



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE MINERAÇÃO E GEOLOGIA  
MESTRADO EM ENGENHARIA DE MINAS**

**ALCIDES RAMOS DE BRITO**

**MINERALOGIA DO PEGMATITO ALTO SERRA BRANCA,  
PEDRA LAVRADA - PARAÍBA, ENFATIZANDO OS  
FOSFATOS E SUAS PARAGÊNESES**

**CAMPINA GRANDE/PB**

**2003**

**ALCIDES RAMOS DE BRITO**

**MINERALOGIA DO PEGMATITO ALTO SERRA BRANCA,  
PEDRA LAVRADA - PARAÍBA, ENFATIZANDO OS  
FOSFATOS E SUAS PARAGÊNESES**

Dissertação de Mestrado apresentado à  
Coordenação do Curso de Pós-Graduação  
em Engenharia de Minas da Universidade  
Federal de Campina Grande, como parte  
das exigências para obtenção do Grau de  
Mestre.

Área de Concentração: **GEOLOGIA DE MINAS**

Orientador: **Prof. Dr. REINHARD RICHARD WEGNER**

CAMPINA GRANDE/PB

2003

## ADMINISTRAÇÃO SUPERIOR



REITOR

Thompson Fernandes Mariz

VICE-REITOR

Fábio Freitas Pereira

PRÓ-REITORA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

João Batista Queiroz de Carvalho

COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO E CAPACITAÇÃO

Michel François Fossy

DIRETOR DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Benedito Guimarães Aguiar Neto

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE MINERAÇÃO E GEOLOGIA

José César de Albuquerque Costa

COORDENADOR DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
DE MINAS

Aarão de Andrade Lima

**B862m**

BRITO, Alcides Ramos de

Mineralogia do Pegmatito Alto Serra Branca, Pedra  
Lavrada - Paraíba, Enfatizando os Fosfatos e suas  
Paragêneses / Alcides Ramos de Brito – Campina  
Grande: UFCCG, 2003.

115 p. il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas).

U F C C G / C C T.

Inclui Bibliografia

1. Pegmatito granítico 2. Minerais fosfáticos  
3. Paragêneses

.I. Título

CDU:549

**ALCIDES RAMOS DE BRITO**

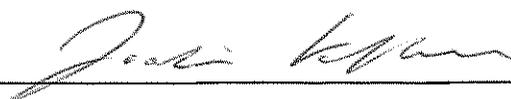
**Título: MINERALOGIA DO PEGMATITO ALTO SERRA BRANCA,  
PEDRA LAVRADA - PARAÍBA, ENFATIZANDO OS FOSFATOS E  
SUAS PARAGÊNESES.**

**Aprovado em 05 / Junho / 2003**

**COMISSÃO EXAMINADORA**



**Prof. Dr. Reinhard Richard Wegner  
Orientador**



**Prof. Dr. Joachim Karfunkel  
Examinador**



**Prof. Dr. Hans Dieter Max Schuster  
Examinador**

## Dedicatória

*À minha esposa*

*Aos meus filhos*

*Ao meu orientador,*

*Pela presença, dedicação, compreensão e estímulo  
em todas as etapas desta realização.*

## AGRADECIMENTOS

**A DEUS** nosso Criador por nos ter dado a saúde e a oportunidade de realizar este trabalho.

**Ao meu orientador, Professor Dr. Reinhard Richard Wegner**, que como um pai, sempre esteve presente, estimulando e orientando com paciência e dedicação, em todas as etapas desta dissertação.

**À Universidade Federal de Campina Grande**, pelo estímulo e confiança dados através da Diretoria do Centro de Ciências e Tecnologia e da chefia do Departamento de Mineração e Geologia.

**Ao Professor Dr. Aarão de Andrade Lima**, Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas / UFCG, pelo seu apoio, paciência, incentivo e idéias fundamentais para a realização deste trabalho.

**Ao Professor Dr. Herbert Pöllmann e sua equipe**, do Instituto de Mineralogia e Geoquímica da Universidade de Halle/Alemanha, pela execução gratuita das análises difratométricas; das análises químicas, análises geoquímicas, e espectroscopia Infra-Vermelho.

**Ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do PARÁ / Belém**, especialmente a Sra. Valmeire Alves Barbosa e ao Prof. Thomas Scheller, pela valiosa obtenção das análises difratométricas e das microfotografias dos minerais.

**Ao Dr. George Robinson** – da Universidade Tecnológica de Michigan/EUA, pela grande contribuição com execução de análises e informações adicionais.

**Aos Professores Dr. Joachim Karfunkel da UFMG e Dr. Hans Dieter Max Schuster**, pela valiosa participação na banca examinadora e suas significativas sugestões e correções que melhoraram expressivamente este trabalho.

**Aos Professores do mestrado** e aos demais colegas do Dep<sup>to</sup>. de Mineração e Geologia que contribuíram direto ou indiretamente para realização dessa Dissertação.

**A Ijanete de Andrade Ferreira**, secretária do C.G.N. e o Professor **Rostand Eulálio Travassos** pelas correções e sugestões dadas para a melhoria deste trabalho.

**A Maria do Carmelo M. Coutinho**, secretária da Coordenação do Mestrado, por sua amizade, compreensão e presteza em todos os momentos.

**Aos Colegas do Mestrado**, especialmente ao Professor Vandick Medeiros Ferreira, pelo apoio, amizade e coleguismo dedicados em todas as solicitações.

# SUMÁRIO

	Pag.
<b>Difratogramas</b>	
<b>Fotografias</b>	
<b>Figuras</b>	
<b>Tabelas</b>	
<b>Quadros</b>	
<b>Listas</b>	
<b>Resumo</b>	
<b>Abstrat</b>	
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 Justificativa e Objetivos	3
1.2 Metodologia	4
1.3 Localização e vias de acesso	5
1.4 Aspectos Fisiográficos	7
<b>2 GEOLOGIA REGIONAL DA PROVÍNCIA DA BORBOREMA</b>	<b>8</b>
<b>3 PEGMATITOS</b>	<b>13</b>
3.1 Pegmatitos Graníticos	14
3.2 Minerais principais	15
3.3 Minerais Acessórios	17
3.4 Formas e Mecanismos de Intrusão	19
3.5 Anotações sobre as possíveis classificações dos pegmatitos	20
3.6 Desenvolvimento interno dos Pegmatitos	21
3.7 Origem dos Pegmatitos	23
<b>4 GEOLOGIA E MINERALOGIA DO PEGMATITO ALTO SERRA BRANCA</b>	<b>25</b>
<b>5 MINERALOGIA FOSFÁTICA</b>	<b>30</b>
5.1 Generalidades sobre a mineralogia fosfática e ocorrências fosfáticas	30
5.2 Minerais Fosfáticos em Pegmatitos Graníticos	31
5.3 Problemas analíticos na identificação de minerais fosfáticos	33
<b>6 OS MINERAIS FOSFATOS DO ALTO SERRA BRANCA</b>	<b>39</b>
6.1 Fosfatos Primários	39

6.1.1	Série Isomórfica da Trifilita – litiofilita	39
6.1.2	Série Isomórfica da Triplita – Zwieselita	41
6.1.3	Série Isomórfica da Ambligonita – Montebrasita	43
6.1.4	Apatita de F, OH, Cl, CO <sub>3</sub>	44
6.1.5	Considerações sobre a possível seqüência da cristalização dos fosfatos primários	44
6.2	Minerais secundários oriundos da Trifilita – Litiofilita: Séries Isomórficas	45
6.2.1	Purpurita – Heterosita – Ferrisicklerita	46
6.2.2	Rockbridgeita – Frondelita	47
6.2.3	Childrenita - Eosforita (“Childro - eosforita”)	52
6.2.4	Mitridatita – Robertsita	52
6.3	Outros minerais em paragênese com a Trifilita – Litiofilita	53
6.3.1	Fosforossiderita -Strenguita e demais Fosfatos secundários	53
6.4	Minerais Fosfatos secundários oriundos da Triplita – Zwieselita	56
6.4.1	Séries isomórficas	57
6.4.2	Outros minerais encontrados em paragêneses com a Triplita – Zwieselita	57
<b>7</b>	<b>DESCRIÇÃO DAS DIFERENTES PARAGÊNESES</b>	<b>60</b>
7.1	Paragêneses oriundas da Trifilita – Litiofilita	60
7.2	Paragêneses oriundas da Triplita – Zwieselita	74
7.3	Lista das paragêneses descritas	84
7.3.1	Paragêneses oriundas da Trifilita – Litiofilita	84
7.3.2	Paragêneses oriundas da Triplita – Zwieselita	86
<b>8</b>	<b>DISCUSSÕES DOS PRINCIPAIS RESULTADOS</b>	<b>87</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>91</b>
<b>10</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>94</b>
<b>11</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>100</b>

## Difratogramas

Difratograma 1: Resultado de análise que não especifica a Purpurita ou a Ferrisicklerita.	35
Difratograma 2: Resultado de análises da possível Robertsita, deixando dúvidas da sua composição original	36
Difratograma 3: Resultado de análises, mostrando a semelhança entre a Mitridatita e a Robertsita.	37
Difratograma 4: Ampliação de parte do difratograma 3, mostrando a possibilidade de diferenciar a Mitridatita e a Robertsita.	38
Difratograma 5: Resultado de análise de uma amostra da série Rockbridgeíta-Frondelita, sugerindo a presença de Rockbridgeíta	49
Difratograma 6: Resultado de análise de uma amostra da série Rockbridgeíta-Frondelita, sugerindo a presença de Frondelita	50
Difratograma 7: Resultado de análise e Rockbridgeíta-Frondelita, mostrando a semelhança entre os dois diagramas.	51

## Fotografias

Foto 1: Linha de contato na galeria da entrada do pegmatito. A ondulação do contato X está marcado	28
Foto 2: Vista em direção leste da parte central do pegmatito, ao fundo O acesso principal e a casa de máquinas	28
Foto 3: Centro do pegmatito com bolsões de quartzo ( a ) e cristais de microclínio ( b ).	29
Foto 4: Bolsão de fosfato (50 cm de diâmetro) na divisa entre microclínio e quartzo.	29
Foto 5: Bolsão de fosfato (1 metro de diâmetro) entre microclínio e quartzo.	29
Foto 6: Agregado radial de 5 mm de comprimento de rockbridgeíta-frondelita (marrom)	48
Foto 7: Cristais perfeitos do novo mineral Serrabrancaíta (SEM – 100x)	54
Foto 8: Cristais perfeitos de Colquiriíta (imagem de SEM)	58
Foto 9: Cristais de Carlhintzeíta (maiores) com apatita hexagonal – SEM 100x.	58
Foto 10: Drusa com agregados globulares de mitridatita ("bolinhas" de 0,5 mm)	63
Foto 11: Agregados globulares de robertsita ( "bolinhas" de 0,5mm)	66
Foto 12: Cobertura terrosa de cor verde da Lipscombíta	67
Foto 13: Cristais azuis de fosforossiderita (cristais de 0,1mm)	68

Foto 14: Cristais marrons de Ernstita (5mm)	69
Foto 15: Grupo radial de cristais de Colquiriita (5mm), acompanhados por pequenos octaédros de Raistonita (0,5mm).	76
Foto 16: Imagem de SEM de um cristal corroído (octaédro) de raistonita.	77
Foto 17: Grupo de cristais de Colquiriita (branca e incolor, entre 0,1 e 0,2mm)	78
Foto 18: Cristais de Zwieselita secundária (marrom-amarelada, 0,3 – 0,5mm)	79
Foto 19: Grupo radial (branca até incolor) de cristais de Pacnolita (0,2mm)	81
Foto 20: Cristais de strenguita (vermelha) e agregados de criptomelano (preto)	82
Foto 21 Agregados de cristais de Strunzita em forma de “bucha”	84

## Figuras

Figura 1: Mapa de localização da área.	6
Figura 2: Localização da Província Pegmatítica da Borborema	8
Figura 3: Pegmatito Homogêneo	21
Figura 4: Pegmatito Heterogêneo	21

## Tabelas

Tab. 1: Variação de conteúdos de Fe e Mn em três amostras de trifilita-litiofilita	40.
Tab. 2: Resultados de análises das três diferentes amostras de triplita-zwieselita referentes aos seus conteúdos em Fe e Mn.	42

## Quadros

Quadro 1: Comparativo entre alguns dos modelos estratigráficos propostos para a região do Seridó, segundo.	11
Quadro 2: Nova Subdivisão do Grupo Seridó.	12

## Listas

Lista 1 : Lista completa dos minerais em paragênese com a trifilita-litiofilita.	55
Lista 2: Minerais encontrados junto com a triplita-zwieselita (em ordem alfabética).	59

## Resumo

O pegmatito granítico Alto Serra Branca possui uma mineralização fosfática que desenvolveu muitos minerais secundários. Na mineralogia dos fosfatos, com suas peculiaridades e suas dificuldades de identificação, é abordada e discutida a necessidade do envolvimento de vários equipamentos analíticos, bem como, problemas referentes à denominação exata dos minerais que fazem séries isomórficas. O principal destaque são as duas séries isomórficas dos fosfatos primários: trifilita-litiofilita e triplita-zwieselita. No centro desse estudo encontra-se a descrição completa de diferentes paragêneses de minerais, subdividida em dois grupos: os oriundos da série trifilita-litiofilita e os que se desenvolveram da série triplita-zwieselita. Foi constatado que os minerais secundários oriundos da triplita-zwieselita desse pegmatito são bastante diversificados, ao contrário dos demais pegmatitos graníticos. Foi descoberto um novo mineral, a serrabrancaíta, como também, dois minerais: a colquiriita e a carlhintzeíta, pela segunda vez, representando os melhores cristais existentes dessas espécies e uma paragênese inédita de minerais fluoretos. O mineral triplita-zwieselita ocorre em três diferentes modificações (aparências), fato que é alvo para mais estudos. Lapidada em forma de cabochão, mostra excelente efeito olho-de-gato, e pertence a uma espécie gemológica até então não descrita na literatura. Uma breve discussão do processo, que causou a transformação dos fosfatos primários em minerais secundários encerra o presente trabalho.

**Palavras-chave:** pegmatito granítico, minerais fosfáticos, paragêneses

## Abstract

The Alto Serra Branca granite pegmatite, contains several primary phosphate minerals with a large number of secondary minerals. A brief review of the regional geology, including recent changes in the subdivision of the Upper Proterozoic is followed by a discussion of several general features concerning granite pegmatites. A short description of the geology and mineralogy of Alto Serra Branca granite pegmatite is given, emphasizing two iso-structural series of primary phosphates: Triphylite-Lithiophilite and Triplite-Zwieselite. Phosphate minerals and the specific problems of their identification are reported, as well as analytical techniques involved and the difficulties of the correct denomination of those which form series. Analyses of the two primary phosphates are reported which show, that their composition is intermediate. Principal attention is given to detailed descriptions of a large number of different paragenesis, subdivided into two groups: those, which derived from the Triphylite-Lithiophilite series and the others from the Triplite-Zwieselite series. Contrary to other phosphate bearing pegmatites, Alto Serra Branca developed a large number of secondary minerals, which originate from Triplite-Zwieselite. Among the results is the discovery of the new mineral Serrabrancaite. Two other minerals, Colquiriite and Carlhintzeite, are found for the second time worldwide, with the best crystals ever observed, along with a unique paragenesis of eight different fluorites. Triplite-Zwieselite has three different appearances, a fact, which is little understood. The primary phosphate Triplite-Zwieselite, when cut as cabochon, shows a distinct cat's-eye effect, which represents a new gemstone. A brief discussion of the probable geochemical process which might have been responsible for the development of the secondary minerals is added.

**Keywords:** granite pegmatite, phosphate minerals, paragenesis.

## 1. INTRODUÇÃO

O pegmatito granítico denominado "Alto Serra Branca" que é conhecido a mais de oitenta anos, já foi descrito em diversos trabalhos, como: ALMEIDA *et al.*, 1943, ALMEIDA 1946, HEINRICH, 1951, (RAMDOHR, 1967 e MOORE, 1973, ambos citados como ocorrência de arrojadita) entre outros, embora não tendo sido estudado detalhadamente, foi o motivo para a realização dessa pesquisa.

Em 1989, um garimpeiro da região de Pedra Lavrada/PB chamou atenção do Prof. Reinhard Wegner, do Departamento de Mineração e Geologia da UFCG para uma ocorrência de fosfatos, oriundos de um pegmatito naquele Município e levando o referido professor ao local onde foram encontrados esses fosfatos. Mesmo com dificuldade para identificá-los, o Prof. Wegner constatou a presença de dois diferentes fosfatos primários, conhecidos como trifilita e triplita, além de observar a presença de vários minerais fosfáticos secundários. Naquela havia um pegmatito com muito quartzo no seu núcleo, que era explorado e moído pela microempresa do Sr. Edinho. Paralelamente, o moinho era usado para moer granada de granulção fina, como também para aumentar a produtividade do mesmo. Os fosfatos também eram moídos e misturados com a granada que seriam vendidos como matéria-prima para produtos abrasíveis. Preocupado com o alto valor científico desses fosfatos e com sua intensa degradação, o Prof. Wegner fez acordo com o Sr. Edinho e com o dono do local onde se encontra o pegmatito dos mesmos, o chamado Alto Serra Branca, que adquiriu e estocou cerca de 50 toneladas desse material para a comunidade científica estudá-los detalhadamente. Além da aquisição do material, enorme quantidade de amostras foi coletada no próprio pegmatito e estudada no decorrer dos últimos 12 anos.

No estudo da geologia regional pode-se observar a mineralização e as características relacionadas aos ciclos de formação desta província, com descrições dos seus modelos estratigráficos e os tipos de formações como também o desenvolvimento dos pegmatitos, comentar seus tipos e suas mineralizações, especialmente dos minerais fosfáticos que apresentam casos interessantes, como exemplo a presença de fosfatos primários de Li e F no mesmo composto, onde há vários minerais secundários como também a ocorrência de minerais raros com formações de séries isomórficas e paragêneses.

As primeiras amostras estudadas e selecionadas através de binocular no laboratório do Centro Gemológico do Nordeste, foram levadas pelo Prof. Wegner, ao Museu Nacional do Canadá, Divisão de Mineralogia em Ottawa e analisadas com a participação dos mineralogistas Dr. George W. Robinson e Dr. Jerry v. Velthuisen. O primeiro resultado surpreendente foi a descoberta de cristais do mineral fluorético Colquiriita, que contém os únicos cristais perfeitos existentes desta espécie, encontrado no mundo pela segunda vez.

Hoje, o principal colaborador das pesquisas sobre os minerais do Alto Serra Branca é o Instituto de Mineralogia e Geoquímica da Universidade de Halle/Alemanha, na pessoa do seu diretor, o Prof. Dr. Herbert Pöllmann e sua equipe. Esse instituto possui muitos equipamentos de última geração que permitem a execução das análises necessárias.

Alguns resultados já foram publicados: WEGNER *et al.* (1998a), WEGNER *et al.* (1998b), WEGNER *et al.* (1998c), PÖLLMANN *et al.* (2000), (WITZKE *et al.*, 2000), WEGNER & LUCIO ALVES, (2001) e WEGNER *et al.* (2002). O destaque é o novo mineral fosfático que através da sua ocorrência foi denominado Serrabrancaíta. Muitos minerais raros e paragêneses inéditas já foram encontrados, com grande perspectiva de proporcionar mais resultados surpreendentes no futuro.

## 1.1 Justificativas e Objetivos

Até hoje, o pegmatito de Hagendorf-Süd na Alemanha, foi o que apresentou maior variação de fosfatos secundários, tendo encerrado suas atividades em Março do ano 1984 (KASTNING & SCHLÜTER, 1994:1) existindo apenas pequenos estoques desse mineral com alguns colecionadores (e.g. Erich Keck, Jürgen Kastning, Göde Stümpel, todos alemães - comunicação verbal do Prof. R. Wegner) que podem fornecer algumas amostras ainda não estudadas. O pegmatito Alto Serra Branca, ao contrário, ainda está em mineração, com muitos rejeitos e alguns estoques de fosfatos disponíveis. Os estudos sobre os fosfatos desse pegmatito estão em plenas atividades, com várias instituições envolvidas:

Departamento de Mineração e Geologia/UFCG

Instituto de Mineralogia e Geoquímica da Universidade de Halle/Alemanha

Instituto de Mineralogia da Universidade de Zagreb/Croácia

Universidade Tecnológica de Michigan/EUA

Instituto de Geociências da UFPA/Belém, entre outras interessadas.

A presente Dissertação visa contribuir para o conhecimento dos minerais fosfáticos do pegmatito Alto Serra Branca, tendo como alvo principal juntar todos os resultados até agora obtidos, apresentar os novos, interpreta-los em termos mineralógicos e geoquímicos e compara-los com outros pegmatitos.

Pesquisar sobre as causas da transformação de minerais fosfáticos primários em minerais secundários por atividade hidrotermal ou por intemperismo

Analizar amostras que apresentam maior número de diferentes espécies (chegando até mais de dez) em espaços reduzidos que dificultam um estudo mais detalhado pelos minúsculos tamanhos dos cristais.

Acompanhar as mobilizações dos elementos e suas refixações em novos minerais, seguindo a migração dos indivíduos e estimando os possíveis impactos ambientais, principalmente após sua retirada do pegmatito.

## 1.2 Metodologia

A metodologia usada no desenvolvimento dessa dissertação está subdividida em duas fases:

- a) fase do trabalho no campo.
- b) fase de laboratório

Na primeira fase foram realizados estudos bibliográficos da Geologia da região e da Geoquímica dos pegmatitos graníticos, como também, observações geológicas no local e informações dos Mapas Geológicos da Paraíba, escala 1: 500.000, (2002); e da folha SB.24-Z-B-VI, elaborada pela SUDENE, 1972, bem como suas particularidades geológicas, sua mineralização geral e sua mineralogia específica.

Na segunda fase, na sede do Centro Gemológico do Nordeste, os blocos fosfáticos coletados foram quebrados, abrindo desta forma, minúsculos planos existentes dentro dos mesmos, onde se desenvolveram cristais de minerais secundários. Este trabalho foi executado com muito cuidado para evitar que esses cristais, geralmente bem inferior à um milímetro, sofressem danificações ou fossem destruídos. Depois da separação das amostras selecionadas, estas foram submetidas a observações através de binocular, para escolher aquelas de interesse científico. Em seguida, os minerais não identificados foram separados através de estilete, agulha ou pincete extremamente finos com a finalidade de isolá-los e prepará-los para serem levados ou encaminhados às instituições colaboradoras para as análises específicas.

- Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará / Belém para executar análises difratométricas.

Instituto de Mineralogia e Geoquímica da Universidade de Halle /Alemanha, para execução de mais análises difratométricas, de análises químicas através de SEM (Scanning Electron Microscope) de análises geoquímicas, usando ICP-MS (Induced Coupled Plasma Multi Spectral) e Spectroscopia Infra-Vermelha.

Especificamente, nessa instituição, foram usados os seguintes equipamentos:

- Siemens X-Ray Diffractometer / 40 KV – 30 mA para análises difratométricas convencionais.
- 
- GADDS – Global Area Detection Diffraction System (“Micro-Difratômetro”) com D 8 Discover da empresa Bruker AXS Analytical X-Ray-Systems GmbH para microanálises de coberturas finas e cristais particulares sem serem destruídos, técnica considerada revolucionária.
- 
- Philips X’Pert PW 3040/60 / 45KV – 40nA com Philips X’Celerator (Detector) para análises difratométricas rápidas e mais sensíveis. O Philips X’Pert é de última geração que permite análises difratométricas de extrema precisão, com sensibilidade em torno de 10 vezes maior do que os aparelhos difratométricos tradicionais. Utilizando-se o portador de amostra de silício, poderão ser analisadas amostras em pequena quantidade (em torno de menos de 0,5mg)
- 
- Jeol JSM 6300 SEM – Scanning Electron Microscope, 20KV e  $10^{-6}$ Å Current Beam usado para análises químicas qualitativas e semi-quantitativas, indispensáveis para muitas análises de minerais fosfáticos que formam séries isomórficas, cujos difratogramas não identificam o membro da referida série.

### 1.3 Localização e Vias de Acesso

A área em estudo está localizada no Sítio Flechas, no município de Pedra Lavrada, a 105 Km a Noroeste de Campina Grande/PB, na parte Centro/Norte do Estado da Paraíba, delimitada pelas coordenadas geográficas a S 6° 50’ 483 e W 36° 27’ 222, tomadas por receptor de GPS. O acesso ao local, partindo da cidade de Campina Grande, pela BR 230, sentido oeste, até a sede

do município de Soledade, chegando à saída da cidade, segue-se rumo ao norte na rodovia intermunicipal - PB 177, em direção aos municípios de Pedra Lavrada e Picuí. A cinco Km para a sede do município de Pedra Lavrada, toma-se uma estrada carroçável rumo Sudoeste, a uma distância de 10 Km, chega-se ao pegmatito dos fosfatos em estudo. (Fig. 1).

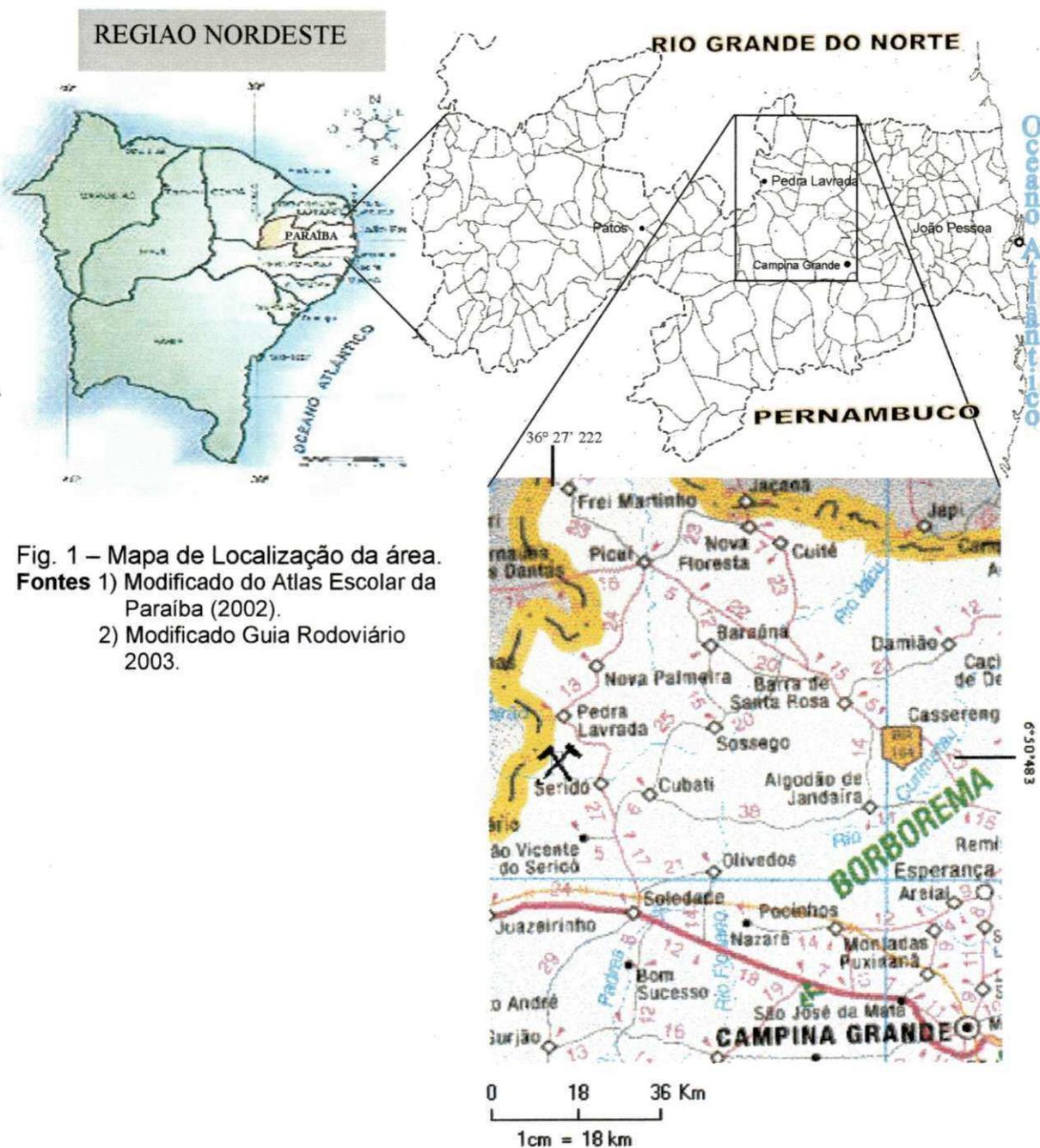


Fig. 1 – Mapa de Localização da área.

Fontes 1) Modificado do Atlas Escolar da Paraíba (2002).

2) Modificado Guia Rodoviário 2003.

## 1.5 Aspectos Fisiográficos

A área em estudo situa-se na mesoregião da Borborema central, na microregião do Seridó oriental paraibano. Seu relevo do pré-cambriano superior, na maior parte não muito elevado, com altitude média de 516 metros acima do nível do mar (PIRES, 1998). Variação altimétrica mínima de 400m e máxima de 800m nas poucas áreas de extremas elevações (Atlas Escolar da Paraíba, 2000).

Climatologicamente, a região é megatérmica e semi-árida, enquadrando-se no tipo 'BSh' de Gaussen. Apresenta temperaturas bastante elevadas, principalmente nos longos períodos de secas, com temperatura média anual de 26°C e a umidade relativa do ar não ultrapassa os 75%. No período chuvoso, as precipitações pluviométricas são muito baixas e mal distribuídas ao longo do ano, provocando o fenômeno das secas, dificultando o desenvolvimento da pecuária e da cultura de subsistência e, conseqüentemente, caracterizando a paisagem local e causando os movimentos migratórios dos habitantes da região.

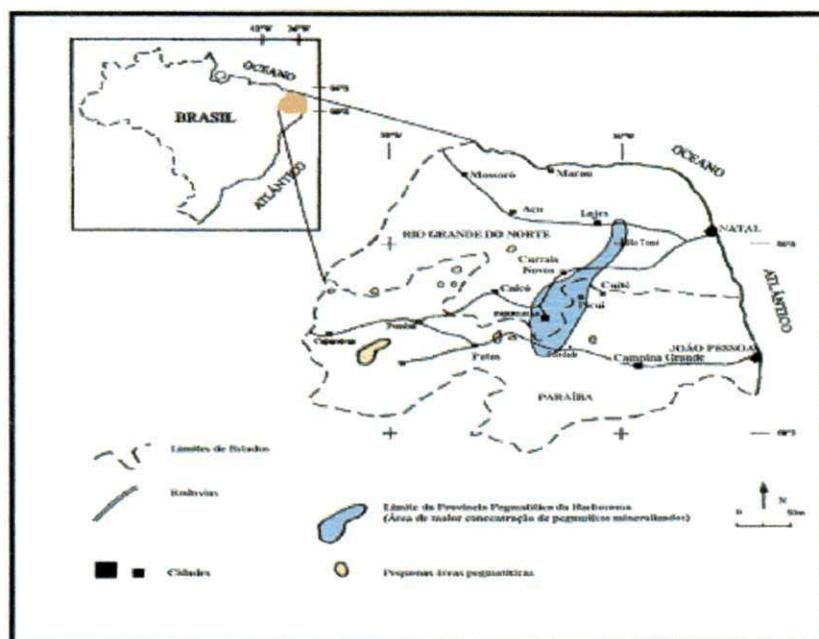
Segundo Pires, (1998), a flora local apresenta-se com características da caatinga hiperxerófila arbustiva com porte variando de 1 a 2 metros, aberta ou formando moitas com predominância de pereiro, catingueira e pinhão intercalados por substrato gramíneo ralo. Destacam-se também árvores características da área, como: imburana, imbuzeiro, angico, baraúna, quixabeira, palmatória, macambira, xiquexique, caroá entre outros. No reino animal, destacam-se poucos exemplares de tatus, gatos maracajás, além de pequenos pássaros tais como: rolinha, nambu, galo de campina, gavião, azulão, conchiz, papa-capim, carcará, entre outros.

Sua bacia hidrográfica é formada principalmente pelo Rio Seridó e pelos riachos Tamanduá, Caldeirão e dos Ovos que se integram à bacia do Rio Piranhas. (Atlas Escolar da Paraíba, 2000).

## 2. GEOLOGIA REGIONAL DA PROVÍNCIA DA BORBOREMA

O Pegmatito Alto Serra Branca faz parte de uma acumulação de pegmatitos graníticos, cuja concentração principal encontra-se dentro de um retângulo, grosseiramente compreendido pelas cidades de Soledade, Patos, Currais Novos e São Tomé, nos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte. Este retângulo faz parte de uma província estrutural, chamada Província da Borborema. (Fig 2).

**Figura 2** – Localização da Província Pegmatítica da Borborema –(Modificado de SOARES 2003).



São muitas as contribuições sobre a geologia desta província. Revisões a seu respeito encontram-se em SANTOS e BRITO NEVES (1984), SANTOS *et al.* (1984) e JARDIM DE SÁ (1994). Recentemente, BRITO NEVES *et al.* (2000) apresentou os resultados mais atuais sobre a estratigrafia, tectônica e os principais eventos orogenéticos desta província.

Segundo BRITO NEVES *et al.* (2000), a província estrutural da Borborema situa-se entre o cráton do São Francisco, no sul e do São Luiz, ao norte, cobrindo uma área de aproximadamente 450.000 km<sup>2</sup>.

A Borborema é uma das dez províncias estruturais brasileiras, estabelecidas por ALMEIDA *et al.* (1977). Segundo ele, a mesma está coincidindo com a Região de Dobramentos Nordeste, desenvolvida no decorrer do Ciclo Brasileiro (p. 382):

“A região de dobramentos brasileiros apresenta-se com uma organização complexa, em mosaico, abrangendo sistemas de dobramentos lineares separados entre si por altos de embasamento, relacionados ou não com falhas”.

A geomorfologia da região tem como elemento principal peneplanos cenozóicos, interrompidos por inúmeras erosões, descobrindo o baseamento proterozóico. Segundo ALMEIDA *et al.*, (1977), as principais estruturas tectônicas foram elaboradas durante o Ciclo Brasileiro. Já BRITO NEVES *et al.*, (2000, p 176) afirmam que dos três diferentes eventos orogênicos/tectônicos, o Ciclo Brasileiro foi o único que contribuiu significativamente no desenvolvimento estratigráfico, tectônico e orogênico da província estrutural da Borborema.

Na base de dados cronológicos de zircões, a história tectônica da Borborema começou com a formação do embasamento (Complexo Caicó) durante o ciclo transamazônico, com sua principal atividade entre 2,23 – 2,15 Ga (HACKSPACHER *et al.*, 1990).

No início do neoproterozóico, surge outro ciclo tectônico, o chamado Cariris Velhos Orogênio, que atingiu a província com duração estimada de 1,1 – 0,95 Ga. A última fase orogênica, do ciclo Brasileiro (640 – 580 Ma) marcou o fim do proterozóico. Durante o cambriano, com atividades pós-Brasileiro, todos os principais domínios ganharam sua principal configuração e não foram mais afetados profundamente nem sofreram maiores alterações durante o percorrer do resto do fanerozóico (BRITO NEVES *et al.*, 2000: 152).

“It is now possible to see that collectively, these two older tectonic cycles (Transamazônico e cariris Velhos) were much more important

in terms of crustal formations throughout the province than at the Brasiliano Orogeny.

O desenvolvimento dos pegmatitos graníticos na área da Borborema desenvolveu-se durante o orogeno do Ciclo Brasiliano. Eles intrudiram dentro de rochas do Grupo Seridó. Este grupo é situado discordantemente acima do basamento do Grupo Caicó, o último, provavelmente, originado do Cariris Velhos Orogeno e do Ciclo Transamazônico, composto de rochas de gnaisses diversos, metarcózios, paranfibolitos e xistos, parcial ou totalmente transformados em migmatitos (DANTAS, 1974). Acima deste basamento do complexo Caicó, separado por uma discordância, desenvolveram três formações no Grupo Seridó: Formações Jucurutu, Equador e Seridó, (que sofreram dobramento na faixa do Seridó). (Quadro 1)

A **Formação Jucurutu** é composta principalmente de paragnaisses anfibolitos, mármore, quartzitos, calciossilicáticas e formações ferríferas (JARDIM DE SÁ, 1984).

A **Formação Equador** é constituída principalmente por quartzitos, metaconglomerados e poucos mármore.

A **Formação Seridó** é composta por biotita-xisto, quartzitos, mármore, anfibolitos e calciossilicáticas subordinadas, sendo o biotita-xisto a rocha mais importante desta formação. (SOARES, 1998, BRITO NEVES *et al.*, 2000).

Uma comparação das diversas opiniões sobre as extensões e suas possíveis subdivisões das formações do Grupo Seridó encontra-se em FERREIRA (1998). Recentemente, o Mapa Geológico da Paraíba, apresentado durante o Congresso Nacional da Sociedade Brasileira de Geologia – SBG – no ano 2002 em João Pessoa, está subdividindo o Grupo Seridó em quatro diferentes unidades litoestratigráficas: Equador, Serra dos Quintos, Jucurutu e Seridó. (Quadro. 2).

