (I) - Sphalerite, syn - ZnS - Y: 89.93 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - I/c PDF 3.9 - S-Q 27.3 % -
 01-075-1190 (C) - Orthoclase - K(AlSi₃O₈) - Y: 9.19 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - I/c PDF 0.7 - S-Q 16.0 % -



APÊNDICE D – Microsonda Eletrônica.

Valores em % em peso.

DataSet/Point	S	Fe	Cu	Zn	Pb	Total	Comentário
1 / 1 .	34,97	29,57	34,08	0,05	0,00	98,68	140_A01_Bo
2 / 1 .	53,96	46,40	0,03	0,00	0,00	100,39	140_A01_Py
3 / 1 .	12,88	0,00	0,01	0,00	86,58	99,47	140_A01_Gl
4 / 1 .	33,86	30,14	34,43	0,03	0,00	98,46	140_A01_Bo
5 / 1 .	35,02	30,04	34,30	0,00	0,00	99,36	140_A01_Bo
6 / 1 .	31,55	0,31	0,20	67,63	0,00	99,69	140_A01_sph_v
7 / 1 .	31,45	0,68	0,42	68,39	0,00	100,94	140_A01_sph_v
8 / 1 .	32,99	0,15	0,00	66,67	0,00	99,82	140_A01_sph_v
9 / 1 .	31,74	0,09	0,14	67,38	0,00	99,35	140_A01_sph_v
10 / 1 .	31,82	0,21	0,05	67,13	0,00	99,21	140_A01_sph_v
11 / 1 .	25,28	10,81	62,87	0,08	0,00	99,05	140_A01_sph_o
12 / 1 .	25,75	11,09	62,40	0,07	0,00	99,31	140_A01_sph_o
13 / 1 .	12,87	0,00	0,02	0,00	87,35	100,24	140_A01_gl
14 / 1 .	12,87	0,00	0,04	0,01	87,28	100,20	140_A01_gl
15 / 1 .	25,65	11,26	62,56	0,08	0,00	99,55	140_A01_sph_o
16 / 1 .	26,12	10,92	61,93	0,10	0,00	99,07	140_A01_sph_o
17 / 1 .	25,59	11,48	62,42	0,22	0,00	99,71	140_A01_sph_o
18 / 1 .	25,40	11,51	62,70	0,04	0,00	99,64	140_A01_sph_o
19 / 1 .	34,90	30,25	34,38	0,07	0,00	99,60	140_A01_bo
20 / 1 .	32,96	0,05	0,18	66,91	0,00	100,10	140_A01_sph_v
21 / 1 .	32,69	0,03	0,03	67,39	0,00	100,13	140_A01_sph_v
22 / 1 .	32,60	0,47	0,76	65,00	0,00	98,83	140_A01_sph_v
23 / 1 .	33,04	0,46	0,00	66,71	0,00	100,20	140_A02_sph_v
24 / 1 .	32,24	0,39	0,00	62,83	0,00	95,46	140_A02_sph_v
25 / 1 .	33,07	0,32	0,37	66,70	0,00	100,46	140_A02_sph_o
26 / 1 .	33,03	0,20	0,03	67,13	0,00	100,38	140_A02_sph_o
27 / 1 .	35,05	29,95	34,45	0,05	0,00	99,50	140_A02_bo
28 / 1 .	13,39	0,00	0,04	0,00	87,77	101,19	140_A02_gl
29 / 1 .	13,64	0,00	0,00	0,00	86,76	100,40	140_A02_gl
30 / 1 .	33,31	0,50	0,01	66,48	0,00	100,29	140_A02_sph_v
31 / 1 .	33,22	0,55	0,01	66,43	0,00	100,20	140_A03_sph_v
32 / 1 .	33,02	0,46	0,02	66,57	0,00	100,07	140_A03_sph_v
33 / 1 .	33,02	0,30	0,00	66,54	0,00	99,86	140_A03_sph_v
34 / 1 .	33,05	0,26	0,27	64,84	0,00	98,42	140_A03_sph_v_zonacao amarelada
35 / 1 .	33,06	0,48	0,55	66,02	0,00	100,12	140_A03_sph_o
36 / 1 .	33,13	0,32	0,37	66,41	0,00	100,23	140_A03_sph_o
37 / 1 .	32,91	0,25	0,64	66,17	0,00	99,98	140_A03_sph_o
