



UFRJ
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE MATEMÁTICA E CIÊNCIAS NATURAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

Danyel Pereira Avellar da Cunha

**EVOLUÇÃO SUPERGÊNICA DE ROCHAS MANGANESÍFERAS DO CINTURÃO
MINEIRO: O Papel da Litioforita na Fixação de Metais De Transição**

**Trabalho de Conclusão de Curso
(Geologia)**

Rio de Janeiro
Maio de 2026



UFRJ
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE MATEMÁTICA E CIÊNCIAS NATURAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

DANYEL PEREIRA AVELLAR DA CUNHA

EVOLUÇÃO SUPERGÊNICA DE ROCHAS MANGANESÍFERAS DO CINTURÃO
MINEIRO: O Papel da Litioforita na Fixação de Metais de Transição

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro —
UFRJ, apresentado como requisito necessário
para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores: Dr. Ciro Alexandre Ávila (MN-UFRJ)
Dr. Felipe Emerson André Alves (CETEM)
Dr. Reiner Neumann (CETEM)

Rio de Janeiro
Maio de 2026

Cunha, Danyel Pereira Avellar da

EVOLUÇÃO SUPERGÊNICA DE ROCHAS MANGANESÍFERAS DO CINTURÃO MINEIRO: O Papel da Litioforita na Fixação de Metais de Transição / Danyel Pereira Avellar da Cunha - Rio de Janeiro, UFRJ, Instituto de Geociências, 2026.

102 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Bacharel em Geologia, 2026.

Orientadores: Dr. Ciro Alexandre Ávila, Dr. Felipe Emerson André Alves, Dr. Reiner Neumann

1. Litioforita. 2. Metais de transição. 3. Evolução supergênica. 4. Gondito. 5. Cinturão Mineiro

Danyel Pereira Avellar da Cunha

EVOLUÇÃO SUPERGÊNICA DE ROCHAS MANGANESÍFERAS DO CINTURÃO
MINEIRO: O Papel da Litioforita na Fixação de Metais de Transição

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do
Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de
Janeiro — UFRJ, apresentado como requisito necessário
para obtenção do grau de Geólogo.

Dr. Ciro Alexandre Avila (MN-UFRJ)

Dr. Felipe Emerson André Alves (CETEM)

Dr. Reiner Neumann (CETEM)

Dra. Sílvia Regina de Medeiros (UFRJ)

MSc. Matheus Lamas Machado (Optimatech)

Rio de Janeiro
Maio de 2026

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família, meus pais, minha irmã, minha sobrinha e meus saudosos avós, e à minha namorada, por serem o meu alicerce emocional e tornarem a conclusão desta jornada possível.

Agradecimentos

A busca pelo conhecimento é um desdobramento lógico. No entanto, a execução dessa lógica nunca é um processo solitário. Por isso, agradeço primeiramente aos meus pais, Rosângela e Nélío, porque sem eles eu não estaria aqui e jamais conseguiria chegar onde estou.

À minha irmã, Joyce, que foi o meu primeiro incentivo a querer estudar. Aos meus avós, Sebastião, Maurita e Nelly e à minha tia Nádia pelo apoio incondicional. À minha namorada Alanis que me apoiou e esteve sempre presente nos meus momentos mais difíceis.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Ciro Ávila, que despertou meu interesse pela mineralogia e me permitiu conhecer o que é fazer pesquisa, um sonho esquecido por mim há muito tempo. Estendo minha profunda gratidão ao meu orientador Dr. Felipe Emerson, pela dedicação, amparo técnico e paciência imprescindíveis para o desenvolvimento deste trabalho no CETEM. Agradeço ao Dr. Reiner Neumann, na qualidade de líder do Setor de Caracterização Tecnológica do CETEM, espaço no qual a infraestrutura analítica desta pesquisa pôde ser realizada. Ao geólogo Matheus Machado, pela paciência e pelo suporte essencial na execução e compreensão dos dados analíticos. Aos técnicos Nininho e Josimar, cujo auxílio foi indispensável nas rigorosas etapas de preparação física das amostras, abrangendo a cominuição, o quarteamento e a separação densimétrica. Aos demais pesquisadores e colegas do projeto CoManga, que sanaram minhas dúvidas e curiosidades, e à Flávia, que me ajudou a reunir os últimos dados necessários.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), cujo financiamento viabilizou a minha dedicação a este estudo, e ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), pelo fornecimento de toda a infraestrutura e aparato necessários para esta pesquisa. A todos os meus professores durante a graduação. Aos colegas e amigos que conheci durante as aulas e os trabalhos de campo, especialmente Marllon, Daniela, Diego, Viviane, Julia Magaldi, Lucas e João, assim como a muitos outros que tornaram este processo de conclusão muito mais leve.

Resumo

CUNHA, D. P. A. EVOLUÇÃO SUPERGÊNICA DE ROCHAS MANGANESÍFERAS DO CINTURÃO MINEIRO: O Papel da Litioforita na Fixação de Metais de Transição. 2026. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2026, 102p.

O presente trabalho aborda caracterização mineralógica e a geoquímica de amostras de rochas manganesíferas intemperizadas contendo litioforita da sequência metavulcanossedimentar Rio das Mortes, no Cinturão Mineiro. A pesquisa adotou uma abordagem multimétodo, integrando difração de raios X (DRX) com refinamento de espectros multifásicos pelo método de Rietveld, espectrometria de fluorescência de raios X (FRX), espectrometria de massa (ICP-MS), microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura acoplada à espectroscopia de energia dispersiva (MEV-EDS) e microespectroscopia Raman. Os resultados revelam que a assembleia silicatada precursora é composta majoritariamente por quartzo e spessartina. Notadamente, a spessartina e a pirofanita atuaram como escudos químicos para a preservação de sulfetos primários de metais base e de scheelita, o que sugere forte correlação com um paleoambiente marinho anóxico e euxínico. Sob o regime de intemperismo laterítico tropical, o colapso estrutural desse arcabouço silicatado provocou a dissolução centrípeta da spessartina e a formação de halos temporários de caulinita. A lixiviação subsequente dessa argila forneceu alumínio (Al^{3+}) estritamente necessário, para estabilizar a litioforita, a qual precipitou de forma epigenética, inter crescendo com criptomelana e goethita em escala micrométrica na matriz. Devido à resolução espacial limitada do feixe de elétrons no MEV para microanálise química por EDS, que gerou assinaturas químicas mistas para essa matriz criptocristalina, a microespectroscopia Raman provou-se imprescindível para a discriminação das fases e a confirmação inequívoca da ocorrência de litioforita, atestada por suas bandas vibracionais diagnósticas em ~ 624 , ~ 573 , ~ 480 e $\sim 396 \text{ cm}^{-1}$. Geoquimicamente, comprovou-se o excepcional potencial de varredura iônica (*scavenging*) dessa assembleia de oxi-hidróxidos, a qual adsorveu e incorporou expressivas concentrações de metais de transição liberados pela destruição dos sulfetos, atingindo anomalias de até 2948 ppm de Ni, 1046 ppm de Cu e 346 ppm de Co. Conclui-se que a litioforita atua não apenas como um indicador termodinâmico de maturidade laterítica, mas também como uma fase mineral carreadora estratégica responsável por reter metais críticos nas condições oxidantes da superfície.

Palavras-chave: Litioforita; Metais de transição, Evolução supergênica; Gondito; Cinturão Mineiro.

Comentado [1]: Como assim?

Abstract

CUNHA, D. P. A. SUPERGENE EVOLUTION OF MANGANIFEROUS ROCKS OF THE MINEIRO BELT: The Role of Lithiophorite in the Scavenging of Transition Metals. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2026, 102p.

The present work characterizes the mineralogy and geochemistry of lithiophorite in weathered manganiferous rocks from the Rio das Mortes metavolcano-sedimentary sequence, in the Mineiro Belt. The research adopted a multi-method approach, integrating X-ray diffraction (XRD) with refinement by the Rietveld method, X-ray fluorescence (XRF), mass spectrometry (ICP-MS), optical microscopy, scanning electron microscopy coupled with energy dispersive X-ray fluorescence spectroscopy (SEM-EDS), and Raman microspectroscopy. The results reveal that the precursor silicate assemblage is majoritarily composed of quartz and spessartine. Notably, spessartine and pyrophanite acted as chemical shields for the preservation of primary base metal sulfides and scheelite, strongly suggesting a correlation with an anoxic and euxinic marine paleoenvironment. Under the tropical lateritic weathering regime, the structural collapse of this silicate framework triggered the centripetal dissolution of spessartine and the formation of temporary kaolinite halos. The subsequent leaching of this clay provided the aluminum (Al^{3+}) strictly necessary to stabilize lithiophorite, which precipitated an intergrowth of cryptomelane and goethite at a microscale within the matrix. Due to the limited spatial resolution of the electron beam in SEM-EDS, which generated mixed chemical signatures for this cryptocrystalline matrix, Raman microspectroscopy proved to be essential for the phase discrimination and the unequivocal confirmation of lithiophorite, attested by its diagnostic vibrational bands at ~ 624 , ~ 573 , ~ 480 , and $\sim 396 \text{ cm}^{-1}$. Geochemically, the exceptional scavenging potential of this oxyhydroxide assemblage was confirmed, as it adsorbed and incorporated significant concentrations of transition metals released by the destruction of sulfides, reaching anomalies of up to 2948 ppm of Ni, 1046 ppm of Cu, and 346 ppm of Co. It is concluded that lithiophorite acts not only as a thermodynamic indicator of lateritic maturity, but also as a strategic carrier mineral phase responsible for retaining critical metals under oxidizing surface conditions.

Keywords: Lithiophorite; Transition metals; Supergene evolution; Gondite; Mineiro belt.

Lista de figuras

Figura 1	— Demanda global de lítio por setor e região no cenário de políticas declaradas (STEPS). Adaptado de IEA (2025). Valores expressos em kt de LCE (Carbonato de Lítio Equivalente).	22
Figura 2	— Representação da estrutura da litioforita, evidenciando a alternância das camadas de manganês e alumínio/lítio unidas por ligações de hidrogênio. O espaçamento basal característico de 9,4 Å está indicado, refletindo a distância entre planos repetitivos ao longo do eixo c. Modelo gerado com base nos parâmetros cristalográficos de Post & Appleman (1994).	23
Figura 3	— Localização geográfica da área de estudo no estado de Minas Gerais e nos municípios com a presença de depósitos de Mn.	24
Figura 4	— Mapa geológico regional do Cinturão Mineiro. Modificado de Ávila <i>et al.</i> (2019). Setas numeradas indicam os locais de amostragem de rochas manganésíferas da sequência metavulcanossedimentar Rio das Mortes.	25
Figura 5	— Afloramento de rocha manganésífera (gondito intemperizado) associado a filito encaixante na mina do Monte Azul (Ponto de amostragem 3, Figura 4). A) Afloramento de filito com gondito na sequência metavulcanossedimentar Rio das Mortes evidenciando a inflexão estrutural da camada de gondito. B) Mesma fotografia com destaque (em amarelo) para a geometria do gondito.	25
Figura 6	— Fluxograma metodológico das etapas de preparação física e química das amostras para caracterização mineralógica e geoquímica. MEV/EDS: Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios X (EDS). ICP-MS: Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente.	26
Figura 7	— Diagrama de estabilidade termodinâmica tridimensional para o sistema pirolusita-litioforita-gibbsita-caulinita a 25°C e log fO ₂ = -0,68 (Parc <i>et al.</i> , 1989).	33
Figura 8	— Projeção estrutural das camadas da litioforita ao longo do eixo b segundo Wadsley (1952). As linhas tracejadas delimitam a cela unitária do sistema monoclinico (C2/m) originalmente proposto para o mineral, evidenciando o empilhamento paralelo das folhas octaédricas de manganês e alumínio/lítio.	34
Figura 9	— Representação esquemática da sub-cela hexagonal e da superestrutura da litioforita (Pauling & Kamb, 1982). O losango menor demarca a subcela hexagonal e as linhas tracejadas maiores delimitam a superestrutura. O arranjo evidencia a ordenação cristalográfica proposta para o mineral, demonstrando como os cátions de lítio e alumínio ocupam a camada octaédrica central e como os cátions de Mn ²⁺ se distribuem nas camadas de manganês adjacentes (superior e inferior) para garantir a estabilidade e o balanço de cargas da estrutura.	35

Comentado [2]: Qual é o ponto correspondente a esse afloramento no mapa?

Comentado [2R2]: Indicar aqui... Imagino que seja um ponto de onde vieram alguma das amostras que você usou, certo?

Comentado [3]: Pode apagar a setinha que site de ICP-MS e vai para fusão

Comentado [4]: Ao invés de metalização com carbono, utilize recobrimento com carbono

Comentado [4R2]: Na figura

- Figura 10 — Representação poliédrica da estrutura cristalina da litioforita (Post & Appleman, 1994). A imagem evidencia o contorno da cela unitária hexagonal, corroborando a simetria trigonal (grupo espacial $R\bar{3}m$) estabelecida para o mineral. 37
- Figura 11 — Contraste mineralógico decorrente do intemperismo químico com amostra de minerais de Mn. A) Protominério primário preservado, representado por rodocrosita de Conselheiro Lafaiete (Afonso, 2019). B) Minério oxidado supergênico negro evidenciando o enriquecimento residual em óxidos de manganês e de hidróxido de Mn da área de estudo. 40
- Figura 12 — Interpretação geológica de ocorrências manganíferas em frente de lavra abandonada na região de Nazareno, Minas Gerais. As imagens (A e B) representam uma cava abandonada na área de estudo. Este afloramento é apresentado aqui como um modelo análogo para ilustrar os contatos entre o saprólito e os maciços manganíferos intemperizados (polígonos amarelos), além das zonas de material fragmentado/retrabalhado (polígonos laranjas), feições supergênicas também características do contexto de Morro da Mina. Vegetação arbórea (~3 a 5 m) serve como escala aproximada. 41
- Figura 13 — Difrátogramas comparativos das amostras CoManga 14, 25, 2PM e 26. As linhas verticais tracejadas indicam as posições das reflexões principais de litioforita (Lpr), quartzo (Qz) e spessartina (Sps). As reflexões secundárias destas fases foram indexadas detalhadamente no difratograma da amostra CoManga 26 (topo) para servir de referência visual para as demais. Setas indicam a presença das fases caulinita (Kln) e gibbsita (Gbs). 43
- Figura 14 — Difrátogramas comparativos das amostras CoManga 16 e 22. As linhas tracejadas marcam os picos diagnósticos da assembleia de óxidos: litioforita (Lpr), criptomelana (Cml), gibbsita (Gbs) e goethita (Gth). 44
- Figura 15 — Difrátogramas comparativos das diferentes frações da amostra CoManga 2PM. As siglas posicionadas sobre os difratogramas indicam os reflexos diagnósticos das respectivas fases minerais. Um detalhe ampliado (zoom) foi inserido para destacar as reflexões de menor intensidade, permitindo a visualização clara das fases supergênicas minoritárias que, de outra forma, não se destacam em função dos picos de alta intensidade dos minerais precursores. (Lpr = litioforita, Sps = spessartina). 48
- Figura 16 — Difrátogramas comparativos das diferentes frações da amostra CoManga 26. As siglas posicionadas sobre os difratogramas indicam as reflexões diagnósticos das respectivas fases minerais. Um detalhe ampliado (zoom) foi inserido para destacar as reflexões de menor intensidade, permitindo a visualização clara das fases supergênicas minoritárias que, de outra forma, seriam ofuscadas pelos picos de alta intensidade dos minerais precursores. (Lpr = litioforita, Sps = spessartina, Qz = quartzo). 49
- Figura 17 — Difrátogramas comparativos das diferentes frações da amostra CoManga 22. As siglas posicionadas sobre os difratogramas indicam as reflexões diagnósticas das respectivas fases minerais. (Lpr = litioforita, Cml = criptomelana, Gth = goethita, Gbs = gibbsita). 49

- Figura 18 — Difratograma da fração grossa fluçada da amostra CoManga 16. A sigla posicionada sobre o difratograma indicam as reflexões diagnósticas da litioforita (Lpr). 50
- Figura 19 — Arcabouço silicatado primário e bandamento composicional reliquiar na amostra CoManga 26. Imagens de microscopia eletrônica de varredura em elétrons retroespalhados (MEV-BSE). (A) Contraste composicional dos domínios estruturais. Qz = quartzo, Sps = spessartina. (B) Interpretação estrutural sobre a mesma imagem, utilizando linhas tracejadas para separar os domínios mineralógicos e destacar a alternância entre as bandas ricas em granada (spessartina) e os níveis de quartzo, característicos do bandamento primário do protominério. 51
- Figura 20 — Relações texturais e o particionamento de domínios no estágio inicial de colapso do protominério na amostra CoManga 14. Imagens de microscopia eletrônica de varredura no modo elétrons retroespalhados (MEV-BSE). Em (A), o dado instrumental puro evidenciando cristais reliquiais de spessartina (Sps), a identificação pontual da pirofanita (Pph) e da litioforita (Lpr), além das amplas áreas de intercrescimento submicroscópico inseparável indicadas como matriz oxi-hidroxilada (MnOx). Em (B), a interpretação estrutural delineada pela linha contínua laranja. 52
- Figura 21 — Mapeamento analítico *in situ*, minerais refratários e matriz supergênica na amostra CoManga 14. Em (A), imagem MEV-BSE evidenciando a matriz oxi-hidroxilada (MnOx) indiferenciada, a qual abriga cristais reliquiais refratários de pirofanita (Pph) e zircão (Zrn) mais claros. Em detalhe, observa-se um cristal de litioforita (Lpr) com bordas substituídas por criptomelana (Cml). Em (B), fotomicrografia sob luz refletida do mesmo campo, evidenciando as propriedades ópticas diagnósticas das fases: pirofanita em tons azul-acinzentados, litioforita em cinza-esverdeado e criptomelana exibindo alta reflectância (branco). Os marcadores em formato de cruz (+) sobrepostos à imagem indicam as coordenadas espaciais exatas das microanálises pontuais de microquímicas por EDS e microespectroscopia Raman, as quais confirmam a composição do núcleo esverdeado de litioforita, das bordas de criptomelana e atestam as demais fases que compõem a matriz. 53
- Figura 22 — Imagem de BSE apresentando um detalhe em alta ampliação de inclusão reliquiar de scheelita blindada por pirofanita na amostra CoManga 26. A imagem evidencia um cristal anédrico refratário de pirofanita (Pph) atuando como "cápsula" protetora, abrigando uma microinclusão de scheelita (Sch) e a isolando do intemperismo imposto à matriz circundante. O contraste de fases gerado pelo número atômico médio destaca a scheelita em tons mais claros (branco). 53
- Figura 23 — Corrosão do arcabouço silicatado e detalhe das inclusões reliquiais da amostra CoManga 14. (A) Imagem de BSE evidenciando cristal de spessartina (Sps) submetido a corrosão interna, com as cavidades e fraturas preenchidas pela matriz oxi-hidroxilada (MnOx). Nas bordas, nota-se a presença de litioforita (Lpr) (cinza escuro) de baixa cristalinidade e pirofanita (Pph). (B) Detalhe em luz refletida do setor interno da mesma granada, demarcado pelas linhas de correlação a partir de (A), destacando a integridade ótica do silicato e a preservação de inclusões de pirofanita (Pyh). Os marcadores em formato de cruz (+) indicam as coordenadas exatas das análises *in situ* por EDS e microespectroscopia (Raman). 54
- Figura 24 — Evidências de substituição pseudomórfica e preenchimento de fraturas por fluidos supergênicos na amostra CoManga 26. Imagem de elétrons retro espalhados MEV-

BSE mostrando cristal reliquiar de spessartina (Sps) em processo de corrosão centrípeta, abrigando microinclusões preservadas de quartzo primário (Qz) e sulfetos, notadamente calcopirita (Ccp) e pentlandita (Pn). Nas bordas do silicato, observa-se a precipitação de litioforita (Lpr), a qual engloba os cristais de quartzo residuais, comprovando o processo termodinâmico de substituição in situ. Fratura adjacente preenchida por matriz oxi-hidroxilada (MnOx), com neoformação associada de goethita (Gth) em suas margens. Os marcadores em formato de cruz (+) indicam as coordenadas exatas das análises in situ acopladas de microquímica por EDS.

55

- Figura 25 — Mapeamento microquímico (EDS) e texturas de alteração do arcabouço silicatado primário na amostra CoManga 26. (A) Imagem MEV-BSE evidenciando o arcabouço de spessartina (Sps) em matriz de quartzo (Qz). Observa-se a formação de coroas de reação de litioforita (Lpr) ao redor da granada, bem como o desenvolvimento de caulinita (Kln) de hábito maciço e a transição para a matriz oxi-hidroxilada indiferenciada (MnOx). A fratura adjacente exibe preenchimento zonado por goethita (Gth) substituindo criptomelana (Cml) na porção central. (B) Mapa composicional de espectroscopia de energia dispersiva (EDS) da mesma área, evidenciando o particionamento geoquímico supergênico por meio da distribuição espacial dos elementos Al (azul), Si (magenta) e Mn (amarelo).

55

- Figura 26 — Substituição pseudomórfica e evolução textural da matriz madura na amostra CoManga 22. (A) Imagem de BSE evidenciando domínios de pseudomorfismo, onde maciços de lamelas de litioforita (Lpr) mimetizam o hábito dos cristais de granada lixiviados, com núcleos e matriz circundante preenchidos por criptomelana (Cml) maciça. A área designada como MnOx reflete a matriz de intercrescimento submicroscópico, cuja assinatura química mista no feixe de elétrons foi resolvida via microespectroscopia Raman. (B) Imagem sob luz refletida do grão demarcado pelas linhas de chamada a partir de (A), destacando o forte contraste óptico entre a litioforita (tons de cinza) e a criptomelana (cor branca). Os marcadores em formato de cruz (+) indicam as coordenadas exatas das análises por EDS e por microespectroscopia (Raman).

56

- Figura 27 — Ocorrência e aspectos microtexturais da litioforita (MEV-BSE). Imagens de microscopia eletrônica de varredura no modo elétrons retroespalhados (MEV-BSE). O contraste em tons de cinza reflete o número atômico médio das fases, enquanto áreas de preto absoluto indicam cavidades lixiviadas e porosidade. (A) Amostra CoManga 26 exibindo dois domínios: à direita, cristais de spessartina (Sps) rodeados por bordas de óxidos de manganês em matriz de quartzo à esquerda, precipitação de múltiplas microbandas de litioforita (Lpr). (B) Amostra CoManga 22 revelando uma feição pseudomórfica com bandamento rítmico interno de oxi-hidróxidos indiferenciados (MnOx), evidenciando a substituição total do cristal precursor. A matriz circundante, de refletividade cinza-escuro, apresenta intercrescimento intersticial com a goethita. A rocha exibe intensa microporosidade de dissolução, culminando em grãos totalmente lixiviados (vazios escuros). (C) Amostra CoManga 22 detalhando o desenvolvimento de litioforita de hábito acicular (fase escura) associada à precipitação de criptomelana (fase clara de alta refletividade) nos espaços intersticiais, permeada por microporosidade. (D) Ampliação do quadro C, evidenciando a morfologia acicular dos cristais de litioforita e a interpenetração da criptomelana adjacente.

57

Figura 28 — Alteração intempérica da spessartina e assembleia supergênica na amostra CoManga 25. (A) Imagem de BSE evidenciando a corrosão do arcabouço silicatado, com cristais reliquias de spessartina (Sps) zonada e substituída de forma centrípeta por halos de caulinita (Kln) criptocristalina. A matriz secundária é composta por criptomelana (Cml) maciça e litioforita (Lpr) botrioidal (microesferas arredondadas - círculo azul, circulada na imagem), a qual engolfa cristais refratários de quartzo (Qz). Observa-se o crescimento de cristais aciculares mais claros de criptomelana sobre a litioforita. (B), Imagem sob luz refletida da mesma área, evidenciando o contraste de propriedades ópticas: litioforita em tons cinza-esverdeados; criptomelana maciça em coloração branca; quartzo cinza escuro; spessartina em tons de cinza médio; e a caulinita exibindo reflectância virtualmente nula (escuro) e ocorrendo ao redor da granada. Os marcadores em formato de cruz (+) indicam as coordenadas espaciais exatas onde foram extraídos os dados pontuais por EDS e microespectroscopia Raman. 57

Figura 29 — Aspectos microtexturais da precipitação de litioforita e óxidos supergênicos em zonas de fratura (MEV-BSE). Imagens de microscopia eletrônica de varredura no modo elétrons retroespalhados (MEV-BSE) da amostra CoManga 25. O contraste em tons de cinza reflete o número atômico médio das fases. (A) Visão geral de uma fratura preenchida por agregados microcristalinos de oxi-hidróxidos, destacando-se a criptomelana (Cml; fase branca de alta refletividade) associada a domínios de litioforita. Nas bordas da fratura, o arcabouço silicatado exibe cristais de spessartina com intensa corrosão centrípeta, ladeados por halos de caulinita (Kln) neoformada (tons escuros). (B) Ampliação (zoom) do interior da fratura detalhando feições de precipitação de fluidos. Observam-se texturas coloformes e botrioidais com bandamento rítmico e micro-nódulos constituídos pela alternância de criptomelana e goethita (cinza-escuro). Estes são engolfados por uma matriz oxi-hidroxilada de mistura criptocristalina (MnOx) com refletividade intermediária a alta. (C) Domínio distinto de fratura evidenciando agregados anédricos a maciços de litioforita (cinza muito escuro). A matriz circundante é dominada por goethita, a qual encontra-se com microfraturas preenchidas pela própria litioforita, configurando um íntimo intercrescimento. 59

Figura 30 — Assembleia supergênica madura e propriedades ópticas na matriz da amostra CoManga 16. (A) Imagem MEV-BSE evidenciando a matriz oxi-hidroxilada madura (símbolos em B), destacando-se o desenvolvimento de litioforita (Lpr) de hábito placóide, massas de goethita (Gth) botrioidal (microesferas arredondadas - círculo azul) intercrescida com criptomelana (Cml) e cristais reliquias refratários de grafita (Gr). (B) Imagem sob luz refletida do mesmo campo evidenciando o marcante contraste de propriedades ópticas: goethita em tons cinza-azulados; litioforita variando de cinza-azulado escuro a cinza-esverdeado; e criptomelana exibindo tons mais claros (branco-acinzentado). Os marcadores em formato de cruz (+) sobrepostos à imagem indicam as coordenadas espaciais exatas onde foram extraídos os dados pontuais por EDS e microespectroscopia Raman. 60

- Figura 31 — Matriz supergênica madura e preenchimento tardio de cavidades de dissolução na amostra CoManga 2PM. A) Imagem MEV-BSE detalhando a matriz oxi-hidroxilada (MnOx), com destaque para o desenvolvimento de cristais de litioforita (Lpr) de baixa cristalinidade e contornos anédricos. Observa-se o preenchimento de cavidades de dissolução por precipitação tardia de criptomelana (Cml). B) Imagem sob luz refletida evidenciando a alta reflectância da criptomelana (branco) em forte contraste com a litioforita intensamente alterada e a matriz indiferenciada, as quais exibem tons de cinza-esverdeado escuro. Os marcadores em formato de cruz (+) sobrepostos à imagem indicam as coordenadas espaciais exatas onde foram extraídos os dados pontuais por EDS e microespectroscopia Raman. 61
- Figura 32 — Amplo campo de visão evidenciando cristais de grafita (Gr) orientados na matriz oxi-hidroxilada segundo a trama reliquiar da rocha na amostra CoManga 16. Imagem de BSE em baixa ampliação. O registro ilustra o arranjo direcional dos cristais refratários de grafita de hábito placóide, os quais resistiram ao intemperismo supergênico e geralmente preservam a foliação da rocha metamórfica precursora. O forte contraste escuro da grafita em relação à matriz circundante mais clara é inerente à técnica BSE, refletindo o baixo número atômico médio do carbono. Os dois traços paralelos sobrepostos à imagem indicam a orientação espacial da trama estrutural preservada. 61
- Figura 33 — Espectros Raman de alta resolução da litioforita obtidos em três amostras distintas. As linhas verticais demarcam as posições vibracionais diagnósticas de referência da litioforita balizadas na literatura (destacando-se a banda principal em $\sim 624\text{ cm}^{-1}$), evidenciando a correspondência direta e a validação analítica da fase mineral estudada. 62
- Figura 34 — Espectro Raman de alta resolução da grafita na amostra 16. 66
- Figura 35 — Espectro Raman da grafita obtido no RRUFF (R120025, 2026). 66

Lista de tabelas

Tabela 1	— Principais minerais de manganês e suas fórmulas químicas.	30
Tabela 2	— Composição mineralógica quantitativa das amostras obtidas por refinamento Rietveld (% em peso). (*) incluindo outros oxi-hidróxidos de manganês (ex: hausmannita), hematita, actinolita e minerais traço. (-) Fase não detectada.	45
Tabela 3	— Composição química global das amostras envolvendo óxidos maiores, componentes voláteis (PPC) e elementos traço. Óxidos maiores e PPC expressos em porcentagem (%) e determinados por FRX. Carbono (C) e enxofre (S) determinados por análise elementar por combustão. Elementos traço (Li, Ni, Co, Cu, Ba) expressos em ppm e determinados por ICP-MS. (—) Elemento abaixo do limite de detecção.	46
Tabela 4	— Fórmula química, densidade teórica e comportamento físico esperado das fases minerais identificadas nas amostras estudadas. Dados cristalográficos e físicos extraídos de Deer <i>et al.</i> (1982) e Gaines <i>et al.</i> (1997).	47
Tabela 5	— Balanço de massa das etapas de pré-tratamento e separação física das amostras. Todo o material foi submetido a cominuição com granulometria de tamanho máximo de 300 µm antes do peneiramento. A separação densimétrica da fração grossa (>106 µm) utilizou iodeto de metileno com densidade de corte de $D = 3,32 \text{ g/cm}^3$.	47
Tabela 6	— Assinatura vibracional (microespectroscopia Raman) e relações microtexturais das fases minerais com dados de referência extraídos de Burlet e Vanbrabant (2015), Post <i>et al.</i> (2020) e RRUFF (R050503, R060279, R120025, (2026)). (F) indica bandas de forte intensidade relativa, conforme espectros brutos.	63
Tabela 7	— Estatística descritiva da composição microquímica (EDS) das principais fases minerais ao longo da evolução intempérica. As concentrações estão expressas em porcentagem em peso de óxidos (wt%). Os dados sumarizam os teores médios, desvios padrão, além dos valores mínimos e máximos obtidos, refletindo a variabilidade composicional e a flexibilidade das soluções sólidas nas matrizes estudadas. Os dados foram normalizados a base 100% anidra.	64
Tabela 8	— Resultados de microanálises por EDS (% em peso) da litioforita. Resultados normalizados a 100% em base anidra.	77
Tabela 9	— Resultados de microanálises por EDS (% em peso) da criptomelana. Resultados normalizados a 100% em base anidra.	80
Tabela 10	— Resultados de microanálises por EDS (% em peso) da goethita. Resultados normalizados a 100% em base anidra.	87
Tabela 11	— Resultados de microanálises por EDS (% em peso) da spessartina. Resultados normalizados a 100% em base anidra.	93
Tabela 12	— Resultados de microanálises por EDS (% em peso) da pirofanita. Resultados normalizados a 100% em base anidra.	95
Tabela 13	— Resultados de microanálises por EDS (% em peso) da caulinita. Resultados normalizados a 100% em base anidra.	96

Tabela 14	— Resultados de microanálises por EDS (% em peso) da quartzo. Resultados normalizados a 100% em base anidra.	97
Tabela 15	— Resultados das microanálises por EDS (% em peso) das fases acessórias. Resultados normalizados a 100% em base anidra.	99
Tabela 16	— Resultados das microanálises por EDS (% em peso) das inclusões minerais.	100

Lista de abreviaturas e siglas

BSE	—	Elétrons Retroespalhados (<i>Backscattered Electrons</i>)
CETEM	—	Centro de Tecnologia Mineral
CNPq	—	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DRX	—	Difração de raios X
EDS	—	Espectroscopia de fluorescência de raios X por Dispersão de Energia
FRX	—	Fluorescência de Raios X
ICDD	—	<i>International Centre for Diffraction Data</i>
ICP-MS	—	Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente
IMA	—	<i>International Mineralogical Association</i>
MEV	—	Microscopia Eletrônica de Varredura
PDF	—	<i>Powder Diffraction File</i>
PPC	—	Perda por Calcinação
UFRJ	—	Universidade Federal do Rio de Janeiro

Lista de abreviaturas de minerais (IMA Warr 2021)

Ccp	—	Calcopirita
Cml	—	Criptomelana
Gbs	—	Gibbsita
Gr	—	Grafita
Gth	—	Goethita
Kln	—	Caulinita
Lpr	—	Litioforita
Pn	—	Pentlandita
Pph	—	Pirofanita
Pyh	—	Pirrotita
Qz	—	Quartzo
Sch	—	Scheelita
Sps	—	Spessartina
Zrn	—	Zircão

Sumário

Dedicatória.....	5
Agradecimentos	6
Resumo	7
Abstract.....	8
Lista de figuras.....	8
Lista de tabelas	15
Lista de abreviaturas e siglas	16
Lista de abreviaturas de minerais (IMA Warr 2021).....	18
Sumário	19
1 Considerações gerais	21
1.1 Introdução e caracterização do problema	21
1.2 Justificativa	23
1.3 Objetivo	23
2 Materiais e métodos de trabalho.....	24
2.1 Localização e vias de acesso	24
2.2 Etapa de campo e amostragem	24
2.3 Etapa de preparação física das amostras.....	25
2.3.1 Cominuição e classificação granulométrica	26
2.3.2 Separação densimétrica	27
2.3.3 Pulverização e homogeneização final	27
2.3.4 Confecção de seções polidas	27
2.4 Etapa de análise laboratorial.....	28
2.4.1 Geoquímica de rocha total.....	28
2.4.2 Difração de raios X (DRX)	28
2.4.3 Microscopia óptica refletida	28
2.4.4 Microespectroscopia Raman	29
2.4.5 MEV-EDS	29
3 Mineralogia do manganês	30
4 Litioforita: gênese, estabilidade e papel como indicador de ambientes lateríticos	30
5 Evolução do entendimento da estrutura cristalina da litioforita.....	33
6 Classificação genética dos diferentes tipos depósitos manganíferos.....	37
6.1 Depósitos Sedimentares	38
6.2 Depósitos Hidrotermais.....	38
6.3 Depósitos Supergênicos	39
7 Depósito de manganês: Morro da Mina (MG)	40
8 Resultados	41
8.1 Caracterização mineralógica e química	41
8.1.1 Análise da assembleia mineral por DRX	42
8.1.2 Quantificação de fases (Rietveld).....	44

8.1.3 Composição química	45
8.1.4 Caracterização mineralógica das frações granulométricas e densimétricas	47
8.2 Caracterização microtextural e química mineral (MEV-BSE/EDS e Raman) ..	50
8.2.1 Trama bandada, arcabouço silicatado e fases reliquiares (amostras 26, 14, 25 e 2PM)	51
8.2.2 Trama oxi-hidroxilada, porosidade e a assembleia supergênica (Amostras 16 e 22)	56
9. Discussão	65
9.1 Paleoambiente deposicional, evolução metamórfica e a preservação intracristalina de fases primárias	65
9.2 O colapso laterítico e a dinâmica de mobilização de elementos	66
9.3 Intercrescimentos submicroscópicos e a matriz de oxi-hidróxidos	68
9.4 Neoformação da litioforita e o mecanismo de fixação iônica.	68
10 Conclusões	70
11 Referências bibliográficas	71
Apêndice A — Difrátogramas de raios x complementares	75
Apêndice B — Compilação dos resultados de microanálises por EDS das fases minerais e acessórios	77

1 Considerações gerais

1.1 Introdução e caracterização do problema

O intemperismo de gonditos sob condições tropicais e lateríticas, as observadas no Cinturão Mineiro, promove o colapso do arcabouço silicatado primário e gera uma complexa assembleia de oxi-hidróxidos secundários. Dentre as fases neoformadas, destacam-se a litioforita e criptomelana, cujas estruturas cristalinas, respectivamente em lamelas e em tunéis, resultam em alta área superficial específica e altíssima reatividade.