**QUADRO 1 – COMPARATIVO ENTRE ALGUNS DOS MODELOS ESTRATIGRÁFICOS PROPOSTOS PARA A REGIÃO DO SERIDÓ**

EBERT (1969/70)	FERREIRA & ALBUQUERQUE (1969)/DANTAS (1974)	TORRES et al. (1973)/SANTOS (1974)	BRITO NEVES et al. (1975)	JARDIM DE SA (1978/84) JARDIM DE SÁ & SALIM (1980)	LIMA et. al (1980)	HACKSPACHER & SÁ (1984)/ HACKSPACHER et al. (1986)	ARCHANJO & SALIM (1986)
Seridó	Seridó	Seridó	Seridó	Seridó	Seridó	Seridó	Seridó
Qzt. S.J.Seridó		Qzt. S.J.Seridó	Qzt. S.J.Seridó				
Florânia			Florânia				
Quixaba	Jucurutu	Jucurutu	Quixaba	Equador	Jucurutu	Jucurutu	Equador
Parelhas			Parelhas				
Equador	Equador	Qtz. Equador	Equador	Jucurutu	Equador	Parelhas	Jucurutu
—	—	—	—	—	—	—	—
São Vicente	Caicó	Caicó	Caicó	Caicó	Caicó	Caicó	Complexo de
	Pré-Caicó		São Vicente			São Vicente	de Embasamento

Fonte: FILHO, 2000

	<b>Unidade litoestratigráfica</b>	<b>Litologia</b>
<b>Ns/Nsi</b>	Formação Seridó	Granada-biotita xisto, calcário cristalino, quartzito e rocha calcissilicática
<b>Nj</b>	Formação Jucurutu	Biotita-hornblenda, gnaiss, biotita gnaiss, epidoto-gnaiss calcissilicático, muscovita quartzito (qt), calcário cristalino (cc), rocha calcissilicática e formação ferrífera
<b>Nsq</b>	Formação Serra dos Quintos	Biotita gnaiss, biotita e/ou hornblenda xisto, gnaiss quartzo-feldspático, muscovita-biotita gnaiss, com intercalações de calcário cristalino, quartzo, quartzito ferruginoso, itabirito, anfibólitos e rochas ortoderivadas
<b>Ne</b>	Formação Equador	Muscovita quartzito e metaconglomerado

Quadro 2 – Nova subdivisão do grupo Seridó  
Fonte: SANTOS, 2002.

Durante o Ciclo Brasileiro, o Grupo Seridó foi atingido por eventos tectônicos / dobramento, formando a faixa de dobramento Seridó. Posteriormente, os pegmatitos intrudiram nas Formações Equador e Seridó

Adicionalmente, a formação de plútons, na sua maioria de composição granítica, faz parte das rochas relacionadas ao Ciclo Brasileiro. (SIAL, 1986 e 1987) está estimando que eles contribuem com aproximadamente 30% das rochas aflorantes na Província da Borborema. Sua formação está relacionada ao metamorfismo do mais alto grau em sua maioria migmatitos.

### 3. PEGMATITOS

Pegmatitos, cujo nome deriva-se da combinação da língua romana e grega: os crescimentos gigantescos, através da sua composição, podem ser subdivididos em três grupos principais, tendo em vista, que cada rocha plutônica pode ser desenvolvida em forma de pegmatito (diorito-pegmatito ou pegmatito diorítico, gabro-pegmatito ou pegmatito gabroídico, peridotito-pegmatito ou pegmatito peridotítico)

Pegmatitos de composição granítica (pegmatitos graníticos)

Pegmatitos sienito-nefelínicos (ou pegmatitos agpaíticos) Plumasitos.

**Pegmatitos graníticos:** A maioria dos pegmatitos graníticos tem composição semelhante aos granitos, com quartzo, feldspatos e micas como minerais principais. Eles são encontrados em muitos estados brasileiros, com maior frequência em Minas Gerais, Bahia, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. Os pegmatitos graníticos no Brasil são tão comuns, que em muitos casos, indevidamente, são chamados somente de pegmatitos, desta forma, desconsiderando os outros dois tipos.

**Pegmatitos agpaíticos:** as rochas agpaíticas em geral são caracterizadas por composições com déficit em  $\text{SiO}_2$ , acompanhadas por outro déficit em  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , referente à formação dos feldspatos e o conteúdo elevado em elementos alcalínicos. (WIMMENAUER, 1985:124). Minerais característicos para este tipo de rochas, além de albita e microclínio, são: nefelina, sodalita, hackmanita, natrolita, ussinguita, cancrinita, egirina, arfvedsonita, eudialita, entre outros (WIMMENAUER, 1985: 170). Os pegmatitos desta

---

composição são menos frequentes e acompanham rochas alcalínicas básicas (nefelínicas). Exemplos famosos de pegmatitos agpaíticos são Mt. St. Hilaire/Canadá e Lovozero na Península de Kola/Rússia. No Brasil, encontram-se pegmatitos deste tipo no complexo de Jacupiranga/SP.

**Plumasitos:** é o tipo mais raro dos pegmatitos, caracterizados pela ausência de quartzo e a presença de coríndon. Sua formação é causada por migração de Si e álcali em rochas ultrabásicas WIMMENAUER, (1985, p.168). SCHNEIDERHÖHN (1961, p. 81) reporta um exemplo de plumasito da ilha Seiland/Noruega. Sua composição consiste de 90% de oligoclásio e 10% de muscovita. O referido autor ainda está definindo outro tipo de pegmatito, o "Candit-Ringit-Pegmatito" (p.81) cuja composição é agpaítica, e por isso, hoje é incorporado naquele grupo.

Os pegmatitos têm grande importância econômica pela concentração dos elementos Li, Be, B, Nb, Ta, E.T.R. e Sn (pegmatitos graníticos) e Zr, Ti, Y (pegmatitos agpaíticos) além de concentrações elevadas em P, U, Th e muitas gemas que são encontradas em pegmatitos graníticos de diversos continentes. Suas características gerais são os contatos bruscos com as rochas encaixantes, o crescimento significativo no seu interior e o desenvolvimento perpendicular ao contato. Sua intrusão pode ser concordante ou discordante.

O pegmatito **Alto Serra Branca**, alvo deste estudo, pertence ao grupo dos pegmatitos graníticos, que são muito frequentes na região da Borborema (Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte).

### 3.1. Pegmatitos Graníticos

Como foram abordados anteriormente, os pegmatitos graníticos são aqueles que geralmente têm composição igual aos granitos: quartzo, feldspato e mica.

### 3.2. Minerais Principais

Normalmente o feldspato potássico predomina na sua modificação para microclínio. A presença de ortoclásio é considerada como indicadora de temperaturas elevadas na sua formação, depois se transforma em microclínio, resultando em paramorfos de microclínio transformando-se em ortoclásio.

Usando-se lâminas delgadas, microscopicamente o **microclínio** é facilmente identificado por se desenvolver de forma bigeminada: a geminação através da lei da albita cruza-se perpendicularmente com a da lei do periclínio, causando uma característica de rede em forma de xadrez (ilustração de um microclínio em lâmina delgada em WIMMENAUER, 1985, p. 8). Cristais de microclínio podem chegar a gigantescas dimensões: WIMMENAUER (1985) reporta um único cristal de 49 x 36 x 14 m do pegmatito Devils Hole, Colorado/EUA. Alguns microclínios podem ser desenvolvidos em forma de amazonita, é o microclínio verde a esverdeado cuja coloração para alguns autores é provocada por um pequeno conteúdo do elemento chumbo. WEGNER (1983) analisando enorme quantidade de diferentes microclínios de vários pegmatitos de Minas Gerais, não encontrou uma relação entre a entrada de chumbo e a coloração dos microclínios e WEDEPHOL (1956) reporta microclínios com alto conteúdo de chumbo, mas de cor branca; conseqüentemente, a cor da amazonita tem outra causa; com possibilidade de pequenas alterações no microclínio, provocando centro de cores no seu interior e resultando a coloração verde-esverdeada (comunicação verbal R. WEGNER).

Geralmente, a **albita** é encontrada na minoria dos pegmatitos graníticos por outro lado até ausente, em definidos pegmatitos deste tipo, pode predominar ou até ser o único feldspato presente. Existem três diferentes tipos de albitas: albita compacta que se encontra até em grandes cristais, albita foliada (cleavelandita) e albita granular (albita "açúcar"). Cleavelandita e albita granular são consideradas produtos de metassomatismo, em outras palavras, produtos de substituição do microclínio por albita. Corpos de substituições deste tipo têm

grande importância em pegmatitos graníticos porque demonstram processos de diferenciação interna e podem ser acompanhados por elementos como Li, Be, B e outros, formando minerais valiosos, inclusive gemas.

A **Mica**, nos pegmatitos graníticos é identificada por três principais representantes: muscovita, biotita e lepidolita.

**Muscovita**, na sua principal modificação M1, é a mica mais freqüente nos pegmatitos graníticos. Seu tamanho é bastante variável, depende da sua posição e do seu desenvolvimento no pegmatito. Placas de 20 até 50 cm na parte interna dos pegmatitos são as mais comuns, mas podem alcançar alguns metros de diâmetro. Também ocorre em agregados junto ao quartzo nos centros de alguns pegmatitos, onde as placas de muscovita caracterizam-se por se apresentarem medindo entre 2 e 5 cm. de diâmetro.

**Biotita**: é importante salientar, que a biotita não é uma espécie mineral definida, mas sim, uma designação geral para uma mica não especificada que não contém lítio. É uma designação tipo "campo" ou termo petrográfico geral. Segundo a nomenclatura da IMA (International Mineralogical Association) este é o nome para micas trioctédricas de composição igual ou próximo das séries annita-flogopita e siderofilita-eastonita. Sua cor é escura até preta, é menos frequente do que muscovita e é ausente em muitos pegmatitos. Caracteristicamente, ocorre nas partes mais externas dos pegmatitos. Quando crescida perpendicular ao contato do pegmatito com sua rocha encaixante, pode se transformar em muscovita em direção ao centro do corpo. Observa-se em alguns pegmatitos, nas partes externas, características de placas alongadas e estreitas cujo comprimento pode atingir mais de um metro, com espessura inferior a 10 cm. É raro encontrar Biotita no centro dos pegmatitos graníticos.

**Lepidolita** (de cor rósea até lilás) é muscovita com conteúdo significativo do elemento lítio, geralmente de formação tardia e acompanha freqüentemente substituições de microclínio por albita, muitas vezes junto com outros minerais e até gemas. Grande quantidade de cristais de lepidolita foi observada no pegmatito Urubu, que fica ao norte de Araçuaí, Minas Gerais, que

também se encontra em muitos pegmatitos da Borborema (São José da Batalha, Baixo dos Quintos, Boqueirão, entre muitos outros).

### 3.3. Minerais Acessórios

Além da composição principal dos pegmatitos graníticos, outros minerais são freqüentes e facilmente encontrados neste tipo de rocha ígnea, como: berilo, afrisita, (turmalina preta) granada, columbita-tantalita. Todos esses minerais são considerados comuns e ocorrem em quantidades bastante diversificadas. Há pegmatitos como Boqueirãozinho (Capoeira I) perto de Parelhas/RN, onde o mineral **berilo** é relativamente escasso (ROBINSON & WEGNER, 1991) e outros, donde são tiradas centenas de toneladas de berilo (pegmatito Baixo dos Quintos, Mun. Parelhas/RN). **Afrisita** (turmalina preta) encontra-se em grande quantidade nos pegmatitos Alto Feio, Pedra Lavrada/PB e Capoeira II, Parelhas/RN. Em pequenas quantidades nos pegmatitos Boqueirãozinho (Parelhas) e Generosa (Minas Gerais). **Granada**, geralmente da série almandina-espessartita, pode estar ausente ou muito escasso (pegmatito IPÊ, Governador Valadares/MG) ou presente em abundância, no pegmatito Alto Mirador, em Carnaúba dos Dantas/RN, onde são encontrados os melhores cristais de espessartita da região ou no pegmatito Urucum/Rochedo, Minas Gerais, onde a granada é acompanhada por muita afrisita. Neste mesmo pegmatito, por enquanto, **columbita-tantalita** é expressivamente rara em muitos pegmatitos da Borborema (Alto do Giz, Alto das Furnas, Quixaba) e outros representam maior riqueza e são exploradas, sendo a ferrotantalita / mangantantalita o principal mineral de valor econômico nestes pegmatitos.

Observa-se em alguns pegmatitos a presença intensiva de **minerais fosfatos**, principalmente na parte central dos pegmatitos. Em um deles, o pegmatito Hagendorf-Süd na Bavária, Alemanha, mais de duas mil toneladas de fosfatos (KASTNING & SCHLÜTER, 1994) foram minerados.

Outros pegmatitos volumosos de fosfatos são: Mangualde/Portugal e Alto Serra Branca/ Pedra Lavrada/PB. Os minerais fosfatos primários nestes pegmatitos são principalmente a **trifilita** e a **triplita**, são menos freqüentes a **zwieselita**, a **grifita** e a **litiofilita**. Na província da Borborema, o principal mineral fosfato do pegmatito Boqueirãozinho (Capoeira I) é a litiofilita que é uma raridade nesta região (ROBINSON & WEGNER, 1991). Ocorre também o mineral **ambigonita** em excesso em alguns pegmatitos (Alto Serra Branca/Pedra Lavrada) ou Coronel Damázio perto de Frei Jorge/Minas Gerais (WEGNER, 1983).

**Espodumênio** (silicato de lítio) é outro mineral que pode ser freqüente em alguns pegmatitos. Pequenas quantidades deste mineral foram encontradas no pegmatito Boqueirãozinho e em maior quantidade no pegmatito Alto da Cabeça, conhecido como Boqueirão (BERMANEC *et al.*, 2002) no pegmatito Baixo dos Quintos/Parelhas e em excesso no pegmatito Urucum / Rochedo, Minas Gerais (WEGNER, 1983). Nos pegmatitos Alto da Cabeça e Baixo dos Quintos, todo espodumênio é transformado em caulinita. Uma exceção é a quantidade do mineral **petalita** (outro silicato de lítio) encontrado no pegmatito Maxixe perto de Araçuaí/MG (KARFUNKEL *et al.*, 2002) e de **polucita** (silicato de céσιο) de outro pegmatito perto de Araçuaí /MG (WEGNER, 1983).

A variação de minerais encontrados em pegmatitos graníticos no mundo inteiro é imensa. A lista mais completa desses minerais encontra-se em SCHNEIDERHÖHN (1961). Para se ter uma idéia da possível mineralização e variação de minerais nos pegmatitos, serão citados apenas dois exemplos: A descoberta pela primeira vez do mineral **hessita** (um telureto de prata:  $\text{Ag}_2\text{Te}$ ) dentro de um pegmatito (Boqueirãozinho, ROBINSON & WEGNER, 1991) e a presença da inédita paragênese de três minerais de cobre e bismuto (**cuprobismutita**, **emplectita** e **hodrushita**) no pegmatito Alto do Félix, Mun. Parelhas (Witzke *et al.*, em preparação). O mineral hodrushita ( $\text{Cu}_8\text{B}_{12}\text{S}_{22}$ ), é reportado pela primeira vez no Brasil.

A lista de minerais dos pegmatitos graníticos inclui centenas de minerais, principalmente sulfetos, óxidos, fosfatos e silicatos. Dos elementos nativos, os mais freqüentes são: o ouro, e principalmente, o bismuto. Dos sais

halóides, na Borborema, está presente principalmente o mineral bismoclita (WEGNER & PÖLLMANN, 1999), sulfetos de cobre (digenita) no pegmatito Boqueirãozinho já nos sulfatos foram encontrados barita e gipsita (gipso), no pegmatito Alto da Mata (WEGNER & PÖLLMANN, 1999).

A maior variação dos minerais dos pegmatitos graníticos mostra os grupos dos fosfatos e dos silicatos, com maior variedade observada nos minerais fosfatos, os últimos subdivididos em dois grupos: fosfatos primários e fosfatos secundários. Dos fosfatos primários, alguns exemplos já foram citados: ambligonita, trifilita, triplita, grifita litiofilita, zwieselita. Outro fosfato primário é a apatita, freqüente em muitos pegmatitos da Borborema como: Boqueirãozinho, Baixo dos Quintos, Alto Feio, Alto da Cabeça (Boqueirão), Alto Assis Moraes, Alto Serra Branca (nesse incluído também como mineral secundário) entre outros. Também demonstra minerais fosfáticos secundários, oriundos principalmente dos minerais primários trifilita-litiofilita e triplita-zwieselita, que são destaques da pesquisa deste trabalho.

### 3.4. Formas e Mecanismos de Intrusão

Os pegmatitos graníticos mostram grande variedade em formas e tamanhos. No norte da cidade de Cândido Sales, no sul da Bahia, ocorrem pequenos veios pegmatíticos com poucos centímetros de espessura, mas independentemente do seu tamanho inferior contêm cristais de água-marinha (berilo azul) de qualidade gemológica. Do outro lado, SCHNEIDERHÖHN (1961, p. 151) cita o pegmatito de Manono/Zaire, que é considerado o maior pegmatito granítico conhecido, com 14 km de extensão, largura máxima de 700m e com faixa oxidada até 80m de profundidade (profundidade total não revelada).

Os pegmatitos graníticos variam em grande escala na sua forma, na dependência do espaço disponível para sua intrusão. As formas lenticulares talvez são as mais comuns, embora exista extensa variação entre vênulas e grandes

massas compactas equidimensionais (largura semelhante à espessura).

Até hoje, o mecanismo de intrusão é pouco entendido, tomando como exemplo o pegmatito Pitorá perto de Galiléia/MG, que intruiu concordantemente dentro de biotita-xisto do Grupo São Tomé, com posição horizontal e em forma semelhante a uma gamela rasa. Mesmo assim, o pegmatito com sua espessura de 160 cm e posição horizontal dentro do xisto, demonstra perfeito desenvolvimento perpendicular aos seus contatos (WEGNER, 1983, p.23 e 24). O pegmatito Boqueirãozinho perto de Parelhas/RN, como exemplo raro, é um dos poucos pegmatitos que oferecem uma possível imaginação da sequência da sua intrusão. Perto do contato com o metaconglomerado da Formação Equador (sua rocha encaixante) aparecem três linhas paralelas, com distância de 10 e 20 cm uma da outra, são compostos de microclínio com cristais de granada e afrisita nos dois contatos. Esta repetição rítmica igual nos dois contatos, implica uma abertura em três estágios, sendo o último deles, o principal para a intrusão do corpo pegmatítico, cuja largura máxima não excede 20 metros (ROBINSON & WEGNER, 1991).

### 3.5. Anotações Sobre as Possíveis Classificações dos Pegmatitos.

Restringindo-se aos pegmatitos graníticos, suas enormes variações em composição, forma e comportamento nas rochas encaixantes, dificultam uma classificação simples. São muitas as tentativas citando apenas poucos cientistas: FERSMAN (1931) JOHNSTON Jr, (1943) (CAMERON *et al.* (1949) SCHNEIDERHÖHN (1961) MANUYLOVA *et al.* (1966) GINZBURG *et al.* (1979) e CERNY (1982a,1991a) entre muitos outros, cada um usando diferentes critérios e divergindo entre si em grande escala).

Tendo em vista que elementos estruturais, comportamento nas rochas encaixantes, estruturas internas, estado de diferenciação ou seu conteúdo químico geral (bulk chemistry), são elementos importantes para possíveis

classificações, a mais provável classificação refere-se ao conteúdo mineralógico, desta forma seguindo a proposta de MANUYLOVA *et al.*, 1966 discriminando pegmatitos cerâmicos, de mica e de metais raros.

### 3.6. Desenvolvimento Interno de Pegmatitos

As descrições de pegmatitos graníticos no Nordeste foram oferecidas por MORAIS (1938) SOUZA (1939) e ALMEIDA *et al.* (1943) que diferenciaram os pegmatitos em dois tipos texturais:

- 1) Pegmatitos homogêneos (Fig. 3)
- 2) Pegmatitos heterogêneos.(Fig. 4)

JOHNSTON Jr. (1945) propôs a subdivisão dos pegmatitos heterogêneos em quatro diferentes zonas, chamadas I, II, III e IV e usando este mesmo esquema, CAMERON *et al.* (1949) denominou essas zonas com nomes específicos: Descrição detalhada destas zonas encontra-se em FERREIRA, 2003.

*Border zone* (zona de contato)    *Intermediate zone* (zona intermediária)  
*Wall zone* (zona de muro)        *Core* (núcleo)

PEGMATITO HOMOGÊNICO

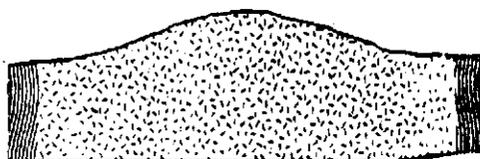


Fig. 3 –Pegmatito Homogêneo

PEGMATITO HETEROGÊNICO

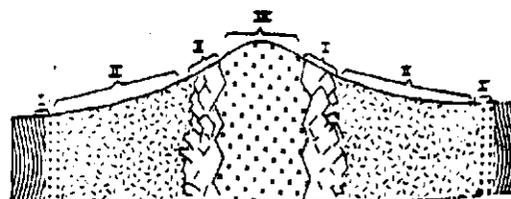


Fig. 4 – Pegmatito Heterogêneos

Segundo JOHNSTON (1945) e ROLFF (1945).

A partir de CAMERON *et al.* 1949, o modelo das quatro diferentes zonas acima citadas, foi aceito pela maioria dos pesquisadores e ainda está sendo usado. Mesmo com tanta aceitação, a aplicação rígida do zoneamento interno dos pegmatitos heterogêneos não está em plena concordância com as

observações no campo. Sem dúvida, existem muitos pegmatitos com este zoneamento bem elaborado (como exemplos, da Lavra Ênio ou Generosa, ambas em Minas Gerais) porém existem outros pegmatitos, também heterogêneos, onde o zoneamento é pouco desenvolvido (Lavra Boa Vista II, perto de Galiléia/MG, Boqueirãozinho, Capoeira I - perto de Parelhas/RN) ou ainda onde as postuladas zonas apresentam-se bastante misturadas (Urubu perto de Araçuaí/MG – KARFUNKEL *et al.*, 2002, ou Alto do Félix, perto de Parelhas/RN).

A vinculação de definidos minerais a uma das zonas, também é problemática e difere de pegmatito a pegmatito. Seguindo SOLODOV, (1959) um mineral dentro de um pegmatito forma-se quando passam as concentrações críticas necessárias para sua formação. Conseqüentemente, quando a concentração inicial já está elevada, o mesmo mineral forma-se relativamente cedo, mas sua aparência pode ser restrita ao núcleo ou à parte inferior da zona intermediária. Minerais que necessitam de concentração elevada para sua formação são fosfatos de Fe e Mn, a petalita e especialmente a polucita (silicato de céσιο).

Muitas vezes, o núcleo de um pegmatito heterogêneo é formado por uma massa central de quartzo (Ênio – Galileia/MG) e em outros casos, de uma massa central de quartzo, interrompida por grandes cristais de microclínio (Alto Feio – Pedra Lavrada/PB e Boqueirão – Parelhas/RN) ou também de massas centrais de quartzo e muscovita, está desenvolvida em placas entre 2 e 5 cm de diâmetro, provavelmente representando condições eutéticas ou subeutéticas entre quartzo e mica (Boqueirãozinho-Parelhas/RN e Alto Lagamar-Nova Palmeira /PB) .

Outras condições eutéticas entre microclínio e quartzo formam texturas gráficas entre os dois, caracterizadas por muitas zonas de muro em pegmatitos. O desequilíbrio do eutético por escassez de um dos componentes resulta na continuação da cristalização exclusiva de um deles (geralmente de microclínio). Texturas gráficas entre quartzo e afrisita foram observadas no pegmatito Rochedo/Urucum – Galiléia/MG (comunicação verbal R. WEGNER).

Um dos maiores desafios na interpretação das estruturas internas

dos pegmatitos são corpos de substituição, causados por auto-metassomatismo. Nestes corpos, o microclínio é substituído por albita, nas suas especificações como cleavelandita ou albita granular (“açúcar”) sendo a cleavelandita muito mais comum. Exemplos para a formação de albita granular são os pegmatitos Alto Branco - Berilândia/CE e Pitora - Galiléia/MG. Esses corpos de substituição resultam de processos de diferenciação interna do sistema pegmatítico e podem atingir em grande escala o zoneamento anterior. A transformação de microclínio em albita e sua devida diminuição espacial, segundo R. WEGNER (comunicação verbal) é responsável pela formação de espaços ociosos (chamados de bolsões ou fogões) dentro desses corpos e muitas vezes são mineralizados com minerais raros, inclusive gemas. Albita metassomática, muitas vezes, é acompanhada pelos elementos lítio, boro, fósforo, berílio (entre outros) formando lepidolita, elbaíta, apatita, berilos (a morganita mais frequente) e outros minerais.

### 3.7. Origem dos Pegmatitos

Como foi citado, Plumassitos se formam através de migração de Si e Al, oriundos de soluções de pegmatitos graníticos dentro de rochas ultrabásicas, causando a formação de feldspato, mica e coríndon.

Pegmatitos agpaíticos são associados a rochas alcalínicas básicas que é característica para rachaduras continentais profundas e muitas vezes acompanhados por carbonatitos (Jacupiranga / SP e Moun St. Hilaire / Canadá).

Para a origem dos pegmatitos graníticos são discutidas duas diferentes possibilidades, derivados de granitos ou derivados de sedimentos, JAHNS & BURNHAM (1969) que as apontam.

“Pegmatite magma ... can be formed either through partial melting of crustal materials so as rest-liquid in a cooling igneous body yielding dominantly anhydrous crystalline phases.” (p. 843).

Durante as últimas décadas, o modelo da derivação dos pegmatitos graníticos, através de resfriamento de um batólito granítico intrusivo foi amplamente aceito. Estudos termodinâmicos, porém (e.g. WINKLER, 1979) não suportam esta teoria, tendo em vista que, hoje a gigantesca maioria dos granitos é interpretada como rocha migmatítica, resultando da liquefação parcial ou majoritária de rochas metamórficas através de condições da anatéxis. Conseqüentemente, usando a migmatização de rochas preexistentes, termodinamicamente não é mais possível a derivação de um magma granítico rico em voláteis, como resíduo da cristalização principal, formando um granito. Trata-se, ao contrário, de fusões iniciais da mobilização parcial, onde quartzo e feldspato começam a migrar, principalmente por causa da presença de H<sub>2</sub>O no sistema. Em outras palavras, termodinamicamente é indispensável à formação de composições graníticas ricas em voláteis, usando o modelo da anatéxis, porque os voláteis são os primeiros a serem mobilizados e provocam a migração dos componentes que posteriormente formarão o sistema pegmatítico.

Aplicando o modelo da formação do sistema resíduo de cristalização de um batólito granítico intrusivo, teoricamente inquestionável, necessita a postulação de um mecanismo de formação de um plúton de granito semelhante ao modelo oferecido por BOWEN (1928) ou discutido por HUGHES (1982). Tendo em vista a possibilidade da derivação de pegmatitos graníticos diretamente de batólitos, cuja cristalização principal vai resultar em sistemas pegmatíticos residuais, a maioria dos pegmatitos é considerada cada vez mais como resultado de anatéxis de rochas metamórficas. Elas na sua maioria originadas de rochas sedimentares (WEGNER *et al.*, em preparação).

#### 4. GEOLOGIA E MINERALOGIA DO PEGMATITO ALTO SERRA BRANCA

Segundo ALMEIDA *et al.*, (1943) e ALMEIDA, (1946) a mineração desse pegmatito começou durante a primeira guerra mundial à procura de mica e, depois de vários intervalos de desativação, continuou sendo minerado em 1938 à procura de berilo. É reportado um cristal de berilo de 122 toneladas e a produção semanal de 25 t de berilo e de 15 kg de tantalita (p. 25).

O pegmatito Alto Serra Branca está na direção de 70° e sua posição é subvertical. Ele intruiu no biotita-xisto da Formação Seridó. O mau afloramento de contatos não permite dados específicos sobre a exata direção e o mergulho do xisto, que se apresenta muito alterado. Somente um contato é visível, o mesmo está cortado pela galeria de entrada (Foto 1). O contato aflorado nesta galeria revela duas imagens diferentes do xisto, na parte SE, ele aparenta-se está na posição horizontal com uma intercalação de rochas mais claras, possivelmente uma camada gnáissica fortemente alterada e não diagnosticável. No outro lado da galeria, o contato não mostra essa camada gnáissica e aparenta que o xisto está inclinando na direção NW. Por esse motivo, a exata posição do xisto, sua composição, possíveis intercalações de outras unidades rochosas, bem como, seus comportamentos relativos ao pegmatito não podem ser definidos mais precisamente. O pegmatito ocupa um pequeno serrote, representado na parte central, a mais conservada (Foto 2) por apresentar maior resistência ao intemperismo comparado com o biotita-xisto, tem comprimento na ordem de 120 metros, enquanto ALMEIDA (1946, p. 25) estima uma extensão de 250m. Sua parte NE é grosseiramente cortada e a inclinação desse serrote é coberta pelos rejeitos desse pegmatito. A parte SW do pegmatito também é cortada, embora, mais suavemente.

O desenvolvimento interno do pegmatito é considerado por ALMEIDA (1946, p. 26) como homogêneo. Não há zoneamento distinto, mas há uma mudança gradual da sua composição e do tamanho dos seus constituintes principais do contato em direção ao centro.

O contato do pegmatito é ondulado (Foto 1). Na linha desse contato a composição é dominada por muscovita que se desenvolveu perpendicularmente a essa linha com placas individuais em torno de 3 a 5 cm de comprimento. A composição em direção ao centro do pegmatito é dominada por uma mistura relativamente fina de microclínio e mica, com cristais de turmalina preta (afrita) que desenvolveu cristais alongados de até 50 cm. Ocasionalmente, ocorre granada avermelhada (almandina/espessartita), bastante alterada e algumas delas são intercrescidas com a turmalina preta. O centro do pegmatito é composto por volumosos cristais de microclínio, muita muscovita e bolsões isolados de quartzo com expressivos diâmetros, muito compacto e raramente desenvolve fragmentos de cristais ou pequenos espaços ociosos. A parte SE do pegmatito não aflora e conseqüentemente a sua espessura não pode ser indicada com precisão, estimando-se uma largura máxima entre 30 e 35 m, enquanto ALMEIDA (1946, p.25) estimou a largura de 75 m.

Os principais minerais são quartzo, microclínio, mica, ambligonita e fosfatos de ferro e manganês. O quartzo é geralmente branco, mas ocorre também em diferentes cores; azulado (uma das curiosidades desse pegmatito, cuja origem ainda não foi estudada), quartzo citrino e quartzo fumé. Estes em pequenas quantidades, mesmo assim são usados pelos garimpeiros como indicadores da presença de columbita-tantalita. Os maiores cristais de monoclinos esbranquiçados até levemente avermelhados são encontrados no centro do pegmatito, medindo vários metros de diâmetro (Foto 3). Não foi observada albita nos afloramentos atuais com um corpo de substituição, embora ALMEIDA *et al.* (1943) e ALMEIDA (1946) reportam a ocorrência deste mineral. Há boa quantidade de muscovita no pegmatito, que se aloja principalmente nas partes mais externas, já no centro aparece em menor volume. Na parte central, a muscovita em agregados paralelos cobre perpendicularmente faces de

microclínios, como também notou-se agregados radiais em forma esférica que podem atingir 50 cm de diâmetro. A amblygonita encontra-se no centro do pegmatito, em massas irregulares, principalmente como formação intersticial entre maiores cristais de microclínio. Sua coloração varia entre branca e azulada. A quantidade desse mineral no pegmatito ultrapassa cem toneladas. Discutiremos sobre os fosfatos de Fe e Mn posteriormente.

Não foram observados muitos minerais acessórios. De valor econômico apenas a tantalita-columbita que ocorre principalmente na parte central do corpo pegmatítico, mas em granulação mais fina nas partes externas. Esse minério tem conteúdo de U e To cuja radioatividade afeta o quartzo e provoca uma coloração entre citrino e fumê. A apatita ocorre em poucos cristais isolados na parte central do quartzo. Sua cor varia entre cinza e esverdeada. Os maiores cristais observados não ultrapassam 8 cm de comprimento, já os cristais de berilo que foram reportados por pesquisadores anteriormente, (e.g. ALMEIDA, 1946) não foram encontrados atualmente. Há pouca pechblenda, muito pouca pirita, pouca cassiterita e raramente, pequenos “fogões” com turmalina elbaíta de cor entre esverdeada e amarronzada.

Os principais destaques desse pegmatito são os fosfatos de Fe, Mn e seus minerais secundários, denominados como arrojaditas pelos seus pesquisadores, até hoje os garimpeiros chamam os blocos de fosfatos escuros de arrojadita (“arroja”), sem muita preocupação com sua verdadeira natureza. Trata-se de bolsões de x-y cm de Ø de dois diferentes fosfatos primários: trifilita-litiofilita triplita-zwieselita, chamadas por WEGNER *et al.* (1998a), PÖLLMANN *et al.* (2000), entre outros, simplesmente de trifilita e triplita. Trifilita-litiofilita são fosfatos de **Fe** e **Mn** com **Li** e triplita-zwieselita são de **Fe** e **Mn** com **F**. Eles ocorrem em bolsões e massas isolados no centro do pegmatito (Fotos 4 e 5) e podem passar de uma tonelada cada, que também foi mencionado por ALMEIDA *et al.* (1943), reportando a ocorrência de “arrojadita”. A separação desses fosfatos primários é pouco entendida, cada um deles desenvolveu diversos minerais secundários, fazendo com que o estudo desses seja o principal objetivo do presente trabalho.

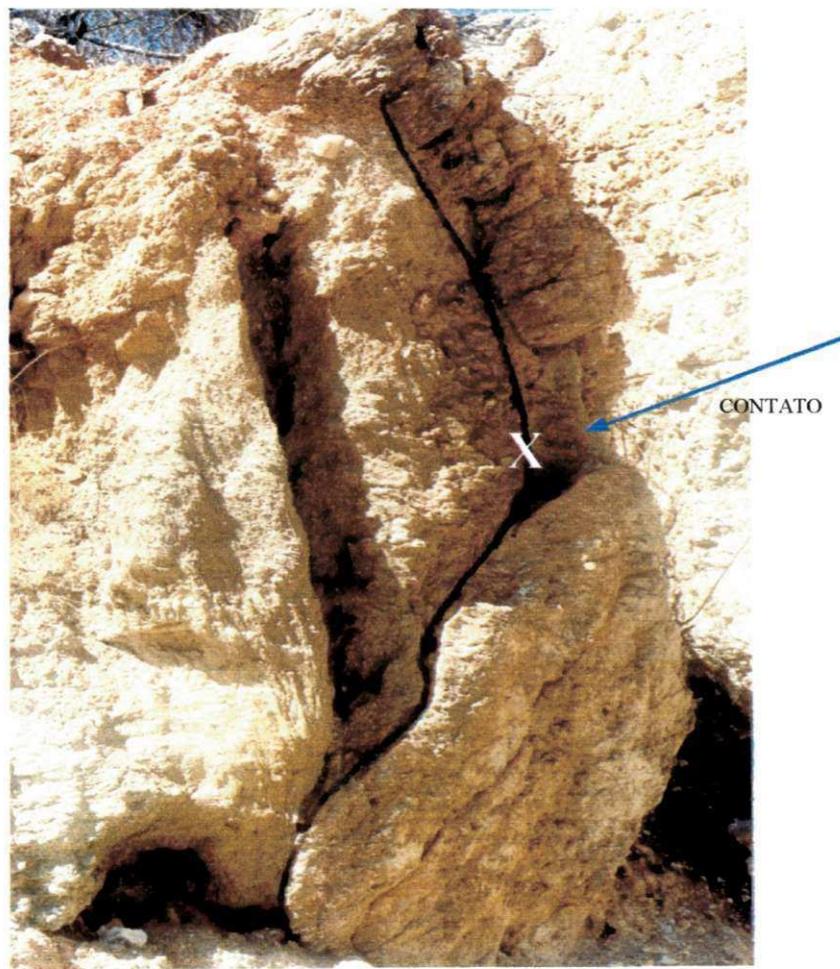


Foto 1: Linha de contato na galeria da entrada do pegmatito. A ondulação do contato x está marcada.



Foto 2: Vista em direção leste da parte central do pegmatito, ao fundo acesso principal e a casa de máquinas.

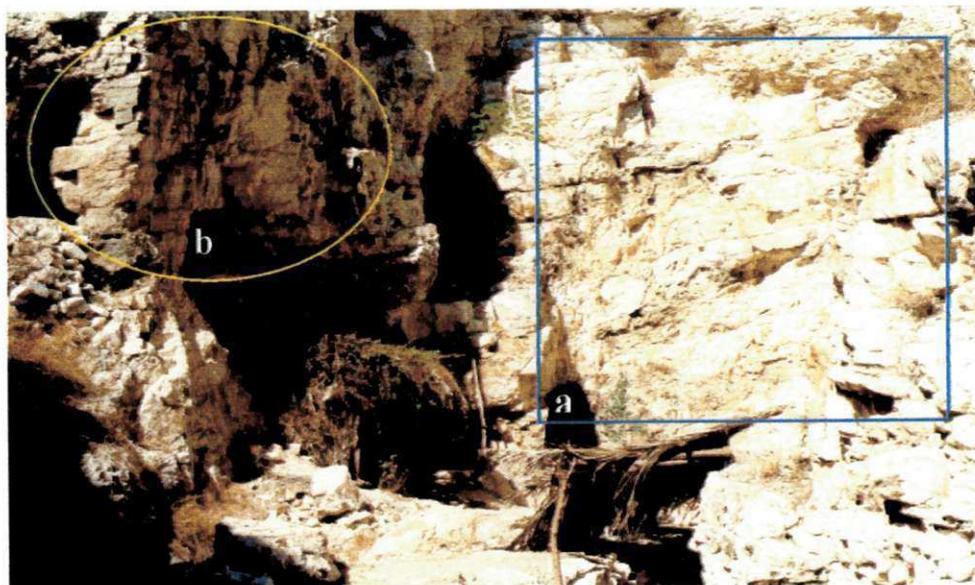


Foto 3: Centro do pegmatito com bolsões de Quartzo (a) e cristais de Microclínio (b)



Foto 4: Bolsão de fosfato (50 cm de diâmetro) na divisa entre microclínio e quartzo.