38 / 1 .	33,09	0,78	0,07	65,46	0,00	99,40	140_A03_sph_v_zonacao amarelada
39 / 1 .	33,18	0,38	0,01	66,64	0,00	100,21	140_A04_sph_v
40 / 1 .	33,09	0,56	0,00	66,61	0,00	100,26	140_A04_sph_v
41 / 1 .	33,07	0,43	0,02	66,69	0,00	100,21	140_A04_sph_v

DataSet/Point	S	Fe	Cu	Zn	Pb	Total	Comentário
42 / 1 .	33,15	0,34	0,35	66,55	0,00	100,40	140_A04_sph_o
43 / 1 .	33,21	0,49	0,10	66,70	0,00	100,50	140_A04_sph_o
44 / 1 .	13,60	0,00	0,02	0,03	87,35	101,00	140_A04_gl
45 / 1 .	34,94	29,96	34,39	0,00	0,00	99,29	140_A04_bo
46 / 1 .	32,99	0,35	0,58	65,84	0,00	99,76	140_A04_sph_o
47 / 1 .	33,65	0,38	0,55	65,66	0,00	100,23	140_A04_sph_o
48 / 1 .	33,21	1,12	0,00	65,16	0,00	99,50	271_A01_sph_v_centro do grao grande
49 / 1 .	33,21	1,19	0,00	65,49	0,00	99,89	271_A01_sph_v_centro do grao grande
50 / 1 .	33,32	1,09	0,01	65,97	0,00	100,38	271_A01_sph_v_borda do grao grande
51 / 1 .	33,30	1,06	0,01	65,82	0,00	100,19	271_A01_sph_v_borda do grao grande
52 / 1 .	33,27	1,01	0,00	65,96	0,00	100,24	271_A01_sph_v_borda do grao grande
53 / 1 .	33,17	0,99	0,89	65,17	0,00	100,23	271_A01_sph_o_verio na borda NE do grao grande
54 / 1 .	0,01	26,99	0,01	5,27	0,09	32,37	271_A01_sph_o_verio na borda NE do grao grande
55 / 1 .	13,77	0,06	0,02	0,00	87,09	100,95	271_A01_gl_verio na borda NE do grao grande
56 / 1 .	33,38	1,02	0,00	65,77	0,00	100,17	271_A01_sph_v_borda NE do grao grande
57 / 1 .	33,08	1,18	0,00	65,54	0,00	99,80	271_A01_sph_v_borda NE do grao grande
58 / 1 .	33,25	1,28	0,00	65,91	0,00	100,44	271_A01_sph_v_borda NE do grao grande
59 / 1 .	33,23	0,88	0,00	65,92	0,00	100,03	271_A01_sph_v_borda NE do grao grande
60 / 1 .	33,05	1,11	0,01	65,55	0,00	99,71	271_A01_sph_v_borda NE do grao grande
61 / 1 .	33,32	1,16	1,04	65,08	0,00	100,59	271_A02_sph_o
62 / 1 .	0,01	23,18	0,03	4,19	0,04	27,46	271_A02_sph_o
63 / 1 .	33,43	1,10	0,06	65,41	0,00	99,99	271_A02_sph_o
64 / 1 .	33,54	1,18	0,03	66,12	0,00	100,86	271_A02_sph_o
65 / 1 .	13,38	0,00	0,00	0,06	87,39	100,83	271_A02_gl
66 / 1 .	25,36	0,23	74,94	0,00	0,00	100,53	271_A02_covelita
67 / 1 .	33,82	1,05	0,00	65,44	0,00	100,31	271_A02_sph_v
68 / 1 .	33,29	1,43	1,02	65,77	0,00	101,51	271_A02_sph_o
69 / 1 .	0,01	26,49	0,00	7,15	0,03	33,68	271_A02_sph_v
70 / 1 .	0,00	27,10	0,00	5,48	0,06	32,65	271_A02_sph_v
71 / 1 .	13,65	0,00	0,00	0,01	87,60	101,25	271_A02_gl
72 / 1 .	33,67	1,48	1,16	65,35	0,00	101,66	271_A02_sph_o
73 / 1 .	33,59	1,06	0,01	65,87	0,00	100,54	271_A02_sph_v