É exatamente essa condição estrutural e reativa que confere a essas matrizes uma excepcional capacidade de fixação de metais no ambiente supergênico. Sob condições oxidante de superfície, esses óxidos atuam adsorvendo e retendo em suas vacâncias estruturais concentrações desses metais de transição, como níquel, cobre e cobalto, liberados a partir da destruição intempérica de fases como os sulfetos. Contudo, apesar da sua imensa relevância geoquímica e metalúrgica, a caracterização exata da fase mineral esbarra em severos obstáculos analíticos.

Nos domínios lateríticos maduros, esses oxi-hidróxidos ocorrem tipicamente na forma de granulometria fina e baixa cristalinidade. Essa característica cria uma limitação instrumental direta para técnicas tradicionais. Como resultado, as microanálises químicas geram assinatura químicas mistas, sobrepondo sinais de alumínio, ferro e manganês, o que mascara a verdadeira identidade do mineral carreador dos metais. Para superar essa barreira analítica de resolução e desmascarar a assembleia mineral, justifica-se a necessidade de uma abordagem multimétodo de alta tecnologia.

Diante deste cenário, a presente pesquisa integra dados de difração de raios X (DRX) e balanço de massas (FRX e ICP-MS), junto a aplicação de microespectroscopia Raman e MEV-EDS. O Raman por atuar no nível molecular, o laser confirmou sem dúvidas a presença da litioforita na matriz mista, validando a presença da fase por meio de suas bandas vibracionais diagnósticas em ~ 624 , ~ 573 , ~ 480 e 396 cm^{-1} .

A litioforita, cuja fórmula ideal é descrita como $\text{LiAl}_2[\text{Mn}^{4+}_2\text{Mn}^{3+}]\text{O}_6(\text{OH})_6$ (Post, 1999), destaca-se por incorporar quantidades variáveis de lítio substituindo o alumínio em sua estrutura lamelar. Em um cenário global de transição energética, no qual a demanda por este elemento cresce de maneira exponencial (Figura 1), compreender com exatidão a gênese, a estabilidade termodinâmica e a capacidade de retenção metálica (*scavenging*) dessas rochas lateríticas extrapola o minério de manganês. O depósito mostra-se, assim, como uma potencial fonte de subproduto de alto valor tecnológico, justificando a sua caracterização mineralógica.

A litioforita atua como um importante carreador de lítio em depósitos supergênicos de

manganês, frequentemente associada a processos de laterização e alteração de minerais precursores, como gibbsita e/ou spessartina (Chukhrov *et al.*, 1985). Apesar de ser relatada em diversos depósitos globais, como Moanda no Gabão e Serra do Navio no Brasil (Perseil, 1978; Parc *et al.*, 1989), a sua ocorrência requer condições específicas de alumina livre, tornando-a menos comum que outros óxidos de manganês. Do ponto de vista cristalquímico, a litioforita apresenta uma estrutura lamelar (Figura 2), formada pela alternância de folhas octaédricas de manganês e de alumínio/lítio (Pauling & Kamb, 1982; Post & Appleman, 1994). Este mineral é comum em rochas e solos associados a depósitos de Mn em zonas de intemperismo, bem como em solos ácidos e veios hidrotermais de baixa temperatura (Post, 1999). Inserido neste contexto, o propósito central desta pesquisa é desvendar a mineralogia e a assinatura geoquímica da litioforita hospedada nas rochas manganíferas intemperizadas do Cinturão Mineiro, na porção sul do Cráton São Francisco.

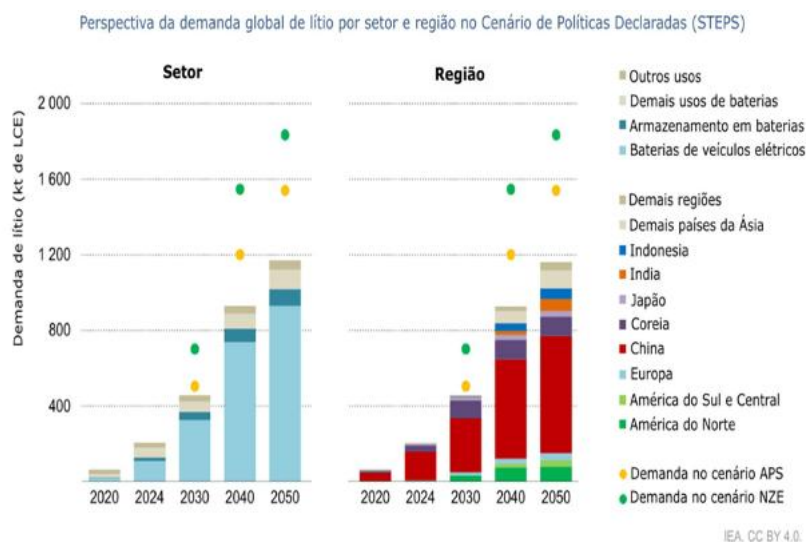


Figura 1 — Demanda global de lítio por setor e região no cenário de políticas declaradas (STEPS). Adaptado de IEA (2025). Valores expressos em kt de LCE (Carbonato de Lítio Equivalente).

1.2 Justificativa

Em ambientes naturais, a litioforita ocorre em granulometria muito fina, apresenta baixa cristalinidade e, frequentemente, forma intercrescimentos com outros óxidos de manganês, a exemplo da asbolana, criptomelana e birnessita, bem como pode incorporar metais de transição como Co, Ni e Cu em sua estrutura (Ostwald, 1984). Devido a essas sobreposições químicas e estruturais, a identificação inequívoca destas fases pelos métodos convencionais, como a difração de raios X, é frequentemente ambígua e limitada.

Consequentemente, a distinção e caracterização precisas destes minerais requerem abordagens analíticas de alta resolução (Burlet & Vanbrabant, 2015). Embora existam diversos trabalhos que reportam e descrevem a litioforita, há carência de estudos que integrem o conjunto de técnicas aqui propostas com grau elevado de detalhe do mineral. Portanto, a presente pesquisa justifica-se pela necessidade de aplicar uma metodologia refinada e multimétodo para superar as limitações analíticas tradicionais e garantir a caracterização exata deste importante carreador de lítio em minérios supergênicos.

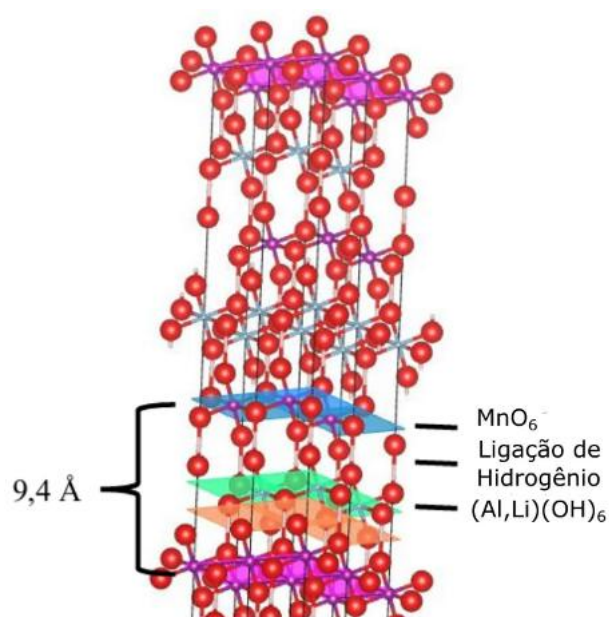


Figura 2 — Representação da estrutura da litioforita, evidenciando a alternância das camadas de manganês e alumínio/lítio unidas por ligações de hidrogênio. O espaçamento basal característico de 9,4 Å está indicado, refletindo a distância entre planos repetitivos ao longo do eixo c. Modelo gerado com base nos parâmetros cristalográficos de Post & Appleman (1994).

1.3 Objetivo

O principal objetivo deste trabalho é caracterizar a mineralogia e a geoquímica da litioforita em rochas manganíferas intemperizadas localizadas no Cinturão Mineiro, na porção sul do Cráton São Francisco. Para tanto, serão correlacionadas análises texturais e químicas em seções polidas via microscopia óptica, espectroscopia Raman e MEV-EDS. Complementarmente, a identificação de fases e a caracterização geoquímica global também serão realizadas em amostras pulverizadas, utilizando-se difração de raios X (DRX), fluorescência de raios X (FRX) e espectrometria de massa (ICP-MS).

2 Materiais e métodos de trabalho

2.1 Localização e vias de acesso

A área de estudo abrange parte da região sul/sudeste do estado de Minas Gerais (Figura 3A) e se estende ao longo dos municípios de Resende Costa, Ritápolis, Conceição da Barra de Minas, Nazareno e Ibituruna (Figura 3B), o acesso principal é realizado através da malha rodoviária regional.

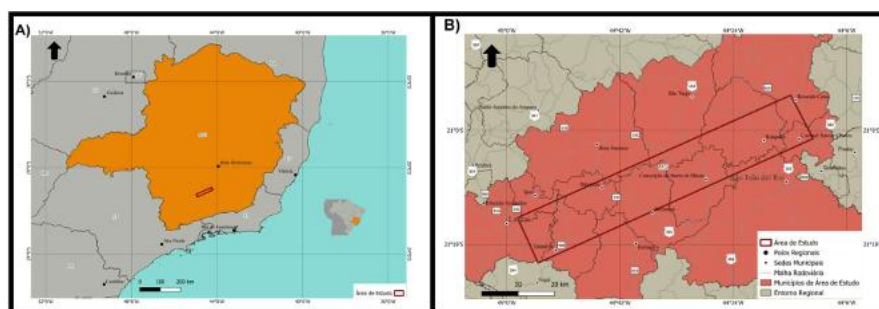


Figura 3 — Localização geográfica da área de estudo no estado de Minas Gerais e nos municípios com a presença de depósitos de Mn.

2.2 Etapa de campo e amostragem

A coleta das amostras foi realizada em diversas ocorrências locais (Figura 4), que em seguem o *trend* estrutural de direção SW-NE dos afloramentos de gonditos intemperizados correspondentes às rochas manganésíferas, que estão associados a filitos, também alterados, da sequência metavulcanossedimentar Rio das Mortes (Figura 5). Embora os cinco pontos de amostragem sejam espacialmente distantes entre si, todos estão inseridos na mesma sequência litoestratigráfica regional. Essa distribuição espacial estratégica garante a representatividade da unidade geológica como um todo, demonstrando que a ocorrência e a gênese da litioforita na área de estudo apresenta um controle litológico, e intempérico de caráter regional, e não a anomalias locais isoladas. O conjunto amostral analisado neste trabalho foi selecionado a partir de um acervo geológico preexistente, previamente submetido a um estudo exploratório.

O critério determinante para a seleção das alíquotas foi a confirmação mineralógica preliminar por DRX, que evidenciou a presença das reflexões basais diagnósticas da litioforita. Com base nessa triagem analítica, as amostras foram selecionadas para a caracterização detalhada, assegurando a presença da litioforita como condição necessária para a sua efetiva descrição mineralógica e textural.

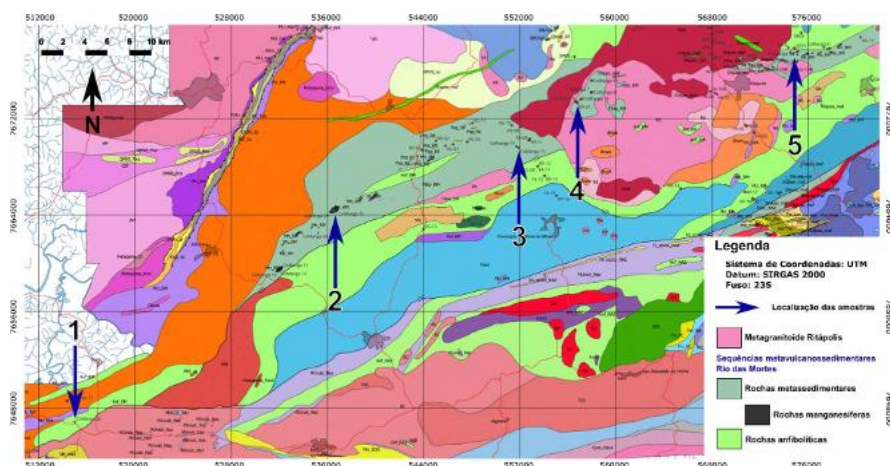


Figura 4 — Mapa geológico regional do Cinturão Mineiro. Modificado de Ávila *et al.* (2019). Setas numeradas indicam os locais de amostragem de rochas manganíferas da sequência metavulcanossedimentar Rio das Mortes.

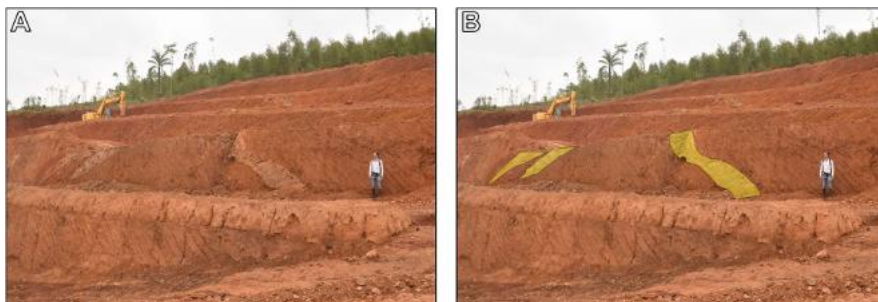


Figura 5 — Afloramento de rocha manganífera (gondito intemperizado) associado a filito encaixante na mina do Monte Azul (Ponto de amostragem 3, Figura 4). A) Afloramento de filito com gondito na sequência metavulcanossedimentar Rio das Mortes evidenciando a inflexão estrutural da camada de gondito. B) Mesma fotografia com destaque (em amarelo) para a geometria do gondito.

2.3 Etapa de preparação física das amostras

Todas as etapas de preparação física (incluindo a confecção de seções polidas) e as análises laboratoriais subsequentes (microscopia óptica, DRX, espectroscopia Raman e MEV-EDS) foram realizadas no Setor de Caracterização Tecnológica do Centro de Tecnologia Mineral (SCT-CETEM), no Rio de Janeiro. As etapas sequenciais e paralelas de preparação das amostras para as diferentes técnicas analíticas estão representadas na Figura 6.

2.3.1 Cominuição e classificação granulométrica

A etapa inicial de preparação visou a liberação mineral e a adequação granulométrica das amostras. O material bruto foi submetido à cominuição controlada (britagem e moagem

preliminar) em moinho planetário até que a totalidade da amostra fosse passante na malha de 300 μm . Em seguida, realizou-se o peneiramento a úmido na malha de 106 μm . Este procedimento é necessário para garantir a representatividade da amostra global e de suas várias alíquotas. O peneiramento a úmido permitiu a deslamagem simultânea à classificação, promovendo a lavagem dos grãos e a remoção eficiente de partículas argilosas aderidas. Após a separação, as frações obtidas foram secas em estufa a 60 $^{\circ}\text{C}$, resultando em dois produtos distintos:

- a) Fração grossa ($> 106 \mu\text{m}$): material retido na peneira, limpo e isento de lama, destinado à separação densimétrica subsequente;
- b) Fração fina ($< 106 \mu\text{m}$): material passante, contendo a fração fina, destinado à caracterização mineralógica direta.

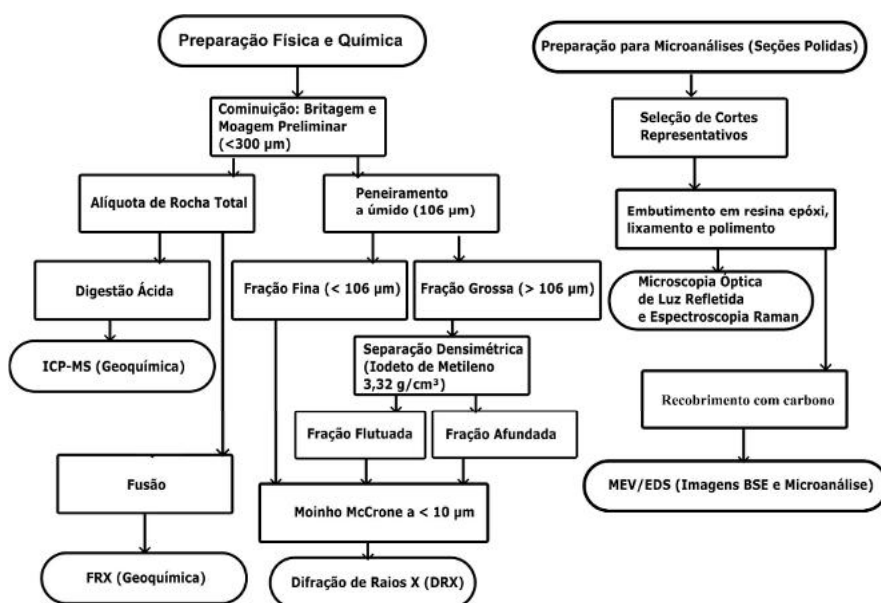


Figura 6 — Fluxograma metodológico das etapas de preparação física e química das amostras para caracterização mineralógica e geoquímica. MEV/EDS: Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios X (EDS). ICP-MS: Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente.

2.3.2 Separação densimétrica

Visando eliminar a interferência de fases silicatadas maiores e concentrar os óxidos de manganês de interesse para melhorar a relação sinal-ruído nas caracterizações subsequentes, a fração grossa ($> 106 \mu\text{m}$) do conjunto amostral foi submetida à separação por densidade com o

Comentado [6]: Pode apagar a setinha que site de ICP-MS e vai para fusão

Comentado [7]: Ao invés de metalização com carbono, utilize recobrimento com carbono

Comentado [7R2]: Na figura

uso do iodeto de metileno, que possui uma densidade máxima de 3,32 g/cm³. O processo, realizado via decantação no funil permitiu a segregação em produtos mineralógicos distintos, os quais foram cuidadosamente recolhidos, lavados com acetona e depositadas em filtro de papel para secagem em estufa à cerca de 60°C, gerando as seguintes fases:

- a) Fração flutuada: composta majoritariamente por minerais de densidade inferior à do líquido (material leve);
- b) Fração afundada: composta majoritariamente por minerais de densidade superior à do líquido (material pesado).

Esta etapa viabilizou a concentração física das fases minerais, permitindo análises posteriores mais precisas por DRX, minimizando a sobreposição de picos no difratograma.

2.3.3 Pulverização e homogeneização final

As frações obtidas nos processos anteriores (rocha total, fração fina, fração grossa flutuada e fração grossa afundada) foram novamente homogeneizadas e quarteadas para obtenção de alíquotas representativas. Posteriormente, foram transferidas micronizadas individualmente via úmida em moinho McCrone. Para cada moagem utilizou-se o recipiente contendo elementos moedores de ágata e 15 mL de água deionizada, operando por um tempo fixo de 10 minutos.

Esse procedimento teve como objetivo a redução granulométrica até um diâmetro máximo de 10 µm, ideal para a quantificação por DRX, minimizando a orientação preferencial sem perda de cristalinidade. Após a secagem do material micronizado, procedeu-se com a distribuição das alíquotas para as rotas analíticas:

- a) Rocha Total: destinada à caracterização geoquímica;
- b) Frações granulométricas e densimétricas: destinadas à caracterização mineralógica via DRX.

2.3.4 Confeção de seções polidas

Para as análises texturais e microquímicas (MEV-EDS e Raman), selecionaram-se fragmentos representativos das amostras de mão. Estes fragmentos foram cortados em serra de disco diamantado e, posteriormente, embutidos em resina epóxi. Após a cura da resina, as pastilhas foram submetidas a etapas sucessivas de lixamento e polimento com abrasivos de diamante (até 1 µm), visando à obtenção de uma superfície plana, e livre de riscos. Por fim, as seções foram recobertas com carbono para garantir a condutividade elétrica necessária para as análises por MEV-EDS.

2.4 Etapa de análise laboratorial

2.4.1 Geoquímica de rocha total

A caracterização geoquímica visou a determinação quantitativa dos elementos maiores, menores e traço, bem como dos teores totais de carbono e enxofre, seguindo os protocolos padrões estabelecidos pelo Setor de Química do CETEM. A determinação dos óxidos dos elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , entre outros) foi executada por FRX após fusão. Simultaneamente, a concentração de elementos traço e metais base (Co, Ni, Cu), com ênfase na quantificação do lítio (Li), foi obtida por ICP-MS após digestão ácida.

Os teores totais de carbono (C) e enxofre (S) foram obtidos pelo método de combustão infravermelha (via seca), utilizando um analisador elementar LECO SC-632. O procedimento analítico consistiu na combustão de 0,1 g de amostra pulverizada a uma temperatura de 1.450°C , com adição de 1,0 g de acelerador catalítico (LECO combustion catalyst accelerator: 502-321) para assegurar a liberação completa dos voláteis. As leituras foram realizadas em replicatas para garantir a precisão dos resultados.

2.4.2 Difração de raios X (DRX)

Os difratogramas foram obtidos em um equipamento Bruker D8 Advance Eco, equipado com tubo selado de Cu, com varreduras de 4 a $105^\circ 2\theta$ em passos de $0,01^\circ$. O método de difração baseia-se na interação dos raios X com os planos de repetição sistemática do retículo cristalino, aplicando-se exclusivamente a materiais cristalinos. A identificação dos minerais fundamenta-se na Lei de Bragg:

$$(1) \quad \lambda = 2d \sin\theta$$

onde λ é o comprimento de onda da radiação incidente, d representa o espaçamento interplanar e θ é o ângulo de incidência. A identificação e a interpretação das fases minerais foram realizadas utilizando o software DIFFRAC.EVA, correlacionando as distâncias interplanares obtidas com as fichas cristalográficas do banco de dados PDF-2 (ICDD, 2022).

2.4.3 Microscopia óptica refletida

As análises petrográficas foram conduzidas utilizando um microscópio petrográfico Zeiss modelo Axio Imager.M2m. As observações ocorreram sob luz refletida em nicóis paralelos utilizando objetivas com aumentos de 10x, 20x e 50x. A documentação das texturas e das relações paragenéticas foi registrada por meio de imagens digitais capturadas através da câmera acoplada em conjunto com o software Zeiss ZEN v. 3.10.

2.4.4 Microespectroscopia Raman

A caracterização por microespectroscopia Raman foi conduzida para diferenciar petrograficamente as fases minerais presentes, com ênfase na distinção entre a litioforita e as demais fases manganíferas associadas. As análises foram realizadas em um espectrômetro Horiba LabRAM HR Evolution, equipado com microscópio óptico acoplado. Utilizou-se um laser de excitação com comprimento de onda de 532 nm (verde), seguindo as recomendações da literatura para óxidos de manganês (Burlet e Vanbrabant, 2015).

Para evitar a degradação térmica ou a transformação de fase dos óxidos de manganês, a potência do laser foi rigorosamente controlada através de filtros de densidade neutra, operando a 10% da potência nominal na superfície da amostra. Os espectros foram obtidos utilizando-se uma objetiva de 100x, garantindo alta resolução espacial ($\sim 1 \mu\text{m}$). A dispersão da luz foi realizada por uma rede de difração de 1800 gr/mm, visando à máxima resolução espectral.

O protocolo de aquisição consistiu em duas acumulações de 30 segundos por ponto, estratégia adotada para melhorar a relação sinal/ruído. A janela espectral analisada compreendeu, prioritariamente, o intervalo de 100 a 900 cm^{-1} , região característica das vibrações das ligações Mn-O, com varreduras estendidas até 1600 cm^{-1} em pontos específicos.

2.4.5 MEV-EDS

As análises microquímicas e texturais de alta resolução foram executadas em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) Zeiss Sigma 300 VP, acoplado a dois detectores de espectroscopia de raios X por dispersão de energia (EDS) Bruker XFlash 6|60. O equipamento operou em modo de alto vácuo, utilizando imagens de elétrons retroespalhados (BSE) com tensão de aceleração de 15 kV, abertura de 30 μm e distância de trabalho de 8 mm. A técnica permitiu a distinção composicional das fases minerais baseada no contraste de número atômico médio (níveis de cinza das imagens BSE) e a detecção pontual quantitativa/semiquantitativa dos elementos químicos em áreas de até 2 μm de diâmetro.

3 Mineralogia do manganês

Devido a sua capacidade de assumir múltiplos estados de oxidação na natureza (+2, +3 e +4) o manganês exibe uma vasta e complexa diversidade mineralógica, cristalizando-se sob a forma de óxidos, hidróxidos, silicatos, carbonatos e sulfetos (Post, 1999; Viana, 2009; Faria, 2011). A Tabela 1 lista alguns desses minerais comuns de Mn que aparecem neste estudo.

Apesar dessa vasta diversidade mineralógica, os depósitos e as ocorrências de Mn tendem a concentrar assembleias minerais mais restritas, ditadas pelas condições de formação

e intemperismo local. No contexto das rochas manganíferas investigadas no presente estudo, a complexidade reduz-se a fases específicas, que respondem diretamente aos processos de concentração. Dessa forma, as seções subsequentes focaram nas fases minerais efetivamente identificadas nas amostras, com destaque para a litioforita e as fases a ela associadas.

Tabela 1 — Principais minerais de manganês e suas fórmulas químicas.

Minerais	Composição química
Litioforita	$\text{LiAl}_2(\text{Mn}^{4+}_2\text{Mn}^{3+})\text{O}_6(\text{OH})_6$
Criptomelana	$\text{K}(\text{Mn}^{4+}_7\text{Mn}^{3+})\text{O}_{16}$
Birnessita	$(\text{Na},\text{Ca})_6(\text{Mn}^{4+}\text{Mn}^{3+})_2\text{O}_4 \cdot 1,5 \text{ H}_2\text{O}$
Pirolusita	Mn^{4+}O_2
Spessartina	$\text{Mn}^{2+}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$
Pirofanita	MnTiO_3

4 Litioforita: gênese, estabilidade e papel como indicador de ambientes lateríticos

A litioforita é um mineral que se forma sob condições ambientais específicas, dependendo da disponibilidade dos elementos essenciais para sua gênese. Segundo Post (1999), sua ocorrência é comum em solos ácidos, em zonas intemperizadas de depósitos de manganês e em veios hidrotermais de baixa temperatura. Em perfis de intemperismo maduros, Parc *et al.* (1989) demonstram que a litioforita localiza-se preferencialmente nas porções superiores das seções lateríticas. Do ponto de vista morfológico e químico, Post (1999) destaca que, embora o mineral frequentemente se apresente com baixa cristalinidade e em grãos microscópicos, em Postmasburg (África do Sul) esse é excepcionalmente encontrado em placas hexagonais de 1 a 2 cm. Aponta que as análises revelam teores de lítio entre 0,2% e 3% em peso, além de o mineral concentrar traços de metais de transição como Ni, Cu, Co e Zn substituindo elementos em sua estrutura. Em complementação, a literatura estabelece que o teor de alumínio (elemento crucial para sua formação estrutural) varia tipicamente entre 15% e 26% (Ostwald, 1984; Chukhrov *et al.*, 1985).

Post (1999) ressalta que, em depósitos manganíferos supergênicos, observa-se frequentemente a associação da litioforita com o mineral asbolana, que apresenta estrutura em camadas similar à da litioforita, porém com os sítios de alumínio maciçamente substituídos por cátions de metais de transição.

O estudo pioneiro de Chukhrov *et al.* (1985) descreveu a estrutura e a variabilidade composicional da litioforita em diferentes localidades globais, destacando questões sobre sua nomenclatura. Estes pesquisadores demonstraram que, embora o termo "litioforita" sugira a presença de Li, o mineral integra uma série isomórfica com extremos que variam de fases ricas em Li (até 3,3% em peso) a membros desprovidos desse elemento. Do ponto de vista cristalográfico, Post (1999) ressalta que, originalmente classificada como monoclinica, a litioforita foi posteriormente redefinida como parte de uma superestrutura hexagonal, pertencente ao sistema trigonal.

De acordo com os estudos de Chukhrov *et al.* (1985), a formação da litioforita exige a disponibilidade simultânea de Mn e Al, típico de ambientes supergênicos, como zonas lateríticas tropicais ou subtropicais. Essa restrição geoquímica torna a litioforita um mineral relativamente menos comum que outros óxidos de manganês, visto que rochas ricas em alumínio (como os granitos) frequentemente são desprovidas de manganês e vice-versa (Chukhrov *et al.*, 1985). Dessa forma, a composição mineralógica e química inicial da rocha matriz atua como o controle fundamental sobre quais fases oxidadas poderão se precipitar (Parc *et al.*, 1989). Estes pesquisadores demonstram que, nessas regiões, o intemperismo de rochas fonte de manganês (gonditos, serpentinitos) e de alumínio (basaltos, xistos aluminosos) promove a mobilização desses elementos por meio de compostos orgânicos, atividade bacteriana ou processos inorgânicos, como a hidrólise de sulfetos, notadamente associada a ação do ácido sulfúrico proveniente da oxidação de pirita e marcassita, embora este mecanismo inorgânico seja localmente mais restrito do que a ação orgânica regional (Chukhrov *et al.*, 1985). Neste mesmo contexto, Chukhrov *et al.* (1985) propuseram o conceito de "sementes de gibbsita", em que partículas de Al-OH atuam como núcleos para a adsorção de manganês via interações eletrostáticas entre camadas de Mn-OH e Al-OH. Ainda segundo a referida pesquisa, em sequências lateríticas desenvolvidas sobre gonditos, a spessartina atua como o principal mineral primário fornecedor de ambos os elementos. A alteração intempérica da granada manganesífera é um gatilho fundamental para a precipitação de litioforita na zona supergênica, formando frequentemente pseudomorfos sobre a spessartina original. Toda essa dinâmica genética foi documentada por Chukhrov *et al.* (1985) em escala global, sendo observada em depósitos lateríticos nos Urais (Rússia), associada a asbolana rica em Co e Ni, em Cuba e na Nova Caledônia (intemperismo de rochas ultramáficas), bem como no Brasil e em Nsuta (Gana), onde gonditos alterados fornecem os precursores necessários.

Parc *et al.* (1989) corroboraram os achados genéticos anteriores, destacando a transição entre óxidos de manganês e hidróxidos de alumínio (como a gibbsita) em perfis lateríticos. Os autores demonstram que a litioforita é formada em estágios avançados de oxidação,

substituindo óxidos de manganês prévios (pirolusita, nsutita), desde que haja alumínio disponível. Neste contexto evolutivo, a pesquisa comprova que a litioforita atua não apenas como uma fase isolada, mas como um produto de substituição tardia de precursores menos estáveis. Eles evidenciaram que, durante a evolução do perfil, a litioforita frequentemente substitui óxidos formados anteriormente, mediante um fluxo contínuo de fluidos enriquecidos em alumínio. Essa dinâmica de substituição de precursores aluminosos também é amplamente documentada no Brasil: No depósito de Azul (Pará), a precipitação da litioforita promove a corrosão e a substituição epigenética *in situ* da matriz de caulinita (Nahon *et al.*, 1989). Comportamento idêntico é observado pelos autores no continente africano, como em Moanda (Gabão), onde esses relataram que a dissolução de caulinita libera alumínio, que reage com o manganês derivado da pirolusita. Já em Ziemougoula (Costa do Marfim), a substituição direta de granada manganésifera evidencia a estrita dependência de alumínio e manganês em solução.

Cálculos termodinâmicos de Parc *et al.* (1989) indicaram que a litioforita é estável em condições moderadamente oxidantes ($\log fO_2 \sim -0,68$), com atividade de Al^{3+} intermediária ($7,7 < \log [Al^{3+}]/[H^+]^3 < 8,205$), posicionando-se logo abaixo do limite de estabilidade da gibbsita. Para os autores, isso a posiciona como um elo geoquímico entre os óxidos de manganês e os aluminossilicatos. O modelo termodinâmico demonstra que, em estágios finais de intemperismo, a litioforita pode ser substituída por gibbsita à medida que o manganês é lixiviado e a atividade de alumínio aumenta (Figura 7). A pesquisa também conclui que, em sistemas ricos em caulinita, a liberação contínua de alumínio prolonga sua estabilidade, enquanto em ambientes pobres em alumínio predominam óxidos de manganês puro. Assim, Parc *et al.* (1989) estabelecem que a presença de litioforita pode ser interpretada como um indicador termodinâmico de ambientes lateríticos maduros.

Cui *et al.* (2009) investigaram a síntese da litioforita em condições ambientais (pressão atmosférica), pH variado (5–9), temperatura (40–100°C) e tempo (1–5 dias). A birnessita, precursor sintético, foi obtida por três métodos:

- a) Birnessita-H: Oxidação de $KMnO_4$ com HCl.
- b) Birnessita-Na: Oxidação de $MnCl_2$ em NaOH.
- c) Birnessita-Na envelhecida: Armazenamento da birnessita-Na por 90 dias.

