



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E PETROGRÁFICA DE
FOSFATOS PRIMÁRIOS E SUAS ALTERAÇÕES-PEGMATITO**
EDUARDO, CONSELHEIRO PENA-MG

Thaís de Pinna Cruz

MONOGRAFIA Nº 502

Ouro Preto, fevereiro de 2024

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E PETROGRÁFICA
DE FOSFATOS PRIMÁRIOS E SUAS ALTERAÇÕES -
PEGMATITO EDUARDO, CONSELHEIRO PENA-MG**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

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

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitor de Graduação

Adilson Pereira dos Santos

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. José Alberto Naves Cocota Júnior

Vice-Diretor

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Técnico Administrativo em Educação

Geraldo Magela Santos Sampaio

MONOGRAFIA Nº502

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E PETROGRÁFICA DE
FOSFATOS PRIMÁRIOS E SUAS ALTERAÇÕES-PEGMATITO
EDUARDO, CONSELHEIRO PENA-MG**

Thaís de Pinna Cruz

Orientador

Prof. Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano

DEGEO / Escola de Minas / UFOP

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

OURO PRETO

2024

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>

Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>

Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>

Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita

35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais

Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C957c Cruz, Thais de Pinna.
Caracterização mineralógica e petrográfica de fosfatos primários e suas alterações-pegmatito Eduardo, Conselheiro Pena-MG. [manuscrito] / Thais de Pinna Cruz. - 2024.
46 f.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Mineralogia. 2. Pegmatitos. 3. Fosfatos. 4. Conselheiro Pena (MG). I. Cipriano, Ricardo Augusto Scholz. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 552.322

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Thaís de Pinna Cruz

Caracterização mineralógica e petrográfica de fosfatos primários e suas alterações - Pegmatito Eduardo, Conselheiro Pena - MG

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

Aprovada em 22 de fevereiro de 2024

Membros da banca

Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. Leonardo Martins Graça - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Me. Edison Tazava - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Filipe Giovanini Varejão, presidente do Colegiado de Engenharia Geológica, após aprovação da versão final pelos orientadores, autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 26/02/2024



Documento assinado eletronicamente por **Filipe Giovanini Varejão, COORDENADOR(A) DE CURSO DE ENGENHARIA GEOLÓGICA**, em 26/02/2024, às 10:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0673440** e o código CRC **F17B8517**.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE QUADROS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
AGRADECIMENTOS	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	1
1.3 OBJETIVO	2
1.4 JUSTIFICATIVA	3
1.5 METODOLOGIA	3
1.5.1 Preparação das lâminas	4
1.5.2 Microscopia Óptica.....	4
1.5.3 MEV- Microscopia Eletrônica de Varredura	4
2 PEGMATITOS	6
2.1 DEFINIÇÕES	6
2.2 GÊNESE DAS ROCHAS PEGMATÍTICAS	7
2.2.1 Origem por Fusão Magmática Residual	7
2.2.2 Origem por Anatexia	8
2.3 ANATOMIA INTERNA, ZONEAMENTO E MINERALOGIA DE PEGMATITOS	8
2.4 CLASSIFICAÇÃO DE PEGMATITOS	11
2.5 PEGMATITOS DO DISTRITO DE CONSELHEIRO PENA	14
3 FOSFATOS	16
3.1 INTRODUÇÃO	16
3.2 GRUPOS DE PEGMATITOS DA REGIÃO DE CONSELHEIRO PENA	18
3.2.1 Pegmatitos ricos em lítio com montebrasita primária	18
3.2.2 Pegmatitos ricos em lítio com trifilita primária	18
3.2.3 Pegmatitos com presença de apatita primária e secundária	19
3.2.4 Pegmatitos com ausência de fosfatos primários, sendo produto da alteração da montebrasita primária	20

3.2.5	Pegmatitos com ausência de fosfatos primários, sendo produto da alteração da trifilita primária	20
3.3	TRIFILITA PRIMÁRIA E SUAS ALTERAÇÕES FRENTE A AÇÃO HIDROTERMAL	21
4	GEOLOGIA	22
4.1	CONTEXTO GEOLÓGICO-ESTRUTURAL REGIONAL.....	22
4.2	DESCRIÇÃO DAS UNIDADES LITOESTRÁTIGRÁFICAS	24
4.2.1	Grupo Rio Doce (Formação São Tomé).....	24
4.2.2	Grupo Rio Doce (Formação João Pinto)	25
4.2.3	Grupo Rio Doce (Formação Palmital do Sul).....	25
4.3.	GRANITOS SIN A TARDI-TECTÔNICOS	25
4.3.1	Suíte Intrusiva Urucum.....	25
4.4	LAVRA DO EDUARDO	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
5.1	PETROGRAFIA MICROSCÓPICA	28
5.1.1	AMOSTRA SAH 129.....	28
5.1.2	AMOSTRA SAH 136.....	30
5.1.3	AMOSTRA SAH 137	31
5.1.4	AMOSTRA SAH 142.....	32
5.2	ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	34
5.2.1	AMOSTRA SAH 129	34
5.2.2	AMOSTRA SAH 136.....	36
5.2.3	AMOSTRA SAH 137	37
5.2.4	AMOSTRA SAH 142.....	39
6	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
	APÊNDICES	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Região do estado de Minas Gerais onde se localiza o município de Conselheiro Pena Fonte: Google Imagens.....	2
Figura 1.2 - Trajeto Ouro Preto para Conselheiro Pena e principais vias de acesso entre as cidades. Fonte: Maps. Google.....	2
Figura 1.3 - Componentes básicos do MEV. Fonte: Maliska (2003), Universidade Federal de Santa Catarina- Departamento de Engenharia Mecânica.....	5
Figura 2.1 - Anatomia interna de corpos pegmatíticos zonados e relação entre as zonas. Fonte: Newman Carvalho (2004)	10
Figura 4.1 - Origem do Orógeno Araçuaí (Pedrosa Soares et al 2007).....	24
Figura 5.1 - Seção 1 da lâmina SAH 129 com luz natural e luz polarizada.....	28
Figura 5.2 - Seção 2 da lâmina SAH 129 com luz natural e luz polarizada.....	29
Figura 5.3 - Seção 3 da lâmina SAH 129 com luz natural e luz polarizada.....	30
Figura 5.4 - SAH 136 com luz natural e luz polarizada.....	31
Figura 5.5 - Seção 1 da lâmina SAH 137 com luz natural e luz polarizada.....	31
Figura 5.6 - Seção 2 da lâmina SAH 137 com luz natural e luz polarizada.....	32
Figura 5.7 - Seção 1 da lâmina SAH 142 com luz natural e luz polarizada.....	32
Figura 5.8 - Seção 2 da lâmina SAH 142 com luz natural e luz polarizada.....	33
Figura 5.9 - Seção 3 da lâmina SAH 142 com luz natural e luz polarizada.....	34
Figura 5.10 - Fotomicrografia dos campos de SAH 129.....	34
Figura 5.11 - Fotomicrografia do campo de SAH 136.....	36
Figura 5.12 - Fotomicrografia dos campos de SAH 137.....	37
Figura 5.13 - Fotomicrografia do campo de SAH 142.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.2- Classificação dos pegmatitos graníticos segundo elementos raros. Cerny(1982)...14	
Tabela 3.1- Fosfatos encontrados na região de estudo. Chaves <i>et al</i> (2005), Scholz (2006), Fransolet <i>et al.</i> 2007, Baijot <i>et al.</i> 2014.....17	
Tabela 5.1 - Porcentagem em massa de óxidos obtido por EDS, campo 1 de SAH 129.....35	
Tabela 5.2 - Porcentagem em massa de óxidos obtido por EDS, campo 2 de SAH 129.....36	
Tabela 5.3 - Porcentagem em massa de óxidos obtida por EDS de SAH 136.....37	
Tabela 5.4 - Porcentagem em massa de óxidos obtida por EDS, campo 1 de SAH 137.....38	
Tabela 5.5 - Porcentagem em massa de óxidos obtida por EDS, campo 2 de SAH 137.....39	
Tabela 5.6 – Porcentagem em massa de óxidos obtida por EDS de SAH 142.....40	

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Definições de alguns autores sobre o termo pegmatito. Modificada de Araújo (2015).....	8
--	---

Resumo

Os pegmatitos do Distrito de Conselheiro Pena são importantes fontes de minerais industriais (feldspato, espodumênio) e de minerais gemológicos (espodumênio, berilo). Além destes minerais de importância econômica, a região é internacionalmente conhecida pela variedade de minerais fosfatos, com destaque para a brazilianita, barbosalita, eosforita e minerais do grupo da variscita. Em pegmatitos, os fosfatos são formados em diversas etapas da evolução da rocha, partindo do estágio magmático com a formação de trifilita primária, passando pelo estágio hidrotermal/metassomático, onde a mineralogia primária é parcialmente substituída por diversos fosfatos hidratados de Fe e Mn. Em uma fase final de evolução ocorre a sobreposição de um estágio supergênico, onde ocorre a oxidação dos metais de transição presentes nos fosfatos, com o surgimento de uma mineralogia complexa que inclui: jahnsita, hureaulita, fosfossiderita, frondelita, ferrisicklerita e rockbridgeita. Este trabalho buscou caracterizar os fosfatos da Lavra Eduardo, em Conselheiro Pena, por meio de análise óptica e eletrônica. Dentre os minerais encontrados destaca-se rosemaryita, sendo a primeira ocorrência no Brasil até o presente trabalho.

Palavras Chaves: Pegmatitos, Fosfatos, Caracterização Mineralógica, Conselheiro Pena.

Abstract

The pegmatites of the Conselheiro Pena District are important sources of industrial minerals (feldspar, spodumene) and gemological minerals (spodumene, beryl). In addition to these economically important minerals, the region is internationally known for its variety of phosphate minerals, with emphasis on Brazilianite, barbosalite, eosphorite and minerals from the variscite group. In pegmatites, phosphates are formed at different stages of the rock's evolution, starting from the magmatic stage with the formation of primary triphylite, passing through the hydrothermal/metasomatic stage, where the primary mineralogy is partially replaced by various hydrated phosphates of Fe and Mn. In a final phase of evolution, a supergene stage occurs, where the oxidation of transition metals present in phosphates occurs, with the emergence of a complex mineralogy that includes: jahnsite, hureaulite, phosphosiderite, frondelite, ferrisicklerite and rockbridgeite. This work sought to characterize the phosphates from Lavra Eduardo, in Conselheiro Pena, through optical and electronic analysis. Among the minerals found, rosemaryite stands out, being the first occurrence in Brazil until the present work.

Keywords: Pegmatites, Phosphates, Mineralogical Characterization, Conselheiro Pena.

Agradecimentos

Só se alcança o impossível quando acredita-se que é possível. Deus me concedeu o privilégio de descobrir o quão bela é a Terra e sua dinâmica. Em meio a tantos sentimentos o que prevalece é a gratidão. Agradeço minha mãe por tanto amor e incentivo diante das minhas angústias e inseguranças. Ao meu pai, eterna saudade. Ao meu irmão Igor pela cumplicidade, pelos conselhos e por ter me presenteado com meu pacotinho de amor e alegria Murilo. Às minhas amigas Vanessa e Cris por serem meu refúgio e minha distração. À minha terapeuta Chris Ábras pelo acolhimento, pela compreensão e por me ajudar a vencer os meus limites. Aos mestres pela partilha do conhecimento durante toda caminhada acadêmica, principalmente ao meu orientador Ricardo Scholz, pela dedicação e por confiar na minha persistência quando eu mesma achei que não seria capaz. Ao laboratório de microscopia óptica e microscopia eletrônica do Departamento de Geologia da UFOP pela acessibilidade, à FAPEMIG PPM-00588-18, FAPEMIG APQ-00764-23, PROPP/UFOP 22/2019 (23109.004080/2019-88), PROPP/UFOP 13/2020 (23109.000928/2020-33), CNPq 310072/2021-2 que foram essenciais na realização deste trabalho. E por último agradeço a cidade de Ouro Preto e a República Maria Bonita, ex alunas e moradoras pelos momentos incríveis e memoráveis. “Somos nós que fazemos a vida como der, ou puder, ou quiser”- Gonzaguinha

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A região leste de Minas Gerais é conhecida mundialmente pelos seus depósitos minerais de grande valor econômico, que incluem gemas; metais raros e estratégicos, como lítio, berílio e tântalo; rochas ornamentais, além de minerais raros, que despertam o interesse de colecionadores e pesquisadores. O distrito pegmatítico de Conselheiro Pena corresponde a uma das subdivisões metalogenéticas da Província Pegmatítica Oriental (PPO), definida por Paiva (1946) e posteriormente subdividida por Pedrosa Soares *et al.* (2011).

Na área de estudo desta monografia, os pegmatitos encontram-se intimamente relacionados aos granitos da Suíte Urucum (Nalini 1997) e encaixados nos xistos da Formação São Tomé. Além disso, essa região vem sendo objeto de diversos estudos científicos em diferentes campos das geociências, que serviram como base para a parte teórica deste trabalho.

Devido à variedade mineralógica, foi selecionado para estudo o pegmatito Lavra do Eduardo. A partir de estudos petrográficos e de química mineral, as paragêneses minerais foram estudadas, a fim de investigar sua origem e evolução e sua relação com fosfatos primários de lítio.

1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo localiza-se na região do Vale do Rio Doce à leste de Minas Gerais (Figura 1.1). O distrito pegmatítico de Conselheiro Pena encontra-se inserido nos territórios dos municípios de Galileia, Mantena, Mendes Pimentel, Aimorés e Conselheiro Pena.

A região posiciona-se a cerca de 450 km da capital mineira e 400 km de Ouro Preto. O acesso à região partindo de Ouro Preto é realizado a partir da rodovia BR-356 (Rodovia dos Inconfidentes) sentido Mariana. Por meio da MG-129, chega-se ao município de São Gonçalo do Rio Abaixo. Deve-se entrar na BR-381 até Ipatinga. Posteriormente, toma-se a BR-458 e BR116 até o trevo e por fim segue-se na BR-259 até o município de Conselheiro Pena. (Figura 1.2)

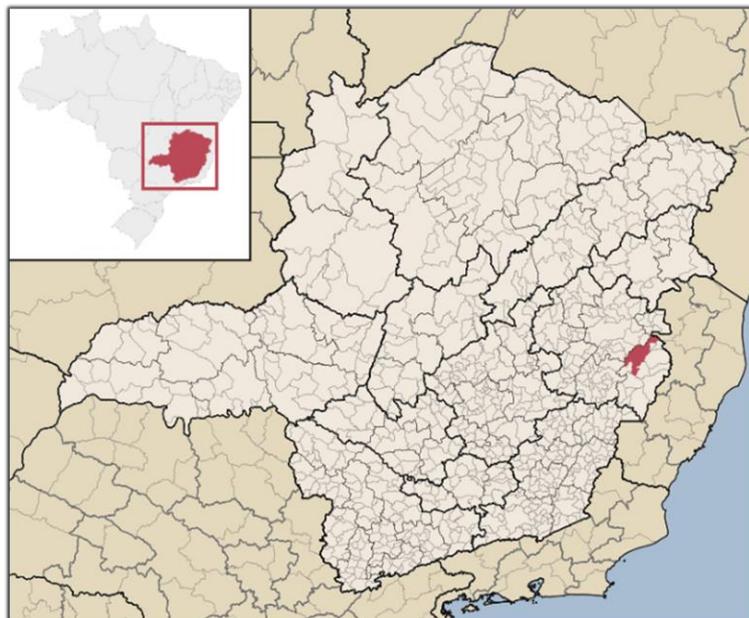


Figura 1.1 - Região do estado de Minas Gerais onde se localiza o município de Conselheiro Pena. Fonte: Google Imagens

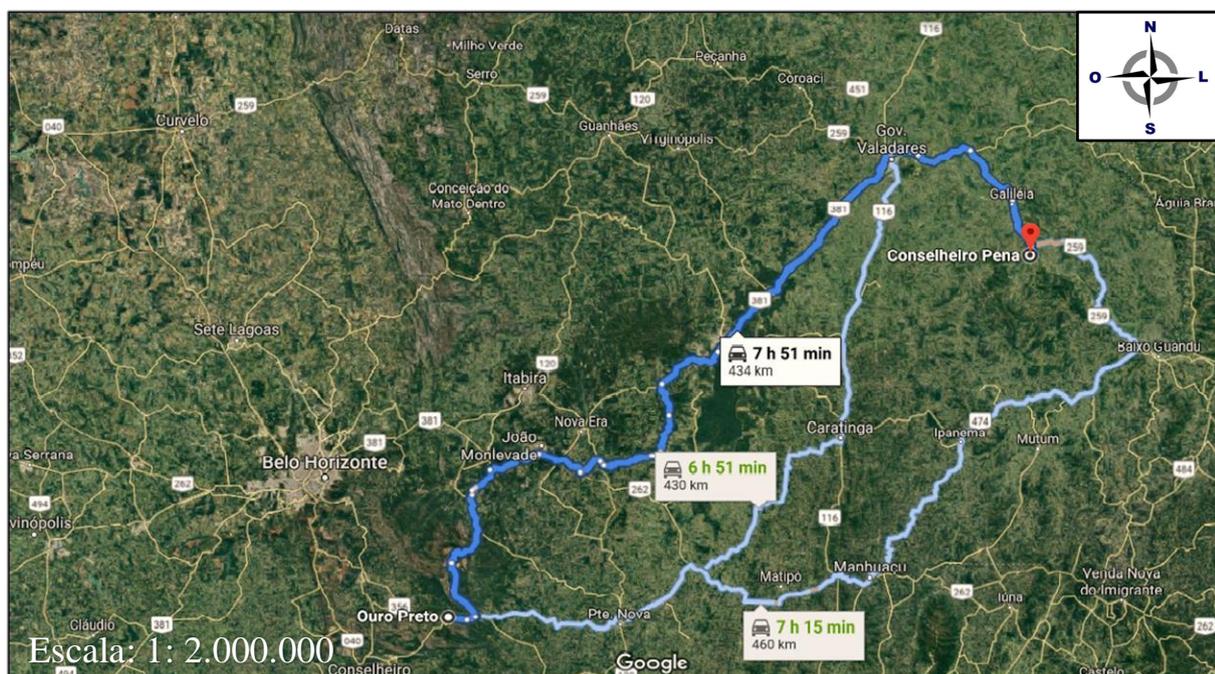


Figura 1.2 -Trajeto Ouro Preto para Conselheiro Pena e principais vias de acesso. Fonte: Maps.Google

1.3 OBJETIVO

Os objetivos principais desse trabalho consistem em:

- Realização de um estudo petrográfico dos fosfatos do pegmatito Eduardo;

- Com suporte de análises químicas por microscopia eletrônica de varredura (MEV/EDS), determinar as fases primárias e seus produtos de alteração, estabelecendo a evolução mineralógica do pegmatito, correlacionando com eventuais mineralizações em lítio.

1.4 JUSTIFICATIVA

O estudo dos minerais primários e seus produtos de alteração são uma importante ferramenta na determinação do grau de diferenciação de pegmatitos. Além disso, auxilia no estudo da evolução de tais rochas, sob a ação de processos secundários (hidrotermal e intemperismo) sobre a mineralógica primária.

O estudo de paragêneses de fosfatos possibilita a identificação de associações minerais relacionadas a alteração de fases primárias ricas em lítio.

1.5 METODOLOGIA

Esse trabalho segue a metodologia a seguir, adaptados do trabalho de Silva (2011):

- Amplo levantamento bibliográfico e cartográfico da região de estudo, abrangendo os seguintes temas: geologia, mineralogia de pegmatitos e geologia regional da área.
- Preparação de amostras - envolveu a seleção de amostras coletadas previamente durante os trabalhos de campo de Conclusão de Curso em Engenharia Geológica-UFOP do aluno Raphael H. M. Silva. Posteriormente, as amostras foram descritas macroscopicamente e enviadas ao Laboratório de Laminação da CPRM para confecção de lâminas delgadas polidas; além dessas, foram selecionados cristais que estavam em cavidades milimétricas para análise no MEV.
- Descrição por Microscopia óptica e análises por MEV/EDS realizados no Departamento de Geologia (DEGEO), da Universidade Federal de Ouro Preto, visando a caracterização mineralógica e química das amostras.
- Elaboração do presente relatório, que tem como propósito apresentar a interpretação de resultados e suas respectivas conclusões.

1.5.1 Preparação das lâminas

A partir das amostras selecionadas, foram confeccionadas lâminas delgadas, pelo laboratório de petrografia e petrologia da CPRM, com seções polidas para identificação de minerais opacos. Com as lâminas prontas foi possível analisá-las e descrevê-las nos laboratórios de microscopia do Departamento de Geologia da UFOP.