74 / 1 .	33,05	1,33	1,59	64,87	0,00	100,84	271_A03_sph_o
75 / 1 .	13,61	0,00	0,02	0,06	87,68	101,37	271_A03_sph_gl
76 / 1 .	0,00	23,78	0,02	4,16	0,03	28,00	271_A03_sph_v
77 / 1 .	0,01	27,55	0,00	4,24	0,03	31,84	271_A03_sph_v
78 / 1 .	33,70	1,18	1,86	64,96	0,00	101,70	271_A03_sph_o
1 / 1 .	32,83	0,39	0,21	65,44	0,00	98,87	177_A1_sph_o
2 / 1 .	32,96	0,50	0,56	65,40	0,00	99,42	177_A1_sph_o
3 / 1 .	13,33	0,00	0,03	0,00	87,00	100,36	177_A1_gl
4 / 1 .	32,52	0,45	0,00	66,57	0,00	99,54	177_A1_sph_v
5 / 1 .	32,81	0,41	0,00	66,40	0,00	99,61	177_A1_sph_v
6 / 1 .	32,72	0,40	0,03	66,27	0,00	99,42	177_A1_sph_v
7 / 1 .	13,18	0,00	0,00	0,00	86,58	99,76	177_A1_sph_v
8 / 1 .	13,25	0,00	0,04	0,00	86,65	99,94	177_A1_sph_o
9 / 1 .	33,02	0,32	0,00	66,72	0,00	100,06	177_A2_sph_v

DataSet/Point	S	Fe	Cu	Zn	Pb	Total	Comentário
10 / 1 .	32,82	0,33	0,01	66,73	0,00	99,89	177_A2_sph_v
11 / 1 .	32,73	0,26	0,00	66,68	0,00	99,67	177_A2_sph_v
12 / 1 .	0,01	7,90	0,01	0,14	0,04	8,09	177_A2_sph_v
13 / 1 .	13,45	0,00	0,01	0,07	87,50	101,04	177_A2_sph_gl
14 / 1 .	0,01	7,64	0,01	0,12	0,12	7,90	177_A2_sph_op
15 / 1 .	13,36	0,00	0,00	0,07	87,88	101,30	177_A3_gl
16 / 1 .	32,79	0,40	0,64	65,93	0,00	99,77	177_A3_sph_o
17 / 1 .	32,97	0,38	0,65	65,55	0,00	99,56	177_A3_sph_o
18 / 1 .	32,97	0,44	0,01	66,31	0,00	99,73	177_A3_sph_v
19 / 1 .	32,61	0,46	0,01	66,55	0,00	99,62	177_A3_sph_v
20 / 1 .	0,03	7,99	0,00	0,16	0,13	8,31	177_A3_sph_o
21 / 1 .	33,20	0,30	0,07	65,92	0,00	99,48	177_A1_sph_v
22 / 1 .	32,90	0,38	0,70	66,01	0,00	99,98	177_A3_sph_o
23 / 1 .	13,35	0,00	0,01	0,01	86,36	99,73	177_A3_gl
24 / 1 .	32,60	0,33	1,08	66,28	0,00	100,29	177_A3_sph_o
25 / 1 .	0,02	7,52	0,00	0,03	0,18	7,74	177_A3_sph_v
26 / 1 .	32,84	0,32	0,00	66,45	0,00	99,61	177_A4_sph_v
27 / 1 .	33,12	0,35	0,00	66,30	0,00	99,76	177_A4_sph_v
28 / 1 .	33,46	0,20	0,24	66,10	0,00	100,00	177_A4_sph_v
29 / 1 .	13,40	0,00	0,22	0,00	86,81	100,43	177_A4_sph_gl
30 / 1 .	25,82	0,40	73,33	0,09	0,00	99,64	177_A4_sph_cov
31 / 1 .	13,36	0,00	0,00	0,00	85,74	99,09	177_A4_sph_gl
32 / 1 .	33,19	0,37	0,44	66,22	0,00	100,22	177_A4_sph_gl
33 / 1 .	32,84	0,32	1,37	66,41	0,00	100,95	177_A4_sph_o
34 / 1 .	33,12	0,32	0,78	66,31	0,00	100,53	177_A4_sph_o
35 / 1 .	32,96	0,30	0,87	65,73	0,00	99,87	177_A4_sph_o
36 / 1 .	33,08	0,33	0,01	66,85	0,00	100,27	177_A4_sph_v
37 / 1 .	33,39	0,31	0,00	65,89	0,00	99,60	177_A4_sph_v
38 / 1 .	33,25	0,34	0,00	66,70	0,00	100,29	177_A4_sph_v
39 / 1 .	33,13	0,33	0,00	66,17	0,00	99,63	177_A4_sph_v