Uma solução de íons complexos $Li_xAl_n(OH)_m^{+z}$ ($Li/Al = 3,08$) foi utilizada para troca iônica em refluxo. Análises químicas e por DRX, MEV revelaram que o pH ideal para conversão é 7. A birnessita-Na apresentou conversão completa, enquanto a envelhecida teve eficiência reduzida devido à redução de Mn^{4+} para Mn^{3+} . A birnessita-H não formou litioforita, pois H^+ e K^+ nas intercadas inibiram a troca. Estes dados experimentais corroboram as observações de campo de que a birnessita atua como o principal óxido precursor supergênico.

A conversão cristaloquímica de birnessita para litioforita exige a inserção de complexos de alumínio e lítio em suas intercamadas, um processo que, na natureza, é favorecido em condições de pH próximo à neutralidade e em ambientes onde o intemperismo tardio disponibiliza alumínio livre. Temperaturas mais elevadas (100°C) e tempos prolongados (5 dias) maximizaram a cristalinidade e a pureza, resultando em cristais pseudo-hexagonais (0,1-0,5 µm) com composição $\text{Li}_{0,25}\text{Al}_{0,46}\text{MnO}_{2,67}(\text{H}_2\text{O})_{1,25}$, próxima à proporção ideal $\text{Li}:\text{Al}:\text{Mn} = 1:2:3$.

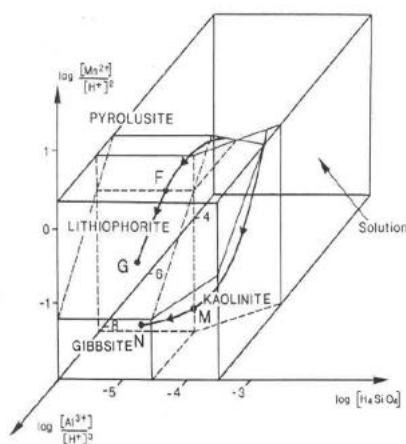


Figura 7 — Diagrama de estabilidade termodinâmica tridimensional para o sistema pirolusita-litioforita-gibbsita-caulinita a 25°C e $\log f\text{O}_2 = -0,68$ (Parc *et al.*, 1989).

5 Evolução do entendimento da estrutura cristalina da litioforita

Wadsley (1952) representa um marco inicial na determinação da estrutura cristalina da litioforita. O estudo foi motivado pela necessidade de compreender a associação frequente de lítio e alumínio com óxidos de manganês hidratados, conhecidos como “wads”. A pesquisa buscou elucidar sua estrutura cristalina através de técnicas de DRX utilizando os cristais de litioforita provenientes de Postmasburg, África do Sul. Para realizar as análises ele determinou que os cristais faziam parte do sistema monoclinico do grupo $C2/m$ com parâmetros de cela unitária: $a = 5,06 \text{ \AA}$, $b = 2,91 \text{ \AA}$, $c = 9,55 \text{ \AA}$, $\beta = 100^\circ 30'$.

Essa estrutura consiste em camadas alternadas de octaedros MnO_6 e $(\text{Al,Li})(\text{OH})_6$ unidas por ligações de hidrogênio O-H-O com distâncias aproximadamente de $2,76 \text{ \AA}$, de modo que se alinham verticalmente. Ele propôs a fórmula $(\text{Al,Li})\text{MnO}_2(\text{OH})_2$, assumindo Mn predominantemente tetravalente (Mn^{4+}), com substituição parcial por Mn^{2+} para equilíbrio de carga. Foi discutido que as camadas de $(\text{Al,Li})(\text{OH})_6$ são semelhantes às encontradas nos

cristais de gibbsita, mas com a presença de lítio distribuído aleatoriamente nos sítios de alumínio. Neste arranjo, as camadas são mantidas unidas por meio de ligações de hidrogênio entre as hidroxilas da camada de Al/Li e os átomos de oxigênio na camada de Mn (Figura 8). A camada de $\text{Al}(\text{OH})_6$ possui um terço de seus sítios octaédricos vacantes, e os cátions de lítio preenchem essas vacâncias.

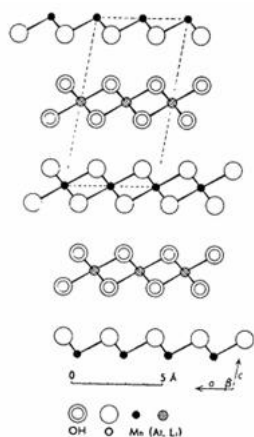


Figura 8 — Projeção estrutural das camadas da litioforita ao longo do eixo b segundo Wadsley (1952). As linhas tracejadas delimitam a cela unitária do sistema monoclinico ($C2/m$) originalmente proposto para o mineral, evidenciando o empilhamento paralelo das folhas octaédricas de manganês e alumínio/lítio.

Posteriormente, Pauling & Kamb (1982) utilizaram um modelo teórico com base em princípios estruturais, principalmente o princípio da eletroneutralidade, que postula que átomos em estruturas estáveis possuem carga resultante próxima de zero. Com isso questionaram a estrutura monoclinica proposta por Wadsley (1952) ao observarem que a razão entre os eixos a e b dos dados originais ($5,06 / 2,91 = 1,73$) é extremamente próxima a $\sqrt{3}$, o que constitui uma evidência cristalográfica clássica de simetria hexagonal ou trigonal mascarada, sugerindo que essa era uma sub-cela de uma superestrutura hexagonal decorrente da ordenação dos cátions (Mn^{2+} , Mn^{4+} , Al^{3+} , Li^{+}) e vacâncias (Figura 9). Com isso propuseram uma cela unitária hexagonal do grupo $P3$, triplicando a cela de Wadsley (1952), com parâmetros: $a = 13,37 \text{ \AA}$, $c = 28,20 \text{ \AA}$.

Assim como Wadsley (1952), a estrutura de Pauling & Kamb (1982) consiste em camadas alternadas, agora de $(\text{Al,Li})(\text{OH})_6$, com vacância octaédrica a cada sete posições, seguindo um padrão da gibbsita, mas com lítio ocupando parcialmente os sítios de alumínio. As camadas de manganês seriam $\text{Mn}^{4+}_6\text{Mn}^{2+}_6\text{O}_{12}$, o que compensa as cargas eletrostáticas. As camadas são empilhadas em padrões ABCABC típicos do empacotamento hexagonal

compacto, com ligações de hidrogênio O-H-O de distância interplanares 2,76 Å, entre camadas adjacentes. A ordenação de Mn^{2+} e vacâncias evita a proximidade entre cátions de alta carga, garantindo a estabilidade. O princípio da eletroneutralidade justifica a necessidade do Mn^{2+} , em vez do exclusivo Mn^{4+} para equilibrar a transferência de cargas negativa via ligações de hidrogênio.

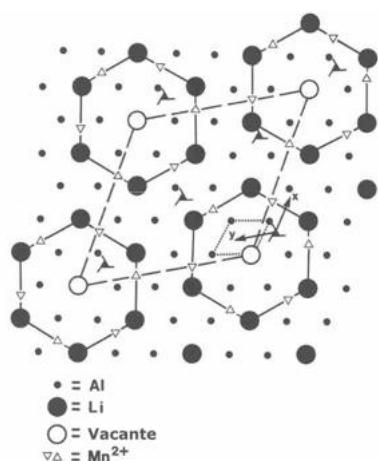


Figura 9 — Representação esquemática da sub-cela hexagonal e da superestrutura da litioforita (Pauling & Kamb, 1982). O losango menor demarca a sub-cela hexagonal e as linhas tracejadas maiores delimitam a superestrutura. O arranjo evidencia a ordenação cristalográfica proposta para o mineral, demonstrando como os cátions de lítio e alumínio ocupam a camada octaédrica central e como os cátions de Mn^{2+} se distribuem nas camadas de manganês adjacentes (superior e inferior) para garantir a estabilidade e o balanço de cargas da estrutura.

Pauling e Kamb (1982), sugerem que Wadsley (1952) não detectou devido a fraca intensidade dos reflexos de superestrutura em DRX, possivelmente agravada por desordem nas camadas. Portanto eles propuseram uma reinterpretação da estrutura da litioforita, introduzindo conceitos como ordenação dos cátions e vacâncias, além do princípio da eletroneutralidade.

O estudo posterior de Post & Appleman (1994) buscou resolver as ambiguidades deixadas pelos trabalhos de Wadsley (1952) e Pauling & Kamb (1982), sobre a simetria e a ordenação atômica da litioforita. Utilizaram DRX em monocristal e cálculos de energia estrutural para então confirmaram a simetria trigonal proposta por Pauling & Kamb (1982), refinando detalhes como a posição do hidrogênio e a distribuição de cátions. A análise por difração de Laue de raios X, técnica que envolve a interferência de ondas de raios-X espalhadas por átomos em um cristal, revelou uma cela unitária trigonal de grupo espacial $R\bar{3}m$, com parâmetros: $a = 2,9247 \text{ Å}$, $c = 28,169 \text{ Å}$.

Post & Appleman (1994) identificaram o hidrogênio utilizando mapas de diferença Fourier, com distância O-H de 0,93 Å e ligação de O-H-O de 2,749 Å. Através de cálculos de energia estrutural mostraram que a posição do H varia ligeiramente dependendo da ordenação local de Al/Li. A distância média de Mn-O seria igual de 1,945 Å, que é consideravelmente mais larga que distâncias típicas Mn^{4+} -O, como por exemplo da pirolusita (MnO_2) de 1,887 Å. Essa larga distância na litioforita reflete a presença de uma valência mais baixa, Mn^{3+} ou Mn^{2+} . A partir disso eles discutem, que de uma perspectiva da química de um cristal, o Mn^{3+} é mais compatível com a estrutura da litioforita do que o Mn^{2+} . Portanto, nesta estrutura cristalina definitiva, o balanço de carga é gerenciado pela substituição de um número igual de cátions de Mn^{4+} por Mn^{3+} . Por fim, a distância observada na ligação (Al,Li)-OH é de 1,952 Å, com dois terços dos sítios octaédricos ocupados por cátions de Al e um terço ocupado por cátions de Li. Post & Appleman (1994) consolidaram o entendimento da estrutura da litioforita como trigonal ($R\bar{3}m$) resolvendo os debates anteriores (Figura 10). Este estudo é a base da estrutura da litioforita aceita hoje, integrando química, simetria e propriedades físicas do mineral.

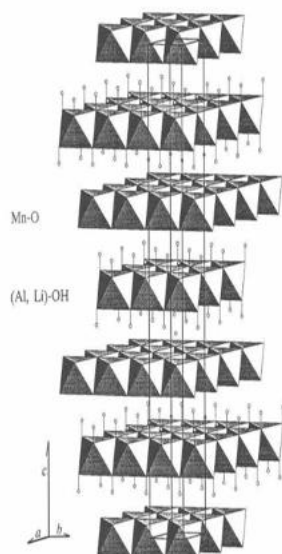


Figura 10 — Representação poliédrica da estrutura cristalina da litioforita (Post & Appleman, 1994). A imagem evidencia o contorno da cela unitária hexagonal, corroborando a simetria trigonal (grupo espacial $R\bar{3}m$) estabelecida para o mineral.

6 Classificação genética dos diferentes tipos depósitos manganésíferos

As ocorrências de depósitos de manganês estão associadas a processos geológicos complexos, os quais permitem sua categorização em distintos tipos genéticos. Na literatura,

diversos estudos propõem classificações para esses depósitos, fundamentadas em aspectos mineralógicos, químicos, tectônicos e associações litológicas. Tais depósitos, em geral, apresentam volumes expressivos de minério e demandando investigações multidisciplinares detalhadas. Os modelos genéticos consolidados derivam principalmente da investigação de grandes depósitos globais, como Kalahari (África do Sul), Ural Setentrional (Rússia) e Carpentaria (Groote Eylandt, Austrália), entre outros. Contribuições de autores como Park (1956, apud Roy, 1968, p.761), Roy (1968; 1992) e Kuleshov (2011) e outros providenciaram importantes dados as classificações dos depósitos conhecidos, e podemos agrupar eles em três categorias principais formados por processos:

- a) Sedimentares
- b) Hidrotermais
- c) Supergênicos

6.1 Depósitos Sedimentares

De acordo com a extensa revisão de Roy (1968), os depósitos sedimentares de manganês destacam-se como os mais abundantes globalmente. Muitos desses depósitos foram submetidos a metamorfismo regional ou de contato de intensidade variável, o que resultou na recristalização parcial ou completa do material original. A distribuição cronoestratigráfica dessas ocorrências metamorfizadas abrange principalmente o Pré-Cambriano, com alguns registros no Paleozoico e Mesozoico. Em contrapartida, depósitos sedimentares não metamorfizados ocorrem desde o Cambriano até o recente, abrangendo inclusive os nódulos de manganês em assoalhos oceânicos.

Quanto à gênese, a origem do manganês nesses ambientes sedimentares pode estar vinculada a fontes vulcanogênicas (exalações hidrotermais associadas a vulcanismo submarino) ou a processos puramente sedimentares não vulcanogênicos, derivados do intemperismo de massas continentais sucedidos por redeposição estratigráfica (Roy, 1968). Dentro da classe não vulcanogênica, um subtipo de notória relevância engloba os depósitos associados a formações ferríferas. Como exemplo clássico da geologia do Quadrilátero Ferrífero, Dorr II (1969) descreve três associações metassedimentares principais para as formações manganíferas em Minas Gerais. Este arcabouço é perfeitamente ilustrado pelo depósito de Morro da Mina, cujos protominérios primários ricos em silicatos, carbonatos e sulfetos foram extensamente detalhados por Cabral *et al.* (2019).

- a) Silicato-carbonato-sulfeto manganífero
- b) Itabiritos com manganês precipitado quimicamente
- c) Sedimentos clásticos (filitos, quartzitos).

A deposição original da primeira associação supostamente ocorreu em condições de pH próximo à neutralidade e Eh negativo (ambiente euxínico), gerando assembleias de carbonatos e sulfetos, que foram posteriormente metamorfizadas em silicatos. Por fim, o estudo estabelece que as concentrações residuais de óxidos de manganês nessas rochas são um produto atribuído exclusivamente a processos supergênicos.

6.2 Depósitos Hidrotermais

Embora amplamente distribuídos, esses depósitos são tipicamente de pequeno a médio porte e associados a sequências vulcano-sedimentares. Segundo Kuleshov (2011), uma classe expressiva desses depósitos caracteriza-se por composições ferromanganesíferas e possui gênese vinculada à descarga de fluidos hidrotermais em ambientes submarinos. Por outro lado, em sistemas hidrotermais venulares (hipogênicos), Hewett & Fleischer (1960) descreveram veios em San Juan (EUA) compostos por rodonita, rodocrosita e sulfetos de Cu-Pb-Zn-Ag, frequentemente associados a quartzo e barita. Para explicar a evolução destas soluções, Hewett (1964) propôs que a ausência de ferro em depósitos estratificados de manganês resulta da separação geoquímica durante a ascensão de fluidos termais. Trata-se de um processo no qual o ferro precipita precocemente em zonas mais profundas, enquanto o manganês, mais solúvel, migra e concentra-se em níveis crustais superiores. Na geologia brasileira, o reflexo prático dessa dinâmica hidrotermal é bem documentado em concentrações formadas durante o rifteamento de bacias proterozoicas, a exemplo das mineralizações do Grupo Arai no Centro-Oeste (Domingues *et al.*, 2025) e das ocorrências de Novo Natal e Zé Julião no sudoeste da Província Amazônica (Albuquerque *et al.*, 2017).

6.3 Depósitos Supergênicos

Formados pelo intemperismo químico próximo à superfície, os depósitos desse tipo de óxidos de manganês possuem relevância econômica significativa (Figura 11), sendo amplamente documentados na literatura (Roy, 1968, 1992). A gênese dessas concentrações envolve remobilização e a oxidação de protólitos primários, como carbonatos e silicatos manganésíferos, sob condições de baixa pressão e temperatura. Com base na modelagem termodinâmica desses ambientes, Roy (1968) demonstrou que a rodocrosita (MnCO_3), por exemplo, pode oxidar-se para pirolusita (MnO_2) ou criptomelana ($\text{K}(\text{Mn}^{4+}\text{Mn}^{3+})\text{O}_{16}$), um processo fortemente condicionado à disponibilidade de íons de K^+ nas águas percolantes. Caso a intensidade da alteração não seja extrema, fases intermediárias e transicionais, a exemplo da nsutita e da birnessita, podem ser geradas. Contudo, devido à herança estrutural e à menor reatividade, um protólito composto por silicatos manganésíferos apresenta uma cinética de

intemperismo mais lenta, originando perfis de alteração secundária menos expressivos quando comparados aos derivados de carbonatos (Roy, 1992).

Apesar dessa limitação cinética imposta pelas fases silicatadas, a intensidade e a duração do intemperismo tropical no território brasileiro propiciaram a formação de robustos depósitos supergênicos a partir desses protominérios mistos (gonditos e queluzitos). No cenário geológico nacional. Destaca-se o clássico depósito de Morro da Mina, onde a oxidação do arcabouço silicato-carbonatado gerou expressivas concentrações de óxidos secundários. Inseridas neste mesmo contexto regional e submetidas a análoga evolução supergênica, encontram-se as rochas manganíferas da sequência metavulcanossedimentar Rio das Mortes, cujas ocorrências constituem o principal objeto de investigação deste projeto.

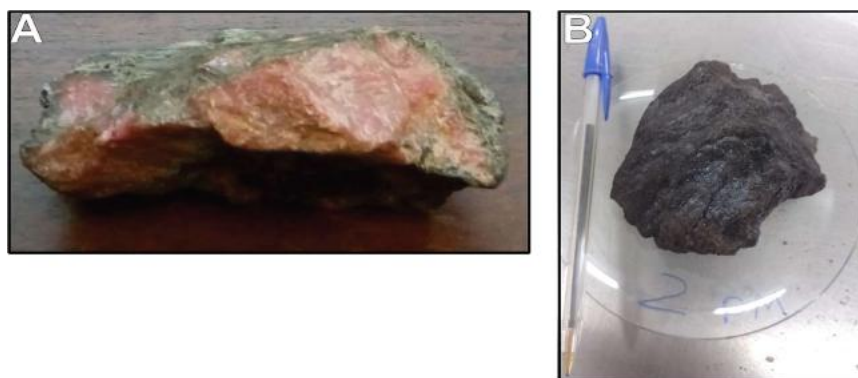


Figura 11 — Contraste mineralógico decorrente do intemperismo químico com amostra de minerais de Mn. A) Protominério primário preservado, representado por rodocrosita de Conselheiro Lafaiete (Afonso, 2019). B) Minério oxidado supergênico negro evidenciando o enriquecimento residual em óxidos de manganês e de hidróxido de Mn da área de estudo.

7 Depósito de manganês: Morro da Mina (MG)

No contexto similar ao da área de estudo, destaca-se o depósito de Morro da Mina, localizado no município de Conselheiro Lafaiete (MG), na porção sul do Quadrilátero Ferrífero. Geograficamente, a região exibe relevo dissecado, caracterizado por topografia em "mares de morros" com altitudes entre 900 e 1.400 m (Viana, 2009). Do ponto de vista geológico, o depósito de Morro da Mina é classicamente reconhecido por suas concentrações de óxidos de manganês geradas pelo intemperismo de um protominério silicato-carbonatado. Contudo, Cabral et al. (2019) esclarecem que, devido à exaustão desse perfil oxidado supergênico, o principal minério atualmente lavrado no depósito passou a consistir no seu próprio protominério primário, o queluzito. Trata-se de uma rocha metamórfica manganésifera pertencente à Formação Lafaiete, integrante do *greenstone belt* de Barbacena (Arqueano).

Segundo Cabral *et al.* (2019), os queluzitos ocorrem associados a grafita xistos, quartzo-biotita-xistos, granada-biotita-xistos, quartzitos, anfibolitos e paragnaisses. Apresenta carbonato de manganês como constituinte principal, em associação à grafita, e uma variedade de minerais silicatados, como spessartina, rodonita, piroxmangita e tefroíta. Com base nesta assembleia mineral, Peters *et al.* (1974 apud Cabral *et al.*, 2019) estabeleceram que o metamorfismo regional atingiu temperatura mínima de 600°C, correspondente à fácies anfibolito. Essa estimativa termodinâmica, que enquadra o protominério de Morro da Mina na fácies anfibolito, está em perfeita consonância com os modelos petroectônicos consolidados para o Cinturão Mineiro. Trabalhos de detalhe sobre a evolução das sequências metavulcanossedimentares da região atestam que o clímax metamórfico do orógeno Riachiano alcançou justamente as fácies xisto verde superior a anfibolito (Ávila *et al.*, 2010, 2014), arcabouço térmico perfeitamente compatível com as condições exigidas para a estabilização daquela paragênese. Embora o minério primário metamórfico seja constituído predominantemente por silicatos e carbonatos, processos intempéricos geraram feições de alteração supergênica altamente significativas na região. Faria (2011) ressalta a ocorrência de zonas de oxidação marcadas pela precipitação de óxidos secundários, como a pirolusita, criptomelana e manganita. Exposições de rochas manganíferas com padrões de intemperismo análogos aos de Morro da Mina podem ser encontradas em outras porções do Cinturão Mineiro. A Figura 12 ilustra uma dessas ocorrências em uma cava abandonada na região de Nazareno, evidenciando o padrão de distribuição do minério *in situ* e retrabalhado.



Figura 12 — Interpretação geológica de ocorrências manganíferas em frente de lava abandonada na região de Nazareno, Minas Gerais. As imagens (A e B) representam uma cava abandonada na área de estudo. Este afloramento é apresentado aqui como um modelo análogo para ilustrar os contatos entre o saprólito e os maciços manganíferos intemperizados (polígonos amarelos), além das zonas de material fragmentado/retrabalhado (polígonos laranjas), feições supergênicas também características do contexto de Morro da Mina. Vegetação arbórea (~3 a 5 m) serve como escala aproximada.

8 Resultados

8.1 Caracterização mineralógica e química

Neste capítulo, serão apresentados os resultados da caracterização mineralógica e química das amostras estudadas, com ênfase na identificação da litioforita e na descrição da assembleia mineral associada. A investigação mineralógica fundamentou-se na técnica de DRX acoplada ao refinamento pelo método de Rietveld. Essa abordagem permitiu a identificação das fases cristalinas a partir de distâncias interplanares características bem como a quantificação de suas proporções relativas na amostra total. Complementarmente, a análise química por FRX foi empregada para determinar a composição global dos óxidos maiores. A quantificação de lítio (por ICP-MS) atuou como um critério químico decisivo para corroborar a ocorrência da litioforita previamente interpretada nos difratogramas, enquanto os dados de carbono e enxofre fundamentaram a investigação de possíveis fases acessórias.

8.1.1 Análise da assembleia mineral por DRX

Os resultados das análises por DRX das amostras totais revelaram duas associações mineralógicas distintas. Para facilitar a visualização e a descrição das fases, os difratogramas foram agrupados nas Figuras 13 e 14 de acordo com a predominância das espécies minerais: (i) o primeiro grupo caracterizado pela presença majoritária de fases silicatadas (Figuras 13); e (ii) o segundo grupo dominado por óxidos e hidróxidos (Figuras 14).

A Figura 13 apresenta os difratogramas referente às amostras CoManga 14, 25, 2PM e 26. Esse conjunto se distingue por padrões de difração com picos intensos e estreitos, indicativos de elevada cristalinidade das fases primárias. A assembleia é dominada por quartzo (Qz) e spessartina (Sps). A litioforita (Lpr) ocorre como fase subordinada, exibindo reflexos de baixa intensidade relativa. Observa-se, ainda, a ocorrência de argilominerais como fases acessórias, evidenciados pela detecção de caulinita (Kln), e por reflexões discretas de gibbsita (Gbs).

A Figura 14 exibe os difratogramas das amostras CoManga 16 e 22, as quais apresentam um padrão mineralógico distinto, dominado por óxidos de manganês e hidróxidos de alumínio e ferro. A assembleia identificada é composta por litioforita (Lpr), criptomelana (Cml), gibbsita (Gbs) e goethita (Gth). Destaca-se a região entre 18° e $19,2^\circ(2\theta)$, na qual é possível distinguir os picos característicos da gibbsita ($4,85 \text{ \AA}$) e da litioforita (em $4,69 \text{ \AA}$). Comparativamente, a amostra CoManga 16 diferencia-se da CoManga 22 pela intensidade expressiva do pico principal do quartzo ($3,34 \text{ \AA}$), indicando uma maior participação desta fase

na matriz rochosa em relação à amostra 22, onde este reflexo se apresenta próximo ao ruído de fundo.

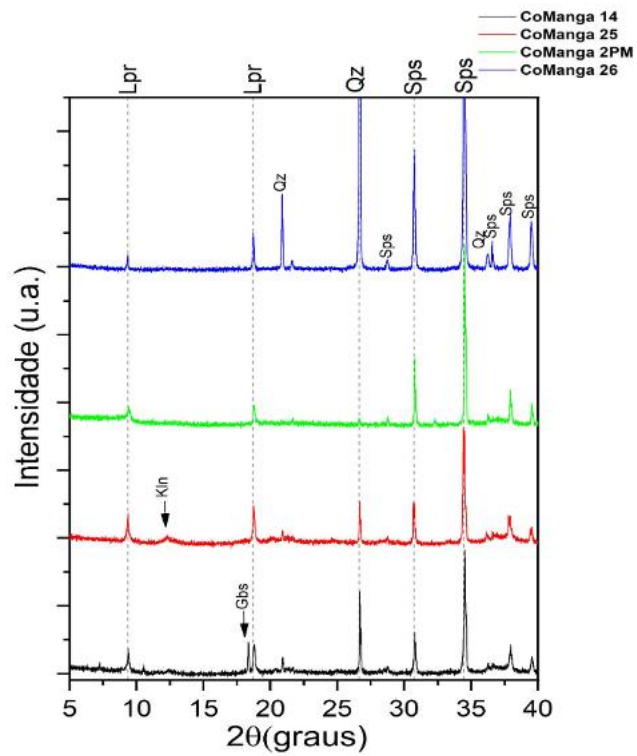


Figura 13 — Difratomogramas comparativos das amostras CoManga 14, 25, 2PM e 26. As linhas verticais tracejadas indicam as posições das reflexões principais de litioforita (Lpr), quartzo (Qz) e spessartina (Sps). As reflexões secundárias destas fases foram indexados detalhadamente no difratograma da amostra CoManga 26 (topo) para servir de referência visual para as demais. Setas indicam a presença das fases caulinita (Kln) e gibbsita (Gbs).

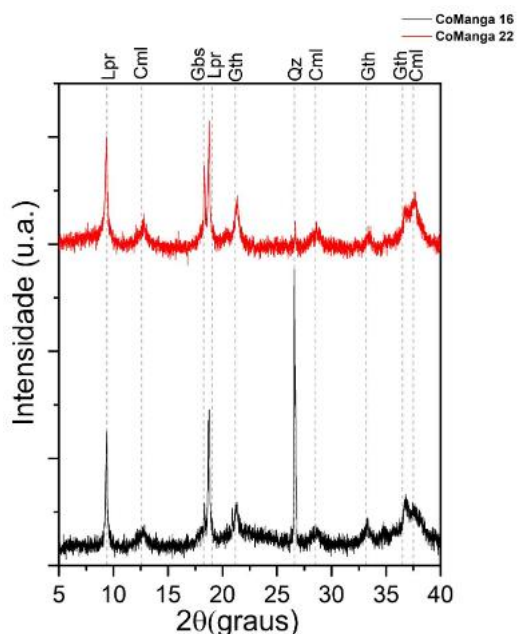


Figura 14 — Difractogramas comparativos das amostras CoManga 16 e 22. As linhas tracejadas marcam os picos diagnósticos da assembleia de óxidos: litioforita (Lpr), criptomelana (Cml), gibbsita (Gbs) e goethita (Gth).

8.1.2 Quantificação de fases (Rietveld)

A Tabela 2 apresenta os valores percentuais das fases minerais identificadas e quantificadas pelo método de Rietveld para as seis amostras analisadas. A litioforita, fase de interesse principal, apresenta variação de teor entre 0,1% e 11,7%. As maiores concentrações ocorrem nas amostras CoManga 16 (11,7%) e CoManga 22 (10,2%). A amostra CoManga 25 tem uma concentração intermediária em relação às outras (6,7%). Nas demais amostras (CoManga 14, 26 e 2PM), a litioforita constitui uma fase minoritária, com valores inferiores a 5%. Em relação às fases predominantes, observa-se uma distinção clara entre as amostras. As amostras CoManga 2PM, 14, 25, 26 são majoritariamente constituídas por spessartina, que atinge o valor máximo de 66,1% na amostra CoManga 26. Nessas mesmas amostras, a goethita e o quartzo ocorrem como fases subordinadas, com exceção da amostra CoManga 26, na qual o quartzo alcança 30,4%. Adicionalmente, a presença de caulinita foi quantificada de maneira exclusiva nas amostras CoManga 14 (14,8%) e CoManga 25 (23,9%). Por outro lado, as amostras CoManga 16 e 22 exibem uma assembleia distinta, dominada por fases secundárias (óxidos e hidróxidos). A criptomelana é a fase majoritária na amostra CoManga 22 (44,1%),

enquanto a amostra CoManga 16 é composta majoritariamente de goethita (39,9%) e quartzo (21,2%), com teores de spessartina drasticamente reduzidos a valores inferiores a 2,5%.

Tabela 2 — Composição mineralógica quantitativa das amostras obtidas por refinamento Rietveld (% em peso). (*) incluindo outros oxi-hidróxidos de manganês (ex: hausmannita), hematita, actinolita e minerais traço. (-) Fase não detectada.

Mineral	26	2PM	14	25	16	22
Litioforita	0,2	4,3	0,1	6,7	11,7	10,2
Spessartina	66,1	60,2	46,8	45,3	2,3	0,3
Goethita	2,9	21,5	15,5	15	39,9	42,6
Quartzo	30,4	0,9	11,3	5,5	21,2	1,3
Criptomelana	-	-	3,1	-	18,1	44,1
Caulinita	-	-	14,8	23,9	-	-
Pirolusita	-	12	1,2	2,8	4,8	-
Outros*	0,4	1,1	7,2	0,8	2	1,5

8.1.3 Composição química

A composição química das amostras, abrangendo óxidos maiores, voláteis e elementos traço, é apresentada na Tabela 3. No que se refere aos elementos maiores, os dados evidenciam variações composicionais significativas entre as amostras. Os teores de SiO_2 são maiores nas amostras CoManga 26 (48,64%), CoManga 25 (22,28%) e CoManga 2PM (19,01%), sendo acompanhados por teores de Al_2O_3 que variam de 10,92% a 16,37%. Em contrapartida, as amostras CoManga 16 e CoManga 22 exibem teores de sílica reduzidos (< 5%) e as maiores concentrações de MnO , atingindo 43,71% e 47,63%, respectivamente. Os teores de Fe_2O_3 distribuíam-se em todas as amostras, com valores máximos registrados no grupo com maior teor de MnO (21,40% na CoManga 16).

Entre os constituintes menores e voláteis, destaca-se o comportamento do K_2O e do TiO_2 . A amostra CoManga 2PM apresenta os maiores valores para ambos os óxidos (5,20% de K_2O e 1,27% de TiO_2), seguida pela amostra CoManga 22. A PPC varia de 1,82% (CoManga 26) até valores superiores a 16% nas amostras CoManga 16 e 22. Nota-se ainda, especificamente na amostra CoManga 16, uma concentração de 2,4% de carbono, valor superior à média das demais amostras (< 0,5%). Quanto aos elementos traço, a distribuição de lítio e metais base apresenta tendências distintas. O teor máximo de lítio foi registrado na amostra CoManga 25 (483 ppm), enquanto as demais amostras apresentaram valores entre 44 e 76 ppm. Já os metais de transição (Ni, Cu, Co) e o Ba concentram-se preferencialmente nas

amostras com maiores teores de manganês. A amostra CoManga 22 exibe os valores máximos para este grupo, registrando 2948 ppm de níquel, 1046 ppm de cobre, 346 ppm de cobalto e 417 ppm de bário.

Tabela 3 — Composição química global das amostras envolvendo óxidos maiores, componentes voláteis (PPC) e elementos traço. Óxidos maiores e PPC expressos em porcentagem (%) e determinados por FRX. Carbono (C) e enxofre (S) determinados por análise elementar por combustão. Elementos traço (Li, Ni, Co, Cu, Ba) expressos em ppm e determinados por ICP-MS. (—) Elemento abaixo do limite de detecção.

Óxidos (% em peso)	CoManga 26	CoManga 2PM	CoManga 25	CoManga 16	CoManga 22
SiO ₂	48,64	19,01	22,28	4,74	3,07
Al ₂ O ₃	14,09	10,92	16,37	7,81	10,36
MnO	20,70	40,40	36,62	43,71	47,63
Fe ₂ O ₃	8,79	10,86	9,51	21,40	17,12
TiO ₂	0,27	1,27	0,34	0,39	1,23
K ₂ O	—	5,20	0,35	0,78	1,33
CaO	4,18	1,57	2,01	—	0,09
MgO	0,58	0,26	0,21	—	0,44
P ₂ O ₅	0,11	0,19	0,22	0,40	0,06
PPC	1,82	8,90	10,88	17,07	16,93
Soma	99,18	98,58	98,79	96,30	98,26
Elementar (%)					
C	0,5	0,19	0,21	2,4	0,14
S	0,24	0,27	0,24	0,25	0,25
Elementos Traço (ppm)					
Li	44	60	483	76	71
Co	54	228	272	156	346
Ni	76	1259	896	765	2948
Cu	98	210	528	624	1046
Ba	73	400	243	258	417

8.1.4 Caracterização mineralógica das frações granulométricas e densimétricas

As fases minerais identificadas apresentam densidades teóricas contrastantes em relação ao meio de corte utilizado (iodeto de metileno, $d \approx 3,32 \text{ g/cm}^3$). Para separar a distribuição mineralógica, a Tabela 4 apresenta as densidades de referência e o comportamento físico teórico esperado (fração afundada ou flutuada) para cada mineral.

A separação densimétrica da fração grossa ($> 106 \mu\text{m}$) concentrou a maior parte da massa na porção afundada nas amostras CoManga 14, 16, 22, 25 e 26 (Tabela 5). A amostra CoManga 2PM, em contrapartida, exibiu uma partição mássica equilibrada entre as frações leve e pesada.