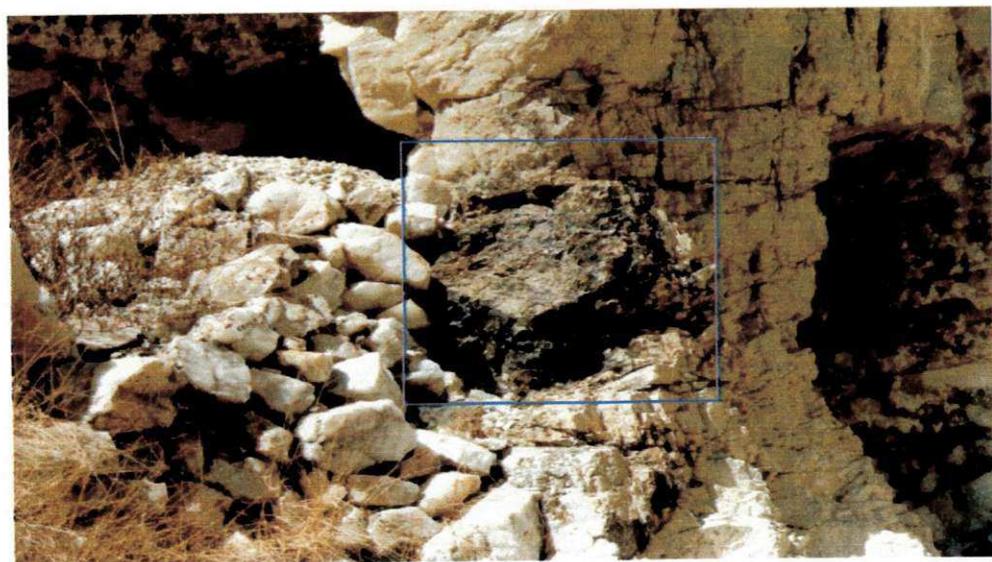


Foto 5: Bolsão de fosfato (1 metro de diâmetro) entre microclínio e quartzo.

## 5. MINERALOGIA FOSFÁTICA

### 5.1. Generalidades Sobre a Mineralogia e Ocorrências Fosfáticas

Fosfatos são compostos do elemento fósforo com oxigênio em configuração tetraédrica ( $\text{PO}_4$ ) semelhantes aos silicatos ( $\text{SiO}_4$ ) em ligação com os metais alcalinos (principalmente Li, Na e K) e dos metais alcalinos – terrosos (Be, Mg, Ca) bem como os elementos Fe e Mn, sem ou com a participação de F, Cl, OH e água. É usado principalmente como fertilizante na agricultura. Com a população mundial crescente e a área total disponível para atividades agrícolas decrescente, é indispensável cada vez mais o uso de fertilizantes para aumentar a quantidade e a qualidade dos produtos por área plantada.

Existem dois grupos principais de ocorrências fosfáticas:

- A) Ligadas a rochas magmáticas
- B) Ligadas a sedimentos ou em rochas sedimentares.

A) O principal mineral fosfático nas rochas magmáticas é a apatita, com a fórmula química geral de:  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{OH},\text{Cl})$ . A apatita é encontrada associada ao Fe nas ocorrências tipo *liquid immiscibility*, com exemplos de Kirunavaara/Suécia e El Laco/Chile. Também encontra-se em carbonatitos e rochas alcalinas básicas associadas: Jacupiranga/SP, Península de Kola/Rússia e em Palabora/África do Sul e, menos freqüente, em pegmatitos graníticos, os quais geralmente não têm importância econômica. A maior ocorrência de apatita de origem magmática encontra-se associada a um nefelina - sienito perto de

Kukiswumtschorr, na península de Kola/Rússia (RAMDOHR, 1967: 609).

B) Hoje, a maioria do fósforo é extraído de sedimentos/rochas sedimentares que é encontrado em quantidade na Flórida/EUA e no Norte da África (Saara). Nestas ocorrências, a apatita forma concreções fosfáticas, chamadas fosforitos. Antigamente as ocorrências de Guano com origem biogênica, através de aves litorâneas do oeste da América do Sul (Chile e Peru), tinham grande importância, mas hoje estão praticamente esgotadas.

A ocorrência mais diversificada de fosfatos, de origem sedimentar encontra-se na área do Rapid Creek e do Big Fish River, Yukon/Canadá. Um sistema de fissuras dentro de um sedimento ferruginoso fosfórico foi mineralizado através de migração de vários elementos durante processos diagenéticos, formando fosfatos ricos em Ca, Ba, Fe-Mg e Na. As amostras de minerais de lazulita, wardita, arrojadita, kulanita, gorceixita, baricita, entre muitos outros desta ocorrência, representam os melhores das suas espécies e são distribuídos em museus e coleções particulares no mundo inteiro (ROBINSON *et al.*, 1992).

## 5.2. Minerais Fosfáticos em Pegmatitos Graníticos

Neste tipo de rocha, os fosfatos encontram-se de maneira heterogênea, principalmente no centro dos corpos pegmatíticos que formam massas irregulares pesando até milhares de toneladas, sendo representados pelos principais compostos diferentes: fosfatos de Li e fosfatos de Fe e Mn, geralmente os únicos juntos com Li ou F. Nos fosfatos primários não tem apatita ou apresenta pequena quantidade. Alguns pegmatitos dispõem de uma maior participação de apatita como os do Alto Assis Morais e do Alto Feio/PB.

Uma segunda seqüência de fosfatos acompanha possíveis corpos de substituição através de auto-metassomatismo (veja capítulo sobre pegmatitos). Esses fosfatos ocorrem em bolsões (regionalmente chamados "fogões") dentro da

albita/cleavelandita e podem mostrar grande diversificação. Fosfatos deste tipo são bastante freqüentes e famosos em pegmatitos no leste de Minas Gerais, entre as cidades de Divino das Laranjeiras e Mendes Pimentel, com destaques nos pegmatitos Sapucaia, Gentil e Córrego Frio. Na província da Borborema, o mais conhecido com “fogões” de fosfatos é o pegmatito Alto Boqueirão (também chamado Alto da Cabeça) em Parelhas/RN.

Os principais minerais fosfáticos primários são: a ambligonita-montebrazita, a trifilita-litiofilita, a triplita-zwieselita e a grifita, (o último e menos comum desses fosfatos não será considerado em seguida). A ambligonita e a montebrazita são exploradas por seu conteúdo em lítio, enquanto o valor econômico dos minerais trifilita-litiofilita e triplita-zwieselita é extremamente restrito por causa da difícil extração do fósforo desses compostos com Fe e Mn. O único pegmatito em que a trifilita foi aproveitada para a extração do Li foi o de Hagendorf-Süd/Alemanha por sua gigantesca quantidade em trifilita (vários milhares de toneladas – comunicação verbal de E. KECK, Erkenrad/ Alemanha).

Mesmo sem grande valor econômico das demais trifilitas-litiofilitas e das zwieselitas-triplitas nos outros pegmatitos fosfáticos, (e.g. Sapucaia, Gentil, Alto Boqueirão, em MG e RN respectivamente), esses fosfatos são de alto interesse científico por causa da variação de minerais secundários e seus processos/condições de formação, oriundos desses fosfatos primários. Com as questões ambientais cada vez mais importantes e relevantes, a liberação de elementos durante os diversos processos de transformação, de sua fixação posterior e do seu possível impacto ambiental, situa-se cada vez mais no focus das pesquisas. No desenvolvimento de minerais secundários refletem esses processos e o estudo da gênese de fosfatos secundários que contribuem significativamente para nosso conhecimento.

Os pegmatitos de Hagendorf-Süd / Alemanha, Mangualde / Portugal, Tip Top Mine, White Elephant, Palermo/EUA, Sapucaia, Ênio e Gentil/Brasil, entre outros, foram estudados detalhadamente e observou-se grande número de fosfatos secundários com a maior variação no pegmatito de Hagendorf-Süd. Referindo-se aos resultados já obtidos, o pegmatito Alto Serra Branca também se destaca junto

com esses pegmatitos fosfáticos mais famosos pela sua variação de minerais secundários, oriundos de poucos fosfatos primários que têm como explicação possíveis substituições entre os elementos Fe e Mn que em muitos casos formam séries isomórficas.

Para demonstrar a possível variação de minerais, veja a lista em seguida, com as séries isomórficas de minerais fosfáticos primários (P) e secundários (S), onde a variação no conteúdo dos elementos Fe e Mn é responsável para a formação dessas séries:

Trifilita - Litiofilita (P)

Zwieselita - Triplita (P e S)

Arrojadita - Dickinsonita (P e S)

Childrenita - Eosforita (S)

Ferrisicklerita - Sicklerita (S)

Fosfoferrita - Reddinguita (S)

Graftonita – Beusita (S)

Heterosita - Purpurita (P) e (S)

Mitridatita - Robertsita (S)

Rockbridgeita-Frondelita (S)

Wolfeita - Triploidita (S)

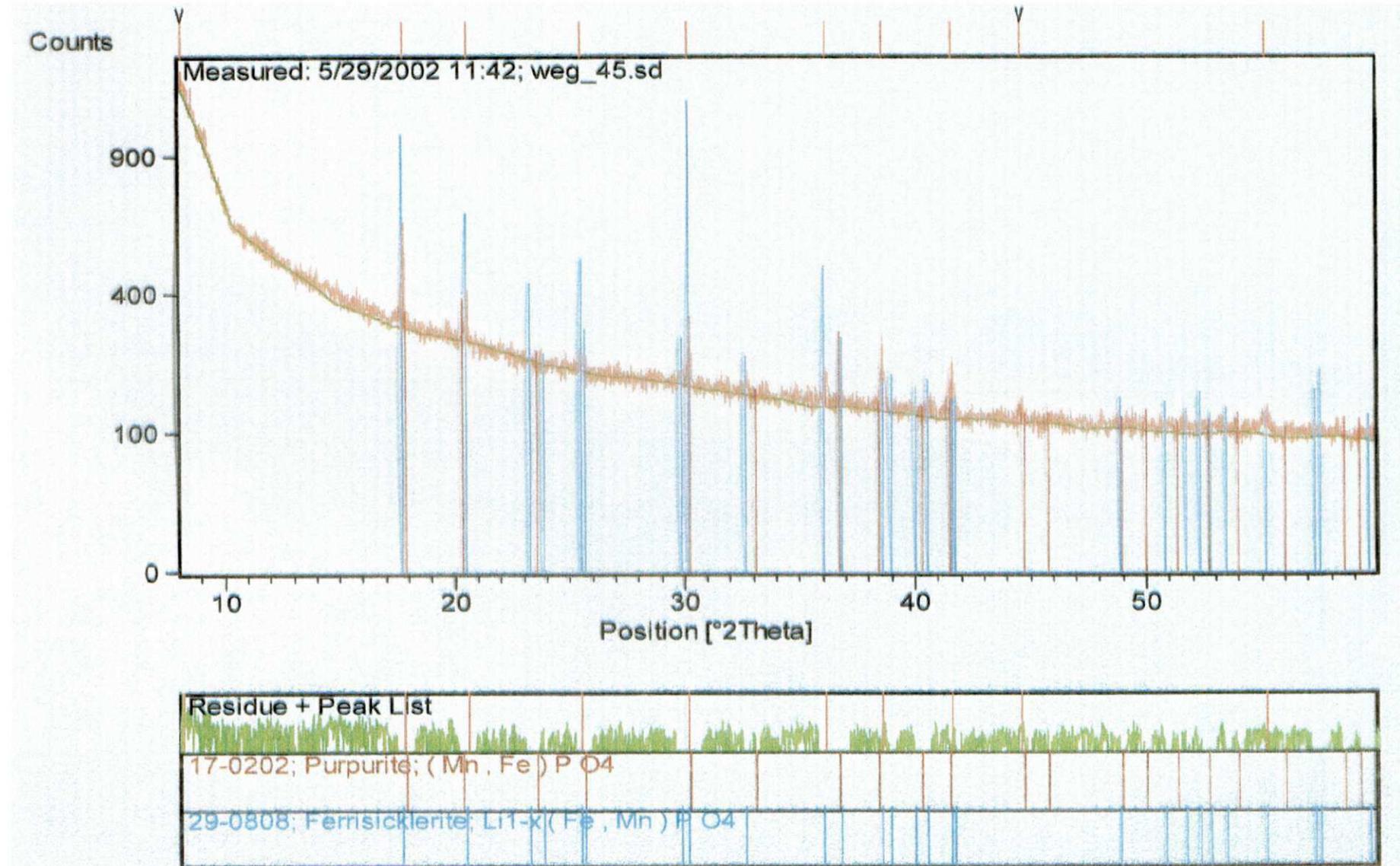
Os minerais Fosforossiderita e Strenguita também de origem secundária e da mesma composição química cristalizam-se em sistemas diferentes (isoquímico).

### 5.3 Problemas Analíticos na Identificação de Minerais Fosfáticos.

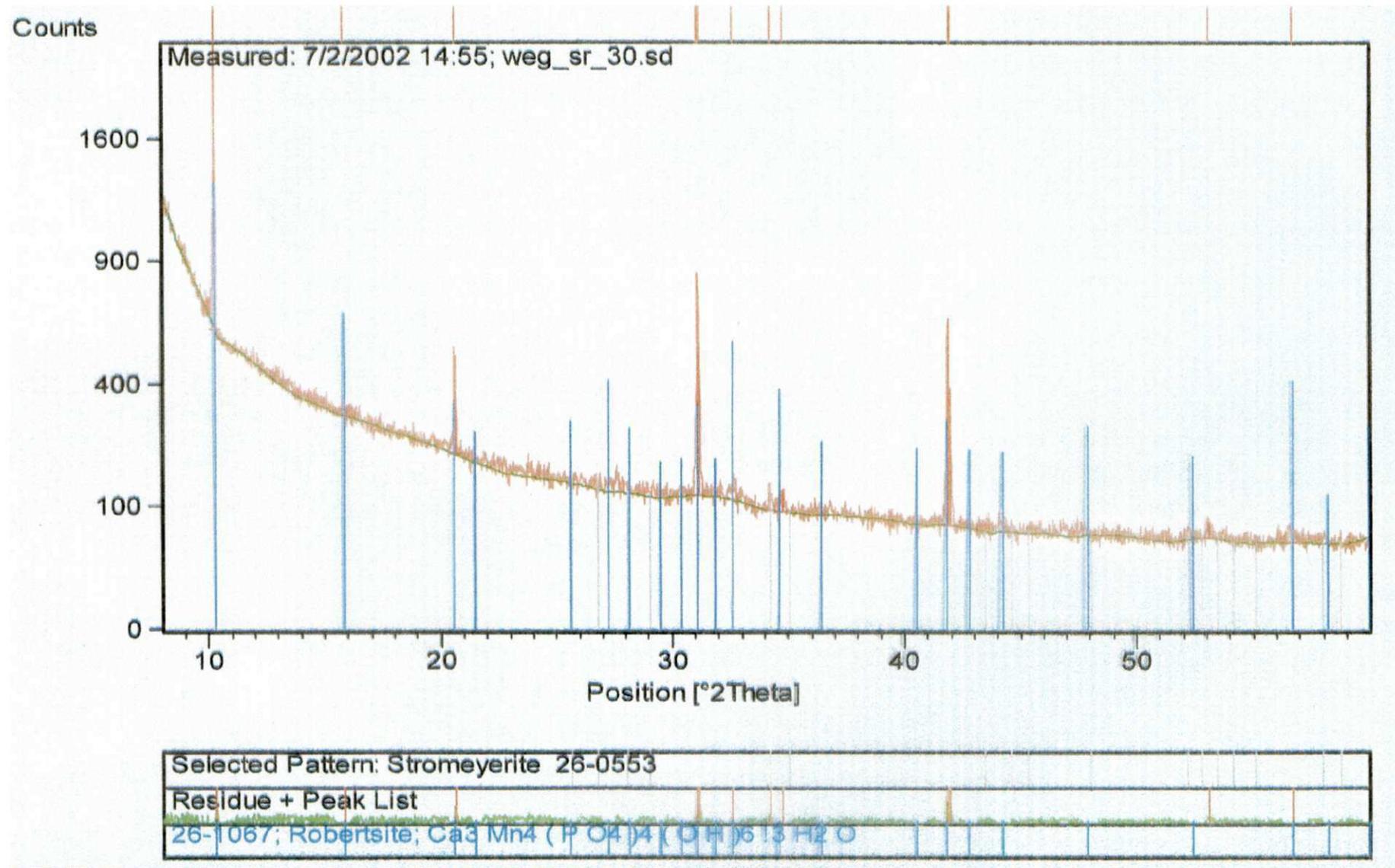
A classe dos minerais fosfáticos é considerada pelos mineralogistas como a mais complicada por causa da sua imensa variação e de difícil

identificação, principalmente nas séries isomórficas.

Analiticamente há dificuldade de identificar esses minerais, porque nas análises estruturais/difratométricas, geralmente, não se observa uma suficiente diferença nos diagramas difratométricos entre os fosfatos de Fe e os de Mn da mesma série. A identificação necessita de análise química adicional para verificar a relação entre Fe e Mn para sua exata discriminação. Somente no caso de minerais isoquímicos são suficientes os resultados da difratometria (como exemplo o caso da fosforossiderita e da strenguita) que mesmo macroscopicamente surgem dúvidas na identificação. Os minerais purpurita e ferrisicklerita têm difratogramas praticamente idênticos (difratograma 1). Neste caso, necessita de análises químicas (por exemplo, através de ICP-MS) referentes a um possível conteúdo de lítio (ferrisicklerita) para sua segura identificação. Em alguns casos, usando o novo difratômetro Philips X'Pert é possível ampliar uma área restrita do difratograma para detectar eventuais diferenças. Na série isomórfica de robertsita-mitridatita essa técnica foi aplicada com sucesso (diagramas 2,3,4). Testes químicos são indispensáveis quando os conteúdos de ferro e manganês têm coeficiente perto de 1 porque o diagrama não define com segurança qual é o mineral. A denominação correta neste caso deve ser composta pelos dois membros, como exemplo trifilita-litiofilita.

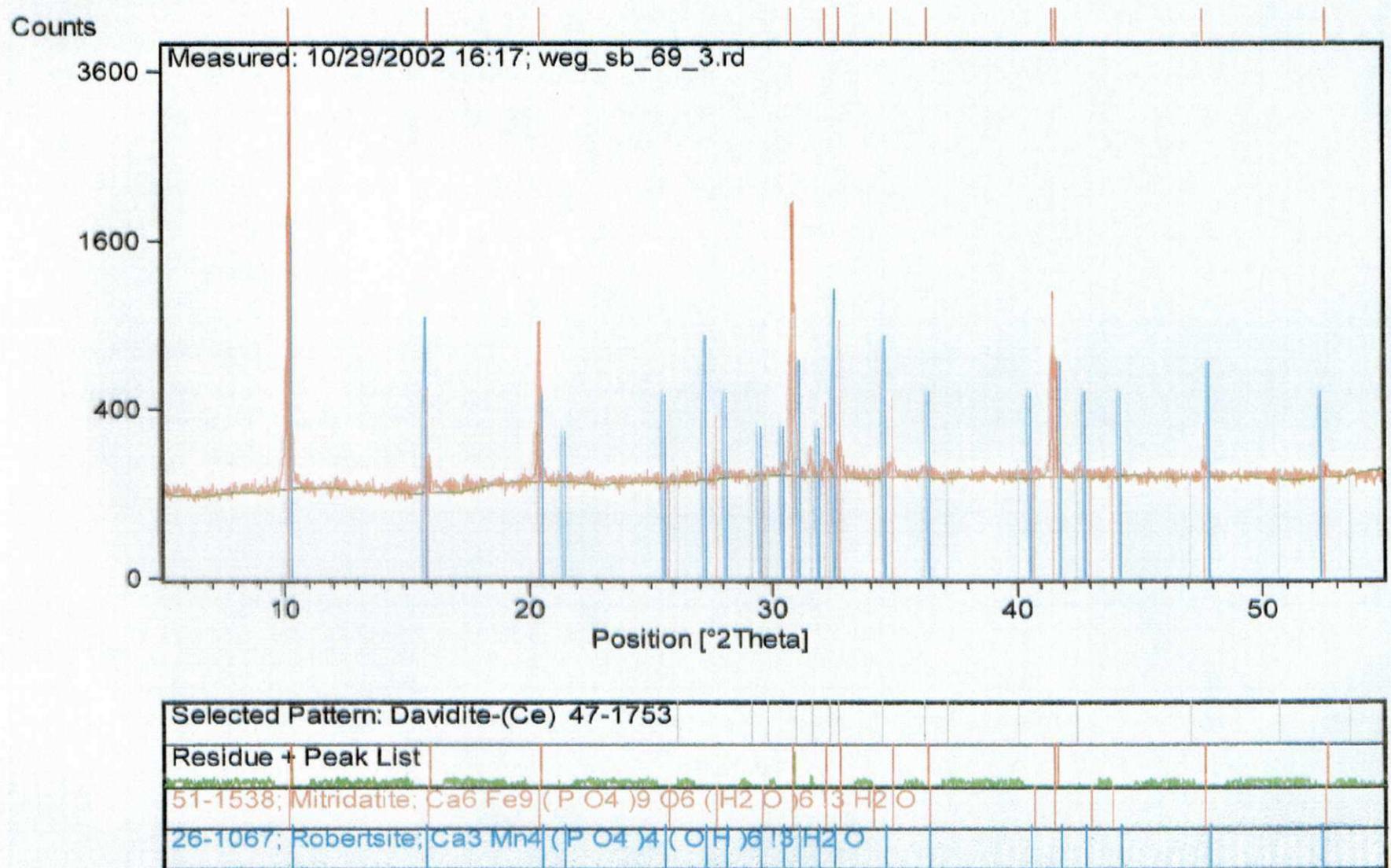


Diafratograma 1: Resultado de análise que não especifica a purpurita ou a ferrisicklerita.  
Execução : J. Göske & R. Wegner – Instituto de Mineralogia -.Halle/Alemanha



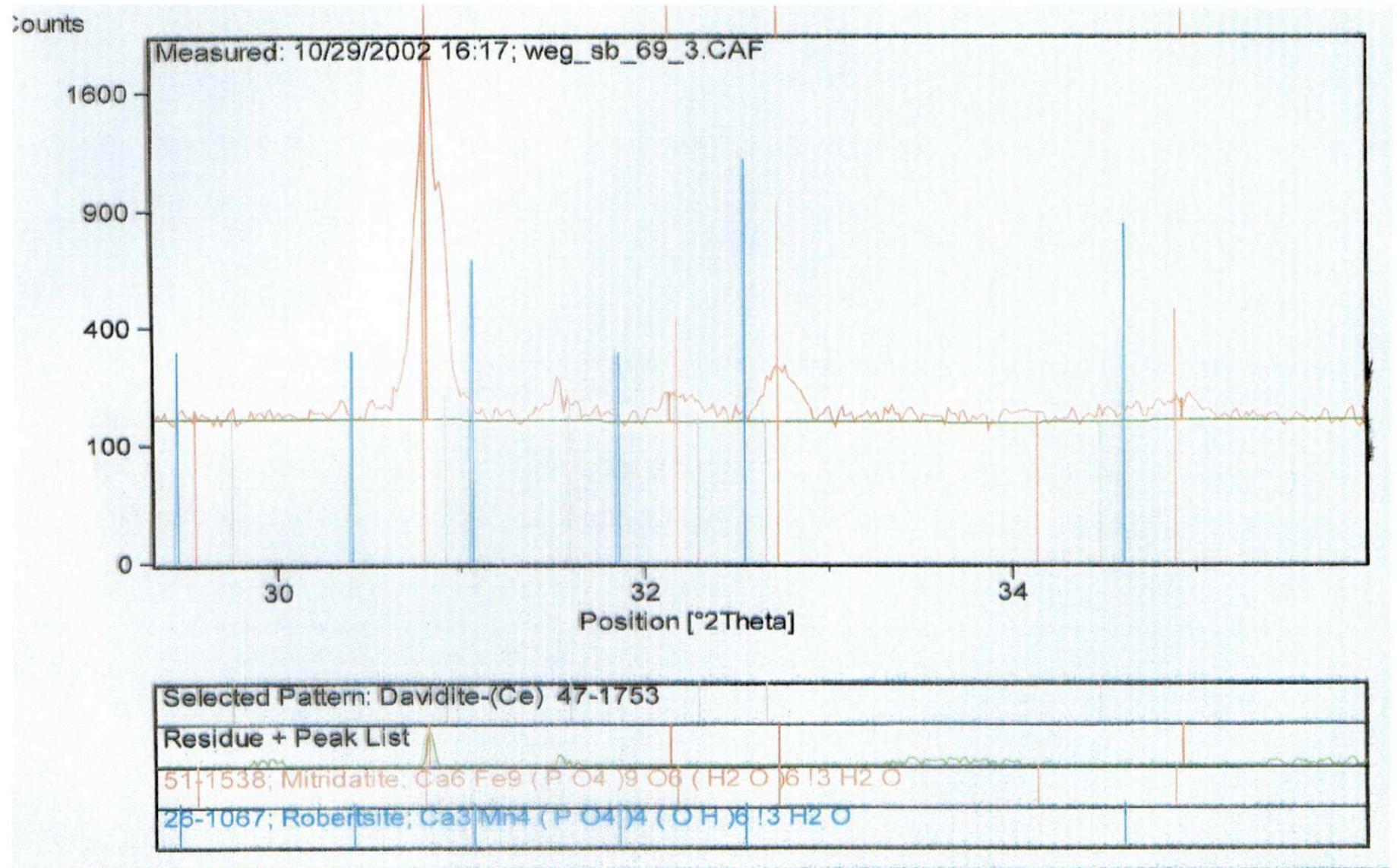
Difratograma 2: Resultado de análises da possível robertsita, deixando duvidas na sua composição original.

Execução: J. Göske & R. Wegner – Instituto de Mineralogia -



Difratograma 3: Resultado de análises, mostrando a semelhança entre a mitridatita e a robertsita.

Execução: J. Göske & R. Wegner – Instituto de Mineralogia - Halle/Alemanha



Difratograma 4: Ampliação de parte do difratograma 3, mostrando a possibilidade de diferenciar a mitridatita e a robertsita.  
 Execução: J. Göske & R. Wegner – Instituto de Mineralogia - Halle/Alemanha

## 6. OS MINERAIS FOSFATOS DO ALTO SERRA BRANCA

**Denominação:** Os nomes de todos os minerais foram extraídos do Dicionário de Mineralogia (BRANCO, 1982) ou escritos num sentido idêntico, nos casos que não constam. As fórmulas químicas foram extraídas do Glossary of Mineral Species (FLEISCHER & MANDARINO, 1991).

### 6.1. Fosfatos Primários

São quatro os minerais fosfatos, encontrados no pegmatito granítico

Alto Serra Branca:

- 1) a série isomórfica da trifulita - litiofilita
- 2) a série isomórfica da triplita - zwieselita
- 3) a série isomórfica da ambligonita-montebrasita
- 4) apatita.

#### 6.1.1. Série isomórfica da trifulita-litiofilita

Trifulita:  $\text{LiFe}^{+2}\text{PO}_4$   
Litiofilita:  $\text{LiMn}^{+2}\text{PO}_4$

Trabalhos anteriores, (e. g. WEGNER *et al.*, 1998a,b e c; WITZKE *et al.*, 2000; PÖLLMANN *et al.*, 2000; WEGNER *et al.*, 2001) não especificaram a composição química dessa série, denominando-a simplesmente de trifulita. Porém três análises químicas que foram executadas no Instituto de Mineralogia da

Universidade de Halle/Alemanha, usando SEM – Scanning Electron Microscope (microscópico de varredura) revelaram que a denominação simples de trífilita não é correta. As três análises mostraram as seguintes relações entre Fe e Mn (dados em % dos elementos):

	Fe	Mn
Análise 1	21,18	19,55
Análise 2	13,78	13,36
Análise 3	14,96	14,10
<b>Média</b>	<b>16,64</b>	<b>15,67</b>

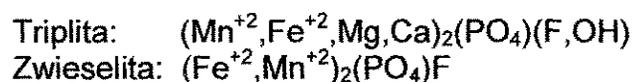
Tab. 1: Variação de conteúdos de Fe e Mn em três amostras de trífilita-litiofilita. Execução – Uwe König/Halle

Em outras palavras, trata-se, portanto, de uma composição intermediária cuja denominação correta é trífilita-litiofilita.

A trífilita-litiofilita ocorre em abundância em blocos e massas isoladas no centro do pegmatito, dentro de feldspato microclínio. Essas massas podem passar de uma tonelada e apresentam-se em diferentes formas: arredondadas, alongadas ou irregulares. A tonalidade externa dessas massas ou blocos é escura, causada por oxidação superficial e transformação externa em outros minerais. No centro, a trífilita-litiofilita por boa parte é fresca/inalterada, de tonalidade cinza clara, transparente em pequenas partes ou grãos. A clivagem da trífilita é bem desenvolvida. Os planos de clivagem têm três diferentes direções semelhantes às observadas no mineral anidrita (ambos do sistema cristalino ortorrômbico). Os planos homogêneos da trífilita-litiofilita manifestam o enorme tamanho dos cristais deste mineral, que facilmente podem atingir mais de 50 cm. A transparência da trífilita, em pequenas partes, tem qualidade gemológica e a maior gema lapidada até hoje tem 2 ct (0,4 g). Esta trífilita-litiofilita é bastante semelhante à do pegmatito Boa Vista/MG (WEGNER, 1983) que ao ser lapidada apresenta a mesma cor, mas de tamanho superior àquelas do Alto Serra Branca. As gemas lapidadas de ambos os pegmatitos demonstram excelente tricoísmo entre cinza clara, marrom claro e avermelhado diferente daquela descrita por TRÖGER (1971 p. 48/49). Externamente, a trífilita-litiofilita é fortemente transformada em minerais secundários, principalmente em purpurita-heterosita, acompanhados por muitos outros minerais secundários (Cap. 6.2.)

Nos planos de clivagem desenvolve-se freqüentemente o início de alterações. Muitos dos tais planos são preenchidos por tavorita (amarela) em filmes finos até milimétricos. Junto à tavorita embora menos associados aos planos da clivagem, em flocos ou pontos espalhados por toda trifilita-litiofilita, surge um mineral verde escuro que na sua maior parte é identificado como sendo a barbosalita -  $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$ , freqüentemente acompanhado de minúscula quantidade do mineral lipscombitea ( $\text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+}$ )  $\text{Fe}_2^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$ . Os dois minerais podem ser diferenciados somente por meio da difratometria de Raios-X, uma vez que a cor deles é bastante semelhante.

### 6.1.2. Série isomórfica da Triplita – Zwieselita



A triplita-zwieselita é outro mineral fosfático primário que ocorre abundantemente no centro do pegmatito, semelhante à trifilita-litiofilita e também é encontrado em massas isoladas escuras. Em publicações anteriores (c.f. cap. 6.1.1.), esse mineral foi denominado simplesmente de triplita. Análises químicas executadas na mesma instituição alemã (c.f. 6.1.1.) revelaram as seguintes relações entre Fe e Mn (em % de peso dos elementos):

	Fe	Mn	Ca
Amostra 1a	43,36	26,46	0,87
Amostra 1b	27,11	40,77	1,03
Amostra 1c	44,24	19,75	não analisado
Amostra 2a	19,04	23,06	não analisado
Amostra 2b	19,18	22,57	0,73
Amostra 3a	22,51	27,43	0,58
Amostra 3b	25,22	23,75	0,50
Amostra 3c	30,96	24,63	0,49
Amostra 3d	41,75	40,93	0,55
Amostra 3e	22,70	27,34	0,59
Amostra 3f	28,14	35,79	0,62
<b>Média</b>	<b>29,47</b>	<b>28,41</b>	<b>0,66</b>

Tab. 2: Resultados das três diferentes amostras de triplita-zwieselita referentes aos conteúdos em Fe e Mn. Execução—Uwe König/Halle.

As três amostras analisadas (Tab. 2), desconsiderando os demais elementos presentes, mostram boa variação entre Fe e Mn. Os coeficientes de Fe/Mn são: amostra 1 variação entre 1,64 e 0,67 (média de 1,16)  
amostra 2 entre 0,83 e 0,85 (média de 0,84) e  
amostra 3 entre 0,79 e 1,26 (média de 0,99 !).

O que chama atenção é a grande variação das relações de Fe/Mn da amostra 3 (6 análises em diferentes pontos da mesma amostra) mostrando resultados entre a triplita (Fe/Mn = 1,26) e a zwieselita (Fe/Mn = 0,82). Somando todas as relações das três amostras, o fator é de 0,99; em outras palavras, a composição é de 50% de triplita e de 50% de zwieselita. Incorporando as outras duas análises, a média total das três amostras tem valor de 1,04. Conseqüentemente, a denominação correta para esse mineral é triplita-zwieselita. Ela ocorre em três aparências diferentes, em muita quantidade e muitas vezes juntas na mesma amostra: **verde-escura, marrom e branca-amarelada**. Segundo a bibliografia existente, é inédita, e até hoje, pouco entendida e deve ser considerada como um dos destaques deste pegmatito.

As amostras verde-escuras revelam excelente clivagem com brilho sedoso na superfície. Lapidado na forma cabochão, devidamente orientado, mostra excelente efeito olho-de-gato, sendo uma nova gema cuja descoberta foi apresentada no Congresso Nacional de Geologia, 1998 em Belo Horizonte/MG (WEGNER *et al.*, 1998). Imagens de microsonda (Jeol Superprobe 733, 15KV e 25nA) executados por G. ROBINSON e R. WEGNER no Museu Nacional do Canadá revelaram a presença de canais ocos em grande número e estritamente orientados dentro dessa triplita-zwieselita que são responsáveis por esse efeito olho-de-gato. Eles são bem visíveis na ampliação 500X. A origem destes canais ocos não está totalmente esclarecida, provavelmente são causados por soluções finais, sejam elas supercríticas ou hidrotermais.

A segunda aparência dessa triplita-zwieselita tem característica completamente diferente, de cor marrom, não mostra clivagem e ocorre em partes irregulares dentro da verde-escura. Difratométricas de Raios-X dessas duas aparências, executadas no Museu Nacional do Canadá (J.v. VELTHUIZEN e

R.WEGNER) resultaram em diagramas idênticos e análises químicas semi-quantitativas também iguais nas suas composições, dificultando qualquer conclusão. Segundo J.v. VELTHUIZEN (comunicação verbal) essa coloração marrom tem aparência idêntica ao mineral grafita.

A terceira aparência que ocorre junto às anteriores, tem significativa diferença, pois ocorre em pequenas partes ou flocos dentro da triplita-zwieselita verde-escura. A aparência branca-amarelada não tem a mesma dureza (5,5) das anteriores, esta última é menos dura, em torno de 3,0 na escala de Mohs. Difratométricas de Raios-X dessa branca-amarelada demonstram pequenas diferenças em comparação às anteriores, com alguns pequenos reflexos adicionais nos seus diagramas. Análises químicas semiquantitativas, executadas com o JEOL 733, do Museu Nacional do Canadá revelaram um certo percentual de conteúdo do elemento Ca, muito pouco presente nas outras. Há forte indício da presença de um novo mineral, a Ca-triplita ou Ca-zwieselita proposto por R. WILKE que é referente a uma amostra da Suécia (comunicação verbal), mas até hoje não confirmada. Análises estruturais executadas por P. CZERNY e T.S. ERCIT no Instituto de Mineralogia de Winnipeg/Canadá revelaram o mal estado de cristalização dessa modificação branca-amarelada e não foi possível definir sua estrutura interna. Outras análises estruturais serão realizadas em breve com o Philips X'Pert, o mais recente do seu gênero na universidade de Halle/Alemanha. Tais análises poderão confirmar a Ca-triplita/Ca-zwieselita como novo mineral.

### 6.1.3. Série isomórfica da Ambligonita – Montebbrasita

Ambligonita:  $(\text{Li,Na})\text{Al}(\text{PO}_4)(\text{F,OH})$

Montebbrasita:  $\text{LiAl}(\text{PO}_4)(\text{OH,F})$

Embora não tenham sido executadas análises específicas referentes aos conteúdos em F e OH, para definir mais seguramente o exato mineral presente, acredita-se que tal mineral neste pegmatito seja a ambligonita, uma vez

que a montebrasita é considerada bastante rara. Sua cor varia entre branca à azulada e ocorre no centro deste pegmatito em massas espalhadas e principalmente nos intersticiais dos grandes cristais de feldspato microclínio. A quantidade de amblygonita estima-se ser semelhante às da trifilita-litiofilita e da triplita-zwieselita. Ela é minerada por seu conteúdo de lítio, mas não está no focus deste trabalho que tem como principal objetivo as descrições dos minerais secundários oriundos da tífilita-litiofilita e da triplita-zwieselita.