40 / 1 .	32,90	0,23	0,00	66,66	0,00	99,79	177_A5_sph_v_centro
41 / 1 .	33,10	0,28	0,32	66,73	0,00	100,43	177_A5_sph_v_centro
42 / 1 .	33,02	0,26	0,00	65,62	0,00	98,90	177_A5_sph_v_centro
43 / 1 .	32,72	0,26	0,01	66,92	0,00	99,90	177_A5_sph_v
44 / 1 .	35,25	0,23	0,04	62,00	0,00	97,52	177_A5_sph_v
45 / 1 .	33,04	0,21	0,00	66,32	0,00	99,57	177_A5_sph_v
46 / 1 .	33,30	0,28	0,01	66,75	0,00	100,34	177_A5_sph_v
47 / 1 .	33,46	0,35	0,55	65,39	0,00	99,74	177_A5_sph_o
48 / 1 .	13,58	0,00	0,00	0,00	86,52	100,10	177_A5_gl
49 / 1 .	32,94	0,23	0,25	66,36	0,00	99,78	177_A5_sph_o
50 / 1 .	33,05	0,32	0,37	66,12	0,00	99,85	177_A5_sph_o
51 / 1 .	32,15	0,27	0,14	64,73	0,00	97,29	177_A5_sph_o
52 / 1 .	13,41	0,00	0,01	0,06	86,68	100,16	177_A5_gl
53 / 1 .	33,12	0,30	0,72	66,30	0,00	100,43	177_A6_sph_o
54 / 1 .	32,89	0,31	0,43	66,66	0,00	100,30	177_A6_sph_o
55 / 1 .	33,03	0,34	0,01	66,75	0,00	100,13	177_A6_sph_v
56 / 1 .	33,34	0,35	0,00	65,99	0,00	99,68	177_A6_sph_v
57 / 1 .	33,06	0,33	0,00	66,81	0,00	100,20	177_A6_sph_v

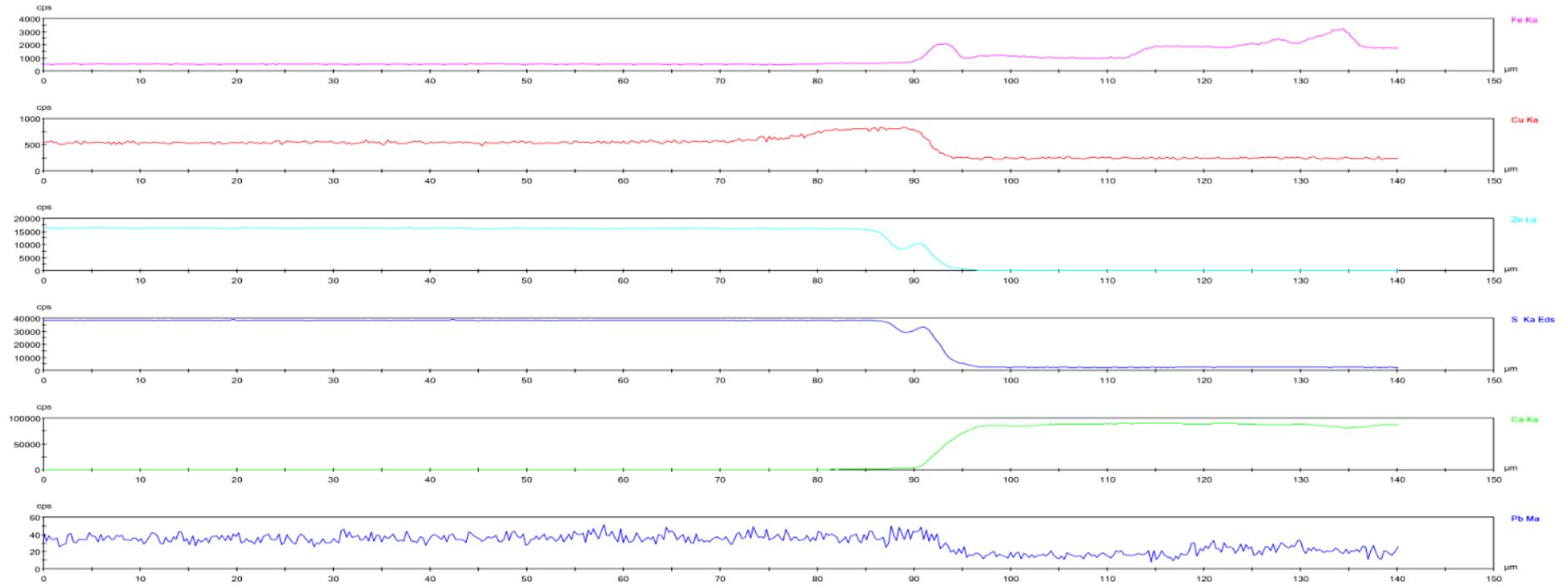
DataSet/Point	S	Fe	Cu	Zn	Pb	Total	Comentário
58 / 1 .	13,31	0,00	0,04	0,00	86,93	100,28	177_A6_gl
59 / 1 .	13,49	0,00	0,03	0,00	87,87	101,39	177_A6_gl
60 / 1 .	13,24	0,00	0,02	0,00	87,91	101,17	177_A6_gl
61 / 1 .	32,86	0,29	0,93	66,16	0,00	100,24	177_A6_sph_o
62 / 1 .	32,92	0,33	0,43	66,64	0,00	100,31	177_A6_sph_o
63 / 1 .	33,01	0,26	0,70	65,68	0,00	99,65	177_A6_sph_o
64 / 1 .	32,85	0,29	1,20	65,63	0,00	99,98	177_A6_sph_o
65 / 1 .	13,29	0,00	0,02	0,00	87,21	100,52	177_A6_gl
66 / 1 .	32,67	0,31	1,17	65,34	0,00	99,48	177_A6_sph_o
67 / 1 .	0,02	6,97	0,00	0,09	0,06	7,15	177_A6_sph_o
68 / 1 .	32,68	0,30	0,87	66,65	0,00	100,50	177_A6_sph_o
69 / 1 .	33,21	0,25	0,26	66,58	0,00	100,29	177_A6_sph_o
70 / 1 .	32,50	0,26	0,16	66,98	0,00	99,90	177_A6_sph_v
71 / 1 .	32,97	0,31	0,53	66,28	0,00	100,08	177_A6_sph_o
72 / 1 .	32,69	0,30	0,40	66,68	0,00	100,07	177_A6_sph_o
73 / 1 .	32,80	0,31	1,17	66,06	0,00	100,35	177_A6_sph_o
74 / 1 .	33,01	0,08	0,24	66,79	0,00	100,12	177_A6_sph_o
75 / 1 .	33,14	0,31	0,79	65,77	0,00	100,00	177_A6_sph_o
76 / 1 .	33,17	0,32	0,05	66,49	0,00	100,03	177_A6_sph_v
77 / 1 .	32,79	0,14	0,00	66,50	0,00	99,43	139_A1_sph_v
78 / 1 .	33,08	0,14	0,01	66,85	0,00	100,08	139_A1_sph_v
79 / 1 .	33,13	0,16	0,00	66,34	0,00	99,63	139_A1_sph_v
80 / 1 .	32,84	0,17	0,00	66,47	0,00	99,48	139_A1_sph_v
81 / 1 .	0,20	17,93	0,00	1,27	0,02	19,42	139_A1_cb?