Tabela 4 — Fórmula química, densidade teórica e comportamento físico esperado das fases minerais identificadas nas amostras estudadas. Dados cristalográficos e físicos extraídos de Deer *et al.* (1982) e Gaines *et al.* (1997).

Mineral	Fórmula Química	Densidade (g/cm^3)	Comportamento Teórico
Criptomelana	$\text{K}(\text{Mn}^{++}_7\text{Mn}^{3+})\text{O}_{16}$	4,17-4,41	Fração Pesada (Afunda)
Spessartina	$\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	4,18	Fração Pesada (Afunda)
Goethita	$\text{FeO}(\text{OH})$	4,28	Fração Pesada (Afunda)
Litioforita	$(\text{Al},\text{Li})(\text{Mn}^{++},\text{Mn}^{3+})\text{O}_2(\text{OH})_2$	3,14 - 3,37	Limítrofe (Zona de corte)
Quartzo	SiO_2	2,6 - 2,65	Fração Leve (Flutua)
Caulinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	2,6	Fração Leve (Flutua)
Gibbsita	$\text{Al}(\text{OH})_3$	2,3 - 2,4	Fração Leve (Flutua)

Tabela 5 — Balanço de massa das etapas de pré-tratamento e separação física das amostras. Todo o material foi submetido a cominuição com granulometria de tamanho máximo de $300 \mu\text{m}$ antes do peneiramento. A separação densimétrica da fração grossa ($>106 \mu\text{m}$) utilizou iodeto de metileno com densidade de corte de $D = 3,32 \text{ g/cm}^3$.

Amostra	Massa Total (g)	$<106 \mu\text{m}$ (g)	$>106 \mu\text{m}$ (g)	Produto $> 106 \mu\text{m}$; $D>3.3$ (g)	Produto $> 106 \mu\text{m}$; $D<3.3$ (g)
		Fino	Grosso	Grosso- Afundado	Grosso- Flutuado
CoManga 2PM	56,7	36,0	20,0	11,0	9,2
CoManga 14	354,1	208,0	144,7	101,6	41,9
CoManga 16	87,9	51,1	-	29,7	7,0
CoManga 22	58,3	35,6	22,6	18,9	3,7
CoManga 25	112,6	58,1	53,0	28,2	25,7
CoManga 26	123,6	40,9	81,8	64,1	17,6

A análise por DRX dos produtos revelou comportamentos distintos de partição. Na amostra CoManga 2PM, a spessartina concentrou-se na fração grossa afundada, enquanto a litioforita particionou-se para a fração fina e para a grossa flutuada, sendo reduzida a traços na fração afundada (Figura 15).

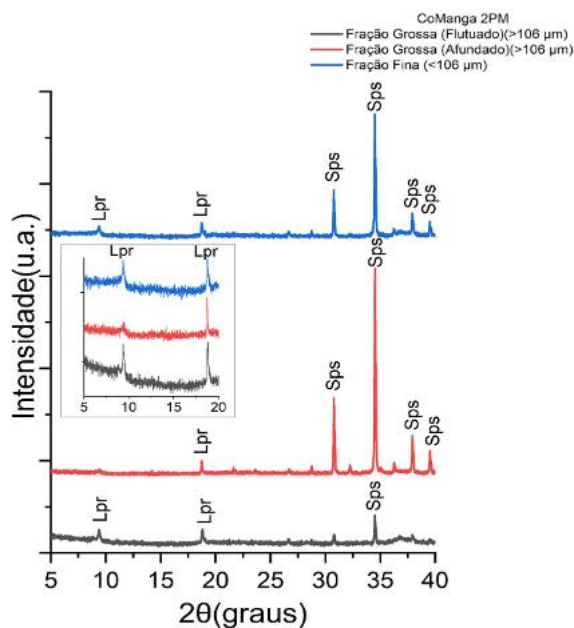


Figura 15 — Difratogramas comparativos das diferentes frações da amostra CoManga 2PM. As siglas posicionadas sobre os difratogramas indicam os reflexos diagnósticos das respectivas fases minerais. Um detalhe ampliado (zoom) foi inserido para destacar as reflexões de menor intensidade, permitindo a visualização clara das fases supergênicas minoritárias que, de outra forma, não se destacam em função dos picos de alta intensidade dos minerais precursores. (Lpr = litioforita, Sps = spessartina).

Nas demais amostras, observou-se partição incompleta das fases em relação às suas densidades teóricas. Na amostra CoManga 26, reflexões intensas associadas a litioforita persistiram na fração grossa afundada, simultaneamente à ocorrência de spessartina na fração grossa flutuada (Figura 16).

Comportamento semelhante ocorreu na amostra CoManga 22, onde fases densas (criptomelana) apresentaram reflexões na fração flutuada, enquanto fases de menor densidade (litioforita e gibbsita) reportaram-se também para a fração afundada (Figura 17). A partição incongruente dos minerais, com relação a separação densimétrica, pode estar associada com a ocorrência da fase em questão em partículas de composição mista, misturando minerais de baixa e alta densidade.

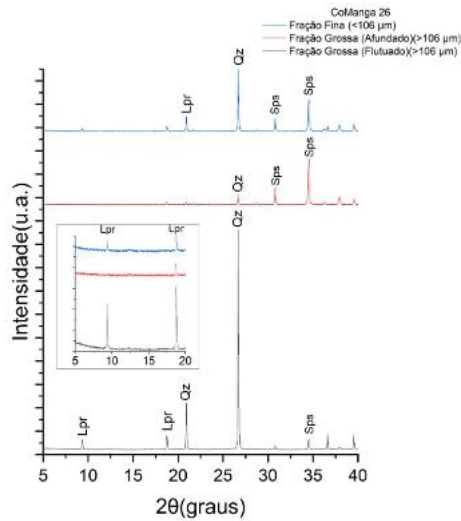


Figura 16 — Difratomogramas comparativos das diferentes frações da amostra CoManga 26. As siglas posicionadas sobre os difratogramas indicam as reflexões diagnósticas das respectivas fases minerais. Um detalhe ampliado (zoom) foi inserido para destacar as reflexões de menor intensidade, permitindo a visualização clara das fases supergênicas minoritárias que, de outra forma, seriam ofuscadas pelos picos de alta intensidade dos minerais precursores. (Lpr = litioforita, Sps = spessartina, Qz = quartzo).

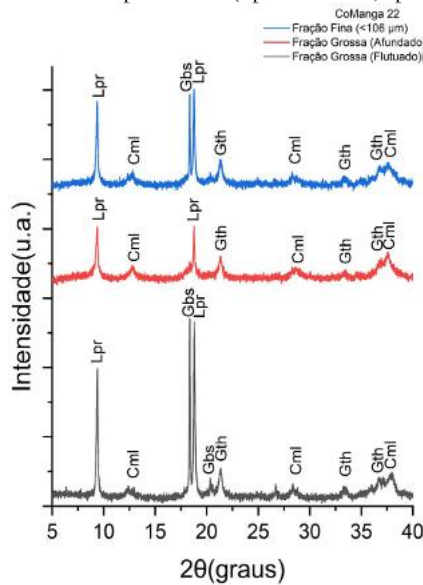


Figura 17 — Difratomogramas comparativos das diferentes frações da amostra CoManga 22. As siglas posicionadas sobre os difratogramas indicam as reflexões diagnósticas das respectivas fases minerais. (Lpr = litioforita, Cml = criptomelana, Gth = goethita, Gbs = gibbsita).

A fração grossa flutuada da amostra CoManga 16 apresentou reflexões basais primárias (001 e 002) da litioforita isoladas dos picos de ganga pesada. Neste difratograma específico, registrou-se a detecção nítida da reflexão (003) da litioforita em aproximadamente $28,3^\circ 2\theta$ (Figura 18).

O comportamento de partição incompleta, marcado pela presença simultânea de fases leves e densas em ambas as frações, também foi registrado nas amostras CoManga 14 e CoManga 25 (Apêndice A1 e A2).

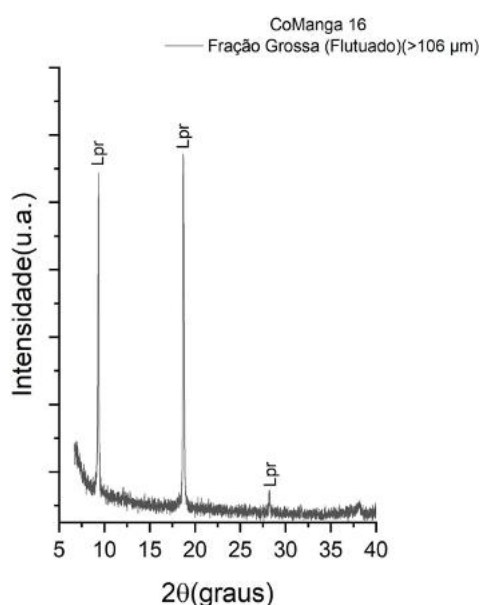


Figura 18 — Difratograma da fração grossa flutuada da amostra CoManga 16. A sigla posicionada sobre o difratograma indicam as reflexões diagnósticas da litioforita (Lpr).

8.2 Caracterização microtextural e química mineral (MEV-BSE/EDS e Raman)

A integração das técnicas de microscopia (ótica, com imagens de luz refletida, e microscopia eletrônica de varredura, com imagens de elétrons de elétrons retroespalhados (BSE), com as análises pontuais (por espectroscopia de raios X por dispersão de energia — EDS, e microespectroscopia Raman) permitiu a identificação e a correlação espacial das fases minerais presentes nas amostras. A análise das imagens de elétrons retroespalhados (BSE) fundamentou a separação visual das fases com base no contraste de número atômico médio e no reconhecimento de hábitos cristalinos, enquanto a química pontual foi investigada via EDS (cujos dados analíticos completos encontram-se no Apêndice B). Para as fases nas quais o intercrescimento submicroscópico superou o limite de resolução espacial do feixe de elétrons

para raios X característico (gerando assinaturas químicas mistas), a especificidade molecular do laser Raman assegurou a confirmação inequívoca da estrutura mineral.

A transição arquitetural e mineralógica, que reflete o colapso do arcabouço primário frente ao intemperismo, foi estruturada em dois domínios paragenéticos principais.

8.2.1 Trama bandada, arcabouço silicatado e fases reliquias (amostras 26, 14, 25 e 2PM).

Este domínio caracteriza-se pela preservação física do arcabouço da rocha metamórfica precursora. A amostra CoManga 26 representa a trama mais íntegra, exibindo um bandamento composicional regular marcado pela alternância de bandas de granadas e bandas de quartzo livre de inclusões (Figura 19). Na amostra 14 esse bandamento exhibe variações granulométricas complexas, intercalando bandas de grãos de granada grosso e esparsos com faixas de grãos de granada fina em arranjos aglomerados (Figura 20). A spessartina é o mineral precursor silicatado dominante, ocorrendo em cristais isolados ou agregados granoblásticos (25 a 500 μm) de hábito idioblástico a subidioblástico.

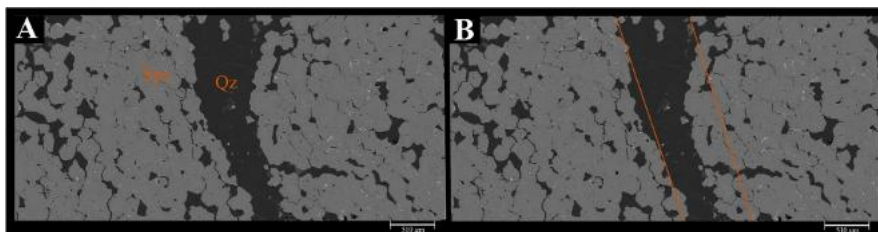


Figura 19 — Arcabouço silicatado primário e bandamento composicional reliquiar na amostra CoManga 26. Imagens de microscopia eletrônica de varredura em elétrons retroespalhados (MEV-BSE). (A) Contraste composicional dos domínios estruturais. Qz = quartzo, Sps = spessartina. (B) Interpretação estrutural sobre a mesma imagem, utilizando linhas tracejadas para separar os domínios mineralógicos e destacar a alternância entre as bandas ricas em granada (spessartina) e os níveis de quartzo, característicos do bandamento primário do protominério.

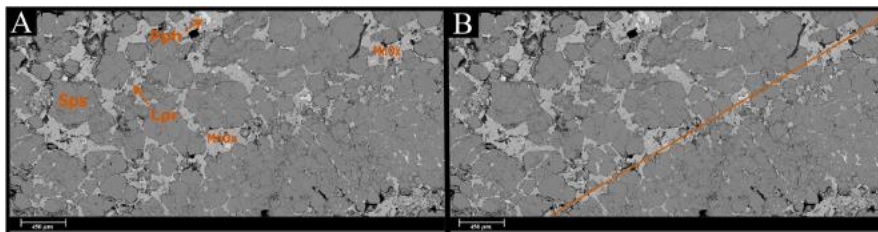


Figura 20 — Relações texturais e o particionamento de domínios no estágio inicial de colapso do protominério na amostra CoManga 14. Imagens de microscopia eletrônica de varredura no modo elétrons retroespalhados (MEV-BSE). Em (A), o dado instrumental puro evidenciando cristais reliquias de spessartina (Sps), a identificação pontual da pirofanita (Pph) e da litioforita (Lpr), além das amplas áreas de intercrescimento submicroscópico inseparável indicadas como matriz oxihidroxilada (MnOx). Em (B), a interpretação estrutural delineada pela linha contínua laranja.

Nas imagens de BSE, a spessartina apresenta tons de cinza intermediário a escuro, refletindo seu número atômico médio. A análise química *in situ* via EDS confirmou a estequiometria com predomínio de SiO_2 (~31% em peso), Al_2O_3 (~20% em peso) e MnO (~37% em peso), acompanhados por substituições menores de Fe_2O_3 (6% em peso) e CaO (2% em peso), refletindo a participação dos componentes almandina e grossulária (Tabela 7). Internamente, os cristais de spessartina abrigam microinclusões preservadas de quartzo primário e sulfetos (calcopirita, pirrotita, esfalerita e pentlandita) (Figura 23 e Figura 24).

Associada à trama silicatada original e preservada como mineral refratário imerso na matriz nanométrica de óxidos supergênicos (notadamente na amostra CoManga 14), a pirofanita ocorre finamente disseminada como cristais anédricos compactos e limpos de coloração azul-acinzentada clara (Figura 21), com química marcada por TiO_2 (~47,9% em peso), MnO (~37,8% em peso) e Fe_2O_3 (~13,1% em peso) (Tabela 7). Foi observada uma ocorrência de pirofanita abrigando inclusões de scheelita (Figura 22). Por fim, minerais acessórios pesados, a exemplo do zircão e da apatita, são facilmente discriminados pelas cores claras associadas aos seus coeficientes de retroespalhamento relativamente altos (Figura 21).

O intemperismo atua sobre este arcabouço de forma centrípeta, gerando contornos corroídos e fraturamentos preenchidos por matriz supergênica (Figura 23). Massas criptocristalinas de caulinita, de hábito de agregados maciço e tons muito escuros no BSE, desenvolvem-se ao redor da spessartina.

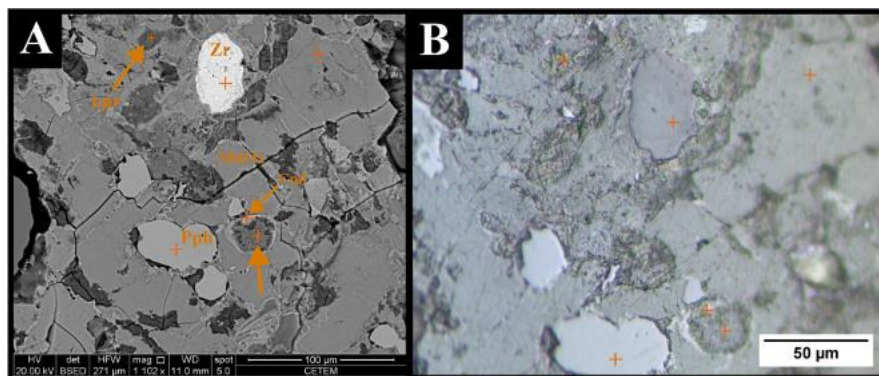


Figura 21 — Mapeamento analítico *in situ*, minerais refratários e matriz supergênica na amostra CoManga 14. Em (A), imagem MEV-BSE evidenciando a matriz oxi-hidroxilada (MnOx) indiferenciada, a qual abriga cristais reliquiais refratários de pirofanita (Pph) e zircão (Zrn) mais claros. Em detalhe, observa-se um cristal de litioforita (Lpr) com bordas substituídas por criptomelana (Cml). Em (B), fotomicrografia sob luz refletida do mesmo campo, evidenciando as propriedades ópticas diagnósticas das fases: pirofanita em tons azul-acinzentados, litioforita em cinza-esverdeado e criptomelana exibindo alta reflectância (branco). Os marcadores em formato de cruz (+) sobrepostos à imagem indicam as coordenadas espaciais exatas das microanálises pontuais de microquímicas por EDS e microespectroscopia Raman, as quais confirmam a composição do núcleo esverdeado de litioforita, das bordas de criptomelana e atestam as demais fases que compõem a matriz.

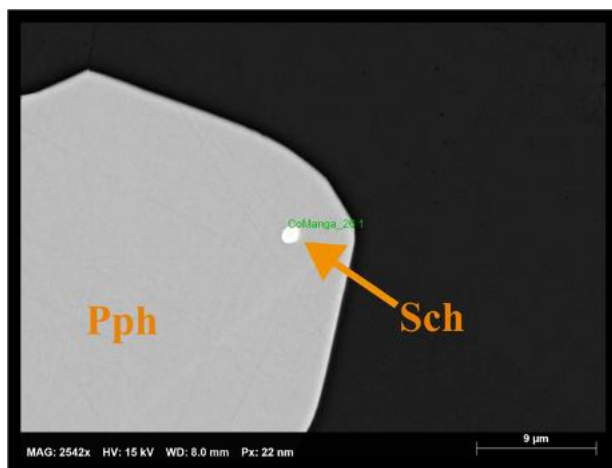


Figura 22 — Imagem de BSE apresentando um detalhe em alta ampliação de inclusão reliquiar de scheelita blindada por pirofanita na amostra CoManga 26. A imagem evidencia um cristal anédrico refratário de pirofanita (Pph) atuando como "cápsula" protetora, abrigando uma microinclusão de scheelita (Sch) e a isolando do intemperismo imposto à matriz circundante. O contraste de fases gerado pelo número atômico médio destaca a scheelita em tons mais claros (branco).

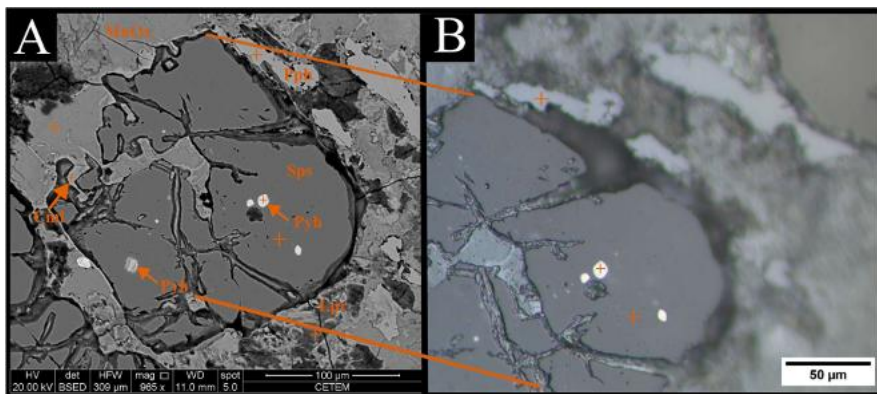


Figura 23 — Corrosão do arcabouço silicatado e detalhe das inclusões reliquiares da amostra CoManga 14. (A) Imagem de BSE evidenciando cristal de spessartina (Sps) submetido a corrosão interna, com as cavidades e fraturas preenchidas pela matriz oxi-hidroxilada (MnOx). Nas bordas, nota-se a presença de litioforita (Lpr) (cinza escuro) de baixa cristalinidade e pirofanita (Pph). (B) Detalhe em luz refletida do setor interno da mesma granada, demarcado pelas linhas de correlação a partir de (A), destacando a integridade ótica do silicato e a preservação de inclusões de pirrotita (Pyh). Os marcadores em formato de cruz (+) indicam as coordenadas exatas das análises *in situ* por EDS e microespectroscopia (Raman).

Análises por EDS na caulinita mostram domínios puros (Si e Al) e domínios impuros com Mn e Fe. É neste domínio inicial que a litioforita faz sua primeira aparição na paragênese: ela cristaliza-se aproveitando as discontinuidades, formando microbandas e preenchendo as intrincadas fraturas que seccionam o arcabouço silicatado reliquiar, sempre em íntima

associação espacial com óxidos de ferro e outros óxidos de manganês. Neste domínio, a trama silicatada original sofreu colapso estrutural, e a arquitetura passa a ser sustentada inteiramente pela matriz de óxidos (Figura 24 e 25).

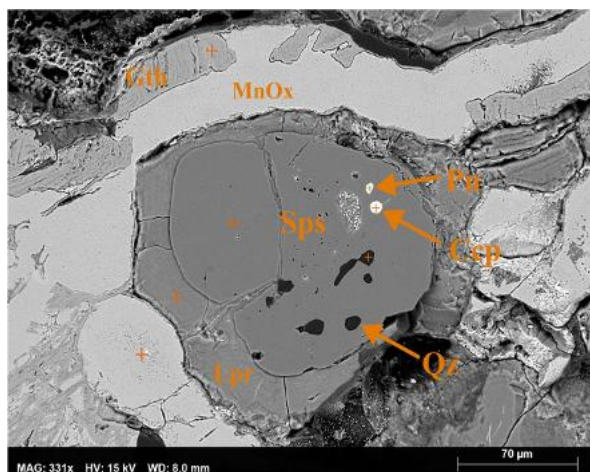


Figura 24 — Evidências de substituição pseudomórfica e preenchimento de fraturas por fluidos supergênicos na amostra CoManga 26. Imagem de elétrons retro espalhados MEV-BSE mostrando cristal reliquiar de spessartina (Sps) em processo de corrosão centripeta, abrigando microinclusões preservadas de quartzo primário (Qz) e sulfetos, notadamente calcopirita (Ccp) e pentlandita (Pn). Nas bordas do silicato, observa-se a precipitação de litioforita (Lpr), a qual engloba os cristais de quartzo residuais, comprovando o processo termodinâmico de substituição in situ. Fratura adjacente preenchida por matriz oxí-hidroxilada (MnOx), com neoformação associada de goethita (Gth) em suas margens. Os marcadores em formato de cruz (+) indicam as coordenadas exatas das análises in situ acopladas de microquímica por EDS.

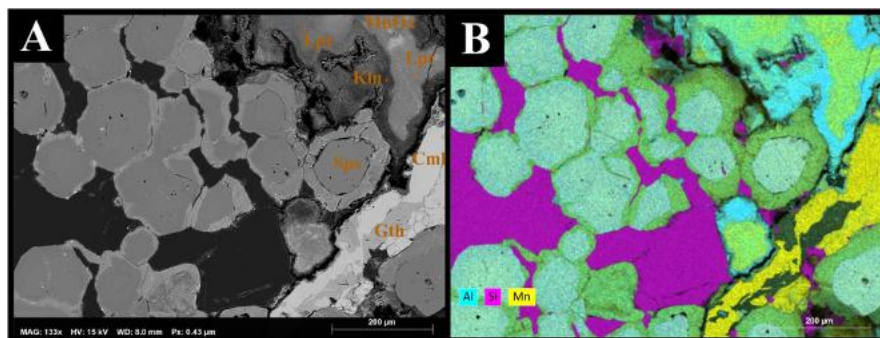


Figura 25 — Mapeamento microquímico (EDS) e texturas de alteração do arcabouço silicatado primário na amostra CoManga 26. (A) Imagem MEV-BSE evidenciando o arcabouço de spessartina (Sps) em matriz de quartzo (Qz). Observa-se a formação de coroas de reação de litioforita (Lpr) ao redor da granada, bem como o desenvolvimento de caulinita (Kln) de hábito maciço e a transição para a matriz oxí-hidroxilada indiferenciada (MnOx). A fratura adjacente exibe preenchimento zonado por goethita (Gth) substituindo criptomelana (Cml) na porção central. (B) Mapa composicional de espectroscopia de energia dispersiva (EDS) da mesma área, evidenciando o particionamento geoquímico supergênico por meio da distribuição espacial dos elementos Al (azul), Si (magenta) e Mn (amarelo).

8.2.2 Trama oxi-hidroxilada, porosidade e a assembleia supergênica (Amostras 16 e 22)

Com o avanço do intemperismo, a trama silicatada original sofre colapso estrutural completo, e a arquitetura da rocha passa a ser sustentada inteiramente por uma matriz de óxidos secundários. A rocha desenvolve intensa porosidade por cavidades de dissolução e exibe feições pseudomórficas notáveis, onde agregados de lamelas mimetizam perfeitamente o hábito dos cristais de granada lixiviados (Figura 26).

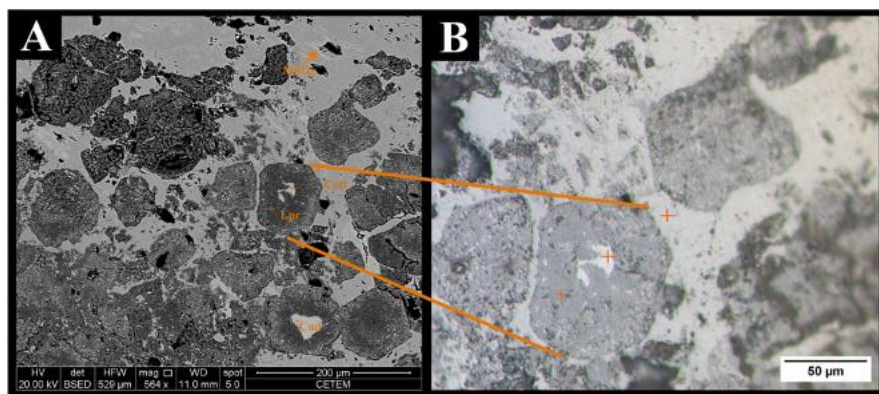


Figura 26 — Substituição pseudomórfica e evolução textural da matriz madura na amostra CoManga 22. (A) Imagem de BSE evidenciando domínios de pseudomorfismo, onde maciços de lamelas de litioforita (Lpr) mimetizam o hábito dos cristais de granada lixiviados, com núcleos e matriz circundante preenchidos por criptomelana (Cml) maciça. A área designada como MnOx reflete a matriz de intercrescimento submicroscópico, cuja assinatura química mista no feixe de elétrons foi resolvida via microespectroscopia Raman. (B) Imagem sob luz refletida do grão demarcado pelas linhas de chamada a partir de (A), destacando o forte contraste óptico entre a litioforita (tons de cinza) e a criptomelana (cor branca). Os marcadores em formato de cruz (+) indicam as coordenadas exatas das análises por EDS e por microespectroscopia (Raman).

A litioforita atua como a principal fase de substituição pseudomórfica, ocorrendo também dispersa na matriz em agregados pseudotabulares formados por cristais aciculares a fibrosos (Figura 28 e 30). Sob luz refletida, exibe colorações cinza-azulado a cinza-esverdeado e, no BSE, destaca-se em tons de cinza-escuro em relação à criptomelana vizinha. As análises in situ de EDS atestam teores majoritários de MnO (~71% em peso) e Al_2O_3 (~25% em peso) (Tabela 7), evidenciando também o papel da litioforita como retentora de metais de transição (Ni, Cu, Zn, Co). Além de ser secundária, a litioforita intercresce com a criptomelana, formando uma matriz maciça preenchendo fraturas e espaços intersticiais (Figura 27 e 28). A criptomelana exibe altíssima refletância (tons brancos no BSE) e química dominada por MnO (91% em peso) associado ao K_2O (3% em peso) (Tabela 7). A evolução destas fases neoformadas não se restringe à substituição passiva do arcabouço. A litioforita e a criptomelana operam como agentes ativos no preenchimento das zonas de fraqueza e da porosidade

secundária gerada pela intensa lixiviação dos silicatos. Imagens de detalhe em elétrons retroespalhados atestam a diversidade morfológica desta precipitação, evidenciando o desenvolvimento de lamelas de litioforita (Figura 27).

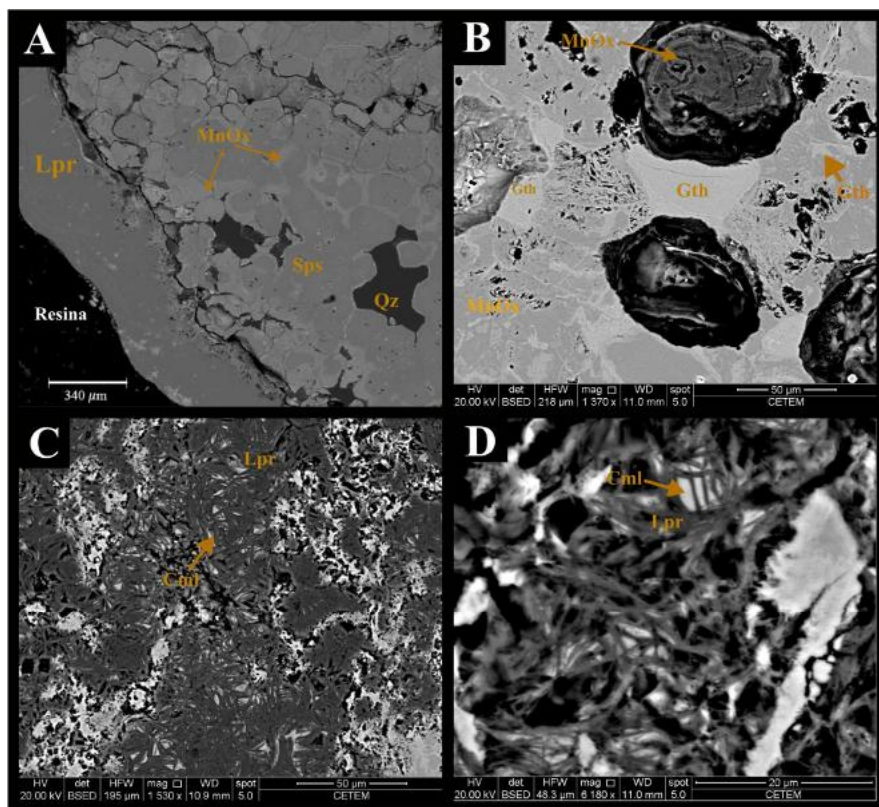


Figura 27 — Ocorrência e aspectos microtexturais da litioforita (MEV-BSE). Imagens de microscopia eletrônica de varredura no modo elétrons retroespalhados (MEV-BSE). O contraste em tons de cinza reflete o número atômico médio das fases, enquanto áreas de preto absoluto indicam cavidades lixiviadas e porosidade. (A) Amostra CoManga 26 exibindo dois domínios: à direita, cristais de spessartina (Sps) rodeados por bordas de óxidos de manganês em matriz de quartzo à esquerda, precipitação de múltiplas microbandas de litioforita (Lpr). (B) Amostra CoManga 22 revelando uma feição pseudomórfica com bandamento rítmico interno de oxi-hidróxidos indiferenciados (MnOx), evidenciando a substituição total do cristal precursor. A matriz circundante, de refletividade cinza-escura, apresenta intercrescimento intersticial com a goethita. A rocha exibe intensa microporosidade de dissolução, culminando em grãos totalmente lixiviados (vazios escuros). (C) Amostra CoManga 22 detalhando o desenvolvimento de litioforita de hábito acicular (fase escura) associada à precipitação de criptomelana (fase clara de alta refletividade) nos espaços intersticiais, permeada por microporosidade. (D) Ampliação do quadro C, evidenciando a morfologia acicular dos cristais de litioforita e a interpenetração da criptomelana adjacente.

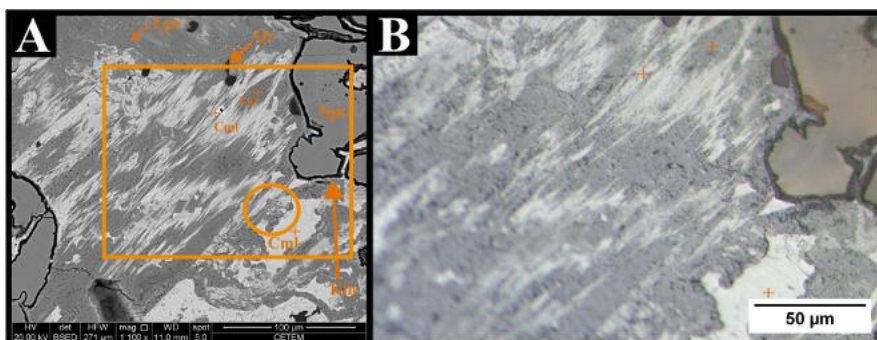


Figura 28 — Alteração intempérica da spessartina e assembleia supergênica na amostra CoManga 25. (A) Imagem de BSE evidenciando a corrosão do arcabouço silicatado, com cristais reliquiais de spessartina (Sps) zonada e substituída de forma centrípeta por halos de caulinita (Cln) criptocristalina. A matriz secundária é composta por criptomelana (Cml) maciça e litioforita (Lpr) botrioidal (microesferas arredondadas - círculo azul, circulada na imagem), a qual engolfa cristais refratários de quartzo (Qz). Observa-se o crescimento de cristais aciculares mais claros de criptomelana sobre a litioforita. (B), Imagem sob luz refletida da mesma área, evidenciando o contraste de propriedades ópticas: litioforita em tons cinza-esverdeados; criptomelana maciça em coloração branca; quartzo cinza escuro; spessartina em tons de cinza médio; e a caulinita exibindo reflectância virtualmente nula (escuro) e ocorrendo ao redor da granada. Os marcadores em formato de cruz (+) indicam as coordenadas espaciais exatas onde foram extraídos os dados pontuais por EDS e microespectroscopia Raman.