1.5.2 Microscopia Óptica

As lâminas delgadas foram descritas no laboratório óptico por microscópio “CARL ZEISS” modelo “Ortholux”. As imagens foram obtidas através de uma câmera digital “interface Sony” DFWSX910, acoplada a microscópio “Leica” HCL3TP. As fotomicrografias foram adquiridas com a objetiva de 2.5 vezes, proporcionando as bases das imagens de 2,40 mm e alturas de 1,8 mm.

1.5.3 MEV- Microscopia Eletrônica de Varredura

O MEV é um equipamento utilizado para gerar imagens em alta resolução além de obter a composição química quantitativa de uma amostra. Através do MEV existe a possibilidade de analisar a micromorfologia de um mineral, texturas e efeitos tridimensionais de suas estruturas cristalinas.

O microscópio contém um canhão de elétrons que passam por um filamento de tungstênio para gerar os elétrons primários. As lentes condensadoras servem para controlar esse feixe de elétrons, condensando-os em um ponto. Vale lembrar que todo esse sistema que envolve os feixes de elétron é formado em um ambiente a vácuo a fim de evitar que o feixe entre em contato com moléculas de água do ar e evite danos as amostras, aos microscópios e conseqüentemente interfira nos resultados. Outro componente importante é câmera da amostra, que é o espaço onde a amostra é colocada de forma a contemplar todos os seus eixos (X, Y e Z). Além disso essa câmera é acoplada aos detectores que são responsáveis por captarem os sinais dos elétrons e suas reflexões após incidirem na amostra. Dentro dessa câmera, os detectores tem a função de acelerarem o feixe eletrônico resultando na emissão de fótons que serão interpretados e posteriormente gerarão a imagem.

O MEV, portanto, tem a capacidade, através do bombardeamento de elétrons primários, de proporcionar referências quantitativas e qualitativas das amostras, ou seja, é possível identificar os minerais presentes, mapeá-lo quimicamente e assim até obter as fases presentes em uma amostra.

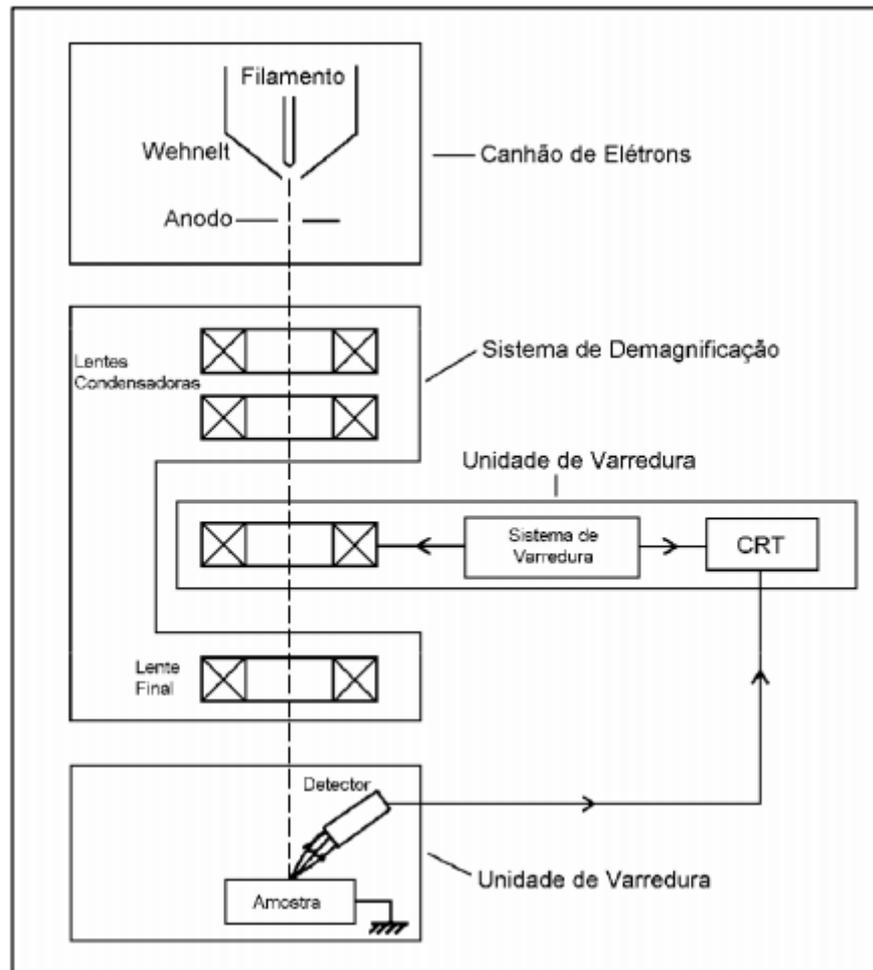


Figura 1.3 Componentes básicos do MEV. Maliska (2003), Universidade Federal de Santa Catarina- Departamento de Engenharia Mecânica

CAPÍTULO 2

PEGMATITOS

2.1 DEFINIÇÕES

O termo pegmatito só foi utilizado pela primeira vez em 1801 pelo padre R.J Haüy para definir rochas de textura gráfica. A partir de então, surgiram várias definições de diversos autores que incluía outros tipos de rochas além do pegmatito gráfico original (Correia Neves 1981).

London (2008), por exemplo, acrescentou a ideia de pegmatitos com enriquecimento de lítio, céσιο e tântalo (Família LCT), característico de granitos do tipo S que tem como origem rochas metassedimentares e pegmatitos ricos em nióbio, ítrio e flúor (Família NYF). A primeira família apresenta enriquecimento em Be, Mn, Ga, Rb, Nb (Ta>Nb), Sn e Hf, assim como B, F e fosfato, esse último marca os pegmatitos estudados nesse trabalho. Já a segunda família apresenta enriquecimento em terras raras pesadas (Be, Ti, Sc e Zr).

De uma forma geral, todos autores caracterizavam as rochas pegmatíticas de acordo com a textura e granulometria grossa, dimensões dos cristais, mineralogia essencialmente formada por quartzo, feldspato e mica e também quanto ao aparecimento de minerais de grande valor econômico. A tabela 3.1 apresenta diferentes definições para o termo pegmatito segundo alguns autores

Quadro 2.1 Definições de alguns autores sobre o termo pegmatito. Modificada de Araão (2015)

Autor (Ano)	Definição
Haüy (1801)	Rocha que apresenta intercrescimento geométrico de quartzo e feldspato
Delesse (1849)	Qualquer rocha granítica que apresenta granulometria muito grossa
Kemp (1924)	Rocha unida ou cimentada em uma textura
Lands (1933)	Rocha holocristalina intrusiva cujo minerais formadores são maiores que os minerais que ocorrem na rocha plutônica equivalente
Jahns (1955)	Apresenta conceito semelhante a de Lands(1933), porém acrescenta a ideia de substituição e zoneamento de corpos.
London (2008)	Acrescentou a ideia de enriquecimento de pegmatitos por minerais raros de aproveitamento econômico, como por exemplo minerais gemológicos e elementos terras raras.

2.2 GÊNESE DAS ROCHAS PEGMATÍTICAS

2.2.1 Origem por Fusão Magmática Residual

Para alguns autores, os pegmatitos tinham origem por fusão magmática residual. Fersman (1930), por exemplo foi o primeiro que fez essa associação. Para ele era essencial que houvesse essa fusão entre 700°C e 800°C e que fosse rica em compostos voláteis e elementos raros.

Já em 1955, Jahns defendeu a idéia de que os pegmatitos seriam resultado de uma solidificação do magma e do processo de cristalização fracionada, no qual o liquido residual ascenderia e preencheria espaços vazios das rochas subjacentes. O fluido é caracterizado como rico em silício e alumínio, além de possuir água, componentes voláteis e elementos menores com raio e carga elevados.

Em 1971, Ginsburg deu ênfase na evolução geoquímica associada ao processo pegmatítico, em que variações composicionais de elementos alcalinos estavam presentes nas sucessivas etapas do processo. No início do processo os elementos sódio e o cálcio predominam para formar os plagioclásios. Já durante a evolução geoquímica, aumenta a quantidade de potássio em relação ao Na e Ca, dando origem aos feldspatos potássicos-sódicos.

2.2.2 Origem por Anatexia

Pegmatitos de origem anatética estão associados às grandes profundidades e são gerados por remobilização crustal. Assim, esses pegmatitos estariam relacionados aos processos geradores de leucossomas em terrenos migmatíticos, submetidos às fácies anfíbolito a granulito baixo. Comumente, os teores de cálcio, bário e estrôncio são relativamente altos em relação ao fracionamento de álcalis raros que são incipientes. (Cerny, 1982a e b).

Os pegmatitos anatéticos, se assemelha aos granitos alcalinos supersaturados em SiO_2 em relação a sua composição global. Dessa forma, o material pegmatítico é um dos primeiros a ser formado pelo processo de remobilização crustal por anatexia. (Cerny, 1982a e b). De acordo com Fersman (1931) a paligênese de sedimentos pode produzir uma fusão de composição química contendo uma mistura de quartzo, feldspato e muscovita que são minerais essenciais que dão origem aos pegmatitos simples.

2.3 ANATOMIA INTERNA, ZONEAMENTO E MINERALOGIA DE PEGMATITOS

Visto que os pegmatitos apresentam grande complexidade estrutural, fez-se necessário um estudo detalhado da anatomia interna e do zoneamento desses corpos. Assim, foram classificados em zonados e não zonados de acordo com os minerais encontrados e das texturas presentes.

Para Ginsburg (1928) os pegmatitos poderiam ser de 2 tipos: (1)-corpos não diferenciados e (2)-corpos diferenciados. Sendo esse último dividido em a) Zonados e b) não zonados. Os corpos não diferenciados eram aqueles que não apresentavam diferenças mineralógicas ou texturais, ou seja, uma homogeneidade segundo esses critérios era garantida. Já os corpos diferenciados zonados apresentavam mineralogia bastante complexa, onde poderia ser descritas várias zonas por razões mineralógicas e texturais.

Coube a Cameron (1949) e Heinrich (1953) classificarem de 3 formas a estrutura interna dos pegmatitos zonados: 1- zona de cristalização primária, formada por camadas concêntricas em relação ao núcleo, gradacionais, e sendo diferenciadas por sua composição mineralógica, textural ou ambas; 2- corpos de substituição, onde ocorrem minerais provenientes da substituição metassomática, ou seja formados pela substituição de minerais que já existiam; 3- preenchimentos de fraturas que consiste na ocupação dos espaços vazios por minerais em unidades preexistentes.

Ainda segundo Cameron *et al* (1949) haviam quatro tipos principais de zonas em pegmatitos que foram sintetizadas da seguinte forma:

- Zona Marginal ou Zona de Borda - corresponde a uma borda pouco espessa, com granulometria mais fina, podendo conter cristais de turmalina, muscovita, biotita, berilo e feldspato alcalino.
- Zona Mural - apresenta uma textura e granulometria mais grossa do que a zona marginal, porém com mineralogia semelhante.
- Zona Intermediária - corresponde a zona onde podem ser encontrados os primeiros fenocristais e megacristais de um pegmatito. Os minerais mais presentes nessa zona são: quartzo, plagioclásio e mica, porém pode-se acumular também minerais como urânio, tório, lítio, céσιο, nióbio e terras raras. Geralmente, essa zona é a mais extensa do corpo pegmatítico.
- Núcleo - está localizado na parte central do pegmatito e normalmente é constituído por uma mineralização única de quartzo, porém podem apresentar associações mineralógicas mais complexas em alguns corpos.

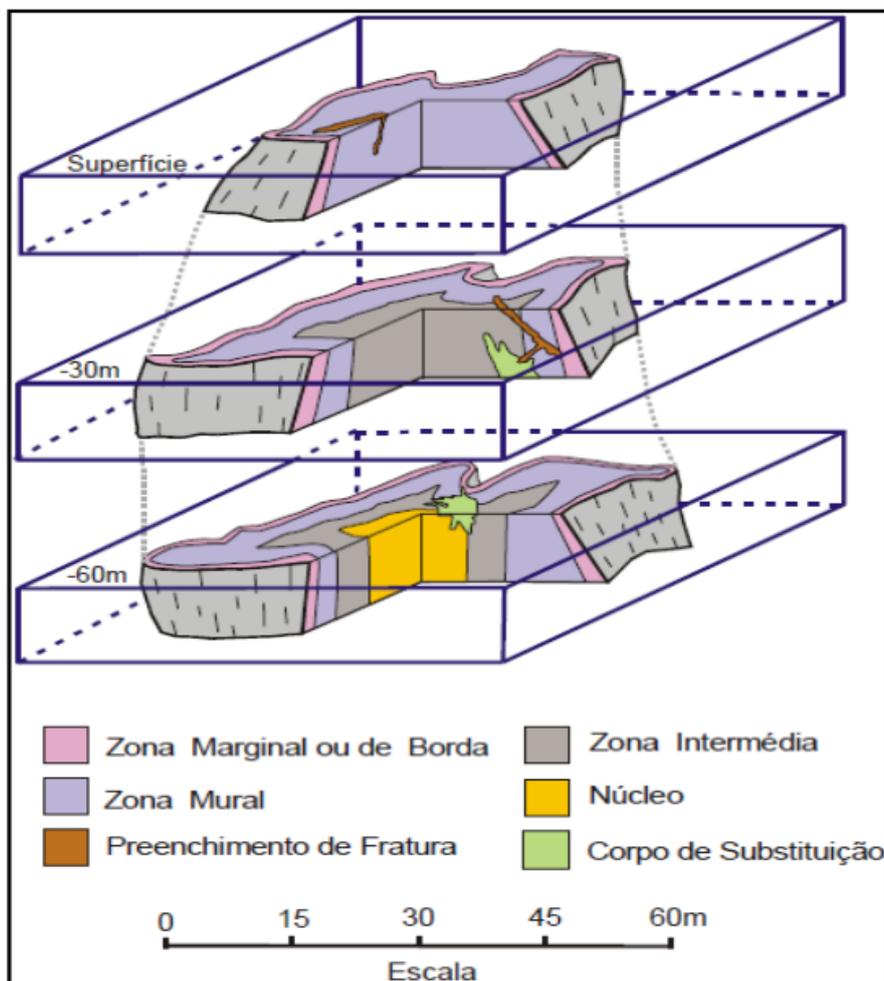


Figura 2.1 Anatomia interna de corpos pegmatíticos zonados e relação entre as zonas, Newman Carvalho (2004)

Em relação a mineralogia dos pegmatitos, Cerny (1991) identificou 3 classes predominantes: silicatos, fosfatos e óxidos. Os minerais fundamentais na formação de um pegmatito são denominados essenciais e os demais minerais acessórios. São essenciais o quartzo, feldspato potássico, plagioclásio albítico e mica (muscovita e biotita). São acessórios: minerais de lítio, como lepidolita, espodumênio, ambligonita, por exemplo, minerais de berílio, minerais de cério, turmalina, apatita, minerais de nióbio, cassiterita, zircão, minerais de enxofre como a galena e esfarelita e minerais terras raras.

Cameron (1949), depois da definição das várias zonas, estabeleceu uma sequência de cristalizações e associações mineralógicas encontradas nas quatro zonas pegmatíticas, que foi revisada por Norton (1983) e apresentadas abaixo (da parte mais externa para o núcleo), modificada de London (2008) por Ardizzi (2019):

- 1- Plagioclásio – quartzo- muscovita
- 2- Plagioclásio- quartzo
- 3- Quartzo- plagioclásio-pertita- (muscovita + biotita)
- 4- Pertita- quartzo
- 5- Plagioclásio- quartzo- espodumênio (petalita e/ou montebrasita)
- 6- Quartzo- espodumênio (petalita e /ou montebrasita)
- 7- Quartzo- microclínio
- 8- Quartzo
- 9- Lepidolita ou mica rica em lítio- plagioclásio- quartzo- microclínio

2.4 CLASSIFICAÇÃO DE PEGMATITOS

Os pegmatitos podem ser classificados de diversas formas devido sua complexidade. Envolve vários aspectos, como por exemplo, textura, mineralogia, estrutura, composição química, gênese e outros. Uma classificação inovadora, feita por Gissburg *et al* (1979 e 1984) foi obtida levando em consideração fatores ligados a petrogênese e geoquímica.

Dessa forma, quatro classes de pegmatitos são definidas abaixo de maneira sucinta:

- 1- Pegmatito Abissal - São aqueles vinculados ao metamorfismo de alto grau, ou seja, variam entre as fácies anfibolito alto à granulito. Além disso são corpos autóctones que derivam da fusão parcial das rochas encaixantes e estão submetidas a temperaturas variando de 700 a 800°C e pressão de 5 a 8 Kbar. Quanto aos elementos químicos presentes, esses pegmatitos encontram-se enriquecidos em U, Th, Nb, Ti, Zr e elementos terras raras (ETR)

2- Pegmatito Muscovítico – Estão relacionados ao metamorfismo barrowiano de alta pressão. Essa classe de pegmatito encontra-se encaixados em micaxistos das fácies almandina-estaurolita e subfácies cianita + almandina, de Winkler (1967). Em relação a sua gênese, são consolidados próximo a um foco de geração magmática e os processos podem ser anatéticos ou por fracionamento restrito do granito primitivo, com temperatura variando entre 580 a 650°C, pressão entre 4 e 6 Kbar e profundidade até 20 Km. Quanto a mineralização, esses pegmatitos encontram-se enriquecidos em minerais acessórios como berilo, nióbio, urânio e ETR.

3- Pegmatitos portadores de elementos raros – Estão relacionados ao metamorfismo do tipo Abukuma de baixa pressão, resultantes do fracionamento de granitos alóctones diferenciados. Essa classe de pegmatitos encontra-se encaixados em rochas de fácies xisto verde e anfibolito e subfácies andaluzita + cordierita + muscovita, Winkler (1967). Em relação as condições ambientes, a temperatura varia entre 500 a 650°C, pressão 2 a 4 Kbar e profundidade máxima 13 km. Quanto aos elementos presentes podem ser citados o Li, Rb, Cs, Be, Sn, Nb, Ta, Zr, Mo, podendo apresentar também quantidade significativa de B, P e/ou F. Existe ainda, uma subdivisão para essa classe, apresentada a seguir:

- a) Tipo gadolinita – enriquecida em Be, Y, ETR, $Nb \geq Ta$, Ti, U, Th.
- b) Tipo berilo-columbita – enriquecida em Be, $Nb \geq$ ou $< Ta$, $\pm (Sn, ETR, P$ e $\pm B)$.
- c) Tipo complexo e zonado – enriquecido em Li, Rb, Cs, Be, $Ta > Nb$, Sn, B e $\pm P$.
- d) Tipo homogêneo e mineralizado em espodumênio- enriquecido em Li, Be, Nb, $\geq Ta$ e $\pm Sn$.
- e) Tipo lepidolita – enriquecido em F, Li, Rb, Be, $Ta > Nb$, Sn e $\pm Cs$.

4- Pegmatitos miarolíticos – Estão relacionados a ambientes epizonais a subvulcânicos e confinados às cúpulas dos granitos alóctone, ocasionalmente do tipo hipersolvus, submetidos a pressão variando entre 1 e 2 Kbar e profundida máxima de 6 km. Além disso, essa classe de pegmatitos é encontrada em veios preenchendo fraturas ou em bolsões no interior do próprio granito gerador. Quanto a mineralização, encontram-se enriquecidos em U, Th, Be, Ti, Nb, F e ETR

Cerny (1991) propôs uma nova divisão dos pegmatitos em três famílias, 1 - complexo (a berilo e albita – a espodumênio e albita); 2 – elementos raros e 3 – mistos (mistura de complexo a berilo e albita/ elementos raros). Tal divisão foi fundamentada em critérios como: composição total, assinatura geoquímica de minerais acessórios, estrutura interna, pressão e temperatura de cristalização. Vale ressaltar que o ambiente geológico, competência das rochas envolventes, regimes metamórficos e tectônicos por exemplo são parâmetros essenciais que propiciam novas classificações e subtipos de pegmatitos.

Essa divisão foi revisada e substituída por Cerny (1982) que definiu 5 tipos de pegmatitos tomando como base as associações mineralógicas e relações de abundância entre feldspatos potássicos, plagioclásio, albita, biotita, muscovita e lepidolita.

Existe uma classificação mais recente, publicada em 2001, por Michael A. Wise, Axel Muller e William B. Simmons que faz uma crítica à Classificação de Cerny(1991), por não abordar pegmatitos graníticos derivados de anatexia direta. A base dessa nova classificação proposta é fortemente mineralógica se distanciando do modelo mais geoquímico, estrutural e textural. Porém, os autores recomendam algumas diretrizes para utilização desse novo sistema de classificação:

- 1- Pegmatitos que macroscopicamente não apresentam minerais de elementos raros não devem ser rotulados como simples.
- 2- A mineralogia dos pegmatitos ricos em albita e muscovita devem ser considerados em qualquer classificação.
- 3- Os minerais secundários nem sempre refletem com precisão a assembleia mineral primária, porém podem ser importantes para o agrupamento dos pegmatitos.
- 4- Apesar da presença das cavidades não ser recomendada para indicador de profundidade em esquemas de classificação, sua assembleia mineralógica ajuda a distinguir diferentes categorias de pegmatitos magmáticos.
- 5- Uma grande variedade de minerais pegmatíticos (por exemplo, quartzo, feldspato, topázio, turmalina, berilo, granada e micas) muitas vezes carregam inclusões fundidas e fluidas que representam produtos de fusão de silicato hidratado ou soluções presas durante estágios de cristalização.