#### 6.1.4. Apatita de F, OH, Cl e de $\text{CO}_3$

A apatita, outro fosfato primário, que ocorre no centro do pegmatito em forma de pequenos cristais, dentro do microclínio e da amblygonita também estão fora do interesse deste estudo.

#### 6.1.5. Considerações gerais sobre a possível seqüência da cristalização dos fosfatos primários.

Segundo MOORE (1973), a seqüência dos fosfatos primários, demonstra desenvolvimento geoquímico característico no pegmatito:

“But pegmatites are generally more complicated and most frequently, the accessory phases constitute only a small fraction of the body compared with the granitic phases. For example, excess  $[\text{PO}_4]^{-3} + \text{Li}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3$  (Fe,Mn)O + CaO would lead to the crystallization of triphylite until (Fe,Mn)O is exhausted, then amblygonite crystallizes until  $\text{Li}_2\text{O}$  is exhausted and finally apatite forms. This sequence has been established by field observations on mineral paragenesis. If  $[\text{PO}_4]^{-3}$  is present only in minor amounts, spodumene would form instead, as the principal accessory phase.” (pag. 104)

Essa observação está em coerência com as mineralizações primárias fosfáticas do Alto Serra Branca. A quantidade de amblygonita indica

presença abundante de  $\text{Li}_2\text{O}$  com a particularidade da presença inferior da apatita. Provavelmente, a quantidade de  $[\text{PO}_4]^{-3}$  baixou para um nível inferior ao da concentração crítica necessária para sua formação. Observa-se que na permanência de  $\text{Li}_2\text{O}$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  no sistema final, forma-se o mineral lepidolita. Com o nível abaixo da concentração crítica em ambos,  $[\text{PO}_4]^{-3}$  e  $\text{Li}_2\text{O}$ , terminou a mineralização fosfática primária.

O principal destaque deste pegmatito é a inédita separação de duas diferentes séries de fosfatos primários de Fe e Mn; a trifilita-litiofilita e a triplita-zwieselita. Lembrando as composições de cada um dos seus membros: a trifilita  $\text{Li}(\text{Fe},\text{Mn})\text{PO}_4$  e a triplita:  $(\text{Mn}^{+2},\text{Fe}^{+2},\text{Mg},\text{Ca})_2(\text{PO})_4(\text{F},\text{OH})$  temos a confirmação de que os dois elementos Li e F em condições naturais não formam o mineral LiF. Sendo de difícil dissolução na água (100 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  dissolvem 0,27g de LiF/18°C – REMY, 1960, pag. 227) e de excelente transparência para luz no espectro ultravioleta, o composto LiF tem grande aplicação técnica como filtro e prisma. Na presença de  $\text{Fe}^{+2}$  e  $\text{Mn}^{+2}$  neste sistema pegmatítico o  $\text{Li}^+$  entra na trifilita-litiofilita e o  $\text{F}^-$  na triplita-zwieselita formando duas diferentes séries. Mais surpreendente ainda é a perfeita separação espacial dos dois minerais, formando massas e blocos particulares espalhados em toda a parte central deste pegmatito.

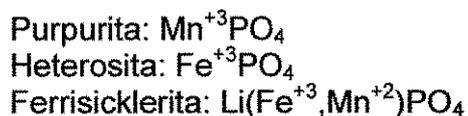
## 6.2. Minerais secundários oriundos da trifilita-litiofilita: séries isomórficas.

Geralmente, observa-se, que a trifilita-litiofilita está bem mais transformada que a triplita-zwieselita. Externamente, a trifilita-litiofilita é fortemente transformada em minerais secundários principalmente em purpurita-heterosita acompanhados por muitos outros minerais secundários, mas no interior dos blocos da trifilita-litiofilita, seguindo os planos de clivagem, desenvolve-se o início de alterações. Muitos dos planos são preenchidos por tavorita (amarela) em filmes finos até milimétricos. Junto a tavorita, porém menos associado aos planos da clivagem em flocos ou pontos espalhados por toda trifilita-litiofilita, começa o

desenvolvimento de um mineral verde escuro, na sua maioria barbosalita –  $\text{Fe}^{+2} \text{Fe}_2^{+3}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$  acompanhado em menor quantidade pelo mineral lipscombite –  $(\text{Fe}^{+2}, \text{Mn}^{+2}) \text{Fe}_2^{+3} (\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$ . Os dois minerais podem ser diferenciados somente por meio da difratometria de Raios-X pelo fato das cores deles serem muito semelhantes.

Além dos minerais favorita, barbosalita e lipscombite, ocorre o mineral hureaulita –  $\text{H}_2\text{Mn}_5(\text{PO}_4)_4, \text{X}4\text{H}_2\text{O}$ , de cor alaranjada até vermelha. Em sua maioria encontra-se desenvolvida em cristais alongados no sentido horizontal na superfície da trifilita-litiofilita, às vezes transparentes e paralelamente agrupadas ou em forma de estrelas e muitas vezes perfeitamente terminadas. A hureaulita ocorre com menos frequência em grãos intercrescidos com outros minerais.

### 6.2.1. Purpurita – Heterosita – Ferrisicklerita

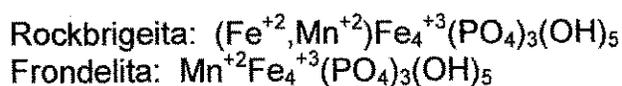


Internamente, os blocos da trifilita-litiofilita são transformados em minerais secundários, na maior parte da série purpurita-heterosita, significando uma simples oxidação de Mn e Fe bivalente para trivalente e a saída do Li. Análises difratométricas de Raios-X (Siemens e Philips X'Pert) revelaram a presença principal de purpurita (Difratograma 1). A heterosita que forma uma série isomórfica com a purpurita é menos presente. As diferenças entre a purpurita e a heterosita referentes aos seus diagramas difratométricos são bastante significativas para sua identificação, embora seja quase impossível identificá-los através da sua aparência a olho nu. Em consequência, para obter a certeza de quais dos membros se trata, é indispensável executar uma análise difratométrica para identificação. Caso o difratograma não seja suficiente (no caso de mistura dos dois componentes, purpurita e heterosita), deve-se fazer análises químicas adicionais referentes à relação entre Fe e Mn.

Por outro lado, os diagramas da purpurita e da ferrisicklerita [a última formando uma série isomórfica com a sicklerita -  $\text{Li}(\text{Mn}^{+3}, \text{Fe}^{+2})\text{PO}_4$ ] são muito semelhantes (Difratograma 1) e para uma identificação segura necessita-se de um teste adicional para detectar a possível presença do lítio, uma vez que este como elemento extremamente leve não pode ser analisado com equipamento à base de fluorescência de Raios-X (microscópico de varredura - SEM - e microssonda). Duas análises de lítio executadas por U. KÖNIG, através de ICP-MS (Induced coupled plasma – multi spectral) da Universidade de Halle / Alemanha, apresentaram somente traços de lítio (11 e 12 ppm), desta forma, excluindo a presença do mineral ferrisicklerita dentro do material analisado pelo menos até agora.

Há fortes indícios de que a purpurita, embora possa ser mineral primário em outros pegmatitos, como exemplo de Sandamab/Namíbia (RAMDOHR, 1967 – segundo ROBERTS *et al*, 1990,) desta ocorrência, na verdade, a heterosita no Alto Serra Branca é desenvolvida em forma de pseudomorfos para trífilita referente aos seus planos de clivagem e pelo fato que ocorre sempre como crosta externa de transformação da trífilita-litiofilita. A cor da purpurita do Alto Serra Branca é de púrpura escura, diferente daquela do Erongo que é mais clara e mais brilhante nos seus planos de clivagem.

### 6.2.2. Rockbridgeita – Frondelita



A série isomórfica dos minerais de rockbridgeita e frondelita na sua identificação através da difratometria de Raios-X, traz maiores problemas do que os da série da purpurita-heterosita, pelo fato das suas diferenças nos diagramas difratométricos serem bastante pequenas (veja os difratogramas 5,6,7). Depende Muito da relação entre Fe e Mn nos minerais analisados, para que essas

pequenas diferenças sejam detectáveis. Em caso de dúvida, necessita-se de análises químicas adicionais. Macroscopicamente é muito difícil identificá-los. No desenvolvimento das mineralizações secundárias, a rockbridgeita parece ser mais freqüente que a frondelita. Excelentes agregados desses minerais são encontrados nos pegmatitos de Hagendorf-Süd/Alemanha e de Boca Rica, perto de Galiléia/MG no pegmatito Alto Serra Branca, esses agregados são inferiores e ocorrem intercrescidos de diferentes cores (Cap. 7.1.) desenvolvidos dentro de uma matriz de purpurita. Com ausência de suficientes dados químicos, os minerais desta série serão denominados de rockbridgeita-frondelita. Os maiores cristais dessa rockbridgeita frondelita, até agora observados, não passam de cinco cm. Foto 6.

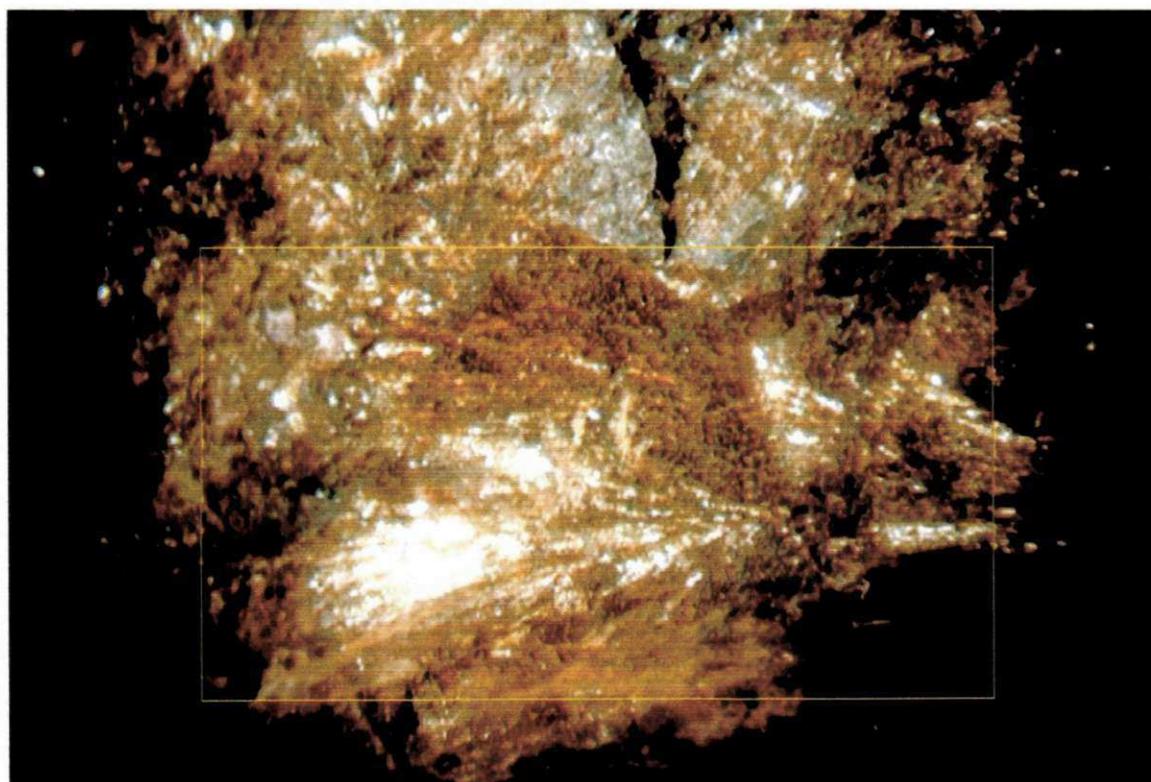
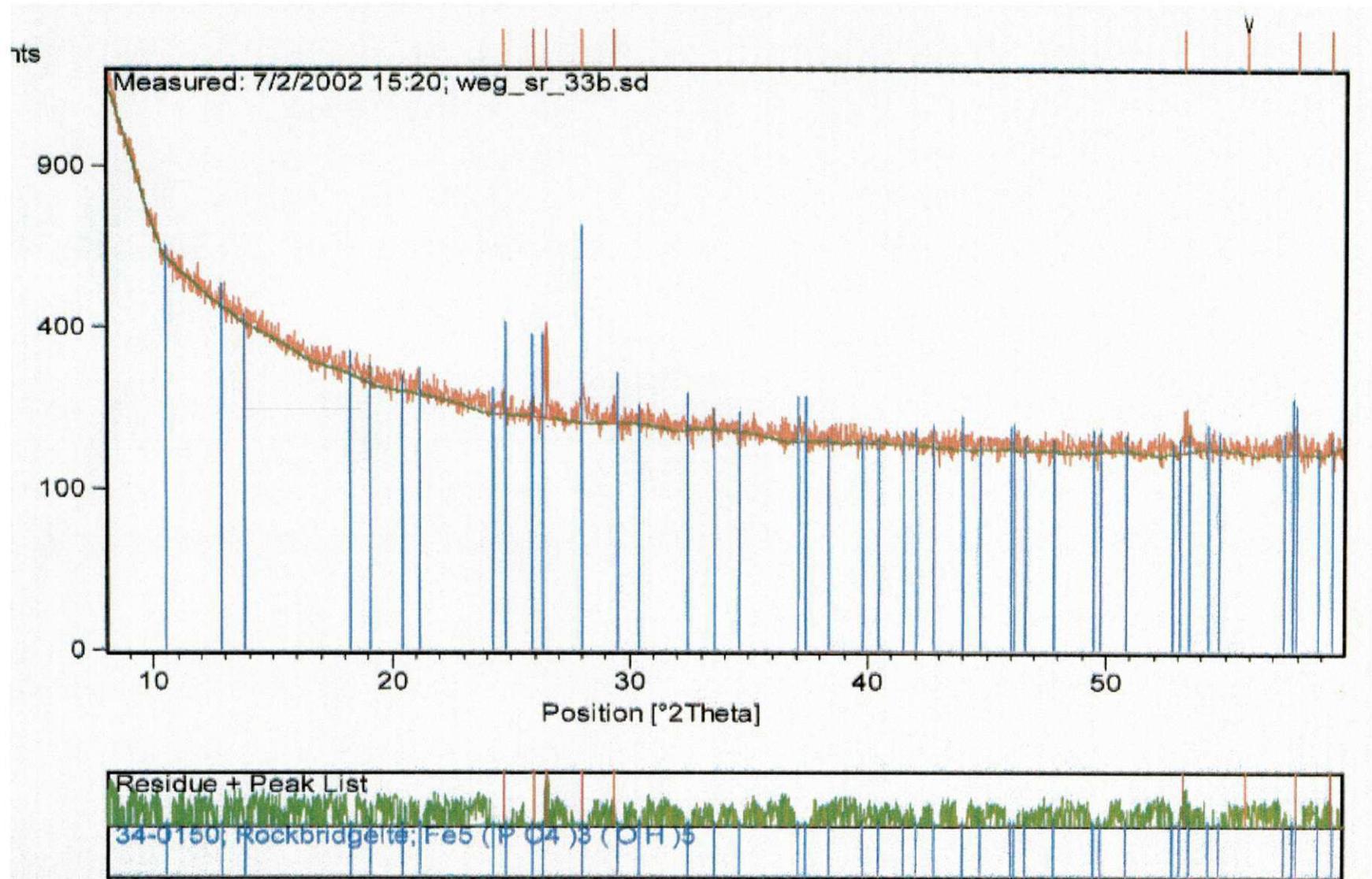
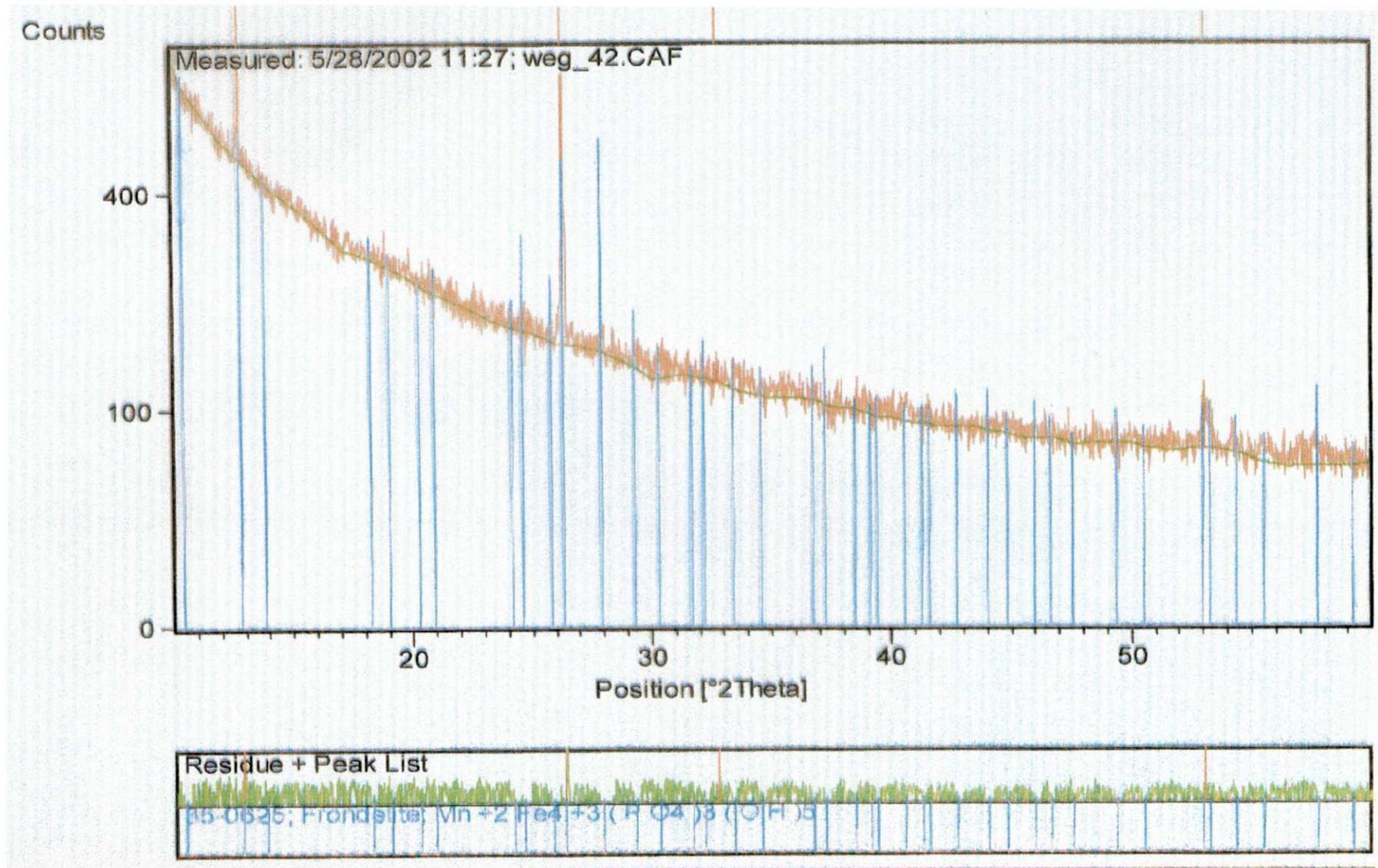


Foto 6: Agregado radial de rockbridgeita-frondelita (marrom) com 5 mm de comprimento

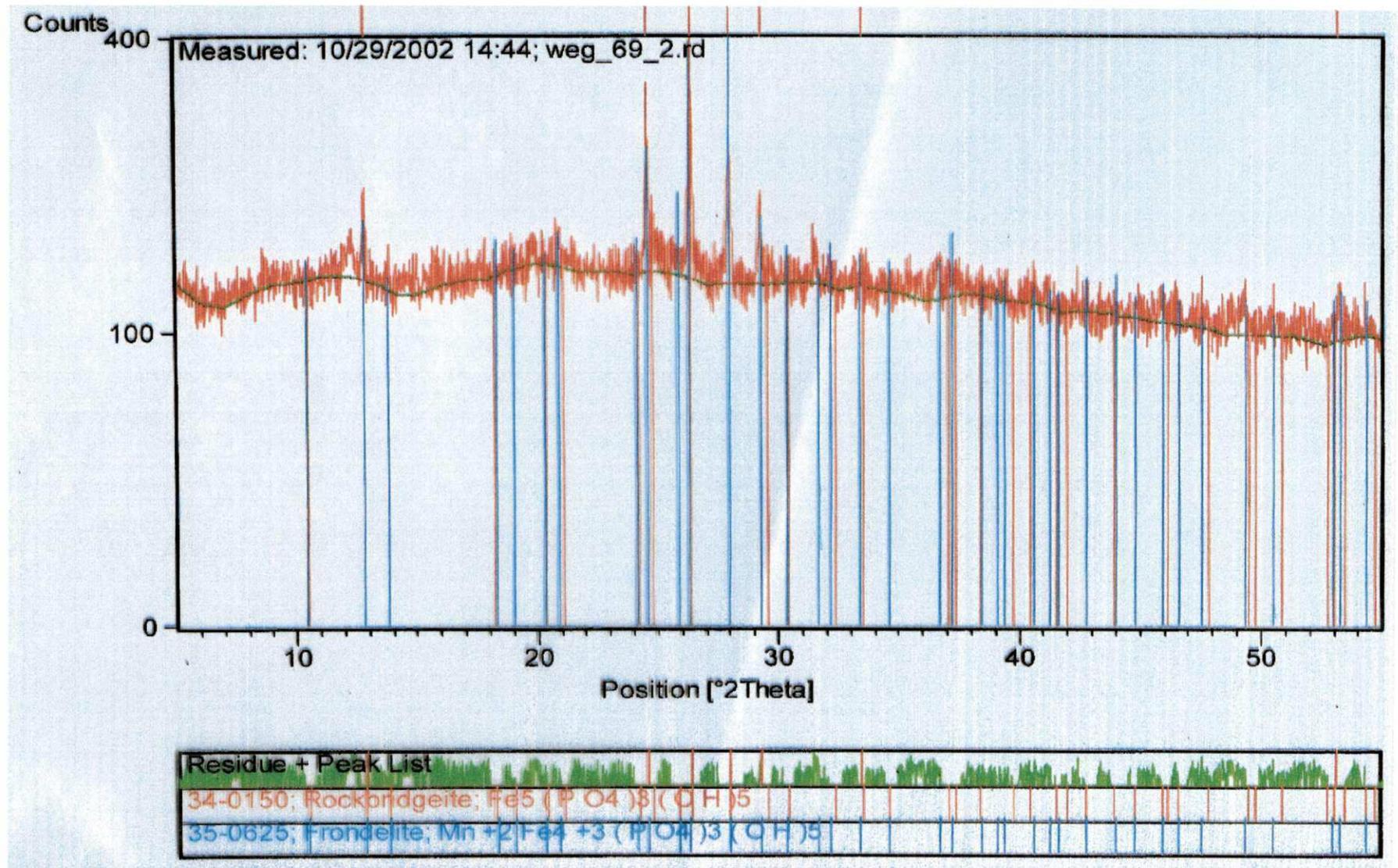


Difratograma 5: Resultado de análise de uma amostra da série rockbridgeíta-frondelíta, sugerindo a presença de rockbridgeíta

Execução: Wegner & Göske / Halle



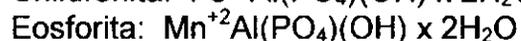
Difratograma 6: Resultado de análise de uma amostra da série rockbridgeíta-frondelita, sugerindo a presença de frondelita  
Execução: Wegner & Göske / Halle



Difratograma 7: Resultado de análise de rockbrigeíta-frondelita, mostrando a semelhança entre os dois diagramas.

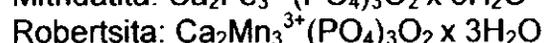
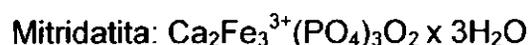
Execução: Wegner & Göske / Halle

### 6.2.3 Childrenita – Eosforita (“Childro-eosforita”)



No Alto Serra Branca existe outra série isomórfica como produto de transformação da trifilita-litiofilita, embora em pequenas quantidades e mais características para as paragêneses oriundas da triplita-zwieselita. A separação a olho nu dos dois minerais é muito complicada, enquanto não se apresentam em cristais maiores e bem formados (KARFUNKEL *et al.*, 1997). A eosforita tem a cor salmão e a childrenita é amarelo-amarronzada. Em indivíduos pequenos, sua identificação a olho nu é impossível, apresentando-se entre vermelha e marrom. Os difratogramas dos dois minerais são bastante semelhantes e mostram diferenças somente no caso de composições distintas, seja muito Fe ou muito Mn. A presença da childro-eosforita foi confirmada por análises feitas em Belém (W. SCHUCKMANN) e no Canadá (J.v. VELTHUIZEN).

### 6.2.4. Mitridatita - Robertsita



Os dois minerais acima formam outra série isomórfica; a Mitridatita é o membro de Fe e a Robertsita a de Mn.

A descrição da robertsita é relativamente recente (1974 - FLEISCHER *et al.*, 1991) e foi descrito primeiramente por MOORE, (1973) que comentou o mineral mitridatita:

“Presently, I am studying a remarkable specimen which shows iron black stubby hexagonal crystals with a perfect basal cleavage and a red-brown color in transmitted light. Its powder pattern is so similar to mitridatite to suggest that the desired and much sought after crystals have been found!” (pag. 121).

MOORE (1973) comentou que os cristais de mitridatita até aquele momento não tinham sido encontrados para completar o trabalho químico e cristalográfico neste mineral. Como mitridatita é da cor verde, ("The color is dull olive green to bile green which is very distinctive" – pág. 121) o mineral vermelho descrito aqui, na verdade, foi a primeira observação da robertsita, cuja cor é vermelho-escura e brilhosa. Os diagramas difratométricos dos dois minerais são bastante semelhantes, como já foi observado por MOORE (1973) embora mostrem pequenas diferenças (difratogramas 2 e 3). Em caso de dúvida, existem duas possibilidades: uma análise semiquantitativa através de SEM ou um "scanning" sobre uma área restrita do difratograma que pode revelar a verdadeira natureza do mineral (difratograma 4).

Prevalecem em todas as séries isomórficas deste tipo problemas de identificação. Quando a composição química fica perto da igualdade entre os elementos de Fe e de Mn, necessita-se neste caso, de análises quantitativas para sua identificação. No caso da série robertsita-mitridatita das amostras de Serra Branca, suas cores e aparências (brilho) são iguais. A mitridatita é mais comum que a robertsita, embora as duas existam em perfeita cristalização (7.1.).

### **6.3 Outros minerais em paragênese com a trifilita-litiofilita**

#### **6.3.1 Fosforossiderita–Strenguita e demais fosfatos secundários.**

Junto à purpurita ocorrem dois outros minerais: a fosforossiderita  $\text{Fe}^{3+}\text{PO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ , monoclinica e a strenguita da mesma fórmula, mas dimorfo (ortorrômbica) com a fosforossiderita.

A fosforossiderita é fortemente azul, muito semelhante a vivianita. A difratometria de Raios-X identifica a fosforossiderita com segurança. Macroscopicamente a olho nu nem sempre é fácil a separação da fosforossiderita e da

strenguita. Cristais de boa qualidade podem ser de cor azul mais claro com variações nas cores dos cristais de strenguita, geralmente de uma tonalidade lilás. É preciso de bastante experiência para identificá-las a olho nu. Sobretudo, em caso de dúvida a difratometria de Raios-X é determinante. Uma amostra do pegmatito Serra Branca, recolhido no ano 1990 por R. WEGNER e hoje pertencente à coleção mineralógica do Museu Nacional do Canadá, mostra crescimento rítmico radial entre a fosforossiderita e a strenguita na forma de anéis de diferentes cores com as partes externas de fosforossiderita e as partes internas de strenguita. A paragênese entre dois minerais dimorfos em crescimento orientado é extremamente incomum, talvez represente um único caso que geralmente, ocorra na mesma amostra, seja ela strenguita ou a fosforossiderita (Cap. 7.1.).

Um dos principais destaques desse pegmatito é a descoberta do novo mineral **Serrabrancaíta**, confirmado pela comissão da IMA (Internacional Mineralogical Association) e denominado por seus autores representando o local da sua descoberta, publicado no *American Mineralogist* (WITZKE *et al.*, 2000). Trata-se de um fosfato hidratado de manganês, monoclinico, de cor preta e em cristais de hábitos pseudo-octaédrico (Foto 7). Ela ocorre em pequenas drusas/cavernas dentro de purpurita-heterosita oxidada. O tamanho dos cristais é submilimétrico.



Foto 7: Cristais perfeitos do novo mineral Serrabrancaíta (SEM – 100x)  
Fonte: Museu Nacional do Canadá

Os demais minerais observados como derivados da trifilita-litiofilita ou intercrescidos com eles estão relacionados na Lista 1. A maioria está descrita detalhadamente no capítulo 7.1. (Paragêneses oriundo da trifilita-litiofilita).

Lista 1: Relação completa dos minerais em paragênese com a trifilita-litiofilita.

Albita secundária	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
Apatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$
Barbosalita	$\text{Fe}^{+2}\text{Fe}_2^{+3}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$
Cassiterita	$\text{SnO}_2$
Caulinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Childro-eosforita	$(\text{Fe}^{+2}, \text{Mn}^{+2})\text{Al}(\text{PO}_4)(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Criptomelano	$\text{K}(\text{Mn}^{+4}, \text{Mn}^{+2})_8 \text{O}_{16}$
Cyrllovita	$\text{NaFe}_3^{+3}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Dufrenita	$\text{Fe}^{+2}\text{Fe}_4^{+3}(\text{PO}_4)_3(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Ernstita	$(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x^{+3})\text{Al}(\text{PO}_4)(\text{OH})_{2-x}\text{O}_x$
Fosforossiderita	$\text{Fe}^{+3}\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Frondelita	$\text{Mn}^{+2}\text{Fe}_4^{+3}(\text{PO}_4)_3(\text{OH})_5$
Halloysita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Heterosita	$\text{Fe}^{+3}\text{PO}_4$
Hureaulita	$\text{Mn}_5^{+2}(\text{PO}_4)_2[\text{PO}_3(\text{OH})]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Jarosita	$\text{KFe}_3^{+3}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
Kidwellita	$\text{NaFe}_9^{+3}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{10} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Leucofosfita	$\text{KFe}_2^{+3}(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Limonita/Goetita	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
Lipscombite	$(\text{Fe}^{+2}, \text{Mn}^{+2})\text{Fe}_2^{+3}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$
Mitridatita	$\text{Ca}_2\text{Fe}_3^{+3}(\text{PO}_4)_3 \text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Purpurita-Heterosita	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{PO}_4$
Quartzo	$\text{SiO}_2$
Robertsita	$\text{Ca}_2\text{Mn}_3^{+3}(\text{PO}_4)_3 \text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Rockbridgeita	$(\text{Fe}^{+2}, \text{Mn}^{+2})\text{Fe}_4^{+3}(\text{PO}_4)_3(\text{OH})_5$
Serrabrançaita	$\text{MnPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Stewartita	$\text{Mn}^{+2}\text{Fe}_2^{+3}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \times 8\text{H}_2\text{O}$
Strenguita	$\text{Mn}^{+3}\text{PO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$
Strunzita	$\text{Mn}^{+2}\text{Fe}_2^{+3}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$
Tavorita	$\text{LiFe}^{+3}(\text{PO}_4)(\text{OH})$
Turmalina preta	$\text{NaFe}_3^{+2}\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$
Variscita	$\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Wavellita	$\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH},\text{F})_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$
Zircão	$\text{ZrSiO}_4$

#### 6.4 Minerais fosfatos secundários oriundos da triplita–zwieselita

Como foi abordada anteriormente, a triplita-zwieselita apresenta-se bem menos transformada que a trifilita-litiofilita. Geralmente, ocorre nos blocos isolados desse mineral uma fina cobertura de limonita com a superfície dos blocos caracteristicamente ondulada ou “cravada”, mas com pouca extensão em direção ao seu interior. De modo geral, a triplita-zwieselita aparece bastante fresca/inalterada e por isso não revela de imediato a sua riqueza de minerais secundários. Esses minerais são desenvolvidos em pequenas e até minúsculas fissuras dentro da triplita, necessitando-se quebrar os blocos na tentativa de ter acesso às mesmas. Nessas fissuras milimétricas desenvolvem-se grandes quantidades de diferentes minerais, embora extremamente pequenos.

Quanto à formação de minerais secundários oriundos da triplita, as observações de MOORE (1973): “Triplite surrenders itself to relatively few late stage products, quite distinct from the triphylite-lithiophylite series...” (p. 111) não têm sua confirmação no pegmatito Alto Serra Branca. Como já foi abordada, a triplita-zwieselita deu origem a uma paragênese bastante diversificada, semelhante em quantidade àquela da trifilita-litiofilita. As observações de MOORE (1973) estão confirmadas sobretudo na maioria dos pegmatitos fosfáticos, tendo como principal exemplo, os pegmatitos de Palermo#1 e Hagendorf-Süd, daí ser uma verdadeira exceção o pegmatito Serra Branca.

#### 6.4.1. Séries isomórficas

Diferente das trafilas-litiofilas, a única série isomórfica encontrada no meio das paragêneses do mineral fosfato primário foi a da childrenita-eosforita (a chamada childro-eosforita) que é bastante rara, em relação à trafilita-litiofilita. A childro-eosforita aqui é mais comum e geralmente acompanha a freqüente bermanita. Seus cristais são submilimétricos de cor entre vermelho e marrom e sempre de hábitus alongado (Cap. 7.2.).

#### 6.4.2. Outros minerais encontrados em paragêneses com a triplita-zwieselita

Destaca-se neste pegmatito uma paragênese absolutamente inédita em minerais fluoretos. Alguns deles foram encontrados apenas duas vezes. O desenvolvimento desses minerais revela um fato altamente interessante que é a liberação do elemento F e a sua imediata refixação. Ao contrário totalmente das paragêneses oriundas de trafilita-litiofilita, onde o elemento lítio foi liberado e não se encontra mais em minerais secundários (notavelmente, nem a ferrisicklerita foi encontrada até hoje), o elemento flúor apresenta inferior migração e permanece pelo menos parcialmente dentro do sistema, dando origem aos minerais pacnolita, colquiriita, carlhintzeita, ralstonita, fluellita, fluorita, thomsenolita e prosopita. Alguns deles ainda em paragêneses entre si. A colquiriita (Foto 8) foi encontrada pela segunda vez depois da sua descoberta na ocorrência estanífera de Colquiri/Bolívia, mas os únicos cristais desenvolvidos são oriundos do pegmatito Alto Serra Branca. A carlhintzeita (Foto 9) também foi encontrada pela segunda vez, descobrindo-se no pegmatito Hagendorf-Süd. Naquele pegmatito, esse mineral é desenvolvido de forma geminada, impossibilitando a definição exata da sua estrutura interna. Os cristais da Serra Branca não são geminados e permitiram essas análises estruturais que serão publicadas em breve. Descrições detalhadas dos minerais fluoretos, no capítulo 7.1.

Vários minerais de urânio foram encontrados dentro das paragéneses da triplita-zwieselita e ausentes nas outras paragéneses. (trifilitia-litiofilita) Todos eles são oriundos do mineral pechblenda. Ainda não foi estudada a possível causa da restrição da pechblenda com seus minerais secundários à série triplita-zwieselita, mas de qualquer forma o fato surpreende.

Os demais minerais observados oriundos ou intercrescidos com a triplita-zwieselita estão relacionados na tabela 6. A maioria deles está descrita detalhadamente no capítulo 7.2. (Paragéneses oriundos da triplita-zwieselita).