Em domínios onde o controle estrutural das fraturas predomina, a dinâmica de precipitação a partir dos fluidos meteóricos saturados revela texturas coloformes e botrioidais complexas. Nesses condutos, observa-se a cristalização de micro-nódulos constituídos pela alternância rítmica de criptomelana e goethita, frequentemente ladeados pelas frentes de corrosão agressiva da spessartina e associados a agregados maciços de litioforita no interior das discontinuidades (Figura 29)

Associada aos óxidos de manganês, a goethita constitui a principal fase supergênica de ferro e representa uma proporção expressiva da rocha no estágio maduro. Apresenta, predominantemente, hábito maciço, ocorrendo dispersa na matriz de alteração, preenchendo fraturas ou desenvolvendo localmente feições botrioidais. Nas imagens BSE, exibe níveis de contraste intermediário, apresentando-se mais escura que a criptomelana adjacente, porém mais clara que as fases silicatadas (Figura 30). As análises pontuais de EDS apontam composição dominada por Fe_2O_3 (~80% em peso), com teores subordinados de MnO (até ~10% em peso) e elementos traço residuais (Tabela 7). Texturalmente, a goethita também compõe as extensas matrizes intersticiais criptocristalinas, onde se encontra intimamente intercrescida em escala submicroscópica com a litioforita e a criptomelana (Figura 31).

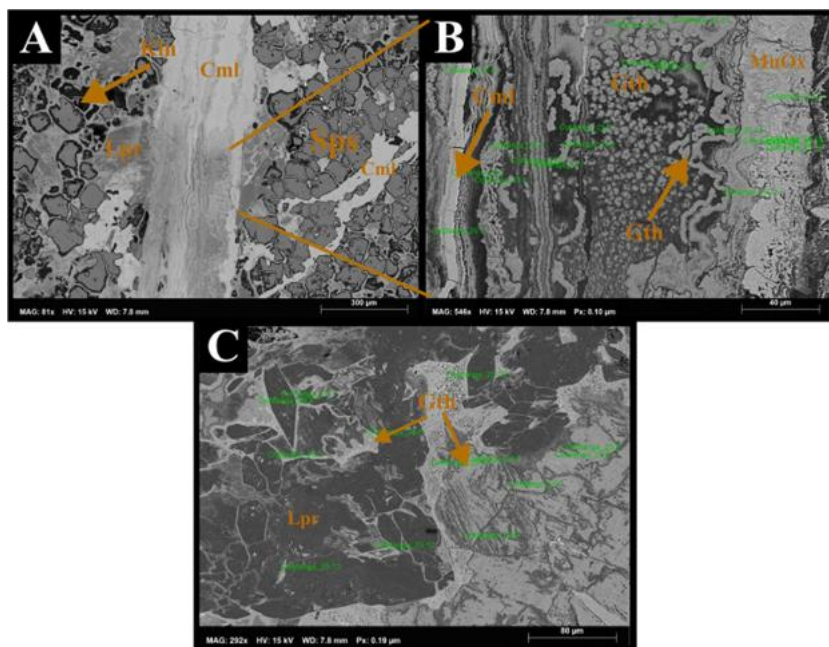


Figura 29 — Aspectos microtexturais da precipitação de litioforita e óxidos supergênicos em zonas de fratura (MEV-BSE). Imagens de microscopia eletrônica de varredura no modo elétrons retroespalhados (MEV-BSE) da amostra CoManga 25. O contraste em tons de cinza reflete o número atômico médio das fases. (A) Visão geral de uma fratura preenchida por agregados microcristalinos de oxi-hidróxidos, destacando-se a criptomelana (Cml; fase branca de alta refletividade) associada a domínios de litioforita. Nas bordas da fratura, o arcabouço silicatado exibe cristais de spessartina com intensa corrosão centrípeta, ladeados por halos de caulinita (Kln) neoformada (tons escuros). (B) Ampliação (zoom) do interior da fratura detalhando feições de precipitação de fluidos. Observam-se texturas coliformes e botrioidais com bandamento rítmico e micro-nódulos constituídos pela alternância de criptomelana e goethita (cinza-escuro). Estes são engolfados por uma matriz oxi-hidroxiada de mistura criptocristalina (MnOx) com refletividade intermediária a alta. (C) Domínio distinto de fratura evidenciando agregados anédricos a maciços de litioforita (cinza muito escuro). A matriz circundante é dominada por goethita, a qual encontra-se com microfraturas preenchidas pela própria litioforita, configurando um íntimo intercrescimento.

Além das fases perfeitamente individualizadas, o estágio maduro (e.g., CoManga 16 e localmente na amostra 2PM) caracteriza-se por extensas matrizes intersticiais criptocristalinas. Nestes domínios, as extensas varreduras de EDS ($n=288$ pontos) retornaram respostas químicas mistas (Al_2O_3 , Fe_2O_3 e MnO), indicando um intercrescimento submicroscópico e nanométrico entre litioforita, criptomelana e goethita que mascara a estequiometria numa análise por EDS com excitação por feixe de elétrons.

Para lidar com a mistura de sinais associada aos dados de química mineral por EDS, utilizou-se a microespectroscopia Raman. Os espectros obtidos revelaram modos vibracionais diagnósticos constantes em ~ 624 , ~ 573 , ~ 480 e $\sim 396 \text{ cm}^{-1}$ (Tabela 6), confirmando

inequivocamente a presença da litioforita mascarada na matriz. Analiticamente, observou-se severa instabilidade térmica dessa fase sob o feixe do laser, exigindo controle rigoroso de sua potência. Por fim, identificaram-se marcadores refratários como lamelas de grafita que sobrevivem quimicamente inertes imersos nesta matriz extremamente oxidada, preservando a orientação do bandamento metamórfico original (Figura 32).

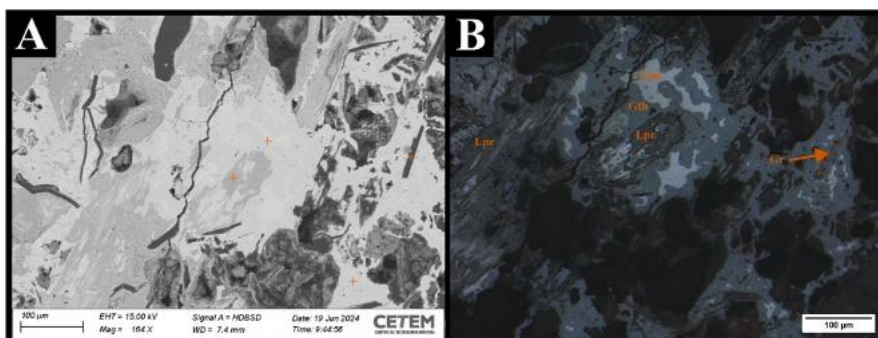


Figura 30 — Assembleia supergênica madura e propriedades ópticas na matriz da amostra CoManga 16. (A) Imagem MEV-BSE evidenciando a matriz oxi-hidroxiada madura (símbolos em B), destacando-se o desenvolvimento de litioforita (Lpr) de hábito plaçoide, massas de goethita (Gth) botrioidal (microesferas arredondadas - círculo azul) intercrescida com criptomelana (Cml) e cristais reliquiais refratários de grafita (Gr). (B) Imagem sob luz refletida do mesmo campo evidenciando o marcante contraste de propriedades ópticas: goethita em tons cinza-azulados; litioforita variando de cinza-azulado escuro a cinza-esverdeado; e criptomelana exibindo tons mais claros (branco-acinzentado). Os marcadores em formato de cruz (+) sobrepostos à imagem indicam as coordenadas espaciais exatas onde foram extraídos os dados pontuais por EDS e microespectroscopia Raman.

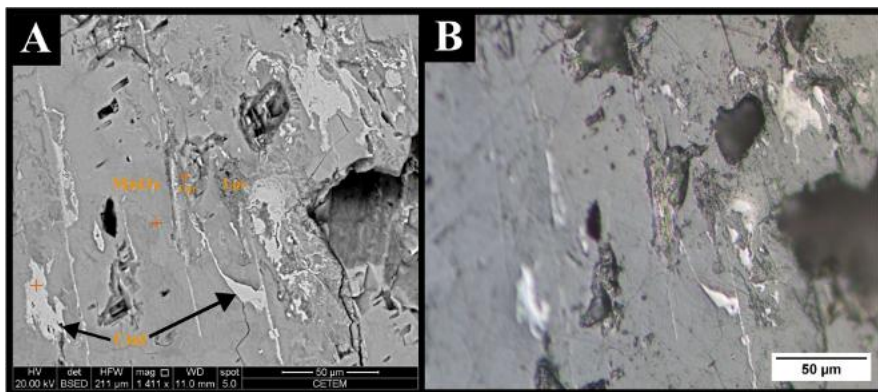


Figura 31 — Matriz supergênica madura e preenchimento tardio de cavidades de dissolução na amostra CoManga 2PM. A) Imagem MEV-BSE detalhando a matriz oxi-hidroxiada (MnOx), com destaque para o desenvolvimento de cristais de litioforita (Lpr) de baixa cristalinidade e contornos anédricos. Observa-se o preenchimento de cavidades de dissolução por precipitação tardia de criptomelana (Cml). B) Imagem sob luz refletida evidenciando a alta reflectância da criptomelana (branco) em forte contraste com a litioforita intensamente alterada e a matriz indiferenciada, as quais exibem tons de cinza-esverdeado escuro. Os marcadores em formato de cruz (+) sobrepostos à imagem indicam as coordenadas espaciais exatas onde foram extraídos os dados pontuais por EDS e microespectroscopia Raman.

Tabela 6 — Assinatura vibracional (microespectroscopia Raman) e relações microtexturais das fases minerais com dados de referência extraídos de Burlet e Vanbrabant (2015), Post et al. (2020) e RRUFF (R050503, R060279, R120025, (2026)). (F) indica bandas de forte intensidade relativa, conforme espectros brutos.

Fase Mineral Identificada	Posição das Principais Bandas Raman Observadas (cm ⁻¹)	Bandas de Referência na Literatura (cm ⁻¹)*	Descrição Textural e Morfológica (conforme MEV/Óptica)
Litioforita	620-632 (F) , 570-582 (F) , 482-510, 381-399, 299-302, 245-247	624, 573, 480, 396.	Hábito predominante placóide a lamelar, assumindo feições botrioidais locais; forte variação de contraste em BSE (tons cinza-claros a escuros).
Criptomelana	731-748, 631-644 (F), 580-588 (F), 385-393, 274-285, 180-187	738, 631, 579, 515, 386, 280, 182	Hábito maciço ou acicular a fibroso; caráter coloidal, preenchendo de forma irregular (xenomórfica) as fraturas e cavidades da matriz; tons muito claros a brancos no BSE.
Matriz Oxi-hidroxilada	630-638 (F), 564-583 (F), 483-515, 388-409, 282-298, 224-246	(Sobreposição de modos vibracionais das fases de Mn e goethita)	Domínio criptocristalino extremamente poroso e friável; íntimo intercrescimento submicroscópico entre litioforita, criptomelana e goethita
Spessartina	1029-1030, 906 (F), 847-849, 553, 500-503, 474-475, 352-375, 301-324	1030, 906, 849, 550	Cristais isolados ou em agregados granoblásticos; hábito idioblástico a subidioblástico
Pirofanita	685-688 (F), 606, 469-471, 364, 333-336, 260	685, 606, 469	Cristais anédricos dispersos na matriz; aspecto limpo, compacto e isento de texturas de corrosão; coloração azul-acinzentada clara
Grafita	1582 (F) , 1350-1352	1582, 1350	Grãos com hábito placóide/lamelar e coloração amarronzada.

O conjunto completo das microanálises pontuais (EDS) que fundamenta as descrições químicas deste capítulo pode ser consultado na íntegra no Apêndice B. Os resultados analíticos encontram-se individualizados para a litioforita (Tabela 8 - Anexo), criptomelana (Tabela 9 - Anexo), goethita (Tabela 10 - Anexo), spessartina (Tabela 11 - Anexo), pirofanita (Tabela 12 - Anexo), caulinita (Tabela 13 - Anexo), quartzo (Tabela 14 - Anexo). Adicionalmente, a química das fases dos minerais acessórios e das inclusões refratárias está sumarizada nas Tabelas 15 a 16 do mesmo apêndice.

A Figura 33 ilustra os espectros Raman representativos obtidos em três amostras distintas, selecionados pela melhor relação sinal-ruído. Para fins de validação analítica, linhas verticais foram sobrepostas aos espectros, indicando as posições das bandas correspondentes aos principais modos vibracionais diagnósticos de referência para a litioforita consolidadas na literatura (Burlet e Vanbrabant, 2015; Post et al. 2021, RRUFF, 2026). Essa abordagem

permitiu a comparação visual direta com as bandas obtidas nas matrizes estudadas. A confirmação da estrutura molecular das fases manganesíferas foi atestada as bandas de espalhamento diagnósticos, detalhados na Tabela 6, cujos resultados corroboram as relações microtexturais observadas na Figura 33. A Tabela 7 sumariza a estatística descritiva (teor médio, desvio padrão, valores mínimos e máximos) da composição química pontual (em % de peso de óxidos), obtida via EDS, para as principais fases minerais caracterizadas ao longo da evolução intempérica das amostras.

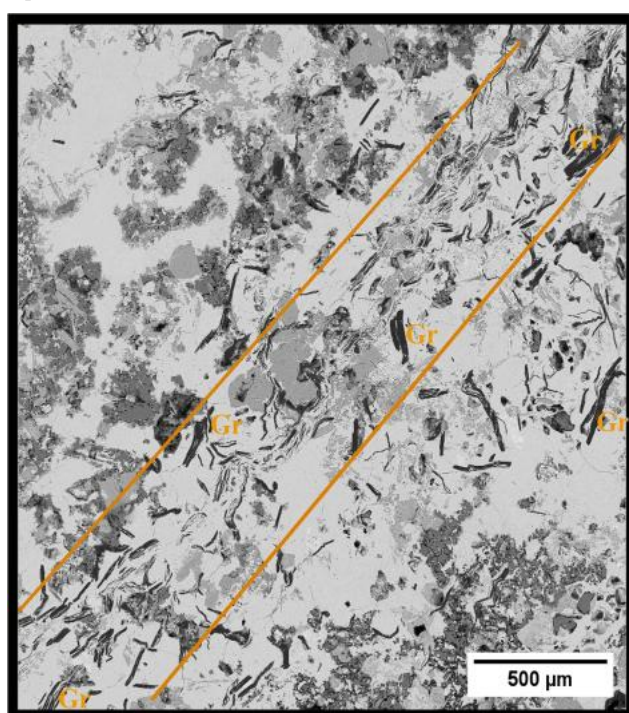


Figura 32 — Amplo campo de visão evidenciando cristais de grafita (Gr) orientados na matriz oxihidroxilada segundo a trama reliquiar da rocha na amostra CoManga 16. Imagem de BSE em baixa ampliação. O registro ilustra o arranjo direcional dos cristais refratários de grafita de hábito placoide, os quais resistiram ao intemperismo supergênico e geralmente preservam a foliação da rocha metamórfica precursora. O forte contraste escuro da grafita em relação à matriz circundante mais clara é inerente à técnica BSE, refletindo o baixo número atômico médio do carbono. Os dois traços paralelos sobrepostos à imagem indicam a orientação espacial da trama estrutural preservada.

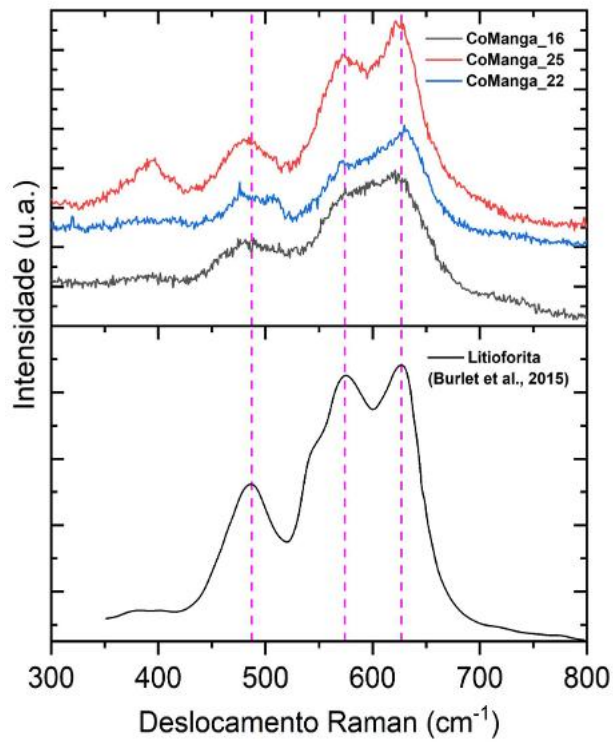


Figura 33 – Espectros Raman de alta resolução da litioforita obtidos em três amostras distintas. As linhas verticais demarcam as posições vibracionais diagnósticas de referência da litioforita balizadas na literatura (destacando-se a banda principal em $\sim 624 \text{ cm}^{-1}$), evidenciando a correspondência direta e a validação analítica da fase mineral estudada.

Tabela 7 — Estatística descritiva da composição microquímica (EDS) das principais fases minerais ao longo da evolução intempérica. As concentrações estão expressas em porcentagem em peso de óxidos (wt%). Os dados sumarizam os teores médios, desvios padrão, além dos valores mínimos e máximos obtidos, refletindo a variabilidade composicional e a flexibilidade das soluções sólidas nas matrizes estudadas. Os dados foram normalizados a base 100% anidra.

Fase Mineral	Litioforita	Spessartina	Goethita	Quartzo	Criptomelana	Caulinita	Pirofanita
n	64	50	167	32	193	22	25
MnO ₂ (t)	71,51±3,61(63,2 - 78,1)	37,82±4,7(27,8 - 49,0)	10,85±4,52(69,4 - 91,3)	0,62±1,28(0 - 7,3)	91,87±3,12(82,7 - 98,5)	5,78±4,9(0 - 14,8)	37,85±7,52(32,4 - 70,6)
Al ₂ O ₃	25,05±3,07(17,4 - 31,1)	20,45±2,87(17,5 - 28,8)	3,04±1,2(1,2 - 6,5)	0,62±0,69(0 - 4,1)	1,05±0,98(0 - 7,6)	41,69±2,13(38,1 - 45,0)	0,28±0,67(0 - 3,2)
Fe ₂ O ₃ (t)	0,64±1,09(0 - 4,6)	6,53±2,43(2,3 - 11,9)	80,48±5,66(69,4 - 91,3)	0,56±0,48(0 - 1,3)	2,34±2,9(0 - 12,1)	3,2±2,04(0 - 7,0)	13,16±3,55(7,1 - 23,3)
SiO ₂	0,55±1,27(0 - 5,9)	31,24±4,33(18,0 - 35,1)	2,45±0,89(0,6 - 6,5)	98,18±2,17(87,1 - 100)	0,27±0,32(0 - 3,8)	49,23±2,13(40,1 - 54,3)	0,11±0,43(0 - 2,1)
TiO ₂	0±0,02(0 - 0,1)	0,03±0,1(0 - 0,5)	0±0,2(0 - 0,3)	-	0,02±0,12(0 - 1,2)	0,02±0,12(0 - 0,5)	47,91±10,12(0 - 51,5)
BaO	0,18±0,37(0 - 1,9)	0,02±0,06(0 - 0,4)	0,07±0,21(0 - 1,4)	-	0,12±0,23(0 - 1,3)	0,04±0,11(0 - 0,4)	0,21±0,48(0 - 1,4)
K ₂ O	0,31±0,39(0 - 1,5)	0,02±0,1(0 - 0,6)	0,03±0,06(0 - 0,3)	-	3±1,41(0,5 - 5,4)	-	0,01±0,05(0 - 0,2)
CaO	0,02±0,06(0 - 0,3)	2,18±2,3(0 - 7,4)	0±0,2(0 - 0,2)	0,02±0,12(0±0,7)	0,18±0,26(0 - 1,2)	-	0,02±0,06(0 - 0,3)
MgO	0,04±0,12(0 - 0,6)	0,23±0,28(0 - 0,8)	0±0,3(0 - 0,2)	-	0,11±0,38(0 - 2,0)	0,03±0,1(0 - 0,4)	0,34±0,67(0 - 3,2)
CoO	-	-	0,02±0,14(0 - 1,4)	-	0,01±0,06(0 - 0,8)	-	-
NiO	1,04±1,72(0 - 7,0)	0,09±0,23(0 - 1,2)	0,1±0,32(0 - 1,7)	-	0,32±0,49(0 - 1,9)	-	-
CuO	0,17±0,27(0 - 1,1)	-	0,01±0,06(0 - 0,4)	-	0,02±0,09(0 - 1,0)	-	-
Outros	0,54	0,5	2,34	-	0,8	-	0,44

9. Discussão

9.1 Paleoambiente deposicional, evolução metamórfica e a preservação intracristalina de fases primárias

A arquitetura do depósito manganífero investigado, preliminarmente à sua exposição aos processos de lateritização, reflete uma complexa história de deposição sedimentar e metamorfismo regional. Os dados petrográficos e os de DRX das amostras do domínio silicatado (notadamente as amostras CoManga 26, 14 e 25) evidenciam um protominério cuja trama é predominantemente sustentada por spessartina e quartzo, que são minerais metamórficos. Esses apontam para a preservação do bandamento composicional reliquiar (do material sedimentar), que foi transformado e preservado durante o metamorfismo para a formação de queluzitos e gonditos (Figura 19).

Contudo, a principal chave para a compreensão do ambiente paleoambiental reside nas inclusões preservadas no interior dos silicatos e óxidos precursores metamórficos (granada, pirofanita e quartzo). As análises por MEV-BSE/EDS revelaram que cristais de spessartina e pirofanita atuaram como “cápsulas”, isolando e protegendo as fases minerais altamente sensíveis à oxidação, tais como sulfetos de metal base (pirrotita, calcopirita, pentlandita e esfalerita) e a scheelita (Figura 22, Figura 23 e Figura 24).

A presença destes minerais primários refratários, associada à ocorrência de lamelas de grafita atestadas pela microespectroscopia Raman (bandas em ~ 1582 e ~ 1350 cm^{-1} ; Tabela 5, Figura 34 e 35), constitui um marcador paleoambiental. Sob condições de sedimentação marinha normal, o tungstênio estabiliza-se como íons tungstato conservativo. Contudo, em bacias estratificadas de caráter anóxicas e sulfídicas (euxínicas), a alta atividade de H_2S atua como um gatilho geoquímico, convertendo o tungstato em tiotungstato altamente reativo, o qual precipita juntamente com a matéria orgânica e os sulfetos (Cabral *et al.*, 2019). Dessa forma, a preservação microtextural dessa assembleia primária (sulfetos, scheelita e grafita) no interior das fases refratárias atesta que os protólitos das ocorrências manganíferas estudadas se depositaram originalmente em um paleoambiente marinho confinado, severamente redutor e euxínico.

O modelo genético aqui delineado corrobora as observações de Cabral *et al.* (2019), que descrevem a formação de protominérios manganíferos análogos sob condições euxínicas na Formação Lafaiete, no depósito de Morro da Mina. A julgar pelo trend de distribuição espacial e estrutural, é provável que a mesma interpretação genética se aplique ao protólito das amostras do trabalho aqui proposto. Dessa forma, as evidências sugerem que a rocha primária do depósito também se formou em um ambiente marinho confinado, restrito e severamente redutor. Essa

assembleia mineral precursora, rica em metais de transição (Zn, Ni, Co, W, Cu) encapsulados nos sulfetos, permaneceria metaestável até ser exposta ao agressivo contraste imposto pelo ambiente intempérico supergênico oxidante.

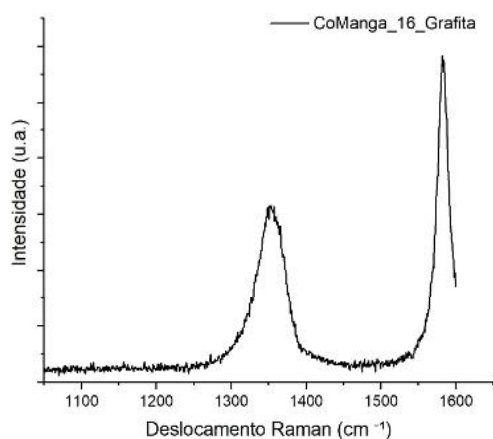


Figura 34 — Espectro Raman de alta resolução da grafita na amostra 16.

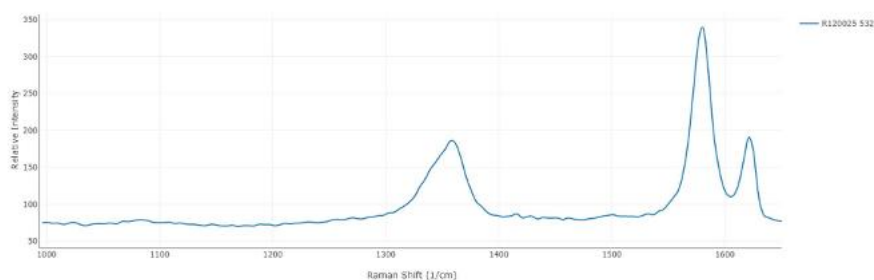


Figura 35 — Espectro Raman da grafita obtido no RRUFF (R120025, 2026).

9.2 O colapso laterítico e a dinâmica de mobilização de elementos

A exposição do arcabouço silicatado primário, forjado em um ambiente anóxico e confinado, à ação de fluidos meteóricos altamente oxidantes marca o início do ciclo de intemperismo supergênico que reconfigurou as ocorrências manganesíferas estudadas. Parrotti (2023) detalha que a transição desse ambiente redutor para o domínio laterítico tropical, característico da área de estudo, é o motor termodinâmico que desestabiliza a mineralogia original, promovendo a dissolução de fases primárias e a precipitação de óxidos e hidróxidos secundários.

A petrografia de detalhe via MEV-BSE (especialmente amostras CoManga 25 e 14) capturou o exato momento desse colapso estrutural. Como evidenciado nas Figuras 21, 22 e 23 a spessartina, mineral precursor dominante, sofre um processo agressivo de dissolução incongruente de forma centrípeta. Parrotti (2023) relata que, sob condições oxidantes, o manganês bivalente (Mn^{2+}) liberado da estrutura da granada é rapidamente oxidado a Mn^{3+} e Mn^{4+} . Conforme observado na Figura 23, à medida que a spessartina é dissolvida, ocorre a precipitação de óxidos secundários nas descontinuidades e fraturas. Simultaneamente, o alumínio e o silício derivados da destruição do silicato reprecipitam localmente, formando os halos de caulinita microcristalina que contornam os grãos de granada reliquias (Figura 28). Essa argilização primária atua como o estágio intermediário da alteração, e sua presença atesta a lixiviação parcial do sistema e a retenção temporária do Al^{3+} na trama rochosa.

A prova inquestionável de que esse processo de lateritização ocorreu de maneira *in situ*, sem transporte sedimentar significativo, reside na cinética diferencial de dissolução dos minerais primários. Enquanto a granada é severamente lixiviada, os cristais de quartzo primário evidenciam altíssima resistência química ao intemperismo. Isso é demonstrado na Figura 24, que documenta cristais íntegros de quartzo no interior da spessartina, que é corroborado pela evidência de quartzo relictual na matriz (Figura 28). Este englobamento atesta a substituição pseudomórfica do protominério, um comportamento clássico na evolução de matrizes manganíferas supergênicas (Nahon, 1984; Parc *et al.*, 1989).

A microdinâmica observada no MEV é perfeitamente espelhada no particionamento geoquímico macroscópico atestado pela FRX. A evolução do perfil pode ser rastreada pela severa remoção de elementos móveis e sílica, acompanhada do enriquecimento residual em metais menos solúveis (Fe, Mn, Al). Os dados da Tabela 2 evidenciam que o domínio silicatado incipiente (representado pelas amostras CoManga 26, 25 e 2PM) ainda preserva teores elevados de SiO_2 (19,01% a 48,64%) e baixa perda por calcinação (PPC entre 1,82% e 10,88%), refletindo a presença da spessartina e do quartzo. Em drástico contraste, os domínios de matriz madura (amostras CoManga 16 e 22) marcam o estágio mais avançado da lixiviação laterítica: a rocha sofre uma depleção extrema de sílica ($SiO_2 < 5\%$) e um massivo grau de hidratação e oxidação, evidenciado pelo aumento da PPC para aproximadamente 17% e pela concentração de MnO (até 47,63%) e Fe_2O_3 (até 21,40%).

Dessa forma, a corrosão do arcabouço silicatado e a consequente lixiviação da sílica não apenas geraram o espaço físico para a precipitação epigenética, mas também prepararam o terreno químico para a formação da assembleia oxidada madura, cujo intercrescimento e capacidade de retenção de metais definem a assinatura final do minério.

9.3 Intercrescimentos submicroscópicos e a matriz de oxi-hidróxidos.

O estágio mais avançado da evolução supergênica do depósito é marcado pelo desenvolvimento de extensas matrizes intersticiais de natureza criptocristalina (notadamente observadas nas amostras CoManga 2PM, 14 e 16). No ambiente intempérico laterítico, fluidos aquosos meteóricos enriquecidos em metais de transição dissolvidos (notadamente Mn, Fe e Al liberados pela quebra dos silicatos primários) frequentemente atingem o estado de supersaturação. Essa saturação extrema inibe o crescimento de cristais individuais bem desenvolvidos, induzindo a coprecipitação rápida na forma de precursores amorfos a de baixa cristalinidade (Post, 1999; Bernardini *et al.*, 2021).

Nos domínios da matriz oxi-hidroxilada, a caracterização microquímica *in situ* por MEV (Figuras 28 e 31) revela assinaturas compostas com proporções mistas de Al, Fe e Mn. Esse comportamento reflete o íntimo intercrescimento das fases secundárias (litioforita, criptomelana e goethita) em escala submicroscópica. A presença e a integridade da litioforita em meio a essa matriz de óxidos foram confirmadas pela microespectroscopia Raman (Figura 29; Tabela 5) que isolou as frequências diagnósticas da litioforita (~ 624 , ~ 573 , ~ 480 e ~ 396 cm^{-1}). Macroscopicamente, a extrema agregação física dessas fases e a elevada porosidade da rocha lixiviada afetam diretamente a densidade aparente das partículas. Esse fator textural justifica a distribuição de massa incompleta e o particionamento anômalo observados nos ensaios de fracionamento físico, nos quais fases mineralogicamente densas reportaram para os produtos flutuados (leves).

9.4 Neoformação da litioforita e o mecanismo de fixação iônica.

O clímax da evolução supergênica no depósito estudado é definido pela estabilização termodinâmica da litioforita e da criptomelana no interior da protomatriz e das fraturas da rocha alterada. Conforme documentado pelo trabalho de Parc *et al.* (1989) a precipitação destas fases não ocorre de maneira aleatória, mas é estritamente controlada pela disponibilidade iônica resultante da destruição das assembleias minerais precursoras (Nahon, 1984).

Parc *et al.* (1989) descreveram que o fator limitante para a cristalização da litioforita em ambientes lateríticos é a atividade do íon Al^{3+} em solução. Neste cenário, os dados microtexturais revelam que os halos de caulinita, formados inicialmente pela alteração da spessartina (conforme documentado na Seção 5.2), atuam como grande reservatório temporário de alumínio do sistema (Nahon, 1984). Nahon (1984) documenta que, com o avanço do intemperismo e a contínua percolação por fluidos meteóricos, a própria caulinita sofre dissolução incongruente. Esse processo libera a carga de Al^{3+} necessária para que os fluidos

precipitantes migrem do campo de estabilidade de óxidos puros de manganês para o campo de estabilidade da litioforita, promovendo o seu intercrescimento com a criptomelana e a goethita.

Perseil (1978) aponta que a grande remoção da sílica e a completa lixiviação da granada geram a porosidade secundária fundamental, que servem como via de percolação e canais de dissolução ideal para a precipitação epigenética. Observa-se que a litioforita e a criptomelana precipitaram tardiamente a partir de soluções maduras, preenchendo os espaços vazios e desenvolvendo os hábitos placoides a pseudo-tabulares (CoManga 16; Figura 30), e como observado (CoManga 22; Figura 26) mimetiza os hábitos da spessartina.

Do ponto de vista geoquímico, a precipitação desta matriz de oxi-hidróxidos atua como a armadilha final para os metais base liberados pelo intemperismo dos sulfetos primários. As expressivas anomalias químicas atestadas pelas análises globais de ICP-MS atingindo até 2948 ppm de Ni, 1046 ppm de Cu, 346 ppm de Co (CoManga 22; Tabela 2), correlacionam-se perfeitamente com os espectros pontuais mistos do MEV-EDS. Esses valores evidenciam excepcional potencial de “*scavenging*” (fixação iônica) da litioforita e da criptomelana no ambiente supergênico (Cui et al., 2009; Putzolu, 2021).

Ostwald (1984), Rao (2010), Albuquerque *et al.* (2017) e Post (2021) descrevem que a incorporação desses elementos traço decorre de substituições isomórficas, uma vez que os raios iônicos do Co, Ni e Cu permitem a ocupação das vacâncias nas camadas octaédricas de alumínio ou a substituição direta do manganês nas lamelas cristalinas da litioforita.

Desta forma, a assembleia supergênica final não representa o resíduo passivo do intemperismo, mas sim o produto de um eficiente mecanismo de enriquecimento residual e fixação iônica (*scavenging*). A litioforita, estabilizada pelo alumínio advindo da lixiviação da caulinita, atua como a principal fase carreadora do sistema. Ela captura e fixa estruturalmente o níquel, o cobre e o cobalto, transferindo os metais que antes se encontravam confinados na assembleia primária anóxica para uma nova matriz oxi-hidroxilada, termodinamicamente estável nas condições oxidantes da superfície terrestre.