Tabela 2.2 Classificação dos pegmatitos graníticos segundo elementos raros. Cerny (1982)

Tipo	Subtipo	Mineral Típico	Potencial Econômico
Terras Raras Kf > plg Bi > msc	<ul style="list-style-type: none"> ● alanita-monzanita (L) ETR, U, Th, (P, Be, Nb, Ta) ● gadolinita Y, (H) ETR, Be, Nb > Ta F, (U, Th, Ti, Zr) 	alanita, monazita gadolinita, fergusonita, euxenita, (topázio), (berilo)	ETR Y, ETR, U (Be, Nb-Ta)
Berilo Kf > plg Msc ≥ bi	<ul style="list-style-type: none"> ● berilo-columbita Be, Nb ≥ Ta (± Sn, B) ● berilo-columbita-fosfatos Be, Nb ≥ Ta, P (Li, F, ± Sn, B) 	berilo, columbita-tantalita berilo, columbita-tantalita triplita, trifilita	Be Be, (Nb-Ta)
Complexo Kf = ab Msc = lep	<ul style="list-style-type: none"> ● espodumênio Li, Rb, Cs, Be, Ta-Nb (Sn, P, F, ± B) ● petalita Li, Rb, Cs, Be, Ta > Nb (Sn, Ga, P, F, ± B) ● lepidolita F, Li, Rb, Cs, Be, Ta > Nb (Sn, P, ± B) ● ambligonita P, F, Li, Rb, Cs, Be, Ta > Nb (Sn, ±B) 	espodumênio, berilo, tantalita (ambligonita), (lepidolita), polucita petalita, berilo, tantalita, (ambligonita), (lepidolita) lepidolita, topázio, berilo microlita, (polucita) ambligonita, berilo, tantalita (lepidolita), (polucita)	Li, Rb, Cs, Be Ta (Sn, Ga, Hf) Li, Rb, Cs, Ta, Be (Sn, Ga) Li, Rb, Cs, Ta, Be (Sn, Ga)
Albita – Espodumênio Ab > Kf Msc	Li (Sn, Be, Ta-Nb, ±B)	espodumênio, (cassiterita) (berilo), (tantalita)	Li, Sn, (Be, Ta)
Albita Ab >> Kf Msc, Lep	Ta-Nb, Be (Li, ±Sn, B)	tantalita, berilo, (cassiterita)	Ta, (Sn)

2.5 PEGMATITOS DO DISTRITO DE CONSELHEIRO PENA

O Distrito Pegmatítico de Conselheiro Pena faz parte da Província Pegmatítica Oriental do Brasil em Minas Gerais (Pedrosa Soares *et al.* 2001, 2011). Segundo Scholz (2016), 85% dos pegmatitos dessa região se encontram encaixados nos biotita-quartzo-xistos da formação São Tomé, 10% nos granitos Urucum e a menor parte nos Tonalitos Galiléia. Os pegmatitos mais diferenciados, ou seja mais zonados, são aqueles encaixantes da formação São Tomé que além de apresentarem morfologia lenticular de médio a grande porte, apresentam também tumalinização, feldspatização e muscovitização na zona de contato com os xistos. (Nalini 1997, Chaves *et al* 2005)

Os minerais essenciais presentes nesses pegmatitos são: quartzo, feldspato, muscovita, fosfatos de lítio e raramente aparece o espodumênio. Além desses, os minerais do grupo da turmalina se apresentam comumente, e porventura podem fazer parte do grupo de minerais

principais. (Addad *et al.* 2000 e 2001). Já os minerais acessórios, segundo Scholz (2006), são representados por um grande número de fosfatos com gênese tardia e hidrotermal. Alguns deles são: brazilianita, jahnsita, barbosalita, fosfosiderita, autunita, zanaziita, arrojadita, berlinita, cyrilovita, dufrénita, além dos carbonatos como calcita, siderita; sulfetos (pirita, arsenopirita, calcopirita), fosfatos de Be e óxidos de Ta, Nb, U e Sn. Além desses, são encontrados outros fosfatos secundários, com cristalização tardia envolvendo processos hidrotermais que serão descritos no próximo capítulo.

CAPÍTULO 3

FOSFATOS

3.1 INTRODUÇÃO

O grupo dos fosfatos abrange várias espécies de minerais com composições bastante variadas. Na região de Conselheiro Pena as fases fosfáticas primárias predominantes nos pegmatitos da região incluem a trifilita em Boca Rica, Sapucaia, Boa Vista/ Ênio e João (Lavra Cigana), a montebrasita nos pegmatitos próximos a Divino das Laranjeiras e apatita na Lavra do Urucum. (Chaves *et al* 2005). Os minerais acessórios presentes são caracterizados por apresentarem grande quantidade de fosfatos primários de origem tardia/ hidrotermal, como brazilianita, childrenita- eosforita, tavorita, barbosalita, crandallita, fosfossiderita, moraesita, gormanita, berilonita, herderita- hidroxiherderita, vivianita, frondelita-rockbridgeíta, autunita, zannazziita, arrojadita, berlinita, cyrilovita, purpurita-heterosita, dufrenita e hureaulita. (Cassedane 1981, 1986, 1999, Chaves *et al* 2005, Scholz, 2006, Baijot *et al* 2012, 2014).

É imprescindível observar as associações minerais presentes nos pegmatitos e suas paragêneses a fim de se obter a evolução química da rocha e seu grau de alteração, visto que, dependendo do grau, as fases fosfáticas primárias podem evoluir para uma fase secundária sob ação da oxidação por exemplo.

Segundo Scholz (2002) os pegmatitos de Conselheiro Pena podem ser divididos em 5 grupos de acordo com suas fases fosfáticas:

- **Grupo I-** Pegmatitos ricos em lítio com montebrasita primária
- **Grupo II-** Pegmatitos ricos em lítio com trifilita primária
- **Grupo III-** Com presença de apatita primária e secundária
- **Grupo IV-** Pegmatitos com ausência de fosfatos primários, sendo produtos da alteração da montebrasita primária
- **Grupo V-** Ausência de fosfatos primários, sendo os pegmatitos resultados da paragênese de alteração da trifilita.

Um resumo dos fosfatos presentes nos pegmatitos da região é apresentado na tabela abaixo:

Tabela 3.1 Fosfatos encontrados na região de estudo. Chaves *et al.* (2005), Scholz (2006), Fransolet *et al.* 2007, Bajjot *et al.* 2014.

Alluaudita	$\text{NaMn}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2(\text{PO}_4)_3$	Lazulita	$\text{MgAl}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$
Amblygonita	$(\text{Li},\text{Na})\text{Al}(\text{PO}_4)(\text{F},\text{OH})$	Laueita	$\text{Mn}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Arrojadita	$\text{KNa}_4\text{Ca}(\text{Fe}^{2+},\text{Mn}^{2+})_{14}\text{Al}(\text{PO}_4)_{12}(\text{OH},\text{F})_2$	Leucofosfita	$\text{KFe}^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Augelita	$\text{Al}_2(\text{PO}_4)(\text{OH})_3$	Lipscombita	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$
Autunita	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10\text{-}12\text{H}_2\text{O}$	Litiofilita	$\text{LiMn}^{2+}\text{PO}_4$
Barbosalita	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$	Ludlamita	$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Beraunita	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_3(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_5 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Messelita	$\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+},\text{Mn}^{2+})(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Berillonita	NaBePO_4	Meurigita	$\text{KFe}^{3+}_7(\text{PO}_4)_5(\text{OH})_7 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Berlinita	AlPO_4	Mitriadita	$\text{Ca}_2\text{Fe}^{3+}_3(\text{PO}_4)_3\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Bermanita	$\text{Mn}^{2+}\text{Mn}^{3+}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Montebrasita	$(\text{LiNa})\text{AlPO}_4(\text{OH},\text{F})$
Brazilianita	$\text{NaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4$	Moraesita	$\text{Be}_2(\text{PO}_4)(\text{OH}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Cacoxenita	$\text{AlFe}^{3+}(\text{PO}_4)_{17}\text{O}_6(\text{OH})_{12} \cdot \approx 75\text{H}_2\text{O}$	Purpurita	$\text{Mn}^{3+}\text{PO}_4$
Carbonato-hidroxiapatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_3)_3(\text{OH},\text{F})$	Robertsita	$\text{Ca}_2\text{Mn}^{3+}_3(\text{PO}_4)_3\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Childrenita	$\text{Fe}^{2+}\text{Al}(\text{PO}_4)(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Rockbridgeita	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_4(\text{PO}_4)_3(\text{OH})_5$
Cynilovita	$\text{NaFe}^{3+}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Reddingita	$\text{Mn}^{2+}\text{Mn}^{2+}_2(\text{PO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})$
Dufrenita	$\text{CaFe}^{2+}_2\text{Fe}^{3+}_{10}(\text{OH})_{12}(\text{PO}_4)_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Roscherita	$\text{CaMn}^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{Be}_3(\text{PO}_4)_3(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Eosforita	$\text{MnAl}(\text{PO}_4)(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Sabugalita	$\text{H}_{0.5}\text{Al}_{0.5}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Faheyita	$(\text{Mn}^{2+},\text{Mg})\text{Fe}^{3+}_2\text{Be}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Saleeita	$\text{Mg}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Ferrisicklerita	$\text{Li}(\text{Fe}^{3+},\text{Mn}^{2+})\text{PO}_4$	Sarcopsídio	$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$
Fluorapatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$	Scorzalita	$(\text{Fe}^{2+},\text{Mg})\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot (\text{OH})_2$
Fosfoferrita	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Souzalita	$\text{Mg}_3\text{Al}_4(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Fosfossiderita	$\text{Fe}^{3+}\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Strengita	$\text{Fe}^{3+}\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Fosfuranilita	$\text{KCa}(\text{H}_3\text{O})_3(\text{UO}_2)_7(\text{PO}_4)_4\text{O}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Strunzita	$\text{Mn}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Frondelita	$\text{Mn}^{2+}\text{Fe}^{3+}_4(\text{PO}_4)_3(\text{OH})_5$	Tavorita	$\text{LiFe}^{3+}\text{PO}_4(\text{OH},\text{F})$
Gordonita	$\text{MnAl}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Trifilita	$\text{LiFe}^{2+}\text{PO}_4$
Gormanita	$\text{Fe}^{2+}_3\text{Al}_4(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Triplita	$(\text{Mn}^{2+},\text{Fe}^{2+})_2(\text{PO}_4)\text{F}$
Graftonita	$(\text{Fe}^{2+},\text{Mn}^{2+},\text{Ca})_3(\text{PO}_4)_2$	Variscita	$\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Greifensteinita	$\text{Ca}_2\text{Be}_4(\text{Fe}^{2+},\text{Mn})_5(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Vivianita	$\text{Fe}^{2+}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Heterosita	$\text{Fe}^{3+}\text{PO}_4$	Wardita	$\text{NaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Hidroxi-herderita	$\text{CaBe}(\text{PO}_4)(\text{OH})$	Whiteita	$-(\text{MnFeMg})\text{-Mn}^{2+}\text{Fe}^{2+}\text{Mg}_2\text{Al}_2(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Huréaulita	$\text{Mn}^{2+}_5(\text{PO}_4)_2[\text{PO}_3(\text{OH})]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Wolfeita	$\text{Fe}^{2+}_2(\text{PO}_4)$
Jahnsita-(grupo)	$\text{CaMn}^{2+}(\text{Fe}^{2+}_2,\text{Mg}^{2+}_2,\text{Mn}^{2+}_2)\text{Fe}^{3+}_2(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Wyllieita	$\text{Na}_2(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{Al}(\text{PO}_4)_3$
Jonhsomervilleita	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe}^{2+},\text{Mn})_7(\text{PO}_4)_6$	Zannazziita	$\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})(\text{Mg},\text{Fe}^{2+},\text{Al})_4\text{Be}_4(\text{PO}_4)_6(\text{OH}) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

3.2 GRUPOS DE PEGMATITOS DA REGIÃO DE CONSELHEIRO PENA

3.2.1 Pegmatitos ricos em lítio com montebrasita primária

Segundo Scholz (2002), nesses pegmatitos a montebrasita surge como principal mineral de lítio, formando assembleia primária em algumas lavras da região em Galiléia, Divino das Laranjeiras, além das Lavras do Telório e João Firmino, por exemplo. De uma maneira geral, a montebrasita se associa a microclínio, muscovita e quartzo, porém pode aparecer em associações tardias resultantes de paragêneses de alteração e com presença de origem supergênica.

As associações fosfáticas presentes nas Lavras do Telório e João Firmino, por exemplo foram descritas da seguinte forma, segundo Scholz (2002):

- 1- Montebrasita (F-rica) + montebrasita (F-pobre) + eosforita
- 2- Montebrasita (F-rica) + rockbridgeíta
- 3- Montebrasita + brazilianita + fluorapatita
- 4- Fluorapatita + hidroxihederita + siderita rica em Mn
- 5- Fluorapatita + hidroxihederita + siderita rica em Mn
- 6- Berilo + albíta + hidroxihederita + moraesita
- 7- Frondelita + mineral do grupo da roscherita
- 8- Fluorapatita + berillonita

3.2.2 Pegmatitos ricos em lítio com trifilita primária

Os pegmatitos classificados no grupo II, segundo Scholz (2002), são aqueles que apresentam a trifilita como principal mineral de lítio. Pegmatitos desse grupo são encontrados nas Lavras Boca Rica, Sapucaia, Boa Vista/ Ênio e Cigana (Galiléia), além da Lavra do Gentil (Divino das Laranjeiras). A trifilita em geral faz parte da mineralogia primária se associando, portanto, ao microclínio e quartzo, além de muitos minerais de alteração com possível origem supergênica.

As associações fosfáticas presentes nos pegmatitos da Lavra Cigana, por exemplo, foram descritas por Scholz (2002) e sintetizadas por Chaves *et al* (2005) da seguinte forma:

- 1-Trifilita + fosfossiderita
- 2-Litiofilita + reddingita + hureaulita
- 3-Frondelita + litiofilita + hureaulita
- 4-Frondelita + ferrisicklerita + purpurita
- 5-Trifilita + rockbridgeíta + fosfossiderita
- 6-Frondelita + fosfossiderita
- 7-Frondelita + mineral do grupo da roscherita
- 8-Sicklerita + purpurita
- 9-Rockbridgeíta + vivianita

3.2.3 Pegmatitos com presença de apatita primária e secundária

Nesse grupo, Scholz (2002) considerou a apatita como único mineral fosfático existente, aparecendo tanto na forma primária quanto na secundária relacionada as associações tardias. Na Lavra Urucum, por exemplo, estudada em detalhe pela GEOMETA, a apatita está associada a muscovita e microclínio.

Cassedane (1986) descreve a presença de fosfatos raros na Lavra Urucum, como a fosfuralinita e saleeíta que juntamente com a uranita formam uma assembleia uranífera, típica de pegmatitos classificados nesse grupo. Além disso, é característico dessa lavra a presença de agregados cristalinos de um silicato raro, a stokesita [$\text{CaSnSi}_3\text{O}_9 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$].

As assembleias fosfáticas podem ser mencionadas da seguinte forma:

- 1- Microclínio + muscovita + weeksita + fosfuranilita + meta-uranocircita + uranocircita + coutinhoíta;
- 2- Fosfuranilita + saleeíta;
- 3- Albita + cassiterita + grupo da microlita + stokesita.

3.2.4 Pegmatitos com ausência de fosfatos primários, sendo produto da alteração da montebrasita primária

Os pegmatitos desse grupo não apresentam minerais fosfáticos primários, pois devido ao alto processo de alteração foram substituídos completamente, não sendo incluídos na subdivisão de Scholz (2002). Dessa forma, os fosfatos secundários presentes são resultados da substituição da montebrasita primária, conforme o exemplo da berillonita, fluorapatita, hidroxiapatita, eosforita, hidroxihederita e montebrasita pobre em flúor.

Na Lavra do Sapo, por exemplo, a oeste da área de estudo os pegmatitos apresentam uma mineralogia fosfática simples, abrangendo apenas apatita e/ou hidroxihederita. Embora alguns pegmatitos podem apresentar certa complexidade mineralógica com presença de fosfatos secundários de Fe, Mn, Be e Li. Esse último caso engloba áreas próximas a Divino das Laranjeiras/Mendes Pimentel, como Córrego Frio e João Bobim e as principais assembleias fosfáticas presentes, nesse caso, são descritas a seguir:

- 1- Albita + muscovita + brazilianita + hidroxihederita.
- 2- Berilo + hidroxihederita + moraesita
- 3- Hidroxihederita + carbonato-hidroxiapatita + cookeíta
- 4- Hidroxihederita + carbonato-hidroxiapatita + moraesita
- 5- Carbonato-hidroxiapatita + moraesita

3.2.5 Pegmatitos com ausência de fosfatos primários, sendo produto da alteração da trifilita primária

Os pegmatitos desse grupo sofreram alteração da mesma forma que os pegmatitos do grupo anterior, constituindo uma paragênese secundária a partir da trifilita primária. Algumas lavras, como Lavra do Piano, Roberto e Osvaldo Perim em Divino das Laranjeiras apresentam associações fosfáticas complexas com fases secundárias de Li, Al, Fe, Mn, Ca e Na.

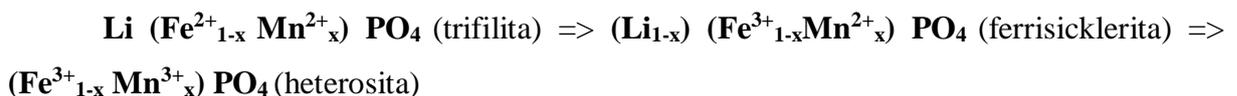
Os minerais fosfáticos essencialmente presentes são: litiofilita, reddingita, huréaulita, rockbridgeíta, eosforita, childrenita, ernstita e gormanita. Esses podem formar as seguintes assembleias:

- 1- Eosforita + fluorapatita + hidroxihederita
- 2- Eosforita + mineral do grupo da roscherita
- 3- Eosforita + hidroxihederita

3.3 TRIFILITA PRIMÁRIA E SUAS ALTERAÇÕES FRENTE A AÇÃO HIDROTERMAL

Os pegmatitos ricos em trifilita estão associados as rochas da Formação São Tomé que abrange a área de estudo desse presente trabalho. A trifilita é um fosfato de lítio cuja fórmula química é: $(\text{Li Fe}^{2+} \text{Mn}^{2+})\text{PO}_4$, além disso, possui um sistema cristalográfico ortorrômbico com hábito cristalino prismático ou maciço, podendo também exibir textura dendrítica. (Eventoff *et al.* 1972; Keller and V. Knorring 1989; Rao *et al.* 2014). Em todos os pegmatitos estudados, a série trifilita-litiofilita é a primeira fase fosfática rica em lítio na sequência de fracionamento, segundo Cerny e Ercit (2005). Já os fosfatos secundários ocorrem substituindo parcialmente ou totalmente o conjunto trifilita-litiofilita.

A mineralogia compreende vários fosfatos de ferro e manganês resultando em uma paragênese mineralógica complexa. A sequência de Quensel- Mason explica essa complexidade, podendo ser destacada da seguinte forma, diante da oxidação progressiva e lixiviação do elemento Li:



A ferrisicklerita foi observada em várias lavras de pegmatitos na região leste de Minas Gerais segundo Cassedane (1986), Cassedane e Philippo(2005),Atencio(2004), Chaves e Scholz(2008), Baijot (2011,2012,2014).Além disso apresenta cor marrom avermelhada em seu estado não alterado. Vale ressaltar ainda que a liberação de $\text{Fe}^{3+}/\text{Mn}^{2+}$ da ferrisicklerita, pelo processo hidroxilação permite a formação de novas associações mineralógicas como hureaulita + barboselita com tavorita. (Fransolet, 2007).

De uma maneira geral, além da sequência descrita acima, outras várias associações mineralógicas podem ser formadas nas lavras da região de estudo como: heterosita-purpurita, frondelita-rockbrigeita, barbosalita-limpscombite, hureaulita e minerais do grupo da jahnsita.

CAPÍTULO 4

GEOLOGIA

Os pegmatitos estudados nesse trabalho compõem parte da Província Pegmatítica Oriental do Brasil, onde situa-se a Faixa Araçuaí.