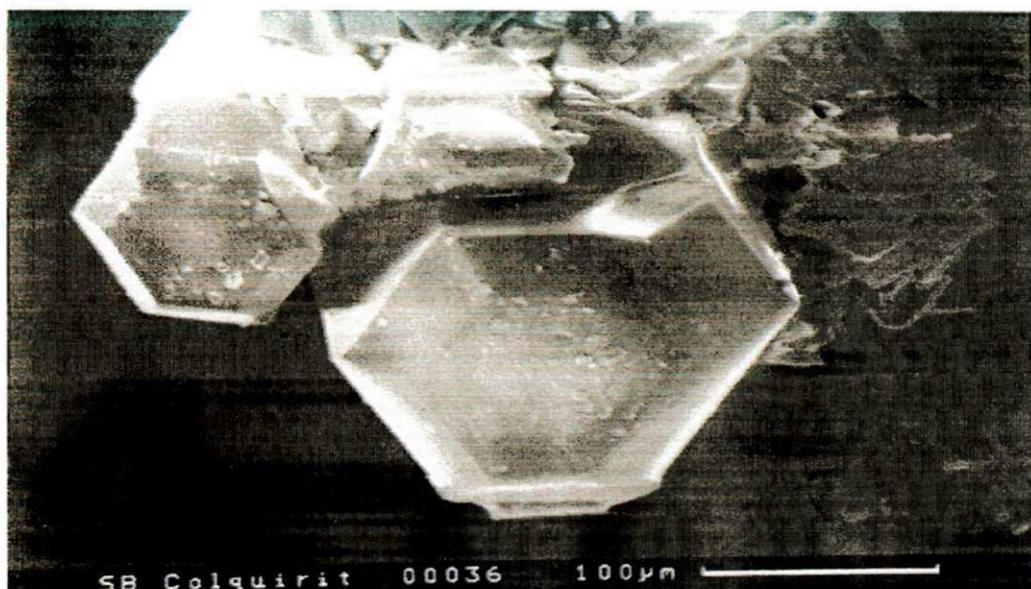


Foto 8: Cristais perfeitos de Colquiriita (imagem de SEM)  
Fonte: Instituto de Mineralogia/Halle

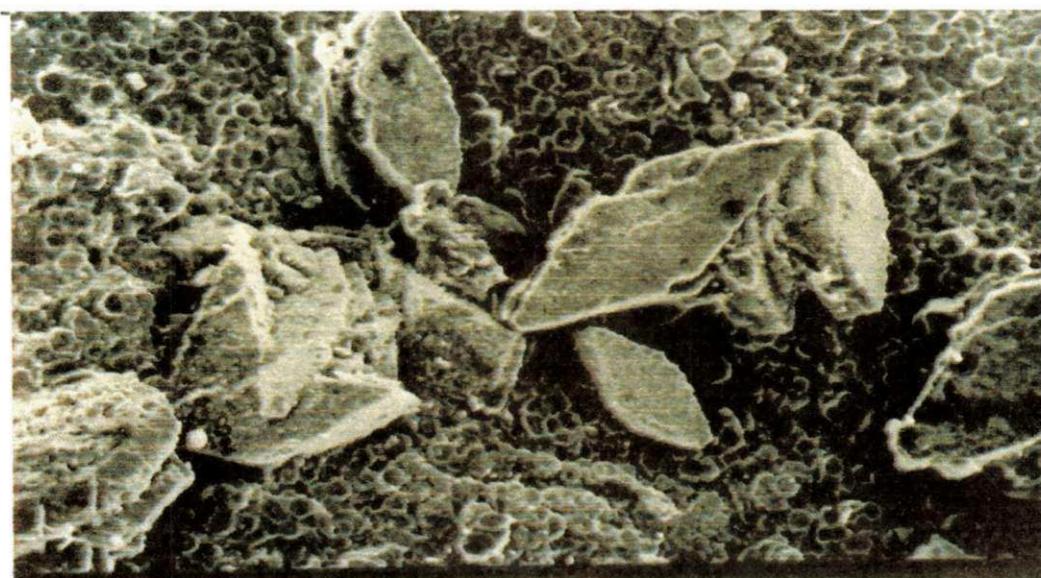


Foto 9: Cristais de carlhintzeíta (maiores) com apatita hexagonal – SEM 100x.  
Fonte: Instituto de Mineralogia/Halle.

**Lista 2: Minerais encontrados junto com a triplita-zwieselita.**

Albita secundária	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
Apatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$
Bermanita	$\text{Mn}^{+2}\text{Mn}_2^{+3}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Carlhintzeita	$\text{Ca}_2\text{AlF}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Caulinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Childro-eosforita	$(\text{Fe}^{+2}, \text{Mn}^{+2})\text{Al}(\text{PO}_4)(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Coeruleolactita	$(\text{Ca}, \text{Cu}^{+2})\text{Al}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \times 4\text{-}5\text{H}_2\text{O}$
Colquiriita	$\text{CaLiAlF}_6$
Criptomelano	$\text{K}(\text{Mn}^{+4}, \text{Mn}^{+2})_8\text{O}_{16}$
Fluellita	$\text{Al}_2(\text{PO}_4)\text{F}_2(\text{OH}) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Fluorita	$\text{CaF}_2$
Fosforossiderita	$\text{Fe}^{+3}\text{PO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$
Fourmarierita	$\text{PbU}_4^{+6}\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Frondelita	$\text{Mn}^{+2}\text{Fe}_4^{+3}(\text{PO}_4)_3(\text{OH})_5$
Ginnita	$\text{Fe}^{+2}\text{Fe}_4^{+3}(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$
Gumita	mistura de minerais secund. de U
Hureaulita	$\text{Mn}_5^{+2}(\text{PO}_4)_2[\text{PO}_3(\text{OH})]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Metatorbernitita	$\text{Cu}^{+2}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \times 8\text{H}_2\text{O}$
Morinita	$\text{NaCa}_2\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{F}, \text{OH})_5 \times 2\text{H}_2\text{O}$
Neotocita	$(\text{Mn}^{+2}, \text{Fe}^{+2})\text{SiO}_3 \times \text{H}_2\text{O} ?$
Pacnolita	$\text{NaCaAlF}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Pechblenda	$\pm \text{U}_3\text{O}_8$
Pirita	$\text{FeS}_2$
Prosopita	$\text{CaAl}_2(\text{F}, \text{OH})_8$
Ralstonita	$\text{Na}_x\text{Mg}_x\text{Al}_{2-x}(\text{F}, \text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Rockbridgeita	$(\text{Fe}^{+2}, \text{Mn}^{+2})\text{Fe}_4^{+3}(\text{PO}_4)_3(\text{OH})_5$
Rodocrosita	$\text{MnCO}_3$
Sabugalita	$\text{HAl}(\text{UO}_2)_4(\text{PO}_4)_4 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Strenguita	$\text{Fe}^{+3}\text{PO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$
Thomsenolita	$\text{NaCaAlF}_6 \times \text{H}_2\text{O}$
Todorokita	$(\text{Mn}^{+2}, \text{Ca}, \text{Mg})\text{Mn}_3^{+40}_7 \times \text{H}_2\text{O}$
Uranofânio	$\text{Ca}(\text{UO}_2)\text{SiO}_3(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Variscita	$\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Zwieselita secundária	$(\text{Fe}^{+2}, \text{Mn}^{+2})_2(\text{PO}_4)\text{F}$

## 7. DESCRIÇÃO DAS DIFERENTES PARAGÊNESES

### 7.1 Paragênese Oriundas da Trifilita-Litiofilita

#### AMOSTRA SB 7 +7J:

A anterior matriz de trifilita-litiofilita foi transformada em uma mistura de purpurita-heterosita oxidada e mitridatita com presença de quartzo. Essa paragênese foi observada como a mais diversificada.

**Mitridatita:** várias drusas com perfeitos agregados em forma de “bolas” de cor vermelha escura e de brilho forte e é também o principal mineral da matriz.

**Quartzo:** maciço e com cristais, várias drusas pequenas com cristais bem desenvolvidos.

**Ernstita:** cristais de cor marrom-avermelhados de até 6 mm de comprimento e servem também como preenchimento de uma fissura dentro da mitridatita. Estes cristais de ernstita, pela bibliografia, estão entre os melhores da sua espécie, são diferentes daqueles descritos em KARFUNKEL *et al.* (1997) os quais na verdade são oxi-childrenitas. Do mineral ernstita, são poucas as ocorrências confirmadas. Sabe-se que na sua primeira descoberta, no pegmatito perto de Karibib/ Namíbia, a ernstita é um produto de alteração do mineral eosforita, (SEELIGER & MÜCKE, 1970) enquanto no pegmatito Alto Serra Branca parece com mineral secundário derivado diretamente da trifilita.

**Rockbridgedita-Frondelita:** agregados finos e fibrosos de cor amarela até verde.

**Criptomelano:** pequenas coberturas botrióidais pretos de brilho forte.

**Cyrllovita:** minúsculos cristais amarelo-esverdeados e com brilho forte.

**Leucofosfita:** junto com quartzo e em minúsculas cavernas, cristais abaixo de 0,1 mm, branco-amarelados.

**Lipscombita:** poucos flocos na matriz, verde-escuros.

**Dufrenita:** pequenas coberturas verdes sobre a mitridatita.

**Childro-eosforita:** poucos e minúsculos cristais avermelhados de tamanho inferior a 0,1 mm.

**Apatita:** terroso e de cor branca em coberturas.

**Variscita:** pequenas coberturas branco-amareladas, extremamente semelhantes à apatita e poucos cristais subdesenvolvidos.

**Não-identificados:** um mineral minúsculo amarelo em agregados fibrosos e de brilho sedoso, possivelmente **beraunita**. Também pequenos agregados marrons-cinza, apresentando no mínimo mais dois minerais terrosos botrióidais.

#### **AMOSTRA SB 12 a:**

A trifulita-litiofilita anterior encontra-se em vários estágios de alteração, formando uma mistura de material fresco e oxidado com purpurita-heterosita e hureaulita.

**Fosforossiderita:** coberturas maciças de cor azul forte.

**Strenguita:** pequenos cristais de cor lilás em diferentes tonalidades.

**Rockbridgerita-Frondelita:** pequenos agregados verdes em forma de microcristais ou terrosos.

**Variscita:** uma pequena drusa com cristais espetaculares, vermelho forte, bem semelhante à rodocrosita.

#### **AMOSTRA SB 12 b:**

A matriz de trifulita-litiofilita totalmente transformada, aparência de purpurita-heterosita e análises difratométricas mostraram que se trata de uma massa indefinida.

**Serrabrancaíta:** pequenas drusas dentro da matriz, minúsculos cristais de hábitus pseudo-octaédrico e cor preta (Foto.7), trata-se de um novo mineral; um hidrato-fosfato de manganês, descoberto por R. WEGNER, denominado através da sua ocorrência e publicado por WITZKE *et al.* (2000).

**Fosforossiderita:** pequenas coberturas maciças de cor azul.

**Não-identificado:** um mineral terroso de cor amarela.

#### **AMOSTRA SB 13:**

Paragênese típica:

**Trifilita-litiofilita**, por parte inalterada, de cor cinza clara.

**Hureaulita**: cristais alongados avermelhados.

**Tavorita**: isolados flocos amarelos.

**Barbosalita**: minúsculos cristais de cor verde escuros

**Fosforossiderita**: pequenas partes maciças de cor azul.

**Purpurita-heterosita**: pequenas partes maciças de cor púrpura-escura.

#### **AMOSTRA SB 24:**

**Cassiterita**: fragmento de cristal de cor marrom-escuro, de 10 mm de comprimento, dentro de trifilita-litiofilita inalterada.

**Hureaulita**: agregado de cristais em arranjo radial vermelho-claro e comprimento máximo de 9.

#### **AMOSTRA SB 45:**

A matriz desta amostra é totalmente transformada em uma mistura de vários minerais diferentes:

**Rockbridgeita-Frondelita**: agregados fibrosos escuros de arranjo radial e comprimento máximo de 12 mm (principal mineral presente).

**Fosforossiderita**: pequenos flocos e cristais nitidamente intercrescidos com **hureaulita** (grãos vermelho intenso) **tavorita** (flocos amarelos) e **strenguita** (lilás claro). **Purpurita-heterosita** maciça e de cor púrpura escura.

#### **AMOSTRA SB 60:**

Paragênese bastante típica. A matriz de trifilita-litiofilita é transformada em uma mistura de **mitridatita**, **rockbridgeita-frondelita** e **limonita** com a presença de muitas drusas.

**Mitridatita:** além da sua participação na matriz, contém muitas drusas mineralizadas com excelentes cristais vermelho-escuros e de brilho forte, desenvolvidas em grupos de cristais tabulares, ou em agregados radiais fazendo agrupamentos globulares (Foto 10) Os indivíduos têm tamanho máximo de 0,5 mm.

**Rockbridgeita-frondelita:** apresenta-se também em grupos radiais de até 0,6 mm de comprimento.

**Cyrllovita:** há dentro de uma pequena drusa minúsculos cristais amarelo-escuros com brilho forte de tamanho abaixo de 0,1 mm.

**Quartzo:** há em algumas drusas pequenos agregados bastante corroídos.

**Limonita:** são agregados terrosos amarelados em várias partes da amostra.



Foto 10: Drusa com agregados globulares de mitridatita ("bolinhas" de 0,5 mm)

#### **AMOSTRA SB 67:**

**Wavellita:** encontra-se dentro de pequenos espaços ocos ou em drusas em perfeitos cristais brancos com formas capilares extremamente finos, de comprimento entre 0,1 e 0,3 mm. Muitos deles ocorrem em grupos formando agregados globulares ("bolas") perfeitos.

**Criptomelano:** são agregados pretos presentes em vários pontos da amostra.

**Não-identificado:** outro mineral, bem menor, branco e de brilho forte, de hábitus octaédrico acompanhando as wavellitas. Esse mineral somente é visível com ampliação máxima do binocular. Extremamente minúsculos agregados marrom-claros intercrescidos com as wavellitas.

#### **AMOSTRA SB 69:**

A matriz desta amostra é transformada principalmente em rockbridgeita-frondelita e mitridatita que estão dispostas em drusas muitas pequenas.

**Rockbridgeita-frondelita:** além da sua presença na matriz, percebe-se alguns agregados radiais em forma de pequenas "buchas", variando entre marrom e esverdeado dentro das drusas ou espaços ociosos.

**Ernstita:** dentro da matriz formada por rockbridgeita-frondelita e mitridatita existem cristais prismáticos isolados e estriados, com coloração vermelho-amarronzada, medindo até 3 mm de comprimento.

**Limonita:** são agregados amarelados como alteração dos minerais da matriz.

**Não-identificada:** em toda parte da amostra, com maior freqüência nas drusas, se forma um mineral de cor marrom até amarelo-alaranjado com brilho estranho do tipo graxoso-resinoso, com forma coloidal e cristalograficamente amorfa.

#### **AMOSTRA SB 100**

É paragênese bastante diversificada e rara. A matriz é composta por purpurita-heterosita oxidada.

**Fosforossiderita:** é bastante freqüente nesta amostra, formando pequenas drusas e também como produto de transformação da purpurita-heterosita azul forte, embora em pequenos cristais (entre 0,2 e 0,3 mm).

**Strenguita:** acompanha a fosforossiderita, mas em agregados pequenos e muitas vezes, misturadas. Sua cor é lilás-clara.

**Kidwellita:** é um mineral bastante raro, descoberto em 1978 (ROBERTS *et al.*, 1990:440). Foi desenvolvido sobre a fosforossiderita em micro-cristais sedosos, amarelos e os indivíduos agrupados, formando pequenas bolas.

**Leucofosfita:** No pegmatito Hagendorf-Süd/Alemanha é um mineral secundário comum, enquanto no Alto Serra Branca até hoje apenas se encontrou nesta amostra. Ocorre dentro de uma pequena caverna, em micro-cristais de cor branca até ligeiramente amarelada.

**Cyrllovita:** são pequenos cristais amarelos com brilho forte típico.

**Childro-eosforita:** são pequenas coberturas de cristais em forma de agulhas, marrom avermelhada.

**Criptomelano:** poucos agregados pretos de forma botrioidal.

**Apatita:** é uma cobertura terrosa branca.

**Quartzo:** encontra-se dentro da matriz, com poucas lascas transparentes.

**Não-identificado:** um mineral terroso bastante freqüente amarelo, cujo difratograma não mostra estrutura interna (amorfo).

#### **AMOSTRA SB 114**

A matriz é composta por purpurita-heterosita. Dentro de uma drusa maior nessa matriz há grande número de diferentes minerais:

**Fosforossiderita:** além da presença na matriz em forma de flocos maciços azuis, forma parcialmente a parte mais externa da drusa, junto com outro mineral do grupo de **jarosita**.

**Cyrllovita:** são freqüentes cristais amarelo-escuros, de brilho forte, geralmente em pequenos grupos com o tamanho dos indivíduos abaixo de 0,1 mm.

**Strenguita:** são pequenos cristais ou grãos de cor lilás claros.

**Lipscombite:** agregados verde-escuros nitidamente intercrescido com strenguita.

**Jarosita** (do grupo das alunitas): é terrosa com cor amarelo-alaranjada, intercrescida na fosforossiderita e em agregados isolados.

#### **AMOSTRA SB/G 128:**

É uma amostra de aparência estranha, porém espetacular, composta principalmente por **quartzo** e **apatita**, acompanhados por limonita. Muitas drusas pequenas dessa amostra foram cobertas principalmente por uma camada de cristais de quartzo incolor. Em seguida, cristalizou-se outra camada

de apatita branca com quartzo, e, finalmente outra camada apenas de apatita, formando estruturas rítmicas e esféricas.

### **AMOSTRA SB –SN 3:**

A matriz dessa amostra é composta de rockbridgeita-frondelita, robertsita, purpurita-heterosita, strenguita e hureaulita.

**Rockbridgeita-frondelita:** são fibras e agregados de fibras em arranjo radial com comprimento até 4 mm. A cor varia entre verde escuro e marrom, com fibras mais finas de cor amarela, possivelmente pseudomorfos de rockbridgeita-frondelita para ernstita.

**Robertsita:** são pequenas muitas placas extremamente finas que agrupadas em agregados radiais, desenvolveram dentro de pequena drusa excelentes “bolas” desse mineral, (Foto 11). O tamanho dessas “bolas” é em torno de 0,1 mm. A cor da robertsita é vermelho-escuro com brilho forte e típico

**Strenguita:** além da sua participação na matriz, há em pequenas drusas a presença de minúsculos cristais desse mineral, cor lilás-clara, até rósea.

**Hureaulita:** há somente na matriz, em pequenos grãos de cor vermelha forte.

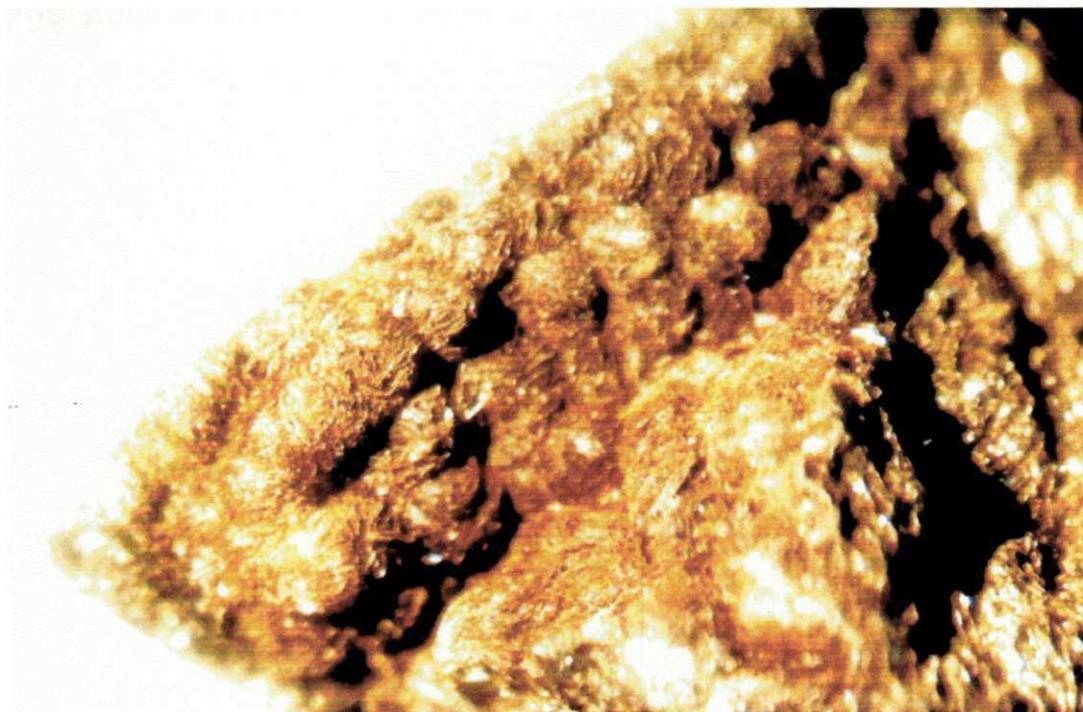


Foto 11: Agregados globulares de robertsita (“bolinhas” de 0,5mm)

**AMOSTRA SB-SN 4:**

Sua matriz é composta por purpurita de cor escura com pouco quartzo.

**Lipscombite:** foi desenvolvida sobre a purpurita e apresenta duas diferentes cores: verde (igual a dufrenita) e amarela (Foto 12). Em alguns pontos da amostra ocorre a transformação da lipscombite verde em amarela, a parte verde como cobertura fina terrosa em cima da purpurita e a outra de cor amarela em pequenas drusas com minúsculos cristais. A lipscombite amarela foi confirmada por J. V. VELTHUIZEN do Museu Nacional do Canadá através de difratometria de Raios-X. Geralmente a lipscombite é verde-escura e muitas vezes intercrescida com a barbosalita (verde-escura) mas a sua cor amarela também foi confirmada por KASTNING *et al.* (1994, p. 63).



Foto 12: Cobertura terrosa de cor verde da Lipscombite

**AMOSTRA SR 4:**

Matriz composta principalmente por purpurita-heterosita oxidada.

**Fosforossiderita:** dentro de várias drusas pequenas há excelentes cristais de cor azul forte em torno de 0,1 mm de tamanho, (Foto 13). Há também pequenos flocos de fosforossiderita, de cor azul pálida na matriz.

**Strenguita:** são cristais de cor lilás clara até avermelhada dentro de uma drusa em forma de agregados globulares.

**Não-identificados:** os agregados globulares de strenguita têm outra cobertura também globular, de cor amarela, cristalograficamente amorfa. Sob essas crostas amarelas, aparecem as “bolas” de strenguita. Existem mais dois minerais terrosos amorfos e não identificáveis, um de cor amarelo-claro e outro amarelo mais escuro. O mineral da cor amarelo-claro tem grande semelhança ao mineral beraunita.

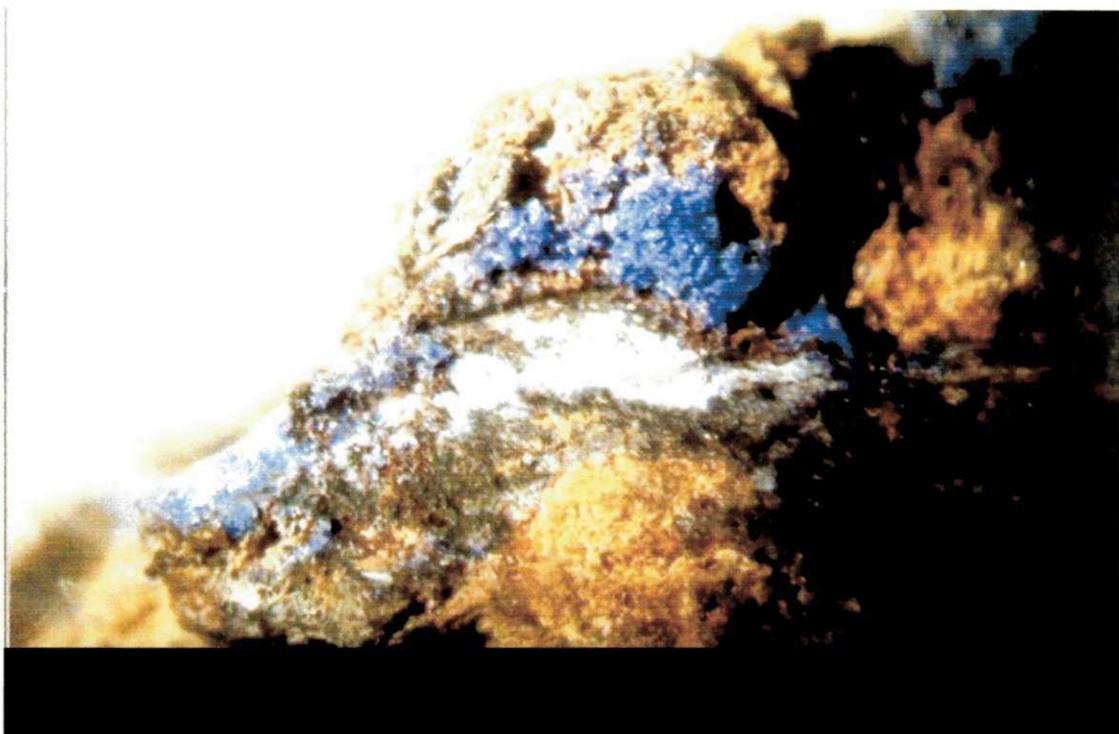


Foto 13: Cristais azuis de fosforossiderita (cristais de 0,1mm)

#### **AMOSTRA SR 7:**

Paragênese interessante. A matriz de trifulita-litiofilita apresenta-se parcialmente transformada em purpurita oxidada.

**Quartzo:** dentro da parte inalterada da trifulita-litiofilita há minúsculos cristais perfeitos, biterminados, transparentes e incolores, tamanhos abaixo de 0,3 mm.

**Ernstita:** relativamente freqüente e ocorre em cristais prismáticos, estriados e de cor parda-avermelhada, os maiores cristais dessa amostra atinge apenas 5 mm (Foto 14).

**Cyrllovita:** há dentro de uma drusa, freqüentes cristais amarelos de brilhos típicos, acompanhados por agregados de quartzo.

**Zircão:** cercado por cristais prismáticos de ernstita, há um pequeno fragmento, de cor rósea-pálida.

**Hureaulita:** encontra-se dentro de partes da trifilita-litiofilita dando início ao desenvolvimento de grãos irregulares desse mineral de cor vermelha.

**Fosfrossiderita:** está presente também na matriz em agregados terrosos de cor azul-pálida.



Foto 14: Cristais marrons de Ernstita (5mm)

#### **AMOSTRA SR 9:**

A matriz é composta por purpurita-heterosita. Numa fissura fina dentro dessa matriz há o desenvolvimento de vários minerais de diferentes espécies.

**Rockbridgeita-frondelita:** é o mais freqüente dos minerais. Tem fibras radiais de cor parda-avermelhada bem semelhante à cor da ernstita. As “buchas” radiais desse mineral atingem até 3 mm.

**Lipscombita:** há semelhança com a amostra SB-SN 4, nesta amostra também de cor amarelo-amarronzada com agregados terrosos, a presença de

lipscombite dessa cor, junto com as observações de KASTNING *et al.* (1994), indicam mudanças entre a relação de  $Fe^{+2}$  e  $Mn^{+2}$ , fato que deverá ser estudado em breve, através de análises químicas quantitativas.

**Fosforossiderita:** ocorre junto com a lipscombite e também em agregados terrosos, de cor azul-pálida.

**Criptomelano:** junto a rockbridgeita-frondelita em agregados pretos botrioidais.

#### **AMOSTRA SR 13:**

Matriz: composta por purpurita-heterosita.

**Rockbridgeita-frondelita:** são agregados porosos, verdes e indiscerníveis da lipscombite, necessitando inevitavelmente da execução de difratometria de Raios-x.

**Variscita:** existem várias drusas extremamente minúsculas, visíveis somente com a ampliação máxima do binocular (40x) com cristais de cor vermelha forte, semelhante a strenguita.

**Strunzita:** encontra-se junto com as drusas de variscita, também minúsculas drusas de agregados sedosos de formas globulares, amarelo-claros.

**Fosforossiderita:** agregados terrosos azulados em várias partes da amostra.

#### **AMOSTRA SR 24:**

Matriz: purpurita-heterosita oxidada.

**Variscita:** apresenta-se diferente das amostras SR 13 ou SB 12a, a variscita nessa amostra é de cor branca, terrosa e indiscernível da apatita, faz coberturas em várias partes da amostra.

**Lipscombite:** encontra-se em agregados terrosos de cor amarelo-amarronzada.

**Fosforossiderita:** ocorre junto a lipscombite, azul e com poucos micro-cristais.

**Criptomelano:** coberturas finas e poucos agregados botrioidais, ambos pretos.

**Não-identificado:** dentro de criptomelano uma minúscula drusa com agregados de agulhas em forma de ouriço, de cor marrom, mas visível somente com a ampliação máxima do binocular. Pela cor e aparência, possivelmente childro-eosforita ou bermanita.

**AMOSTRA SR 26:**

Matriz composta de vários minerais diferentes, com resquícios ainda visíveis da trífilita-litiofilita anterior.

**Rockbridgeita-frondelita:** é o mineral principal da atual matriz. As relações entre os minerais indicam que a rockbridgeita-frondelita forma-se da purpurita-heterosita. No mineral existem duas aparências diferentes, uma de cor verde- escura, quase preta e outra marrom até vermelho, essa cor é bem semelhante a robertsita-mitridatia, mas em agregados fibrosos e buchas de fibras. A maior delas se apresentou com comprimento de 16 mm.

**Purpurita-heterosita:** com aparência maciça e cor púrpura escura.

**Fosforossiderita:** também é bastante freqüente, principalmente em drusas ou espaços ociosos. Cor azul ou azulada, terrosa e sem cristais bem desenvolvidos.

**Strenguita:** são grãos ou agregados pouco desenvolvidos, lilás-claros e estão em várias partes da amostra.

**Stewartita:** grupos e filigranas de cristais alongados, amarelos e brilho forte, embora extremamente pequenos sobre a fosforossiderita dentro de uma das drusas. Essas stewartitas têm grande semelhança com aquelas descritas por KASTNING *et al.* (1994, p. 71).

**Lipscombita:** são agregados terrosos que acompanham a fosforossiderita.

**Hueraulita:** apresenta-se como mineral principal em grãos vermelhos junto com os restos da trífilita-litiofilita.

**Não-identificados:** há dentro de outra drusa, também sobre a fosforossiderita, cristais brancos, um pouco alongados e com brilho nacarado, igual às scholzitas/parascholzitas, descritas por KASTNING *et al.* (1994, p. 70).

**AMOSTRA SR 29:**

Matriz composta por purpurita-heterosita.

**Variscita:** encontra-se dentro de uma fissura da purpurita-heterosita em cobertura branco-amarelada, na maior parte terrosa. Junto ao desenvolvimento terroso há alguns cristais isolados, cinza-amarronzados de hábitus pouco desenvolvido e mais ou menos octaédrico. Segundo ROBERTS *et al.* (1990, p. 914) cristais isolados de variscita são considerados raridade e, conseqüentemente, significam mais uma raridade deste pegmatito.

**Albita:** junto com a variscita terrosa, há pequenos agregados de albita branca, de formação secundária, que é bastante surpreendente.

**Fosforossiderita:** são pequenos flocos azuis, que se formaram junto a **strenguita** (lilás-claro) e **lipscombite** (amarelo-amarronzado).

#### AMOSTRA SR 30:

Matriz: purpurita.

**Robertsita:** em pequenas cavernas dentro de purpurita há cristais de robertsita de cor vermelha escura, eles são desenvolvidos isoladamente ou em grupos de arranjo paralelo e radial. O tamanho dos cristais individuais da robertsita varia de 0,1 a 0,7 mm.

**Childro-eosforita:** são esqueletos de cristais ou grupo de agulhas de 0,1 mm em forma de ouriço, de cor marrom e desenvolvidas sobre a purpurita.

**Apatita:** cobertura branco-amarelada sem desenvolvimento de cristais.

**Fosforossiderita:** dando início da transformação da purpurita para flocos azuis.

**Não-identificado:** encontra-se perto de cavernas com cristais de robertsita, crosta marrom-amarelada fina, composta por micro-cristais.

#### MOSTRA SR 32:

Matriz: composta de purpurita-heterosita, por parte alterada, causando uma paragênese bastante diversificada.

**Strenguita:** é o mais significativo dos minerais oriundos da purpurita-heterosita. Desenvolvida principalmente em grande número de "bolas" de cristais de até 0,5 mm de diâmetro com cor lilás clara. Existem também rosetas de strenguita da mesma coloração com brilho forte e em arranjo radial, além da existência de cristais isolados desse mineral.

**Mitridatita:** encontra-se em forma de preenchimento de fraturas, em agregados compactos, sem cristais bem desenvolvidos, de cor vermelho-escura e seu característico brilho forte.

**Rockbridgeita-frondelita:** geralmente de cobertura verde fina com poucas buchas fibrosas. O início da transformação da purpurita-heterosita nesta

amostra pode ser estudada de maneira exemplar porque numa parte existe um filme extremamente fino em cima dessa, causando um brilho sedoso muito semelhante ao brilho da triplita verde.

**Criptomelano:** é muito freqüente nesta amostra, em agregados pretos botriodais e brilho forte. Há também coberturas compactas desse mineral em cima da prupurita-heterosita.

**Não-identificados:** existem no mínimo três diferentes minerais terrosos, de cor branca, amarela e marrom-alaranjada, cuja natureza ainda não foi estudada. A última provavelmente é limonita.

### **AMOSTRA SR 33:**

Outra paragênese típica. A purpurita-heterosita encontra-se quase transformada por completo.

**Rockbridgeita-frondelita:** mineral mais abundante na amostra. Apresenta-se em gregados fibrosos e buchas de fibras de comprimento máximo de 3 mm de diferentes cores: amarela, esverdeada, vermelha e marrom, a maioria deles com brilho sedoso.

**Cyrllovita:** em várias cavernas dentro da rockbridgeita-frondelita mais compacta, há cristais pequenos na ordem de 0,1 mm, mas em grande número. Suas cores variam entre o amarelo-claro e amarelo-amarronzado.

**Fosforossiderita:** azul, principalmente em agregados terrosos.

**Criptomelano:** embora muito pequeno e com freqüentes agregados pretos botriódais, de cor preta e brilho forte.

**Strenguita:** há duas aparências diferentes, em partes maciças de cor entre lilás e vermelha e em minúsculas "bolinhas" de cristais semelhantes àquelas da amostra SR 32.

**Mitridatita:** encontra-se em pequenas quantidades, nitidamente intercrescidas com a rockbridgeita-frondelita e de difícil detecção.

**Não-identificados:** a) a presença de uma pequena e estranha cobertura de cor cinza e de brilho forte e resinoso;  
b) a existência de vários agregados terrosos que ainda não foram estudados.

## 7.2 Paragêneses Oriundas de Triplita-Zwieselita

### AMOSTRA SB 49

**Rockbridgeita-frondelita:** uma fissura dentro da triplita é preenchida por agregados alongados e escuros em forma de buchas radiais e alguns com aparência granular, mas de traço verde. Os maiores agregados têm comprimento de 7 mm.

**Apatita:** são crostas maciças de desenvolvimento botrioidal e cor variando entre branca e amarelada.

**Fosforossiderita:** existem pequenos inícios de formação desse mineral em minúsculos flocos azul-pálidos.

### AMOSTRA SB 50:

Paragênese típica.

**Bermanita:** é o mineral mais freqüente nas fissuras da triplita-zwieselita, aparece marrom-escuro até avermelhado e em forma de blocos (não prismáticos), muitas vezes são agrupados em formas radiais, formando pequenas "bolas". O tamanho dos indivíduos não ultrapassa 0,2 mm.

**Pacnolita:** há grande quantidade de cristais, na sua maioria prismáticos, brancos ou incolores, em geral são desenvolvidos isoladamente com um agregado de arranjo radial (tipo estrela) com diâmetro máximo de 4 mm

**Fosforossiderita:** pequenos cristais azuis, menos de 0,2 mm, os melhores deles encontram-se perto do agregado radial da pacnolita

**Criptomelano:** apresenta-se em vários pontos da amostra como pequenas coberturas pretas, em forma botrioidal, por parte, cobrindo outros minerais.

#### **Não-identificados:**

a) mineral marrom-claro, em forma de cacho ou radial, junto a pacnolita com pouco brilho e baixo índice de refração.

b) pequenos agregados brancos, macroscopicamente amorfos ou em agregados que não apresentam formas cristalinas.

c) mineral terroso amarelo, sem estrutura interna (difratometricamente amorfo).

**AMOSTRA SB 75**

**Strenguita:** são rosetas perfeitas de até 2 mm de diâmetro, por parte, em desenvolvimento rítmico com a fosforossiderita. Normalmente a formação começa com um núcleo de fosforossiderita (azulada) e continua com strenguita (lilás-clara). Essa seqüência pode ser repetida várias vezes, sendo a strenguita a principal fase. A formação dessas rosetas de strenguita com fosforossiderita é característica para as paragêneses oriundas de triplita-zwieselita, embora pouco entendido, porque os dois minerais são dimorfos.

**Childro-eosforita:** termo usado por RAMDOHR *et al.* (1967, p. 619) para caracterizar uma mistura entre a childrenita e a eosforita dessa série isomórfica e é freqüentemente usado pelos mineralogistas como abreviatura. A childro-eosforita dessa amostra, na maior parte, cristalizou-se sobre a bermanita. Os cristais têm hábitos de pequenas agulhas ou de prismas finos, têm cor vermelha e tamanho máximo de 0,5 mm.

**Bermanita:** cristais menores de 0,1 mm, são marrom-escuros e comportam-se como cobertura da matriz de triplita-zwieselita.

**Pacnolita:** há em vários pontos da amostra, em agregados prismáticos transparentes, mas por parte corroídos.

**Não-identificado:** mineral em forma de cobertura amarela e de caráter amorfa, abundante sobre a triplita-zwieselita, um mineral terroso que apesar de várias difratometrias de Raios-X não foi possível definir sua natureza.

**AMOSTRA SB-G131:**

**Giniita:** há dentro de uma drusa de 4 mm de diâmetro, cristais pretos com brilho forte, de tamanho abaixo de 0,1 mm. Parte dos cristais são agrupados, formando pequenas bolinhas. Pela bibliografia trata-se da segunda ocorrência mundial, sendo a primeira do pegmatito Sandamab/Usakos na Namíbia no ano de 1980. O forte brilho dos cristais do pegmatito Alto Serra Branca difere daqueles do pegmatito Sandamab, cujo brilho é vítreo até graxoso. O resultado difratométrico para a ginnita do Alto Serra Branca foi confirmado através de análise química com SEM.

**Não-identificado:** a ginnita é acompanhada na mesma drusa por outro mineral de cor marrom em agregados extremamente pequenos.