10 Conclusões

A integração das técnicas de difratometria de raios X (DRX), fluorescência de raios X (FRX), espectrometria de massa (ICP-MS), microscopia óptica, microespectroscopia Raman e microscopia eletrônica de varredura (MEV-EDS) permitiu a caracterização definitiva da litioforita e da sua assembleia associada, resultando nas seguintes conclusões fundamentais:

a) Roteiro analítico e limites instrumentais: A caracterização inequívoca de óxidos de manganês supergênicos exige uma rotina sequencial. O intercrescimento criptocristalino em escala nanométrica gera assinaturas químicas compostas no EDS (Al-Fe-Mn) que superam a

resolução do feixe de elétrons. A espectroscopia Raman é imprescindível para o desmascaramento molecular dessas matrizes, definindo a assinatura real da litioforita estudada nas bandas de espelhamento diagnósticas e constantes em ~ 624 , ~ 573 , ~ 480 e $\sim 396 \text{ cm}^{-1}$.

b) Instabilidade térmica: Constatou-se uma severa instabilidade térmica da litioforita sob o feixe de excitação do laser Raman. A obtenção de espectros com alta relação sinal-ruído e a prevenção da degradação da fase mineral exigem um controle instrumental rigoroso com aplicação de baixíssimas potências (ajuste fino).

c) A preservação intracristalina de fases primárias e o paleoambiente: A preservação de lamelas de grafita e o encapsulamento de sulfetos de metais base (pirrotita, pentlandita e calcopirita) e de scheelita no interior de cristais refratários de spessartina e pirofanita, atuaram como escudos químicos, fornecendo fortes indícios de que a assembleia precursora foi gerada em um ambiente marinho anóxico e euxínico, sob condições estritamente redutoras prévias ao evento intempérico.

d) Evolução laterítica e controle do alumínio: A gênese da litioforita no depósito ocorre por processos epigenéticos autóctones (in situ). A oxidação do sistema destrói a spessartina e gera porosidade secundária e halos temporários de caulinita. A lixiviação subsequente dessa argila fornece o alumínio (Al^{3+}) estritamente necessário para estabilizar a precipitação tardia da litioforita em detrimento de outros óxidos puros de manganês, evidenciando o altíssimo grau de maturidade laterítica da rocha.

e) Mecanismo de *scavenging* (fixação iônica): A assembleia de oxi-hidróxidos atua como um poderoso sumidouro geoquímico. As extensas matrizes neoformadas de litioforita e criptomelana adsorveram e incorporaram terminantemente os metais de transição (atingindo até 2948 ppm de Ni, 1046 ppm de Cu e 346 ppm de Co) liberados pela destruição dos sulfetos primários.

f) Implicação geometalúrgica: A evolução supergênica atua como fator determinante para a viabilidade econômica das ocorrências. O processo intempérico reconfigura as propriedades físicas e químicas do depósito, promovendo melhorias industriais em três frentes: a lixiviação severa dos silicatos primários (spessartina e quartzo) gera o enriquecimento residual (upgrading natural) do teor de manganês; o colapso estrutural da rocha gera um minério mais friável, o que reduz drasticamente os custos energéticos de cominuição; e, por fim, a excepcional capacidade da matriz oxi-hidroxilada neoformada de atuar como sumidouro (scavenging) agrega valor ao minério, transformando a ocorrência em uma potencial fonte de metais de transição (Ni, Cu, Co).

g) Do ponto de vista metodológico, recomenda-se para ensaios futuros que o fracionamento físico de minérios lateríticos porosos utilize líquidos com cortes densimétricos

rebaixados (bromofórmio, $D = 2,89 \text{ g/cm}^3$), a fim de contornar a agregação física e garantir a partição integral da litioforita.

11 Referências bibliográficas

- Afonso, J. C. 2019. Manganês no Brasil: descoberta, extração, consumo e comercialização numa perspectiva histórica. *Química Nova*. 42, 1172-1183. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170435>.
- Albuquerque, M.F. dos S., Horbe, A.M.C., Botelho, N.F., 2017. Genesis of manganese deposits in southwestern Amazonia: mineralogy, geochemistry and paleoenvironment. *Ore Geology Reviews*. 89, 270–289. <http://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.06.012>.
- Ávila, C.A., Teixeira, W., Cordani, U.G., Moura, C.A.V., Pereira, R.M., 2010. Rhyacian (2.23-2.20 Ga) juvenile accretion in the southern São Francisco craton, Brazil: Geochemical and isotopic evidence from the Serrinha magmatic suite, Mineiro belt. *Journal of South American Earth Sciences*. 29, 464–482. <http://doi.org/10.1016/j.jsames.2009.07.009>
- Ávila, C.A., Teixeira, W., Bongioiolo, E.M., Dussin, I.A., Vieira, T.A.T., 2014. Rhyacian evolution of subvolcanic and metasedimentary rocks of the southern segment of the Mineiro belt, São Francisco Craton, Brazil. *Precambrian Research*. 243, 221–251. <http://doi.org/10.1016/j.precamres.2013.12.028>
- Ávila, C.A., Bongioiolo, E.M., Vasques, F.S.G., Souza, A.N., Seoane, J.C.S., Ritins, J.I., Vilela, F., Pinheiro, M.A., Vasconcelos, F.F., Cardoso, C.D., Silveira, V.S.L., Silva, P.R.S., Simon, M.B., Faulstich, F.R.L., Pires, G.L.C., Stohler, R.C., Oliveira, Filipe V.C.S.R.S., Tedeschi, M., 2019. Mapa geológico da integração das Folhas Nazareno (SF-23-X-C-I-2), São João del Rei (SF-23-X-C-II-1), Itutinga (SF-23-X-C-I-4) e Madre de Deus de Minas (SF-23-X-C-II-3). Projeto ARIM - Reavaliação das Sequências Metavulcanossedimentares a Sudoeste do Quadrilátero Ferrífero. Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Escala: 1:100.000. <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/20413>.
- Bernardini, S., Bellatreccia, F., Della Ventura, G., Sodo, A. 2021. A reliable method for determining the oxidation state of manganese at the microscale in Mn oxides via Raman spectroscopy. *Geostandards and Geoanalytical Research*. 45, 223–244. <https://doi.org/10.1111/ggr.12361>.
- Burlet, C., Vanbrabant, Y., 2015. Study of the spectro-chemical signatures of cobalt-manganese layered oxides (asbolane-lithiophorite and their intermediates) by Raman spectroscopy. *Journal of Raman Spectroscopy*. 46, 941–952. <https://doi.org/10.1002/jrs.4755>.
- Cabral, A.R., Zeh, A., Viana, N.C.da S., de Castro, M.P., Laufek, F., Lehmann, B., Queiroga, G., 2019. Alabandite (MnS) in metamorphosed manganiferous rocks at Morro da Mina, Brazil: palaeoenvironmental significance. *European Journal of Mineralogy*. 31, 973–982. <https://doi.org/10.1127/ejm/2019/0031-2879>.
- Chukhrov, F.V., Gorshkov, A.I., Sivtsov, A.V., Berezovskaya, V.V., 1985. The nature and genesis of lithiophorite. *International Geology Review*, 27, 348–361. <https://doi.org/10.1080/00206818509466422>.

Cui, H., You, L., Feng, X., Tan, W., Qiu, G., Liu, F., 2009. Factors governing the formation of lithiophorite at atmospheric pressure. *Clays and Clay Minerals*, 57, 353–360. <https://doi.org/10.1346/CCMN.2009.0570307>.

Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1982. *An introduction to the rock-forming minerals*. London: Longman.

Domingues, G.C.de O., Albuquerque, M.F.dos S., Horbe, A.M.C., 2025. Small-scale manganese deposits in the Midwest of Brazil: geochemistry, Nd, Sr, and Pb isotopes, and a potential source of high-technology elements. *International Geology Review*. 2036-2057

Dorr II, J.V.N., 1969. Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Washington: U.S. Geological Survey, pp. 110 <https://doi.org/10.3133/pp641A>.

Faria, G.L., 2011. Estudo geometalúrgico de granulados e pelota de minério de manganês. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. pp. 302 <http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/1016806>.

Gaines, R.V., Skinner, H.C.W., Foord, E.E., Mason, B., Rosenzweig, A., 1997. *Dana's new mineralogy: the system of mineralogy of James Dwight Dana and Edward Salisbury Dana*, 8th ed. John Wiley & Sons, New York. <https://dokumen.pub/danas-new-mineralogy-the-system-of-mineralogy-of-james-dwight-dana-eighthnbsped-0471193100.html>.

Hewett, D.F., Fleischer, M., 1960. Deposits of the manganese oxides. *Economic Geology*. 55, 1–55. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.55.1.1>.

Hewett, D.F., 1964. Veins of hypogene manganese oxide minerals in the southwestern United States. *Economic Geology*. 59, 1429–1472. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.59.8.1429>.

International Energy Agency, 2025. *Global critical minerals outlook 2025*. <https://www.iea.org>. (Acesso em 13 maio 2026).

Kuleshov, V.N., 2011. Manganese deposits: communication 1: genetic models of manganese ore formation. *Lithology and Mineral Resources*. 46, 473–493. <http://doi.org/10.1134/S0024490211050038>.

Nahon, D., Beauvais, A., Nziengui-Mapangou, P., Ducloux, J., 1984. Chemical weathering of Mn-garnets under lateritic conditions in northwest Ivory Coast (West Africa). *Chemical Geology*. 45, 53–71. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(84\)90115-3](https://doi.org/10.1016/0009-2541(84)90115-3).

Nahon, D., Herbillon, A., 1989. The epigenetic replacement of kaolinite by lithiophorite in a manganese-lateritic profile, Brazil. *Geoderma*. 44, 247–259. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(89\)90034-7](https://doi.org/10.1016/0016-7061(89)90034-7).

Ostwald, J., 1984. Two varieties of lithiophorite in some Australian deposits. *Mineralogical Magazine*. 48, 383–388. <https://doi.org/10.1180/minmag.1984.048.348.08>.

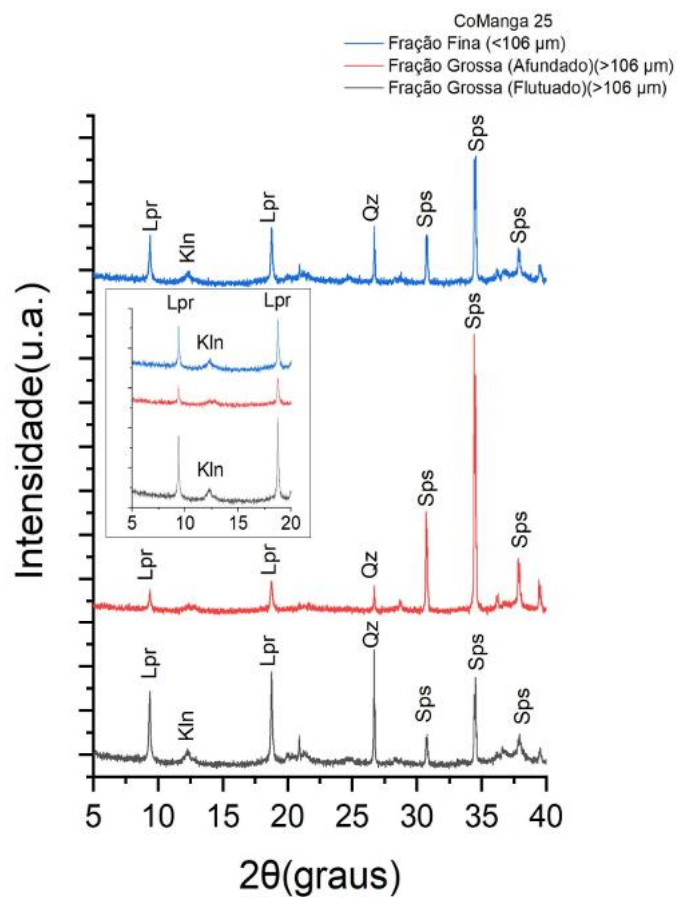
Parc, S., Nahon, D., Tardy, Y., Vieillard, P., 1989. Estimated solubility products and fields of stability for cryptomelane, nsutite, birnessite, and lithiophorite based on natural lateritic

- weathering sequences. *American Mineralogist*. 74, 466–475.
http://www.minsocam.org/ammin/AM74/AM74_466.pdf. (Acesso em 13 maio 2026).
- Parrotti, D.D., da Conceição, F.T., Navarro, G.R.B., 2023. The mineralogy, geochemistry and origin of the supergene manganese occurrences in the southern Minas Gerais, Brazil. *Minerals*. 13, 1216. <https://doi.org/10.3390/min13091216>.
- Perseil, E.A., Grandin, G., 1978. Evolution minéralogique du manganèse dans trois gisements d'Afrique de l'Ouest: Mokta, Tambao, Nsuta. *Mineralium Deposita*. 13, 295–311.
<https://doi.org/10.1007/BF00206565>.
- Pauling, L., Kamb, B., 1982. The crystal structure of lithiophorite. *American Mineralogist*. 67, 817–821. http://www.minsocam.org/ammin/am67/am67_817.pdf. (Acesso em 13 maio 2026).
- Post, J.E., Appleman, D.E., 1994. Crystal structure refinement of lithiophorite. *American Mineralogist*. 79, 370–374. <https://pubs.geoscienceworld.org/msa/ammin/article-abstract/79/3-4/370/42891/Crystal-structure-refinement-of-lithiophorite>. (Acesso em 13 maio 2026).
- Post, J.E., 1999. Manganese oxide minerals: crystal structures and economic and environmental significance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 96, 3447–3454. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.7.3447>.
- Post, J.E., McKeown, D.A., Heaney, P.J., 2021. Raman spectroscopy study of manganese oxides: layer structures. *American Mineralogist*. 106, 351–366. <http://doi.org/10.2138/am-2021-7666>.
- Putzolu, F., Santoro, L., Porto, C., Mondillo, N., Machado, M., de Almeida, S., Bastos, A., Herrington, R., 2021. The influence of the magmatic to postmagmatic evolution of the parent rock on the Co deportment in lateritic systems: the example of the Santa Fé Ni-Co deposit (Brazil). *Economic Geology*. 116, 837–861. <https://doi.org/10.5382/econgeo.4819>.
- Rao, D.S., Nayak, B.K., Acharya, B.C., 2010. Cobalt-rich lithiophorite from the Precambrian Eastern Ghats manganese ore deposit of Nishikhal, South Orissa, India. *Mineralogia*. 41, 11–21. <https://doi.org/10.2478/v10002-010-0002-3>.
- Roy, S., 1968. Mineralogy of the different genetic types of manganese deposits. *Economic Geology*. 63, 760–786. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.63.7.760>.
- Roy, S., 1992. Environments and processes of manganese deposition. *Economic Geology*. 87, 1218–1236. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.87.5.1218>.
- Viana, N.C.S., 2009. Mineralogia, calcinação e nova classificação tipológica de minérios de manganês sílico-carbonatados. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. pp. 156 <http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/556217>.
- Wadsley, A.D., 1952. The structure of lithiophorite, (Al, Li)MnO₂(OH)₂. *Acta Crystallographica*. 5, 676–680. <https://doi.org/10.1107/S0365110X52001842>.

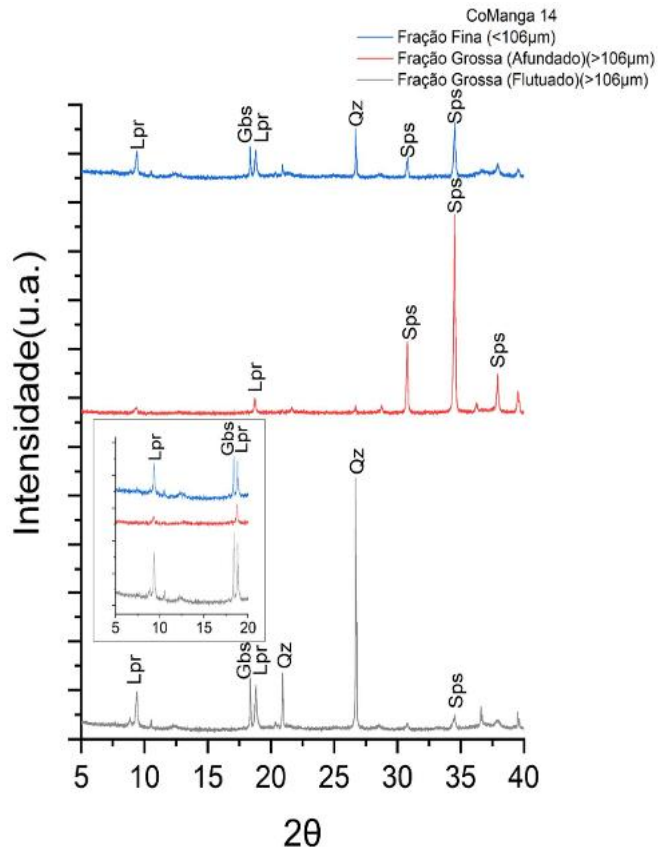
Warr, L.N., 2021. IMA–CNMNC approved mineral symbols. *Mineralogical Magazine* 85(3), 291–320. doi.org/10.1180/mgm.2021.43.

RRUFF, 2026. Database of Raman spectra, X-ray diffraction, and chemical data for minerals. <http://rruff.info> (Acesso em 13 maio 2026).

Apêndice A — Difratogramas de raios x complementares



Apêndice A1 — Difractogramas de raios X comparativos das frações granulométricas e densimétricas da amostra CoManga 25. As siglas posicionadas sobre os difratogramas indicam os reflexos diagnósticos das respectivas fases minerais: Sps = Spessartina, Qz = Quartzo, Lpr = Litioforita e Kln = Caulinita. A separação reflete a fração fina (< 106 µm), a fração grossa afundada (> 106 µm; $d > 3,32 \text{ g/cm}^3$) e a fração grossa flutuada (> 106 µm; $d < 3,32 \text{ g/cm}^3$).



Apêndice A2 — Difratogramas de raios X comparativos das frações granulométricas e densimétricas da amostra CoManga 14. As siglas posicionadas sobre os difratogramas indicam os reflexos diagnósticos das respectivas fases minerais: Lpr = litioforita, Gbs = gibbsita, Qz = quartzo e Sps = spessartina. A separação reflete a fração fina (< 106 µm), a fração grossa afundada (> 106 µm; $d > 3,32 \text{ g/cm}^3$) e a fração grossa flutuada (> 106 µm; $d < 3,32 \text{ g/cm}^3$).

Apêndice B — Compilação dos resultados de microanálises por EDS das fases minerais e acessórios

Tabela 8 — Resultados de microanálises por EDS (% em peso) da litioforita. Resultados normalizados a 100% em base anidra.

ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	NiO	CuO	ZnO	BaO	Soma
Ponto_1	CoManga_2PM	Litioforita	0,0	0,0	24,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	68,1	0,0	4,9	0,0	2,1	0,0	100,0
Ponto_2	CoManga_2PM	Litioforita	0,0	0,0	29,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	67,0	0,0	1,9	0,0	1,7	0,0	100,0
Ponto_3	CoManga_2PM	Litioforita	0,0	0,0	30,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	64,9	0,0	2,4	0,0	2,2	0,0	100,0
Ponto_4	CoManga_2PM	Litioforita	0,0	0,0	31,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,2	0,0	3,4	0,0	2,3	0,0	100,0
Ponto_5	CoManga_2PM	Litioforita	0,0	0,0	25,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	68,8	0,0	3,3	0,0	2,0	0,0	100,0
Ponto_6	CoManga_2PM	Litioforita	0,4	0,0	21,7	1,2	0,1	0,1	0,0	0,0	67,5	3,9	3,3	0,0	1,8	0,0	100,0
Ponto_7	CoManga_14	Litioforita	0,0	0,0	26,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	68,4	0,8	2,9	0,0	1,1	0,2	100,0
Ponto_8	CoManga_14	Litioforita	0,0	0,0	22,3	5,8	0,0	0,1	0,0	0,1	67,9	1,6	2,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_9	CoManga_14	Litioforita	0,0	0,0	24,4	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	66,8	1,2	5,8	0,0	0,4	0,0	100,0
Ponto_10	CoManga_14	Litioforita	0,0	0,0	20,6	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	71,7	1,1	5,1	0,0	0,8	0,0	100,0
Ponto_11	CoManga_14	Litioforita	0,9	0,0	20,8	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	74,6	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_12	CoManga_14	Litioforita	0,7	0,0	20,7	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	75,4	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_13	CoManga_14	Litioforita	0,0	0,0	21,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,9	1,0	3,7	0,0	0,7	0,0	100,0
Ponto_14	CoManga_14	Litioforita	0,0	0,0	23,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	68,5	0,7	7,0	0,0	0,9	0,0	100,0
Ponto_15	CoManga_14	Litioforita	0,0	0,0	23,6	3,7	0,0	0,0	0,2	0,0	64,6	2,0	5,2	0,0	0,7	0,0	100,0
Ponto_16	Comanga_16	Litioforita	0,0	0,0	25,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	73,4	0,0	0,0	0,0	0,7	0,3	100,0
Ponto_17	Comanga_16	Litioforita	0,0	0,0	23,1	0,5	0,0	0,3	0,0	0,0	72,3	2,9	0,0	0,0	0,6	0,5	100,0
Ponto_18	Comanga_16	Litioforita	0,0	0,0	25,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	74,2	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	100,0
Ponto_19	Comanga_16	Litioforita	0,3	0,0	22,4	0,7	0,0	0,3	0,0	0,0	71,2	4,5	0,0	0,0	0,0	0,5	100,0
Ponto_20	Comanga_16	Litioforita	0,0	0,0	23,7	0,3	0,0	0,5	0,0	0,0	74,3	0,0	0,0	0,0	0,7	0,5	100,0
Ponto_21	Comanga_16	Litioforita	0,0	0,0	24,2	0,2	0,0	0,5	0,0	0,0	74,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,4	100,0
Ponto_22	Comanga_16	Litioforita	0,0	0,0	22,1	0,3	0,0	0,9	0,0	0,0	76,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	100,0

Ponto_23	Comanga_16	Litioforita	0,0	0,0	23,8	0,2	0,0	0,5	0,0	0,0	74,3	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6	100,0
Ponto_24	Comanga_16	Litioforita	0,0	0,0	21,5	0,3	0,0	0,8	0,0	0,0	76,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,0	100,0
Ponto_25	Comanga_16	Litioforita	0,0	0,0	25,3	0,2	0,0	0,5	0,0	0,0	73,4	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	100,0
ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	NiO	CuO	ZnO	BaO	Soma
Ponto_26	Comanga_16	Litioforita	0,0	0,0	19,3	0,5	0,1	1,2	0,0	0,0	76,8	0,0	0,0	0,0	0,5	1,5	100,0
Ponto_27	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	28,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	70,1	0,6	0,1	0,5	0,1	0,0	100,0
Ponto_28	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	27,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	100,0
Ponto_29	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	27,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,5	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	100,0
Ponto_30	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	27,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	71,4	0,7	0,1	0,3	0,1	0,0	100,0
Ponto_31	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	26,9	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	71,2	1,0	0,1	0,3	0,1	0,1	100,0
Ponto_32	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	27,6	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	70,1	0,9	0,5	0,5	0,2	0,0	100,0
Ponto_33	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	27,9	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	70,6	0,8	0,2	0,2	0,1	0,0	100,0
Ponto_34	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	26,2	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	72,0	0,7	0,1	0,3	0,2	0,1	100,0
Ponto_35	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	24,1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	74,8	0,0	0,3	0,2	0,0	0,0	100,0
Ponto_36	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	26,4	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	72,2	0,9	0,0	0,2	0,0	0,0	100,0
Ponto_37	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	22,8	0,1	0,0	0,8	0,0	0,0	74,9	1,0	0,0	0,3	0,0	0,2	100,0
Ponto_38	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	19,6	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	77,3	1,5	0,2	0,2	0,0	0,1	100,0
Ponto_39	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	22,3	0,1	0,0	1,0	0,0	0,0	76,2	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	100,0
Ponto_40	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	25,6	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	73,1	0,7	0,2	0,2	0,0	0,0	100,0
Ponto_41	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	26,6	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	72,5	0,0	0,2	0,3	0,0	0,0	100,0
Ponto_42	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	28,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	71,5	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	100,0
Ponto_43	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	28,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	71,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	100,0
Ponto_44	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	25,7	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	74,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

Ponto_45	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	20,8	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	77,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	100,0
Ponto_46	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	26,3	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	73,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_47	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	20,2	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	78,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	100,0
Ponto_48	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	28,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	71,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_49	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	24,2	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	75,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	100,0
Ponto_50	CoManga_22	Litioforita	0,0	0,0	25,5	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	73,3	0,5	0,0	0,3	0,0	0,0	100,0
Ponto_51	CoManga_25	Litioforita	0,5	0,0	23,4	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	70,1	2,6	2,2	1,1	0,0	0,0	100,0
Ponto_52	CoManga_25	Litioforita	0,0	0,0	21,3	2,8	0,2	0,4	0,1	0,0	72,0	2,0	0,2	0,3	0,2	0,6	100,0
Ponto_53	CoManga_25	Litioforita	0,6	0,2	26,1	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	64,7	4,6	2,0	0,7	0,0	0,0	100,0
ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	NiO	CuO	ZnO	BaO	Soma
Ponto_54	CoManga_25	Litioforita	0,4	0,0	27,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	70,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_55	CoManga_25	Litioforita	0,5	0,4	27,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,3	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_56	CoManga_26	Litioforita	0,5	0,6	24,6	3,8	0,4	0,0	0,3	0,0	67,0	0,0	0,9	0,0	0,0	1,9	100,0
Ponto_57	CoManga_26	Litioforita	0,1	0,0	17,4	0,1	0,0	1,2	0,0	0,0	77,5	0,0	1,0	1,1	0,4	1,3	100,0
Ponto_58	CoManga_26	Litioforita	0,0	0,3	28,0	5,9	0,1	0,0	0,0	0,0	64,0	0,0	0,6	0,6	0,5	0,0	100,0
Ponto_59	CoManga_26	Litioforita	0,5	0,5	28,8	2,2	0,4	0,0	0,3	0,0	65,2	0,0	1,1	0,7	0,0	0,4	100,0
Ponto_60	CoManga_26	Litioforita	0,4	0,2	28,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	71,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_61	CoManga_26	Litioforita	0,0	0,2	28,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,9	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	100,0
Ponto_62	CoManga_26	Litioforita	0,0	0,0	28,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	71,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_63	CoManga_26	Litioforita	0,0	0,0	28,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	71,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_64	CoManga_26	Litioforita	0,3	0,0	29,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	67,6	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	100,0

ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₅	BaO	Soma
Ponto_1	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	98,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_2	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	97,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_3	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	2,0	0,4	0,0	2,0	0,5	0,0	89,5	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_4	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	1,9	0,5	0,0	2,9	0,0	0,0	88,6	6,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_5	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	97,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_6	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	94,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_7	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	1,1	0,4	0,0	98,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_8	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,7	0,3	0,0	2,9	0,3	0,0	94,5	1,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	100,0
Ponto_9	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	1,1	0,3	0,0	2,0	0,4	0,0	93,5	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	100,0
Ponto_10	CoManga_2PM	Criptomelana	0,1	0,0	0,6	0,2	0,0	2,2	0,3	0,0	94,1	1,7	0,0	0,2	0,0	0,2	0,4	0,0	100,0
Ponto_11	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	2,5	0,3	0,0	95,7	0,7	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	100,0
Ponto_12	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,5	0,3	0,0	2,8	0,2	0,0	95,0	0,8	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	100,0
Ponto_13	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,3	0,2	0,0	1,6	0,3	0,0	96,1	1,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	100,0
Ponto_14	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,4	0,2	0,1	1,4	0,2	0,0	96,3	0,8	0,0	0,2	0,0	0,4	0,0	0,0	100,0
Ponto_15	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,6	0,2	0,1	2,0	0,2	0,0	93,6	2,9	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	100,0
Ponto_16	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	2,1	0,6	0,0	95,6	1,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	100,0
Ponto_17	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	1,7	0,5	0,0	94,9	1,3	0,0	0,0	0,0	0,3	0,8	0,0	100,0
Ponto_18	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	1,9	0,5	0,0	95,6	1,1	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0	100,0
Ponto_19	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	1,8	0,5	0,0	95,6	1,1	0,0	0,3	0,0	0,4	0,0	0,0	100,0
Ponto_20	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	1,7	0,6	0,0	96,4	0,0	0,1	0,2	0,0	0,4	0,0	0,0	100,0
Ponto_21	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,4	0,2	0,0	0,9	0,6	0,0	95,3	1,5	0,0	0,3	0,0	0,3	0,5	0,0	100,0
Ponto_22	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	1,0	0,4	0,2	2,1	0,7	0,0	90,5	0,0	0,0	1,7	0,0	3,1	0,4	0,0	100,0

Ponto_23	CoManga_2PM	Criptomelana	0,1	0,0	0,4	0,2	0,2	4,7	0,0	0,0	92,4	1,0	0,0	0,3	0,0	0,8	0,0	0,0	100,0
Ponto_24	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,9	0,2	0,3	4,0	0,0	0,0	90,1	3,8	0,0	0,3	0,0	0,5	0,0	0,0	100,0
Ponto_25	CoManga_2PM	Criptomelana	0,4	0,0	0,4	0,2	0,3	4,8	0,2	0,0	90,9	1,5	0,0	0,4	0,0	0,6	0,3	0,0	100,0
Ponto_26	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,4	0,2	0,3	5,0	0,2	0,0	91,0	1,9	0,0	0,2	0,0	0,6	0,2	0,0	100,0
Ponto_27	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,7	0,2	0,2	0,8	0,1	0,0	96,1	1,5	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	100,0
ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	Na ₂ C	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Mn	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	BaO	Soma
Ponto_28	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,6	0,2	0,1	2,2	0,1	0,0	94,3	1,6	0,0	0,2	0,0	0,3	0,2	0,0	100,0
Ponto_29	CoManga_2PM	Criptomelana	0,3	0,0	1,0	0,3	0,4	4,2	0,3	0,0	88,5	3,5	0,0	0,4	0,0	1,1	0,0	0,0	100,0
Ponto_30	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,5	0,3	0,0	1,2	0,6	0,0	88,0	9,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_31	CoManga_2PM	Criptomelana	0,1	0,0	0,9	0,3	0,1	2,8	0,3	0,0	92,5	1,8	0,0	0,2	0,0	0,3	0,6	0,0	100,0
Ponto_32	CoManga_2PM	Criptomelana	0,1	0,1	0,7	0,2	0,0	3,1	0,3	0,0	93,5	1,3	0,0	0,2	0,0	0,2	0,3	0,0	100,0
Ponto_33	CoManga_2PM	Criptomelana	0,6	0,0	0,9	0,2	0,0	2,4	0,3	0,0	91,0	1,8	0,0	0,6	0,0	1,4	0,7	0,0	100,0
Ponto_34	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,8	0,3	0,1	3,6	0,3	0,0	92,6	1,2	0,0	0,3	0,0	0,4	0,5	0,0	100,0
Ponto_35	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,5	0,2	0,3	0,6	0,2	0,0	95,8	2,0	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	100,0
Ponto_36	CoManga_2PM	Criptomelana	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	2,3	0,5	0,0	93,8	1,4	0,0	0,4	0,0	0,4	0,3	0,0	100,0
Ponto_37	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,6	0,2	0,2	4,8	0,2	0,0	90,2	2,6	0,0	0,4	0,0	0,7	0,0	0,0	100,0
Ponto_38	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	1,5	0,3	0,0	1,2	0,4	0,0	89,8	4,8	0,0	0,3	0,0	0,4	1,4	0,0	100,0
Ponto_39	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	1,4	0,2	0,0	0,7	0,5	0,0	91,4	3,5	0,0	0,3	0,0	0,5	1,5	0,0	100,0
Ponto_40	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,1	0,4	0,2	0,0	2,1	0,7	0,0	93,3	1,6	0,0	0,7	0,0	0,4	0,5	0,0	100,0
Ponto_41	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,3	0,1	0,3	4,6	0,2	0,0	91,7	1,8	0,0	0,4	0,0	0,5	0,1	0,0	100,0
Ponto_42	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,9	0,2	0,0	1,3	0,4	0,0	94,7	1,2	0,0	0,3	0,0	0,3	0,7	0,0	100,0
Ponto_43	CoManga_2PM	Criptomelana	0,1	0,0	1,0	0,1	0,6	4,5	0,3	0,1	87,5	4,3	0,0	0,4	0,0	1,1	0,0	0,0	100,0
Ponto_44	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	2,9	0,4	0,0	94,5	0,9	0,0	0,5	0,0	0,0	0,6	0,0	100,0

Ponto_45	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,2	0,6	0,3	0,0	0,9	0,8	0,0	94,3	1,6	0,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_46	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,2	0,7	0,2	0,0	1,1	0,4	0,0	93,6	2,5	0,0	0,6	0,0	0,3	0,5	0,0	100,0
Ponto_47	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	1,5	0,5	0,0	96,1	0,7	0,0	0,2	0,0	0,4	0,2	0,0	100,0
Ponto_48	CoManga_2PM	Criptomelana	0,0	0,2	0,1	0,3	0,0	1,9	0,5	0,1	95,0	0,9	0,0	0,5	0,0	0,4	0,0	0,0	100,0
Ponto_49	CoManga_14	Criptomelana	0,5	0,2	1,6	0,4	0,2	3,3	0,3	0,0	84,8	7,8	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_50	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,2	1,4	1,0	0,3	2,9	0,4	0,0	86,8	6,2	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_51	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,2	1,2	0,7	0,2	3,3	0,4	0,0	87,8	5,3	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_52	CoManga_14	Criptomelana	0,5	0,1	2,0	0,8	0,2	2,8	0,3	0,2	84,7	7,3	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_53	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	0,6	0,2	0,0	3,4	0,3	0,3	91,6	2,6	0,0	0,9	0,0	0,0	0,2	0,0	100,0
Ponto_54	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	0,5	0,2	0,0	4,4	0,2	0,2	91,6	1,4	0,0	0,6	0,0	0,0	0,9	0,0	100,0
Ponto_55	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	2,4	1,2	0,0	3,1	0,0	0,0	89,3	2,9	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,5	100,0
ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	Na ₂ C	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Mn	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	BaO	Soma
Ponto_56	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,2	2,9	0,2	0,0	0,9	0,4	0,1	89,5	5,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_57	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	1,3	0,2	0,0	3,3	0,5	0,0	89,9	2,4	0,0	0,6	0,0	0,0	1,3	0,4	100,0
Ponto_58	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	1,4	0,8	0,0	1,0	0,5	1,2	90,2	2,7	0,0	0,8	0,0	0,0	1,5	0,0	100,0
Ponto_59	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	3,2	1,1	0,0	0,7	1,2	0,0	86,4	4,9	0,0	1,1	0,0	0,0	1,3	0,0	100,0
Ponto_60	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	2,4	0,3	0,0	0,9	0,9	0,1	88,2	5,1	0,0	0,9	0,0	0,0	1,3	0,0	100,0
Ponto_61	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	1,3	0,2	0,0	2,0	0,9	0,1	91,0	2,7	0,0	1,4	0,0	0,0	0,3	0,0	100,0
Ponto_62	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,1	0,9	0,3	0,0	2,8	0,6	0,0	90,7	3,1	0,0	0,9	0,0	0,0	0,5	0,0	100,0
Ponto_63	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	1,5	1,0	0,0	91,8	2,1	0,0	1,4	0,0	0,0	2,1	0,0	100,0
Ponto_65	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,6	0,9	0,8	88,1	4,9	0,0	1,5	0,0	0,0	1,9	0,0	100,0
Ponto_66	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	3,9	0,4	0,0	92,1	1,8	0,0	1,0	0,0	0,0	0,6	0,0	100,0
Ponto_67	CoManga_14	Criptomelana	0,4	0,0	0,9	0,0	0,0	4,1	0,2	0,0	91,5	1,0	0,0	1,5	0,0	0,4	0,0	0,0	100,0