4.1 CONTEXTO GEOLÓGICO-ESTRUTURAL REGIONAL

A Faixa Araçuaí é uma Faixa Móvel de dobramentos que engloba a parte leste do Cráton São Francisco e se prolonga até o segmento Sul da Faixa Ribeira (Almeida *et.al* 1960). Sua formação ocorreu durante a orogenia Paleoproterozóica, originando o Cráton São Francisco-Congo por meio da aglutinação de vários blocos crustais segundo Pedrosa Soares *et al* (2007).

O embasamento da Faixa Araçuaí é formado pelos complexos granitos gnáisses e greenstones belt de origem arqueana e paleoproterozóica, segundo Noce *et al.* (2007). Tem idade arqueana os Complexos Mantiqueira, Guanhães, Porteirinha e Gouveia. Tem idade paleoproterozóica os Complexos Juíz de Fora, Pocrane, Caparaó.

O processo de formação do Orógeno Araçuaí passou por quatro estágios orogênicos, segundo Pedrosa *et al* (2007) sendo eles:

- pré-colisional, onde ocorreu a subducção da litosfera oceânica ativa e geração de um arco magmático cálcio alcalino (630-580 Ma)
- sin-colisional, onde ocorreu interação direta entre as partes em colisão, espessamento crustal, fusão parcial e geração de magma tipo S. (580-560 Ma),
- tardi-colisional, onde ocorreu escapes laterais, geração de granito S por fusão parcial sob descompressão adiabática. (560-530Ma)
- pós colisional, onde ocorreu o colapso gravitacional (530-490 Ma)

O estágio pré-colisional é representado pelas rochas da suíte G1 e pelas rochas vulcânicas do grupo Rio Doce. Na região do Médio Rio Doce essa suíte recebe o nome de Suíte Intrusiva Galiléia Silva *et.al* (1987) e é constituída por tonalitos, granodioritos, granitos e microgranitos intrusivos Nalini *et al* (2005). Os corpos da suíte G1 apresentam-se deformados e com foliação bem marcada resultante dos esforços compressivos regionais Pedrosa *et.al* (2007).

O estágio sin-colisional é representado pelas rochas da Suíte G2. São predominantemente rochas peraluminosas com predominância de granitoides a duas micas (biotita e muscovita), granitoides a cordierita-granada-biotita e granitoides a granada-biotita Heilbron *et al.* (2004). Esses granitoides da Suíte Intrusiva Urucum Silva *et al* (1987), foram divididos em Granito Urucum Barbosa *et al* (1964), Granito Palmital e Granito Córrego da Onça, Nalini Jr.(1997), Pinto *et al.*(1997), CPRM (2000).

Basicamente os pegmatitos de Conselheiro Pena ocorrem próximo ao granito Urucum (Nalini Jr. 1997) e pertencem a essa Suíte G2 (Pedrosa Soares *et al* 2001). Normalmente encontram-se de forma encaixada em biotita xistos da Formação São Tomé seguindo as orientações N-S e NE-SW (Chaves *et al.* 2005, Scholz 2006, Scholz *et al.* 2011).

O estágio tardi-colisional, é marcado também pela ocorrência de granitos do tipo S, da Suíte G3. São representados principalmente por leucogranitos com granada e ou cordierita, pobres em mica. Diferentemente dos granitos da Suíte G2, os granitos da suíte G3 apresentam foliação incipiente Heilbron *et al* (2004).

Como resultado da fase pós-colisional tem-se a formação das Suítes G4 e G5. A Suíte G4 é representada por granitos subalcalinos do tipo S onde predominam granitos a duas micas, mas ocasionalmente raízes de biotita granito. Em geral não apresentam deformação regional, mas indicadores cinemáticos podem estar presentes devido ao colapso extensional. Já a Suíte G5 é representada por batólitos, plútons zonados e intrusões do tipo I e A. Nessa suíte é comum evidências de mistura (*migling e mixing*) de magma e fluxo ígneo bem marcado Pedrosa-Soares *et al* (2007).

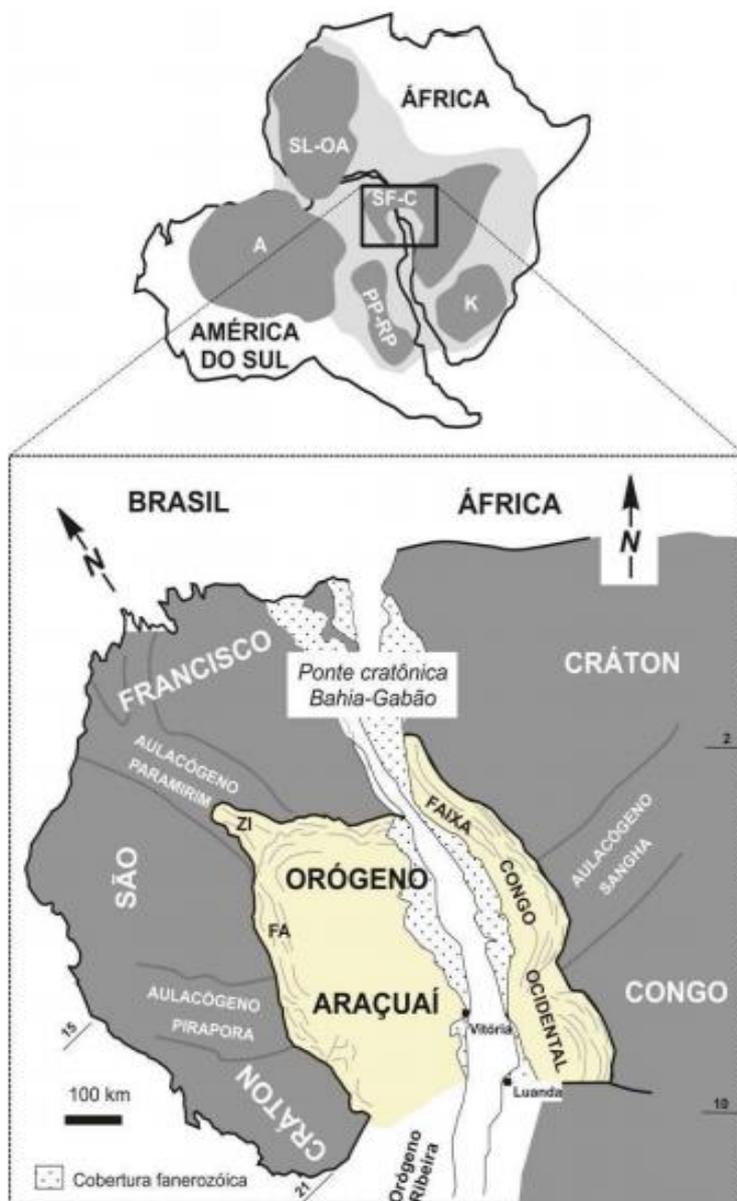


Figura 4.1 Origem do Orógeno Araçuaí (Pedrosa Soares *et al* 2007)

4.2 DESCRIÇÃO DAS UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS

4.2.1 Grupo Rio Doce (Formação São Tomé)

A Formação São Tomé é representada principalmente por biotita, quartzo e granada, podendo aparecer ocasionalmente muscovita e estauroлита. Além disso, o grau

metamórfico apresentando por essa unidade litológica varia de fácies xisto verde a anfibolito de médio a baixo que são as rochas encaixantes da maioria dos pegmatitos da região. (Oliveira 2000; Chaves *et al* 2005).

Em determinadas áreas, devido ao grau metamórfico, observa-se a passagem gradual de xistos com granulação fina, foliados e crenulados, por gnaisses devido a presença de bandamento composicional bem definido.

4.2.2 Grupo Rio Doce (Formação João Pinto)

A Formação João Pinto é formada por quartzitos puros, acinzentados, com granulometria variando de fina a grossa, podendo ser micáceos e/ou feldspáticos. (Oliveira, 2000). Quanto mais próximo aos xistos da Formação São Tomé, mais características gnáissicas apresentam esses quartzitos. Segundo Pereira & Zucchetti (2000), as rochas da Formação João Pinto estão metamorfizadas na fácies xisto verde a anfibolito alto.

4.2.3 Grupo Rio Doce (Formação Palmital do Sul)

Segundo Barbosa *et al* (1964), a Formação Palmital do Sul é composta por gnaisses bandados, cinzas e amarronzados. De acordo com Pereira & Zucchetti (2000 *in* Oliveira 2000) a paragênese das rochas dessa formação são semelhantes as rochas da Formação São Tomé, que inclui o grau metamórfico variando de fácies xisto verde a anfibolito alto.

4.3. GRANITOS SIN A TARDI-TECTÔNICOS

4.3.1 Suíte Intrusiva Urucum

Essa suíte é formada por granitoides peraluminosos, com maior conteúdo de Na₂O e menor de MgO e CaO, em comparação aos granitos tipo S típicos (Nalini Jr. 1997; Nalini Jr. *et al.* 2015)

Os granitoides dessa suíte são divididos em Granito Urucum (porfirítico), granito Palmital (rocha inequigranular de média a grossa), e Granito Córrego do Onça com presença de turmalinas. (Barbosa *et al.* 1964)

Granito Urucum

Segundo Moura *et al* 1978, o granito Urucum é caracterizado por ser uma granitoide a duas micas (biotita e muscovita), além de ser uma rocha leucocrática a mesocrática, de granulação grossa a muito grossa, coloração rosa esbranquiçada e porfirítica de matriz fina. Litologicamente, apresentam em sua composição plagioclásio, biotita e quartzo, sendo os acessórios mais costumeiros a muscovita, a almandina e a apatita. Silva *et al* (1987) considera a origem desse granito por anatexia das rochas dos Grupos São Tomé, Crenaque e Complexo Pocrane.

Granito Palmital

Caracteriza-se por apresentar rochas leucocráticas com foliação marcada pela biotita orientada. Além disso apresenta granulação média e grossa e composição mineralógica muito semelhante ao Granito Urucum, com presença de quartzo, plagioclásio e feldspato potássico e minerais acessórios como zircão, monazita e titanita. Da mesma maneira que o Granito Urucum, o Granito Palmital ocorre deformado e metamorfozido na fácies anfíbolito baixo (Oliveira 2000; Chaves *et al.* 2005; Nalini Jr. *et al.* 2015).

Granito Córrego da Onça

O Granito Córrego da Onça foi chamado de “Granito a turmalina” por Nalini Jr (1997) e por apresentar caráter peraluminoso, com textura média a grossa, quantidade significativa de biotita e sinais de menor deformação em relação as fácies anteriores (Nalini Jr. *et al* 2015).

Esse granito muito se apresenta intrudidos nos xistos da Formação São Tomé, principalmente nas áreas de contato, tal fato é interpretado como resultado do regime tectônico de transcorrência Nalini Jr (1997), CPRM (2000), Nalini *et al.* (2008).

4.4 LAVRA DO EDUARDO

A lavra do Eduardo, segundo mapeamentos anteriores realizado por Silva (1987), corresponde a um corpo pegmatítico zonado encontrado na forma de veio concordante com a

foliação dos xistos da Formação São Tomé. . Sua composição mineralógica corresponde a quartzo, feldspato, biotita, mica branca, almandina, spessartina e fosfatos como variscita, vivianita e fosfosiderita.

Salvo a mineralogia básica, foram observados em rejeitos cristais de espodumênio e trifilita, sinalizando ser um pegmatito rico em lítio do tipo LCT.

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos através das análises das amostras por microscopia óptica e eletrônica. Através da leitura dos dados, interpretações e comparações foi possível chegar a conclusões sobre a caracterização dos fosfatos estudados.

5.1 PETROGRAFIA MICROSCÓPICA

5.1.1 AMOSTRA SAH 129

Rocha de textura pegmatítica, altamente intemperizada e fraturada, composta por associação de fosfatos predominantemente de cor marrom escura. Os grãos apresentam aspectos sujos. Os grãos de plagioclásio e quartzo, ambos de relevo baixo estão espalhados por toda lâmina. A muscovita (Ms) está presente com uma coloração marrom clara, relevo baixo, hábito tabular pseudo-hexagonal, e birrefringência de 2ª ordem, conforme figura 5.1.

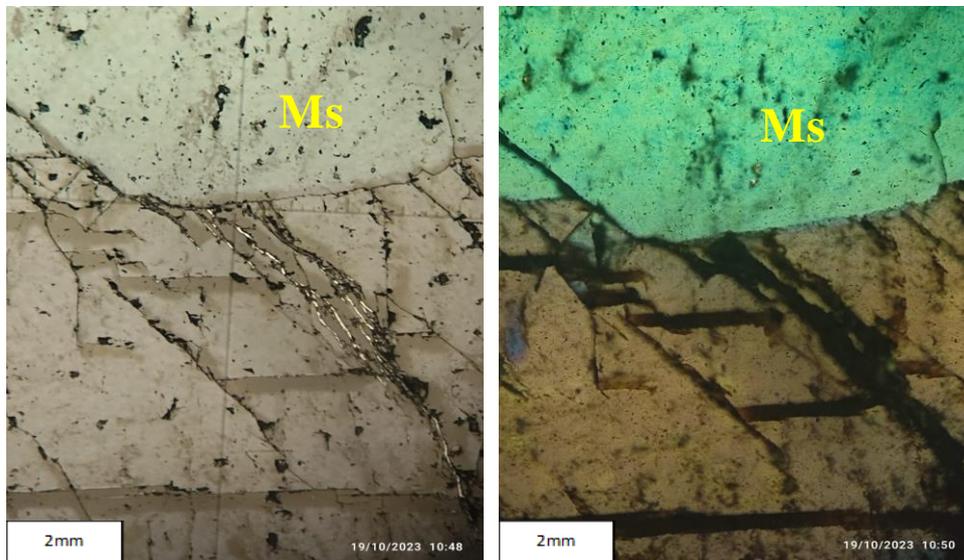


Figura 5.1.- Seção 1 da lâmina SAH-129 com luz natural e luz polarizada

Em um segundo campo da lâmina observa-se presença de um mineral de alto relevo, prismático, incolor com inclusões de micro-minerais e birrefringência baixa, conforme figura 5.2. Trata-se do piroxênio (Px) e associados a ele, a muscovita (Ms) se apresenta como minerais subédricos e birrefringência azul de 2^a ordem, no canto inferior direito da seção.

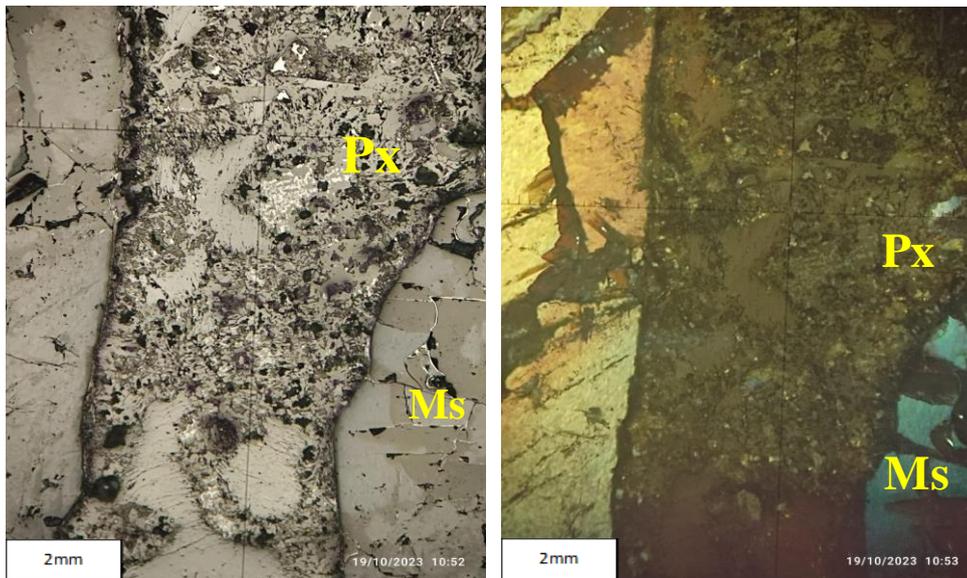


Figura 5.2- Seção 2 da lâmina SAH 129 com luz natural e luz polarizada

No terceiro campo descrito ao microscópio óptico, representado na figura 5.3, nota-se a presença de 3 minerais. A turmalina (Tur) foi identificada pelo seu relevo baixo, leve pleocroísmo incolor-marrom claro, clivagem muito fraca ou quase ausente. Associada a ela, nota-se um mineral de cor cinza, bem euédrico, com hábito tabular, cor de birrefringência branca, trata-se da albita (Ab). Já a muscovita (Ms) se apresenta com o relevo um pouco maior, subédrico e cor de interferência rosa.

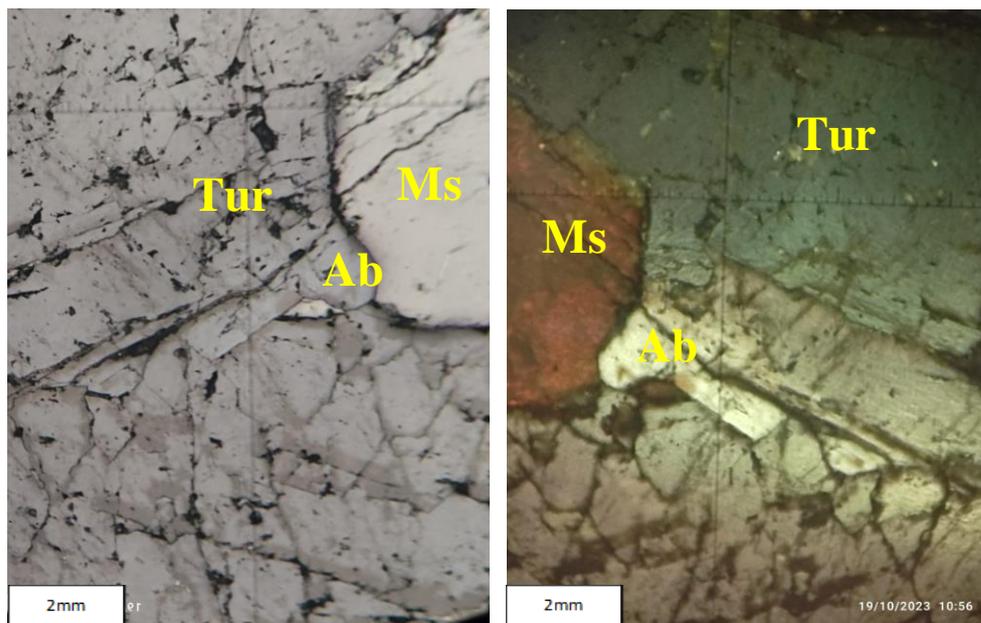


Figura 5.3- Seção 3 da lâmina SAH 129 com luz natural e luz polarizada

5.1.2 AMOSTRA SAH 136

Rocha altamente intemperizada apresentando associações fosfáticas complexas e difíceis de serem identificadas apenas em microscópio óptico, tornando-se indispensável a análise por MEV. A cor predominante é marrom escura, marrom-avermelhado e tons terrosos, o que evidencia a alta oxidação da rocha e a presença de óxidos de ferro e manganês, comprovados posteriormente na análise química. Além disso apresenta agregados radiais espalhados por toda lâmina, exemplificado na figura 5.4.

Na imagem é possível observar na parte inferior da lâmina um agregado de minerais de granulação muito fina, marrom-avermelhado, relevo alto e com hábito tabular. Na parte superior é possível notar a presença deste mesmo mineral em forma de agregados radiais, que com o auxílio do MEV foi possível determinar a presença da associação fosfática trifilita- ferrisicklerita, resultado da ação hidrotermal e lixiviação do lítio.

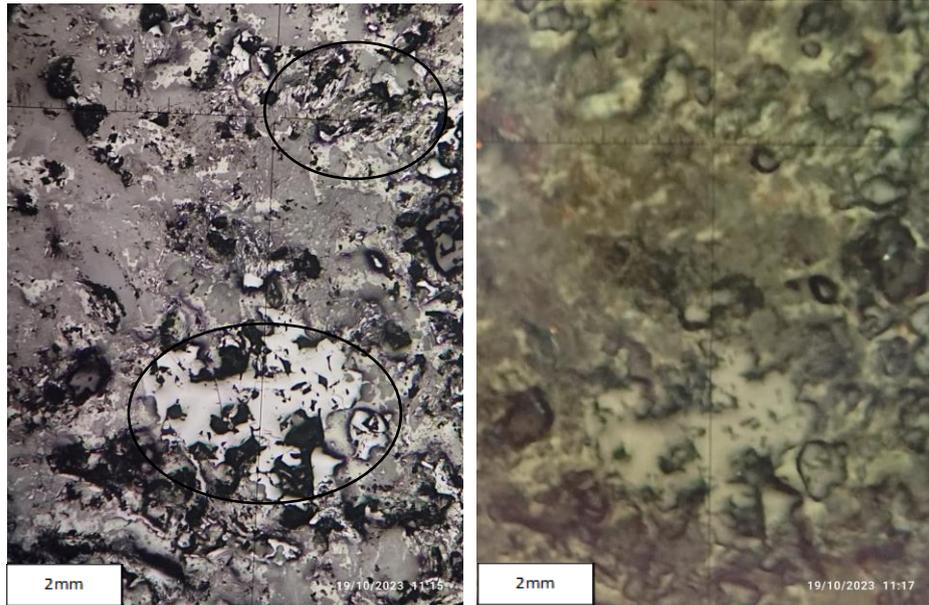


Figura 5.4- SAH 136 com luz natural e luz polarizada

5.1.3 AMOSTRA SAH 137

Através do estudo óptico, observa-se nas seções 1 e 2 da lâmina, representadas na figura 5.5 e 5.6 respectivamente, mineral cinza claro de revelo moderado, com cor de birrefringência de 1ª ordem e biaxial positivo. Trata-se do espodumênio (Spd), mineral fonte do elemento lítio, muito comum em pegmatitos dessa região.