82 / 1 .	33,02	0,07	0,00	66,31	0,00	99,40	139_A1_sph_v
83 / 1 .	33,46	0,16	0,00	66,30	0,00	99,91	139_A1_sph_v
84 / 1 .	32,98	0,16	0,00	66,63	0,00	99,77	139_A1_sph_v
85 / 1 .	32,85	0,14	0,18	66,74	0,00	99,90	139_A1_sph_o
86 / 1 .	13,65	0,00	0,00	0,05	87,41	101,11	139_A1_gl
87 / 1 .	53,21	46,22	0,01	0,00	0,00	99,44	139_A1_cpy
88 / 1 .	32,54	0,18	0,20	66,80	0,00	99,72	139_A1_sph_o
89 / 1 .	32,68	0,11	0,11	65,92	0,00	98,82	139_A1_sph_o
90 / 1 .	13,32	0,00	0,00	0,00	88,47	101,79	139_A1_gl
91 / 1 .	33,02	0,07	0,05	67,11	0,00	100,25	139_A2_sph_o
92 / 1 .	32,90	0,00	0,00	66,24	0,00	99,13	139_A2_sph_v
93 / 1 .	32,98	0,06	0,01	67,31	0,00	100,36	139_A2_sph_v
94 / 1 .	33,34	0,15	0,19	66,36	0,00	100,05	139_A2_sph_o
95 / 1 .	33,51	0,18	0,00	67,09	0,00	100,77	139_A2_sph_v
96 / 1 .	51,55	44,51	0,08	0,03	0,89	97,06	139_A2_py
97 / 1 .	52,41	45,91	0,03	0,04	0,00	98,39	139_A2_py
98 / 1 .	51,27	44,81	0,17	0,04	2,20	98,49	139_A2_py
99 / 1 .	0,24	28,09	0,01	0,60	0,11	29,05	139_A2_sph_o
100 / 1 .	0,01	24,95	0,00	0,13	0,02	25,12	139_A2_sph_v_zonacao amarela
101 / 1 .	0,01	28,79	0,00	0,06	0,09	28,96	139_A2_sph_v_zonacao amarela
102 / 1 .	0,01	28,71	0,01	0,00	0,04	28,77	139_A2_sph_v_zonacao amarela
103 / 1 .	0,02	30,02	0,00	0,10	0,24	30,38	139_A2_sph_v_zonacao amarela
104 / 1 .	0,02	26,68	0,00	0,07	0,17	26,94	139_A2_sph_v_zonacao amarela
105 / 1 .	0,04	2,08	0,01	0,20	0,31	2,63	139_A2_sph_v_zonacao amarela

DataSet/Point	S	Fe	Cu	Zn	Pb	Total	Comentário
106 / 1 .	32,99	0,31	0,32	66,34	0,00	99,97	139_A2_sph_o
107 / 1 .	32,95	0,09	0,01	67,12	0,00	100,18	139_A2_sph_v
108 / 1 .	0,02	28,91	0,00	0,07	0,00	29,00	139_A2_sph_v_zonacao amarela\
109 / 1 .	0,01	25,39	0,00	0,15	0,46	26,01	139_A2_sph_v_zonacao amarela\
110 / 1 .	0,10	19,89	0,01	0,23	1,47	21,70	139_A2_sph_v_zonacao amarela\
111 / 1 .	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04	0,08	139_A2_sph_v
112 / 1 .	32,94	0,09	0,09	66,23	0,00	99,36	139_A2_sph_o
113 / 1 .	33,13	0,13	0,16	65,89	0,00	99,30	139_A2_sph_o
114 / 1 .	32,72	0,16	0,18	66,55	0,00	99,61	139_A2_sph_o
115 / 1 .	32,77	0,18	0,20	66,53	0,00	99,67	139_A2_sph_o
116 / 1 .	33,13	0,16	0,20	66,72	0,00	100,21	139_A2_sph_o
117 / 1 .	32,99	0,09	0,10	66,36	0,00	99,54	139_A2_sph_o
118 / 1 .	33,04	0,16	0,00	66,73	0,00	99,93	139_A2_sph_v
119 / 1 .	32,70	0,17	0,01	66,57	0,00	99,44	139_A2_sph_v
120 / 1 .	33,17	0,19	0,00	66,55	0,00	99,91	139_A2_sph_v
121 / 1 .	33,00	0,17	0,00	66,70	0,00	99,87	139_A2_sph_v
122 / 1 .	33,22	0,18	0,00	66,79	0,00	100,18	139_A2_sph_v
123 / 1 .	33,18	0,18	0,01	66,78	0,00	100,16	139_A2_sph_v
124 / 1 .	33,49	0,16	0,03	66,91	0,00	100,59	139_A2_sph_v
125 / 1 .	33,52	0,10	0,00	66,33	0,00	99,94	139_A2_sph_v
126 / 1 .	9,97	2,32	0,07	0,14	70,32	82,82	139_A2_sph_v
127 / 1 .	33,08	0,08	0,01	66,79	0,00	99,95	139_A3_sph_v
128 / 1 .	32,97	0,10	0,00	66,57	0,00	99,63	139_A3_sph_v
129 / 1 .	30,03	0,14	0,02	68,93	0,00	99,11	139_A3_sph_v
130 / 1 .	33,18	0,06	0,01	66,75	0,00	100,01	139_A3_sph_v
131 / 1 .	33,07	0,30	0,04	67,10	0,00	100,51	139_A3_sph_v
132 / 1 .	33,66	0,54	0,44	66,21	0,00	100,84	139_A4_sph_o
133 / 1 .	33,30	0,81	0,87	65,02	0,00	99,99	139_A4_sph_o
134 / 1 .	32,97	0,96	0,79	65,48	0,00	100,20	139_A4_sph_o
135 / 1 .	53,14	46,55	0,04	0,00	0,00	99,73	139_A4_cpy