Ponto_68	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	4,5	0,1	0,0	93,1	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_69	CoManga_14	Criptomelana	0,6	0,0	0,8	0,0	0,0	4,4	0,0	0,0	92,9	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_70	CoManga_14	Criptomelana	0,6	0,3	0,5	0,0	0,4	4,4	0,0	0,0	92,3	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_71	CoManga_14	Criptomelana	0,6	0,0	0,6	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	92,2	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,4	0,0	100,0
Ponto_72	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	0,5	0,3	0,0	1,1	0,7	0,0	95,2	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,1	0,0	100,0
Ponto_73	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,5	0,0	97,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_74	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	5,1	0,0	0,0	94,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	100,0
Ponto_75	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	1,7	0,3	0,0	0,6	0,8	0,0	90,1	4,9	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_76	CoManga_14	Criptomelana	0,3	0,0	0,5	0,0	0,0	0,9	0,6	0,0	90,9	4,2	0,0	1,5	0,0	0,0	1,1	0,0	100,0
Ponto_77	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,1	1,2	0,0	0,0	0,6	0,9	0,0	88,8	5,2	0,0	1,7	0,0	0,0	1,6	0,0	100,0
Ponto_78	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	0,8	0,3	0,0	0,5	0,6	0,5	89,6	4,7	0,0	1,9	0,0	0,0	1,1	0,0	100,0
Ponto_79	CoManga_14	Criptomelana	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	3,0	0,3	0,0	90,5	2,4	0,0	1,3	0,0	0,0	1,9	0,0	100,0
Ponto_80	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,5	0,2	0,0	2,7	0,0	0,0	96,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	100,0
Ponto_81	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,5	0,3	0,0	1,2	0,1	0,2	97,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	100,0
Ponto_82	CoManga_16	Criptomelana	0,7	0,1	0,6	0,4	0,2	4,0	0,0	0,0	93,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	100,0
Ponto_83	CoManga_16	Criptomelana	0,3	0,1	1,0	0,2	0,0	3,2	0,0	0,0	95,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	100,0
Ponto_84	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	2,4	0,3	0,2	1,7	0,0	0,0	90,3	4,6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,3	100,0

ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	Na ₂ C	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Mn	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O	BaO	Soma
Ponto_85	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,6	0,3	0,6	4,9	0,0	0,0	92,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,2	0,0	100,0
Ponto_86	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,9	0,2	0,1	3,3	0,0	0,0	95,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	100,0
Ponto_87	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,4	0,1	1,1	4,8	0,0	0,0	89,4	3,8	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	100,0
Ponto_88	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,6	0,3	0,6	4,7	0,0	0,0	92,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2	0,0	100,0
Ponto_89	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,4	0,2	0,0	1,3	0,0	0,0	96,3	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

Ponto_90	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,5	0,3	0,0	3,1	0,0	0,0	95,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	100,0
Ponto_91	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,6	0,3	0,0	3,8	0,0	0,0	94,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	100,0
Ponto_92	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,7	0,3	0,0	4,6	0,0	0,0	91,3	2,7	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	100,0
Ponto_93	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	3,1	0,4	0,1	2,2	0,0	0,0	90,2	3,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,4	100,0
Ponto_94	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,5	0,2	1,1	4,8	0,0	0,0	88,4	4,5	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	100,0
Ponto_95	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,1	0,5	0,1	0,7	0,1	0,0	97,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	100,0
Ponto_96	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,1	0,4	0,4	0,7	0,0	0,0	92,3	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	100,0
Ponto_97	CoManga_16	Criptomelana	0,6	0,0	0,5	0,2	0,3	4,6	0,0	0,0	93,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_98	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,7	0,3	1,1	5,0	0,0	0,0	85,2	7,4	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	100,0
Ponto_99	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,5	0,2	0,0	4,2	0,0	0,0	94,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	100,0
Ponto_100	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,7	0,3	0,9	4,1	0,0	0,0	86,6	6,8	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,0	100,0
Ponto_101	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,9	0,4	0,0	1,0	0,0	0,0	94,4	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_102	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,8	0,2	0,3	3,8	0,0	0,0	92,5	2,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	100,0
Ponto_103	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,9	0,2	0,3	4,0	0,0	0,0	93,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	0,0	100,0
Ponto_104	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,6	0,0	1,3	4,9	0,0	0,0	86,8	6,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	100,0
Ponto_105	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,7	0,2	0,5	3,8	0,0	0,0	94,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	100,0
Ponto_106	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,0	0,4	0,6	4,4	0,0	0,0	88,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,6	0,2	0,0	100,0
Ponto_107	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,0	0,2	1,0	4,7	0,0	0,0	89,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	0,0	100,0
Ponto_108	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,8	0,2	0,4	3,9	0,0	0,0	94,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	100,0
Ponto_109	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,8	0,2	0,0	3,9	0,0	0,0	94,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	100,0
Ponto_110	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,0	0,4	0,4	3,3	0,0	0,0	85,3	9,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,1	100,0
Ponto_111	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,1	0,4	0,3	3,4	0,0	0,0	88,8	5,5	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,1	100,0
Ponto_112	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,1	0,3	0,4	4,4	0,0	0,0	93,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,1	100,0

ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	Na ₂ C	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Mn	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	BaO	Soma
Ponto_113	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,5	0,3	0,6	0,5	0,0	0,0	89,3	7,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	100,0
Ponto_114	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,1	0,2	0,4	2,1	0,0	0,0	92,9	2,8	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,2	100,0
Ponto_115	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,0	0,2	0,8	2,8	0,0	0,0	89,4	5,2	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,1	100,0
Ponto_116	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,8	0,2	0,3	5,2	0,0	0,0	91,1	2,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,1	100,0
Ponto_117	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,6	0,4	0,5	1,1	0,0	0,0	92,8	3,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	100,0
Ponto_118	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,9	0,3	0,1	3,3	0,0	0,0	92,6	2,5	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	100,0
Ponto_119	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,2	0,3	0,1	3,5	0,0	0,0	92,2	2,3	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	100,0
Ponto_120	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,3	0,3	0,1	1,3	0,0	0,0	93,3	3,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	100,0
Ponto_121	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,7	0,3	0,4	4,4	0,0	0,0	90,1	3,4	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1	0,1	100,0
Ponto_122	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,8	0,3	0,2	3,3	0,0	0,0	92,8	2,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,2	0,0	100,0
Ponto_123	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,9	0,2	0,2	4,8	0,0	0,0	91,2	2,2	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	100,0
Ponto_124	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,1	0,2	0,3	2,4	0,0	0,0	92,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,2	100,0
Ponto_125	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,8	0,2	0,0	3,5	0,0	0,0	93,4	1,5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	100,0
Ponto_126	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	3,2	0,3	0,1	3,2	0,0	0,0	89,3	2,7	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,9	100,0
Ponto_127	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,0	0,4	0,1	0,6	0,0	0,0	95,4	2,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	100,0
Ponto_128	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,0	0,3	0,5	2,9	0,0	0,0	83,8	10,6	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,3	100,0
Ponto_129	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,9	0,3	0,4	3,0	0,0	0,0	82,7	12,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,1	100,0
Ponto_130	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,7	0,2	0,2	4,1	0,0	0,0	92,7	1,7	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	100,0
Ponto_131	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,7	0,2	0,3	5,0	0,0	0,0	91,4	1,8	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,1	100,0
Ponto_132	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,7	0,2	0,4	5,0	0,0	0,0	91,2	1,5	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,4	100,0
Ponto_133	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,7	0,3	0,2	3,5	0,0	0,0	89,5	5,4	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,1	100,0
Ponto_134	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,7	0,3	0,1	3,2	0,0	0,0	93,2	2,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	100,0

Ponto_135	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,6	0,1	1,2	5,2	0,0	0,0	86,8	5,3	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1	0,1	100,0
Ponto_136	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,6	0,1	1,2	5,1	0,0	0,0	87,4	4,9	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	0,0	100,0
Ponto_137	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,8	0,2	0,1	3,6	0,0	0,0	92,2	2,6	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	100,0
Ponto_138	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,7	0,2	0,2	4,4	0,0	0,0	90,9	2,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,2	100,0
Ponto_139	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,1	0,3	0,1	3,7	0,0	0,0	91,8	2,5	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,1	100,0
Ponto_140	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,7	0,2	0,1	3,3	0,0	0,0	93,2	2,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	100,0
ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	Na ₂ C	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Mn	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	BaO	Soma
Ponto_141	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,8	0,2	0,3	4,0	0,0	0,0	91,8	2,3	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	0,1	100,0
Ponto_142	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,9	0,2	0,4	3,6	0,0	0,0	90,8	3,5	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,1	100,0
Ponto_143	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,8	0,2	0,4	4,7	0,0	0,0	91,7	1,7	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,1	100,0
Ponto_144	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,8	0,3	0,7	4,7	0,0	0,0	90,8	2,2	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,1	100,0
Ponto_145	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,0	0,3	1,4	5,1	0,0	0,0	85,0	6,5	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	0,1	100,0
Ponto_146	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	0,8	0,2	0,7	4,1	0,0	0,0	90,1	3,3	0,0	0,0	0,0	0,6	0,2	0,0	100,0
Ponto_147	CoManga_16	Criptomelana	0,0	0,0	1,0	0,2	0,9	5,0	0,0	0,0	86,0	6,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	0,1	100,0
Ponto_148	CoManga_22	Criptomelana	0,0	0,0	1,7	0,2	0,0	3,5	0,0	0,0	93,5	0,5	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,4	100,0
Ponto_149	CoManga_22	Criptomelana	0,0	0,0	2,0	0,2	0,0	3,9	0,0	0,0	92,4	0,7	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,5	100,0
Ponto_150	CoManga_22	Criptomelana	0,0	1,5	2,0	0,5	0,0	2,0	0,6	0,0	86,4	6,1	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,1	100,0
Ponto_151	CoManga_22	Criptomelana	0,0	1,7	1,2	0,2	0,0	1,9	0,4	0,0	87,7	5,4	0,0	1,0	0,0	0,3	0,0	0,2	100,0
Ponto_152	CoManga_22	Criptomelana	0,0	1,7	1,3	0,3	0,0	2,0	0,6	0,0	88,1	4,0	0,0	0,8	0,2	0,1	0,4	0,5	100,0
Ponto_153	CoManga_22	Criptomelana	0,0	2,0	1,0	0,2	0,0	2,1	0,6	0,0	87,4	4,6	0,0	0,8	0,1	0,1	0,5	0,6	100,0
Ponto_154	CoManga_22	Criptomelana	0,0	1,1	2,2	0,3	0,0	2,2	0,5	0,0	89,2	3,3	0,0	0,7	0,2	0,3	0,0	0,1	100,0
Ponto_155	CoManga_22	Criptomelana	0,0	0,0	1,6	0,2	0,0	4,0	0,0	0,0	93,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	100,0
Ponto_156	CoManga_22	Criptomelana	0,0	0,0	0,8	0,2	0,0	3,3	0,2	0,0	94,4	0,8	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	100,0

Ponto_157	CoManga_22	Criptomelana	0,0	1,0	2,4	0,5	0,0	2,6	0,4	0,0	88,8	3,6	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,1	100,0
Ponto_158	CoManga_22	Criptomelana	0,0	0,0	0,8	0,2	0,0	3,1	0,0	0,0	95,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	100,0
Ponto_159	CoManga_22	Criptomelana	0,0	0,0	1,6	0,2	0,0	3,2	0,0	0,0	94,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	100,0
Ponto_160	CoManga_22	Criptomelana	0,0	0,0	1,7	0,2	0,0	3,1	0,0	0,0	94,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	100,0
Ponto_161	CoManga_22	Criptomelana	0,0	0,0	1,6	0,1	0,1	3,2	0,1	0,0	93,4	0,7	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,5	100,0
Ponto_162	CoManga_22	Criptomelana	0,0	1,0	3,0	0,6	0,0	2,7	0,4	0,0	86,5	4,6	0,0	0,6	0,3	0,4	0,0	0,0	100,0
Ponto_163	CoManga_22	Criptomelana	0,0	1,3	2,0	0,2	0,0	2,0	0,4	0,0	89,5	3,5	0,0	0,9	0,0	0,2	0,0	0,0	100,0
Ponto_164	CoManga_22	Criptomelana	0,0	0,0	1,5	0,1	0,0	3,8	0,0	0,0	93,7	0,5	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	100,0
Ponto_165	CoManga_22	Criptomelana	0,0	1,8	1,6	0,1	0,0	1,6	0,1	0,0	90,8	1,8	0,0	1,2	0,1	0,0	0,0	0,7	100,0
Ponto_166	CoManga_22	Criptomelana	0,0	1,8	1,8	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	90,9	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_167	CoManga_22	Criptomelana	0,0	0,0	7,6	0,1	0,0	2,6	0,0	0,0	89,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	100,0
Ponto_168	CoManga_22	Criptomelana	0,0	0,0	5,4	0,2	0,0	3,2	0,0	0,0	91,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	100,0

ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	Na ₂ C	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Mn	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	BaO	Soma
Ponto_170	CoManga_22	Criptomelana	0,0	0,0	7,6	3,8	0,0	2,9	0,0	0,4	83,3	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	100,0
Ponto_171	CoManga_22	Criptomelana	0,0	0,0	1,0	0,2	0,0	4,1	0,0	0,0	94,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_172	CoManga_22	Criptomelana	0,0	0,0	1,2	0,1	0,0	4,0	0,1	0,0	94,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_173	CoManga_22	Criptomelana	0,0	0,0	1,8	0,2	0,0	4,2	0,1	0,0	93,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	100,0
Ponto_174	CoManga_22	Criptomelana	0,0	1,6	1,0	0,2	0,0	1,9	0,1	0,0	91,4	2,1	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,1	100,0
Ponto_175	CoManga_22	Criptomelana	0,0	1,7	1,4	0,1	0,0	1,9	0,2	0,0	89,8	3,0	0,1	1,4	0,3	0,0	0,0	0,1	100,0
Ponto_176	CoManga_25	Criptomelana	0,2	0,0	0,3	0,5	0,1	1,8	0,1	0,0	94,9	1,5	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	100,0
Ponto_177	CoManga_25	Criptomelana	0,0	0,0	0,4	0,5	0,0	2,0	0,1	0,0	93,8	2,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,8	100,0
Ponto_178	CoManga_25	Criptomelana	0,0	0,0	0,2	0,5	0,1	0,5	0,2	0,0	95,9	1,9	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,5	100,0
Ponto_179	CoManga_25	Criptomelana	0,0	0,0	0,3	0,4	0,3	0,6	0,0	0,0	93,0	3,5	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,9	100,0

Ponto_180	CoManga_25	Criptomelana	0,0	0,0	0,3	0,5	0,0	0,5	0,2	0,0	98,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_181	CoManga_25	Criptomelana	0,0	0,0	0,3	0,3	0,4	0,7	0,2	0,0	95,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	100,0
Ponto_182	CoManga_26	Criptomelana	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	4,7	0,0	0,0	93,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	100,0
Ponto_183	CoManga_26	Criptomelana	0,0	0,0	1,6	0,4	1,4	4,8	0,0	0,0	91,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	100,0
Ponto_184	CoManga_26	Criptomelana	0,4	0,0	0,3	0,1	0,0	4,7	0,0	0,0	94,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_185	CoManga_26	Criptomelana	0,0	0,0	0,8	0,0	1,0	4,4	0,0	0,0	93,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	100,0
Ponto_186	CoManga_26	Criptomelana	0,0	0,0	1,1	0,1	1,2	4,6	0,0	0,0	92,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	100,0
Ponto_187	CoManga_26	Criptomelana	0,0	0,4	1,7	0,6	1,4	5,0	0,0	0,0	90,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	100,0
Ponto_188	CoManga_26	Criptomelana	0,3	0,2	0,9	0,6	1,1	4,5	0,0	0,0	91,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	100,0
Ponto_189	CoManga_26	Criptomelana	0,0	0,0	1,6	0,7	0,0	2,7	0,0	0,0	90,9	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_190	CoManga_26	Criptomelana	0,0	0,0	2,7	0,0	0,7	3,1	0,0	0,0	90,4	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	1,3	100,0
Ponto_191	CoManga_26	Criptomelana	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	3,7	0,0	0,0	96,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_192	CoManga_26	Criptomelana	0,0	0,0	0,4	0,0	1,3	5,2	0,0	0,0	93,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_193	CoManga_26	Criptomelana	0,0	0,0	0,3	0,0	1,2	5,3	0,0	0,0	93,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	V ₂ O ₅	CaO	TiO ₂	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	BaO	Soma
Ponto_1	CoManga_2PM	Goethita	0,0	1,4	6,5	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	82,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_2	CoManga_2PM	Goethita	0,0	4,3	2,1	4,5	0,0	0,0	0,1	0,0	4,5	81,9	0,5	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	100,0
Ponto_3	CoManga_2PM	Goethita	0,0	2,8	1,2	3,4	0,0	0,0	0,1	0,0	2,8	88,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	100,0
Ponto_4	CoManga_2PM	Goethita	0,0	3,0	2,1	3,8	0,0	0,0	0,1	0,0	3,9	85,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	100,0
Ponto_5	CoManga_2PM	Goethita	0,0	5,1	3,7	4,3	0,0	0,0	0,2	0,0	5,8	78,9	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	100,0
Ponto_6	CoManga_2PM	Goethita	0,0	4,0	2,9	4,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,4	83,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	100,0
Ponto_7	CoManga_14	Goethita	0,0	3,1	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	18,8	71,0	1,4	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	100,0
Ponto_8	CoManga_16	Goethita	0,0	2,1	2,1	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	84,3	0,0	0,0	0,0	0,2	1,0	0,0	100,0
Ponto_9	CoManga_16	Goethita	0,0	2,3	2,1	2,0	0,0	0,2	0,0	0,0	8,3	83,9	0,0	0,0	0,0	0,2	1,1	0,0	100,0
Ponto_10	CoManga_16	Goethita	0,0	2,5	2,1	1,7	0,3	0,0	0,0	0,0	19,9	72,6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,0	100,0
Ponto_11	CoManga_16	Goethita	0,2	1,4	3,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	87,8	0,0	1,2	0,0	0,3	1,3	0,0	100,0
Ponto_12	CoManga_16	Goethita	0,0	2,1	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	85,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	100,0
Ponto_13	CoManga_16	Goethita	0,0	2,4	2,1	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	7,6	85,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	100,0
Ponto_14	CoManga_16	Goethita	0,0	2,2	1,7	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	85,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	0,0	100,0
Ponto_15	CoManga_16	Goethita	0,0	2,6	2,2	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	83,4	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0	0,0	100,0
Ponto_16	CoManga_16	Goethita	0,0	3,3	2,2	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	87,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	100,0
Ponto_17	CoManga_16	Goethita	0,0	2,5	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1	82,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	100,0
Ponto_18	CoManga_16	Goethita	0,0	3,6	2,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	83,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	100,0
Ponto_19	CoManga_16	Goethita	0,0	1,6	3,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	87,1	0,0	1,1	0,0	0,7	1,4	0,0	100,0
Ponto_20	CoManga_16	Goethita	0,0	3,2	2,1	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	86,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	100,0
Ponto_21	CoManga_16	Goethita	0,0	1,9	2,1	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,1	84,5	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0	0,0	100,0
Ponto_22	CoManga_16	Goethita	0,0	1,3	3,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	87,7	0,0	1,0	0,0	0,3	1,4	0,0	100,0

Ponto_23	CoManga_16	Goethita	0,0	2,9	2,3	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	85,4	0,0	0,0	0,0	0,3	1,1	0,0	100,0
Ponto_24	CoManga_16	Goethita	0,0	2,2	2,2	1,7	0,0	0,3	0,0	0,0	10,7	81,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9	0,0	100,0
Ponto_25	CoManga_16	Goethita	0,0	2,6	2,2	2,1	0,0	0,2	0,0	0,0	7,6	84,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,1	0,0	100,0
Ponto_26	CoManga_16	Goethita	0,0	2,4	2,3	1,7	0,2	0,2	0,0	0,0	13,4	78,7	0,0	0,0	0,0	0,3	0,9	0,0	100,0
Ponto_27	CoManga_16	Goethita	0,0	2,7	2,2	1,8	0,0	0,2	0,0	0,0	9,4	82,5	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	100,0
ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	V ₂ O ₅	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	BaO	Soma
Ponto_28	CoManga_16	Goethita	0,0	2,7	2,3	2,0	0,0	0,2	0,0	0,0	8,5	83,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,1	0,0	100,0
Ponto_29	CoManga_16	Goethita	0,0	2,6	2,2	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	84,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,1	0,0	100,0
Ponto_30	CoManga_16	Goethita	0,0	2,6	1,9	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	11,5	80,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9	0,0	100,0
Ponto_31	CoManga_16	Goethita	0,0	3,8	2,0	1,8	0,1	0,0	0,0	0,0	18,1	73,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	100,0
Ponto_32	CoManga_16	Goethita	0,0	1,5	2,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	88,8	0,0	0,6	0,0	0,1	1,0	0,0	100,0
Ponto_33	CoManga_16	Goethita	0,0	2,8	2,4	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	82,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,9	0,0	100,0
Ponto_34	CoManga_16	Goethita	0,0	1,8	1,7	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,9	84,8	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	0,0	100,0
Ponto_35	CoManga_16	Goethita	0,0	3,1	2,2	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	81,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	100,0
Ponto_36	CoManga_16	Goethita	0,0	1,9	2,3	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7	86,7	0,0	0,0	0,0	0,3	1,1	0,0	100,0
Ponto_37	CoManga_16	Goethita	0,0	1,5	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	87,1	0,0	0,9	0,0	0,4	1,5	0,0	100,0
Ponto_38	CoManga_16	Goethita	0,0	1,5	3,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	86,2	0,0	1,1	0,0	0,3	1,3	0,0	100,0
Ponto_39	CoManga_16	Goethita	0,0	1,3	2,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	88,6	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	100,0
Ponto_40	CoManga_16	Goethita	0,0	2,4	2,1	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	84,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	100,0
Ponto_41	CoManga_16	Goethita	0,0	3,2	1,9	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	7,6	83,6	0,0	0,0	0,0	0,3	1,1	0,0	100,0
Ponto_42	CoManga_16	Goethita	0,0	2,0	2,4	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	86,1	0,0	0,0	0,0	0,3	1,2	0,0	100,0
Ponto_43	CoManga_16	Goethita	0,0	2,4	2,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	83,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	100,0
Ponto_44	CoManga_16	Goethita	0,0	1,6	3,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	87,8	0,0	0,0	0,0	0,3	1,8	0,0	100,0

Ponto_45	CoManga_16	Goethita	0,0	1,2	3,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	87,0	0,0	0,7	0,0	0,2	1,7	0,0	100,0
Ponto_46	CoManga_16	Goethita	0,0	2,5	2,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	83,1	0,0	0,0	0,0	0,3	1,2	0,0	100,0
Ponto_47	CoManga_16	Goethita	0,0	2,3	1,9	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	84,8	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0	0,0	100,0
Ponto_48	CoManga_16	Goethita	0,0	2,8	2,2	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	83,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	100,0
Ponto_49	CoManga_16	Goethita	0,0	2,7	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	83,3	0,0	0,0	0,0	0,2	1,1	0,0	100,0
Ponto_50	CoManga_16	Goethita	0,0	2,2	2,2	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	85,6	0,0	0,0	0,0	0,4	1,0	0,0	100,0
Ponto_51	CoManga_16	Goethita	0,0	1,7	2,6	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	87,1	0,0	0,0	0,0	0,5	1,2	0,0	100,0
Ponto_52	CoManga_16	Goethita	0,0	2,5	1,9	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	83,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	100,0
Ponto_53	CoManga_16	Goethita	0,0	2,5	2,2	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6	83,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	100,0
Ponto_54	CoManga_16	Goethita	0,0	2,9	2,2	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	81,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9	0,0	100,0
Ponto_55	CoManga_16	Goethita	0,0	1,9	1,9	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	89,6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	0,0	100,0
ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	V ₂ O ₅	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	BaO	Soma
Ponto_56	CoManga_16	Goethita	0,0	2,7	1,6	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6	85,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	100,0
Ponto_57	CoManga_16	Goethita	0,0	2,6	2,3	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	7,6	84,2	0,0	0,0	0,0	0,2	1,0	0,0	100,0
Ponto_58	CoManga_16	Goethita	0,0	1,6	2,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	88,6	0,0	0,0	0,0	0,3	0,8	0,0	100,0
Ponto_59	CoManga_16	Goethita	0,0	1,7	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	84,8	0,0	1,7	0,0	0,4	0,7	0,0	100,0
Ponto_60	CoManga_16	Goethita	0,0	3,1	2,2	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,5	79,9	0,0	0,0	0,0	0,4	1,0	0,0	100,0
Ponto_61	CoManga_16	Goethita	0,0	2,9	2,2	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	82,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	100,0
Ponto_62	CoManga_16	Goethita	0,0	1,7	2,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	90,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	100,0
Ponto_63	CoManga_16	Goethita	0,0	1,7	2,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	89,8	0,0	0,0	0,0	0,2	1,1	0,0	100,0
Ponto_64	CoManga_16	Goethita	0,0	3,4	1,9	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	13,9	77,7	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0	0,0	100,0
Ponto_65	CoManga_16	Goethita	0,0	3,4	2,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	13,8	77,7	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	100,0
Ponto_66	CoManga_16	Goethita	0,0	2,6	2,1	1,9	0,0	0,2	0,0	0,0	10,7	81,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	100,0

Ponto_67	CoManga_16	Goethita	0,0	3,4	1,9	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	14,1	77,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	100,0
Ponto_68	CoManga_16	Goethita	0,0	3,3	2,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	14,5	77,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	100,0
Ponto_69	CoManga_16	Goethita	0,0	3,4	2,1	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	13,5	78,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,9	0,0	100,0
Ponto_70	CoManga_16	Goethita	0,0	3,1	2,2	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	82,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,9	0,0	100,0
Ponto_71	CoManga_16	Goethita	0,0	2,6	2,2	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	10,4	81,8	0,0	0,0	0,0	0,2	0,9	0,0	100,0
Ponto_72	CoManga_16	Goethita	0,0	2,6	2,0	1,8	0,3	0,0	0,0	0,0	16,4	75,9	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	100,0
Ponto_73	CoManga_16	Goethita	0,0	2,6	2,1	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	83,1	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	100,0
Ponto_74	CoManga_16	Goethita	0,0	2,9	2,2	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	81,8	0,0	0,0	0,0	0,2	1,0	0,0	100,0
Ponto_75	CoManga_16	Goethita	0,0	3,8	2,1	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	80,2	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	100,0
Ponto_76	CoManga_16	Goethita	0,0	2,7	1,8	2,1	0,0	0,2	0,0	0,0	12,5	80,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	100,0
Ponto_77	CoManga_16	Goethita	0,0	2,8	1,9	2,1	0,0	0,2	0,0	0,0	10,3	81,8	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	0,0	100,0
Ponto_78	CoManga_16	Goethita	0,0	2,5	2,0	2,2	0,0	0,2	0,0	0,0	9,1	83,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9	0,0	100,0
Ponto_79	CoManga_16	Goethita	0,0	2,7	2,1	1,9	0,2	0,2	0,0	0,0	16,0	76,2	0,0	0,1	0,0	0,2	0,4	0,0	100,0
Ponto_80	CoManga_16	Goethita	0,0	3,7	2,0	2,0	0,1	0,2	0,0	0,0	15,8	75,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	0,0	100,0
Ponto_81	CoManga_16	Goethita	0,0	2,6	1,7	1,9	0,3	0,2	0,0	0,0	18,9	73,5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,0	100,0
Ponto_82	CoManga_16	Goethita	0,0	3,0	2,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	11,9	80,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,9	0,1	100,0
Ponto_83	CoManga_16	Goethita	0,0	2,9	2,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0	11,8	80,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,1	100,0
ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	V ₂ O ₅	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	BaO	Soma
Ponto_84	CoManga_16	Goethita	0,0	3,1	1,9	2,1	0,2	0,0	0,0	0,0	15,6	76,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	0,0	100,0
Ponto_85	CoManga_16	Goethita	0,0	3,1	1,9	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,9	79,8	0,0	0,0	0,0	0,2	0,9	0,1	100,0
Ponto_86	CoManga_16	Goethita	0,0	3,9	1,8	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	12,7	78,8	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	0,1	100,0
Ponto_87	CoManga_16	Goethita	0,0	3,3	1,8	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,6	79,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	0,0	100,0
Ponto_88	CoManga_16	Goethita	0,0	3,3	1,9	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0	13,2	78,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7	0,0	100,0

Ponto_89	CoManga_16	Goethita	0,0	4,1	1,8	2,0	0,1	0,0	0,0	0,0	18,6	72,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7	0,1	100,0
Ponto_90	CoManga_16	Goethita	0,0	3,3	1,9	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,4	81,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	0,1	100,0
Ponto_91	CoManga_16	Goethita	0,0	3,8	1,7	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0	74,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	0,1	100,0
Ponto_92	CoManga_16	Goethita	0,0	5,3	1,8	1,7	0,1	0,0	0,0	0,0	20,6	69,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,3	100,0
Ponto_93	CoManga_16	Goethita	0,0	1,5	3,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	88,4	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,2	100,0
Ponto_94	CoManga_16	Goethita	0,0	3,0	1,8	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	10,9	80,9	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	0,1	100,0
Ponto_95	CoManga_16	Goethita	0,0	2,6	1,9	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	13,6	78,6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,2	100,0
Ponto_96	CoManga_16	Goethita	0,0	2,9	1,9	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	79,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9	0,2	100,0
Ponto_97	CoManga_16	Goethita	0,0	2,6	1,9	2,0	0,3	0,0	0,0	0,0	15,5	76,6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,1	100,0
Ponto_98	CoManga_16	Goethita	0,0	2,8	1,9	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3	79,9	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	0,1	100,0
Ponto_99	CoManga_16	Goethita	0,0	3,5	1,7	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	16,9	75,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6	0,2	100,0
Ponto_100	CoManga_16	Goethita	0,0	2,7	1,9	2,1	0,2	0,0	0,0	0,0	14,2	77,7	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	0,2	100,0
Ponto_101	CoManga_16	Goethita	0,0	2,6	1,9	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	82,8	0,0	0,0	0,0	0,2	0,9	0,1	100,0
Ponto_102	CoManga_16	Goethita	0,0	2,0	2,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	88,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,8	0,1	100,0
Ponto_103	CoManga_16	Goethita	0,0	2,9	2,0	1,9	0,1	0,0	0,0	0,0	14,5	77,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6	0,2	100,0
Ponto_104	CoManga_16	Goethita	0,0	3,1	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	79,8	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	0,0	100,0
Ponto_105	CoManga_16	Goethita	0,0	1,9	2,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	89,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6	0,1	100,0
Ponto_106	CoManga_16	Goethita	0,0	1,8	2,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	90,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	0,1	100,0
Ponto_107	CoManga_16	Goethita	0,0	1,6	2,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	90,9	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,1	100,0
Ponto_108	CoManga_16	Goethita	0,0	1,5	1,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	89,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,2	100,0
Ponto_109	CoManga_16	Goethita	0,0	1,8	2,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	89,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	0,0	100,0
Ponto_110	CoManga_16	Goethita	0,0	1,5	1,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	91,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	100,0
Ponto_111	CoManga_16	Goethita	0,0	3,1	1,9	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6	81,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,2	100,0

ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	V ₂ O ₅	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	BaO	Soma
Ponto_112	CoManga_16	Goethita	0,0	1,8	2,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	90,5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	0,0	100,0
Ponto_113	CoManga_16	Goethita	0,0	3,6	1,8	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	15,7	76,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	0,1	100,0
Ponto_114	CoManga_16	Goethita	0,0	3,3	1,8	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	11,5	80,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,9	0,0	100,0
Ponto_115	CoManga_16	Goethita	0,0	2,0	2,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	89,4	0,0	0,0	0,0	0,2	1,3	0,0	100,0
Ponto_116	CoManga_16	Goethita	0,0	3,0	1,9	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3	79,9	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,0	100,0
Ponto_117	CoManga_16	Goethita	0,0	3,1	1,9	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,4	79,5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,1	100,0
Ponto_118	CoManga_16	Goethita	0,0	3,5	1,8	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,1	76,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	0,2	100,0
Ponto_119	CoManga_16	Goethita	0,0	3,6	1,7	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	15,3	76,5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	0,1	100,0
Ponto_120	CoManga_16	Goethita	0,0	3,0	1,9	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,8	81,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	0,0	100,0
Ponto_121	CoManga_16	Goethita	0,0	3,1	1,6	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	78,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	0,0	100,0
Ponto_122	CoManga_16	Goethita	0,0	1,8	2,4	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	89,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,2	0,0	100,0
Ponto_123	CoManga_16	Goethita	0,0	2,9	1,6	1,8	0,2	0,0	0,0	0,0	19,9	72,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	0,2	100,0
Ponto_124	CoManga_16	Goethita	0,0	2,9	1,9	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,9	81,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,1	100,0
Ponto_125	CoManga_16	Goethita	0,0	3,0	1,8	2,0	0,1	0,0	0,0	0,0	14,6	77,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,1	100,0
Ponto_126	CoManga_16	Goethita	0,0	3,6	1,7	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	15,7	76,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	0,0	100,0
Ponto_127	CoManga_16	Goethita	0,0	3,1	1,9	2,0	0,1	0,0	0,0	0,0	13,0	78,8	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	0,0	100,0
Ponto_128	CoManga_16	Goethita	0,0	3,1	1,9	2,0	0,1	0,0	0,0	0,0	12,9	78,8	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	0,1	100,0
Ponto_129	CoManga_16	Goethita	0,0	2,9	1,9	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	82,7	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,1	100,0
Ponto_130	CoManga_16	Goethita	0,0	2,3	1,5	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	11,0	84,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	100,0
Ponto_131	CoManga_16	Goethita	0,0	2,6	1,9	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	82,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,1	100,0
Ponto_132	CoManga_22	Goethita	0,1	1,4	1,9	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	16,1	78,1	0,4	1,1	0,3	0,0	0,2	0,0	100,0
Ponto_133	CoManga_22	Goethita	0,0	1,5	2,5	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	17,3	76,7	0,0	1,3	0,2	0,3	0,0	0,0	100,0

Ponto_134	CoManga_22	Goethita	0,2	1,5	3,3	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	12,9	79,4	0,0	1,2	0,3	0,3	0,6	0,0	100,0
Ponto_135	CoManga_22	Goethita	0,2	1,7	2,8	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	14,1	78,8	0,3	1,2	0,4	0,2	0,0	0,0	100,0
Ponto_136	CoManga_22	Goethita	0,0	1,7	2,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	10,0	84,2	0,7	0,9	0,2	0,3	0,0	0,0	100,0
Ponto_137	CoManga_22	Goethita	0,0	1,9	2,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	10,7	83,2	0,0	1,0	0,2	0,0	0,7	0,0	100,0
Ponto_138	CoManga_22	Goethita	0,0	1,4	1,8	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	13,3	82,2	0,0	0,8	0,0	0,1	0,0	0,1	100,0
Ponto_139	CoManga_22	Goethita	0,0	1,5	2,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	8,4	86,8	0,7	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	100,0
ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	V ₂ O ₅	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	BaO	Soma
Ponto_140	CoManga_22	Goethita	0,0	1,6	1,8	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	14,5	81,0	0,0	0,6	0,0	0,1	0,3	0,0	100,0
Ponto_141	CoManga_22	Goethita	0,0	1,5	1,9	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	16,6	78,8	0,0	0,9	0,1	0,0	0,0	0,1	100,0
Ponto_142	CoManga_25	Goethita	0,0	3,0	5,1	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	17,8	73,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_143	CoManga_25	Goethita	0,0	3,1	4,6	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,6	75,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_144	CoManga_25	Goethita	0,2	3,2	4,2	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	16,5	74,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	100,0
Ponto_145	CoManga_25	Goethita	0,0	3,0	4,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	16,8	74,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_146	CoManga_25	Goethita	0,0	3,0	4,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	16,6	75,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_147	CoManga_25	Goethita	0,0	2,9	4,6	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	77,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_148	CoManga_25	Goethita	0,0	3,1	4,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0	75,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_149	CoManga_25	Goethita	0,0	2,2	4,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	90,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_150	CoManga_25	Goethita	0,0	2,4	1,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3	12,3	83,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_151	CoManga_25	Goethita	0,0	3,6	3,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6	82,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_152	CoManga_25	Goethita	0,0	4,0	2,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	18,7	74,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_153	CoManga_25	Goethita	0,0	4,2	2,9	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	14,2	78,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_154	CoManga_25	Goethita	0,0	4,2	2,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	14,4	78,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_155	CoManga_25	Goethita	0,0	5,0	2,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	18,4	73,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

Ponto_156	CoManga_25	Goethita	0,0	5,1	2,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	17,2	74,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_157	CoManga_26	Goethita	0,0	5,5	3,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	14,7	75,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	100,0
Ponto_158	CoManga_26	Goethita	0,0	5,1	4,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	79,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	100,0
Ponto_159	CoManga_26	Goethita	0,0	5,5	2,8	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	12,1	76,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	100,0
Ponto_160	CoManga_26	Goethita	0,0	6,0	2,9	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	76,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_161	CoManga_26	Goethita	0,0	6,2	2,6	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	19,0	69,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	100,0
Ponto_162	CoManga_26	Goethita	0,0	5,7	3,2	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	15,5	74,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_163	CoManga_26	Goethita	0,0	6,2	5,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	81,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_164	CoManga_26	Goethita	0,0	6,5	4,5	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	16,8	71,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_165	CoManga_26	Goethita	0,0	5,3	5,5	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	78,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_166	CoManga_26	Goethita	0,0	5,5	2,3	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	76,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_167	CoManga_26	Goethita	0,0	3,4	4,4	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	89,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

Tabela 11 — Resultados de microanálises por EDS (% em peso) da spessartina. Resultados normalizados a 100% em base anidra.

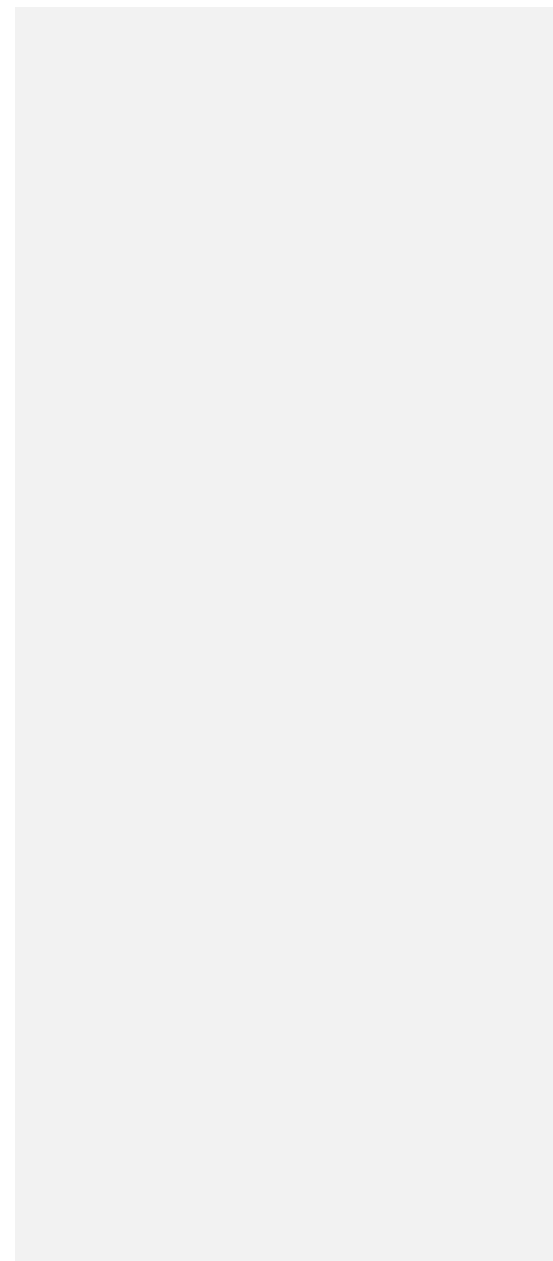
ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	V ₂ O ₅	CaO	TiO ₂	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	NiO	ZnO	As ₂ O ₃	BaO	Soma
Ponto_1	CoManga_2PM	Spessartina	0,0	0,0	19,1	34,1	0,0	3,5	0,0	0,0	38,6	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_2	CoManga_2PM	Spessartina	0,0	0,0	19,1	34,9	0,0	3,5	0,6	0,0	37,5	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_3	CoManga_2PM	Spessartina	0,0	0,0	18,1	27,5	0,0	3,6	1,7	0,0	43,2	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_4	CoManga_2PM	Spessartina	0,0	0,0	19,7	30,7	0,0	3,3	0,6	0,0	40,5	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_5	CoManga_2PM	Spessartina	0,0	0,0	17,5	26,9	0,0	3,6	5,0	0,0	41,1	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_6	CoManga_2PM	Spessartina	0,0	0,0	20,1	32,6	0,0	3,5	0,6	0,0	38,5	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_7	CoManga_2PM	Spessartina	0,0	0,0	20,0	30,7	0,0	2,1	0,5	0,0	41,5	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_8	CoManga_2PM	Spessartina	0,0	0,0	20,1	30,6	0,0	3,3	0,9	0,0	40,3	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_9	CoManga_2PM	Spessartina	0,0	0,0	19,1	28,1	0,0	3,4	1,3	0,0	40,7	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_10	CoManga_2PM	Spessartina	0,0	0,0	19,4	33,7	0,0	3,0	0,0	0,0	39,3	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_11	CoManga_2PM	Spessartina	0,0	0,0	18,6	33,7	0,0	3,2	0,3	0,0	39,7	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_12	CoManga_2PM	Spessartina	0,0	0,5	19,2	33,9	0,0	3,6	0,3	0,0	37,7	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_13	CoManga_2PM	Spessartina	0,0	0,7	20,9	31,5	0,0	2,7	0,0	0,0	38,9	5,0	0,1	0,1	0,0	0,0	100,0
Ponto_14	CoManga_2PM	Spessartina	0,0	0,3	19,9	30,7	0,0	3,8	0,0	0,0	40,1	5,0	0,2	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_15	CoManga_2PM	Spessartina	0,1	0,6	21,2	31,9	0,0	2,7	0,1	0,0	38,3	5,0	0,1	0,1	0,0	0,0	100,0
Ponto_16	CoManga_2PM	Spessartina	0,1	0,7	20,7	31,3	0,0	2,5	0,3	0,0	39,1	5,2	0,2	0,1	0,0	0,0	100,0
Ponto_17	CoManga_2PM	Spessartina	0,0	0,5	20,0	31,3	0,0	2,0	0,0	0,3	40,7	5,2	0,1	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_18	CoManga_2PM	Spessartina	0,0	0,3	19,9	30,3	0,0	3,6	0,6	0,0	40,2	5,0	0,1	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_19	CoManga_14	Spessartina	0,0	0,8	20,7	32,2	0,0	2,6	0,3	0,0	37,4	6,0	0,1	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_20	CoManga_14	Spessartina	0,0	0,0	24,0	18,1	0,0	0,2	0,2	0,0	49,0	7,1	0,9	0,0	0,4	0,1	100,0
Ponto_21	CoManga_14	Spessartina	0,0	0,0	28,1	22,0	0,0	0,1	0,0	0,0	42,7	5,8	0,6	0,1	0,4	0,2	100,0
Ponto_22	CoManga_14	Spessartina	0,0	0,0	28,8	26,2	0,0	0,2	0,2	0,0	37,6	6,7	0,1	0,2	0,0	0,0	100,0

Ponto_23	CoManga_14	Spessartina	0,0	0,0	26,7	24,6	0,1	0,1	0,5	0,0	40,9	6,8	0,1	0,2	0,0	0,0	100,0
Ponto_24	CoManga_14	Spessartina	0,0	0,0	25,5	22,2	0,6	0,1	0,2	0,0	46,1	4,9	0,2	0,0	0,3	0,0	100,0
Ponto_25	CoManga_14	Spessartina	0,0	0,0	27,4	24,4	0,4	0,0	0,0	0,0	42,1	5,4	0,3	0,0	0,0	0,1	100,0
Ponto_26	CoManga_14	Spessartina	0,0	0,0	20,4	31,0	0,0	2,8	0,4	0,0	39,3	5,9	0,1	0,0	0,1	0,0	100,0
Ponto_27	CoManga_14	Spessartina	0,0	0,0	20,6	32,0	0,0	2,7	0,9	0,0	38,1	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_28	CoManga_14	Spessartina	0,0	0,0	28,4	18,0	0,0	0,0	0,7	0,0	49,0	2,3	1,2	0,0	0,3	0,0	100,0
ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	V ₂ O ₅	CaO	TiO ₂	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	NiO	ZnO	As ₂	BaO	Soma
Ponto_29	CoManga_25	Spessartina	0,0	0,3	19,0	33,1	0,0	0,0	1,9	0,0	41,7	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_30	CoManga_25	Spessartina	0,0	0,0	19,5	34,4	0,0	0,0	5,3	0,0	35,9	4,5	0,0	0,0	0,0	0,4	100,0
Ponto_31	CoManga_25	Spessartina	0,0	0,3	19,3	34,2	0,0	0,0	1,9	0,0	39,8	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_32	CoManga_25	Spessartina	0,0	0,4	19,1	34,2	0,0	0,0	5,7	0,3	35,9	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_33	CoManga_25	Spessartina	0,0	0,3	18,9	34,3	0,0	0,0	5,4	0,0	36,1	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_34	CoManga_25	Spessartina	0,0	0,4	18,3	33,8	0,0	0,0	6,3	0,5	35,9	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_35	CoManga_25	Spessartina	0,0	0,3	19,3	34,6	0,0	0,0	5,5	0,3	35,3	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_36	CoManga_25	Spessartina	0,0	0,3	19,1	33,8	0,0	0,0	2,4	0,0	39,3	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_37	CoManga_26	Spessartina	0,0	0,6	18,2	33,6	0,0	0,0	2,6	0,0	34,5	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_38	CoManga_26	Spessartina	0,0	0,7	19,1	34,4	0,0	0,0	3,7	0,0	32,2	10,1	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_39	CoManga_26	Spessartina	0,0	0,5	18,5	33,1	0,0	0,0	2,5	0,0	36,2	9,2	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_40	CoManga_26	Spessartina	0,0	0,6	19,0	34,5	0,0	0,0	6,3	0,0	29,4	10,2	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_41	CoManga_26	Spessartina	0,0	0,6	18,9	33,7	0,0	0,0	2,8	0,0	34,2	9,9	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_42	CoManga_25	Spessartina	0,0	0,0	19,7	35,0	0,0	0,0	6,6	0,0	27,9	10,8	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_43	CoManga_26	Spessartina	0,0	0,0	19,3	34,0	0,0	0,0	4,0	0,0	30,9	11,9	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_45	CoManga_26	Spessartina	0,0	0,8	19,2	33,9	0,0	0,0	2,6	0,3	32,9	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_46	CoManga_26	Spessartina	0,0	0,7	18,2	33,4	0,0	0,0	2,9	0,0	35,3	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

100

Ponto_47	CoManga_26	Spessartina	0,0	0,0	18,6	33,8	0,0	0,0	4,7	0,0	31,9	10,9	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_48	CoManga_26	Spessartina	0,0	0,0	19,3	35,1	0,0	0,0	7,4	0,0	27,8	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_49	CoManga_26	Spessartina	0,0	0,0	19,4	35,1	0,0	0,0	6,3	0,0	29,7	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_50	CoManga_26	Spessartina	0,0	0,0	19,3	34,4	0,0	0,0	3,8	0,0	32,1	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

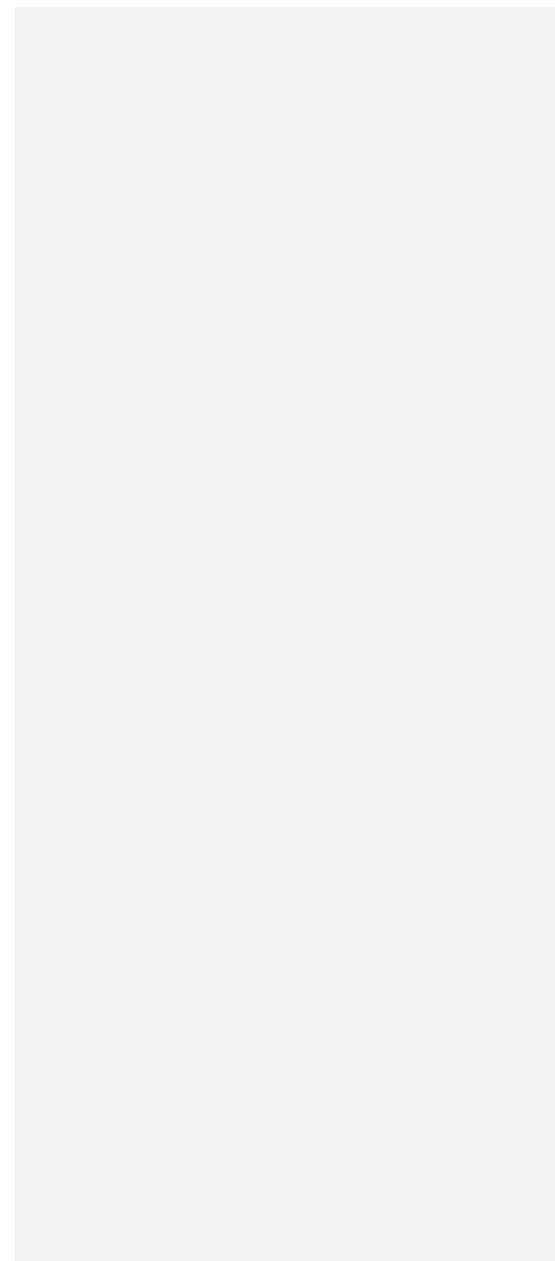
Tabela 12 — Resultados de microanálises por EDS (% em peso) da pirofanita. Resultados normalizados a 100% em base anidra.



ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	NiO	ZnO	As ₂ O ₃	BaO	Soma
Ponto_1	CoManga_2PM	Pirofanita	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	50,8	41,8	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_2	CoManga_2PM	Pirofanita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	49,7	40,6	9,7	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_3	CoManga_2PM	Pirofanita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,1	41,3	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_4	CoManga_2PM	Pirofanita	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	49,2	41,5	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_5	CoManga_2PM	Pirofanita	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	50,8	39,3	9,7	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_6	CoManga_2PM	Pirofanita	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	50,1	42,3	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_7	CoManga_2PM	Pirofanita	0,0	0,0	1,7	2,1	0,0	0,0	48,0	34,5	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_8	CoManga_14	Pirofanita	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	51,0	36,9	11,9	0,1	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_9	CoManga_14	Pirofanita	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	48,8	34,2	15,2	0,0	0,0	0,1	1,2	100,0
Ponto_10	CoManga_14	Pirofanita	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	47,3	34,7	16,2	0,0	0,0	0,0	1,3	100,0
Ponto_11	CoManga_14	Pirofanita	0,0	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	48,9	34,3	14,7	0,1	0,0	0,0	1,4	100,0
Ponto_12	CoManga_14	Pirofanita	0,1	1,4	3,1	0,0	0,0	0,0	43,8	34,6	15,1	0,2	0,1	0,2	1,3	100,0
Ponto_13	CoManga_14	Pirofanita	0,0	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	51,0	34,0	14,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_14	CoManga_14	Pirofanita	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	50,9	34,2	14,4	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_15	CoManga_14	Pirofanita	0,0	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	51,4	33,1	14,7	0,1	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_16	CoManga_14	Pirofanita	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	50,9	33,5	15,1	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_17	CoManga_14	Pirofanita	0,0	3,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,0	70,6	23,3	0,2	0,0	1,6	0,0	100,0
Ponto_18	CoManga_14	Pirofanita	0,0	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	50,4	34,3	14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_19	CoManga_14	Pirofanita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,2	34,8	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_20	CoManga_14	Pirofanita	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	51,0	33,4	15,4	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_21	CoManga_14	Pirofanita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,3	39,1	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_22	CoManga_14	Pirofanita	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	49,7	39,4	10,7	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

Ponto_23	CoManga_14	Pirofanita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,4	34,8	14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_24	CoManga_14	Pirofanita	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	49,4	36,7	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	BaO	Soma
Ponto_1	CoManga_16	Caulinita	0,0	42,3	53,0	0,0	0,0	0,0	2,2	2,6	0,0	100,0
Ponto_2	CoManga_25	Caulinita	0,0	44,2	47,8	0,0	0,0	0,0	3,3	4,6	0,0	100,0
Ponto_3	CoManga_25	Caulinita	0,0	38,1	40,1	0,0	0,0	0,0	14,8	7,0	0,0	100,0
Ponto_4	CoManga_25	Caulinita	0,0	38,6	46,9	0,0	0,0	0,5	7,3	6,7	0,0	100,0
Ponto_5	CoManga_25	Caulinita	0,0	39,3	47,7	0,0	0,0	0,0	6,8	6,2	0,0	100,0
Ponto_6	CoManga_25	Caulinita	0,4	40,2	44,9	0,0	0,0	0,0	8,5	5,7	0,3	100,0
Ponto_7	CoManga_25	Caulinita	0,0	44,0	53,9	0,0	0,0	0,0	1,1	1,0	0,0	100,0
Ponto_8	CoManga_25	Caulinita	0,0	39,3	46,9	0,0	0,0	0,0	12,4	1,5	0,0	100,0
Ponto_9	CoManga_25	Caulinita	0,0	43,8	54,1	0,0	0,0	0,0	1,2	0,9	0,0	100,0
Ponto_10	CoManga_25	Caulinita	0,0	43,5	53,7	0,0	0,0	0,0	1,2	1,6	0,0	100,0
Ponto_11	CoManga_25	Caulinita	0,0	40,4	47,4	0,0	0,0	0,0	10,0	2,2	0,0	100,0
Ponto_12	CoManga_25	Caulinita	0,0	45,0	53,9	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	100,0
Ponto_13	CoManga_26	Caulinita	0,2	43,9	41,4	0,0	0,0	0,0	12,6	1,6	0,2	100,0
Ponto_14	CoManga_26	Caulinita	0,0	39,8	44,6	0,0	0,0	0,0	12,6	2,6	0,4	100,0
Ponto_15	CoManga_26	Caulinita	0,0	41,4	46,3	0,0	0,0	0,0	10,5	1,7	0,0	100,0
Ponto_16	CoManga_26	Caulinita	0,0	41,4	46,3	0,0	0,0	0,0	10,3	2,0	0,0	100,0
Ponto_17	CoManga_26	Caulinita	0,0	39,9	54,3	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7	0,0	100,0
Ponto_18	CoManga_26	Caulinita	0,0	40,5	50,6	0,0	0,0	0,0	4,6	4,3	0,0	100,0
Ponto_19	CoManga_26	Caulinita	0,0	40,8	51,3	0,0	0,0	0,0	3,9	4,0	0,0	100,0
Ponto_20	CoManga_26	Caulinita	0,0	42,8	51,9	0,0	0,0	0,0	2,1	3,3	0,0	100,0
Ponto_21	CoManga_26	Caulinita	0,0	43,0	52,9	0,0	0,0	0,0	0,9	3,2	0,0	100,0
Ponto_22	CoManga_26	Caulinita	0,0	44,9	53,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	100,0



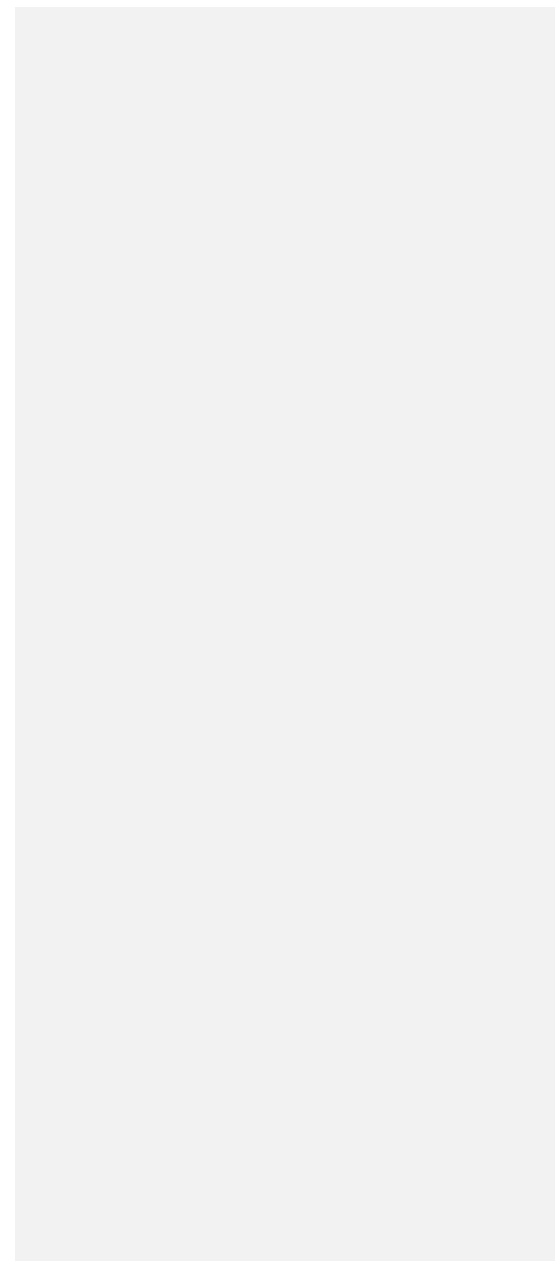
ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	Soma
Ponto_1	CoManga_2PM	Quartzo	4,1	87,1	0,7	7,3	0,8	100,0
Ponto_2	CoManga_14	Quartzo	1,0	97,7	0,0	1,3	0,0	100,0
Ponto_3	CoManga_16	Quartzo	0,4	99,6	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_4	CoManga_16	Quartzo	0,5	99,5	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_5	CoManga_16	Quartzo	0,6	98,1	0,0	0,0	1,2	100,0
Ponto_6	CoManga_16	Quartzo	0,6	97,2	0,0	1,0	1,2	100,0
Ponto_7	CoManga_16	Quartzo	0,6	98,0	0,0	0,2	1,1	100,0
Ponto_8	CoManga_16	Quartzo	0,4	98,1	0,0	0,1	1,3	100,0
Ponto_9	CoManga_16	Quartzo	0,7	97,9	0,0	0,3	1,1	100,0
Ponto_10	CoManga_16	Quartzo	0,5	98,4	0,0	0,5	0,7	100,0
Ponto_11	CoManga_16	Quartzo	0,4	98,6	0,0	0,3	0,7	100,0
Ponto_12	CoManga_16	Quartzo	0,6	98,6	0,0	0,0	0,8	100,0
Ponto_13	CoManga_16	Quartzo	0,6	98,4	0,0	0,2	0,8	100,0
Ponto_14	CoManga_16	Quartzo	0,6	98,2	0,0	0,7	0,6	100,0
Ponto_15	CoManga_16	Quartzo	0,7	97,6	0,0	0,9	0,8	100,0
Ponto_16	CoManga_16	Quartzo	0,6	98,2	0,0	0,0	1,2	100,0
Ponto_17	CoManga_16	Quartzo	0,6	98,2	0,0	0,7	0,5	100,0
Ponto_18	CoManga_16	Quartzo	0,8	98,1	0,0	0,0	1,2	100,0
Ponto_19	CoManga_16	Quartzo	0,7	97,5	0,0	0,9	0,9	100,0
Ponto_20	CoManga_16	Quartzo	0,7	98,5	0,0	0,0	0,8	100,0
Ponto_21	CoManga_16	Quartzo	0,8	98,0	0,0	0,6	0,6	100,0
Ponto_22	CoManga_16	Quartzo	0,8	97,9	0,0	0,6	0,6	100,0

Ponto_23	CoManga_16	Quartzo	1,1	97,0	0,0	1,1	0,9	100,0
Ponto_24	CoManga_25	Quartzo	0,1	99,1	0,0	0,7	0,0	100,0
Ponto_25	CoManga_25	Quartzo	0,3	98,9	0,0	0,8	0,0	100,0
Ponto_26	CoManga_26	Quartzo	0,4	99,6	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_27	CoManga_26	Quartzo	0,4	99,6	0,0	0,0	0,0	100,0
ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	Soma
Ponto_28	CoManga_26	Quartzo	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_29	CoManga_26	Quartzo	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_30	CoManga_26	Quartzo	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_31	CoManga_26	Quartzo	0,2	99,0	0,0	0,9	0,0	100,0
Ponto_32	CoManga_26	Quartzo	0,1	99,0	0,0	0,9	0,0	100,0

Tabela 15 — Resultados das microanálises por EDS (% em peso) das fases acessórias. Resultados normalizados a 100% em base anidra.

ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	TiO ₂	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	CoO	As ₂ O ₃	ZrO ₂	HfO	Soma
Ponto_1	CoManga_2PM	Zircão	0,0	0,0	0,2	31,6	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	65,6	0,0	100,0
Ponto_2	CoManga_2PM	Zircão	0,0	0,0	1,4	29,1	0,0	1,6	0,0	4,7	0,7	0,0	0,0	62,4	0,0	100,0
Ponto_3	CoManga_2PM	Zircão	0,0	0,0	0,2	32,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	66,2	0,0	100,0
Ponto_4	CoManga_2PM	Zircão	0,0	0,0	0,0	32,1	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	65,6	0,0	100,0
Ponto_7	CoManga_14	Zircão	0,0	0,0	1,6	29,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,9	0,0	0,0	65,1	0,0	100,0
Ponto_8	CoManga_14	Zircão	0,0	0,0	0,6	31,4	0,0	0,0	0,0	1,7	1,0	0,0	0,0	65,3	0,0	100,0
Ponto_9	CoManga_14	Zircão	0,0	0,0	0,0	32,2	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	65,9	0,0	100,0
Ponto_10	CoManga_14	Zircão	0,0	0,0	0,0	31,4	0,0	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	64,9	0,0	100,0
Ponto_11	CoManga_14	Zircão	0,0	0,0	0,0	34,9	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	62,7	0,0	100,0
Ponto_12	CoManga_14	Zircão	0,0	0,0	0,0	82,3	0,0	0,0	0,0	14,1	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_13	CoManga_26	Zircão	0,0	0,0	0,0	32,7	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	66,5	0,0	100,0
Ponto_14	CoManga_26	Zircão	0,0	0,0	0,0	32,6	0,0	0,0	0,0	1,1	0,6	0,0	0,0	65,7	0,0	100,0
Ponto_15	CoManga_26	Zircão	0,0	0,0	0,3	31,6	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	66,1	0,0	100,0
Ponto_16	CoManga_16	Hematite	0,0	0,0	1,6	1,7	0,2	0,0	0,0	4,0	92,4	0,0	0,2	0,0	0,0	100,0
Ponto_17	CoManga_16	Hematite	0,0	0,0	1,2	2,0	0,3	0,0	0,0	5,0	91,6	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_18	CoManga_14	Hematita	0,0	0,0	0,3	0,4	0,0	0,0	0,0	2,0	97,3	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_19	CoManga_16	Gibbsite	0,0	0,0	97,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_20	CoManga_16	Gibbsite	0,0	0,0	97,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_21	CoManga_16	Gibbsite	0,0	0,0	98,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_22	CoManga_2PM	Apatita	0,0	0,0	1,3	2,7	37,6	55,1	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_23	CoManga_14	Calcite	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	81,0	2,1	15,1	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	100,0

Tabela 16 — Resultados das microanálises por EDS (% em peso) das inclusões minerais.



ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	O	Na	Mg	Al	Si	S	Ca	Ti	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	W	Soma
Ponto_1	CoManga_2PM	Esfalerita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,1	0,0	0,0	4,5	9,8	0,0	0,0	0,0	53,6	0,0	100,0
Ponto_2	CoManga_2PM	Esfalerita	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	34,0	0,0	0,0	4,4	9,1	0,0	0,0	0,0	50,6	0,0	98,7
Ponto_3	CoManga_2PM	Esfalerita	0,0	9,4	0,0	0,2	0,0	32,8	0,0	0,0	4,0	8,7	0,0	0,0	0,0	44,9	0,0	100,0
Ponto_4	CoManga_2PM	Esfalerita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,9	0,0	0,0	5,3	13,5	0,0	0,0	0,0	47,3	0,0	100,0
Ponto_5	CoManga_2PM	Esfalerita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,1	0,0	0,0	0,7	62,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_6	CoManga_2PM	Pirrotita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,6	0,0	0,0	0,9	61,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_7	CoManga_2PM	Pirrotita	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	36,8	0,0	0,0	0,9	62,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_8	CoManga_2PM	Pirrotita	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	35,9	0,0	0,0	1,2	62,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_9	CoManga_2PM	Pirrotita	0,0	0,0	0,0	1,5	1,8	28,2	0,0	0,0	3,0	49,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	84,4
Ponto_10	CoManga_2PM	Pirrotita	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	37,3	0,0	0,0	1,4	61,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_11	CoManga_2PM	Pirrotita	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	38,6	0,0	0,0	1,7	59,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_12	CoManga_2PM	Pirrotita	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	34,7	0,1	0,0	1,5	59,5	1,0	2,1	0,0	0,0	0,0	99,5
Ponto_13	CoManga_2PM	Pirrotita	0,0	0,0	0,0	0,6	0,3	34,6	0,2	0,0	1,5	58,1	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	98,3
Ponto_14	CoManga_2PM	Pirrotita	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	35,5	0,1	0,0	1,2	61,7	0,6	0,1	0,0	0,2	0,0	99,4
Ponto_15	CoManga_14	Pirrotita	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	37,5	0,0	0,0	1,2	59,4	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	98,8
Ponto_16	CoManga_14	Pirrotita	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	36,0	0,0	0,0	1,3	61,5	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	99,5
Ponto_17	CoManga_14	Pirrotita	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	28,8	0,0	0,0	1,1	51,4	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	82,4
Ponto_18	CoManga_14	Pirrotita	0,0	0,0	0,0	1,6	1,6	30,7	0,0	0,0	3,2	57,7	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	95,3
Ponto_19	CoManga_14	Pirrotita	0,0	0,0	0,0	2,5	2,9	26,7	0,0	0,0	5,9	48,4	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	86,9
Ponto_20	CoManga_26	Pirrotita	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	38,6	0,0	0,0	1,4	58,2	0,0	0,7	0,0	0,3	0,0	99,8
Ponto_21	CoManga_26	Pirrotita	0,0	0,0	0,2	2,3	2,3	33,5	0,1	0,0	2,9	47,5	0,0	0,4	0,0	0,2	0,0	89,5
Ponto_22	CoManga_2PM	Pentlandita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,8	0,0	0,0	1,2	34,8	13,7	17,5	0,0	0,0	0,0	100,0

Ponto_23	CoManga_14	Pentlandita	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	32,4	0,0	0,0	2,5	27,8	0,0	36,9	0,0	0,0	0,0	100,0
Ponto_24	CoManga_26	Pentlandita	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	30,8	0,0	0,0	2,1	25,0	11,4	27,9	2,2	0,0	0,0	99,7
Ponto_25	CoManga_26	Pentlandita	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	37,3	0,1	0,0	2,2	30,1	8,2	18,2	0,4	0,0	0,0	97,6
Ponto_26	CoManga_2PM	Calcopirita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	32,0	0,1	0,0	1,6	29,6	4,6	3,7	28,4	0,0	0,0	100,0
Ponto_27	CoManga_26	Calcopirita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	31,6	0,0	0,0	1,7	32,7	0,0	0,0	33,9	0,0	0,0	100,0
ID PONTO	Amostra	Fase Mineral	O	Na	Mg	Al	Si	S	Ca	Ti	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	W	Soma
Ponto_28	CoManga_26	Calcopirita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	33,5	0,0	0,0	1,9	32,2	0,0	0,0	32,3	0,0	0,0	100,0
Ponto_29	CoManga_26	Calcopirita	0,0	0,0	0,0	1,0	1,1	33,0	0,2	0,0	3,1	27,4	1,6	3,2	25,5	0,0	0,0	96,1
Ponto_30	CoManga_26	Scheelita	17,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3	6,9	2,9	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	43,0	85,4
Ponto_31	CoManga_26	Scheelita	20,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,5	8,1	3,4	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	50,4	100,0