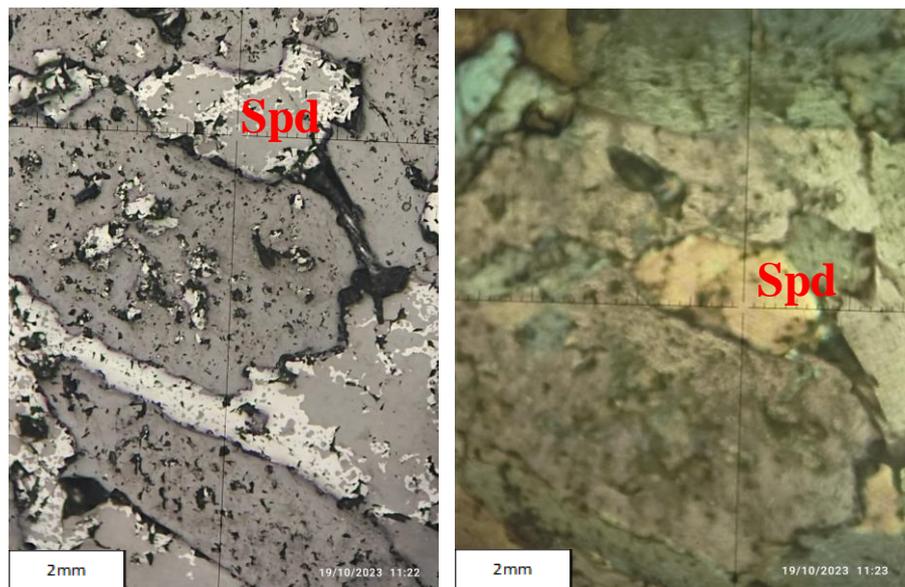


Figura 5.5- Seção 1 da lâmina SAH 137 com luz natural e luz polarizada

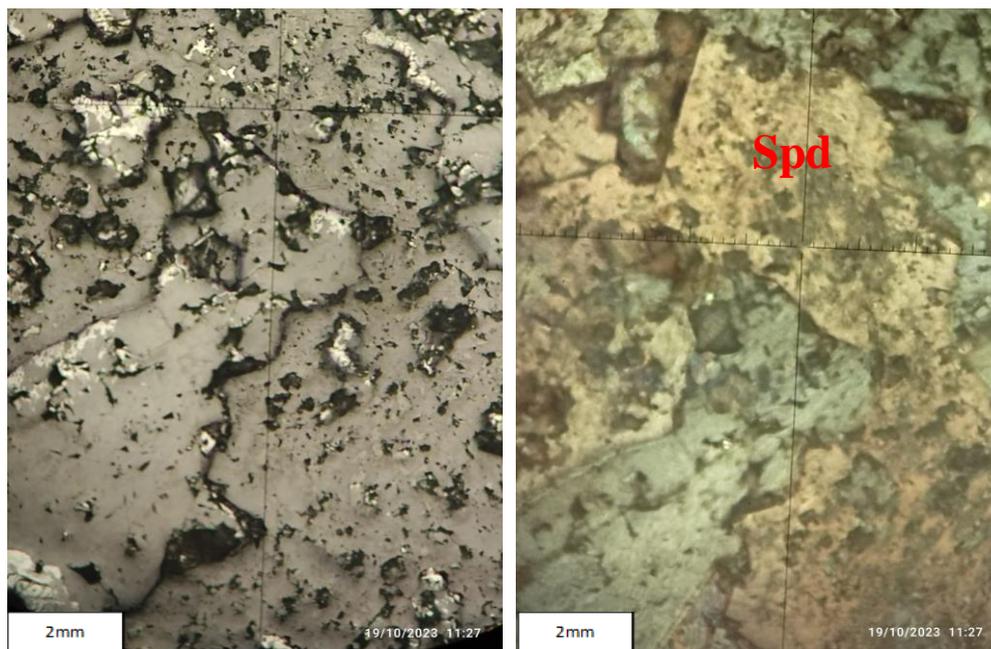


Figura 5.6- Seção 2 da lâmina SAH 137 com luz natural e luz polarizada

5.1.4 AMOSTRA SAH 142

A amostra em análise é um exemplo claro do papel dos fluidos no processo de cristalização dos pegmatitos. Além da presença de veios de quartzo na lâmina, é possível notar a presença da muscovita (Ms) e do espodumênio (Spd), conforme figura 5.7.

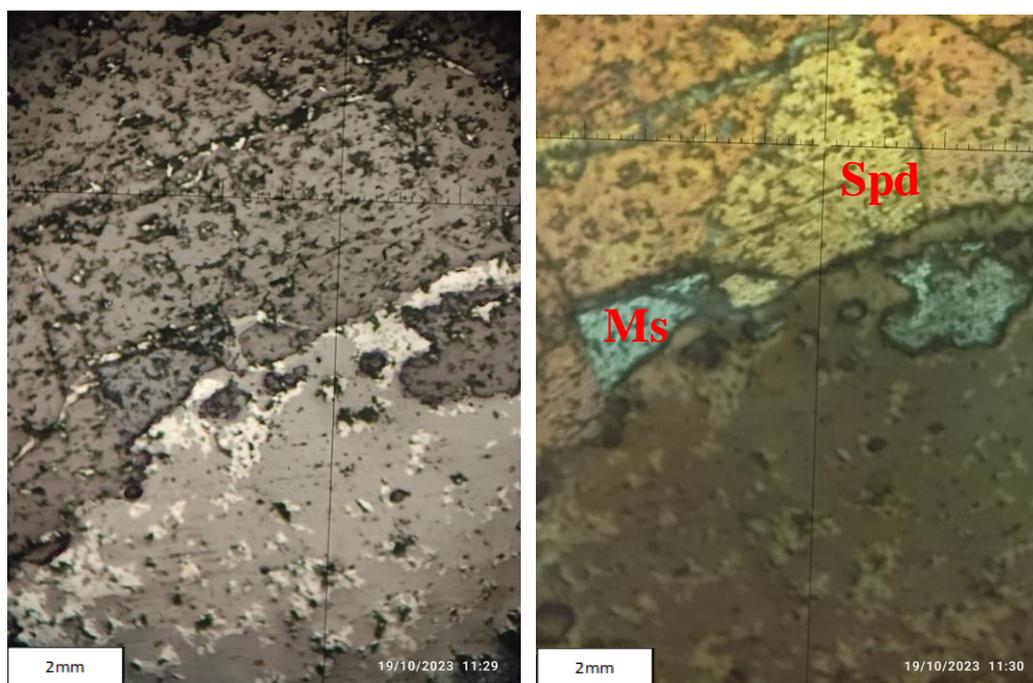


Figura 5.7- Seção 1 da lâmina SAH 142 com luz natural e luz polarizada

Na figura 5.8, é possível observar na área alguns “caminhos” que estão representadas pelas linhas amarelas desenhadas, o que indica a ação hidrotermal e associações mineralógicas sendo desenvolvidas. Nesse caso, por a rocha apresentar quantidade significativa do elemento químico arsênio, visto na análise química, pode-se inferir a formação de uma solução sólida que aparece como uma massa de aspecto sujo. Essa textura é comum nas rochas pegmatíticas.

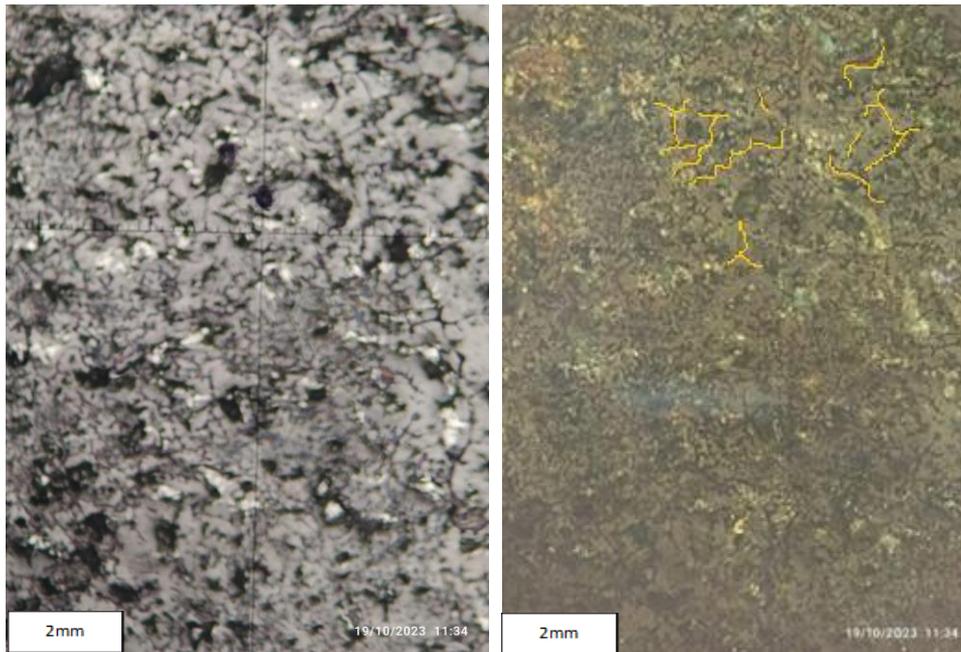


Figura 5.8 - Seção 2 da lâmina SAH 142 com luz natural e luz polarizada

Plagioclásios (Pl) maclados, altamente imteperizados e fraturados ocupam a parte superior da figura 5.9. Associados a ele, é possível observar grande quantidade de minerais marrom que se apresentam de forma anédrica por toda a área. Com auxílio do MEV, foi possível inferir que se trata da fofossiderita, um tipo de fosfato de ferro hidratado.

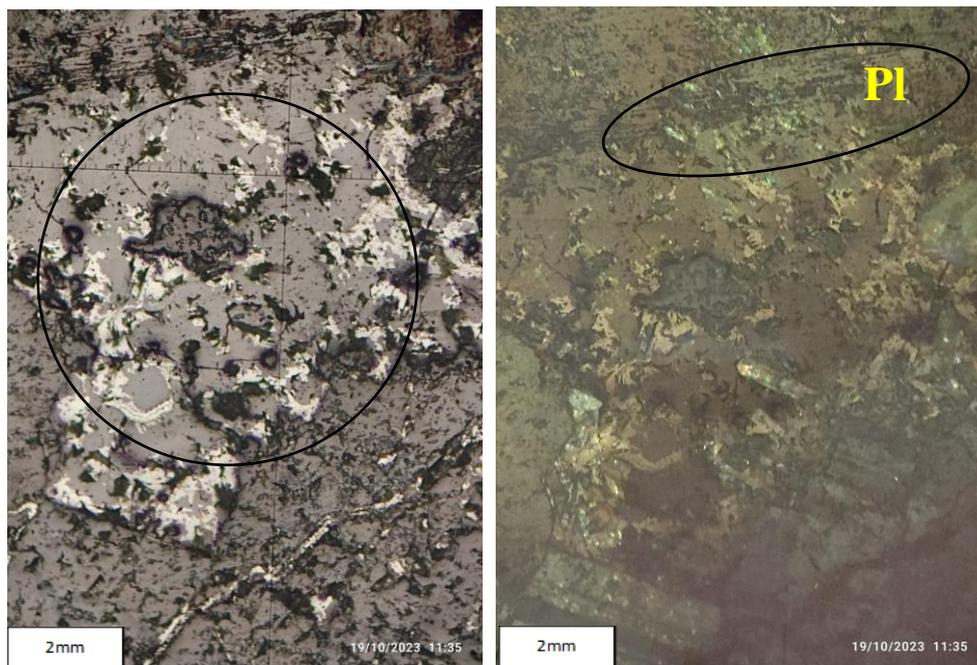


Figura 5.9- Seção 3 da lâmina SAH 142 com luz natural e luz polarizada

5.2 ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

5.2.1 AMOSTRA SAH 129

Corresponde a um fragmento de rocha pegmatítica com associação de fosfatos imersos em uma matriz de albita. A rocha apresenta feição de hidrotermalismo. A associação de fosfatos apresenta cor marrom, com presença de minerais que formam agregados botrioidais.

Na amostra SAH 129, foram analisados dois campos, o primeiro apresentando 14 espectros e o segundo com 12 espectros, totalizando 26 pontos analisados.(Figura 5.10)

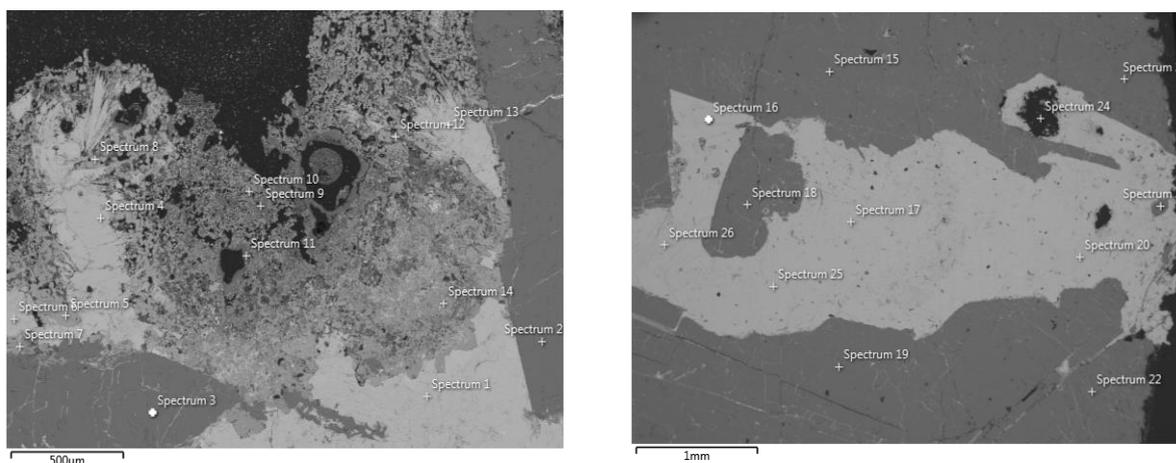


Figura 5.10 Fotomicrografia dos campos 1 e 2 de SAH 129

Os espectros 1, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12 e 13 apresentaram níveis elevados de óxidos de ferro e fósforo. Já os espectros 2, 3, 9 da área 1 da amostra SAH 129 apresentaram altos níveis de óxidos de alumínio e silício. Espectogramas 1 e 2 são apresentados no apêndice A, assim como os espectogramas 15 e 16 da área 2.

Os resultados das análises mais relevantes do primeiro campo, evitando-se duplicidade, são apresentados na tabela 5.1. Foi identificada uma complexa paragênese de fosfatos secundários, incluindo minerais reportados pela primeira vez no Brasil, como a rosemaryita. Além disso, dois minerais não puderam ser identificados por análises químicas semi-quantitativas.

Tabela 5.1- Porcentagem em massa de óxidos obtido por EDS, campo 1 de SAH 129

Spectrum Label	Spectrum 2	Spectrum 5	Spectrum 7	Spectrum 8	Spectrum 9	Spectrum 12	Spectrum 14
Na ₂ O	10,74		5,62	6,44	5,59		
Al ₂ O ₃	20,01	8,02	12,06	3,69			0,32
SiO ₂	68,72	2,62					
P ₂ O ₃		36,92	27,15	34,24		37,63	47,42
K ₂ O	0,21	0,09	0,28	0,16	18,32	0,22	0,16
CaO	0,32	0,2	0,34	0,27		0,34	
MnO ₂					5,35		
FeO		0,37	13,48		1,07	0,82	1,46
ZnO		51,79	41,08	55,21	69,66	61	50,65
Total	100	100	100	100	100	100	100
	Albita	Não Identificado	Meurigita-Rosemaryta(Na)	Meurigita-Rosemaryta(Na)	Não Identificado	Barbosalita	Rockbridgeita

O campo 2 corresponde a fragmento de pegmatito composto basicamente por albita em associação a rockbridgeita, conforme tabela 5.2. Os espectros 16, 17, 20, 25 e 26 apresentaram os fosfatos ricos em ferro e os espectros 15, 18, 19, 21, 22 e 23 foram os que apresentaram maior concentração de Al, Si e Na.

Tabela 5.2- Porcentagem em massa de óxidos obtido por EDS, campo 2 de SAH 129

Spectrum Label	Spectrum 15	Spectrum 16	Spectrum 17	Spectrum 18	Spectrum 19	Spectrum 26
Na ₂ O	10,97			11,06	11,09	
Al ₂ O ₃	19,5		0,77	19,76	19,77	
SiO ₂	65,7			69	69,04	
P ₂ O ₃	1,68	35,67	35,22			34,7
K ₂ O	0,14			0,18	0,11	
CaO	0,15					
MnO ₂	0,32	3,85	4,21			4,4
FeO	1,54	60,47	59,54			60,9
ZnO			0,26			
Total	100	100	100	100	100	100
	Albita	Rockbridgeita	Rockbridgeita	Albita	Albita	Rockbridgeita

5.2.2 AMOSTRA SAH 136

Na amostra SAH 136 foi analisada apenas uma área, com 9 espectros (Figura 5.11). Foi observado alta concentração de fosfatos de Fe e Mn em toda a amostra, indicando assim uma oxidação progressiva, resultado da lixiviação do Li, como visto na sequência Quensel- Mason estudada neste trabalho, onde a ferrisicklerita pode ainda fazer novas associações mineralógicas como hureaulita, devido ao processo de hidroxilação, que ocorre quando há acréscimo ou substituição de hidroxila em uma molécula. Os espectrogramas 1, 3, 6 e 9 são apresentados no apêndice B.

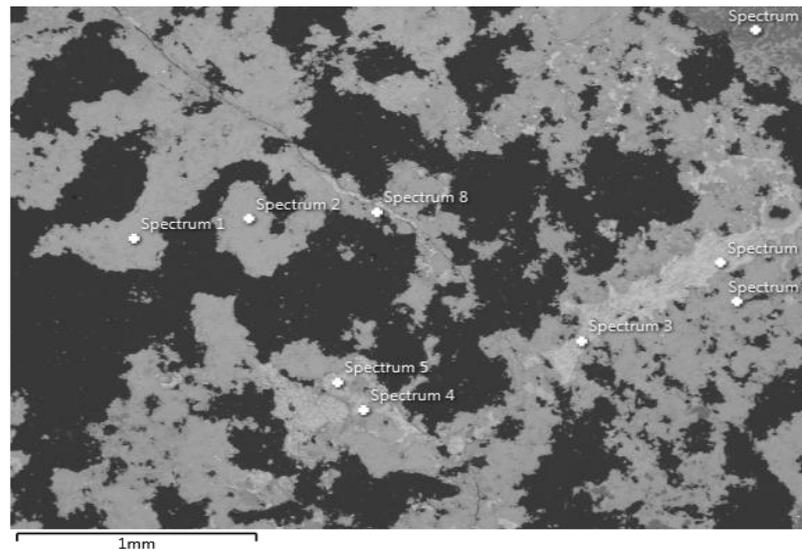


Figura 5.11 Fotomicrografia da área de SAH 136

Tabela 5.3- Porcentagem em massa de óxidos obtida por EDS de SAH 136

Spectrum Label	Spectrum 1	Spectrum 2	Spectrum 3	Spectrum 4	Spectrum 5	Spectrum 6	Spectrum 7	Spectrum 8	Spectrum 9
Na ₂ O								0,97	
Al ₂ O ₃						0,64		0,55	
SiO ₂						0,37		0,45	99,79
P ₂ O ₃	34,31	36,51	2,44	2,43	3,01	35,6	3,08	29,46	
K ₂ O	0,08		5,58	5,34	5,79		5,62	0,39	
CaO	0,36	0,75	1,5	2,51	1,22	19,39	1,18	28,3	
MnO ₂	14,7	10,38	89,84	88,99	89,14	3,37	89,45	25,34	
FeO	47,19	50,3				40,26		14,03	0,21
ZnO	3,36	2,06	0,64	0,73	0,85	0,37	0,66	0,5	
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Rockbridgeita	Rockbridgeita	Hureaulita	Hureaulita	Hureaulita	Jahnsita	Hureaulita	Não identificado	Albita

5.2.3 AMOSTRA SAH 137

Na amostra SAH 137 foram analisadas duas áreas, a primeira apresentando 15 espectros e a segunda área com 13 espectros. (Figura 5.12). Os espectogramas dessa amostra estão apresentados no apêndice C.