136 / 1 .	13,51	0,00	0,02	0,06	88,27	101,85	139_A4_gl
137 / 1 .	52,50	46,53	0,06	0,00	0,00	99,09	139_A4_cpy
138 / 1 .	13,64	0,00	0,01	0,00	88,85	102,50	139_A4_gl
139 / 1 .	33,11	0,39	0,42	64,74	0,00	98,67	139_A4_sph_o
140 / 1 .	32,96	0,58	0,57	65,46	0,00	99,56	139_A4_sph_o
141 / 1 .	33,07	0,50	0,52	65,39	0,00	99,48	139_A4_sph_o
142 / 1 .	33,01	0,44	0,43	65,88	0,00	99,75	139_A4_sph_o
143 / 1 .	53,15	46,59	0,02	0,08	0,00	99,85	139_A4_cpy
144 / 1 .	13,53	0,00	0,01	0,00	87,84	101,38	139_A4_gl
145 / 1 .	33,18	0,41	0,00	66,27	0,00	99,86	139_A4_sph_v
146 / 1 .	33,31	0,42	0,04	65,97	0,00	99,73	139_A5_sph_v
147 / 1 .	33,17	0,48	0,38	66,55	0,00	100,59	139_A5_sph_o
148 / 1 .	0,01	1,02	0,00	0,04	0,06	1,13	139_A5_sph_v
149 / 1 .	0,01	1,33	0,00	0,01	0,04	1,38	139_A5_sph_v
150 / 1 .	0,01	10,04	0,00	0,07	0,08	10,21	139_A5_sph_v
151 / 1 .	0,02	6,22	0,01	0,16	0,11	6,51	139_A5_sph_v
152 / 1 .	33,03	0,59	0,03	66,32	0,00	99,97	139_A5_sph_o
153 / 1 .	32,94	0,16	0,04	66,67	0,00	99,81	139_A5_sph_o

DataSet/Point	S	Fe	Cu	Zn	Pb	Total	Comentário
154 / 1 .	33,05	0,46	0,05	66,26	0,00	99,81	139_A5_sph_o
155 / 1 .	52,31	46,37	0,03	0,04	0,00	98,74	139_A5_cpy
156 / 1 .	52,63	46,18	0,02	0,02	0,00	98,85	139_A5_cpy
157 / 1 .	42,76	34,69	0,12	0,07	20,82	98,45	139_A5_cpy
158 / 1 .	52,01	46,29	0,04	0,01	0,00	98,34	139_A5_cpy
159 / 1 .	13,33	0,00	0,01	0,00	87,23	100,57	139_A5_gl
160 / 1 .	13,29	0,00	0,01	0,07	87,68	101,05	139_A5_gl
161 / 1 .	13,43	0,00	0,00	0,00	86,56	99,99	139_A5_gl
162 / 1 .	13,35	0,00	0,00	0,05	87,41	100,81	139_A5_gl
163 / 1 .	0,00	0,65	0,00	0,02	0,00	0,67	139_A5_sph_v
164 / 1 .	0,00	0,46	0,00	0,00	0,00	0,46	139_A5_sph_v
165 / 1 .	0,00	8,41	0,00	0,00	0,03	8,44	139_A5_sph_v
166 / 1 .	0,00	4,71	0,00	0,03	0,05	4,78	139_A5_sph_v
1 / 1 .	32,58	0,69	0,49	66,28	0,00	100,03	119_S2_spho
2 / 1 .	13,18	0,09	0,00	0,12	88,22	101,60	119_S2_gl inclusa na sph
3 / 1 .	32,68	0,86	0,13	66,81	0,00	100,47	119_S2_A1_spho
4 / 1 .	33,10	0,09	0,08	65,58	0,00	98,86	119_S2_A1_spho
5 / 1 .	33,31	1,27	0,57	65,76	0,00	100,91	119_S2_A1_spho
6 / 1 .	33,39	1,30	0,56	65,58	0,00	100,82	119_S2_A1_spho
7 / 1 .	49,60	42,43	0,13	0,04	7,47	99,68	119_S2_A1_py
8 / 1 .	33,47	0,06	0,00	66,59	0,00	100,12	119_S2_A1_sphv
9 / 1 .	33,26	0,07	0,02	66,42	0,00	99,77	119_S2_A1_sphv
10 / 1 .	33,30	0,05	0,00	66,04	0,00	99,38	119_S2_A1_sphv
11 / 1 .	33,53	0,16	0,16	66,85	0,00	100,70	119_S2_A1_spho
12 / 1 .	32,99	0,18	0,20	66,65	0,00	100,02	119_S2_A1_spho
13 / 1 .	33,42	0,16	0,15	65,66	0,00	99,39	119_S2_A1_spho
14 / 1 .	33,27	0,15	0,13	65,97	0,00	99,52	119_S2_A1_spho
15 / 1 .	33,07	0,17	0,01	66,80	0,00	100,04	119_S2_A1_sphv
16 / 1 .	33,38	0,07	0,01	66,78	0,00	100,25	119_S2_A1_sphv
17 / 1 .	33,51	0,06	0,02	66,79	0,00	100,39	119_S2_A1_sphv
18 / 1 .	33,68	0,15	0,03	65,11	0,00	98,96	119_S2_A1_spho
19 / 1 .	33,47	0,14	0,04	65,91	0,00	99,56	119_S2_A1_spho
20 / 1 .	30,64	1,75	0,08	60,05	0,00	92,52	119_S2_A1_spho
21 / 1 .	31,88	0,76	0,29	64,02	0,00	96,95	119_S2_A1_spho
22 / 1 .	33,16	1,24	0,25	66,63	0,00	101,29	119_S2_A1_spho
23 / 1 .	33,26	0,15	0,08	67,01	0,00	100,50	119_S2_A1_spho
24 / 1 .	31,15	0,32	0,16	65,10	0,00	96,73	119_S2_A1_spho
25 / 1 .	32,99	0,34	0,32	66,28	0,00	99,93	119_S2_A1_spho
26 / 1 .	51,05	44,65	0,06	0,09	1,53	97,38	119_S2_A1_py