**AMOSTRA SB-SN 1:**

Paragênese inédita, desenvolvida dentro de uma fissura na triplita-zwieselita.

**Colquiriita:** há dois grupos de cristais prismáticos em arranjo radial, incolor e bem semelhante ao quartzo, mas com índice de refração muito menor. Cristais de colquiriita foram descobertos pela primeira vez neste pegmatito, sendo a primeira ocorrência perto de Colquiri/Bolívia, onde o mineral somente ocorre em grãos intercrescidos com ralstonita, gearsutita, esfalerita, madocita e pirita. Os cristais de colquiriita do Alto Serra Branca, embora os únicos conhecidos, mostram diferentes hábitos do seu sistema trigonal (veja amostra SB-SN-2). O tamanho do maior grupo radial atinge 5 mm (Foto 15).

**Ralstonita:** a pouca distância do grupo dos cristais de colquiriita ocorrem octaedros isolados desse mineral, de cor branca, parcialmente corroídos e o maior indivíduo tem apenas 0,5 mm (Foto 16).

**Childro-eosforita:** Os dois minerais, a colquiriita e a ralstonita, cristalizaram-se sobre um “tapete” de cristais dessa childro-eosforita. Os minúsculos cristais de coloração marrom-avermelhados, são desenvolvidos em formas de agulhas e têm tamanho entre 0,1 e 0,2 mm.

**Bermanita:** menos presente que a childro-eosforita. Cristais em forma de blocos” tabulares, marrons até vermelhos, fazendo “tapete” ao lado da childro-eosforita.

**Apatita:** terrosa, de cor branca.

**Fosforossiderita:** poucos flocos que se desenvolveram dentro da triplita-zwieselita.



Foto 15: Grupo radial de cristais de Colquiriita (5mm), acompanhados por pequenos octaédros de Ralstonita (0,5mm).



Foto 16: Imagem de SEM de um cristal corroído (octaédro) de ralstonita.  
Fonte: Instituto de Mineralogia de Halle/Alemanha.

## AMOSTRA SB-SN 2

Outra fissura dentro de triplita-zwieselita com paragênese parecida com aquela da amostra SB-SN 1.

**Colquiriita:** há grande número de cristais isolados ou em grupos, com uma parte incolor e outra branca. Os cristais mostram hábitos trigonal/hexagonal, formando pequenas “rodas” ou grupos destas, bem como placas de hábitos hexagonal. Os cristais têm tamanho entre 0,1 e 0,2 mm (Foto 17).

**Bermanita:** “tapete” de cristais cobrindo praticamente toda a fissura. Os cristais da bermanita são vermelho-amarronzados e têm tamanhos abaixo de 0,1 mm. São bem visíveis apenas com a ampliação máxima do binocular (40x).

**Não-identificado:** as colquiriitas são acompanhadas em abundância, por um mineral marrom-claro, em agregados radiais, formando perfeitas “bolas” ou em grupos de cristais. As “bolas” quando cortadas na abertura dessas fissuras, mostram perfeito arranjo radial. A maioria das “bolas” tem tamanhos em torno de 1 mm. Mesmo submetidas a três diferentes análises difratométricas, não foi possível identificá-las, por falta total de estrutura cristalina. Análises químicas com microscópio de varredura revelaram a

presença dos elementos Fe e P, com pequenas quantidades de Mn. Infelizmente, essa composição abrange muitos minerais fosfáticos, sendo impossível sua fácil identificação. Trata-se de uma das impressionantes provas das dificuldades analíticas do grupo dos fosfatos. Neste caso específico, o fato é mais surpreendente ainda porque esse mineral apresenta excelente forma externa do cristal. Demais análises serão executadas, tendo em vista um possível mineral novo que acompanha as colquiriitas.

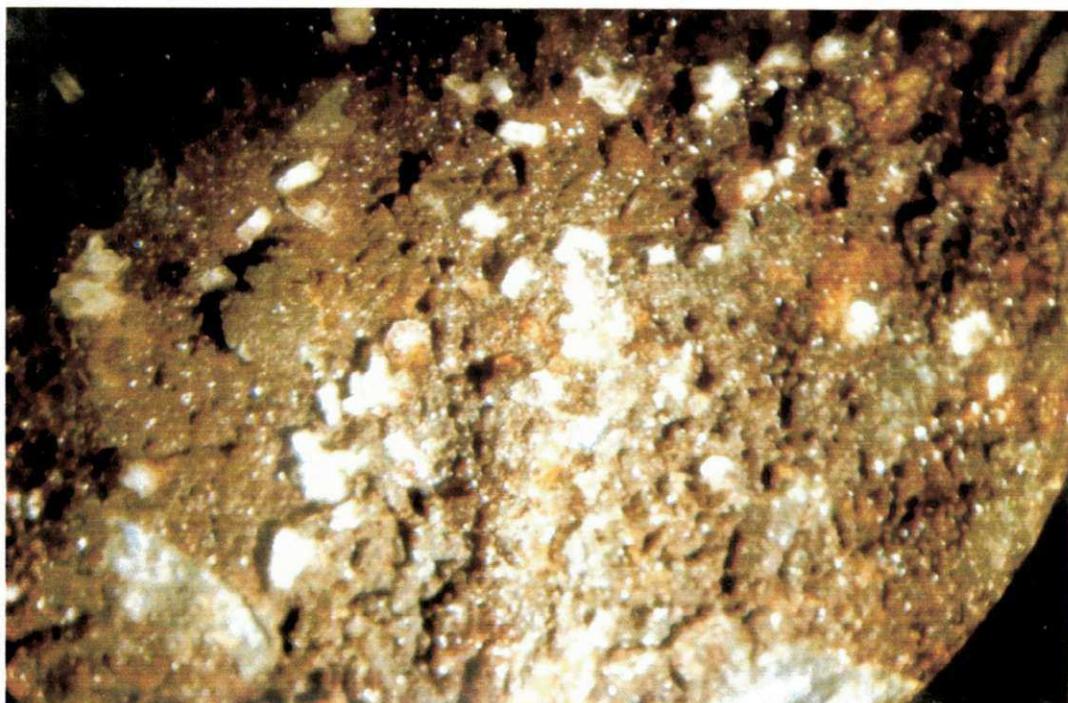


Foto 17: Grupo de cristais de Colquiriita (branca e incolor, entre 0,1 e 0,2mm)

#### **AMOSTRA SB-SN 5:**

**Fosforossiderita:** apresenta-se como cobertura azulada sobre a triplita-zwieselita, em forma botrioidal e sem indivíduos bem desenvolvidos.

**Zwieselita:** são cristais poucos prismáticos, de cor ligeiramente amarelada e transparente, em forma de “tapete” sobre a fosforossiderita (Foto 18). O tamanho dos indivíduos varia entre 0,3 e 0,5 mm. Cristais de zwieselita de formação secundária até hoje ainda não tinham sido reportados, sendo essas zwieselitas secundárias, uma novidade mundial.

**Childro-eosforita:** encontra-se como “tapetes” de cristais marrons-avermelhados em forma de agulhas ou de prismas finas.

**Colquiriita:** há dois agregados em arranjo radial e incolor, o maior dos dois com 3 mm de comprimento.

**Não-identificado:** uma “bolinha” com a cor marrom-clara, igual àquelas da amostra SB-SN-2.

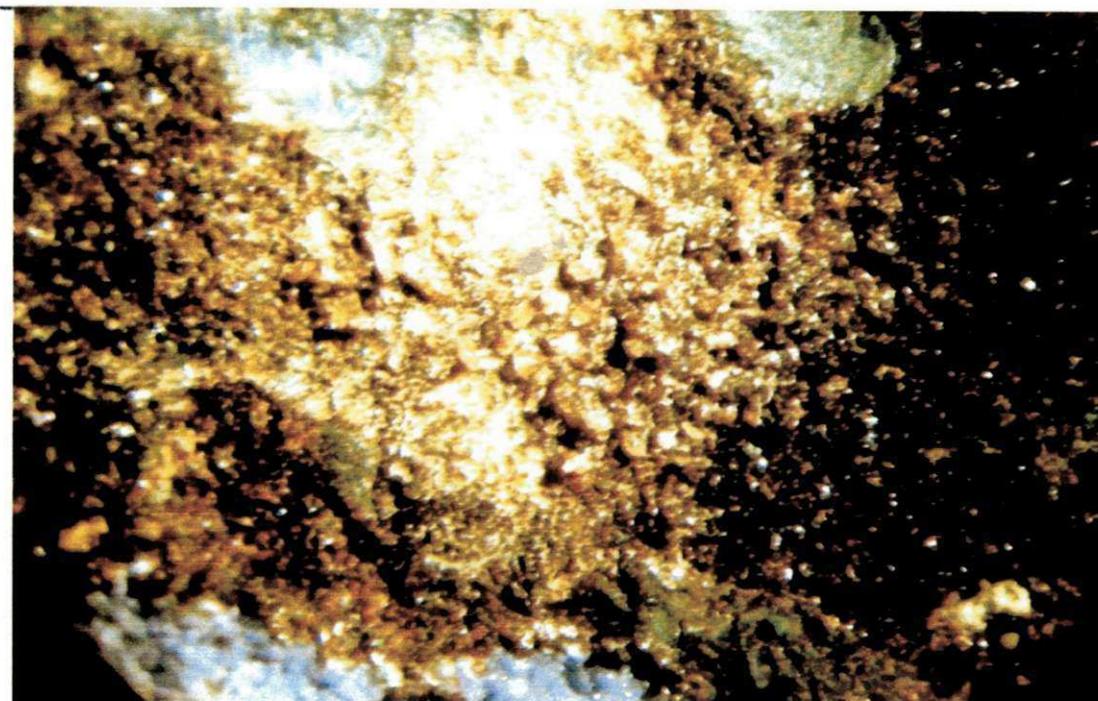


Foto 18: Cristais de Zwieselita secundária (marrom-amarelada, 0,3 – 0,5mm)

#### **AMOSTRA SB-SN 6:**

**Bermanita:** são pequenos cristais de cor marrom-escuros até avermelhados.

**Carlhintzeita:** placas brancas, alongadas (entre 1 e 2 mm) com baixo índice de refração. É a Segunda ocorrência mundial desse mineral depois da sua descoberta no pegmatito Hagendorf-Süd/Alemanha. Segundo R. WEGNER (comunicação verbal) a carlhintzeita do Alto Serra Branca demonstra o melhor estado de cristalização que finalmente permitiu definir sua estrutura interna. Os cristais do Hagendorf-Süd (comunicação verbal Prof. H. PÖLLMANN) são geminados, impossibilitando sua exata análise estrutural. A estrutura completa da carlhintzeita será publicada em breve (PÖLLMANN, WITZKE, WEGNER, em preparação). As carlhintzeitas encontradas no Alto Serra Branca têm grande semelhança às pacnolitas, necessitando cada vez a sua confirmação através da difratometria.

**Fosforossiderita:** apresenta-se em pequenos flocos dando início à transformação da triplita-zwieselita.

#### **AMOSTRA SB-SN 7:**

É outra paragênese inédita que se formou numa pequena caverna dentro da triplita-zwieselita. As bordas dessa caverna são cobertas por dois minerais diferentes não-identificados, de tamanho abaixo de 0,1 mm. De um lado, em formação rítmica de cor branca (agulhas paralelas sedosas) com outra camada amarela acima, do outro lado, somente a camada sedosa amarela.

**Thomsenolita – Pacnolita – Prosopita:** todos os três minerais fluorêticos estão presentes nessa caverna, sendo a thomsenolita, o mais freqüente. Esse mineral dimorfo como a pacnolita é desenvolvido em cristais tabulares, semitransparentes e quase incolores. A pacnolita, cuja presença ao lado da thomsenolita é estranha, separa-se da última por ser mais transparente e completamente incolor, embora não desenvolva cristais perfeitos. A prosopita foi confirmada por Th. WITZKE através de difratometria como fase adicional, intercrescido com a thomsenolita.

**Strenguita:** também presente na caverna, na parte mais externa em agregado maciço de cor lilás forte.

**Fosforossiderita:** em pequenos flocos dentro da matriz da triplita-zwieselita.

**Não-identificado:** há um mineral marrom claro, pouco prismático e bem semelhante a ernstita ou dravita. Várias coberturas terrosas ainda não foram analisadas.

#### **AMOSTRA SR 2:**

**Pacnolita:** é um dos principais minerais presentes nessa amostra. Os cristais perfeitos desse mineral são absolutamente transparentes e por isso, difícil de detectá-los, principalmente por terem se desenvolvido acima de outros minerais bastante coloridos. Existe uma roseta perfeita com diâmetro de 2mm (Foto 19). A maioria das pacnolitas é em torno de 0,5 mm. As pacnolitas dessa amostra são as mais perfeitas já encontradas no Alto Serra Branca.

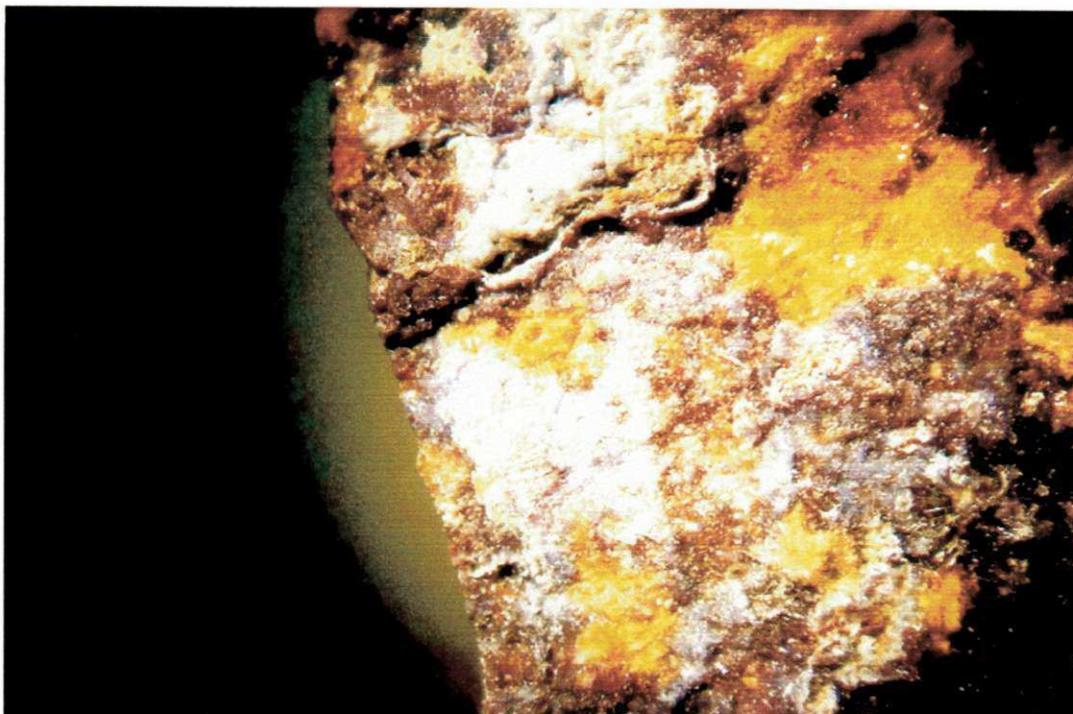


Foto 19: Grupo radial (branca até incolor) de cristais de Pacnolita (0,2mm)

**Fosforossiderita-Strenguita:** todos dois ocorrem em conjunto, a strenguita sendo mais freqüente do que a fosforossiderita. Os dois existem em forma de cobertura e em minúsculos cristais com as strenguitas de cor lilás forte (melhor cristalizadas) e as fosforossideritas azuladas.

**Bermanita:** pequenos indivíduos em grupos de cor marrom-escuros.

**Criptomelano:** finas coberturas botrióidais junto a bermanita.

**Não-identificado:** uma cobertura de cor amarela forte até alaranjada, atraente e com algumas “bolinhas” sedosas. Apesar da perfeição dessas “bolinhas” que implica num mineral bem cristalizado, as várias difratometrias executadas não deram resultados sobre a sua natureza. A composição química (principalmente Fe e P) também não ajudou para a identificação desse mineral, necessitando ainda de estudos mais detalhados.

#### **AMOSTRA SR 16:**

**Criptomelano:** agregados pretos botrióidais com brilho muito forte, cobrindo mais de dois terços da amostra (Foto 20).

**Strenguita:** existem três diferentes gerações desse mineral: a primeira, desenvolvida em pequenas cavernas com pequenos cristais de coloração lilás-média, na maior parte em forma de “tapetes”. A Segunda, fazendo coberturas finas na cor lilás-clara e a terceira de coloração mais intensiva com cristais isolados e prismáticos. As strenguitas da última geração estão entre as melhores já encontradas no Alto Serra Branca (Foto 20).

**Neotocita:** Junto a strenguita, principalmente abaixo de uma das suas crostas e com o criptomelano. Cristais praticamente pretos e de pouco brilho e muito pequenos. A neotocita (um silicato de manganês) foi identificada através da difratometria e confirmada quimicamente pelo microscópico de varredura. Trata-se talvez dos primeiros cristais observados dessa espécie mineral.

**Não-identificado:** uma crosta amarela terrosa, semelhante a tavorita, mas de baixo grau de cristalização inviabilizando sua segura identificação.



Foto 20: Cristais de strenguita (vermelha) e agregados de criptomelano (preto)

#### **AMOSTRA SR 21:**

**Bermanita:** cobertura em forma de “tapete” de cristais. São os melhores cristais de bermanita observados no Alto Serra Branca e talvez esteja

entre os melhores da sua espécie. De cor marrom-escuro e brilho nacarado, mostram um estriamento imperfeito, muito típico para esse mineral. O tamanho das maiores bermanitas está em torno de 0,5 mm.

**Pacnolita:** acima do "tapete" das bermanitas, em cristais diferentes das outras pacnolitas observadas nesta ocorrência. As pacnolitas dessas amostras têm hábitos tabulares e bastante semelhantes às daquelas da amostra SB-SN-6.

#### **AMOSTRA SR 49:**

**Bermanita:** sobre a triplita-zwieselita inalterada, encontra-se pequena cobertura desse mineral, em indivíduos minúsculos marrom-avermelhados, bastante semelhantes a childro-eosforita, embora de diferente forma cristalográfica.

**Fosforossiederita:** há flocos e partes azuis com poucos cristais envolvidos em minúsculas cavernas.

**Strenguita:** encontra-se de forma maciça e com alguns cristais, bem como, uma roseta perfeita de cor lilás escura com 1 mm de diâmetro. As demais strenguitas apresentam-se com coloração lilás mais clara.

**Pechblenda:** dois graus, o maior deles com 2 mm de diâmetro, como "pingos" redondos dentro de triplita-zwieselita inalterada. A pechblende é preta e tem brilho submetálico forte. Os "pingos" externamente são transformados em minerais secundários de urânio, de cor amarela esverdeada (gumita).

**Não-identificado:** pequena cobertura amarelo-clara com forte brilho sedoso.

#### **AMOSTRA SR 51:**

**Criptomelano:** é a fase mineral mais freqüente dessa amostra. Coberturas pretas, por uma parte botrioidais com brilho forte e por outra de aparência quebrada e de baixo brilho.

**Pacnolita:** cristais alongados, transparentes e incolores, dificultando sua detecção.

**Strenguita:** agregados diversificados por parte, pequenos cristais isolados mas também fazendo bolinhas de 0,5 mm de diâmetro e os cristais isolados com brilho forte e de coloração lilás intensa.

**Bermanita:** vermelho-amarronzada, desenvolvida em cristais abaixo de 0,1 mm.

**Fosforossiderita:** muito pouco e de baixo grau de cristalização.

**Strunzita:** cristais em forma de buchas, amarelo-claros com forte brilho sedoso. A fase mais rara nessa amostra e com tamanho muito abaixo de 0,1 mm, necessitando a ampliação do binocular para sua detecção.

**Não-identificado:** há vários minerais de diferentes cores: sejam em forma terrosa ou em pequenos cristais.

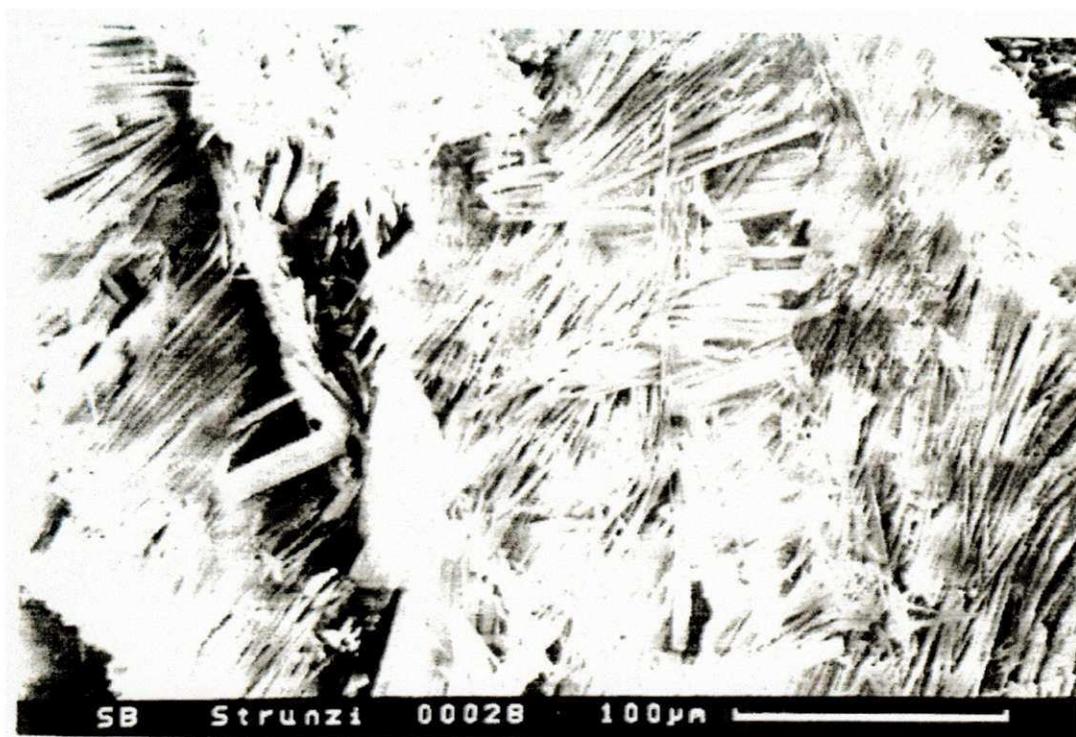


Foto 21: Agregados de cristais de Strunzita em forma de “bucha”  
Fonte: Instituto de Mineralogia de Halle/Alemanha

### 7.3 Lista das Paragêneses Descritas

#### 7.3.1. Paragêneses oriundas da trifilita-litiofilita

Os minerais estão listados em ordem alfabética. O mineral purpurita-heterosita, presente em quase todas as amostras não foi incluído.

**SB 7 + 7J** Apatita, Childro-Eosforita, Criptomelano, Cyrilovita, Dufrenita, Ernstita, Leucofosfita, Lipscombita, ,Mitridatita, Quartzo, Rockbridgeita-Frondelita, Turmalina preta, Variscita,

- SB 12a** Fosforossiderita, Hureaulita, Rockbridgeita-Frondelita, Strenguita, Variscita
- SB 12b** Fosforossiderita, Serrabrancaíta
- SB 13** Barbosalita, Fosforossiderita, Hureaulita, Tavorita
- SB 24** Cassiterita, Hureaulita
- SB 45** Fosforossiderita, Hureaulita, Rockbridgeita-Frondelita, Strenguita, Tavorita
- SB 60** Cyrilovita, Mitridatita, Quartzo, Rockbridgeita-Frondelita
- SB 69** Ernstita, Limonita, Rockbridgeita-Frondelita
- SB 100** Apatita, Childro-Eosforita, Criptomelano, Cyrilovita, Fosforossiderita, Kidwellita, Leucofosfita, Quartzo, Strenguita
- SB 114** Cyrilovita, Fosforossiderita, Jarosita, Lipscombbita, Strenguita
- SB/G 128** Apatita, Limonita, Quartzo
- SB-SN 3** Hureaulita, Robertsita, Rockbridgeita-Frondelita, Strenguita
- SB-SN 4** Lipscombbita
- SR 4** Fosforossiderita, Strenguita
- SR 7** Cyrilovita, Ernstita, Fosforossiderita, Hureaulita, Quartzo, Zircão
- SR 9** Criptomelano, Fosforossiderita, Lipscombbita, Rockbridgeita-Frondelita
- SR 13** Fosforossiderita, Rockbridgeita-Frondelita, Strunzita, Variscita
- SR 24** Criptomelano, Fosforossiderita, Lipscombbita, Variscita
- SR 26** Fosforossiderita, Hureaulita, Lipscombbita, Rockbridgeita-Frondelita, Stewartita, Strenguita
- SR 29** Albita, Fosforossiderita, Lipscombbita, Strenguita, Variscita
- SR 30** Apatita, Childro-Eosforita, Fosforossiderita, Robertsita
- SR 32** Criptomelano, Mitridatita, Rockbridgeita-Frondelita, Strenguita
- SR 33** Criptomelano, Cyrilovita, Fosforossiderita, Mitridatita, Rockbridgeita-Frondelita, Strenguita

### 7.3.2. Paragêneses oriundas da Triplita-Zwieselita

- SB 49** Apatita, Fosforossiderita, Rockbridgeita-Frondelita
- SB 50** Bermanita, Criptomelano, Fosforossiderita, Pacnolita
- SB 75** Bermanita, Childro-Eosforita, Pacnolita, Strenguita
- SB/G 131** Ginnita
- SB-SN 1** Apatita, Bermanita, Childro-Eosforita, Colquiriita, Fosforossiderita, Ralstonita
- SB-SN 2** Bermanita, Colquiriita
- SB-SN 5** Childro-Eosforita, Colquiriita, Fosforossiderita, Zwieselita (secundário)
- SB-SN 6** Bermanita, Carlhintzeita, Fosforossiderita
- SB-SN 7** Fosforossiderita, Pacnolita, Prosopita, Strenguita, Thomsenolita
- SR 2** Bermanita, Criptomelano, Fosforossiderita, Pacnolita, Strenguita
- SR 16** Criptomelano, Neotocita, Strenguita
- SR 21** Bermanita, Pacnolita
- SR 49** Bermanita, Fosforossiderita, Gumita, Pechblenda, Strenguita
- SR 51** Bermanita, Criptomelano, Fosforossiderita, Pacnolita, Strenguita, Strunzita

## 8. DISCUSSÃO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS

O pegmatito granítico Alto Serra Branca com sua grande diversificação de minerais secundários está entre os pegmatitos fosfáticos mais famosos do mundo, como: o de Hagendorf-Süd/Alemanha, o de Mangualde/Portugal, os de Palermo e Tip Top Mine/ Estados Unidos e o de Sapucaia/Minas Gerais.

Os fosfatos são conhecidos como a mais complicada classe dos minerais. A substituição perfeita entre os elementos ferro e manganês resulta em muitas séries isomórficas, cuja identificação através de difratometria de Raios-X é difícil e até impossível. Macroscopicamente, os dois membros dessas séries aparecem muito semelhantes, como por exemplo: a rockbridgeíta e a frondelíta, a purpurita e a heterosita, a mitridatita e a robertsita, entre muitos outros. Os membros de uma série isomórfica dificilmente ocorrem puramente com um coeficiente de ferro/manganês abaixo de 0,10 ou acima de 9,0 respectivamente. Com um coeficiente perto de 1, que significa conteúdos praticamente iguais em Fe e Mn, o difratograma tem pouco significado, necessitando análises químicas adicionais.

A extensão do problema é bem documentada com as duas séries isomórficas dos fosfatos primários do Alto Serra Branca: trifilita-litiofilita e triplita-zwieselita. Alguns resultados já foram publicados: WEGNER *et al.* (1998a) WEGNER *et al.* (1998b) WEGNER *et al.* (1998c) PÖLLMANN *et al.* (2000) WEGNER *et al.* (2001) e WEGNER *et al.* (2002). Esses autores caracterizaram tais fosfatos como trifilita e triplita. Análises químicas de várias amostras revelaram coeficientes de Fe/Mn perto de 1. Em conseqüência, a denominação correta é trifilita-litiofilita e triplita-zwieselita.

A triplita-zwieselita ocorre em três diferentes aparências: a) verde-escura com brilho sedoso e com perfeita clivagem, b) marrom-escura, sem clivagem (fratura irregular) e brilho entre vítreo e gorduroso e c) branco-amarelada com dureza inferior a das outras. A aparência marrom, segundo J.v. VELTHUIZEN do Museu Nacional do Canadá, tem característica idêntica a do mineral grifita. Análises químicas e estruturais dos dois não revelaram grandes diferenças, enquanto a aparência esbranquiçada tem conteúdo elevado em cálcio e pode ser um novo mineral (Ca-triplita ou Ca-zwieselita). Todas as três aparências podem ser encontradas na mesma amostra .

As três diferentes aparências da triplita-zwieselita são casos inéditos que não têm explicação fácil. O brilho sedoso, segundo G. ROBINSON e R. WEGNER, ao interpretarem imagens de grande amplificação com a microsonda do Museu Nacional do Canadá confirmaram ser causados por canais ocultos estritamente orientados. Quando lapidada em forma de cabochão, mostra um excelente efeito de olho-de-gato. A marrom dá impressão de que se trata de um pseudomorfo para o mineral grifita, cuja fórmula química é bastante complicada:  $[\text{Na}_4\text{Ca}_6(\text{Mn}, \text{Fe}^{+2}, \text{Mg})_{19}\text{Li}_2\text{Al}_8(\text{PO}_4)_{24}(\text{F}, \text{OH})_8]$ .—e a esbranquiçada de uma fase diferente, cuja má cristalização pode explicar sua baixa dureza. Uma possível explicação da formação dessas três aparências será discutida mais adiante.

Não se conhece outro pegmatito onde exista grande quantidade de fosfato de Li (trifilita-litiofilita) e fosfato de F (triplita-zwieselita) em blocos separados. A presença dessas duas séries diferentes de fosfatos primários, bem como, sua perfeita separação espacial, são outros destaques desse pegmatito a ser discutido. As massas fosfáticas rifilita-litiofilita encontram-se bastante transformadas, mas seu interior permanece relativamente inalterado e tem como seu principal mineral de alteração a purpurita-heterosita. A triplita-zwieselita tem comportamento adverso, mostra pouca alteração externa e as formações dos minerais secundários são restritas a pequenas fissuras dentro dos blocos desse mineral.

O novo mineral serrabrancaíta, denominado através da sua ocorrência

de descoberta, encontra-se em pequenas drusas dentro de matriz de purpurita-heterosita. Outro espetáculo é uma paragênese rica em minerais fluoretos como: pacnolita, colquiriita, carlhintzeíta, ralstonita, fluorita, thomsenolita, prosopita e fluellita. A colquiriita e a carlhintzeíta foram encontradas pela segunda vez. O mineral colquiriita aparece pela primeira vez em excelentes cristais de diferentes hábitos e a carlhintzeíta em cristais que permitiram a definição da sua estrutura interna. Thomsenolita e prosopita não ocorrem em cristais isolados; os dois são intercrescidas, mas a prosopita encontra-se na fase inferior.

Na ernstita, que é um mineral muito raro também há excelentes cristais, bem como, nos minerais ginnita e neotocita. A ginnita, provavelmente, trata-se da segunda ocorrência mundial e a neotocita talvez os primeiros cristais observados.

Encontram-se problemas adicionais ao analisar purpurita através da difratometria e seus diagramas são praticamente idênticos aos da ferrisicklerita. A ferrisicklerita tem como principal constiuinte o elemento Li, mas o mesmo não pode ser detectado através de fluorescência de Raios-X, sistema analítico do microscópico de varredura – SEM / Scanning Electron Microscope, onde foi executada uma análise específica usando ICP-MS para determinação quantitativa do mesmo. O baixo conteúdo (entre 11 e 12 ppm) excluiu a presença da ferrisicklerita.

Em casos definidos, usando o novo Philips 'X-Pert, difratômetro da última geração é possível determinar o membro de uma série isomórfica sem uso adicional do microscópico de varredura. Da série mitridatita-robertsita foi elaborado um diagrama difratométrico. Com a ampliação de uma definida área desse diagrama que foi possível determinar a presença da mitridatita e excluir a robertsita. Outros diagramas porém, revelaram a presença da robertsita, sendo a mitridatita a mais comum entre os dois minerais nas paragêneses dos fosfatos.

A observação de MOORE (1973, p. 104) em que o excesso em  $(\text{PO}_4)^{-3}$  +  $\text{Li}_2$  +  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Fe},\text{Mn})\text{O}$  +  $\text{CaO}$  resultam na cristalização de trifilita até  $(\text{Fe},\text{Mn})\text{O}$  ser

exaurido. Em seguida se forma ambligonita até LiO que também é exausto, finalmente se forma a apatita que é confirmada pela seqüência da cristalização dos fosfatos do Alto Serra Branca. A complicação dessa mineralização é a presença adicional de massas de triplita-zwieselita que necessitam pelo menos de uma ampliação dessa seqüência.

A constatação mais decepcionante é a presença de excelentes cristais de várias espécies diferentes, cujos diagramas difratométricos revelam falta total de estrutura cristalina. Um dos exemplos é a amostra SB-SN/2 que tem junto a perfeitos cristais de colquiriita excelentes agregados radiais de um mineral de aparentemente boa estrutura cristalina. Três diferentes difratometrias foram executadas para identificar esse mineral com resultados negativos, sendo o mesmo, mineral amorfo. Além disso, vários outros minerais em forma de cristais ou em coberturas terrosas, também não deram resultados suficientes para sua identificação. As análises químicas sempre mostraram a presença dos mesmos minerais: Fe e/ou Mn e P com poucas quantidades de outros elementos. Uma composição geral dessa é adequada para no mínimo trinta diferentes minerais.

A triplita e a zwieselita são considerados minerais primários. Os resultados obtidos através da difratometria em combinação com SEM confirmaram a presença desses dois minerais também em ocorrência secundária; a zwieselita em cristais amarelados prismáticos (Foto. 18) e a triplita formando agregados radiais de cor amarronzada (comunicação verbal R. WEGNER). Com essa descoberta trata-se de mais uma das novidades mundiais desse pegmatito.

## 9.CONCLUSÕES

A execução das análises, principalmente de Difractometria de Raios-X e de SEM demonstrou a necessidade de uma quantidade muito maior a fim de verificar a composição exata de minerais formando séries isomórficas. Nas trifilita-litiofilita e triplita-zwieselita, os dois minerais fosfáticos primários foram constatados em uma composição intermediária com o coeficiente entre Fe e Mn perto de 1. Não sendo possível discriminar o exato membro de uma definida série, usou-se o nome geral, por exemplo purpurita-heterosita.

As paragêneses estudadas revelaram um profundo interesse científico, Li oriundo da série trifilita-litiofilita, que não aparece mais nos minerais secundários. Uma análise química com ICP-MS constatou que o mineral, aparentemente ferrisicklerita (de Li) é a purpurita-heterosita. Ao contrário do comportamento do Li, o elemento F oriundo de triplita-zwieselita aparece com grande diversidade de minerais secundários que significa que sua migração é bastante limitada. Em outras palavras, Li uma vez liberado do seu composto mineral, desaparece do sistema geoquímico, enquanto o F, pelo menos em parte, é refixado nos minerais secundários. Acredita-se que esse comportamento diferente tem uma relevância ambiental.

Determinou-se quatro diferentes minerais de fosfatos primários: Triplita-zwieselita, trifilita-litiofilita, ambligonita e apatita. Os três primeiros em quantidade de dezenas de toneladas cada, o último somente com poucos e pequenos cristais. A seqüência da cristalização de fosfatos primários, estabelecida por MOORE (1973) e discutido no Cap. 8.0 para esse pegmatito tem

que ser ampliada pela presença de triplita-zwieselita. A complicação na interpretação dos fosfatos do Alto Serra Branca existe na forma do diferente estágio de alteração das duas séries isomórficas, a triplita-zwieselita externamente parece pouco atingida. Seus minerais secundários são restritos a minúsculas fissuras internas. Por outro lado, a trifulita-litiofilita é transformada em grande escala, com uma larga zona externa de minerais secundários, principalmente de purpurita-heterosita. A ambligonita e a apatita continuam inalteradas e devem ser consideradas na interpretação das seqüências da formação desses fosfatos primários. Das três aparências da triplita-zwieselita, com seu brilho sedoso, seu possível pseudomorfo para grifita e aquela esbranquiçada e menos dura, apenas uma relaciona-se às demais presentes na mesma amostra. É praticamente inevitável postular que as aparências diferentes têm sua explicação em processos posteriores à sua formação.

A provável seqüência da cristalização de MOORE (1973), aplicada às particularidades do Alto Serra Branca tem sua possível explicação num processo de diferenciação em etapas:

- 1) Formação de fosfatos de Fe e Mn com participação do elemento F, até o mesmo ser exaurido (formação dos bolsões de triplita-zwieselita).
- 2) Antes da formação do outro fosfato, aconteceu uma concentração em Li no sistema residual, com soluções não-metálicas. Aquelas que formaram o primeiro fosfato ainda circulavam atingindo a triplita-zwieselita e causando as modificações observadas.
- 3) Depois desse intervalo aconteceu a concentração necessária do elemento Li para formar em seguida os bolsões de trifulita-litiofilita. Esse processo pode explicar a surpreendente separação espacial e a composição desses dois fosfatos primários.
- 4) Com a formação dos bolsões, indica-se que os elementos Fe e Mn exauriram e permaneceram no sistema somente o Li e o P. Não há indicadores em que os bolsões dessa trifulita-litiofilita não tenham sido atingidos logo em seguida, o que aconteceu com a triplita-zwieselita, uma vez que seu interior permaneceu praticamente inalterado.

- 5) Com a ausência de Fe e Mn, a seqüência da cristalização continuou com a formação de ambligonita. Esse conteúdo de F é interessante porque significa que ainda permaneceu uma pequena quantidade desse elemento no sistema, mas bastante diluída para ser incorporada em outras triplitas-zwieselitas.
- 6) A quantidade de dezenas de toneladas de ambligonita prova que havia muito Li no sistema do pegmatito. Em outras palavras, existe uma incompatibilidade entre os elementos F e Li para não formar o composto LiF e que o elemento F é o primeiro a cristalizar, por enquanto o Li, também presente em grandes quantidades permanece no sistema.
- 7) Finalmente, com a saída do Li do sistema e algum P ainda disponível, ocasionou uma pequena cristalização de apatita.

A alteração e transformação da trifilita-litiofilita nesta interpretação, devem-se a processos posteriores e provavelmente em níveis tão pouco abaixo das condições hidrotermais, uma vez que não há indicadores para processos neste sentido. Os feldspatos ou outros minerais não apresentam alteração e não foi constatada a presença de minerais adicionais.

Confirma-se, com a seqüência de diferenciação descrita as observações feitas por MOORE (1973) acrescidas pelas particularidades desse pegmatito com suas mineralizações espetaculares.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, S. C.de, JOHNSTON Jr., W.D., LEONARDOS, O.H., SCORZA, E.P., 1943. *The Beryl-tantalite-cassiterite pegmatites of Paraíba and Rio Grande do Norte, Northeastern Brazil*. DNPM. Rio de Janeiro, p. 206-223.
- ALMEIDA, S. C.de., 1946. *Tantalita e Berilo em Alto Feio e Serra Branca/Pb*. DNPM. Bol. 73, 30p.
- ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B.B., FUCK, R., 1977. *Províncias estruturais brasileiras*. VIII Simp. Geol. NE. Campina Grande, p. 363-391.
- ATLAS ESCOLAR DA PARAÍBA, 2000 / Coordenadora: Janete Lins Rodriguez 2ª.ed. Grafeset, João Pessoa, p. 11-26.
- BERMANEC, V., PALINKAS, L., STRMIC, S., ZEBEC, V., WEGNER, R., FRANZ, 2002. *W. Fluid inclusions in pegmatitic microcline crystals, Alto da Cabeça, Parelhas, Rio Grande do Norte, Brazil*. 18<sup>th</sup> Gen. Meeting IMA, Edinburgh, p. 214.
- BOWEN, N. L., 1928. *The evolution of the igneous rocks*. Princeton.
- BRANCO, P. de M., 1982. *Dicionário de Mineralogia*. 2. ed., Porto Alegre/RS, 264p.
- BRITO NEVES, B. B. de, SANTOS, E. J. dos, VAN SCHMUS, W.R., 2000. *Tectonic History of the Borborema Province, Northeastern Brazil*. In: CORDANI, V.G., MILANI, E. J., THOMAZ FILHO, A., CAMPOS, D.A. (Edit.) *Tectonic evolution of South America*. Rio de Janeiro, p. 151-180.
- CAMERON, E. N., JAHNS, R.H., McNAIR, A.H., PAGE, L.R., 1949. *Internal Structure of granitic pegmatites*. Econ. Geol. Mono., 2:115p.
- ČERNÝ, P., 1982. *Anatomy and classification of granitic pegmatites*. In: *Granitic Pegmatitic in science and industry* (P. Černý ed.). Min. Assoc. Canada Sh.Course Handb., 8:1-39.
- ČERNÝ, P., 1991. *Rare-element granitic pegmatites. Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits*. Geosc. Canada, 18:49-67.

- DANTAS, J.R. A., 1974. *Carta geológica do Brasil ao milionésimo – Folha Jaguaribe (SB-24) e Folha Fortaleza (AS-24)*. Texto explicativo. DNPM. Brasília, 95p.
- FERREIRA, A. C. M., 1998. *Caracterização Mineralógica e Gemológica das Turmalinas do Alto Quixaba-PB*. Dissert. Mestrado, UFPE. Recife, 118p (inédito).
- FERREIRA, V. M., 2003. *Caulinita e caulins de pegmatitos da Borborema-Seridó dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte*, Dissertação de Mestrado; UFCG. Campina Grande, 75p (inédito).
- FERSMAN, A. E., 1931. *Les pegmatites, leur importance scientifique et pratique*. Acad.Sci., USSR. Translated from the Russian into French under the direction of DU TRIEN DE TERDONCK & THOREAU, J., (3 Vol.).Univers. of Louvain, Belgium. 1951. 675p.
- FILHO, A. C., 2000. *Análise geoestatística de lineamentos e fraturas e suas implicações nas ocorrências de depósitos minerais na região de Santa Luzia-PB*. Dissertação de Mestrado. Campina Grande, 138p. (inédito).
- FLEISCHER, M., MANDARINO, J. A., 1991. *Glossary of Mineral Species Min. Record, Tucson Az.* 256p.
- FOLHA SB.24-Z-B-VI., 1972. MINTER/SUDENE / DRN-DC. 2ª. Ed - Recife.
- GINZBURG, A. I., TIMOFEYEV, I.N., FELDMAN, L.G., 1979. *Principle of geology of the granitic pegmatites*. Nedra. Moscou, 269p.
- GUIA RODOVIÁRIO. 2003. Ed, Abril, São Paulo. p. 44.
- HACKSPACHER, P. C.: VAN SCHMUS, W. R. & DANTAS, E. L., 1990. *Um embasamento Transamazônico na Província Borborema*. XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia. Natal/RN, 2683 – 2696.
- HEINRICH, E. W. 1951. *Mineralogy of triplite*. Am. Min., **36**., 257-271.
- HUGHES, Ch. J: 1982. *Igneous Petrology*. Developments in Petrology 7, Elsevier Scientific publishing company Amsterdam-Oxford-New York, 551p.
- JAHNS, R. H., 1953a. *The Genesis of Pegmatites. I: Occurrence and origin of giant crystals*. Am. Min., **38**:563-598.
- \_\_\_\_\_ 1953b. *The Genesis of Pegmatites. II: Quantitative Analysis of lithium-bearing Pegmatite, Mora County, New Mexico*. Am. Min., **38**:1078-1112
- \_\_\_\_\_ 1955, *The Study of Pegmatites*. Econ. Geol., 50<sup>th</sup> Ann.Vol., 1025-1130.

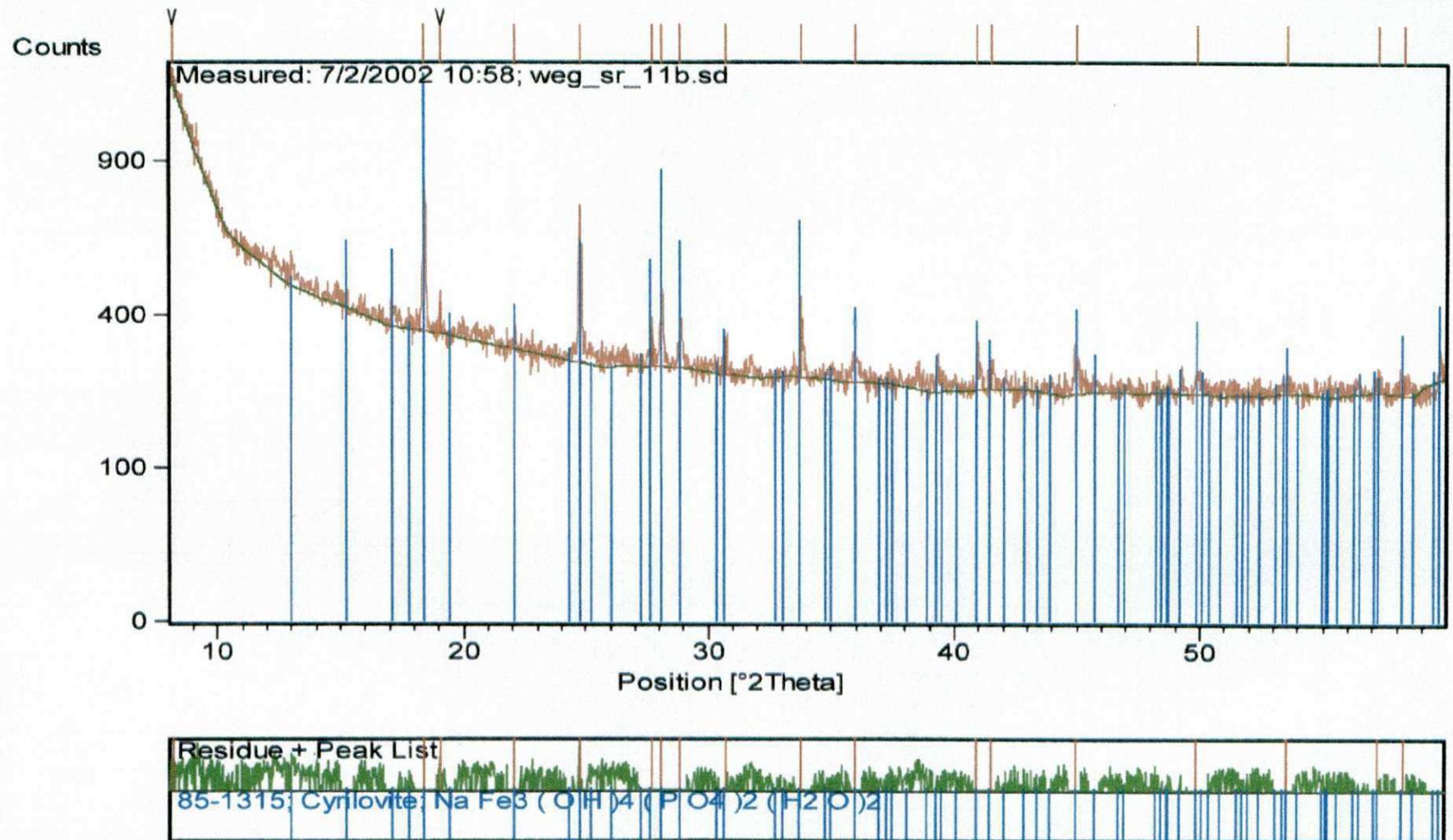
- JAHNS, R. H., BURNHAM, C. W., 1958. *Experimental studies of pegmatite genesis: melting and crystallization of granite and pegmatite (abstr.)*. Geol. Soc. Amer. Bull., **69**:1592-1593.
- \_\_\_\_\_. 1969. *Experimental studies of pegmatite genesis*. In. *A model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites*. Econ. Geol., **64**:843-864.
- JARDIM de SÁ, E. F., 1984. *Geologia da região do Seridó: reavaliação de dados*. XI Simp. Geol. NE, Natal, 278-296.
- \_\_\_\_\_. 1994. *A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana*. Tese de Doutorado. UNB. Brasília, 804p.
- JOHNSTON Jr., W. D., 1945a. *Os pegmatitos berilo-tantalíferos da Paraíba e Rio Grande do Norte, no Nordeste do Brasil*. DNPM/DFPM. Rio de Janeiro, 72:85p.
- \_\_\_\_\_. 1945b. *Beryl-tantalite pegmatites of northeastern Brazil*. Geol. Soc. Amer. Bull, **56**:1015-1070.
- KARFUNKEL, J., CHAVES, M. L. S. C., BANKO, A., IRRAN, E., 1997. *Ernstite and Eosphorite from Minas Gerais, Brazil*. Min. Record, **28**:489-494.
- KARFUNKEL, J., QUÉMÉNEUR, J., KRAMBROCK, K., PINHEIRO, M., DIAS, G. O., 2002. *Edelsteine aus dem Gebiet nördlich von Araçuaí (Minas Gerais, Brasilien): Vorkommen, Eigenschaften und Behandlungsmethoden* Z. Dt. Gemmolog. Ges., **51**:171-184.
- KASTNING, J., SCHLÜTER, J. 1994. *Die Mineralien von Hagendorf und ihre Bestimmung*. Christian Weise, München. 96p.
- MANUYLOVA, M. M., PETROV, L.L., RYBAKOVA, M. M., SOKOLOV, Y. M., SHMAKIN, B. M., 1966. *Distribution of alkali metals and beryllium in pegmatite minerals from the north baykalian pegmatite belt*. Geochem. Int., **3**:309-321.
- MAPA GEOLÓGICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2002. CPRM. Paraíba, Brasil.
- MOORE, P. B., 1973. *Pegmatite Phosphates: Descriptive Mineralogy and Crystal Chemistry* Min. Record, **4**:103-130.
- MORAES, L. J. de, 1938. *Cobre, estanho e outros minerais de Picui e Soledade, Paraíba do Norte*. Rio de Janeiro, DNPM/SFPM, Bol. 28. 27p.
- PIRES, A. C. R., 1998. *Caracterização Química-Mineralógica de Quartzos do AltoFeio, Pedra Lavrada-Paraíba*. Diss. Mestrado. UFPE. Recife. 95p(inédito).

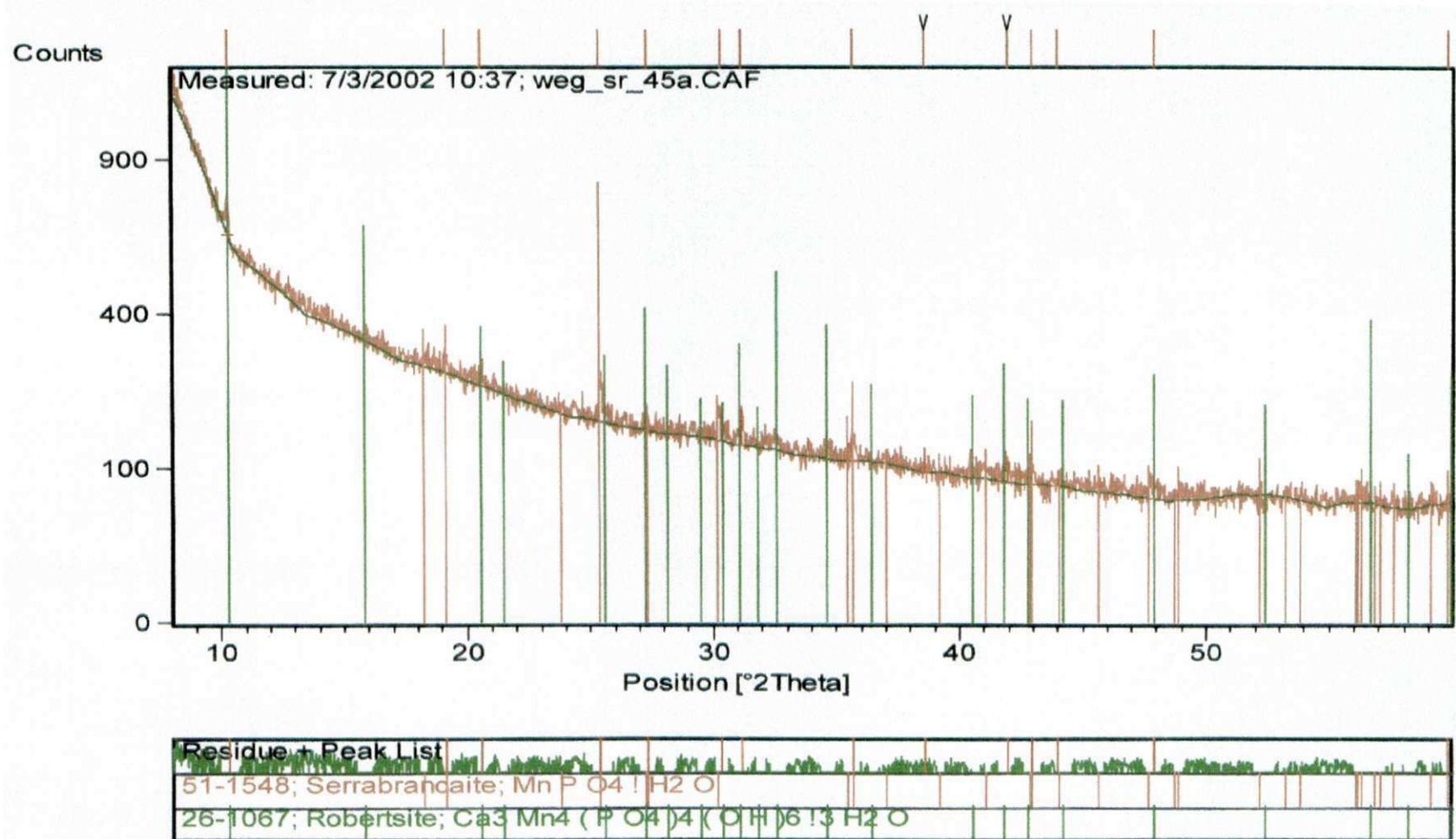
- PÖLLMANN, H., WEGNER, R., BRITO, A. R. de. 2000. *Unusual Gem discoveries from Paraíba and Rio Grande do Norte States, Brazil*. 31<sup>st</sup> Int. Geol. Congr., Rio de Janeiro. CD-ROM.
- PÖLLMANN, H., WEGNER, R., WITZKE, Th. 2000. *Colquiriite, Carlhintzeite, Ralstonite and Pachnolite from a Serra Branca-Pegmatite/Pedra Lavrada, Paraíba, Brazil*. 31<sup>st</sup> Int. Geol. Congr., Rio de Janeiro.
- RAMDOHR, P., STRUNZ, H. 1967. *Klockmann's Lehrbuch der Mineralogie*. Enke. 820p.
- REMY, H. 1960. *Lehrbuch der Anorganischen Chemie, vol. I. 2<sup>a</sup>.ed.* Akademische Verlagsgesellschaft. Leipzig.
- ROBERTS, W. L., CAMPBELL, Th. J., RAPP, G. R. Jr. 1990. (Edit.). *Encyclopedia of Minerals, 2<sup>nd</sup> Ed.*. Van Nostrand Reinhold, New York. 979p.
- ROBINSON, G. W., VELTHUIZEN, J.v., ANSELL, H. G., STURMAN, B. D. 1992. *Mineralogy of the Rapid Creek and Big Fish River Area, Yukon Territory*. Min. Record, **23**:72p.
- ROBINSON, G. W., WEGNER, R. 1998. *Mineralogy of the Boqueirãozinho Pegmatite, Parelhas, Rio Grande do Norte, Brazil*. Min. Record, **29**:193-197.
- ROLFF, P. A. M. de A. 1945. *Contribuição ao estudo da cassiterita no Nordeste*. DNPM/DFPM, Rio de Janeiro, Bol. **73**, 33 -71.
- SANTOS, E.J., BRITO NEVES, B.B. 1984. *Província Borborema*. In: *O Pré-cambriano do Brasil ( F.F.M. Almeida e Y. Hasui eds.)*. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 123-186.
- SANTOS, E. J. dos, 2002. *Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba / organizado por Edilton José dos Santos, Cícero Alves Ferreira, José Maria Ferreira da Silva Júnior, CPRM, Recife. p.17.*
- SCHNEIDERHÖHN, H. 1961. *Die Erzlagerstätten der Erde. Band II: Die Pegmatite*. Fischer, Stuttgart, 720p.
- SEELIGER, E, MÜCKE, A. 1970. *Ernstite, ein neues  $Mn^{+2} Fe^{+3} Al$ -Phosphat und seine Beziehungen zum Eosphorit*. Neues Jahrb. Mineralogie Mh., 289-298.
- SIAL, A. N. 1986. *Granite-types in Northeast Brazil: current knowledge*. Rev. Bras. Geociências, **16**:54-72.
- \_\_\_\_\_ 1987. *Granitic Rocks of Northeast Brazil*. Ann. Int. Symp. on granites and associate mineralizations. Salvador, 61-69.

- SILVA, M. R. R da., 1993. *Petrographical and geochemical investigations of pegmatites in the Borborema Pegmatitic Province of Northeastern Brazil*. Tese de Doutorado. Ludwig-Maximilians-Universität, München. 305p.
- SOARES, D. R. 1998. *Estudo mineralógico e gemológico das turmalinas do pegmatito dos Quintos – Parelhas, RN*. Diss. Mestrado. UFPE. Recife. 99p.
- \_\_\_\_\_. 2003. *Contribuição à petrologia de pegmatitos mineralizados em elementos raros e elbaitas gemológicas da província pegmatítica da Borborema, Nordeste do Brasil*. Tese de Doutorado. UFPE. Recife. 155p.(inédito).
- SOLODOV, N. A. 1959. *Certain regularities of distribution of rare elements in sharply zoned pegmatites*. *Geokhimiya*, 388-405.
- SOUZA, H. C. A. de, 1939. *Columbita e Tantalita no Rio Grande do Norte*. Divisão de Fomento da Produção Mineral, DNPM. Avulso 38.
- TRÖGER, W. E. (BAMBAUER, H. U., TABORSZKY, F., TROCHIM, H. D.). 1971. *Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale*. 4.ed. Stuttgart. 188p.
- WEDEPHOL, K. H. 1956. *Untersuchungen zur Geochemie des Bleis*. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 10:69-148.
- WEGNER, R. 1983. *Spurenelemente in Grantipegmatiten im Bundesstaat Minas Gerais, Brasilien, unter besonderer Berücksichtigung der Feldspäte*. Tese de doutorado. Freiburg/Alemanha. 154p. (inédito)
- WEGNER, R., OLIVEIRA, M. L., SCHUCKMANN, W., KARFUNKEL, J., CHAVES, M.L.S.C. 1998a. *Paragêneses mineralógicas singulares no pegmatito Alto Serra Branca, Santo Antônio do Seridó, Paraíba*. *Anais XL Congr. SBG, Belo Horizonte*, p. 294.
- WEGNER, R., KARFUNKEL, J., SCHUCKMANN, W. 1998b. *Duas novas variedades gemológicas: Trifilita e Triplita olho-de-gato da Paraíba*. *Anais XL Congr. SBG, Belo Horizonte*, p. 278.
- WEGNER, R., PÖLLMANN, H., WITZKE, Th., SCHUCKMANN, W. 1998c. *Colquiriite-carlhintzeite-ralstonite-pachnolite from Serra Branca-Pegmatite/Brazil*. *Proceed. 17<sup>th</sup> Gen. Meeting, IMA, Toronto, Vol. A*, p. 151.
- WEGNER, R., PÖLLMANN, H. 1999. *Gut ausgebildeter reichlicher Bismoclit aus dem Pegmatit "Alto da Mata", Rio Grande do Norte, Brasilien*. *Aufschluss*, 50:117-121.

- WEGNER, R. 2000. *Recent Mineral Occurrences from Northeastern Brazil*. Abstr. 21<sup>st</sup> Ann. Meeting TGMS, Mineral. Symp. Min. Record., **31**, p. 180.
- WEGNER, R., PÖLLMANN, H., WITZKE, Th. 2000. *Recent Mineral discoveries from Paraíba and Rio Grande do Norte States, Brazil*. 31<sup>st</sup> Int. Geol. Congr., Poster Session, Rio de Janeiro,.
- WEGNER, R., LUCIO ALVES, M. A. 2001. *Geologia e Mineralogia do Pegmatito Alto Serra Branca-PB*. IX Encontro de Iniciação Cient./UFPB, João Pessoa/PB.
- WEGNER, R., BRITO, A. R. de, PÖLLMANN, H., 2002, *Eine ungewöhnliche Fluorid-Paragenese vom Pegmatit Serra Branca unweit Pedra Lavrada/PB, Brasilien*. *Aufschluss*, **53**, p. 159-165.
- WIMMENAUER, W. 1985. *Petrographie der magmatischen und metamorphen Gesteine*. Enke/Stuttgart, 382p.
- WINKLER, H. G. F. 1979. *Petrogenesis of the Metamorphic Rocks*. 5<sup>th</sup> Ed., Springer. 348p.
- WITZKE, Th., WEGNER, R., DOERING, Th., PÖLLMANN, H., SCHUCKMANN, W. 2000. *Serrabrancaite,  $MnPO_4 \times H_2O$ , a new mineral from the Alto Serra Branca Pegmatite, Pedra Lavrada, Paraíba, Brazil*. *Am. Min.*, **85**:847-849.

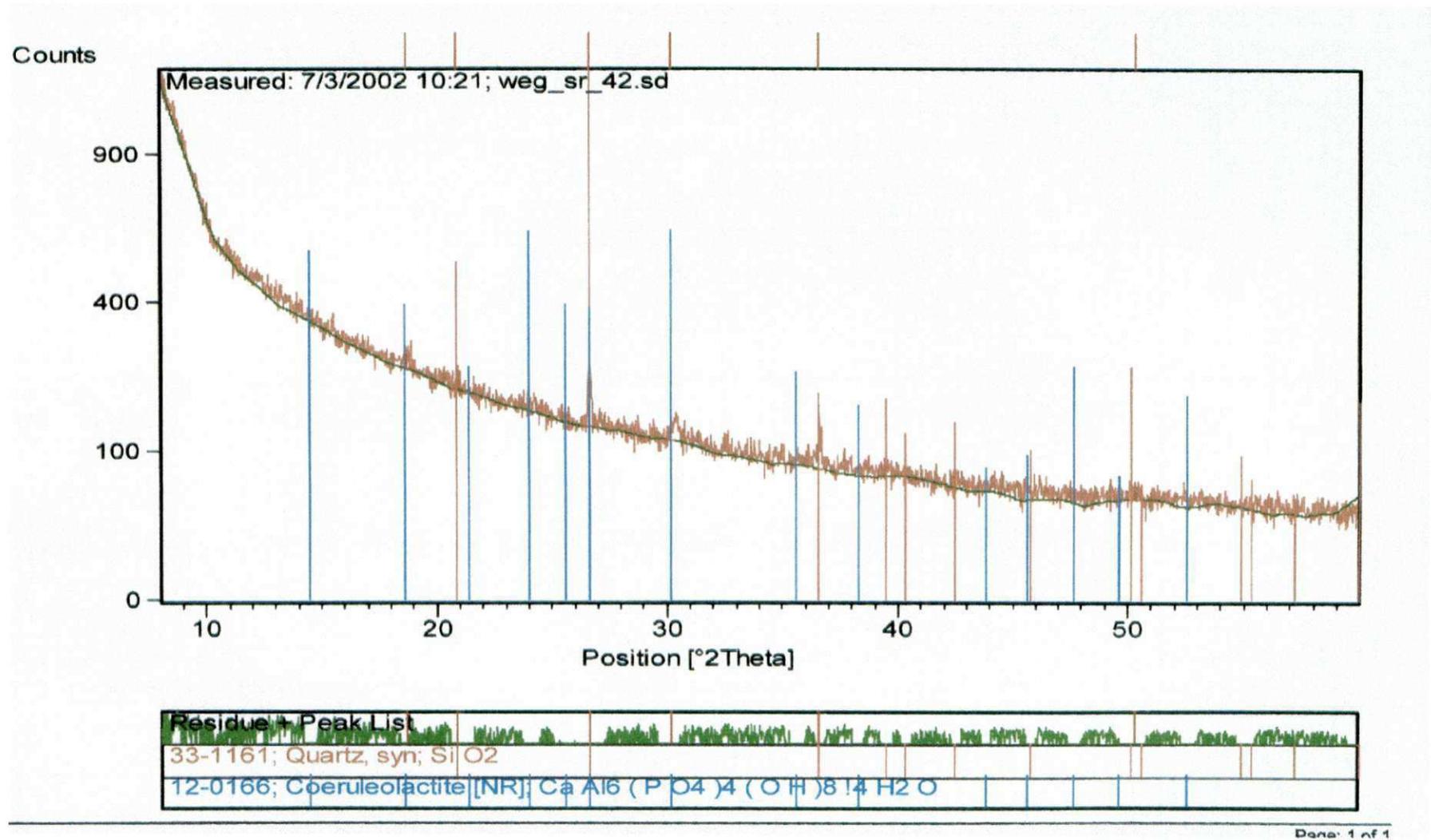
## 11. ANEXOS



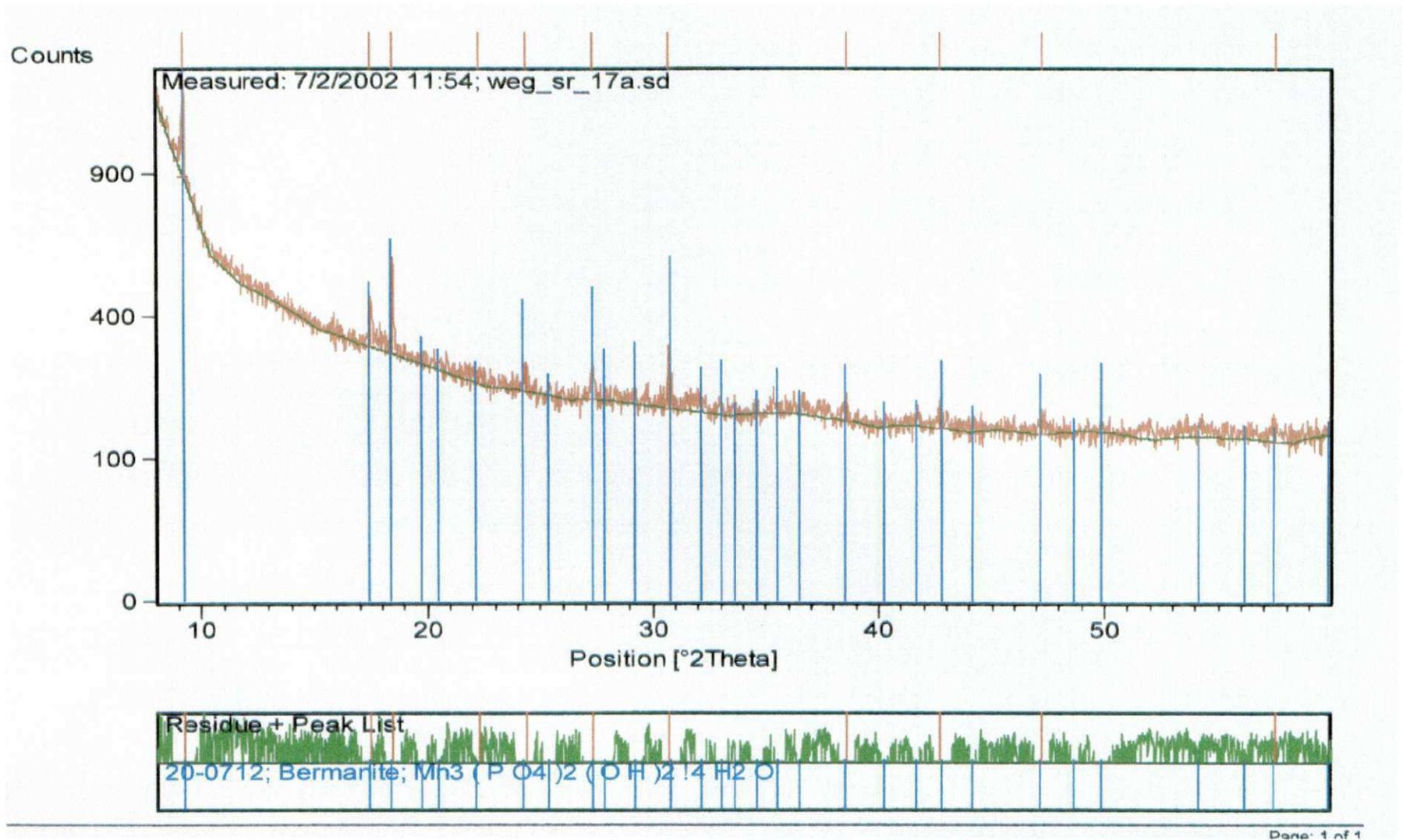


Page: 1 of 1

Anexo 2: Difratoograma dos minerais Serrabrancaite e Robertsita      Execução: Wegner & Göske - Instituto de Mineralogia/Halle

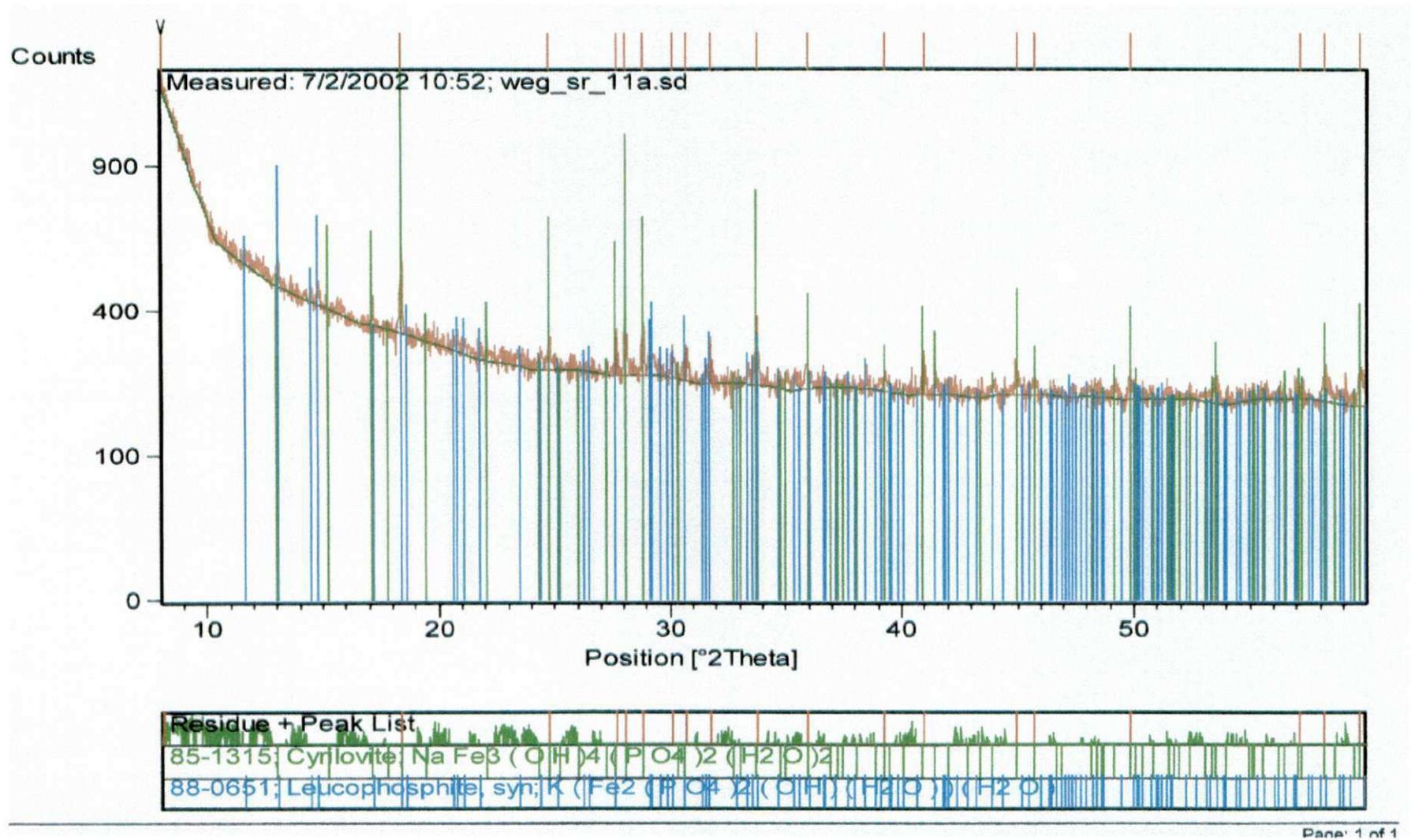


Anexo 3: Difratoograma dos minerais Quartzo e Coeruleolactita Execução: Wegner & Göske - Instituto de Mineralogia/Halle

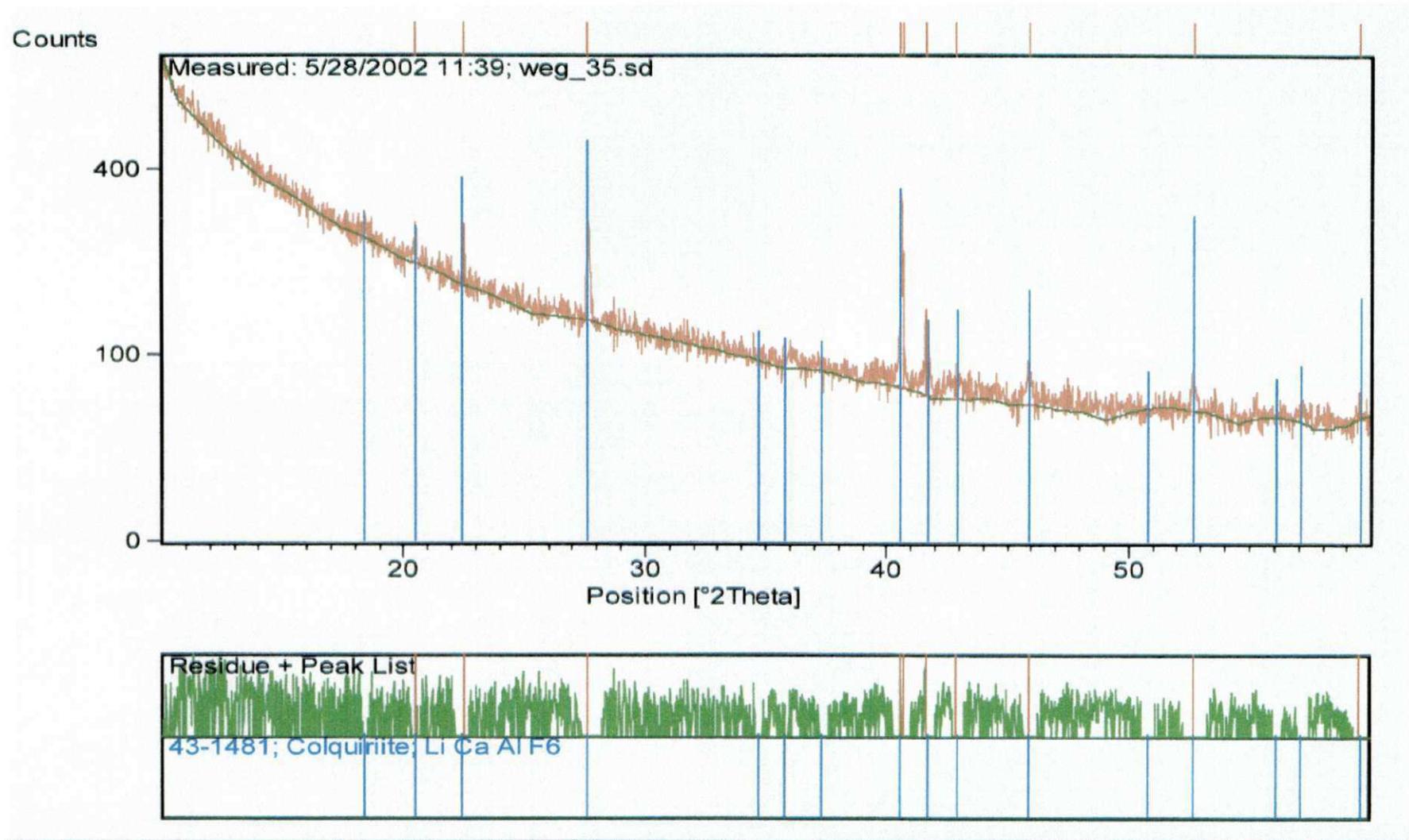


Anexo 4: Difratoograma do mineral Bermanita

Execução: Wegner &amp; Göske - Instituto de Mineralogia/Halle

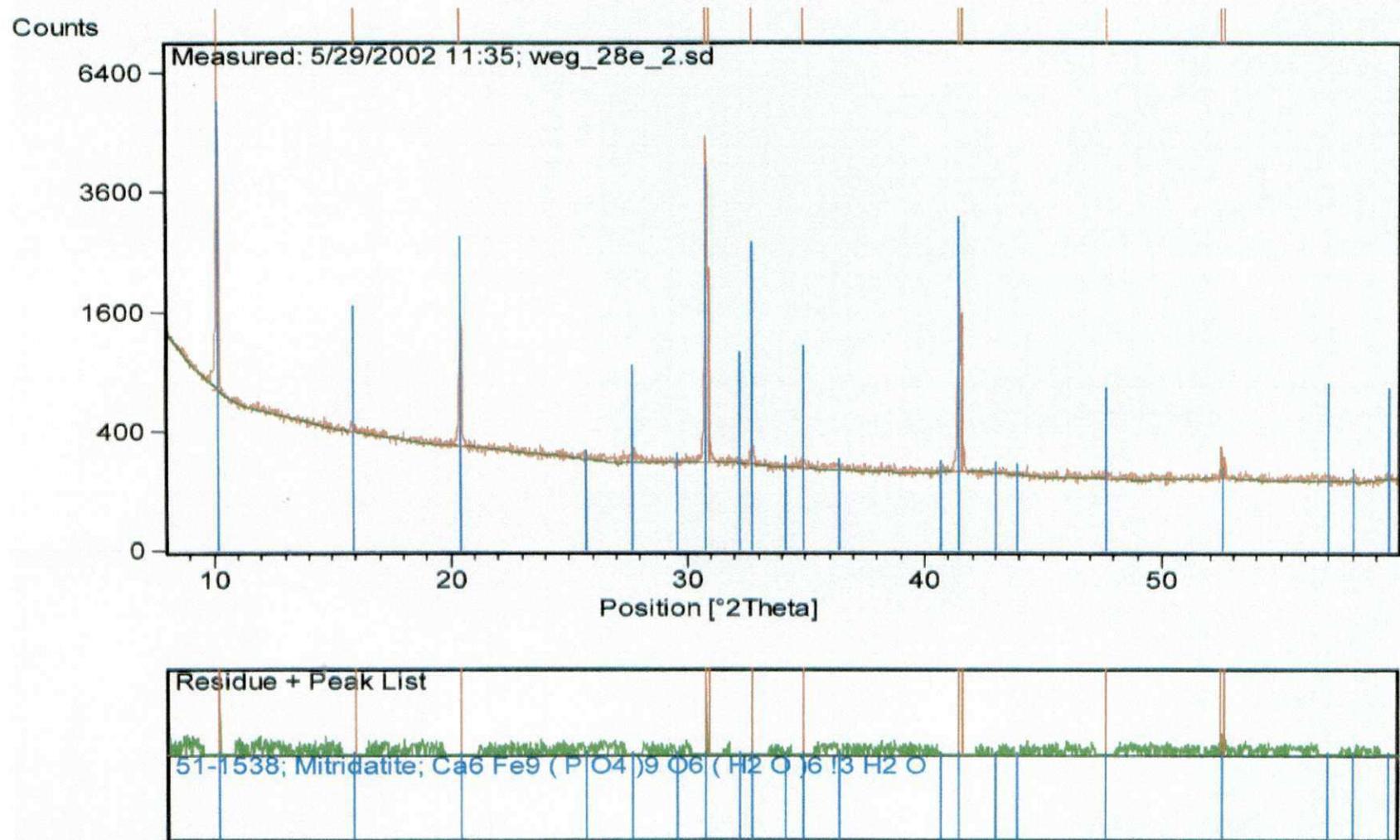


Anexo 5: Difratoograma dos minerais Cyrillovite e Leucophosphita **Execução:** Wegner & Göske - Instituto de Mineralogia/Halle



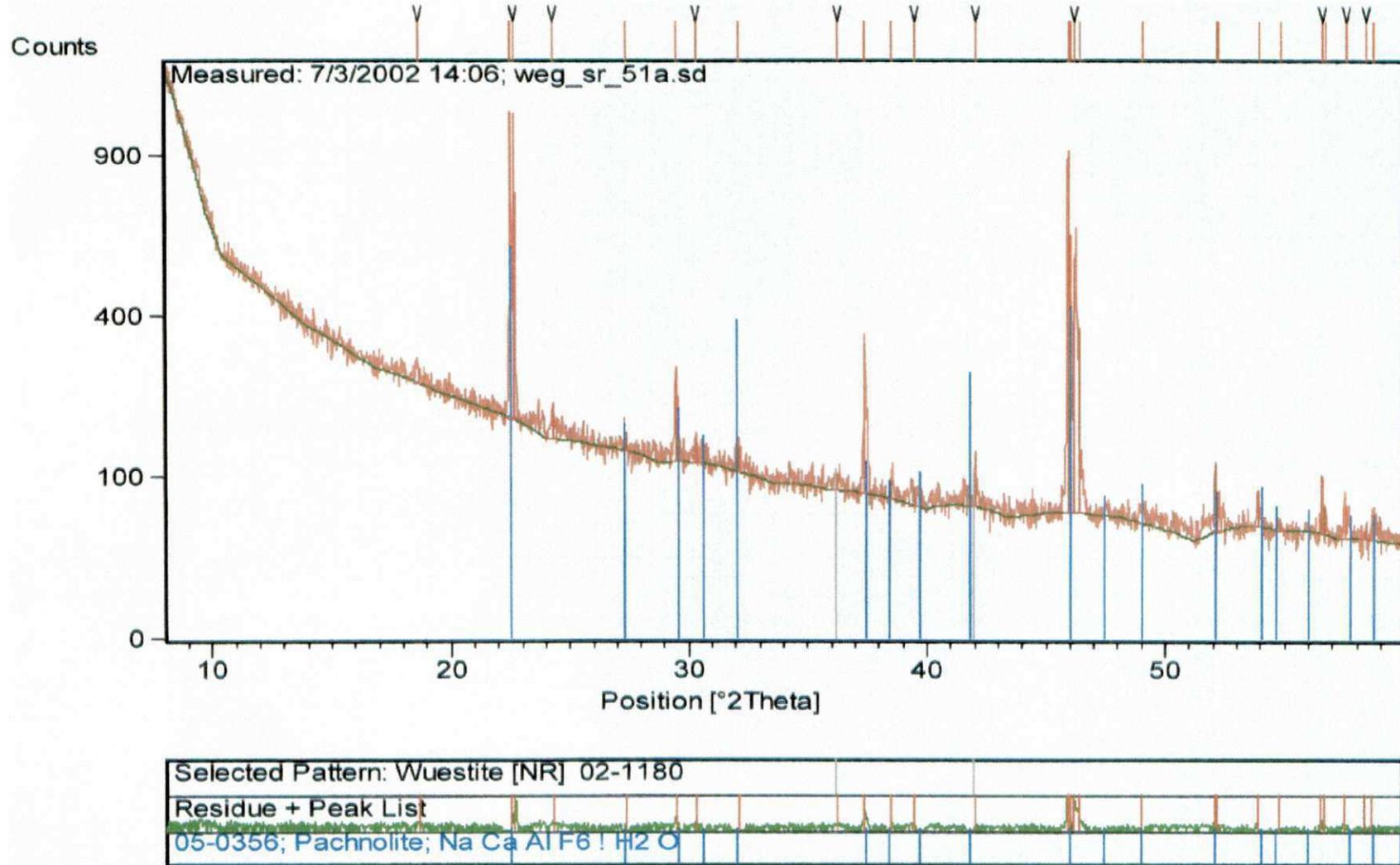
Anexo 6: Difratoograma do mineral Colquiriita

Execução: Wegner &amp; Göske - Instituto de Mineralogia/Halle



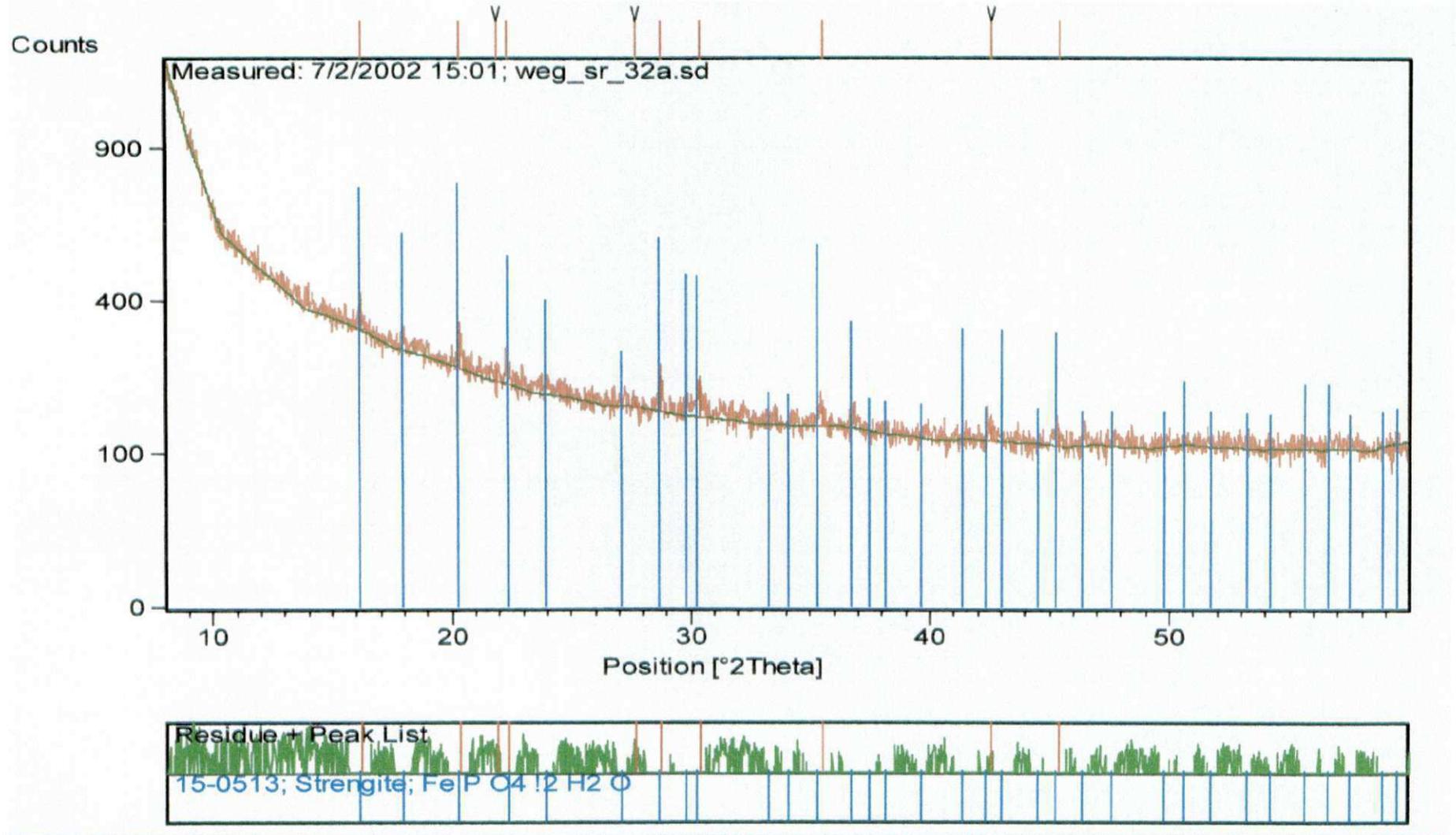
Page: 1 of 1

Anexo 7: Difratograma do mineral Mitridatita **Execução:** Wegner & Göske - Instituto de Mineralogia/Halle

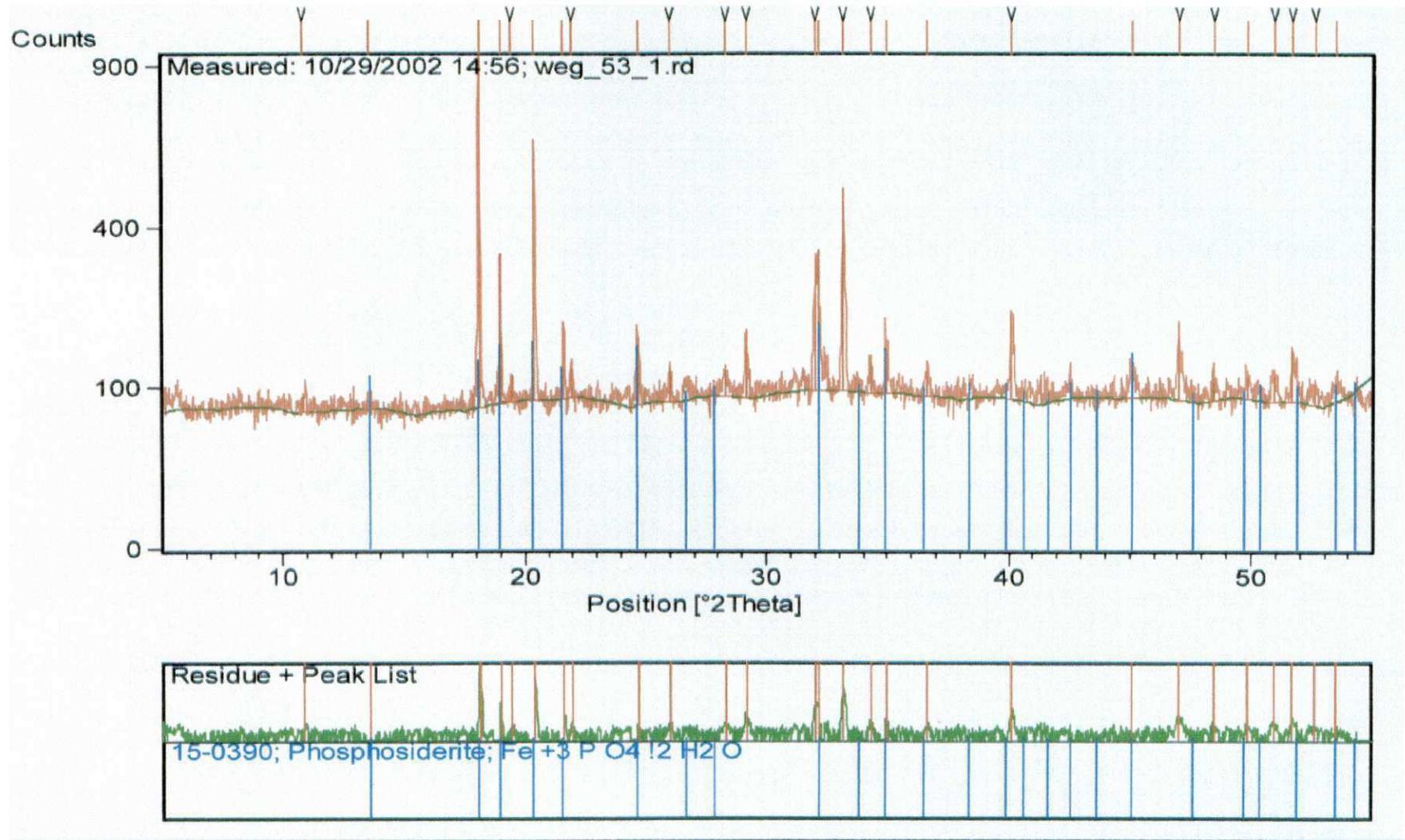


Page: 1 of 1

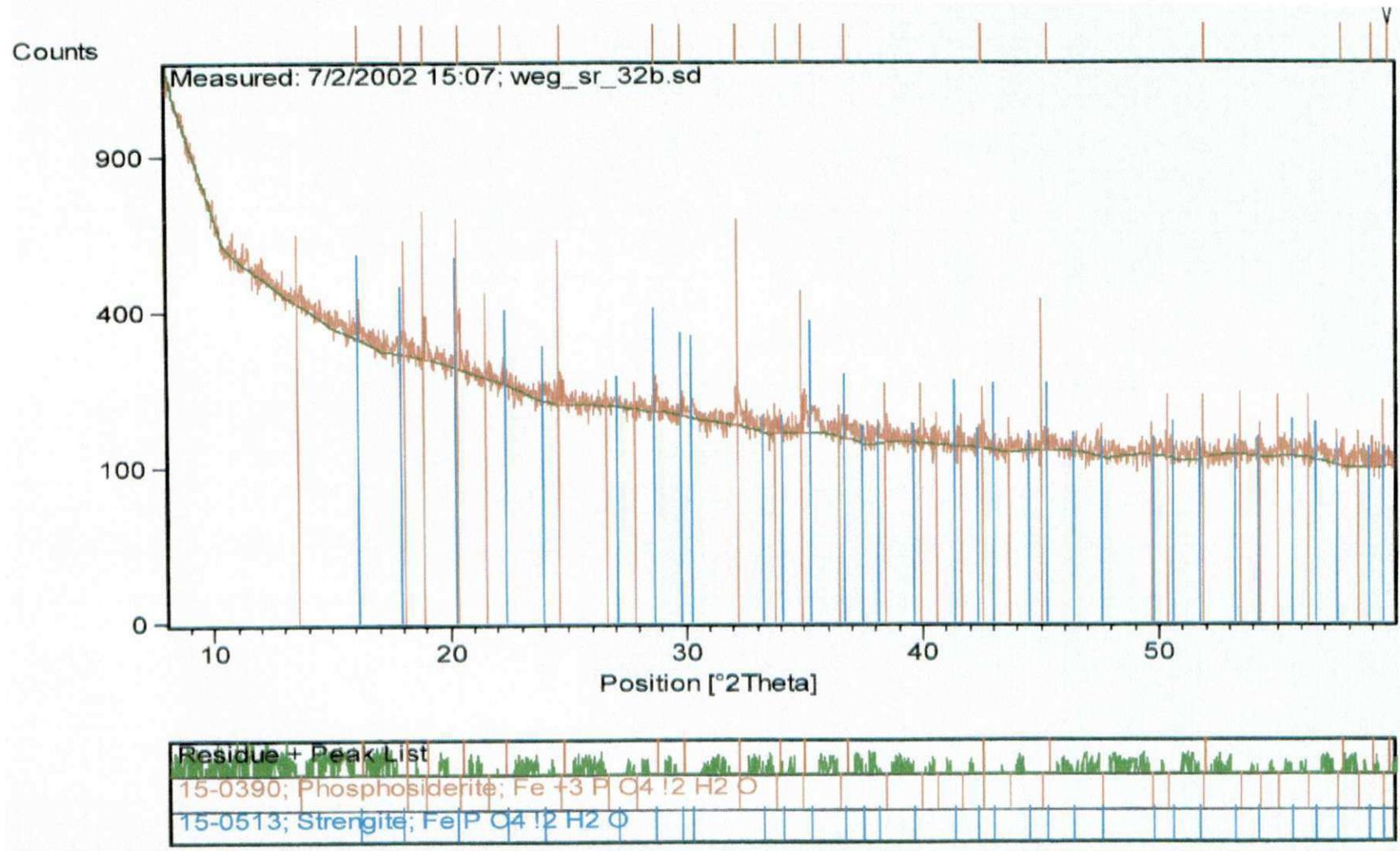
Anexo 8: Difratograma do mineral Pachnolita **Execução:** Wegner & Göske - Instituto de Mineralogia/Hall



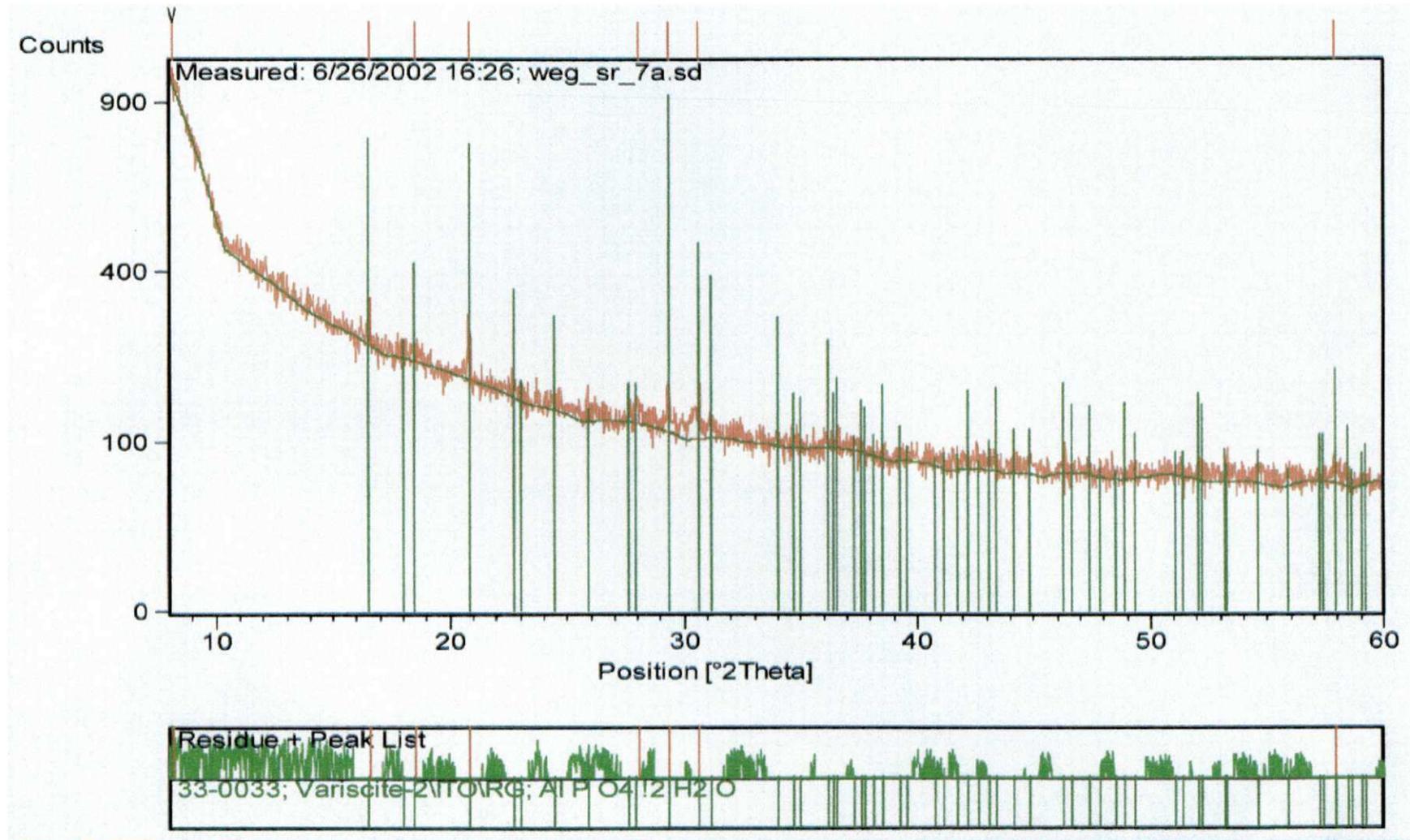
Anexo 9: Difratoograma de mineral Strengita    Execução: Wegner & Göske - Instituto de Mineralogia/Halle



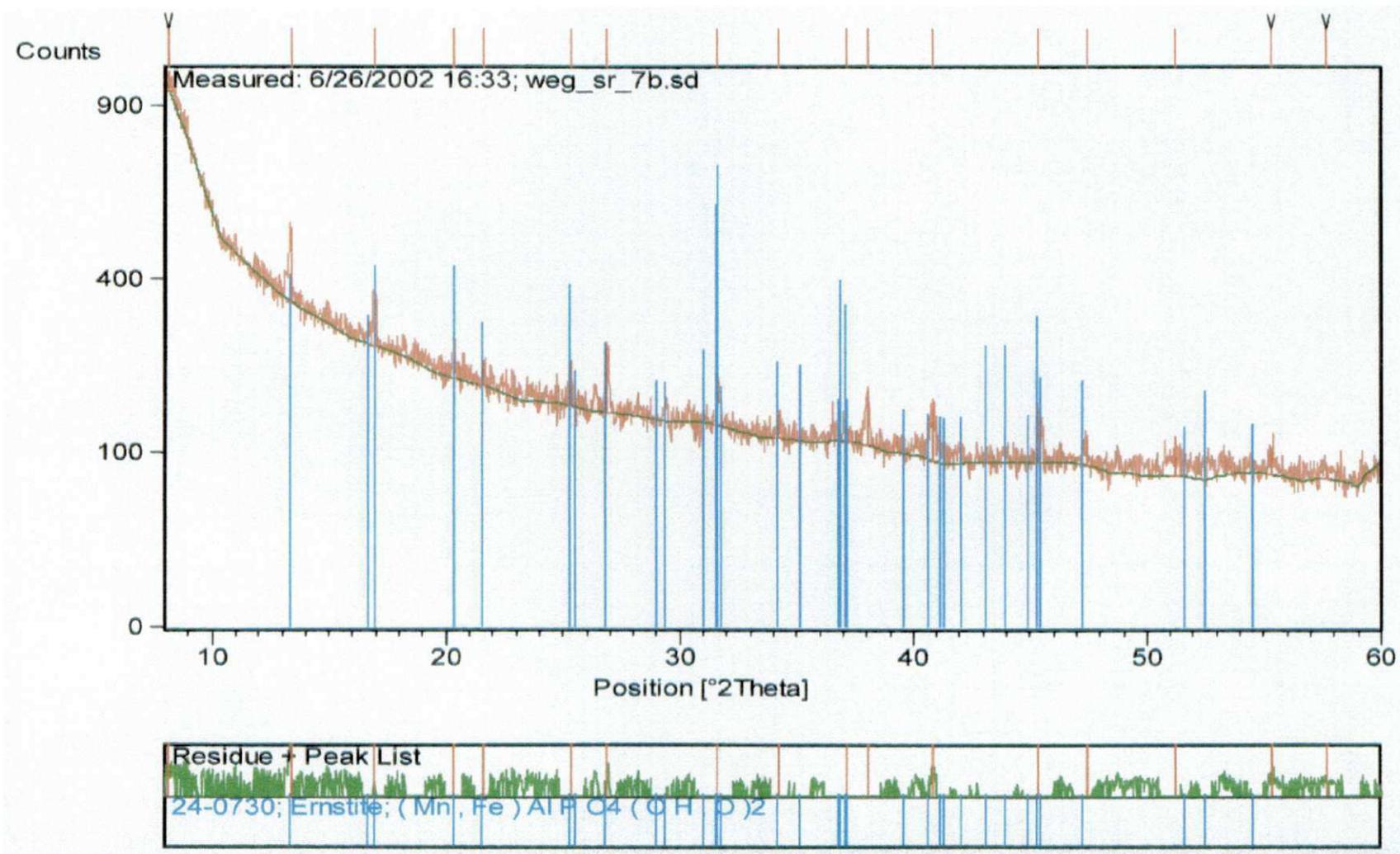
Anexo 10: Difratoograma do mineral Phosphosiderita **Execução:** Wegner & Göske - Instituto de Mineralogia/Halle



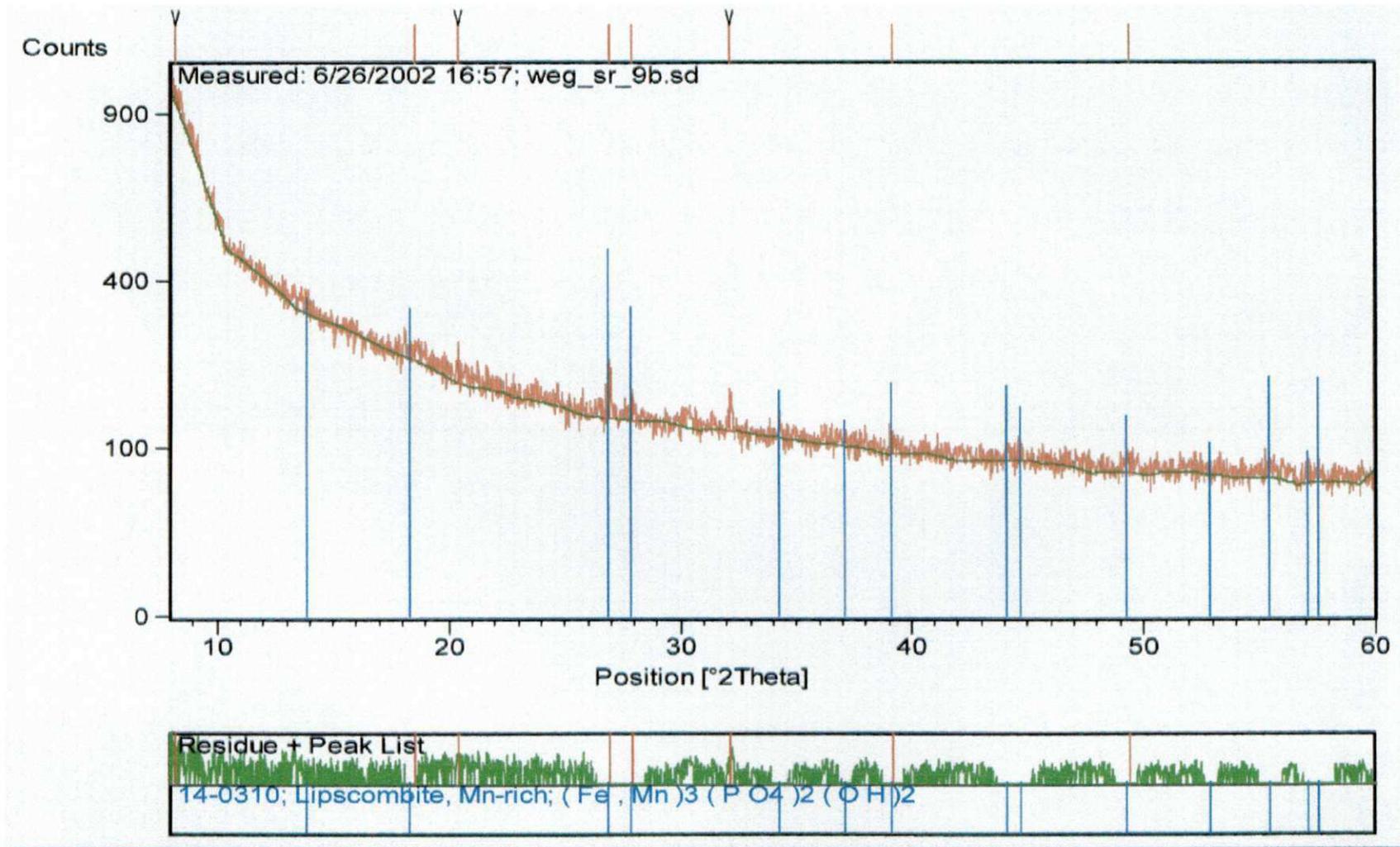
Anexo 11: Difratoograma do mineral Phosphosiderita-Strengita **Execução:** Wegner & Göske - Instituto de Mineralogia/Halle



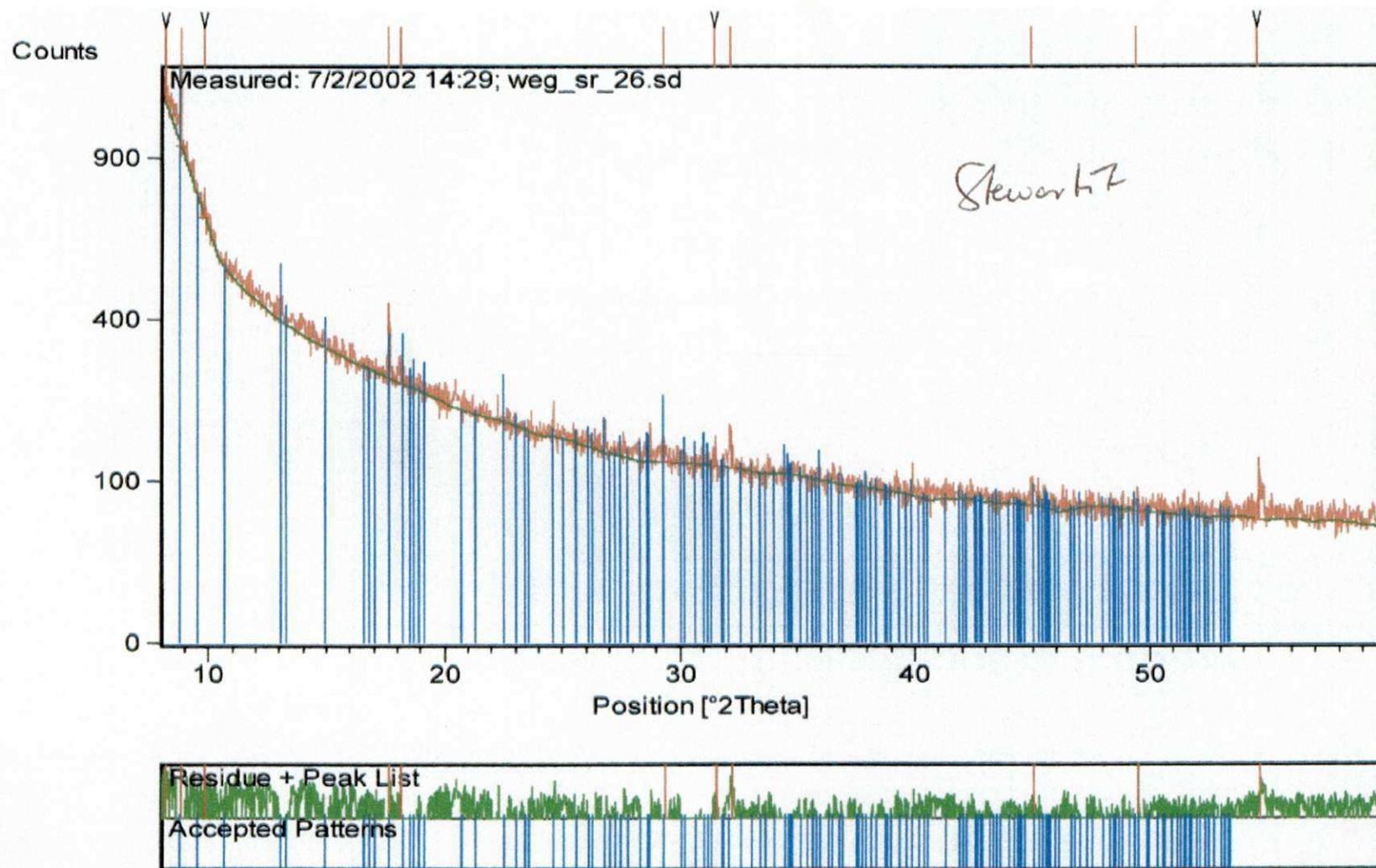
Anexo 12: Difratoograma do mineral Variscita **Execução:** Wegner & Göske - Instituto de Mineralogia/Halle



Anexo 13: Difratoograma do mineral Ernstita **Execução:** Wegner & Göske - Instituto de Mineralogia/Halle



Anexo 14: Difratoograma do mineral Lipscombite **Execução:** Wegner & Göske - Instituto de Mineralogia/Halle



Anexo 15: Difratoograma do mineral Stewartita **Execução:** Wegner & Göske - Instituto de Mineralogia/Halle