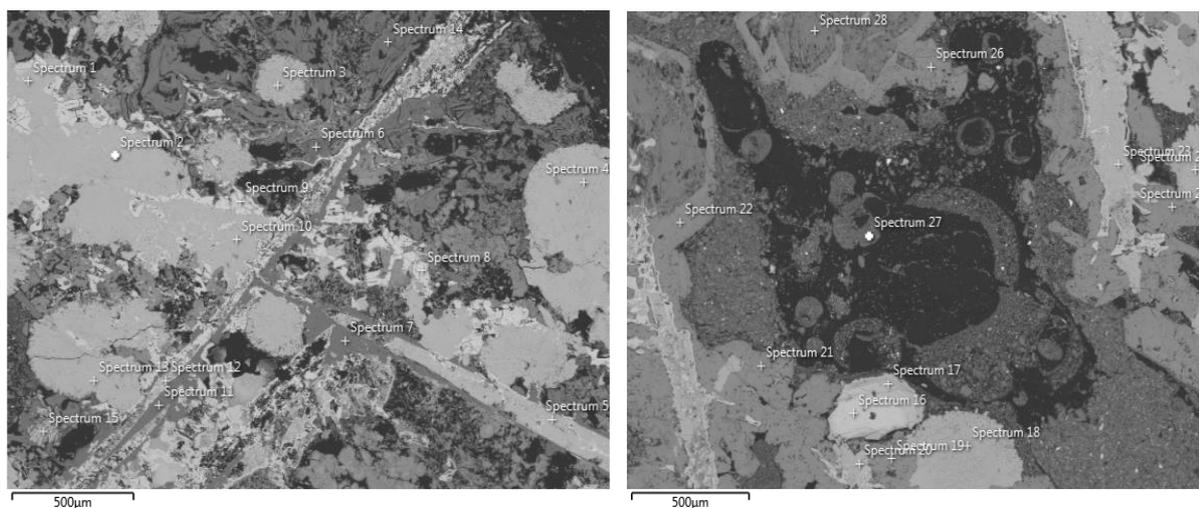


Figura 5.12- Fotomicrografia dos campos 1 e 2 de SAH 137

Na primeira área analisada os espectros 1, 2, 3, 4 e 5, 8, 9, 10, 12, 13 e 15 apresentaram níveis elevados de teor de FeO e P₂O₃. Já os espectros 6, 7 e 11 da área 1 da amostra SAH 137 apresentaram altos níveis de Al₂O₃ e SiO₂, caracterizando, portanto, alta porcentagem de associações fosfáticas ricas em Al e Si. A tabela 5.4 apresenta os principais resultados dessa análise quantitativa, cuja principal associação mineralógica é a frondelita-rockbridgeíta.

Tabela 5.4- Porcentagem em massa de óxidos obtida por EDS, campo 1 de SAH 137

Spectrum Label	Spectrum 1	Spectrum 2	Spectrum 4	Spectrum 5	Spectrum 6	Spectrum 7	Spectrum 8
MgO	0,63	1,03	1,2	0,58			0,37
Al ₂ O ₃	0,65			0,8	59,08	1,04	1
SiO ₂						98,96	
P ₂ O ₃	21,24	35,08	35,32	18,53			5,71
K ₂ O	0,09			0,12	3,49		
CaO	0,43	0,17	0,34	0,44	2,99		0,7
TiO ₂							
MnO ₂	5,47	8,2	12,08	5,55	3,26		1,17
FeO	70,88	55,16	50,62	73,42	31,17		90,44
ZnO	0,61	0,35	0,45	0,56			0,62
Total	100	100	100	100	100	100	100
	Rockbridgeíta	Frondelita	Frondelita	Frondelita	Eosforita	Albita	Ferrisicklerita

Já na segunda área analisada todos os espectros apresentaram alta concentração de fosfatos de ferro e manganês, resultando em um paragênese mineralógica complexa devido ao processo de oxidação progressiva.

Tabela 5.5- Porcentagem em massa de óxidos obtida por EDS, campo 2 de SAH 137

Spectrum Label	Spec16	Spec 17	Spec 18	Spec 19	Spec 20	Spec 21	Spec 23	Spec 27
Na ₂ O								1,34
MgO	0,71	0,96	0,93	9,6	0,85	10,02	0,66	0,5
Al ₂ O ₃	1,35	14,83	12,62					13,58
SiO ₂							0,38	72,93
P ₂ O ₃	1,4	1,42	30,42	42,1	34,68	41,83	21,27	3,18
K ₂ O	5,39	2,21						0,29
CaO	0,5	0,86	0,23	7,19	0,24	7,78	0,12	1,88
TiO ₂								0,22
MnO ₂	88,05	71,86	7,26	13,39	8,84	13,33	5,61	2,6
FeO		5,08	48,09	27,71	54,88	27,03	71,59	3,49
ZnO	2,61	2,78	0,44		0,51		0,36	
Total	100	100	100	100	100	100	100	100
	Eosforita	Eosforita	Fosfossiderita	Jahnsita	Fosfossiderita	Jahnsita	Rockbridgeíta	Não identificado

5.2.4 AMOSTRA SAH 142

A última amostra estudada no MEV foi a SAH 142. Nessa, uma única área com 18 espectros foi analisada. Quase todos apresentaram altas concentrações de fosfatos de ferro e manganês, vale destacar os espectros 2, 3, 11, 14, 15, 17 e 18 que apresentaram altas porcentagem de arsênio, que sinaliza a presença da solução sólida scorodita-strengita, ambos pertencentes ao grupo da variscita. Os principais resultados estão apresentados na tabela 5.6 e os espectogramas no apêndice D.

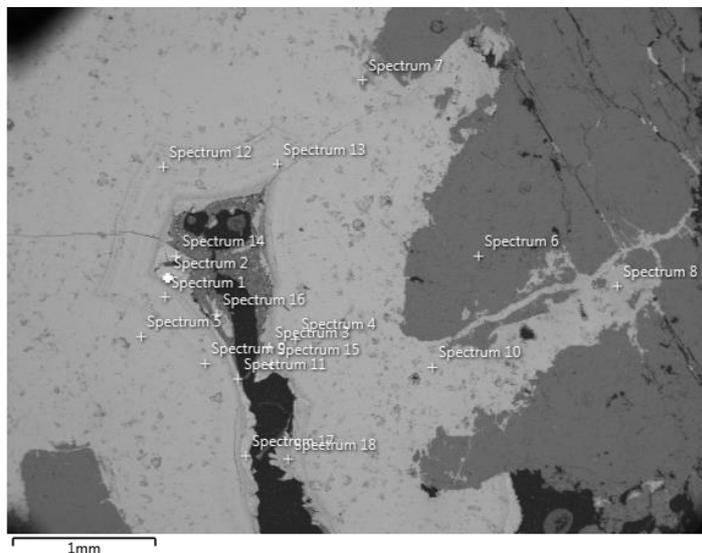


Figura 5.13 Fotomicrografia da área de SAH 142

Tabela 5.6- Porcentagem em massa de óxidos obtida por EDS de SAH 142

Spectrum Label	Spec 1	Spec 2	Spec 4	Spec 6	Spec 7	Spec 8	Spec 9	Spec 15	Spec 16	Spec 17
Na ₂ O				11,19						
Al ₂ O ₃	0,57	2,02	1,16	20,29	20,19	8,87	1,64	9,99	2,44	3,95
SiO ₂				68,25						
P ₂ O ₃	33,23	20,03	33,75		35,27	35,75	32,95	22,8	35,05	20,61
K ₂ O			0,07	0,13				0,08		0,1
CaO	0,24		0,19		0,45	0,24	0,2		0,19	
MnO ₂	20,81	0,21	21,47		28,75	15,01	20,88		19,56	0,42
FeO	42,75	43,17	41,44	0,14	15,29	39,31	41,59	32,88	40,92	41,42
ZnO	0,68		0,63			0,42	0,69		0,6	
As ₂ O ₃	1,72	34,58	1,29		0,06	0,4	2,05	34,25	1,25	33,5
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Rockbridg-eíta	Scorodita-Strengita	Fosfosside-rita	Albita	Fosfosside-rita	Rockbridg-eíta	Rockbridg-eíta	Scorodita-Strengita	Rockbridg-eíta	Scorodita-Strengita

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

Os pegmatitos da Lavra Eduardo são, indiscutivelmente, formados por associações mineralógicas e fosfáticas complexas. A partir da compilação da literatura de pegmatitos e fosfatos apresentados neste trabalho e análises por microscopia óptica e eletrônica, obteve-se alguns resultados previstos e outros inesperados, como por exemplo a presença de minerais vistos pela primeira vez no Brasil como a Meurigita-Rosemaryta, representando uma complexa paragênese de fosfatos secundários.

De fato, a mineralogia da maioria das amostras compreende principalmente fosfatos hidratados de ferro e manganês, em tons avermelhados e terrosos que fundamentam a intensa atividade intempérica na região. Além disso, devido a ação hidrotermal e conseqüentemente a lixiviação do Li, a trifilita primária deu origem a novas associações fosfáticas secundárias observadas como frondelita-rockbrigeíta, hureaulita e jahnsita, decorrente da Sequência de Quensel Mason. De uma forma geral, os pegmatitos da Lavra Eduardo, a maioria deles são ausentes de fosfatos primários, sendo, portanto, produto da alteração da trifilita primária

De acordo com a classificação de Cerny (1991) os pegmatitos estudados pertencem à classe de Elementos Raros, pertencente à família LCT (Lítio - Césio - Tântalo), visto que a trifilita é um fosfato rico em lítio e o espodumênio visto em microscópio óptico se apresenta como um mineral fonte de lítio.

Embora localizado próximos a um perfil de alteração intempérica, os minerais de fosfatos secundários na Lavra Eduardo estão situados em zonas de cisalhamento, associados geralmente a veios que cortam a rocha encaixante, sugerindo uma mineralização hidrotermal com contribuição de uma alteração supergênica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aarão G. M. 2015. Caracterização mineralógica e tecnológica de feldspatos piroexpansíveis de pegmatitos do distrito de Conselheiro Pena, Minas Gerais, p. 23-36
- Addad J., Scholz R., Figueiredo J., Xavier E. S., Karfunkel J., Rocha S. O. G., Pinheiro M. 2000. Caracterização química das turmalinas azuis-verdes de Divino das Laranjeiras, MG, por espectroscopia no infravermelho e mapeamento por microsonda. In: SBQ, 23^a Reunião Anual, Poços de Caldas, Anais, V.1: QM-009.
- Addad J., Scholz R., Karfunkel J. & Martins M. S. 2001. Mapas químicos por microsonda eletrônica: caracterização e relação cor-substituição de minerais. In: 6^o Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, p. 85-87
- Almeida F. F. M. 1977. O Cráton do São Francisco. Revista Brasileira Geociências, 7: 349-364B.
- Ardizzi B. G. C. J 2019. Mineralogia dos fosfatos do pegmatito do Jocko (lavra da Cigana), Conselheiro Pena, Minas Gerais
- Baijot, M.; Hatert, F. & Philippo, S. 2012. Mineralogy and geochemistry of phosphates and silicates in the Sapucaia pegmatite, Minas Gerais, Brazil: genetic implications. Canadian Mineralogist vol 50, p. 1531–1554.
- Baijot, M., Hatert, F., & Philippo, S. 2014. Mineralogy and petrography of phosphate mineral associations from the Jocko pegmatite, Minas Gerais, Brazil. Canadian Mineralogist vol52, p. 373-397.
- Barbosa A. L. M., Grossi Sad J. H., Torres N. 1964. Geologia das quadrículas de Barra do Cuieté e Conselheiro Pena, Minas Gerais. DNPM / GEOSOL, 285p
- Cameron E. N., Jahns R. H., Mcnair A.H., Page L. R. 1949. Internal structure of granitic pegmatites. In: Economic Geology, 115 p.

Cassedanne, J.P. 1986. The Urucum Pegmatite, Minas Gerais, Brazil. *Mineralogical Record*, vol 17, n. 5, p. 307-314.

Cassedanne, J. & Baptista, A. 1999. The Sapucaia pegmatite, Minas Gerais, Brazil. *Mineralogical Record*, vol30, p. 361-366.

Černý P. 1982. Petrogenesis of granitic pegmatites. In: *Granitic pegmatites in science and industry* (Černý P., ed.), Mineralogical Association of Canada. Short Course Handbook., 8:405-461.

Černý P. 1991. Rare-element granitic pegmatites. Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. *Geoscience Canada*, 18: 49-67

Černý, P., and Ercit, T.S. 2005. The classification of granitic pegmatites revisited. *Canadian Mineralogist*, 43.

Chaves M. L. S. C., Scholz R., Atencio D. 2005. Assembléias e paragêneses minerais singulares nos pegmatitos da região de Galiléia (Minas Gerais). *Revista Geociências*, 24: 143-161.

Chaves, M.L.S.C., and Scholz, R. 2008. Pegmatito Gentil (Mendes Pimentel, MG) e suas paragêneses mineralógicas de fosfatos raros. *Revista Escola de Minas*, 61, 141– 149.

Correia Neves, J. M-1981- Pegmatitos Graníticos: morfologia, mineralogia, geoquímica, gênese e metalogênese. Tese apresentada em concurso a Professor Titular da UFMG. 262p. (Inédito)

CPRM 2000- Companhia de Recursos e Pesquisa Mineral. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Caracaráí, Folhas NA.20-Z-B e NA.20-Z-D inteiras e partes das Folhas NA20-Z-A, NA-21Y-C e NA.21-Y-A.

Deer W. A., Howie R. A., Zussman J. 1966. *Minerais Constituintes das Rochas – Uma Introdução*. 2ª Ed. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 558p.

Eventoff, W., Martin, R., and Peacor, D. 1972. The crystal structure of heterosite. *American Mineralogist*, 57, 45–51.

- Fersman A.E. 1931. Les pegmatites, leur importance scientifique et pratique. Acad Sci. URSS (traduzido para o francês em 1951, por R. du Trein de Terdonck e J. Thoureau, Universidade de Louvain, Belgica), 3vol., 675p.
- Fransolet, A.M. 2007. Phosphate associations in the granitic pegmatites: the relevant significance of these accessory minerals. Granitic Pegmatites: The State of the Art – International Symposium. Porto, Portugal.
- Ginsburg A. I., Timofeyev I. N., Feldman L. G. 1979. Principles of geology of the granitic pegmatites. Nedra Publishing House, Moscow, 296 p.
- Ginsburg A. I. 1984. The geological condition of the location and the formation of granitic pegmatites. In: International Geological Congress, Canada, 260p.
- Heilbron M., Pedrosa-Soares A.C., Campos Neto M. Da C., Silva L.C. da, Trouw R.A. J. 2004. Província Mantiqueira. In: Mantesso Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito-Neves B.B. de. (Orgs). Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flavio Marques de Almeida. São Paulo, Beca, 203- 234.
- Heinrich E. W. 1953. Zoning in pegmatites districts. The American Mineralogist, 38: 68-87
- Jahns, R. H- 1955- The Study of Pegmatites. Economic Geology, 50th. Ann., Part II, 1025-1130.
- Keller, P., and V. Knorring, O. 1989. Pegmatites at the Okatjimukuju farm , Karibib , Namibia Part I : Phosphate mineral associations of the Clementine II pegmatite. European Journal of Mineralogy, 1, 567–593.
- London, D. 2008. Pegmatites. The Canadian Mineralogist, Special Publication 10, 347 p.
- Maliska, A. M. 2003. Microscopia Eletrônica de Varredura, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, LBMAT, 97p.
- Moura O. J. M. De., Fanton J. J., Arioli E. A. 1978. Geologia da região de Galiléia–Mendes Pimentel, MG. XXX Congresso Brasileiro de Geologia, 1: 26-37.
- Nalini H. A. 1997. Caractérisation des suites magmatiques néoproterozoïques de la région de

- Conselheiro Pena et Galiléia, Minas Gerais, Brésil. Dr. Thesis, École Nationale Supérieure des Mines, Saint Etienne, France, 237p
- Nalini Jr. H.A., Machado R., Bilal E. 2005. Geoquímica e petrogênese da Suíte Galileia: Exemplo de magmatismo tipo-I metaluminoso pré-colisional Neoproterozoico da região do Médio Vale do Rio Doce (MG). *Revista Brasileira de Geociências*, 35(4): 23-34.
- Newman Carvalho, D. T. de. 2004. Estudos mineralógicos e microtermométricos de berilo dos pegmatitos Ipê, Ferreirinha, Jonas Lima e Escondido, Governador Valadares, MG. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 143p.
- Noce C.M., Pedrosa-Soares, A.C., Silva, L.C & Alkmim, F.F. 2007. O Embasamento Arqueano e Paleoproterozóico do Orógeno Araçuaí. *Geonomos*, 15: 1-16.
- Norton J.J. 1983. Sequence of mineral assemblages in differentiated granitic pegmatites. *EconomicGeology*, Vol. 78, pp. 854-874.
- Oliveira M.J.R. 2000. Folhas SE.24-Y-C-II e SE.24-Y-C-III, Conselheiro Pena/São Gabriel da Palha. Belo Horizonte: Secretaria de Estado de Minas e Energia/Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais/Serviço Geológico do Brasil. Texto Explicativo, 223 p.
- Pedrosa Soares A.C., Pinto C. P., Netto C., Araujo M. C., Castañeda C., Achtschin A. B., Basílio M. S. 2001. A Província Gemológica Oriental do Brasil. In: Castañeda C., Addad J. E., Liccardo A. (eds), *Gemas de Minas Gerais*. Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Geologia, 16-33.
- Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M., Alkmim F.F., Silva L.C., Babinski M., Cordani U., Castañeda C. 2007. Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Geonomos*, 15: 1-16.
- Pedrosa Soares A. C., Noce C. M., Wiedemann C. M., Pinto C. P. 2011. The Araçuaí-West

Congo Orogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanland assembly. *Precambrian Research*, 110: 307-323.

Pereira L.M.M. & Zucchetti M. 2000. Projeto Leste-MG: relatório integrado de petrografia, etapa II. Belo Horizonte, Secretaria de Estado de Minas e Energia/Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais/Serviço Geológico do Brasil, 88p.

Pinto C. P., Drumond J. B. V., Féboli W. L. 1997. Projeto Leste: geologia – nota explicativa do mapa geológico integrado, escala 1: 500.000. Etapa I. Belo Horizonte: SEME/COMIG/CPRM, 161p.

Rao, C., Wang, R.C., Hatert, F., and Baijot, M. 2014. Hydrothermal transformations of triphylite from the Nanping No. 31 pegmatite dyke, southeastern China. *European Journal of Mineralogy*, 26, 179–188.

Scholz, R. 2002. Mineralogia fosfática dos pegmatitos do Distrito Pegmatítico de Conselheiro Pena, Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Geologia)– Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 102 p.

Scholz R. 2006. Mineralogia fosfática do distrito pegmatítico de Conselheiro Pena, Minas Gerais. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 98p.

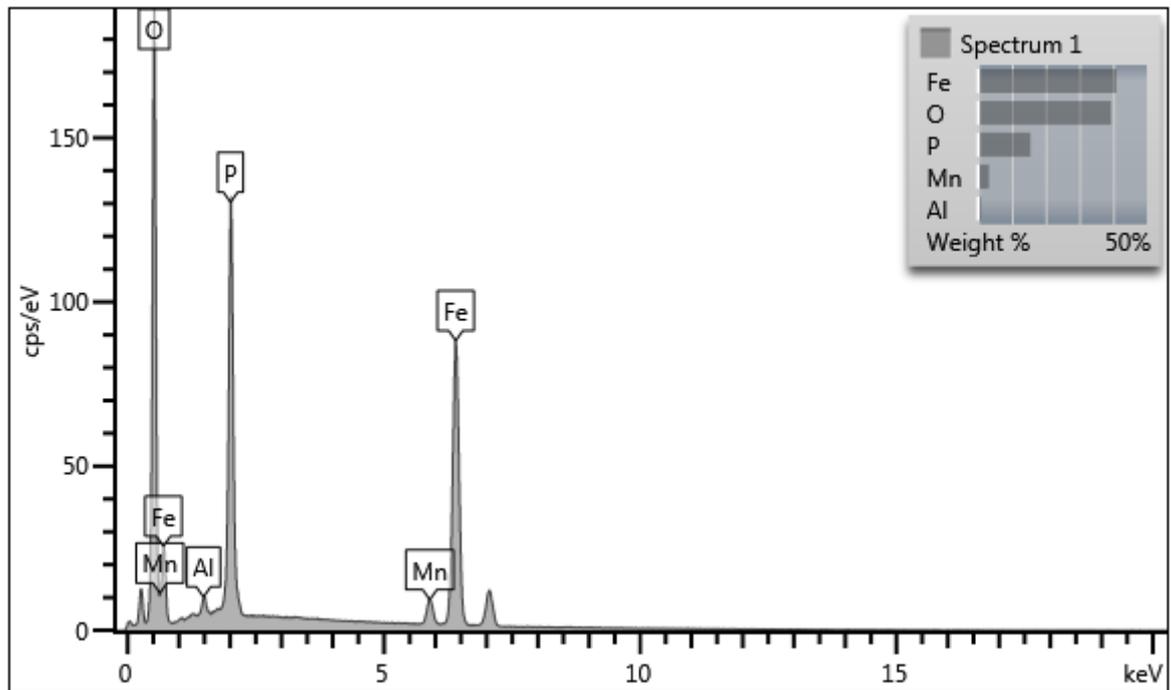
Scholz R., Chaves M. L. S. C., Krambrock K. 2011. Mineralogy of the lithium bearing pegmatites from the Conselheiro Pena Pegmatite District (Minas Gerais, Brazil). In: 5 th International Symposium on Granitic Pegmatites. Mendoza, In Press, p.193-195.

Silva J. M. R., Lima M. I. C., Veronese V. F. 1987. Geologia. In: Projeto RADAMBRASIL: Folha Rio Doce – SE, 24. Rio de Janeiro: IBGE, v.34, Cap.1, p.23-172.

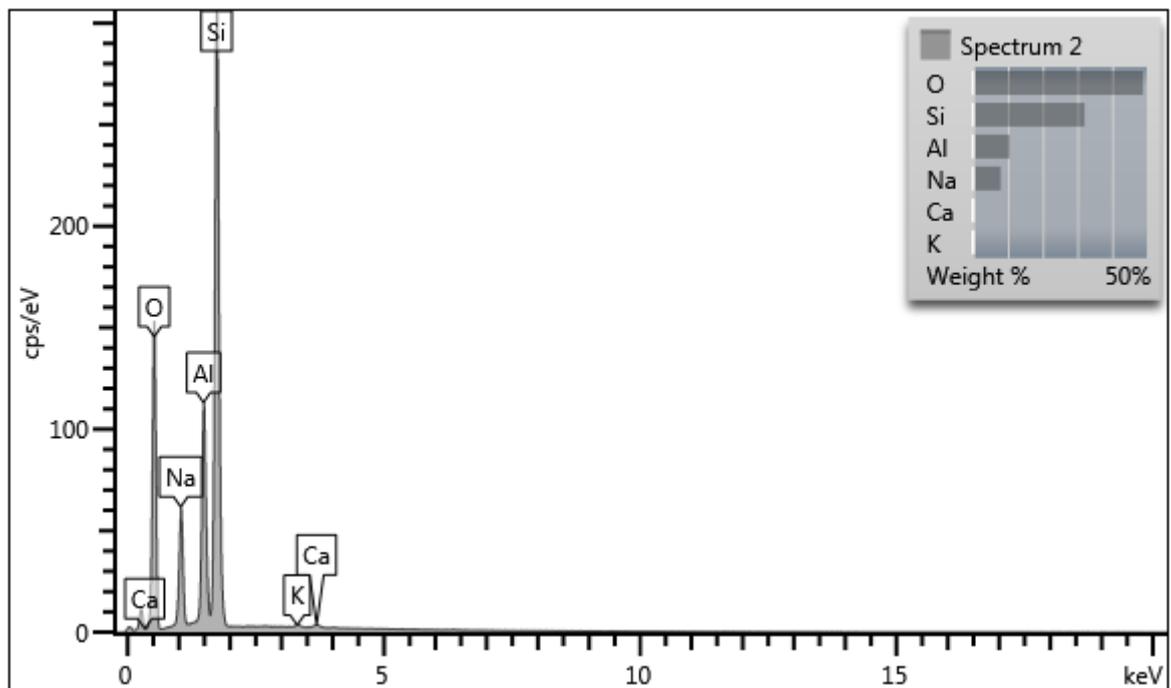
Silva R. H. M. 2011. Geologia dos Pegmatitos da Região do Córrego Boa Vista, Galiléia, MG

Winkler H. G. F. 1967. Petrogênese das rochas metamórficas. Edgar Blucher, 4ª ed., São Paulo, 254p.

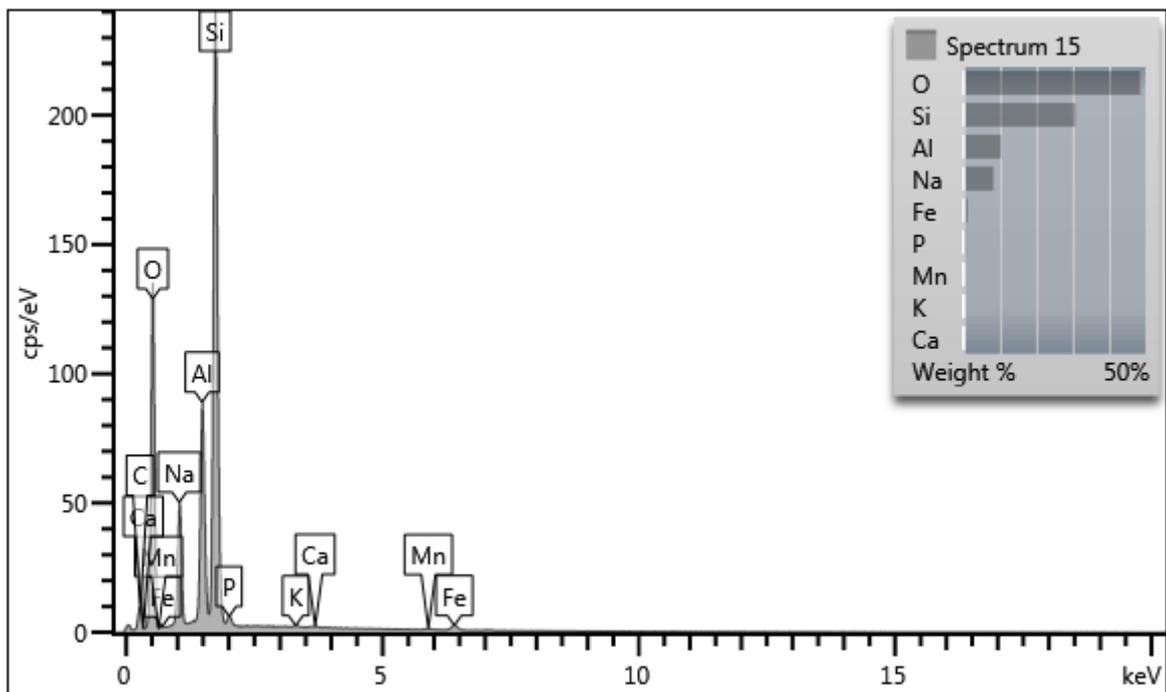
APÊNDICE A – Espectogramas das análises por EDS de SAH-129



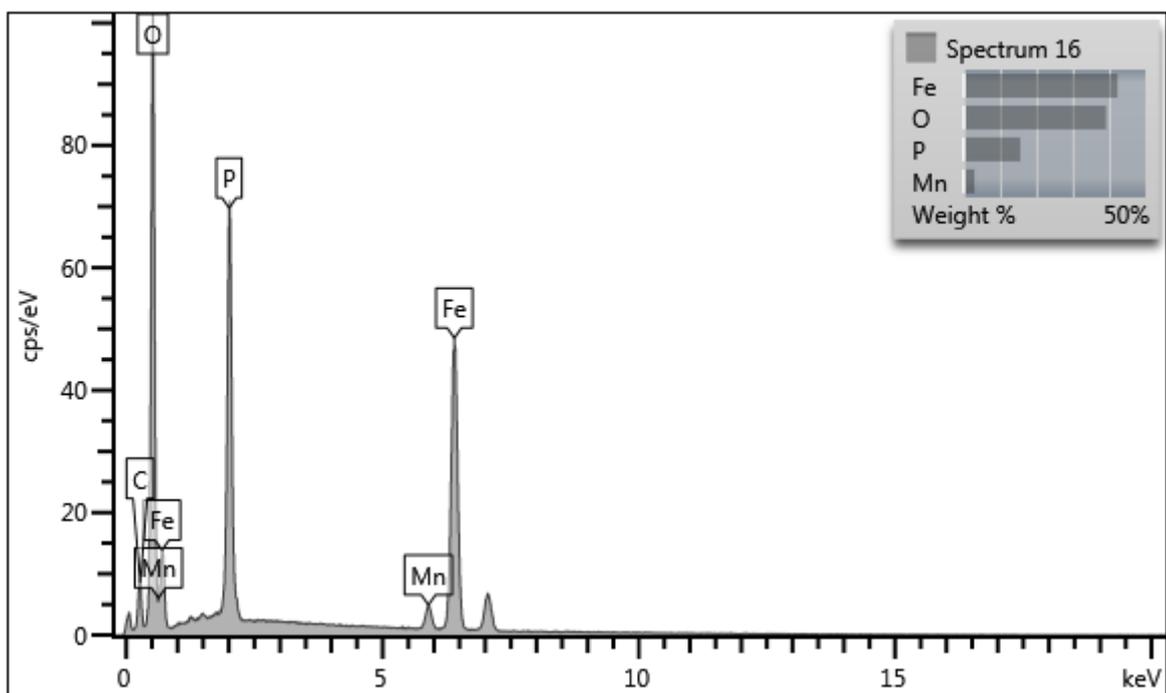
Espectograma da amostra SAH 129, *spectrum 1*, área 1.



Espectograma da amostra SAH 129, *spectrum 2*, área 1.

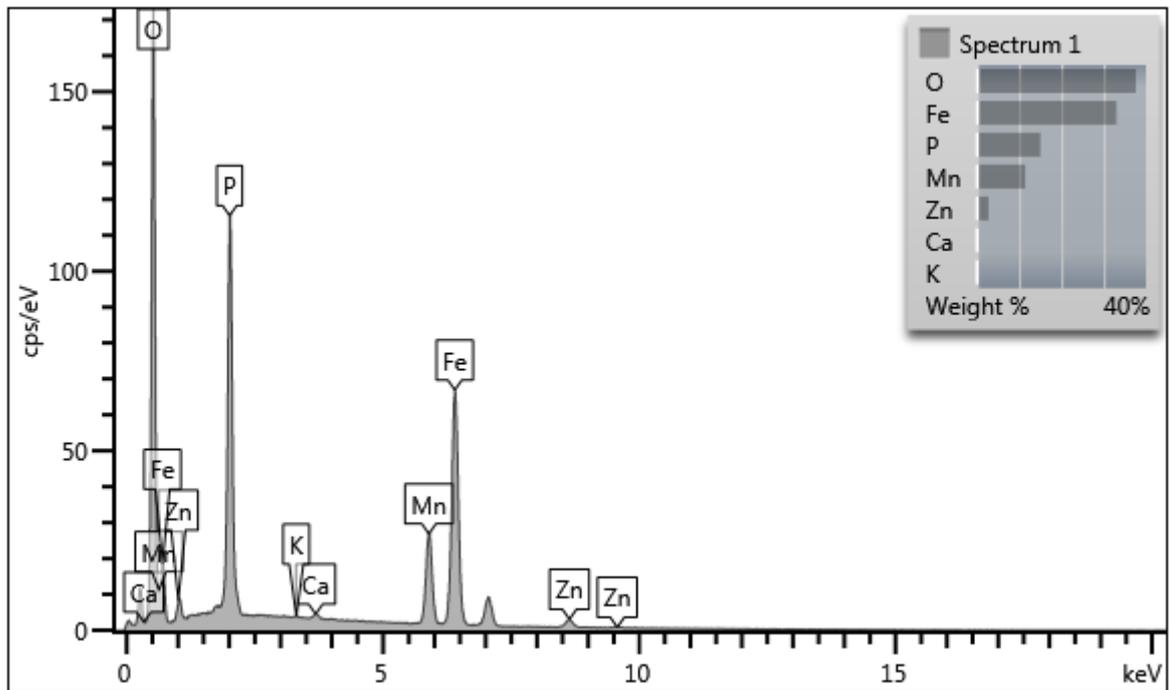


Espectograma da amostra SAH 129, *spectrum* 15, área 2.

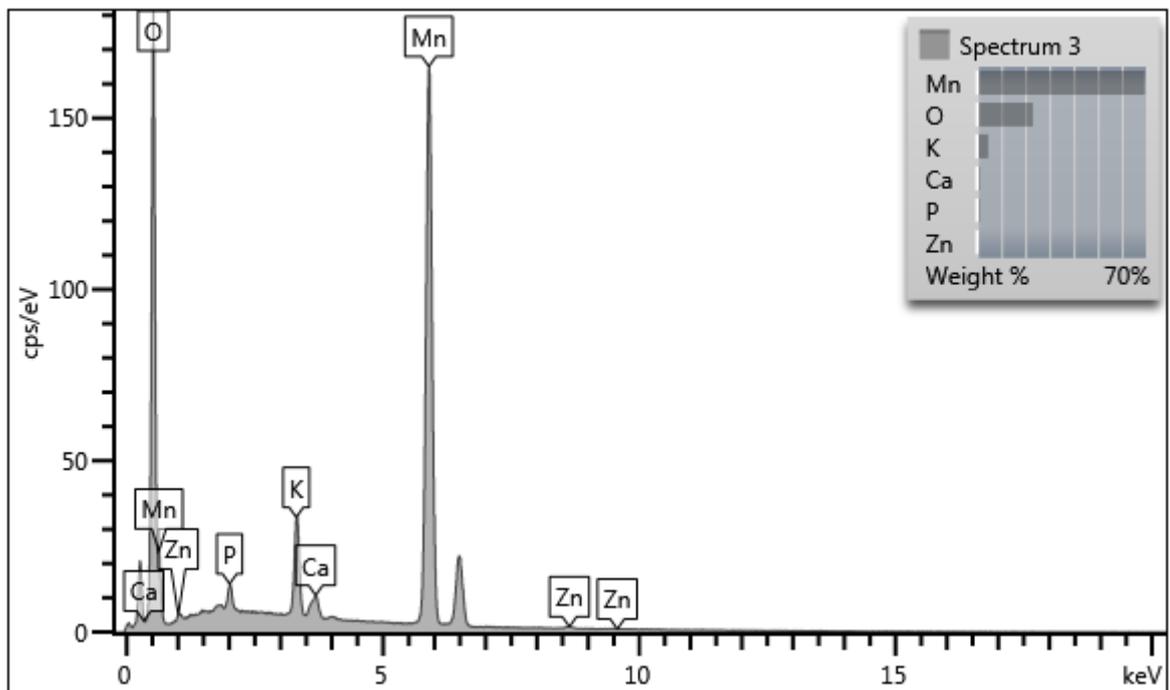


Espectograma da amostra SAH 129, *spectrum* 16, área 2.

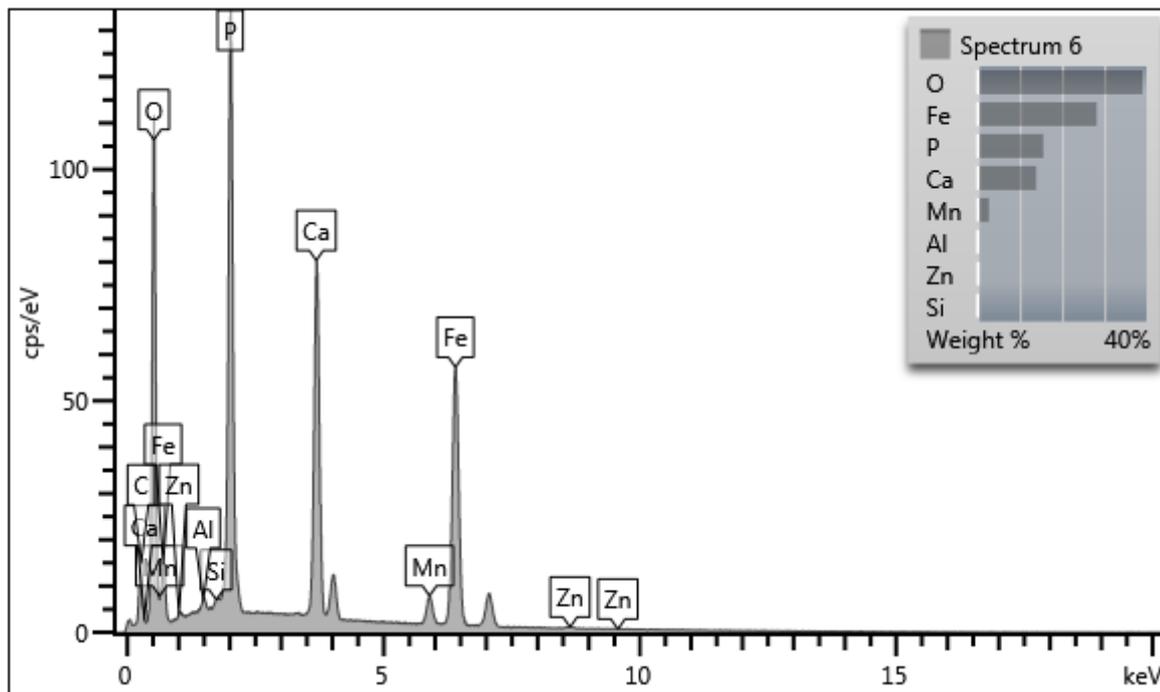
APÊNDICE B – Espectogramas das análises por EDS de SAH-136
(Uma única área analisada)



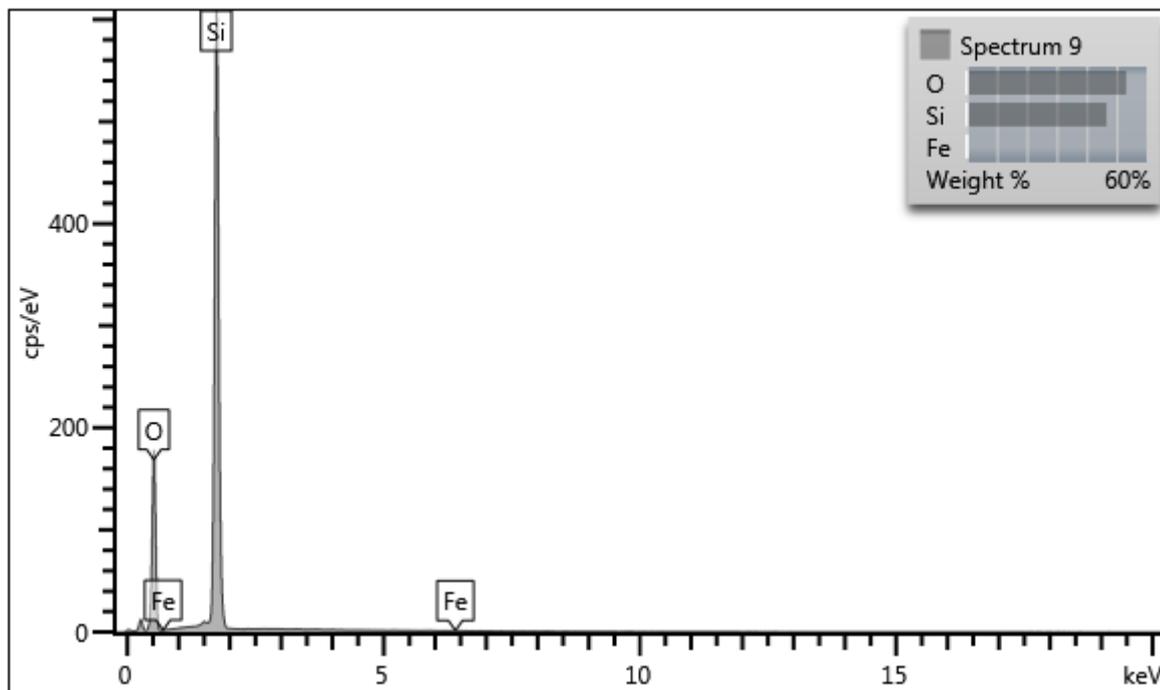
Espectograma da amostra SAH 136, *spectrum 1*



Espectograma da amostra SAH 136, *spectrum 3*

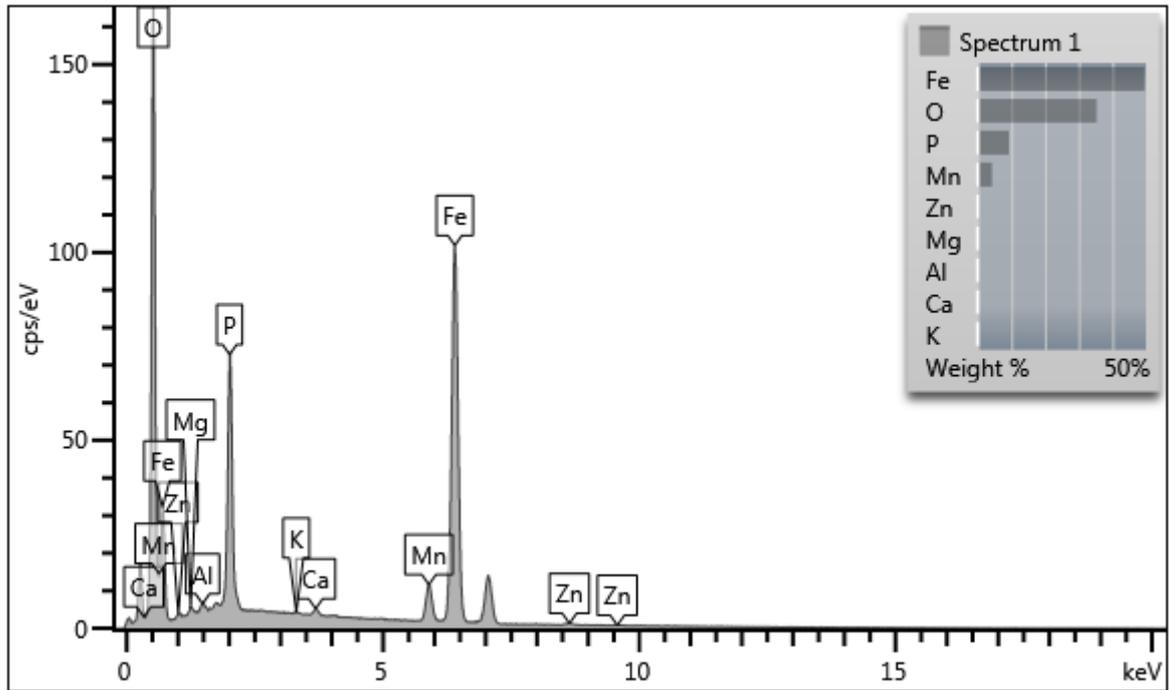


Espectograma da amostra SAH 136, *spectrum 6*

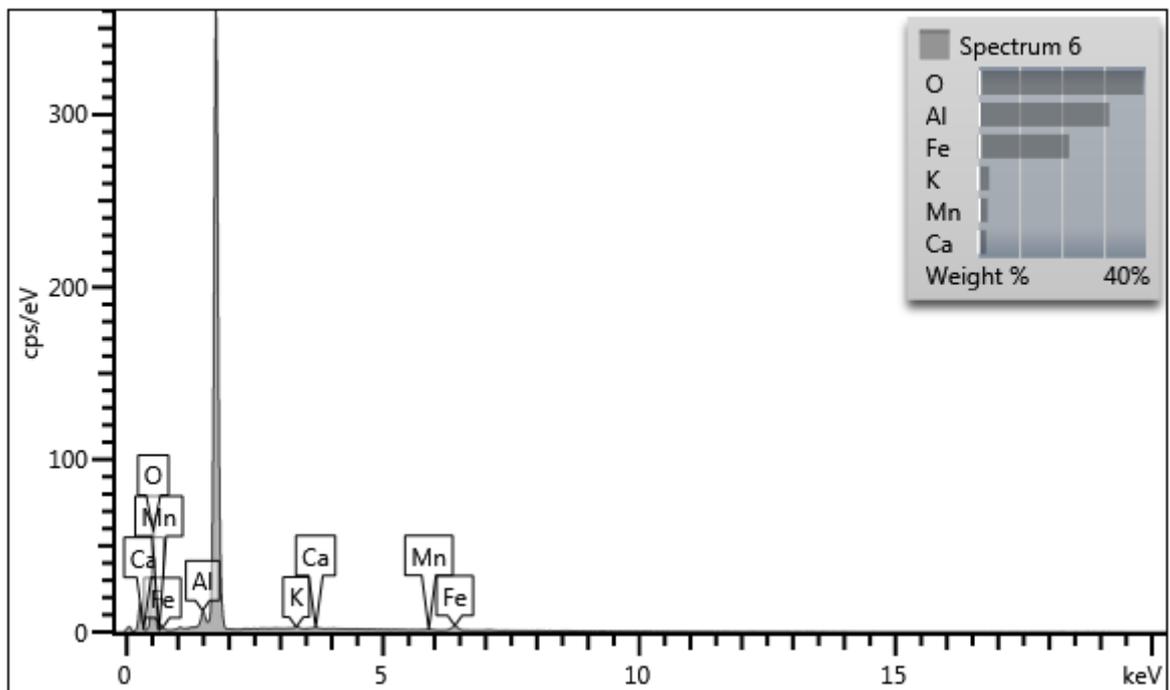


Espectograma da amostra SAH 136, *spectrum 9*

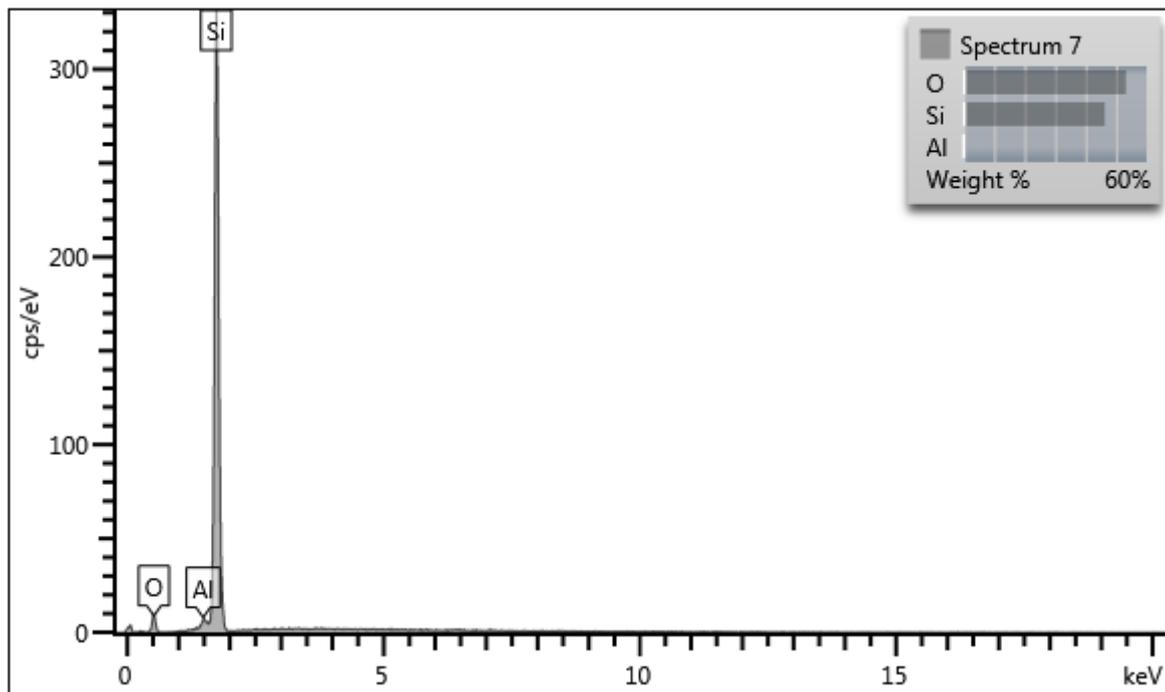
APÊNDICE C – Espectogramas das análises por EDS de SAH-137



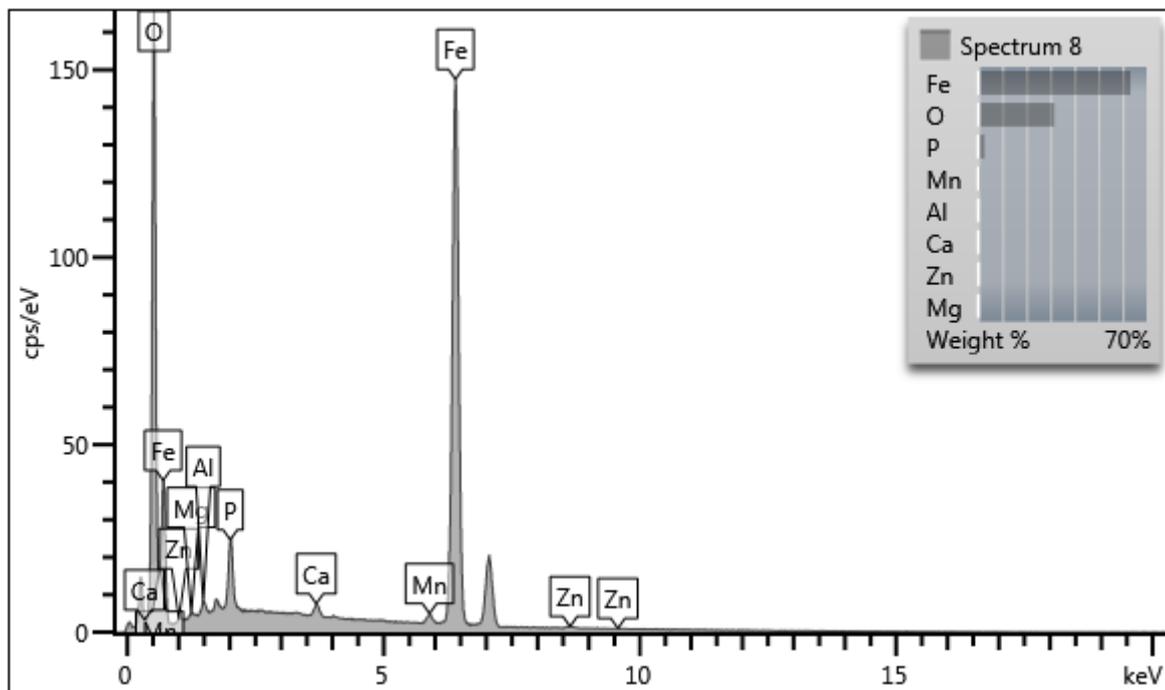
Espectograma da amostra SAH 137, *spectrum 1*, área 1



Espectograma da amostra SAH 137, *spectrum 6*, área 1

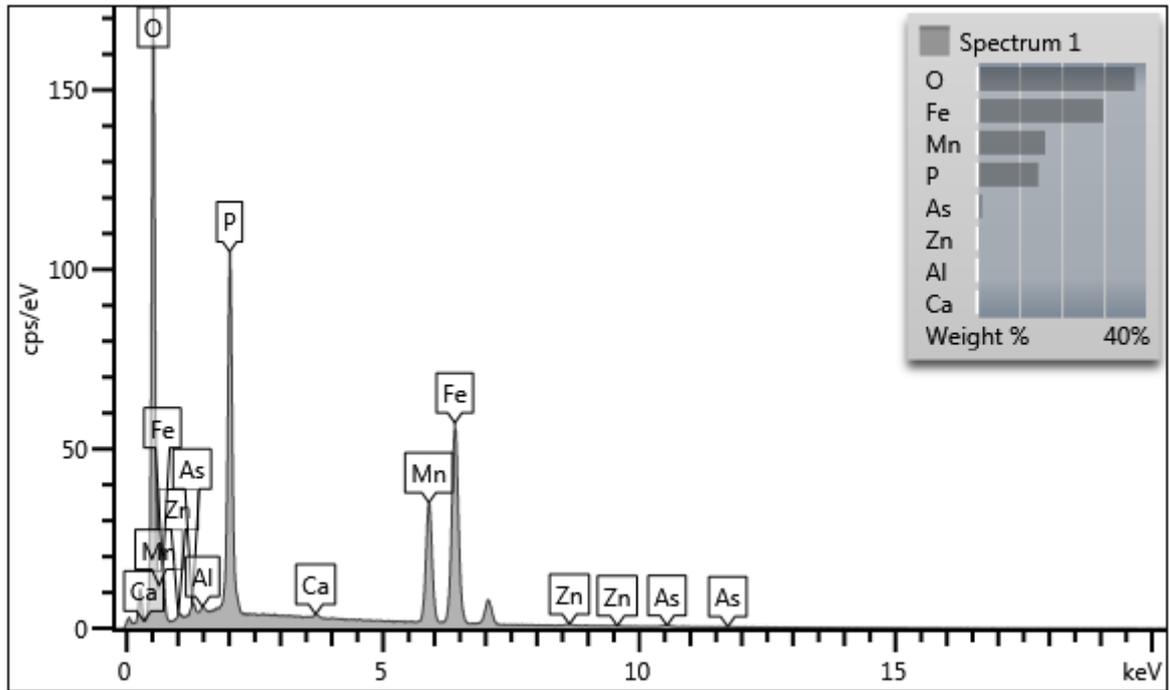


Espectograma da amostra SAH 137, *spectrum 7*, área 1

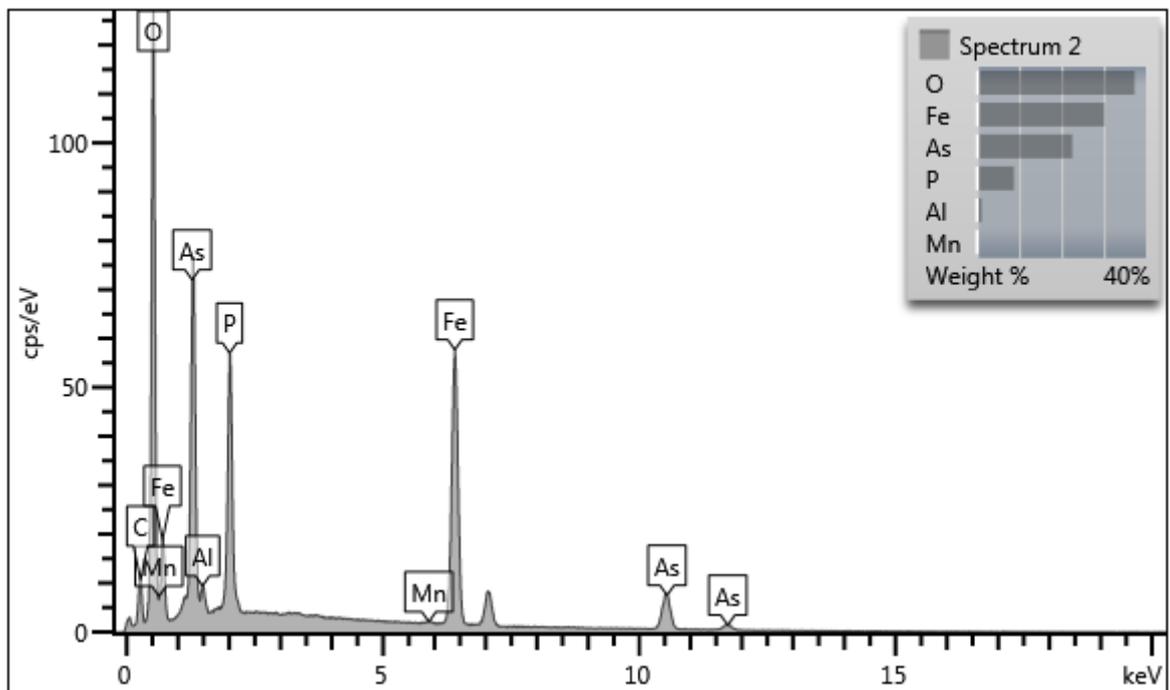


Espectograma da amostra SAH 137, *spectrum 8*, área 1

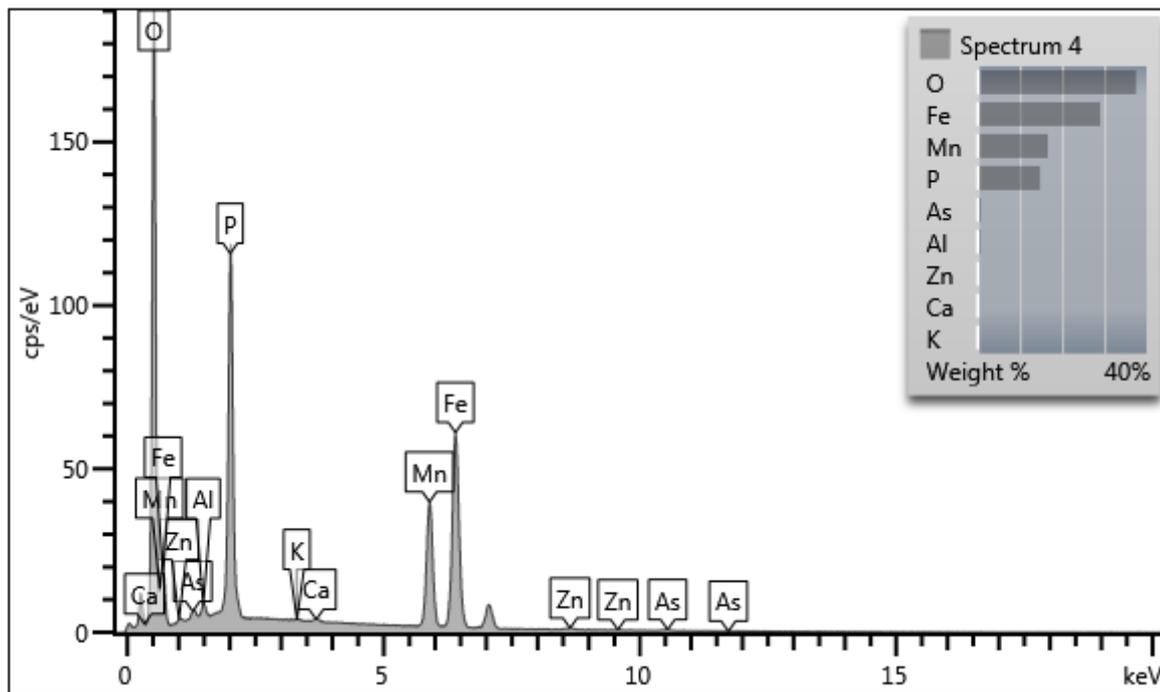
APÊNDICE D – Espectogramas das análises por EDS de SAH-142
(Uma única área analisada)



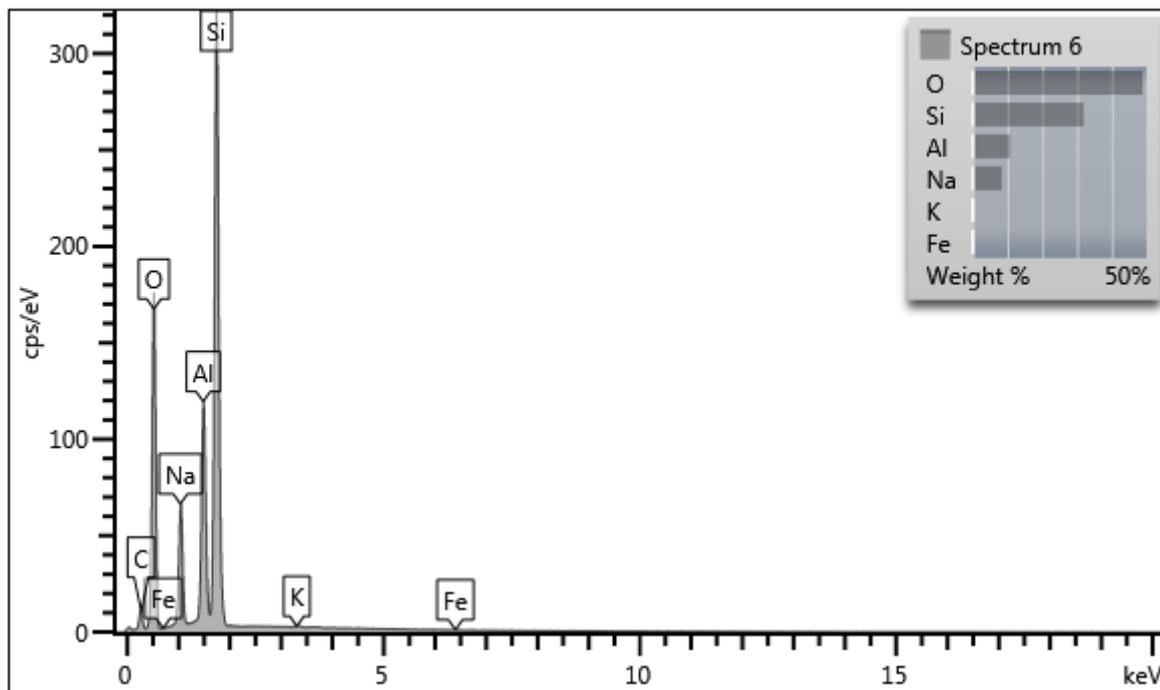
Espectograma da amostra SAH 142, *spectrum 1*



Espectograma da amostra SAH 142, *spectrum 2*



Espectograma da amostra SAH 142, *spectrum 4*



Espectograma da amostra SAH 142, *spectrum 16*