27 / 1 .	33,30	0,19	0,00	66,45	0,00	99,94	119_S2_A1_py
28 / 1 .	33,58	0,18	0,00	66,01	0,00	99,77	119_S2_A2_sphv
29 / 1 .	33,16	0,18	0,00	66,48	0,00	99,81	119_S2_A2_sphv
30 / 1 .	33,53	0,19	0,00	66,48	0,00	100,19	119_S2_A2_sphv
31 / 1 .	33,41	0,17	0,01	66,67	0,00	100,26	119_S2_A2_sphv
32 / 1 .	33,53	0,20	0,02	66,76	0,00	100,52	119_S2_A2_sphv
33 / 1 .	32,39	0,19	0,00	66,68	0,00	99,25	119_S2_A2_sphv
34 / 1 .	0,11	0,33	0,00	0,43	0,00	0,87	119_S2_A2_spho - borda do veio cb
35 / 1 .	0,73	0,33	0,00	1,95	0,02	3,03	119_S2_A2_spho - borda do veio cb

DataSet/Point	S	Fe	Cu	Zn	Pb	Total	Comentário
36 / 1 .	22,16	0,29	0,06	39,68	0,00	62,19	119_S2_A2_spho - borda do veio cb
37 / 1 .	27,04	0,18	0,04	44,70	0,00	71,96	119_S2_A2_spho - borda do veio cb
38 / 1 .	9,12	0,37	0,02	12,73	0,00	22,24	119_S2_A2_spho - borda do veio cb
39 / 1 .	34,33	0,24	0,19	56,69	0,00	91,45	119_S2_A2_spho - borda do veio cb
40 / 1 .	35,43	0,82	0,41	63,67	0,00	100,34	119_S2_A2_spho - borda do veio cb
41 / 1 .	33,35	0,43	0,03	66,94	0,00	100,75	119_S2_A2_spho - borda do veio cb
42 / 1 .	4,91	3,95	0,05	0,80	62,25	71,97	119_S2_A2_spho - borda do veio cb
43 / 1 .	31,89	0,35	0,23	63,18	0,00	95,65	119_S2_A2_spho - borda do veio cb
44 / 1 .	33,54	0,53	0,12	67,23	0,00	101,42	119_S2_A2_spho - borda do veio cb
45 / 1 .	33,44	0,21	0,16	67,42	0,00	101,24	119_S2_A2_spho - borda do veio cb
46 / 1 .	33,66	1,94	1,85	64,51	0,00	101,95	119_S2_A2_spho - borda do veio cb
47 / 1 .	14,01	0,22	0,05	4,06	82,91	101,25	119_S2_A2_spho - cuticula
48 / 1 .	35,14	0,71	0,51	63,11	0,00	99,47	119_S2_A2_spho - cuticula
49 / 1 .	0,09	26,02	0,00	0,15	0,36	26,62	119_S2_A2_spho - cuticula
50 / 1 .	33,33	1,06	0,55	66,05	0,00	100,99	119_S2_A2_spho - cuticula
51 / 1 .	32,32	1,55	0,06	63,57	3,94	101,44	119_S2_A2_spho - cuticula
52 / 1 .	33,65	0,52	0,39	65,87	0,00	100,42	119_S2_A2_spho - cuticula
53 / 1 .	34,66	0,41	0,22	65,03	0,00	100,32	119_S2_A2_spho - cuticula
54 / 1 .	33,39	0,45	0,10	66,86	0,00	100,80	119_S2_A2_spho - cuticula
55 / 1 .	34,15	0,50	0,06	65,76	0,00	100,48	119_S2_A2_spho - cuticula
56 / 1 .	36,24	0,35	0,09	38,77	0,00	75,45	119_S2_A2_spho - cuticula
57 / 1 .	33,83	0,41	0,02	67,23	0,00	101,49	119_S2_A2_spho - cuticula
58 / 1 .	10,05	1,99	0,03	26,28	60,07	98,42	119_S2_A2_spho - cuticula
59 / 1 .	0,03	11,16	0,01	0,55	0,39	12,14	119_S2_A2_spho - cuticula
60 / 1 .	33,62	0,49	0,08	66,63	0,00	100,82	119_S2_A2_spho - cuticula
61 / 1 .	33,29	1,04	0,00	65,44	0,00	99,77	271_S2_A1_sphv
62 / 1 .	33,70	1,08	0,01	65,21	0,00	99,99	271_S2_A1_sphv
63 / 1 .	33,39	1,04	0,02	65,45	0,00	99,90	271_S2_A1_sphv
64 / 1 .	32,90	1,07	0,01	65,74	0,00	99,71	271_S2_A1_sphv
65 / 1 .	33,54	1,13	0,01	65,27	0,00	99,95	271_S2_A1_sphv
66 / 1 .	33,54	0,90	0,80	66,37	0,00	101,60	271_S2_A1_spho
67 / 1 .	31,95	1,13	0,19	70,31	0,00	103,57	271_S2_A1_spho
68 / 1 .	33,90	1,34	1,01	64,83	0,00	101,08	271_S2_A1_spho
69 / 1 .	33,52	1,32	0,97	64,68	0,00	100,49	271_S2_A1_spho
70 / 1 .	32,57	2,68	1,55	63,23	0,13	100,16	271_S2_A1_spho
71 / 1 .	0,52	30,91	0,03	1,44	0,00	32,90	271_S2_A1_spho
72 / 1 .	31,75	1,16	1,19	67,71	0,00	101,80	271_S2_A1_spho
73 / 1 .	33,11	1,23	0,90	66,41	0,00	101,65	271_S2_A1_spho
74 / 1 .	32,76	0,14	0,06	66,82	0,00	99,78	271_S2_A1_spho
75 / 1 .	34,45	1,10	0,05	60,08	0,00	95,68	271_S2_A1_spho
76 / 1 .	33,43	0,90	0,37	65,33	0,00	100,02	271_S2_A1_spho
77 / 1 .	31,04	0,96	1,71	70,09	0,00	103,80	271_S2_A1_spho
78 / 1 .	32,93	1,41	2,59	63,63	0,00	100,56	271_S2_A1_spho
79 / 1 .	29,86	0,59	2,01	63,87	13,48	109,81	271_S2_A1_bo
80 / 1 .	32,17	0,91	1,05	68,40	0,00	102,53	271_S2_A1_spho
81 / 1 .	28,66	0,61	2,27	56,11	18,01	105,66	271_S2_A1_spho
82 / 1 .	17,05	0,07	0,53	21,82	70,71	110,18	271_S2_A1_spho
83 / 1 .	33,91	1,17	1,37	64,68	0,00	101,12	271_S2_A1_spho

DataSet/Point	S	Fe	Cu	Zn	Pb	Total	Comentário
84 / 1 .	33,71	1,31	1,42	65,35	0,00	101,79	271_S2_A1_spho
85 / 1 .	34,19	1,11	1,55	64,55	0,00	101,40	271_S2_A1_spho
86 / 1 .	33,95	1,33	1,56	65,69	0,00	102,53	271_S2_A1_spho
87 / 1 .	34,21	1,21	1,41	65,38	0,00	102,21	271_S2_A1_spho
88 / 1 .	33,29	1,09	0,00	66,05	0,00	100,44	271_S2_A1_sphv
89 / 1 .	33,33	1,10	0,02	65,74	0,00	100,20	271_S2_A1_sphv
90 / 1 .	33,50	1,14	0,00	65,20	0,00	99,84	271_S2_A1_sphv
91 / 1 .	33,20	1,10	0,00	65,64	0,00	99,94	271_S2_A1_sphv
92 / 1 .	32,90	1,12	0,01	65,86	0,00	99,89	271_S2_A1_sphv
93 / 1 .	33,39	1,05	0,02	64,73	0,00	99,19	271_S2_A1_sphv
94 / 1 .	33,15	1,02	0,01	66,50	0,00	100,68	271_S2_A1_sphv
95 / 1 .	33,35	1,07	0,01	65,53	0,00	99,95	271_S2_A1_sphv
96 / 1 .	33,22	1,11	0,01	65,33	0,00	99,68	271_S2_A1_sphv
97 / 1 .	33,90	1,04	1,14	64,03	0,00	100,11	271_S2_A1_spho
98 / 1 .	33,93	0,79	0,82	65,48	0,00	101,02	271_S2_A1_spho
99 / 1 .	34,12	1,26	1,48	64,53	0,00	101,39	271_S2_A1_spho
100 / 1 .	33,69	0,60	0,56	66,82	0,00	101,67	271_S2_A1_spho
101 / 1 .	33,76	1,11	1,43	64,37	0,00	100,68	271_S2_A1_spho
102 / 1 .	32,46	0,98	2,58	61,23	0,00	97,25	271_S2_A1_spho associada a galena
103 / 1 .	33,52	1,76	2,01	64,38	0,00	101,67	271_S2_A1_spho associada a galena
104 / 1 .	26,98	5,56	6,91	53,50	0,00	92,96	271_S2_A1_spho associada a galena
105 / 1 .	33,02	1,93	2,27	65,57	0,00	102,80	271_S2_A1_spho associada a galena
106 / 1 .	4,75	25,38	1,11	1,09	31,73	64,06	271_S2_A1_spho associada a galena
107 / 1 .	5,12	26,40	0,04	8,92	0,00	40,48	271_S2_A1_spho associada a galena
108 / 1 .	33,24	1,08	1,11	65,53	0,00	100,96	271_S2_A3
109 / 1 .	33,24	1,05	1,11	65,24	0,00	100,65	271_S2_A3 spho
110 / 1 .	32,91	1,16	1,34	65,29	0,00	100,70	271_S2_A3 spho
111 / 1 .	33,38	1,23	0,19	65,28	0,00	100,08	271_S2_A3 spho
112 / 1 .	33,46	1,23	1,25	65,20	0,00	101,14	271_S2_A3 spho
113 / 1 .	33,24	1,30	1,33	65,18	0,00	101,04	271_S2_A3 spho
114 / 1 .	33,14	2,00	1,90	64,46	0,00	101,49	271_S2_A3 spho
115 / 1 .	32,96	1,48	1,76	64,86	0,00	101,06	271_S2_A3 spho
116 / 1 .	33,75	1,35	1,31	65,07	0,00	101,49	271_S2_A3 spho
117 / 1 .	33,18	1,10	1,04	65,25	0,00	100,58	271_S2_A3 spho
118 / 1 .	33,14	1,13	1,06	65,17	0,00	100,50	271_S2_A3 spho
119 / 1 .	33,41	1,37	1,45	64,61	0,00	100,83	271_S2_A3 spho
120 / 1 .	33,16	1,35	1,54	64,87	0,00	100,92	271_S2_A3 spho
121 / 1 .	33,33	1,04	0,00	65,39	0,00	99,77	271_S2_A3 sphv
122 / 1 .	34,34	1,24	0,05	59,58	0,00	95,20	271_S2_A3 sphv
123 / 1 .	33,05	1,20	0,00	66,03	0,00	100,28	271_S2_A3 sphv
124 / 1 .	33,41	1,23	0,00	65,45	0,00	100,09	271_S2_A3 sphv
125 / 1 .	33,38	1,25	0,01	65,14	0,00	99,78	271_S2_A3 sphv
126 / 1 .	33,14	1,26	0,02	65,59	0,00	100,01	271_S2_A3 sphv

Perfis composicionais da amostra 1-119:

Perfis composicionais da amostra 1-177: