



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



FILIPPE EDUARDO MACIEL CUNHA

**CARACTERIZAÇÃO DA ASSEMBLEIA DE MINERAIS PESADOS DE
SAPRÓLITOS DA PORÇÃO BASAL DO GRUPO BOA VISTA DE MINAS,
NOROESTE DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, BRASIL**

MONOGRAFIA nº 562

Ouro Preto, 2025

Filipe Eduardo Maciel Cunha

Caracterização da assembleia de minerais pesados de saprólitos da porção basal do
Grupo Boa Vista de Minas, noroeste do Quadrilátero Ferrífero, Brasil

Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de Geologia da
Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro
Preto, como requisito parcial para avaliação da
disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC
401, ano 2025/2.

Orientadora: Cristiane Castro Gonçalves

Coorientador: Cassiano Costa e Castro

OURO PRETO

2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C972c Cunha, Filipe Eduardo Maciel.

Caracterização da assembleia de minerais pesados de saprólitos da porção basal do Grupo Boa Vista de Minas, noroeste do Quadrilátero Ferrífero, Brasil. [manuscrito] / Filipe Eduardo Maciel Cunha. - 2025. 70 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Cristiane Paula de Castro Gonçalves.

Coorientador: Dr. Cassiano Costa Castro.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Minerais pesados. 2. Terras raras. 3. Intemperismo - Saprólito. 4. Microscopia Eletrônica de Varredura. 5. Espectroscopia de Raio X. I. Gonçalves, Cristiane Paula de Castro. II. Castro, Cassiano Costa. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 551.311.23

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Filipe Eduardo Maciel Cunha

Caracterização da assembleia de minerais pesados de saprólitos da porção basal do Grupo Boa Vista de Minas, noroeste do Quadrilátero Ferrífero, Brasil

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

Aprovada em 29 de agosto de 2025

Membros da banca

Profa. Dra. - Cristiane Paula de Castro Gonçalves - Orientador(a) - Universidade Federal de Ouro Preto
Profa. Dra. Monica Pessoa Neves - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr. Gilvan Sá - Intertechne

Cristiane Paula de Castro Gonçalves, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 06/09/2025



Documento assinado eletronicamente por **Cristiane Paula de Castro Gonçalves, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/09/2025, às 11:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0974460** e o código CRC **66F88A0A**.

Dedico este trabalho a todos que, de alguma forma, me ajudaram e incentivaram ao longo dos anos.
Espero que ele seja útil e, de algum modo, contribua para tornar o mundo um lugar melhor.

Agradecimentos

A Engenharia Geológica é um curso repleto de desafios e aprendizados, capaz de proporcionar memórias marcantes e experiências singulares. Agradeço a todos que me acompanharam ao longo desta trajetória, não trazendo apenas respostas, mas sobretudo dúvidas que me instigaram a buscar e ampliar meu conhecimento durante esses anos. Agradeço em especial aos meus pais e irmãs, pelo apoio incondicional. Agradeço à minha orientadora, professora doutora Cristiane Castro Gonçalves, e ao meu coorientador, pesquisador Cassiano Costa e Castro, pelo auxílio e pela confiança ao longo dos anos de minha graduação. Estendo, ainda, meus agradecimentos ao pesquisador Renato Barros, pelo empenho e dedicação em apoiar este projeto. Sou igualmente grato às empresas ArcelorMittal – Maizières-les-Metz e Intertechne – Belo Horizonte, bem como a seus colaboradores, pelos valiosos conhecimentos adquiridos durante os estágios. À CPRM, agradeço pela infraestrutura laboratorial disponibilizada e pelo financiamento da coleta prévia das amostras. Registro, por fim, meu reconhecimento ao CNPq (processo 429072/2016-3), à bolsa de auxílio pesquisador da UFOP (processo 23109.016819/2023-81) e à FAPEMIG (projeto APQ-02529-24), pelo apoio financeiro concedido.

Resumo

Este trabalho apresenta a caracterização mineralógica e química de saprólitos do Grupo Boa Vista de Minas (GBVM), aflorante na região de Nova Serrana (MG), na borda sul do Cráton São Francisco. Foram coletadas 11 amostras em 10 pontos distintos, descritas macroscopicamente quanto à coloração e composição mineralógica. As amostras passaram por deslamagem, bateamento e separação magnética no separador isodinâmico Frantz, sob diferentes amperagens (0,3 A, 0,5 A, 0,75 A, 1,0 A e fração não atraível). Posteriormente, foram selecionados 123 grãos de interesse por catação manual, separados conforme sua resposta magnética, para análises subsequentes. As investigações mineralógicas foram realizadas por meio de lâminas petrográficas e microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersiva de raios-x (MEV-EDS). A metodologia incluiu duas etapas: na primeira, os grãos brutos foram analisados para caracterização morfológica, totalizando 50 análises; na segunda, os grãos foram embutidos em resina, polidos e metalizados, permitindo a realização de 233 microanálises químicas. Essa abordagem possibilitou a identificação de minerais instáveis ao intemperismo, como biotita, pirita e augita, além de minerais intermediários (granadas, muscovita, sillimanita) e estáveis, como zircão, turmalina, quartzo e rutilo evidenciando diferentes graus de preservação mineral em saprólitos. Os resultados demonstram a relevância dos minerais pesados como indicadores da evolução intempérica, da paragênese dos litotipos e de possíveis associações com mineralizações.

Palavras-chave: Saprólito; Minerais pesados; MEV-EDS; Intemperismo; Quadrilátero Ferrífero.

Abstract

This paper presents the mineralogical and chemical characterization of saprolites from the Boa Vista de Minas Group (GBVM), outcropping in the Nova Serrana region, Minas Gerais, on the southern edge of the São Francisco Craton. Eleven samples were collected from 10 different locations, and their color and mineralogical composition were macroscopically described. The samples underwent desliming, beating, and magnetic separation in a Frantz isodynamic separator at different amperages (0.3 A, 0,5 A, 0,75 A, 1,0 A, and non-attractable fraction). Subsequently, 123 grains of interest were selected by manual sorting and separated according to their magnetic response for subsequent analysis. Mineral investigations were performed using petrographic slides and scanning electron microscopy with energy-dispersive spectroscopy (SEM-EDS). The methodology included two stages: first, the raw grains were analyzed for morphological characterization, totaling 50 analyses; In the second stage, the grains were embedded in resin, polished, and metallized, allowing 233 chemical microanalyses to be performed. This approach enabled the identification of minerals unstable to weathering, such as biotite, pyrite, and augite, as well as intermediate minerals (garnets, muscovite, sillimanite) and stable minerals, such as zircon, tourmaline, quartz and rutile, highlighting varying degrees of mineral preservation in saprolites. The results demonstrate the relevance of heavy minerals as indicators of weathering evolution, lithotype paragenesis, and possible associations with mineralization.

Keywords: Saprolite; Heavy minerals; SEM-EDS; Weathering; Iron Quadrangle.

Lista de Figuras

Figura 1 - Localização da área de estudo, com destaque para as cidades proximais às regiões de coleta de amostras bem como em suas respectivas localizações.	15
Figura 2 – Localização da área de estudo em relação ao Cráton São Francisco.	17
Figura 3 – Relação tectônica geral, com destaque para a Folha Nova Serrana, na qual afloram o embasamento arqueano (Complexo Divinópolis) e Greenstone belts meso-neoarqueanos (SGRV).	18
Figura 4 - Exposições de saprólito em diferentes pontos de coleta utilizados para obtenção de minerais utilizados no presente trabalho. (A) RB-286; (B) RB-824; (C) RB-011; (D) RB-776; (E) RB-003; (F) RB-544.	23
Figura 5 - Exposições de saprólito em diferentes pontos de coleta utilizados para obtenção de minerais no presente trabalho. (A) RB-546; (B) RB-805A; (C) RB-946; (D) RB-915; (E) RB-805B.	24
Figura 6 – Fluxograma indicativo dos processos realizados ao longo do projeto.	25
Figura 7 - A) Imagem do processo de separação magnética utilizando o ímã de mão. B) Separação magnética utilizando o Frantz.	26
Figura 8 - Relação entre a susceptibilidade magnética por amostras. Destaque para a variação quantitativa de material, visualizada ao longo da variação das amperagens.	28
Figura 9 - Etapas do processo de separação dos minerais pesados. Em A, lupa binocular utilizada para a triagem dos grãos; (B) grãos concentrados dispostos em cápsula de Petri para análise inicial; (C) imagem sob lupa binocular evidenciando a diversidade mineralógica; (D) amostra final selecionada, contendo 123 grãos destinados às análises.	30
Figura 10 - Mapa geológico da área de estudo, destacando pontos de coleta, cidades próximas e geologia local.	31
Figura 11 - Fotomicrografia por microscopia eletrônica de varredura, detecção de elétrons secundários e elétrons retroespalhados. Dentro dos dois círculos, é possível identificar um intercrescimento secundário de muscovita em magnetita. Convenções: Ms-Muscovita e Mgt-Magnetita.	32
Figura 12 - Fotomicrografia por microscopia eletrônica de varredura, detecção de elétrons secundários e elétrons retroespalhados. Em A e B, é possível identificar que as análises espectrais deram resposta para ouro em grãos distintos de zircão.	33
Figura 13 - Fotomicrografia por microscopia eletrônica de varredura, detecção de elétrons secundários e elétrons retroespalhados. Em A, cristal de zircão. Em B, grão de muscovita. Em C e D magnetitas, na qual esta é pseudomorfa de pirita.	34

Figura 14 – Foto dos minerais identificados através de lâminas petrográficas visualizados em nicóis cruzados e descruzados. Em A e B, presença majoritária de anfibólios. Em C e D, almandina associada a hornblenda e outros anfibólios.....	35
Figura 15 - Fotomicrografia por microscopia eletrônica de varredura, detecção de elétrons secundários e elétrons retroespalhados. Em A e B, grãos de cromita e monazita respectivamente.	35
Figura 16 - Fotomicrografia por microscopia eletrônica de varredura, detecção de elétrons secundários e elétrons retroespalhados. Em A, imagem do cristal botroidal de hollandita (Hdl) em vista externa. Em B, imagem da mesma amostra polida, evidenciando inclusão central de cerianita (Cer) no núcleo da hollandita. Círculos e setas indicam pontos de análise por EDS (spectros 228–230).	36
Figura 17 – Imagens obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Em A, grão de epidoto com superfície irregular e fraturada. Em B, grão de hematita com morfologia anédrica a subédrica.....	37
Figura 18 - Imagens obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). (A) Cristal de pirita apresentando hábito euédrico com fraturas internas. (B) Grão de zircão subédrico, com bordas arredondadas e microfraturas.	38
Figura 19 - Fotomicrografias em lâmina delgada. Em (A) e (B) – nicóis cruzados e descruzados, evidenciando hornblenda subédrica a anédrica no centro do campo. Em (C) e (D) – detalhe de allanita associada a matriz máfico-mineral, sob nicóis cruzados e descruzados.....	38
Figura 20 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. (A) Cristal euédrico de magnetita com bordas parcialmente recobertas por óxidos de ferro (Fe_2O_3). (B) Associação textural entre grão de ilmenita (Ilm) e muscovita (Ms), esta última aparentemente tardia, envolvendo parcialmente o óxido.	39
Figura 21 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. Em A, Cristal de ilmenita sem polimento, evidenciando superfície irregular e fraturas. (B) Ilmenita embutida e polida, mostrando borda de alteração para caulinita e pontos de análise química. Em C, Cristal de magnetita sem polimento, preservando morfologia euédrica e bordas parcialmente corroídas. (D) Magnetita embutida e polida, com superfície plana para microanálise.....	41
Figura 22 - Imagem de elétrons retroespalhados (A) mostrando grão de magnetita com estrutura coronária. O espectro de EDS (B) obtido no ponto Spectrum 102 indica composição com Fe (47%), Al (27%), Si (25%) e traços de K, Cr e Ti, enquanto a borda (Spectrum 101) permanece composta majoritariamente por magnetita rica em ferro.	41
Figura 23 - Imagens obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). (A) Grão de zircão alongado, bem preservado, com bordas levemente arredondadas. (B) Grão de pirita com hábito anédrico.....	42

- Figura 24 - Imagem em luz refletida mostrando a relação textural entre pirita (Py) e magnetita (Mgt) em matriz opaca. A pirita exibe hábito subédrico a anédrico, enquanto a magnetita ocorre como intercrescimento parcial no contato com a pirita.....43
- Figura 25 - Fotomicrografias em lâmina delgada. (A) e (B) – nicóis descruzados e cruzados, respectivamente, mostrando agregado de biotita fortemente cloritizada e texturalmente 'explodida', associado a cristal prismático de hornblenda. (C) e (D) – nicóis descruzados e cruzados de assembleia máfica composta por piroxênios e anfibólios, exibindo contatos irregulares e intercrescimento com minerais acessórios, com diversos halos pleocróicos de zircão.....44
- Figura 26 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por microscopia eletrônica de varredura. (A) Conjunto de cristais de muscovita em estado bruto, sem polimento, mostrando hábito lamelar e empilhamento característico. (B) Amostra embutida e polida, com superfície preparada para microanálise pontual (Spectrum 211).45
- Figura 27 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. Em A, grão de quartzo (Qz) com borda de muscovita (Ms), evidenciando pontos de análise química (espectros 163 e 164). Em B, cristal euédrico de magnetita com faces bem desenvolvidas. Em C e D, grãos distintos de xenotímio com hábito bipiramidal típico do sistema tetragonal, preservando parcialmente as faces cristalinas apesar das irregularidades superficiais geradas durante a preparação.....46
- Figura 28 - Imagens de elétrons retroespalhados de um mesmo grão antes (A) e após (B) o polimento, evidenciando sua morfologia irregular. Em (C), espectro de EDS mostrando composição química com predomínio de Mn, além de Al e menores quantidades de Fe, Ba, Ni, Co, Si, Ti, Cu e P.47
- Figura 29 - Mapa de localização dos pontos de coleta (estrelas vermelhas) na região de Nova Serrana (MG), destacando as áreas de ocorrência de elementos terras raras (ETRs, em azul), ouro (em amarelo) e manganês (em cinza). As áreas delimitadas representam a concentração e a distribuição espacial dos principais minerais/elementos identificados. 52
- Figura 30 - Associação da composição química dos ETRs em relação ao xenotímio (y).....54

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Tabela de controle de massa amostral.....	25
Tabela 2 - Tabela de controle de peso por fração susceptibilidade magnética.....	28
Tabela 3 - Composição química dos grãos de monazita identificados em RB824.....	40
Tabela 4 - Composição química do xenotímio.....	46
Tabela 5 - Divisão dos minerais identificados por litologia.....	48
Tabela 6 - Minerais identificados, classificados segundo sua estabilidade intempérica (escala de 1 a 5, em que 1 = muito instável e 5 = altamente estável) e sua dureza Mohs. A tabela sintetiza a resistência mecânica e química dos minerais frente a processos metamórficos e intempéricos.....	53

Lista de Abreviaturas e Siglas

CPRM – Serviço Geológico Do Brasil;
SBG – Serviço Geológico Do Brasil;
GBVM – Grupo Boa Vista De Minas;
QF – Quadrilátero Ferrífero;
MEV – Microscópio Eletrônico De Varredura;
Eds – Espectroscopia De Energia Dispersiva De Raios-X;
FrX – Fluorescência De Raios-X;
Lamin – Laboratório De Análises Minerais (Sgb/Cprm);
UFOP-Universidade Federal De Ouro Preto;
SGRV-Supergrupo Rio Das Velhas;
CSF-Cráton São Francisco;
ETRs-Elementos Terras Raras;
A – Ampère;
LREE – Elementos Terras Raras Leves;
HREE – Elementos Terras Raras Pesados.

Sumário

1.	Introdução	13
1.1	Apresentação	13
1.2	Justificativa do Estudo.....	13
1.3	Objetivos.....	14
1.4	Localização e vias de acesso	14
1.4.1	Revisão bibliográfica.....	15
2	Contexto geológico regional.....	16
2.1	Cráton São Francisco.....	16
2.2	Complexo Divinópolis.....	19
2.3	Supergrupo Rio das Velhas (SGRV).....	19
2.4	Grupo Boa Vista de Minas	20
3	Materiais e Métodos	22
3.1.1	Coleta e preparação das amostras.....	22
3.1.2	Caracterização morfológica e mineralógica	29
4	Resultados.....	30
5	Discussão	48
6	Conclusão	55

1. Introdução

1.1 Apresentação

Considerados excelentes mecanismos para a decomposição química, os processos associados ao intemperismo são responsáveis pela desagregação física e a transformação dos minerais dos diferentes tipos de rocha, principalmente os considerados mais instáveis, como os feldspatos, as micas e os anfibólios. Porém, certos minerais são mais resistentes ao intemperismo químico e, por isso, podem permanecer preservados em saprólitos rochosos, sendo designados resistentes (Cidade *et al.*, 2020). A caracterização, por diversas técnicas, dos minerais resistentes ao intemperismo, principalmente aqueles com elevada densidade (comumente denominados minerais pesados), pode permitir uma compreensão mais aprofundada da paragéneses dos litotipos que compõem. Nas últimas décadas, o advento de imagens sofisticadas — como microscopia óptica e eletrônica de varredura (SEM) — e medições *in situ* por técnicas como XRD, EDS, microsonda eletrônica e análise isotópica, proporcionaram avanços notáveis no estudo de minerais pesados (Swarnkar *et al.*, 2024; Joshi *et al.*, 2021).

Os minerais pesados são utilizados na geologia para o estabelecimento de correlações estratigráficas (Pettijohn, 1941, 1975; Mange e Maurer, *et al.*, 1992), como indicadores da proveniência e de áreas-fonte de sedimentos (Mange e Morton, 2007; Krippner *et al.*, 2016), para a caracterização da evolução das condições intempéricas de ambientes (Morton e Smale, *et al.*, 1990) e, principalmente, como rastreadores de mineralizações (Parfenoff *et al.*, 1970); sendo excelentes indicadores da presença de minerais de interesse econômico em corpos rochosos. Neste trabalho, foram coletadas amostras de saprólitos da porção basal do Grupo Boa Vista de Minas (GBVM), que aflora na região a noroeste da província mineral do Quadrilátero Ferrífero (Barros *et al.*, 2025). Por meio da identificação da assembleia de minerais pesados presentes nas amostras, foi possível estabelecer uma correlação entre esta e a mineralogia dos litotipos constituintes das unidades geológicas aflorantes na área de estudo, bem como a ocorrência dos minerais pesados característicos dos saprólitos e sua possível distribuição no ambiente secundário.

1.2 Justificativa do Estudo

Os processos associados ao intemperismo têm grande relevância para a compreensão da evolução da paisagem, controlam mineralizações formadas por enriquecimento

supergênico e modificam a mineralogia e as propriedades físicas das rochas (Leão *et al.*, 2017). A região do estudo, na porção oeste de Minas Gerais, apresenta um padrão geomorfológico com predomínio de ambientes com altos índices de alteração intempérica, onde níveis espessos de solo são gerados. Contudo, trabalhos que abordem a caracterização da mineralogia de pesados em saprólitos com intuito de correlacioná-los com unidades geológicas mapeadas/conhecidas são escassos e pouco estudados.

1.3 Objetivos

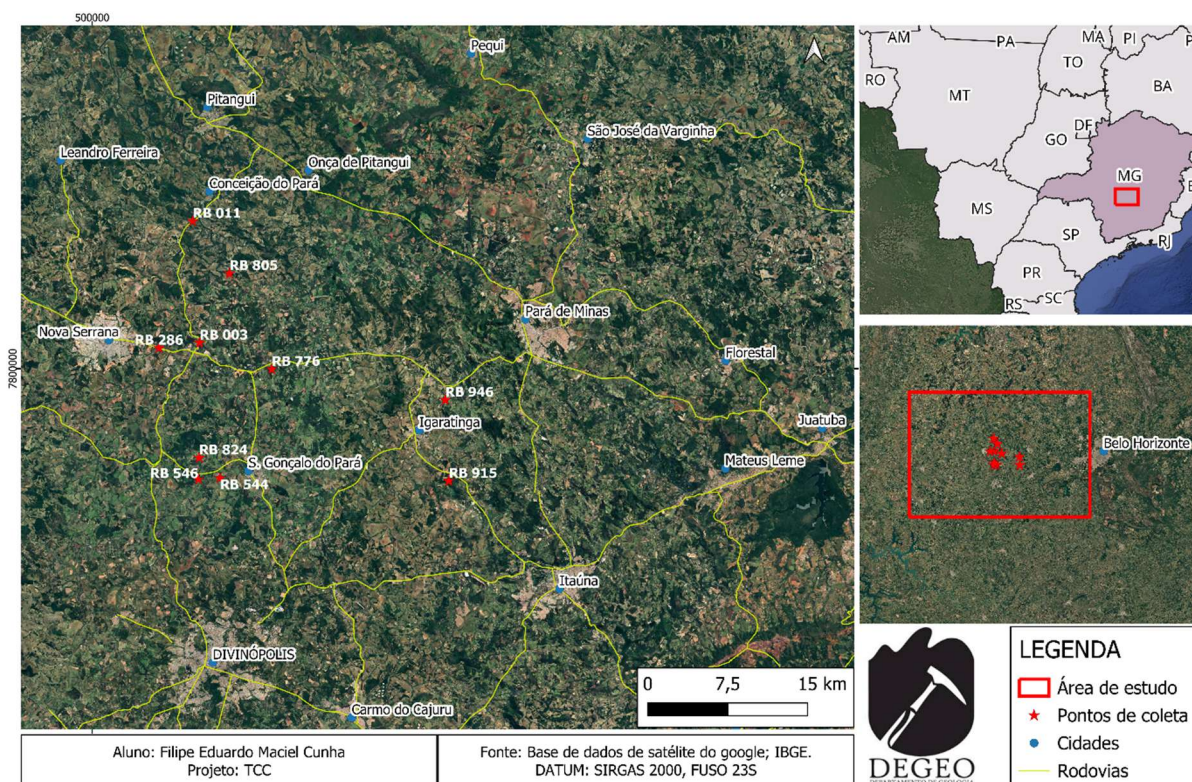
Tem-se como meta investigar a assembleia de minerais pesados de saprólitos oriundos da porção basal do Grupo Boa Vista de Minas (GBVM), Complexo Divinópolis, Diques Pará de Minas e Suíte Córrego Gaia, bem como em suas possíveis relações com rochas inalteradas destas litologias. Propõe-se para tal os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar a assembleia de minerais pesados de amostras de saprólitos das unidades descritas anteriormente;
- Determinar morfologicamente os principais minerais pesados desta assembleia através de microscopia eletrônica de varredura (MEV);
- Caracterizar quimicamente os principais minerais pesados e suas inclusões sólidas através de microanálises químicas pelo sistema MEV-EDS (espectroscopia de energia dispersiva de raios-X);
- Através da determinação da assembleia de minerais pesados dos saprólitos, discutir provável rocha que os originou, tendo como base lâminas petrográficas do Grupo Boa Vista de Minas, em especial da Formação Nova Serrana e Complexo Divinópolis.

1.4 Localização e vias de acesso

A região estudada está situada a NW do Quadrilátero Ferrífero, na porção centro-oeste de Minas Gerais, localizada na Folha NOVA SERRANA SE-23-Z-C-IV-3. É uma região onde os acessos são variados e de boa qualidade, com muitas estradas pavimentadas e alto tráfego de pessoas e mercadorias, já que a região está localizada na estrada que liga Belo Horizonte com a região oeste de Minas Gerais. Os pontos de coleta estão situados a leste pelas cidades de Pará de Minas e Itaúna, a sul por Divinópolis e a norte por Nova Serrana (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área de estudo, com destaque para as cidades proximais às regiões de coleta de amostras bem como em suas respectivas localizações.



Fonte: Base de dados de satélite do google.

1.4.1 Revisão bibliográfica

Para a elaboração do presente estudo, foi realizada uma revisão da literatura acerca da Folha Pará de Minas (escala 1:100.000; Romano, 2007) e Folha Nova Serrana (escala 1:50.000; Barros, 2025), com enfoque na porção basal do Grupo Boa Vista de Minas (GBVM) (Barros *et al.*, 2025) bem como no Complexo Divinópolis e litologias adjacentes. Devido ao fato de a região de estudo estar situada sob a porção meridional do Cráton São Francisco, também foram utilizados estudos das regiões limítrofes da porção oeste da Faixa Araçuaí como em Pedrosa Soares *et al.*, (2007). Foi abordado também, o Supergrupo Rio das Velhas, uma vez que ele aflora na porção sudoeste da área de estudo. Para tal, foi realizada a revisão de trabalhos anteriores, dentre os quais destacam-se trabalhos de conclusão de curso, teses de mestrado e doutorado, além de artigos científicos, com enfoque na geologia regional e metalogênese da região de estudo.

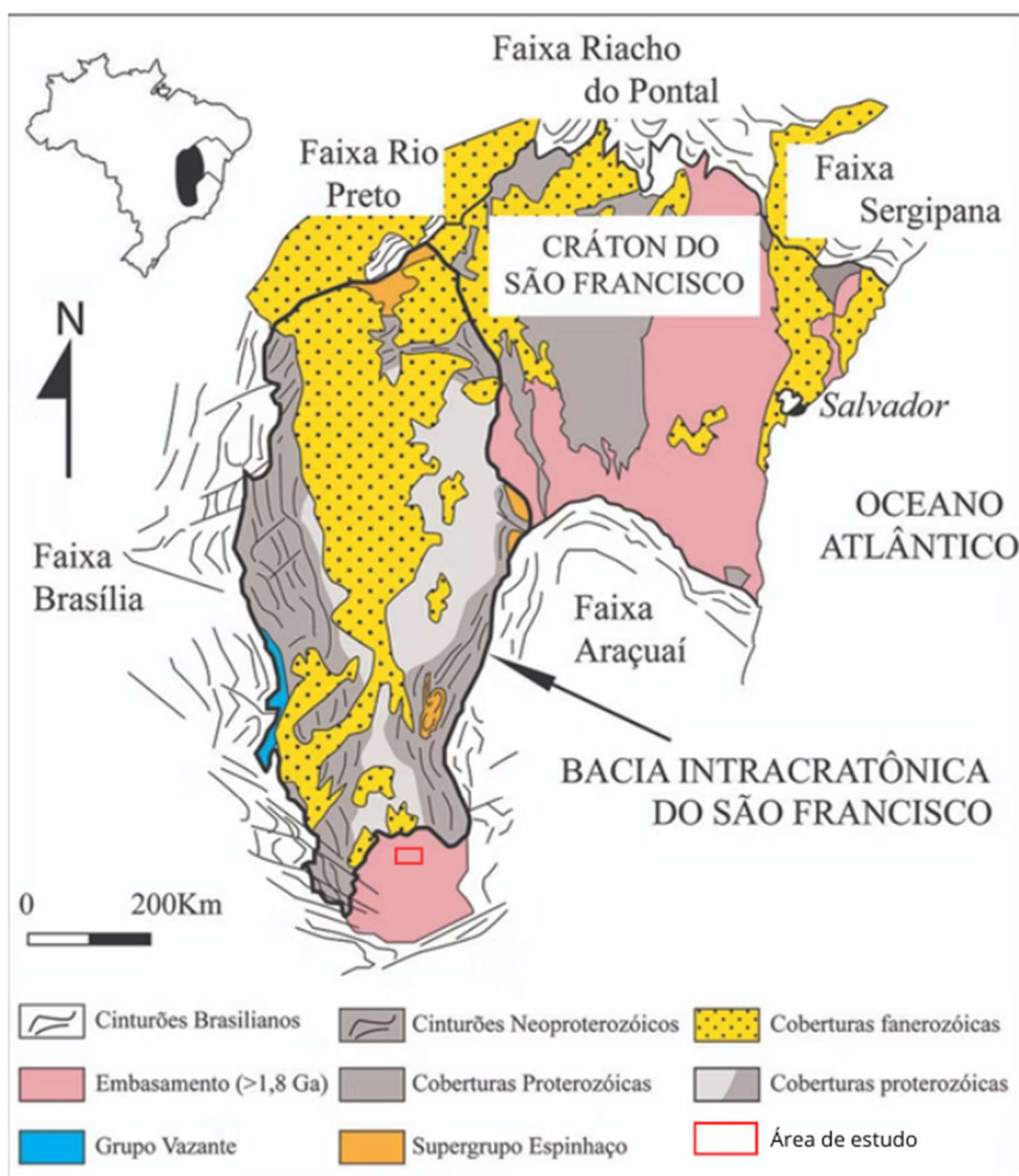
2 Contexto geológico regional

2.1 Cráton São Francisco

Como descrito por Cordani (2017), o Cráton do São Francisco representa o núcleo antigo mais estudado de toda a Placa Sul-Americana, incluindo importantes segmentos arqueanos na sua porção meridional (Teixeira *et al.*, 1985). O embasamento desta região é formado por terrenos granito-gnáissicos arqueanos e *greenstone belts*, recobertos por sucessões sedimentares neoproterozóicas, como as unidades do Grupo Bambuí, definidas por Dorr II (1969) e amplamente descritas por Almeida (1977). O Cráton pode ser delimitado com base nas variações da deformação das rochas supracrustais e envolvimento do embasamento cratônico pela Orogênese Brasileira (e.g., Almeida 1977, Alkmim *et al.* 1993). O substrato cratônico é constituído por um complexo arranjo de terrenos metamórficos de alto a médio grau (gnáisses, metagranitoides e granulitos) geralmente de composição TTG de idade arqueana, associações do tipo granito-*greenstone*, complexos máfico-ultramáficos e granitoides sin e pós-tectônicos (Teixeira *et al.*, 2000; Barbosa *et al.*, 2012). O embasamento arqueano do Cráton do São Francisco aflora em suas porções sul e norte, estando a área em estudo relacionada à porção sul (Figuras 2 e 3), na qual se encontram os complexos do Bação, Belo Horizonte, Divinópolis, Caeté, Santa Bárbara e Bonfim, constituídos por granitos-gnáisses e associações TTG (tonalitos–trondhjemitos–granodioritos) (Araújo *et al.*, 2020; Marinho *et al.*, 2023).

Episódios de deformação e retrabalhamento crustal associados ao evento Transamazônico são registrados na porção sul do Cráton do São Francisco (Machado *et al.*, 1992; Alkmim & Marshak, 1998), com estruturas como dobras vergentes para noroeste e zonas de cisalhamento que afetaram o embasamento arqueano e suas coberturas. Esse arcabouço foi posteriormente sobreposto pelo evento Brasileiro, cujos efeitos, segundo Dardenne (2000), “afetaram principalmente a porção oeste da Bacia do São Francisco, gerando estruturas de encurtamento e de acomodação associadas ao soerguimento da Faixa Brasília. No interior do cráton, os efeitos foram mais suaves, refletindo-se em fraturamento e basculamento de blocos da cobertura neoproterozóica”. O Grupo Bambuí, que “registra a evolução de uma bacia do tipo foreland formada em resposta à colisão neoproterozóica responsável pela Faixa Brasília” (Alkmim & Martins-Neto, 2001), apresenta nessa região feições extensionais, como falhas normais e basculamento de blocos (Martins-Neto & Alkmim, 2001).

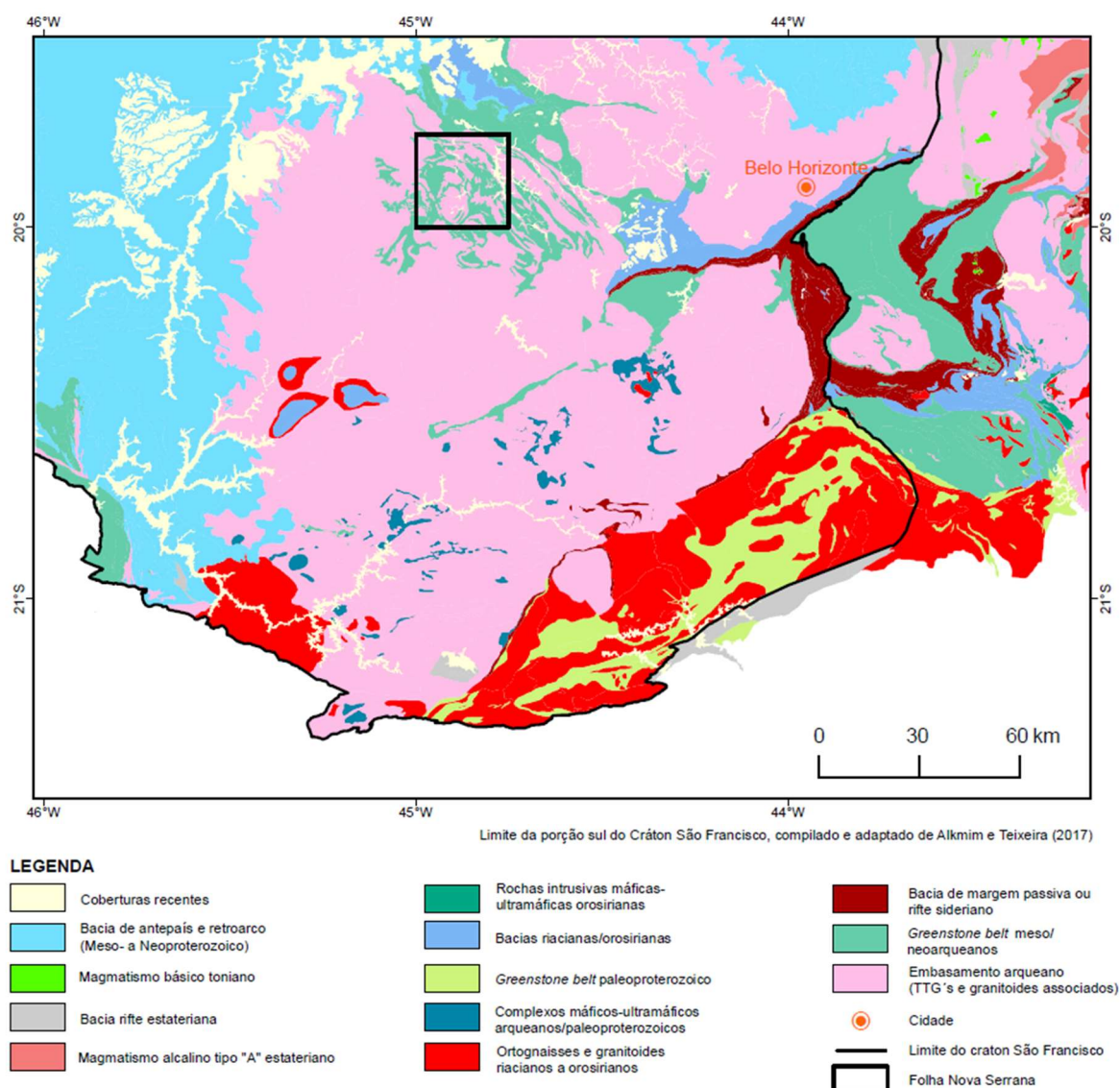
Figura 2 – Localização da área de estudo em relação ao Cráton São Francisco.



Fonte: Modificado de Alkmin e Martins Neto (2001).

Nesse contexto, destaca-se, na área de estudo, o Lineamento Pitangui que, embora não tenha expressão regional para ser representado na escala do mapa da figura 3, tem relevância estratégica para a compreensão estrutural da Folha Nova Serrana. Inicialmente descrito por Romano & Noce (1995) como Lineamento Pitangui-Congonhas e redefinido por Romano & Paiva (1997), trata-se de um importante zona de cisalhamento interpretada como sutura paleoproterozoica entre dois núcleos crustais arqueanos (Carneiro & Barbosa, 2005; Pinto, 2009). Modelos geofísicos baseados em dados gravimétricos e eletromagnéticos corroboram a presença de estruturas crustais profundas associadas a este lineamento. Romano *et al.* (2006)

Figura 3 – Relação tectônica geral, com destaque para a Folha Nova Serrana, na qual afloram o embasamento arqueano (Complexo Divinópolis) e Greenstone belts meso-neoarqueanos (SGRV).



Fonte: Extraído de Barros, R.A. Carta geológica da Folha Nova Serrana (2025). (adaptado de Alkmim & Teixeira, 2017).

propuseram a compartimentação do embasamento cratônico em dois domínios, norte e sul, separados pelo Lineamento Pitangui. Na área da folha Nova Serrana, com exceção de uma estreita faixa próxima a São José da Varginha (Figura 1), o embasamento mapeado situa-se ao sul desse lineamento, desde o sudeste de Pará de Minas até o noroeste de Conceição do Pará (Figura 1), coincidindo com o limite do Supergrupo Rio das Velhas. A região também é marcada pelo Sinclinório de Pitangui, uma megaestrutura sinformal com eixos NW–SE, caracterizada por sinformes paralelos delimitados por domos gnáissicos e intrusões graníticas em batólitos (Soares *et al.*, 2017; Marinho *et al.*, 2023).

2.2 Complexo Divinópolis

O embasamento arqueano na região noroeste do Quadrilátero Ferrífero corresponde ao Complexo Divinópolis, composto principalmente por gnaisses e migmatitos do tipo TTG (tonalito-trondhjemitó-granodiorito) e granitos neoarqueanos, que margeiam e compartimentam os cinturões *greenstone* da área (Marinho *et al.*, 2023; Noce *et al.*, 2000). Estudos geoquímicos e isotópicos indicam idades de cristalização dos gnaisses entre 2,91 e 2,76 Ga, com registros de migmatização e metamorfismo de 2,76 a 2,63 Ga, além de heranças arqueanas mais antigas, até 3,20 Ga, refletindo uma história evolutiva marcada por múltiplos eventos tectono-magmáticos (Marinho *et al.*, 2023). O Complexo Divinópolis apresenta ainda granitoides intrusivos resultantes do retrabalhamento da crosta TTG no Neoarqueano, com idades U-Pb variando de 2,78 a 2,60 Ga (Noce *et al.*, 2000; Marinho *et al.*, 2023). Essas características reforçam o papel do Complexo como embasamento estrutural e fonte de material crustal para as sucessões supracrustais arqueanas do Quadrilátero Ferrífero, sendo fundamental para a compartimentação e preservação dos *greenstone belts* da região (Marinho *et al.*, 2023).

2.3 Supergrupo Rio das Velhas (SGRV)

Apesar do embasamento cristalino arqueano compor majoritariamente a área em estudo, também afloram rochas pertencentes ao Supergrupo Rio das Velhas (SGRV) (Figura 3). Este que teve a sua divisão estratigráfica proposta por (Loczy & Ladeira 1976), sendo formulada inicialmente por Dorr (1957) que o definiu como “Série Rio das Velhas”, subdividindo-o nos grupos Nova Lima, inferior, e Maquiné, superior, agrupando, respectivamente, as sequências metavulcano-sedimentar e metassedimentar clástica.

A caracterização do SGRV como um cinturão *greenstone* se deve a Schorscher (1976) e Almeida (1976). O SGRV representa um *greenstone belt*, composto essencialmente por rochas metassedimentares e metavulcânicas (Almeida *et al.*, 1976). A formação do SGRV teve início em uma bacia vulcanossedimentar, caracterizada pela presença abundante de rochas vulcânicas arqueanas, que evoluíram para uma bacia com atividade vulcânica reduzida ou inexistente. Posteriormente, essas unidades passaram por um processo de orogênese, que envolveu metamorfismo e deformação que deram origem a diferentes tipos de xistos.

Os depósitos de ouro mais significativos da região do Quadrilátero Ferrífero estão contidos na sua unidade basal, o Grupo Nova Lima, formado por rochas vulcânicas e sedimentares metamorfizadas em baixo grau, predominantemente basalto, podendo apresentar características komatiíticas ou toleíticas. Dentre as rochas sedimentares notáveis, destacam-se os metapelitos, ricos em argila e silte, BIF (formados por quartzo e hematita-magnetita) e quartzitos (arenitos metamórficos) (Alkmim & Marshak, 1998).

2.4 Grupo Boa Vista de Minas

A região na qual as amostras deste projeto foram coletadas é caracterizada por uma grande variedade de litotipos, com predomínio de gnaisses, migmatitos e granitoides (Romano *et al.*, 2007), com destaque para as ocorrências de agalmatolitos, rochas peraluminosas, de significativa raridade no Brasil (Romano & Araujo *et al.* 2018), no domínio do embasamento cratônico, incluída no Complexo Divinópolis (Machado Filho *et al.*, 1983; Teixeira *et al.*, 1996) e Grupo Boa Vista de Minas (GBVM).

O Grupo Boa Vista de Minas (GBVM), definido recentemente por Barros *et al.* (2025), constitui uma sequência metavulcano-sedimentar arqueana que apresenta forte correlação estratigráfica e temporal com o Grupo Pitangui, ambos correlacionados ao Supergrupo Rio das Velhas. Essa associação reflete a complexa evolução tectono-magmática e sedimentar registrada no setor norte do Complexo Divinópolis, onde o GBVM ocorre como bandas metamórficas de fácies anfíbolito a granulito. Tais bandas, geralmente dobradas, deformadas e parcialmente dissecadas, encontram-se dispostas em estruturas do tipo “keel-shaped”, embutidas em domos de metagranitos e migmatitos. Essa configuração estrutural evidencia não apenas a intensidade do tectonismo atuante durante sua história, mas também a ação de processos posteriores de intemperismo, que dificultam a preservação integral de sua arquitetura original (Barros *et al.*, 2025).

A organização interna do GBVM é marcada por três formações principais, que se distribuem em uma sucessão vertical representativa da evolução magmática e sedimentar de um cinturão *greenstone* em condições de metamorfismo de alto grau:

Formação Nova Serrana (base do grupo) – Constitui o embasamento vulcano-sedimentar do GBVM e é composta predominantemente por anfíbolitos e granulitos máficos (metabasitos), além de rochas metaultramáficas. São comuns xistos ricos em cummingtonita e cordierita-antofilita, interpretados como metagrauvacas vulcanogênicas imaturas, que indicam contribuição expressiva de material piroclástico e vulcanoclástico em um ambiente subaquático ativo. A análise U-Pb em zircão obtida de amostras desses xistos sugere uma idade máxima de deposição em torno de 2,82 Ga, registrando um dos principais pulsos magmáticos dessa bacia arqueana. Essa formação representa a base máfica-ultramáfica típica dos *greenstone belts*, sendo fundamental para compreender a interação entre processos mantélicos e sedimentação inicial.

Formação Córrego do Cedro (nível intermediário) – Intercalada na sequência basal, esta formação é marcada pela presença de formações ferríferas com ortopiroxênio e de metacherts ferruginosos. Esses depósitos químicos refletem um intervalo de sedimentação exalativa

associado à atividade hidrotermal submarina, típica de ambientes de arco e bacia vulcânica no Arqueano. Sua posição estratigráfica é crucial, pois funciona como um horizonte guia que separa as rochas máficas-ultramáficas da Formação Nova Serrana das unidades mais diferenciadas que lhe sucedem. Além do valor estratigráfico, essas camadas fornecem informações geoquímicas e paleoambientais essenciais, representando registros de processos metalogênicos semelhantes aos documentados em outras formações ferríferas arqueanas do Quadrilátero Ferrífero (Barros *et al.*, 2025).

Formação Igaratinga (topo do grupo) – Representa a unidade superior da sequência e é caracterizada por uma grande diversidade litológica. São comuns rochas cálcio-silicáticas, anfibolitos, granulitos máficos, gnaisses sillimaníticos e rochas metaultramáficas, ocorrendo ainda frequentes lentes de granulitos biotita-ortopiroxênio. A geocronologia U-Pb em zircão dessas litologias indica idade máxima de deposição em torno de 2,72 Ga, revelando um segundo grande evento deposicional. Além disso, muitos cristais de zircão apresentam bordas rejuvenescidas com luminescência clara, registrando um evento de metamorfismo de alto grau em aproximadamente 2,0 Ga, associado à Orogenia Minas-Bahia. A geoquímica das rochas da Formação Igaratinga exhibe padrões de enriquecimento em elementos terras raras leves (LREE), com depleções em Nb-Ta-Ti e variações em Th/Nb, características de ambientes relacionados à interação entre plumas mantélicas enriquecidas e arcos vulcânicos (Barros *et al.*, 2025).

A comparação entre as Formações Nova Serrana e Igaratinga mostra grande semelhança em termos litogeoquímicos e geoquímicos, reforçando a interpretação de que ambas foram formadas em ambientes controlados pela interação de fontes mantélicas e tectônicas de arco. Nesse sentido, o Grupo Boa Vista de Minas é entendido como um equivalente metamórfico de alto grau do *Greenstone belt* Pitangui, indicando que os efeitos do evento tectono-termal da Orogenia Minas-Bahia se estenderam até o limite setentrional do Complexo Divinópolis, em proporção mais ampla do que se supunha anteriormente (Barros *et al.*, 2025).

3 Materiais e Métodos

Para a execução do projeto em questão, foram seguidas algumas etapas específicas, que foram detalhadas abaixo.

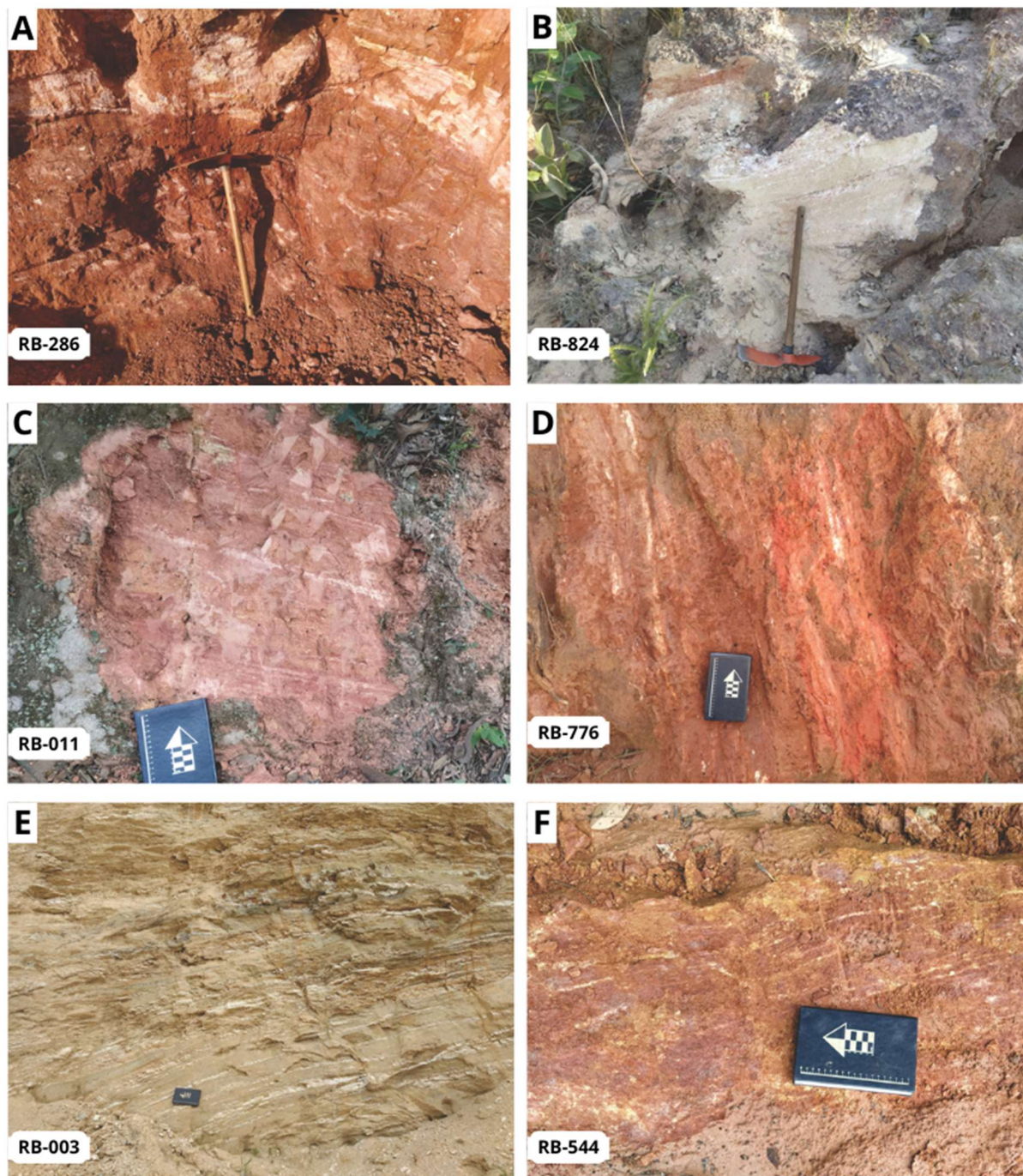
3.1.1 Coleta e preparação das amostras

A base de dados utilizada para a pesquisa é do Serviço Geológico do Brasil, construída em campanha de campo a partir da qual foram coletadas onze amostras em dez localizações distintas de saprólitos do GBVM, nas proximidades da cidade de Nova Serrana. A coleta dos saprólitos foi realizada com auxílio de um sacho onde primeiramente foi removida toda superfície ou capa de alteração e vegetação. Em seguida, a amostra de saprólito foi coletada utilizando-se um balde “tipo de obra” de 12 litros. Para cada estação coletou-se um balde de material.

Por fim, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos grandes, identificadas e lacradas. No total, foram coletadas 11 amostras para os 10 pontos de coleta, os quais foram descritos macroscopicamente, com enfoque em sua composição mineralógica e coloração. As Figuras 4 (A-F) e Figuras 5 (A-E) evidenciam o contraste de colorações, feições e estruturas dos pontos de coleta, destacando que tais saprólitos demonstram características distintas entre suas unidades geológicas.

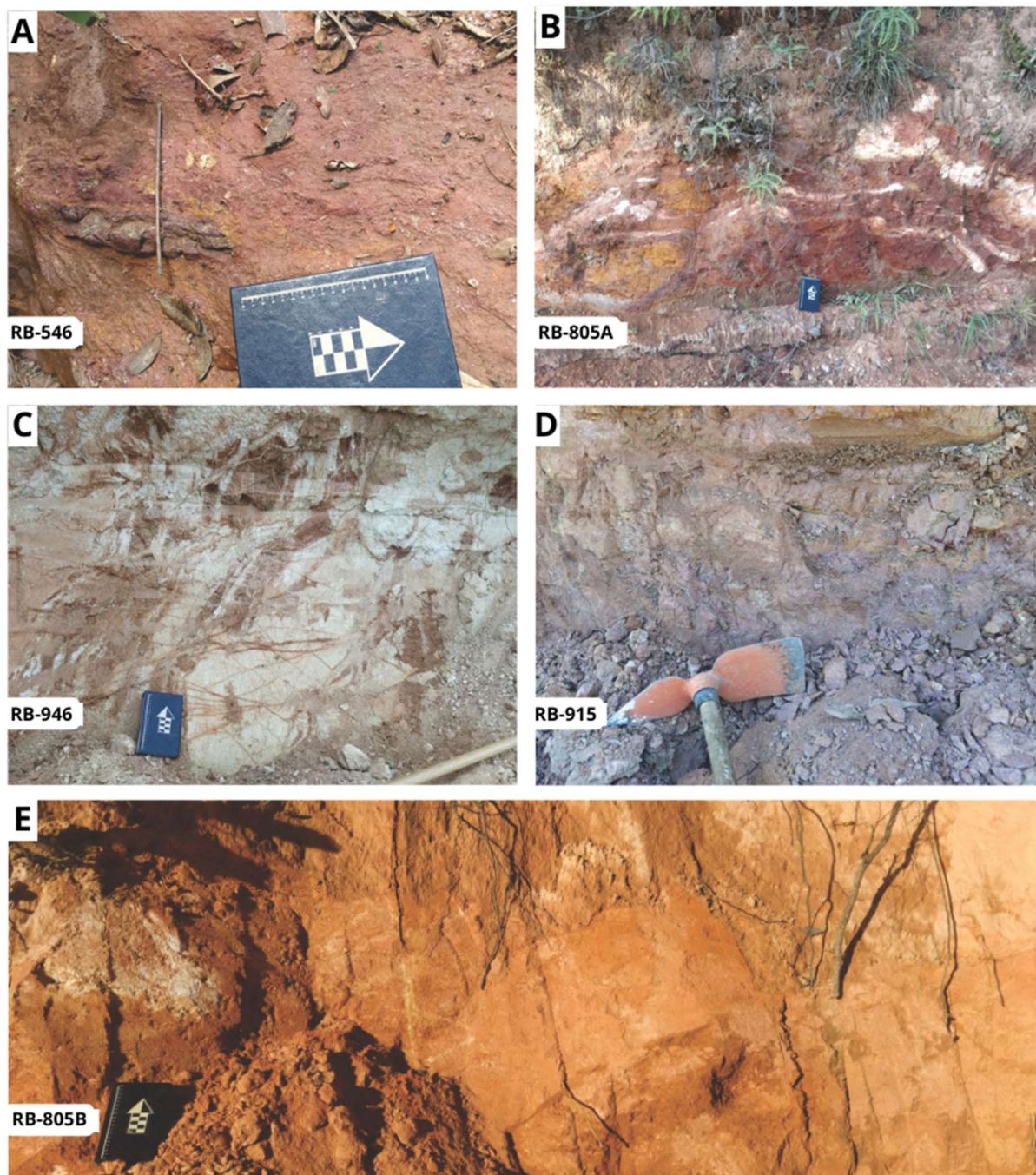
Após a seleção de onze amostras para o trabalho, deu-se início às etapas laboratoriais no LAMIN (Laboratório de Análises Minerais) que pertence ao Serviço Geológico do Brasil SGB/CPRM, localizado na cidade de Caeté, MG. Esta etapa de análise laboratorial teve início com a obtenção dos pesos de todas as amostras. Em seguida, as amostras foram deslamadas para a remoção da fração silte e argila e ao término foram novamente pesadas. As amostras foram então bateadas. Já as frações pesadas seguiram para o processo de separação magnética. A metodologia utilizada está descrita no fluxograma abaixo (Figura 6).

Figura 4 - Exposições de saprólito em diferentes pontos de coleta utilizados para obtenção de minerais utilizados no presente trabalho. (A) RB-286; (B) RB-824; (C) RB-011; (D) RB-776; (E) RB-003; (F) RB-544.



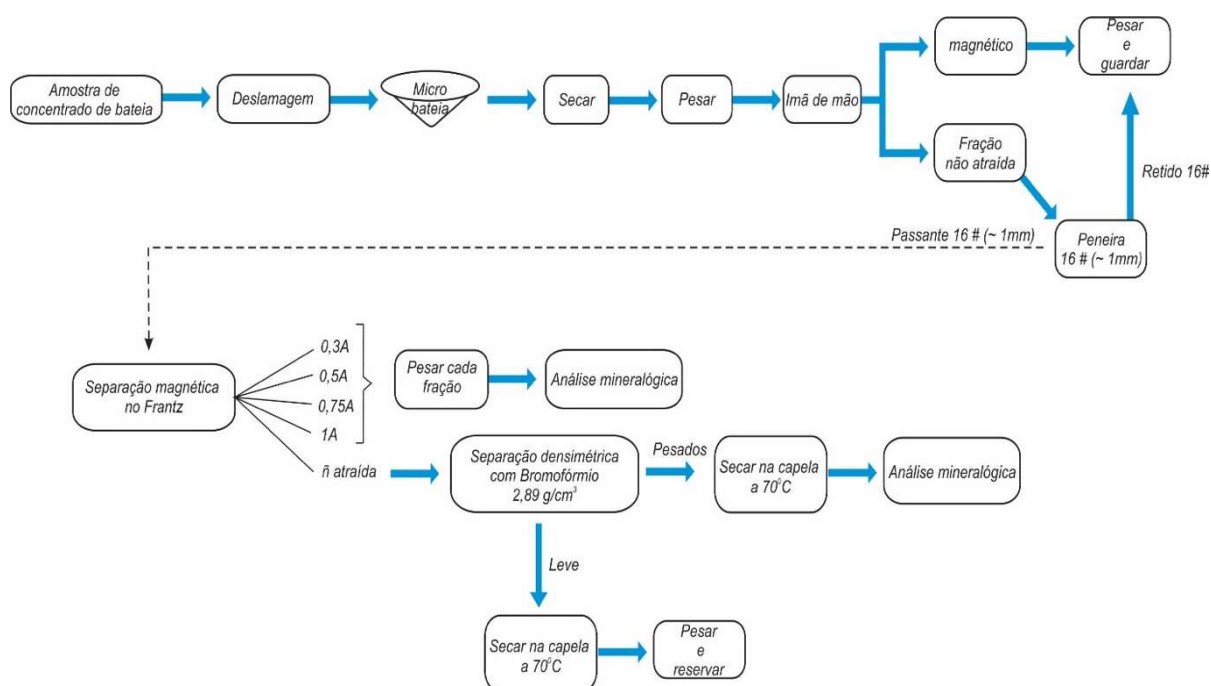
Fonte: Imagens cedidas pela Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Figura 5 - Exposições de saprólito em diferentes pontos de coleta utilizados para obtenção de minerais no presente trabalho. (A) RB-546; (B) RB-805A; (C) RB-946; (D) RB-915; (E) RB-805B.



Fonte: Imagens cedidas pela Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Figura 6 – Fluxograma indicativo dos processos realizados ao longo do projeto.



Fonte: Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

As amostras dos concentrados do bateamento seguiram para a etapa de microbateamento, onde foi possível separar os concentrados em duas frações (pesadas e leves), tendo novamente ao final deste processo o controle de massa aferido utilizando a balança de precisão. As frações leves foram armazenadas e guardadas em recipientes identificados (Tabela 1).

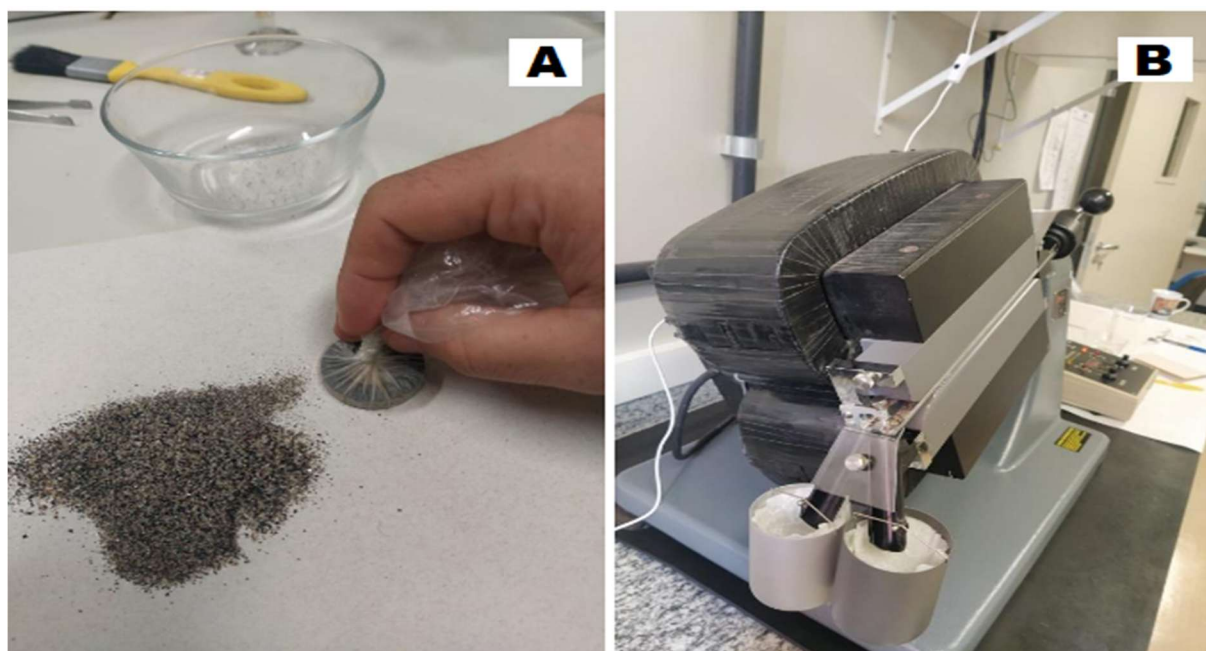
Tabela 1 - Tabela de controle de massa amostral.

Nº DE CAMPO	Peso Inicial (Kg)	Amostra Deslamada (Kg)	Amostra Bateamento (g)	Amostra Microbateamento	
				Leve (g)	Pesado (x)
4453-RB-R-003	13,645	11,700	852,123	741,353	110,770
4453-RB-R-011	12,500	5,350	353,925	34,765	0,6275
4453-RB-R-286	13,360	4,400	855,373	852,293	0,3080
4453-RB-R-544	13,900	4,900	132,435	119,2	132,350
4453-RB-R-546	14,075	4,250	560,694	528,742	31,952
4453-RB-R-776	11,650	6,500	782,816	777,657	0,5159
4453-RB-R-805A	12,800	7,100	952,721	854,608	98,113
4453-RB-R-805B	12,500	4,000	414,187	370,386	43,801
4453-RB-R-824	13,160	10,000	1,063,262	852,164	211,098
4453-RB-R-915	12,600	5,800	50,038	462,553	37,827
4453-RB-R-746	19,900	5,050	895,415	893,638	0,1777

Fonte: Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

A etapa de separação magnética iniciou-se utilizando o imã de mão para remoção dos minerais magnéticos, como por exemplo, magnetita e pirrotita. Estas amostras foram posteriormente levadas para separação magnética, através do uso do separador isodinâmico Frantz nas amperagens de 0,3A, 0,5A, 0,75A e 1,0A (Figura 7A-B).

Figura 7 - A) Imagem do processo de separação magnética utilizando o imã de mão. B) Separação magnética utilizando o Frantz.



Fonte: Autor.

Após a separação magnética, o material resultante da separação em cada condição de amperagem foi reservado em frascos devidamente etiquetados (Figura 8 - Relação entre a susceptibilidade magnética por amostras. Destaque para a variação quantitativa de material, visualizada ao longo da variação das amperagens.



). O material não atraído pelo Frantz ou imã de mão ficou na porção dos não atraíveis. Na Tabela 2, é possível identificar a relação das amostras por susceptibilidade magnética.

Figura 8 - Relação entre a susceptibilidade magnética por amostras. Destaque para a variação quantitativa de material, visualizada ao longo da variação das amperagens.



Fonte: Autor.

Tabela 2 - Tabela de controle de peso por fração susceptibilidade magnética

Nº DE CAMPO	Mag (g)	0,3A (g)	0,5A (g)	0,75A (g)	1A (g)	Não Atraível (g)
4453-RB-R-003	60,306	10,674	10,268	0,9926	0,9828	0,9768
4453-RB-R-011	0,041	0,0051	0,0109	0,0153	0,0047	0,5505
4453-RB-R-286	0,052	0,0069	0,0363	0,0492	0,0966	0,067
4453-RB-R-544	0,0504	122,132	0,7851	0,0228	0,0539	0,1096
4453-RB-R-546	0,1075	0,3166	14,264	0,987	0,1845	0,1732
4453-RB-R-776	0,0209	0,1008	0,1216	0,1556	0,0499	0,0671
4453-RB-R-805A	66,109	1,141	0,8777	0,2554	0,6118	0,3145
4453-RB-R-805B	0,0214	0,043	0,2922	12,853	2,621	0,1172
4453-RB-R-824	206,976	0,1283	0,0678	0,0725	0,0368	0,1068
4453-RB-R-915	0,034	0,0519	34,877	0,1317	0,0318	0,0456
4453-RB-R-946	0,028	0,0199	0,052	0,018	0,0197	0,0401

Fonte: Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

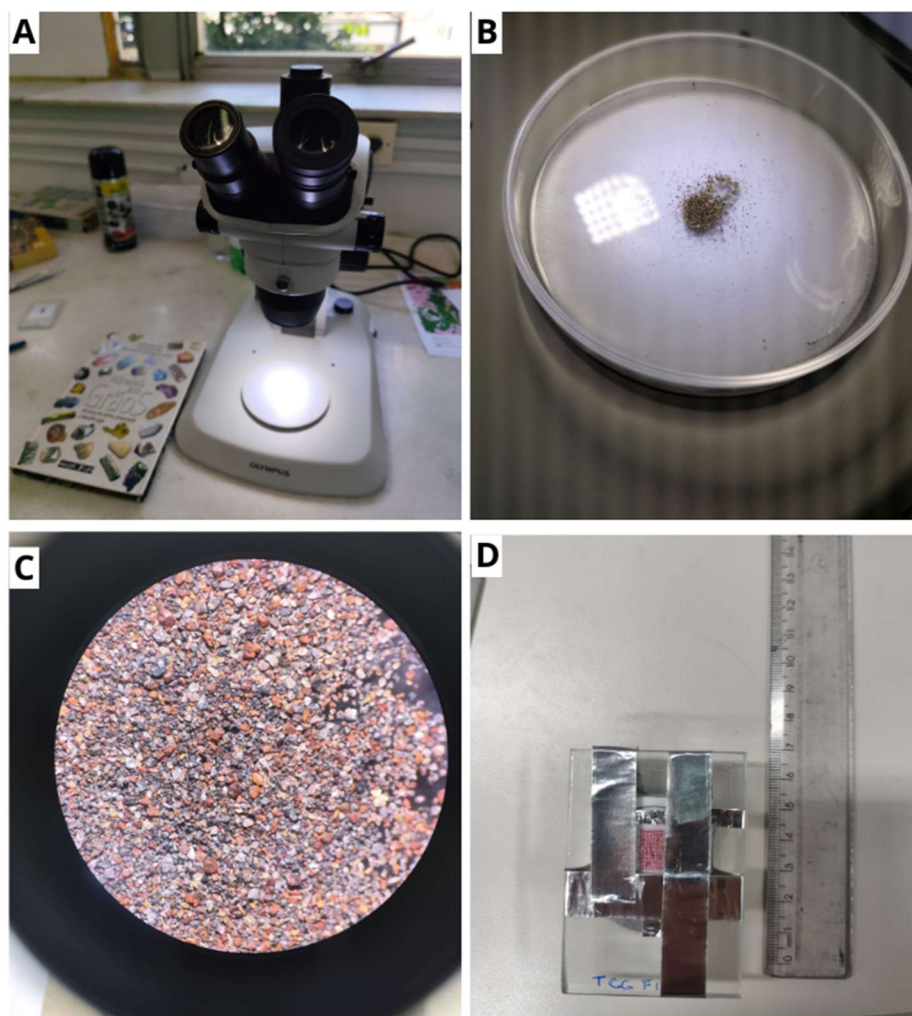
Posteriormente, foi realizado um trabalho de catação manual dos grãos, executado no laboratório de petrografia macroscópica do SGB/CPRM, localizado na cidade de Belo Horizonte. Desta forma, foram selecionados com o auxílio de uma lupa binocular e pinça, 123 grãos de interesse, que variavam entre as etapas de separação sob 0.3, 0.5, 0.7, 1.0 A e os não suscetíveis (Figura 9A-D).

Os minerais foram agrupados e fixados em lâmina de vidro que posteriormente foi analisada por MEV-EDS, fase que se dividiu em duas etapas. A primeira consistiu na análise/imageamento dos grãos brutos, para caracterização de suas feições morfológicas. Na segunda fase, os grãos foram embutidos em resina, formando pastilhas que foram desbastadas, polidas e metalizadas, a fim de se ter superfície plana, recoberta com material condutor para análises via MEV-EDS. Todo processo de preparação das amostras, com exceção da metalização, foi realizado na LAMIN (Laboratório de Análises Minerais) que pertence ao Serviço Geológico do Brasil SGB/CPRM, localizado na cidade de Caeté, MG.

3.1.2 Caracterização morfológica e mineralógica

A caracterização por Microscopia Eletrônica de Varredura com espectroscopia de energia dispersiva de Raios-X (MEV-EDS) foi realizada no Laboratório de Microscopia e Microanálises, DEGEO-EM-UFOP (LMic), utilizando um microscópio eletrônico de varredura com detector EDS. Essa técnica combina imagens em alta resolução dos grãos analisados com a análise química pontual, permitindo a identificação e quantificação dos elementos presentes. A técnica de MEV-EDS é especialmente útil na análise mineralógica, pois facilita a identificação de minerais através da detecção de seus constituintes químicos. Foram realizadas também, análises de lâminas petrográficas de litotipos pertencentes ao Grupo Boa Vista de Minas, a fim de se estabelecer uma correlação entre os minerais identificados e a mineralogia dos litotipos presentes na referida unidade.

Figura 9 - Etapas do processo de separação dos minerais pesados. Em A, lupa binocular utilizada para a triagem dos grãos; (B) grãos concentrados dispostos em cápsula de Petri para análise inicial; (C) imagem sob lupa binocular evidenciando a diversidade mineralógica; (D) amostra final selecionada, contendo 123 grãos destinados às análises.



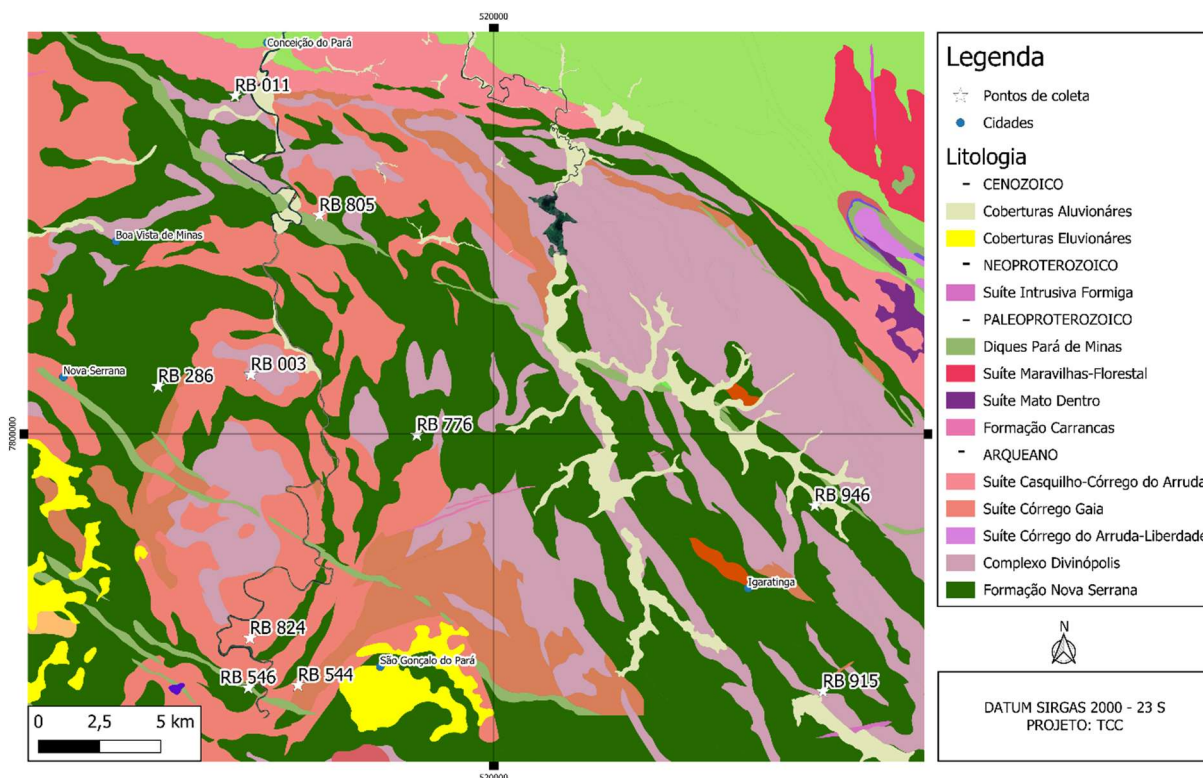
Fonte: Autor.

4 Resultados

Após a realização das análises MEV-EDS e descrição das lâminas petrográficas, deu-se início a correlação dos minerais identificados com a geologia local. No total, foram realizadas 50 análises morfológicas nas amostras sem polimento e 233 microanálises química nas mesmas

amostras após embutimento e polimento. Os dez pontos de coleta foram agrupados e separados de acordo com a sua localização em relação geologia local, conforme visualizado na Figura 10.

Figura 10 - Mapa geológico da área de estudo, destacando pontos de coleta, cidades próximas e geologia local.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CPRM (2025).

Os minerais descritos a seguir, apesar de separados por susceptibilidade magnética, estão agrupados, para melhor visualização do todo.

I. Formação Nova Serrana

É descrita na literatura como uma unidade predominantemente máfica/ultramáfica, que inclui metabasitos, granulitos máficos, cummingtonítica xistos e rochas portadoras de cordierita e antofilita (Barros *et al.*, 2025).

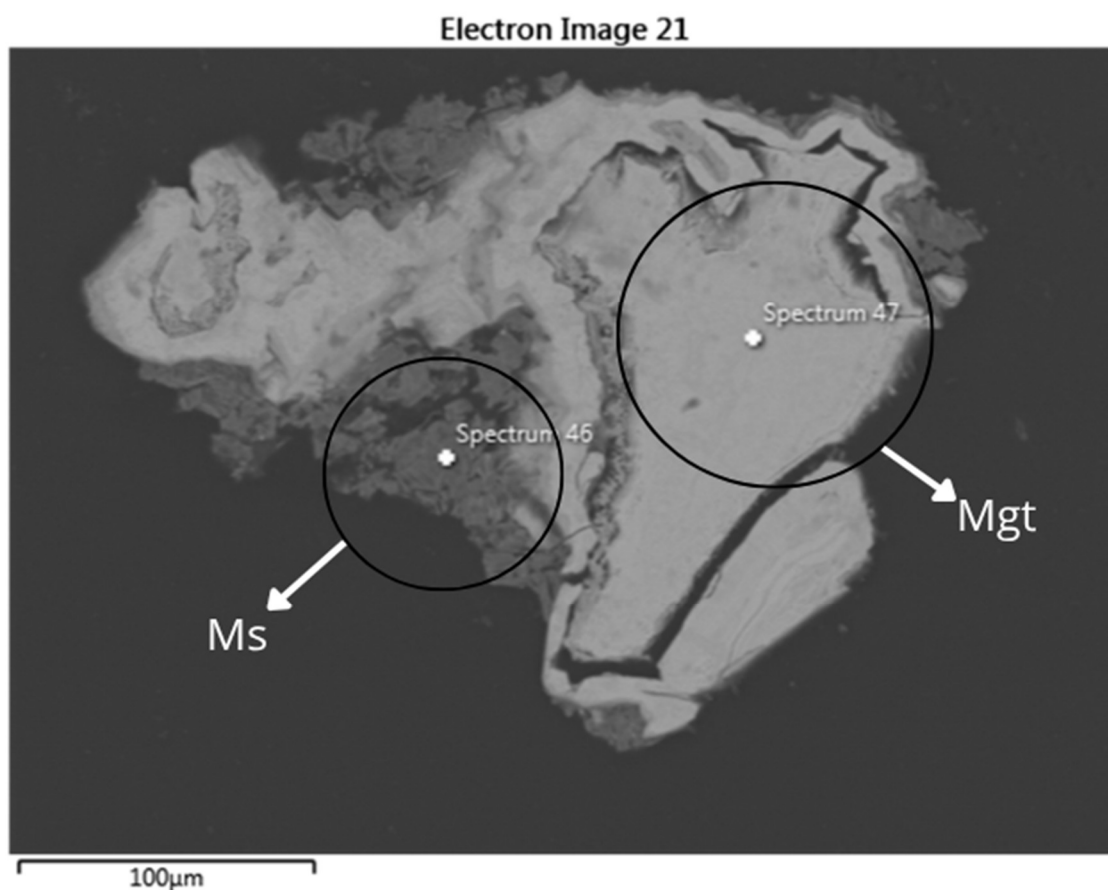
As amostras coletadas na Formação Nova Serrana foram RB011, RB286, RB776, RB946:

- RB011: Foi coletado em um saprólito de metapelito de coloração rosada, exibindo lentes de coloração ocre de forma secundária. A porção se encontra migmatizada (Figura 4C).

Foram encontrados grãos de magnetita, quartzo, muscovita, biotita, ilmenita e zircão, este com cerca de 2% de ouro incorporado em sua composição química (Figura 12A-B). Em relação a susceptibilidade magnética, a ilmenita foi predominante nas amperagens inferiores

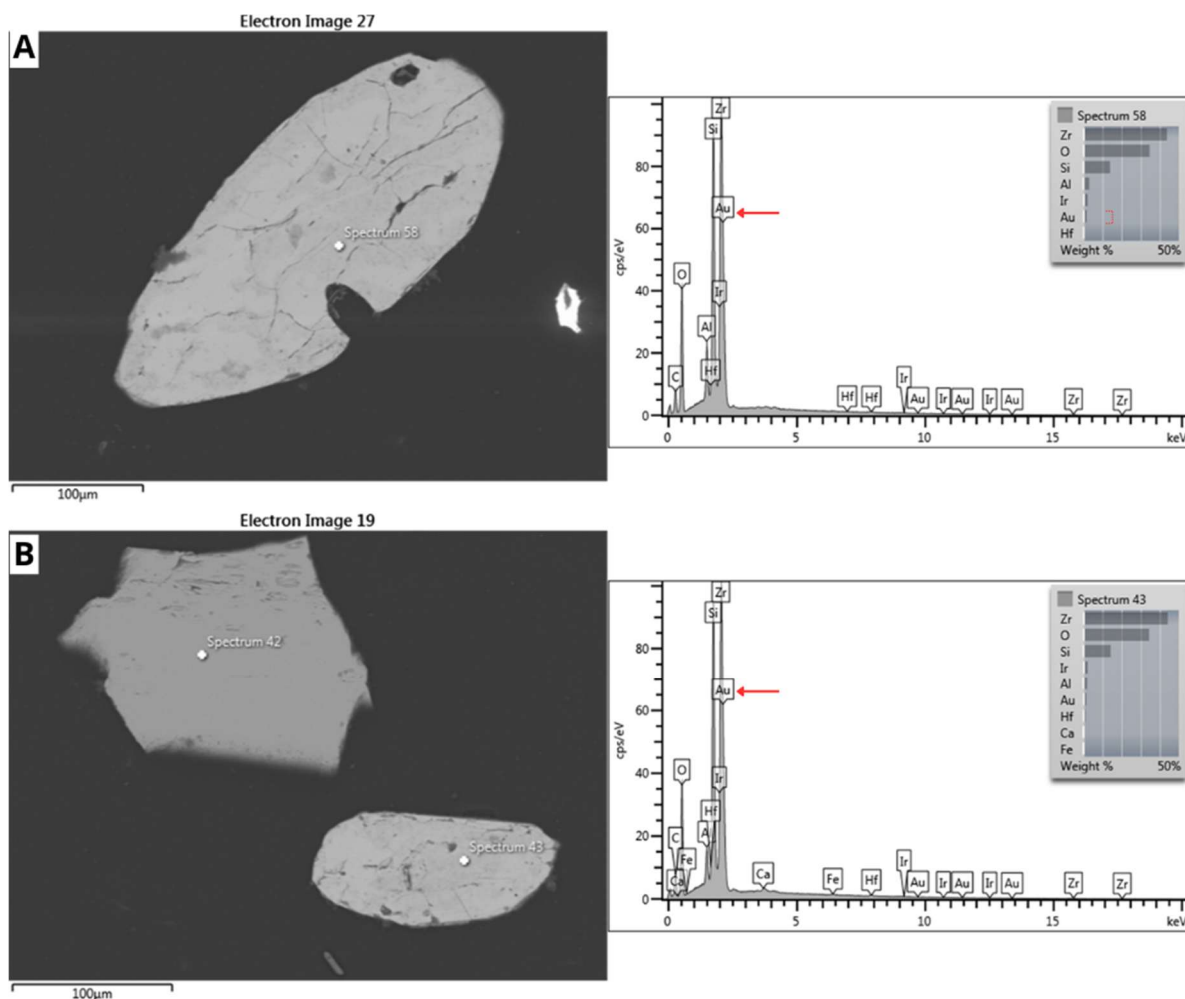
a 0,5 A, enquanto a magnetita demonstrou um predomínio em todas as amperagens acima de 0,5 A, na qual foi possível a associação desta com muscovita em algumas amostras (Figura 11). Zircões perfazem a porção majoritária de grãos não suscetíveis da amostra.

Figura 11 - Fotomicrografia por microscopia eletrônica de varredura, detecção de elétrons secundários e elétrons retroespalhados. Dentro dos dois círculos, é possível identificar um intercrescimento secundário de muscovita em magnetita. Convenções: Ms-Muscovita e Mgt-Magnetita.



Fonte: Autor.

Figura 12 - Fotomicrografia por microscopia eletrônica de varredura, detecção de elétrons secundários e elétrons retroespalhados. Em A e B, é possível identificar que as análises espectrais deram resposta para ouro em grãos distintos de zircão.

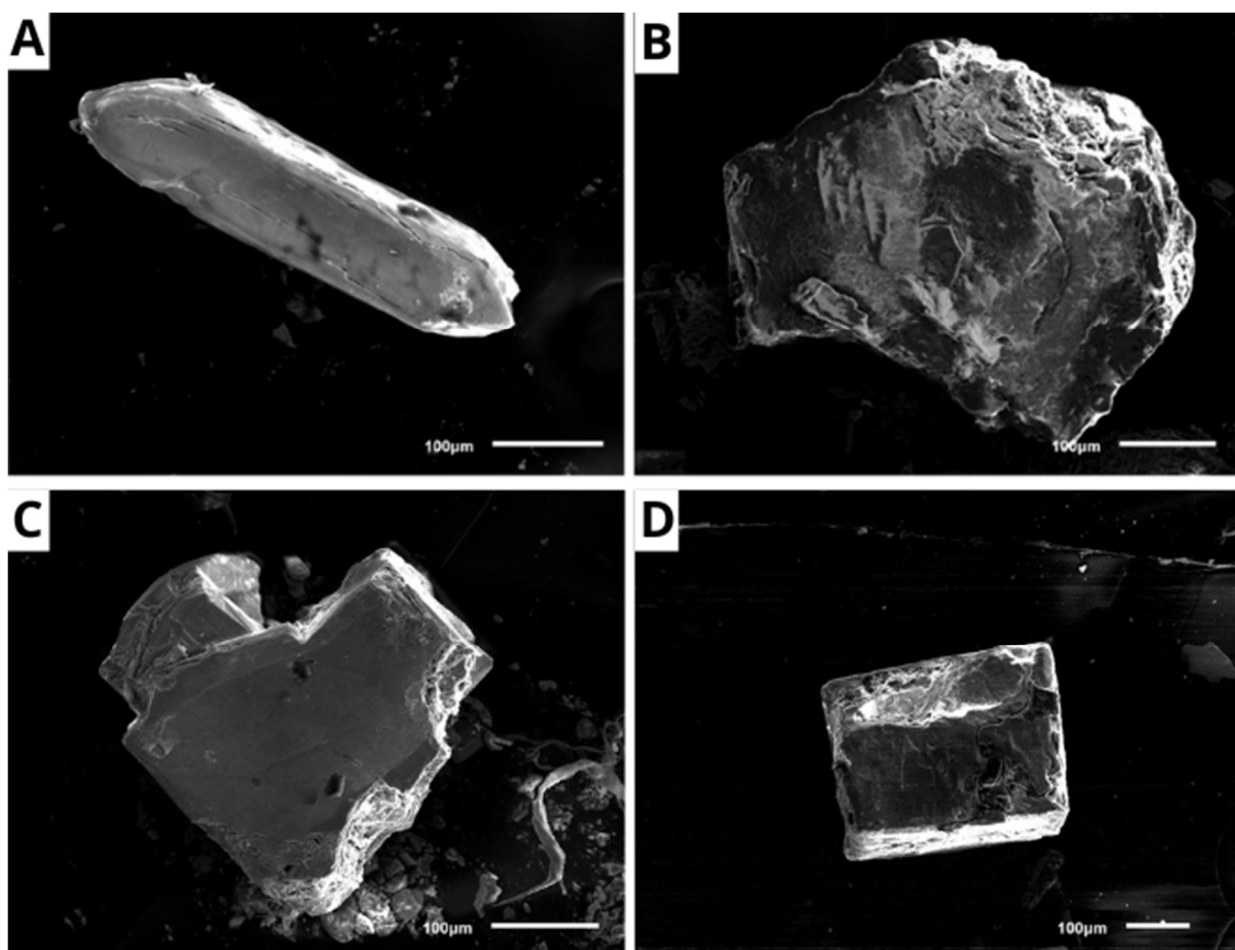


Fonte: Autor.

- RB286: Coletado em um saprólito de metapelito de coloração roxo-vinho e ocre caracterizado como uma metagrauvaca de fonte máfica. Demonstram porções cauliniticas e metacherts ferríferos de forma secundária (Figura 4A).

É representado por ilmenita, magnetita, pirita, zircão, silimanita, muscovita e quartzo (Figura 13A-D). Nas amperagens iguais e inferiores a 0,5 A, ocorre um predomínio de ilmenita, com alteração para leucoxênio em alguns casos. Nas amperagens superiores a 0,75 A, os grãos de pirita perfazem a porção majoritária das amostras, seguidos por concreções férricas avermelhadas e quartzo. O percentual de não suscetíveis é composto majoritariamente por zircão e mica branca.

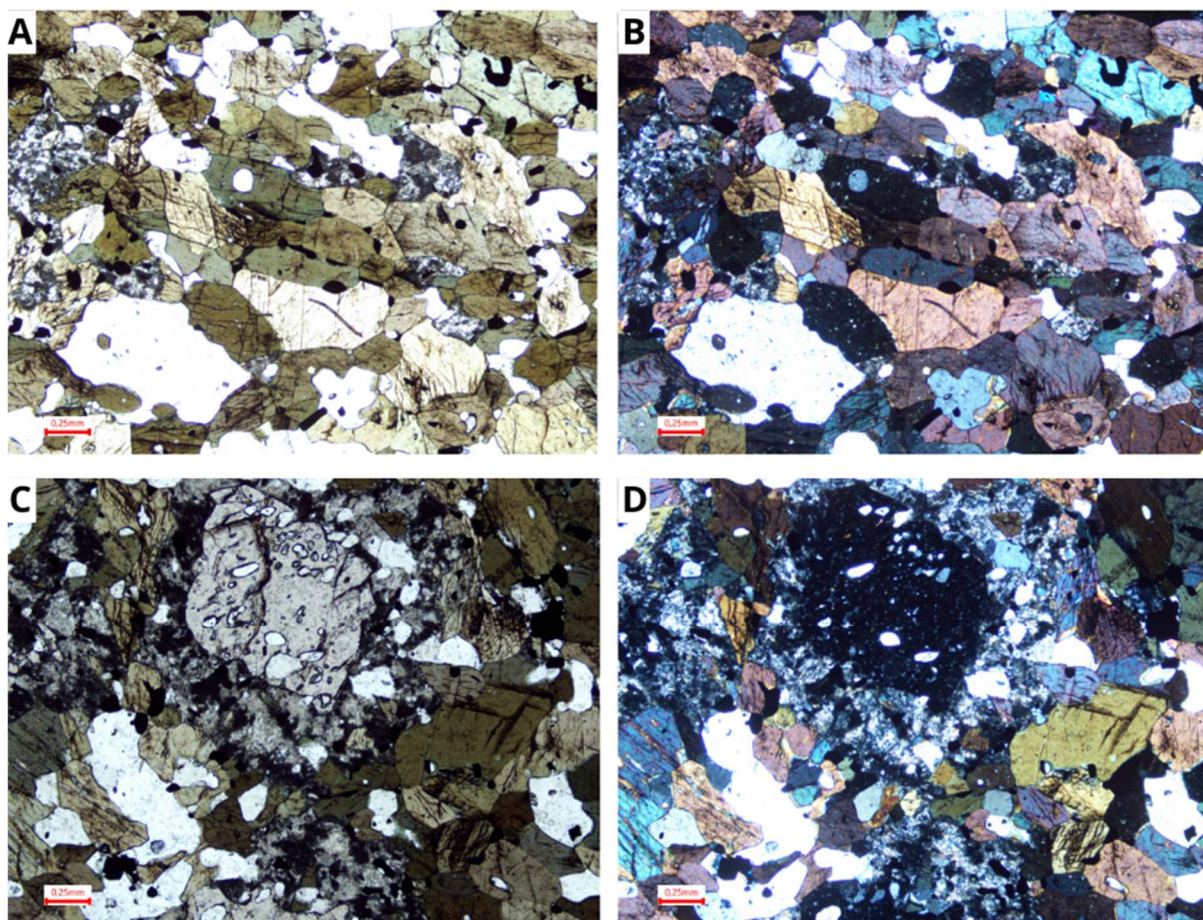
Figura 13 - Fotomicrografia por microscopia eletrônica de varredura, detecção de elétrons secundários e elétrons retroespalhados. Em A, cristal de zircão. Em B, grão de muscovita. Em C e D magnetitas, na qual esta é pseudomorfa de pirita.



Fonte: Autor.

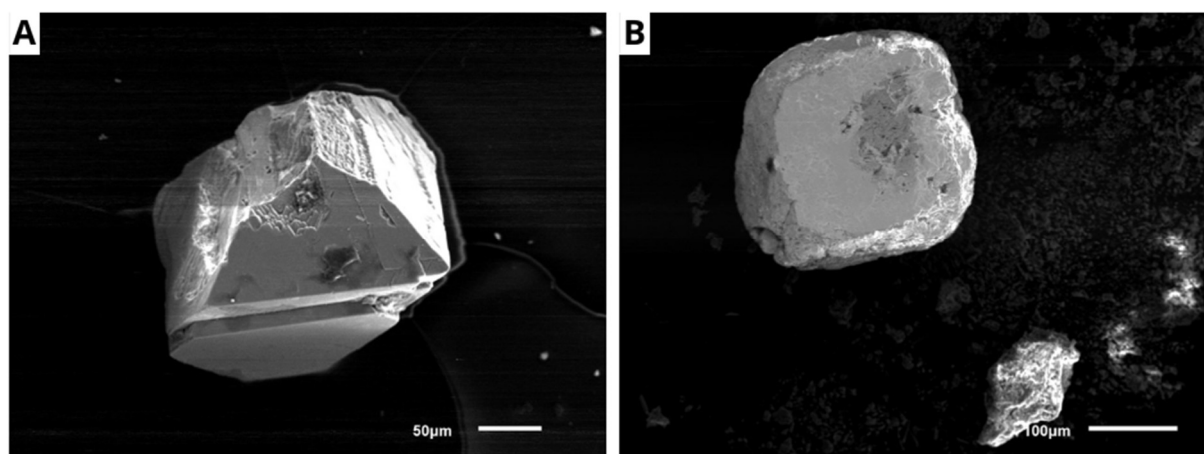
- RB776: Contém ilmenita, monazita, almandina, ferrossilita, augita, cromita, magnetita e zircão (Figura 15A-B). Foi coletado em um saprólito de metapelito de coloração variegada, predominantemente roxo-vinho. (Figura 4D). Nas amperagens iguais ou inferiores a 0,5 A, óxidos de ferro e ilmenita englobam a maioria da seleção. A análise de lâminas petrográficas da região possibilitou a identificação da hornblenda e granada (Figura A-D). Nas amperagens superiores a 0,75 A, foi visualizada a presença massiva de minerais escuros, que posteriormente foram classificados e identificados, a exemplo da augita e cromita (Figura A).

Figura 14 – Foto dos minerais identificados através de lâminas petrográficas visualizados em nicois cruzados e descruzados. Em A e B, presença majoritária de anfibólios. Em C e D, almandina associada a hornblenda e outros anfibólios.



Fonte: Autor.

Figura 15 - Fotomicrografia por microscopia eletrônica de varredura, detecção de elétrons secundários e elétrons retroespalhados. Em A e B, grãos de cromita e monazita respectivamente.

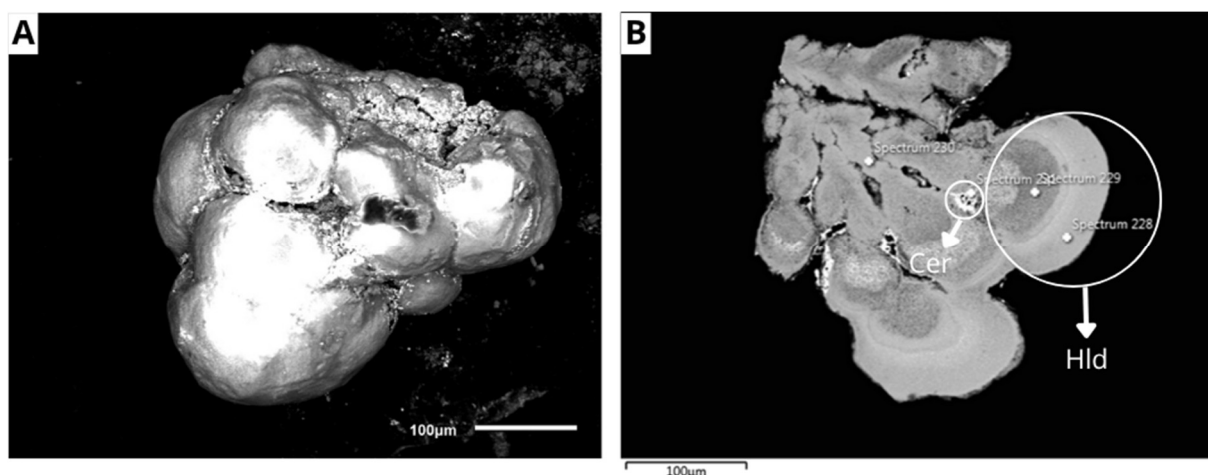


Fonte: Autor.

- RB946: Situada na Formação Nova Serrana. Foi coletada em um saprólito de paragnaisse migmatítico de coloração branca intercalado com lentes de metapelito de coloração vinho avermelhado (Figura 5C).

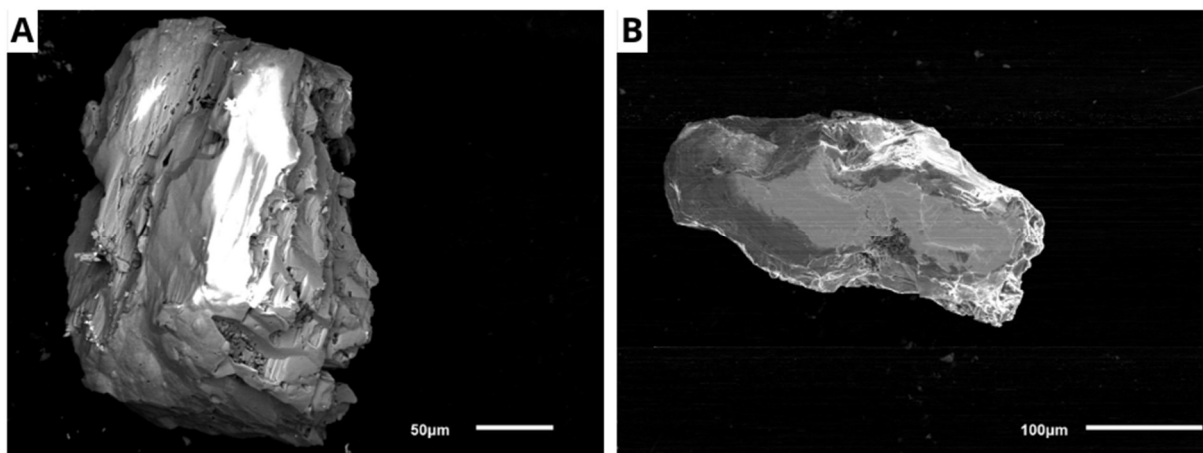
Em relação a mineralogia, apresentou quartzo, hollandita, cerianita, magnetita, hematita, pirita e epidoto (Figura 17A-B). Em relação as amperagens, 0,3 A era composto basicamente por ilmenita, magnetita e hematita. Em 0,5 A, a ilmenita ainda é predominante, seguida de grãos incolores como quartzo e esverdeados como epidoto. Entre 0,75 e 1,0 A, notou-se também a presença minoritária de minerais botroidais, que posteriormente foram descritos como hollandita, com cerianita inclusa próxima ao núcleo dessa, como apresentado na Figura 16(A-B).

Figura 16 - Fotomicrografia por microscopia eletrônica de varredura, detecção de elétrons secundários e elétrons retroespalhados. Em A, imagem do cristal botroidal de hollandita (Hdl) em vista externa. Em B, imagem da mesma amostra polida, evidenciando inclusão central de cerianita (Cer) no núcleo da hollandita. Círculos e setas indicam pontos de análise por EDS (spectros 228–230).



Fonte: Autor.

Figura 17 – Imagens obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Em A, grão de epidoto com superfície irregular e fraturada. Em B, grão de hematita com morfologia anédrica a subédrica.



Fonte: Autor.

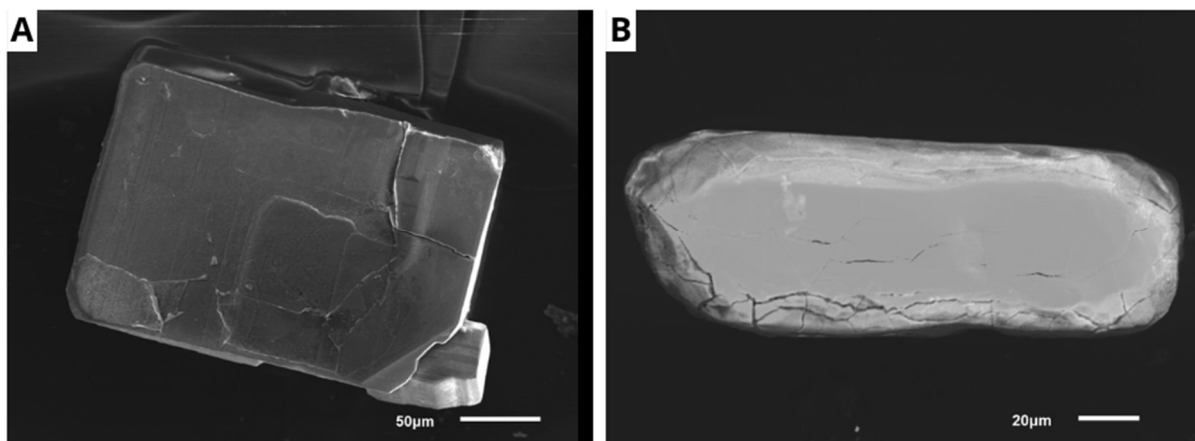
II. Complexo Divinópolis

Descrito na folha Pará de Minas (2007) como uma unidade pertencente ao embasamento cratônico (Romano *et al.*, (2007)) é composta por ortognaisses miloníticos a protomiloníticos diversos e migmatitos. Neste contexto foi coletada a amostra RB003.

- RB003: Foi coletado em um saprólito de paragnaisse migmatítico, de coloração bege esverdeada contendo bandas de coloração escura (Figura 4C).

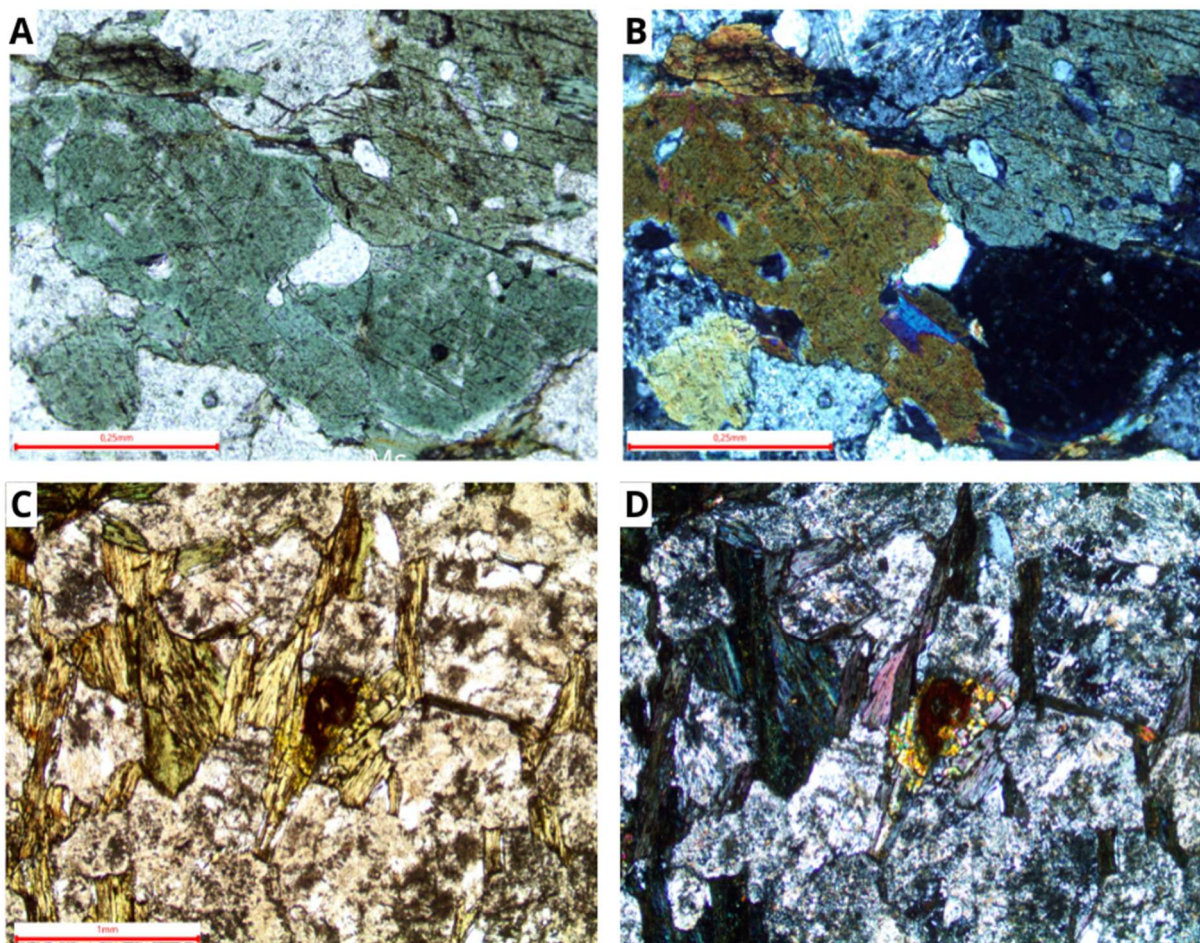
A amostra RB003 apresenta epidoto, albita, pirita (Figura 18A), ortoclásio, quartzo, ti-biotita, muscovita, zircão (Figura 18B), rutilo, turmalina, magnetita, caolinita e hercinita. Em relação as amperagens, ilmenitas alteradas para leucoxênio foram predominantes nas amperagens inferiores a 0,5 A. Em 0,5A, a porção majoritária era composta por epidoto seguida por ilmenita, magnetita e filossilicatos. Nas amperagens iguais a 1,0A, foram identificadas pequenas porções de minerais não visualizados nas amperagens inferiores, como rutilo e turmalina. Os zircões perfazem a porção majoritária dos cristais não suscetíveis. A análise de lâminas delgadas da região da coleta, permitiu a identificação de hornblenda (Figura 19A-B) e allanita (Figura 19C-D).

Figura 18 - Imagens obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). (A) Cristal de pirita apresentando hábito euédrico com fraturas internas. (B) Grão de zircão subédrico, com bordas arredondadas e microfraturas.



Fonte: Autor.

Figura 19 - Fotomicrografias em lâmina delgada. Em (A) e (B) – nicóis cruzados e descruzados, evidenciando hornblenda subédrica a anédrica no centro do campo. Em (C) e (D) – detalhe de allanita associada a matriz máfico-mineral, sob nicóis cruzados e descruzados.



Fonte: Autor.

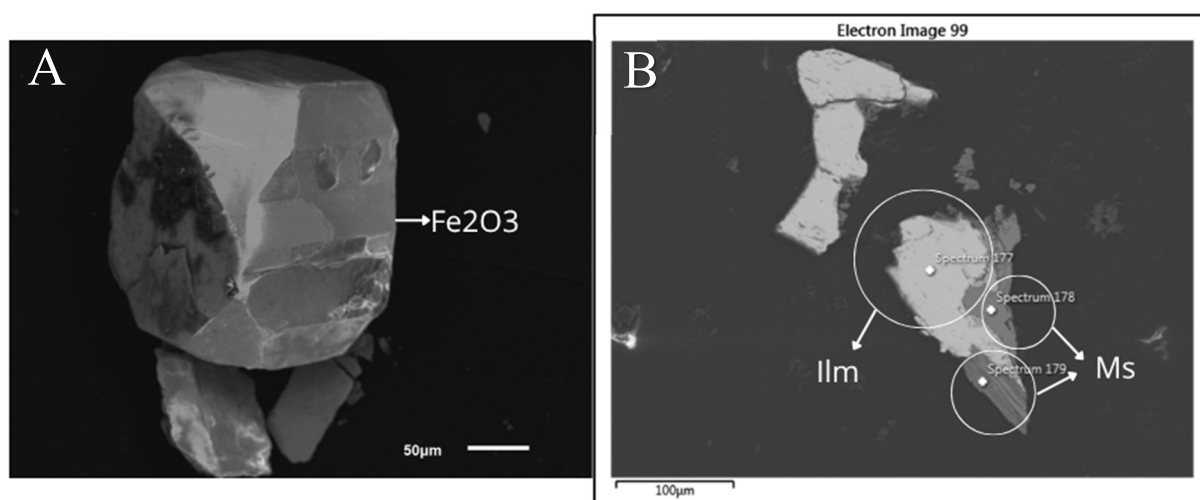
III. Suíte Córrego Gaia

A Suíte Córrego Gaia é descrita na literatura como granitoides peraluminosos a metaluminosos, com ocorrências de granodiorito, tonalito e quartzo diorito, indicando uma afinidade predominantemente félsica a intermediária. Constitui-se de corpo intrusivo de coloração branco-rosea, estrutura maciça, composição monzogranítica (Barros *et al.*, 2023). Neste contexto foi coletada as amostras RB824 e RB544.

- RB824: Coletado em um saprólito de paragneisse migmatítico de coloração bege esverdeada contendo bandas de coloração escura intercalada com lente de coloração vinho (Figura 4B).

Contém ilmenita, muscovita, magnetita (Figura 20A), rutilo, epidoto, monazita, biotita, quartzo, pirita, apatita e zircão. Por meio da análise do MEV-EDS, foi possível identificar que a muscovita ocorre associada a ilmenita, sugerindo um crescimento tardio (Figura 20B). Em relação as amperagens, destaca-se a presença majoritária de cristais de pirita, identificados em todas as amperagens superiores a 0,3 A, com exceção da porção não atraível, que é composta basicamente por grãos de zircão. Em 0,75 A, a monazita demonstrou ser o mineral representativo para esta faixa, compondo cerca de 25% deste total, na qual a Tabela 3 destaca a sua composição química, seguida pela pirita com um percentual semelhante, e em porções menores de rutilo, quartzo e zircão.

Figura 20 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. (A) Cristal euédrico de magnetita com bordas parcialmente recobertas por óxidos de ferro (Fe_2O_3). (B) Associação textural entre grão de ilmenita (Ilm) e muscovita (Ms), esta última aparentemente tardia, envolvendo parcialmente o óxido.



Fonte: Autor.

Tabela 3 - Composição química dos grãos de monazita identificados em RB824.

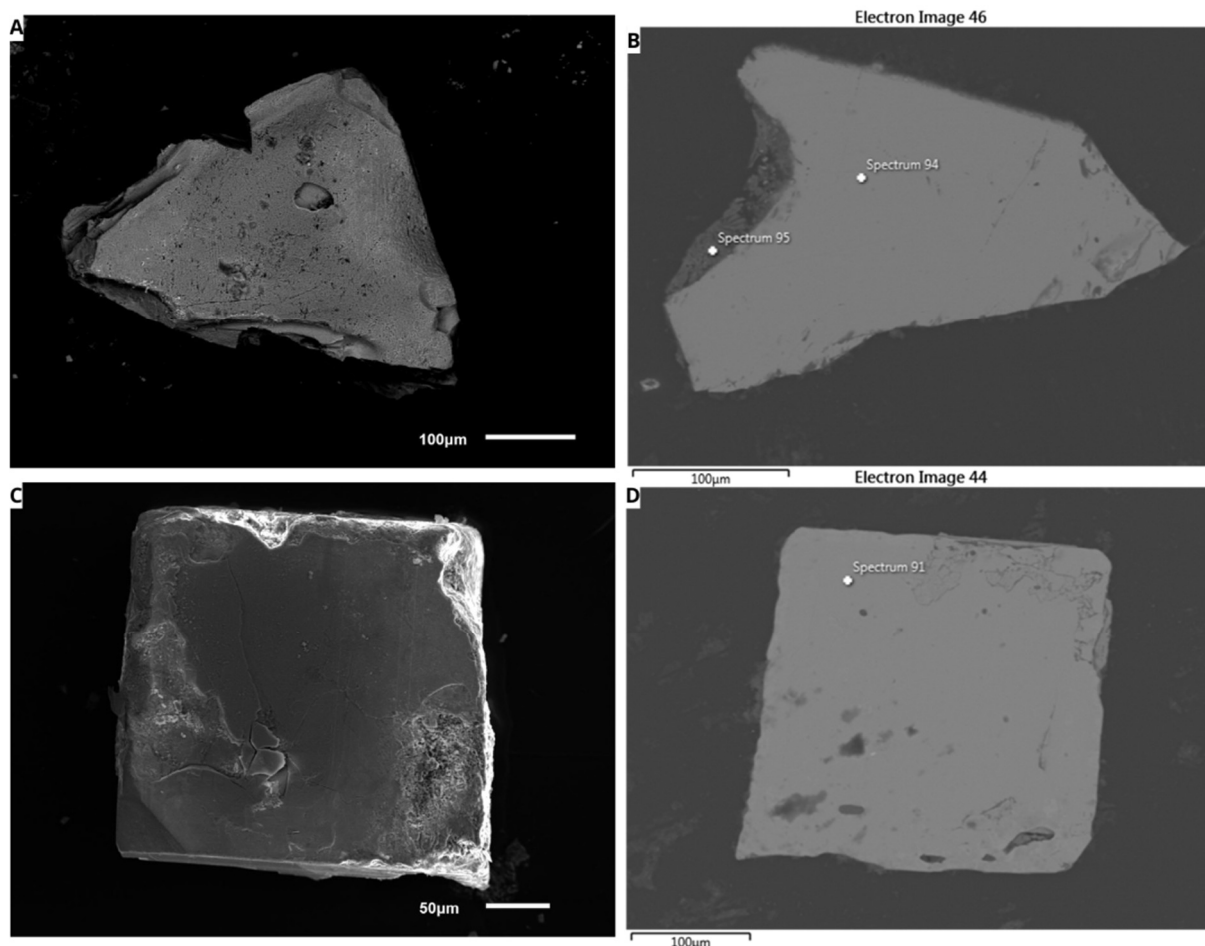
Estação	RB824 (195)	RB824 (196)
Al (%)	4,5	8,9
Si (%)	2,04	2,14
Ca (%)	0,55	0,51
P (%)	26,35	23,36
La (%)	15,73	15,63
Ce (%)	30,3	26,54
Pr (%)	-	2,36
Nd (%)	11,02	8,61
Sm (%)	-	1,58
Gd (%)	-	1,06
Th (%)	9,51	9,3
Total (%)	100	100

Fonte: Autor.

• RB544: Foi coletado em um saprólito composto pela intercalação de sedimentos arenosos, cascalhosos e siltico-argilosos de coloração roxo-vinho exibindo intercalações de lentes de coloração ocre (Figura 4F).

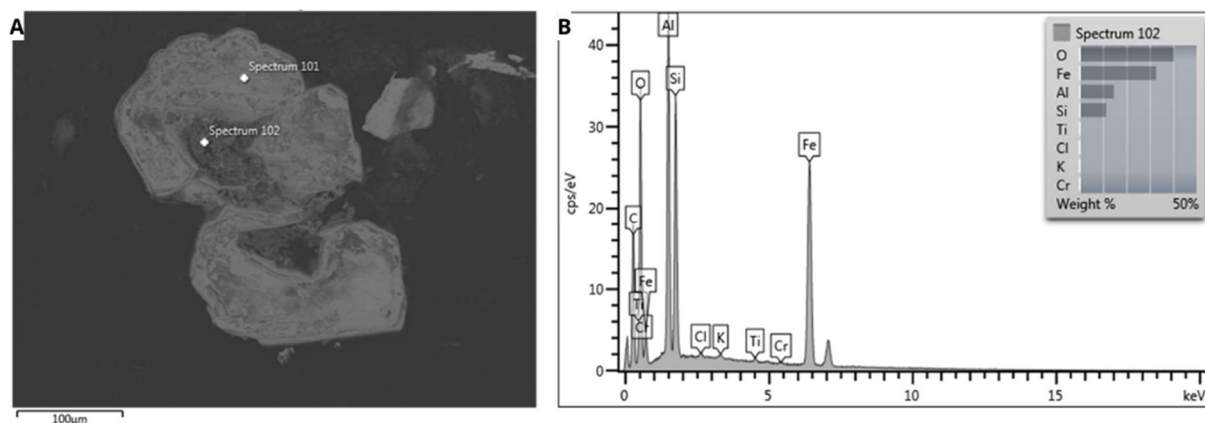
A análise dos grãos identificou ilmenita, zircão, magnetita, monazita, quartzo, pirita e caulinita. Em relação as amperagens, 0,3 A é composto por ilmenita (Figura 21A), concreções férricas e magnetita (Figura 21C-D). Em 0,5A foram mantidas as características da amperagem anterior, com aumento de cristais de quartzo com inclusões férricas. A monazita foi identificada na amperagem 0,75A. Por fim, os não atraíveis eram compostos basicamente por filossilicatos e zircão. Através da análise em MEV-EDS, foi possível identificar a correlação entre a caulinita e a ilmenita (Figura 21B). A análise em MEV de grão de magnetita, após polimento, evidenciou estrutura coronária, com borda composta por magnetita rica em ferro e núcleo enriquecido em Fe (47%), Al (27%) e Si (25%), além de traços de K, Cr e Ti (Spectrum 102) (Figura 22).

Figura 21 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. Em A, Cristal de ilmenita sem polimento, evidenciando superfície irregular e fraturas. (B) Ilmenita embutida e polida, mostrando borda de alteração para caulinita e pontos de análise química. Em C, Cristal de magnetita sem polimento, preservando morfologia euédrica e bordas parcialmente corroídas. (D) Magnetita embutida e polida, com superfície plana para microanálise.



Fonte: Autor.

Figura 22 - Imagem de elétrons retroespalhados (A) mostrando grão de magnetita com estrutura coronária. O espectro de EDS (B) obtido no ponto Spectrum 102 indica composição com Fe (47%), Al (27%), Si (25%) e traços de K, Cr e Ti, enquanto a borda (Spectrum 101) permanece composta majoritariamente por magnetita rica em ferro.



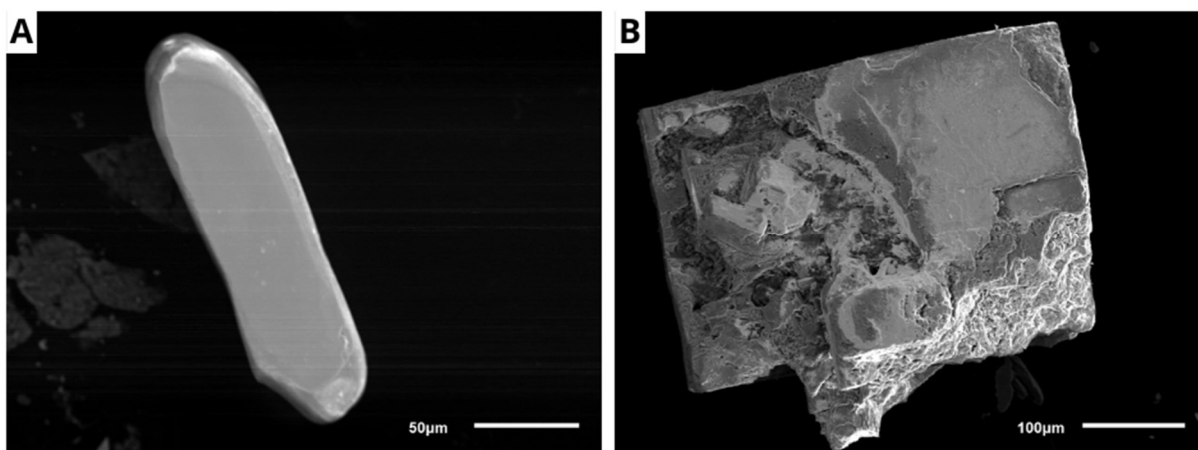
Fonte: Autor.

IV. Diques Pará de Minas

Como descrito por Chaves *et al.* (2014), os diques Pará de Minas são diabásios gabrodioríticos com textura ígnea ofítica a subofítica preservada no seu interior e bordas afaníticas semelhantes a basaltos. Ainda segundo Chaves (2014) eles são constituídos essencialmente por augita (borda uralitizada) e plagioclásio (labradorita-andesina) saussuritizado, e como minerais acessórios apresenta biotita, ilmenita, titanita, apatita, quartzo e sulfetos. A amostra RB546 foi coletada na porção sul do mapa, inserida nos diques Pará de Minas.

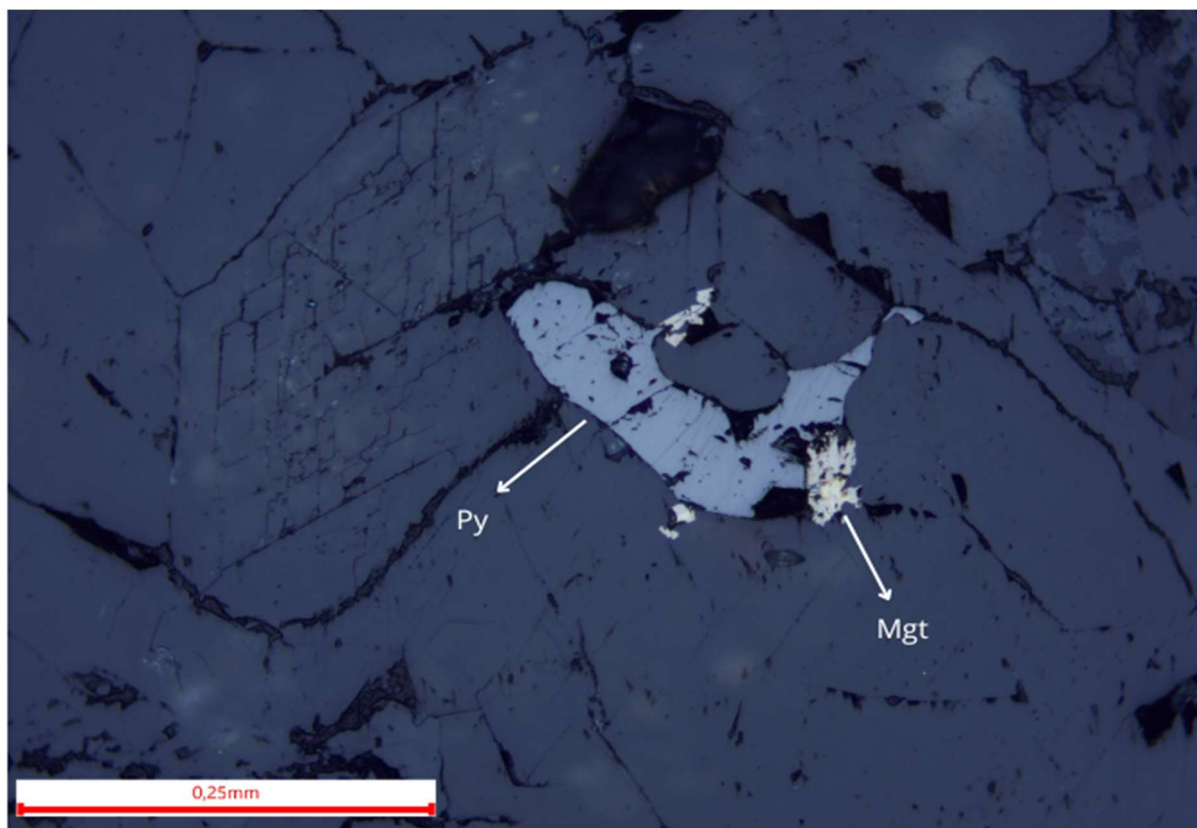
- RB546: Contém pirita (Figura 23B), magnetita, ilmenita, muscovita, rutilo e zircão (Figura 23A). Foi coletada em um saprólito de metapelito de coloração roxo-vinho (Figura 5A). Em relação as amperagens, os grãos de ilmenita demonstram-se bem intemperizados, e compõem a maioria da porção inferior e igual a 0,5 A. Em 0,75 A, as concreções férricas são o percentual majoritário do total. Em relação aos cristais não suscetíveis, é composto basicamente por zircão. Também foram analisadas lâminas polidas e delgadas da região da coleta. A análise dos grãos opacos através da luz refletida, permitiu a identificação mineralógica, em especial, da correlação entre a magnetita e a pirita, conforme indicado na Figura 24. Em relação a análise dos minerais em luz transmitida, foi possível a identificação de um predomínio de anfibólios e piroxênios (Figura 25).

Figura 23 - Imagens obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). (A) Grão de zircão alongado, bem preservado, com bordas levemente arredondadas. (B) Grão de pirita com hábito anédrico



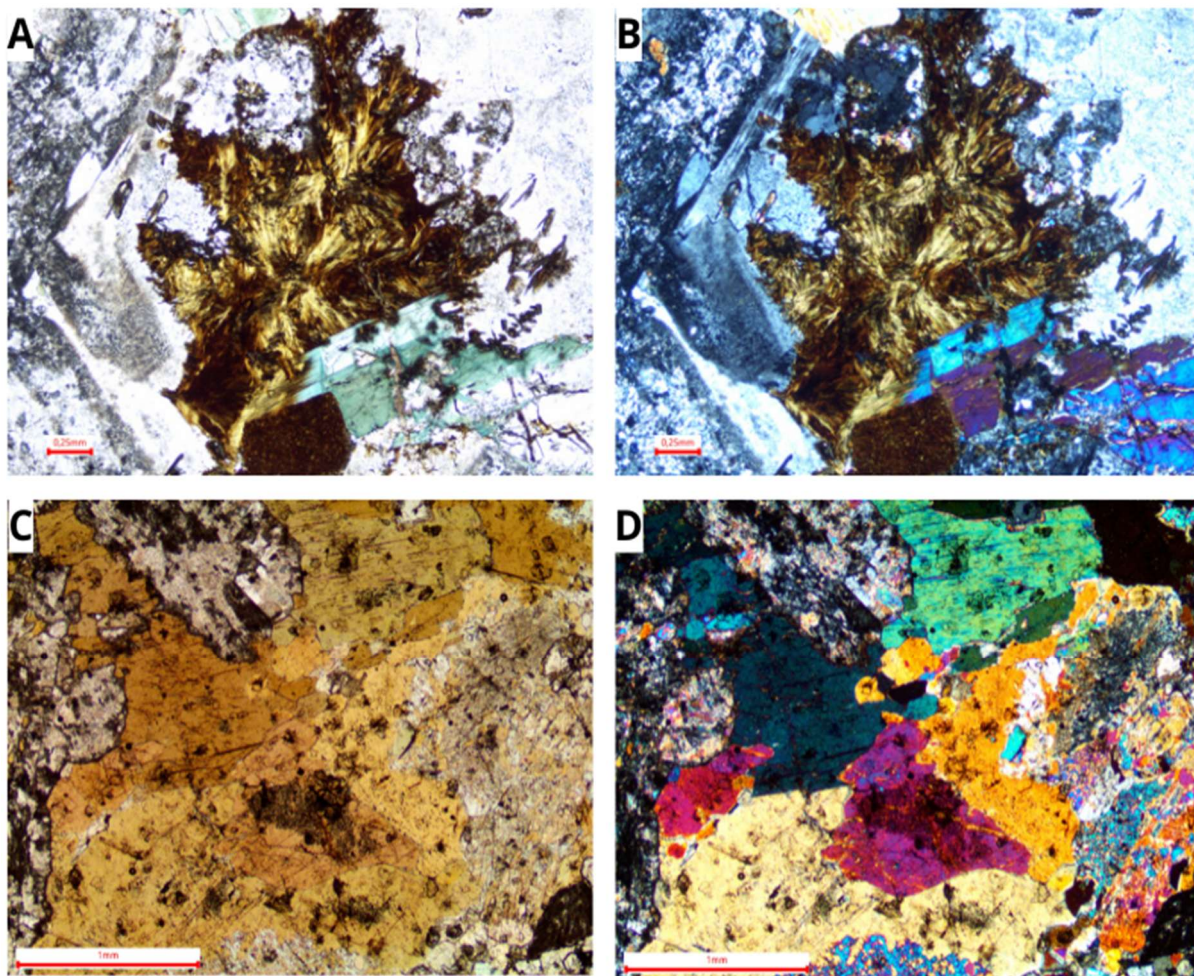
Fonte: Autor.

Figura 24 - Imagem em luz refletida mostrando a relação textural entre pirita (Py) e magnetita (Mgt) em matriz opaca. A pirita exibe hábito subédrico a anédrico, enquanto a magnetita ocorre como intercrescimento parcial no contato com a pirita.



Fonte: Autor.

Figura 25 - Fotomicrografias em lâmina delgada. (A) e (B) – nicóis descruzados e cruzados, respectivamente, mostrando agregado de biotita fortemente cloritizada e texturalmente 'explodida', associado a cristal prismático de hornblenda. (C) e (D) – nicóis descruzados e cruzados de assembleia máfica composta por piroxênios e anfibólios, exibindo contatos irregulares e intercrescimento com minerais acessórios, com diversos halos pleocróicos de zircão.



Fonte: Autor.

V. Zona de Contato – Complexo Divinópolis e Formação Nova Serrana

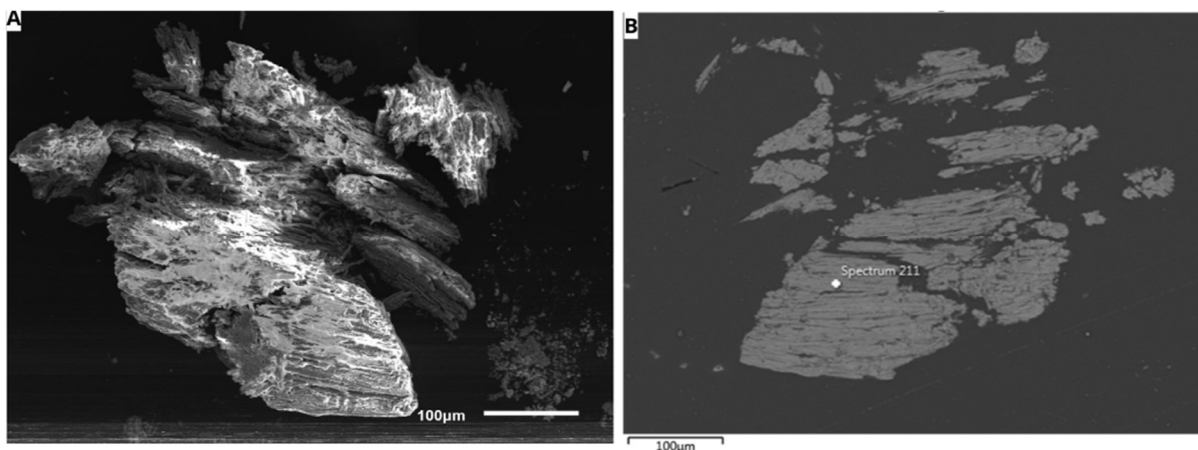
Algumas coletas estavam localizadas entre duas ou mais unidades geológicas, indicando uma possível influência mista na composição mineralógica identificada. Neste cenário, foi coletada e identificada a amostra RB915.

- RB915: Foi coletada em um saprólito de metapelito de coloração rosada, exibindo lentes de coloração ocre de forma secundária. O pacote se encontra migmatizado (Figura 5D).

É composta por quartzo, hollandita, espessartita, magnetita, muscovita e ilmenita. Em relação as amperagens, RB915 demonstrou predomínio claro de ilmenita nas amperagens inferiores a 0,5 A e uma forte presença de muscovita (Figura 26A-B) em amperagens iguais a 0,5 A. O destaque ficou para a vasta presença óxidos de ferro identificados entre 0,75 e 1

ampere, sendo possível a identificação de porções de BIFs preservadas. Os não atraíveis são compostos basicamente por grãos de quartzo.

Figura 26 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por microscopia eletrônica de varredura. (A) Conjunto de cristais de muscovita em estado bruto, sem polimento, mostrando hábito lamelar e empilhamento característico. (B) Amostra embutida e polida, com superfície preparada para microanálise pontual (Spectrum 211).



Fonte: Autor.

VI. Zona de contato - Transição Suíte Córrego Gaia e Diques Pará de Minas

Região marcada pelo contato entre duas unidades contrastantes. A Suíte Córrego Gaia com uma afinidade predominantemente félsica a intermediária e os diques Pará de Minas com afinidade máfica. Neste contexto, RB805 foi coletado em duas regiões distintas, porém limítrofes e próximas entre si, sendo desta forma subdivididos em RB805A e RB805B.

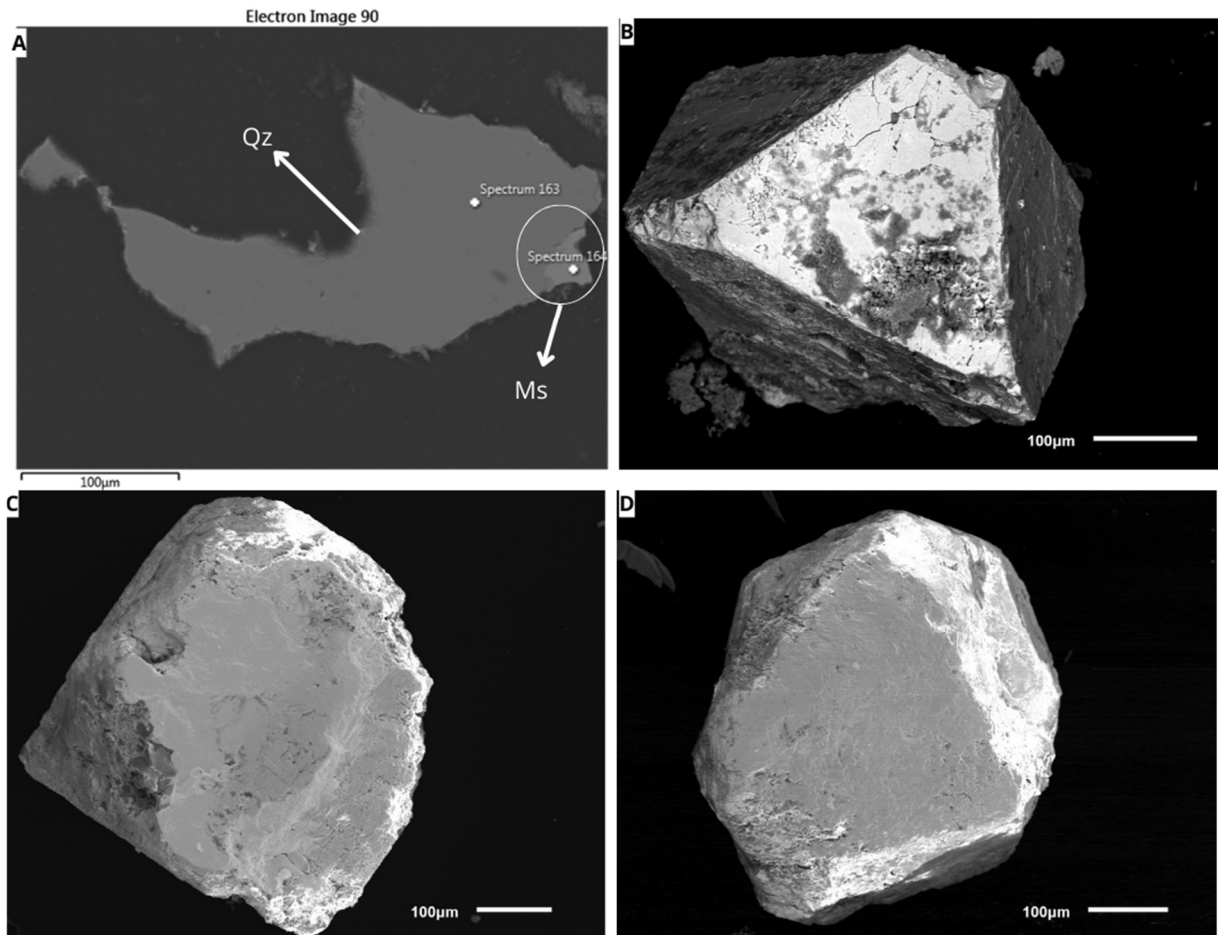
- RB805A: Foram coletados magnetita (Figura 27B), quartzo, pirita, xenotímio (Figura 27C-D), zircão, rutilo, hematita e muscovita. O saprólito coletado era composto por metapelite de coloração roxo-vinho, exibindo intercalações de lentes de coloração ocre (Figura 5B). Magnetita, ilmenita, hematita e pirita foram os grãos predominantes nas amperagens inferiores a 0,5A respectivamente. Entre 0,5 e 1 ampere, a composição era majoritariamente composta por grãos tetragonais bipiramidais escuros, que posteriormente foram identificados como xenotímio. A porção dos não suscetíveis era composta por zircão, na qual alguns grãos demonstram ouro em sua composição química e cristais de quartzo, este associado a muscovita em sua borda (Figura 27A). Através da análise do MEV-EDS, os xenotímios revelam uma composição dominada por ítrio (Y~40%), com ocorrência significativa de elementos terras raras pesadas (HREEs), como disprosio (Dy), hólmio (Ho), Tértio (Tb) e Íterbio (Yb), conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4 - Composição química do xenotímio.

Estação	RB805A (147)	RB805A (148)	RB805A (149)	RB805A (151)	RB805A (152)	RB805A (153)	RB805A (168)	RB805A (169)	RB805A (170)	RB805A (171)
Al (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,61
Si (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,7
K (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,86
P (%)	34,64	35,63	33,27	35,47	33,42	35,35	34,6	35,13	36,06	5,73
Fe (%)	-	-	0,65	-	-	-	-	-	-	-
Co (%)	-	-	-	-	-	-	-	0,65	-	-
Er (%)	4,89	5,02	4,33	4,66	4,36	4,97	4,68	4,04	4,48	20,91
Y (%)	46,97	46,94	45,31	46,81	44,08	46,33	46,29	46,31	47,24	5,04
Nd (%)	0,43	0,45	-	0,46	0,39	-	-	0,49	-	-
Sm (%)	-	-	-	0,45	0,47	-	0,59	0,44	-	-
Gd (%)	1,09	1,05	1,1	1,45	1,28	1,24	1,67	1,3	1,45	4,86
Dy (%)	4,44	4,76	3,47	5,02	4,28	4,65	5,32	4,31	5,18	21,51
Ho (%)	1,41	1,52	1,22	1,35	0,95	1,33	1,1	1,47	1,1	5,59
Tm (%)	0,79	-	0,59	-	0,61	1,05	0,84	1,07	-	-
Yb (%)	4,6	4,62	3,81	4,32	4,08	5,09	4,32	4,78	4,48	21,19
Lu (%)	0,74	-	0,61	-	-	-	-	-	-	-
Tb (%)	-	-	-	-	-	-	0,58	-	-	-
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: Autor.

Figura 27 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. Em A, grão de quartzo (Qz) com borda de muscovita (Ms), evidenciando pontos de análise química (espectros 163 e 164). Em B, cristal euédrico de magnetita com faces bem desenvolvidas. Em C e D, grãos distintos de xenotímio com hábito bipiramidal típico do sistema tetragonal, preservando parcialmente as faces cristalinas apesar das irregularidades superficiais geradas durante a preparação.

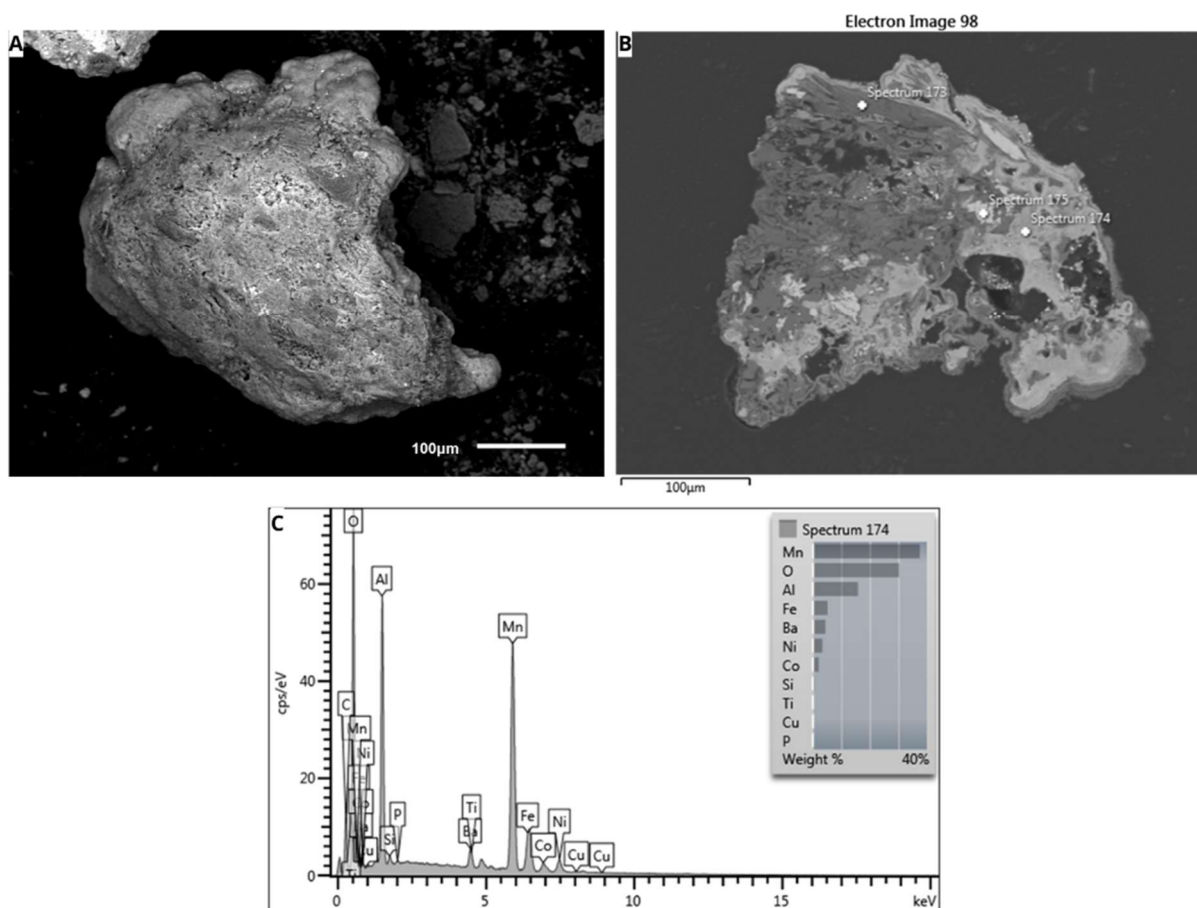


Fonte: Autor.

- RB805B: Coletado em saprólito de paragnaisse migmatítico de origem metagrauvaqueana, coloração bege esverdeada (Figura 5E)

Composto por muscovita, chamosita, espessartita, hematita e pirita. Concreções férricas e filossilicatos predominam em amperagens inferiores a 0,75A, respectivamente. No campo de 1,0A e não suscetíveis, os filossilicatos são os minerais predominantes, seguidos por quartzo. A análise química em MEV-EDS permitiu identificar forte associação manganésifera dos minerais na região, como demonstrado na assembleia mineralógica identificada e na imagem da espessartita identificada na Figura 28 (A-B).

Figura 28 - Imagens de elétrons retroespalhados de um mesmo grão antes (A) e após (B) o polimento, evidenciando sua morfologia irregular. Em (C), espectro de EDS mostrando composição química com predomínio de Mn, além de Al e menores quantidades de Fe, Ba, Ni, Co, Si, Ti, Cu e P.



Fonte: Autor.

5 Discussão

O comportamento dos minerais frente ao intemperismo químico está diretamente relacionado à sua estabilidade termodinâmica e à sua ordem de cristalização magmática, como proposto na clássica Série de Dissolução de Goldich (1938). Minerais formados em altas temperaturas, como olivina, piroxênios e anfíbolios (ex. hornblenda), são mais susceptíveis à decomposição, ao passo que fases tardias como quartzo, rutilo e turmalina tendem a ser preservadas nos perfis lateríticos e saprolíticos. Estudos complementares, como os de Churchman (2006), ressaltam o papel desses minerais ultrarresistentes como resistatos, cuja persistência é indicativa dos processos de alteração profunda em ambientes tropicais. Por sua vez, os trabalhos de Deer *et al.* (2013) detalham a estabilidade química e morfologia de fases como monazita, xenotímio e zircão, permitindo inferências mais precisas sobre o comportamento paragenético dessas espécies sob condições supergênicas. Assim, a análise da mineralogia pesada em saprólitos deve considerar não apenas os teores elementares, mas também o histórico de alteração das fases precursoras e sua resiliência relativa frente ao intemperismo. Neste contexto, deu-se início a correlação dos saprólitos com a geologia local, através da identificação da assembleia mineralógica e correlação com os litotipos aflorantes na região. As amostras coletadas na Formação Nova Serrana apresentaram predominância de minerais com afinidade máfica a intermediária, consistentes com a natureza descrita para esta unidade. A tabela 5 apresenta todos os minerais identificados, separados por litologia.

Tabela 5 - Divisão dos minerais identificados por litologia.

Litologia	Minerais identificados nos saprólitos
Nova Serrana	Almandina, augita, biotita, cerianita, cromita, epidoto, ferrossilita, hollandita, ilmenita, magnetita, monazita, muscovita, pirita, quartzo, silimanita, zircão.
Complexo Divinópolis	Albita, caolinita, epidoto, hercinita, magnetita, muscovita, ortoclásio, pirita, quartzo, rutilo, ti-biotita, turmalina, zircão.
Suíte Córrego Gaia	Apatita, biotita, caulinita, epidoto, ilmenita, magnetita, monazita, muscovita, pirita, quartzo, rutilo, zircão.
Diques Pará de Minas	Ilmenita, magnetita, muscovita, pirita, rutilo, zircão.
Zona de Contato – Complexo Divinópolis e Formação Nova Serrana.	Espessartita, hollandita, ilmenita, magnetita, muscovita, quartzo.
Zona de contato - Transição Suíte Córrego Gaia e Diques Pará de Minas.	Chamosita, espessartita, hematita, magnetita, muscovita, pirita, quartzo, rutilo, xenotímio, zircão.

Fonte: Autor.

A presença majoritária de grãos de magnetita em RB011 indicam uma forte presença de associações com formações ferríferas bandadas na região, com metamorfismo intermediário. Como apresentado nos resultados, foram identificados em RB011 grãos de zircão com cerca de 2 % de ouro incorporado, indicando que parte do ouro foi cristalizada diretamente em fases resistentes, e não apenas adsorvida em sulfetos. Conforme Marques *et al.* (2023), as ocorrências auríferas nesta região não representam aporte externo, mas sim mineralizações autóctones, geneticamente relacionadas às faixas vulcano-sedimentares do GBVM. Essa constatação reforça que a presença de ouro nos zircões analisados pode refletir processos magmático-hidrotermais locais, compatíveis com o modelo proposto por aqueles autores.

Em relação a RB286, A presença de pirita, muscovita e silimanita pode indicar influência de rochas metapelíticas, associada a uma contribuição máfica predominante, com metamorfismo médio a alto. Os grãos de pirita em especial, demonstram ausência parcial ou total de enxofre, decorrente de ambientes oxidantes, indicando uma substituição pseudomorfa com a magnetita, preservando a sua estrutura cristalina, comum em zonas intempéricas.

RB776 demonstrou uma maior afinidade com a Formação Nova Serrana, demonstrando uma paragênese compatível com fontes máficas a ultramáficas, evidenciando um ambiente de cristalização de alta temperatura. Em relação ao metamorfismo, minerais como almandina demonstram entrada na fácies granulito dada a quebra da hornblenda, esta última identificada com o auxílio de lâminas petrográficas da região de RB776. A presença de cromita associada a piroxênios como a ferrossilita é comumente associada a rochas máficas e ultramáficas. A presença de monazita pode estar relacionada tanto à assimilação crustal quanto ao enriquecimento prévio da fonte mantélica em elementos terras raras leves (LREE), como indicado pelos padrões geoquímicos das rochas metabásicas do Grupo Boa Vista de Minas descritos por Barros *et al.* (2025). Dessa forma, o enriquecimento em terras raras observado pode refletir processos magmáticos já ocorridos no manto, além de possíveis contribuições locais durante o metamorfismo.

A amostra RB946 representa a última coleta inserida no contexto da Formação Nova Vista. Sua mineralogia indicou um perfil de alteração de rochas máficas com possível enriquecimento em elementos terras raras (ETRs) sob ambientes oxidantes. Foram identificados elevados teores de manganês sob duas amperagens distintas, sugerindo a presença de paragêneses supergênicas ou hidrotermais, como ocorre em zonas de enriquecimento laterítico com óxidos de Mn. Tal indicativo pode estar relacionado a posição de coleta de RB946, que engloba além da Formação Nova Serrana, depósitos aluvionares. A correlação entre cerianita

(CeO₂) e hollandita indica intensa mobilização geoquímica e posterior reconcentração de elementos como Mn, Ba e Ce, uma vez que a cerianita precipita como produto da oxidação de cério trivalente liberado por minerais primários, enquanto a hollandita atua como hospedeira estável nas fases manganésíferas. Tal associação é documentada em perfis lateríticos como os do depósito de Seis Lagos (AM), onde ambos os minerais coexistem nas zonas intermediárias do intemperismo, demonstrando inclusive intercrescimento entre eles, refletindo ambientes oxidantes propícios à formação de óxidos estáveis de terras raras (GIOVANNINI *et al.*, 2017).

RB003 está contida no contexto do Complexo Divinópolis, e demonstrou uma associação compatível com um embasamento félsico a intermediário, com influência de processos metassomáticos e metamorfismo de alto grau, indicado pela presença de titano biotita e plagioclásio. A presença de turmalina, hercinita e caolinita pode indicar forte alteração hidrotermal ou intemperismo. A ocorrência conjunta de minerais aluminosos (biotita, muscovita) com minerais resistentes como zircão reforça a estabilidade da paragênese original sob metamorfismo regional intenso. Apesar disso, hornblenda e allanita foram identificadas em lâminas delgadas da rocha fresca de RB003, mas não foram detectadas nas frações pesadas saprolíticas analisadas por MEV-EDS. A ausência desses minerais pode ser explicada por sua baixa resistência ao intemperismo químico em ambientes tropicais. A hornblenda, em especial, é suscetível à decomposição em zonas de saprolitização, conforme previsto na Série de Goldich (Goldich, *et al.*, 1938), enquanto a allanita, embora rica em terras raras, altera-se rapidamente formando de fases secundárias como goethita/óxidos amorfos, o que explica sua escassez na fração pesada (Price; Velbel; Patiño, 2005). Esse contraste evidencia a seletividade do intemperismo químico e a importância de integrar dados de rocha fresca e saprólito para reconstruções geológicas mais completas.

RB824 foi coletada na Suíte Córrego Gaia, e demonstrou uma mineralogia compatível com a literatura que descreve tal formação como essencialmente monzogranítica. Em relação à mineralogia, os grãos de pirita demonstraram um alto teor em ferro, com ausência de enxofre. Tal correlação pode indicar que se trata de uma hematita pseudomorfa, consequência da oxidação da pirita que se transformou em óxido de ferro. A presença de apatita, zircão, rutilo e monazita reforçam a natureza evoluída do magma, com fracionamento magmático significativo e enriquecimento em elementos como P, ETRs, Th e U. O epidoto pode indicar que o corpo granítico sofreu alteração hidrotermal pós-magmáticos. A presença majoritária de grãos de monazita em amperagens médias pode indicar que o protólito granítico na região era rico em fósforo e ETRs.

RB546, foi coletada na porção sul do mapa e está inserida nos Diques Pará de Minas. Apesar de ser uma região composta majoritariamente por piroxênios e anfibólios, típicos de gabros, a mineralogia identificada nos concentrados de saprólitos difere razoavelmente da mineralogia esperada. Isto pode ser explicado, devido ao fato dos anfibólios e piroxênios sofrerem alterações rápidas em ambientes intemperizados, como descrito por (CHURCHMAN; LOWE, 2012), onde tendem a transformar-se em argilas e óxidos de ferro. Ainda assim, minerais resistentes compatíveis com a associação mineralógica local, foram identificados, como zircão, rutilo, ilmenita e magnetita. A análise de petrográficas da região, permitiu traçar a associação típica de diques gabróicos, com predomínio de anfibólios e piroxênios.

Em relação às amostras que foram coletadas em zonas de contatos litológicos, RB915 integra a transição entre Complexo Divinópolis, Formação Nova Serrana e Depósitos Eluvionáres. A sua mineralogia indica uma possível fonte manganesífera comum indicada principalmente pela associação de espessartita (granada manganesífera) e hollandita (óxido de manganês). A presença de magnetita e ilmenita reforça o caráter máfico da Formação Nova Serrana, e contrasta com os minerais metassedimentares, possivelmente relacionados aos depósitos eluvionáres, indicado também pela vasta presença de muscovita nas amperagens médias.

No contato entre as Coberturas Elúvinares e a Formação Nova Serrana, RB544 demonstrou uma ligação com rocha-fonte máfica a intermediária, corroborada também pela associação entre os óxidos de ferro e ilmenita. Contudo, a presença de zircão e monazita indicam uma proveniência crustal evoluída. Os grãos de pirita demonstram baixa ou nenhuma presença de enxofre, indicando altos níveis de intemperismo, corroborada pela presença da caolinita, mineral comum em zonas tropicais de elevado grau intempérico esta que foi encontrada na borda da ilmenita.

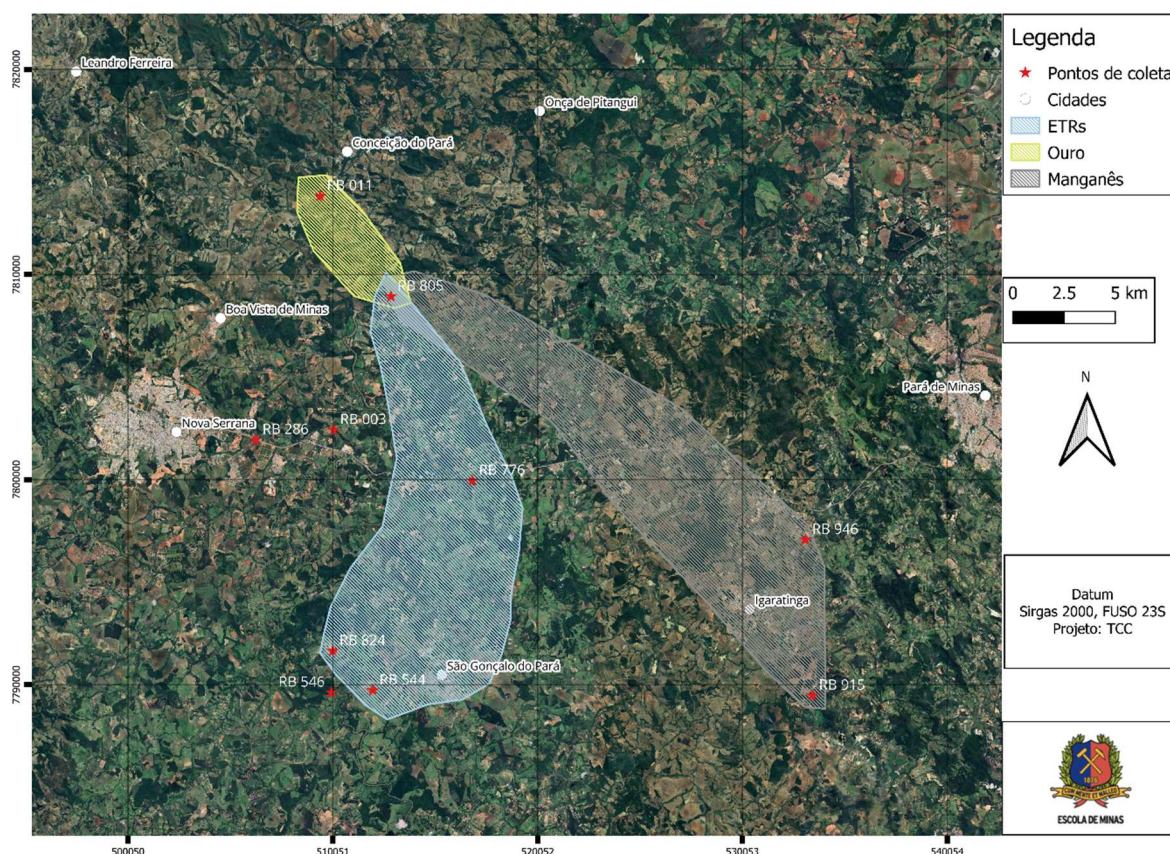
Representando a transição entre a Suíte Córrego Gaia e Diques Pará de Minas, RB805A demonstrou uma paragênese rica, com predominância crustal evoluída com um metamorfismo que varia de médio a alto grau. A muscovita aparece como um material secundário, associado aos cristais de quartzo. A constante presença de xenotímio em todas as amperagens superiores, confirma a possibilidade de um ambiente rico em elementos terras raras. Esses dados indicam que a fonte da paragênese mineral estava relacionada a litologias crustais enriquecidas em fosfatos e ETRs pesados, como os monzogranitos peraluminosos da Suíte Córrego Gaia.

Limítrofe a RB805A, RB805B indicou um ambiente metapelítico com possível contribuição manganesífera, submetido a metamorfismo de baixo a médio grau. Essa mineralogia é coerente com zonas de contato entre unidades crustais félsicas (como a Suíte

Córrego Gaia) e domínios máficos ou pelíticos, sendo indicativa de herança sedimentar rica em Fe e Mn e de estabilidade mineral sob condições tropicais de intemperismo.

A espacialização dos dados (Figura 29) evidencia que a distribuição de ouro pode estar relacionada às anomalias auríferas descritas por Marques *et al.* (2023) no Complexo Divinópolis. Esses autores demonstram que tais anomalias são autóctones, vinculadas às faixas vulcano-sedimentares do GBVM, o que sustenta a interpretação de que a mineralização associada aos zircões analisados se insere no mesmo contexto. Já as anomalias de ETRs observadas na área estudada apresentam forte correlação com os corpos graníticos intrusivos, reconhecidos como enriquecidos em ETRs. Esse padrão sugere que a concentração desses elementos está associada à contribuição de minerais acessórios resistentes, como monazita, xenotímio e zircão, herdados diretamente dessas litologias graníticas.

Figura 29 - Mapa de localização dos pontos de coleta (estrelas vermelhas) na região de Nova Serrana (MG), destacando as áreas de ocorrência de elementos terras raras (ETRs, em azul), ouro (em amarelo) e manganês (em cinza). As áreas delimitadas representam a concentração e a distribuição espacial dos principais minerais/elementos identificados.



Fonte: Autor.

Os minerais identificados foram classificados (Tabela 6) de forma crescente quanto à estabilidade intempérica (escala de 1 a 5, em que 1 representa minerais muito instáveis e 5

minerais altamente estáveis), dureza Mohs e comportamento frente ao intemperismo, com base em Goldich (1938), Deer, Howie & Zussman (1992) além de informações encontradas através do mindat (2025). A dureza Mohs e a estabilidade intempérica são propriedades distintas, mas complementares. Enquanto a dureza indica resistência mecânica, a estabilidade reflete resistência química frente ao intemperismo. Assim, um mineral pode ser duro, mas instável, como a pirita (dureza 6, rapidamente oxidada), ou macio e estável, como xenotímio (dureza 4, produto do intemperismo).

Tabela 6 - Minerais identificados, classificados segundo sua estabilidade intempérica (escala de 1 a 5, em que 1 = muito instável e 5 = altamente estável) e sua dureza Mohs. A tabela sintetiza a resistência mecânica e química dos minerais frente a processos metamórficos e intempéricos.

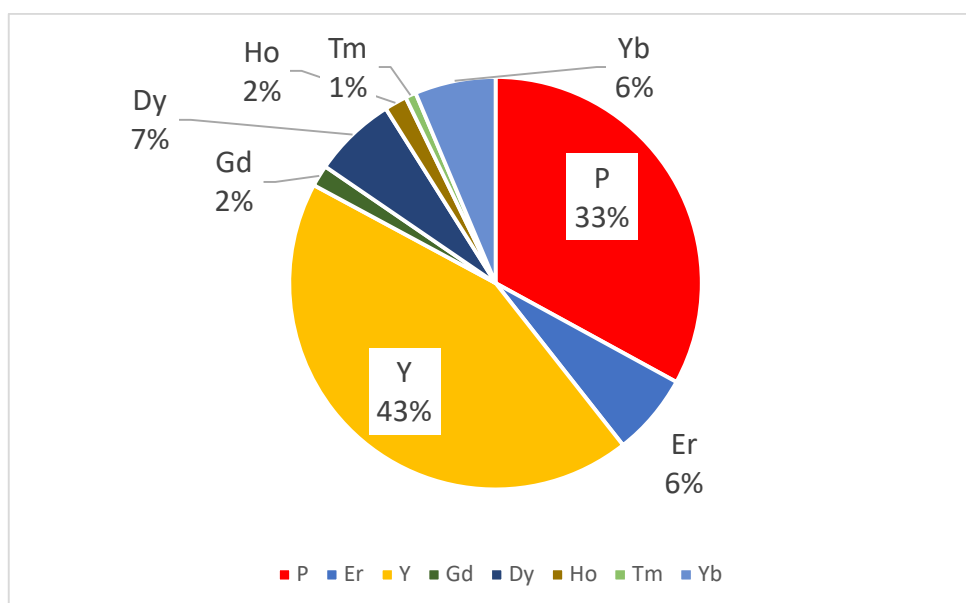
Mineral	Estabilidade (1–5)	Dureza Mohs
Biotita	1	3
Pirita	1	6
Augita	1	6
Ferrosilita	1	6
Chamosita	1	2,5
Ilmenita	2	5,5
Epidoto	2	6,5
Magnetita	2	6
Ortoclásio	2	6
Albita	2	6,5
Apatita	2	5
Muscovita	3	3
Hercinita	3	8
Cromita	3	5,5
Almandina	3	7
Hollandita	3	6
Hematita	3	6
Espessartita	3	7
Sillimanita	4	7
Monazita	4	5,5
Cerianita	4	7
Xenotímio	4	4
Turmalina	5	7,5
Zircão	5	7,5
Quartzo	5	7
Rutilo	5	6

Fonte: Autor.

Em geral, a vasta presença de minerais acessórios como xenotímio, monazita e hollandita nos saprólitos estudados indica a retenção significativa de elementos terras raras

(ETRs), mesmo em estágios avançados de intemperismo. Esses minerais funcionam como hospedeiros preferenciais dos ETRs, especialmente da série pesada, como Disprósio (Dy), Hólmio (Ho), Térbio (Tb), Tório (Th) e Íterbio (Yb). A distribuição dos ETRs nos saprólitos reflete, em parte, o enriquecimento geoquímico já presente nas rochas-mãe do Grupo Boa Vista de Minas, especialmente quanto aos LREE, conforme destacado por Barros *et al.* (2025). A monazita ocorre como acessório em granitos, pegmatitos sieníticos e graníticos, na maioria dos tipos de rochas metapelíticas e metabásicas, e em mármore dolomíticos; também pode ser formada diageneticamente em rochas sedimentares, sendo uma das principais fontes econômicas de Tório (Th) e de terras raras leves (Deer *et al.*, 2013). O xenotímio, por sua elevada resistência ao intemperismo, tende a permanecer relativamente preservado, enquanto allanita e monazita são mais suscetíveis à alteração, formando fases secundárias como epidoto ou óxidos amorfos (Deer *et al.*, 2013). Além disso, óxidos/hidróxidos de Manganês (Mn), mineralogicamente semelhantes à hollandita, exercem intensa retirada e retenção de ETRs, incluindo o cério, por meio de complexação superficial (Pourret & Davranche, 2013). A capacidade de adsorção e subsequente precipitação de Ce pode explicar a ocorrência de cerianita em associações com hollandita em perfis supergênicos. Neste contexto, destaca-se, por exemplo, a amostra RB805A, que demonstrou xenotímios ricos Ítrio (Y) e disprósio (Dy) (Figura 30), considerado um elemento estratégico devido ao seu uso na fabricação de ímãs permanentes para turbinas eólicas e motores de veículos elétricos, sendo classificado como ETR crítico pelo USGS (2022).

Figura 30 - Associação da composição química dos ETRs em relação ao xenotímio (y)



Fonte: Autor.

Assim, a associação desses minerais com ETRs nos perfis saprolíticos do Grupo Boa Vista de Minas sugere não apenas herança litológica, mas também potencial econômico em depósitos supergênicos.

6 Conclusão

- A identificação de minerais ultraestáveis como zircão, rutilo, xenotímio, turmalina e hollandita em diferentes amostras indica a elevada resistência dessas fases ao intemperismo químico, evidenciando sua preservação mesmo em ambientes altamente alterados e sua utilidade como marcadores geoquímicos e metalogenéticos.
- Foram identificados minerais secundários como caolinita, epidoto e cerianita, característicos de alterações químicas avançadas. Essas fases refletem transformações profundas das litologias originais e são consistentes com condições supergênicas típicas de perfis saprolíticos tropicais.
- A distribuição espacial das assembleias mineralógicas permitiu estabelecer correlações confiáveis entre os saprólitos e suas respectivas unidades geológicas — incluindo a Formação Nova Serrana, o Complexo Divinópolis, a Suíte Córrego Gaia e os Diques Pará de Minas — validando a eficácia da abordagem integrada entre petrografia, geologia regional e análise MEV-EDS.
- Minerais como monazita e xenotímio, enriquecidos em elementos terras raras pesadas (Dy, Tb, Ho, Yb), foram detectados em concentrações expressivas. Isso sugere que os perfis saprolíticos do Grupo Boa Vista de Minas podem atuar como concentradores secundários desses elementos estratégicos, embora esta inferência demande estudos complementares para comprovação econômica.
- A ocorrência conjunta de muscovita, apatita e zircão, especialmente nas amostras vinculadas à Suíte Córrego Gaia, podem indicar a influência de magmatismo evoluído, com possível enriquecimento em fósforo, urânio, tório e ETRs.
- As associações entre hollandita e cerianita observadas em ambientes oxidantes indicam mobilização geoquímica e reconcentração supergênica de elementos como Mn e Ce. Esse padrão é compatível com paragêneses típicas de zonas lateríticas tropicais e reforça o papel desses minerais na retenção de elementos móveis.
- A análise comparativa entre os saprólitos e as lâminas petrográficas de rochas frescas revelou ausência de minerais como hornblenda e allanita nos produtos alterados. Essa

lacuna evidencia a seletividade do intemperismo químico e destaca a importância de integrar dados de campo e laboratório para reconstruir adequadamente a história paragenética.

- A persistência de minerais hospedeiros de elementos estratégicos, mesmo em ambientes de forte alteração química, indica que os saprólitos da região não apenas preservam a assinatura da rocha fonte, mas também apresentam potencial para futura avaliação mineral-econômica, especialmente para ETRs, ouro e óxidos metálicos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA F. F. M. 1976. **Estruturas do Pré-Cambriano inferior brasileiro**. - In: 29º Cong. Bras. Geol, Resumos: 201-202, SBG, Ouro Preto/Belo Horizonte.
- ALMEIDA, F. F. M. **O Cráton São Francisco**. Revista Brasileira de Geociências, v. 7, p. 349-364, 1977. Disponível em: <https://ppegio.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11179/10638>.
- ALKMIM F.F., Brito-Neves B.B., Castro-Alves J.A. 1993. **Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco**. In: J.M.L. Dominguez J.M.L. & A. Misi (eds.), O Cráton do São Francisco. Salvador, SBG, Núcleo Bahia, 45-62.
- ALKMIM, F.F. & Marshak, S. 1998. **Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero**. Precambrian Research, 90:29- 58.
- ALKMIM F.F. & Martins-Neto M.A. 2001. **A bacia intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos**. In: C.P. Pinto & M.A. Martins-Neto (eds.). A Bacia do São Francisco geologia e recursos naturais. SBG, Belo Horizonte.
- ARAÚJO, J.C.S., Ferreira, R.C.R., Freitas, F.M., Magalhães, J.R., 2020. **The Archean Rio das Velhas Greenstone belt revisited: new insights into the stratigraphy**. Journal of the Geological Survey of Brazil, 3(3), 113–149. <https://doi.org/10.29396/jgsb.2020.v3.n3.1>
- BARBOSA, J. S. F., Cruz, S. P., Souza, J. S. 2012. **Terrenos Metamórficos do Embasamento**. In: J. S. F. Barbosa, J. F. Mascarenhas, L. C. Corrêa-Gomes, J. M. L. Dominguez, J. S. de Souza (Eds.), Geologia da Bahia: Pesquisa e atualização. (1a ed., v.1. 101-199). Salvador-Bahia.
- BARROS, J. C. P. *et al.* **Evolução geotectônica dos terrenos arqueanos da porção centro-sul do Cráton do São Francisco: integração de dados estruturais, geocronológicos e petrológicos**. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 111, p. 103–125, 2021.
- BARROS, R.A. **Mapa geológico da folha Nova Serrana. Projeto Estratigrafia, Arquitetura Crustal e Recursos Minerais do Quadrilátero Ferrífero**. Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM, 2025. Escala 1:50.000. Belo Horizonte: CPRM, 2025.

BARROS, R. A.; MORAES, R.; PINHEIRO, M. A. P.; CARVALHO, C. D.; LANA, C. C. **Geochronology and stratigraphy of the Boa Vista de Minas Group: an example of a Mesozoic Neoarchean greenstone-belt in amphibolite- to granulite-facies.** *Journal of South American Earth Sciences*, v. 133, 103939, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.103939>.

BARROS, A. M. *et al.* Caracterização da assembleia de minerais pesados da porção basal do Grupo Boa Vista de Minas, noroeste do Quadrilátero Ferrífero. *Brazilian Journal of Geology*, v. 55, n. 1, p. 1-22, 2025. <https://doi.org/10.1590/2317-48892025352>.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Programa Geologia do Brasil – **Folha Pará de Minas: nota explicativa.** Belo Horizonte: CPRM, 2007. 72 p. PDF. Disponível em: arquivo local. Acesso em: 18 jul. 2025.

CARNEIRO, M. A.; BARBOSA, N. S. **Compartimentação tectônica do embasamento arqueano na porção meridional do Cráton do São Francisco: implicações para a evolução crustal.** *Revista Brasileira de Geociências*, v. 35, n. 1, p. 1-14, 2005.

CHAVES, M. L. S. C.; VASCONCELOS, P. M.; GIRARDI, V. A. V.; SCHORSCHER, H. **Diques máficos da região de Pará de Minas (MG): geocronologia e implicações tectônicas para o paleoproterozoico do Cráton São Francisco.** *Geonomos*, v. 22, n. 2, p. 97–108, 2014. DOI: 10.18285/geonomos.v22i2.11700

CHURCHMAN, G. J.; LOWE, D. J. **Alteration, formation, and occurrence of minerals in soils.** In: HUANG, P. M.; LI, Y.; SUMNER, M. E. (eds.). *Handbook of Soil Sciences: Properties and Processes*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2012. cap. 20, p. 20.1–20.72.

CIDADE, Taís Proença; ÁVILA, Ciro Alexandre; NEUMANN, Reiner; FAULSTICH, Fabiano Richard Leite; SILVA, Victor Hugo Riboura Menezes da; SOUSA, Sarah Siqueira da Cruz Guimarães. **Minerais pesados de saprólitos de pegmatitos intrusivos no ortogneiss Resende Costa: caracterização e correlação com a Província Pegmatítica de São João del Rei, Minas Gerais, Brasil.** *Geologia USP. Série Científica*, São Paulo, Brasil, v. 20, n. 3, p. 3–22, 2020. DOI: 10.11606/issn.2316-9095.v20-164466. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/guspsc/article/view/164466>. Acesso em: 18 jun. 2024.

CORDANI, Umberto G. **O craton do São Francisco e as faixas brasileiras: meio século de avanços.** 2017, Anais. Diamantina, MG: Sociedade Brasileira de Geologia, 2017. Disponível em: <http://www.sbgeo.org.br/home/pages/44>.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Carta geológica preliminar de Nova Serrana**, escala 1:100.000. Projeto Áreas de Relevante Interesse Mineral da Província Mineral do Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte: CPRM, 2025.

DARDENNE, M. A. **The Brasília Fold Belt.** In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (Eds.). *Tectonic evolution of South America*. Rio de Janeiro: 31º International Geological Congress, 2000. p. 231-263.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. ***An Introduction to the Rock-Forming Minerals***. 2. ed. Londres: Longman Scientific & Technical, 1992. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/mineralogical-magazine/article/abs/w-a-deer-r-a-howie-and-j-zussman-an-introduction-to-the-rockforming-minerals-2nd-edition-london-longman-scientific-technical-1992-xvi-696-pp-price-2199/F8BF5882DA6415BC4ED50AD68CCCA415>.

DORR J. V. N. II, 1957. **Revisão da Estratigrafia Pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero: Brasil.** Departamento Nacional de Produção Mineral, Minas Gerais, 81 p.

DORR J. V. N. II. 1969. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.** U. S. Geological Survey Professional Paper 614-A, 110 p.

GIOVANNINI, A. L. *et al.* **Mineralogia e geoquímica de lateritos do depósito de Nb–Ti–REE de Morro dos Seis Lagos, Amazonas, Brasil.** *Ore Geology Reviews*, v. 88, p. 461–480, 2017.

GOLDICH, S. S. ***A Study in Rock-Weathering.*** *The Journal of Geology*, v. 46, n. 1, p. 17–58, jan. 1938. DOI: 10.1086/624619.

JOSHI, K.B., Banerji, U.S., Dubey, C.P. *et al.* **Heavy minerals in provenance studies: an overview.** Arab J Geosci 14, 1330 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07687-y>

KRIPPNER, A., Meinhold, G., Morton, A. C., Schönig, J., Von Eynatten, H. (2016). **Heavy minerals and garnet geochemistry of stream sediments and bedrocks from the Almklovdalen area, Western Gneiss Region, SW Norway: Implications for provenance analysis.** Sedimentary Geology, 336, 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2015.09.009>

LEÃO, Marcio Fernandes; BARROSO, Emílio Velloso; POLIVANOV, Helena; MARQUES, Eduardo Antônio Gomes; VARGAS JR., Eurípedes do Amaral; FIGUEIREDO, Veronica Dutra de. **Aspectos mineralógicos, químicos e físicos de frente de intemperismo em filito da Formação Batatal, Quadrilátero Ferrífero.** Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, [s.l.], v. 40, p. 398-411, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2017_3_398_40.

LOCZY, L. & LADEIRA, E. A. 1976. **Geologia Estrutural e Introdução à Geotectônica.** São Paulo, Edgard Blücher. 528 p

MACHADO F. L. A.; DANNI, J. C. M.; SCHORSCHER, H. D.; et al. **Projeto Espinhaço – Relatório final.** Belo Horizonte: DNPM/CPRM, 1983. 446 p. (Série Geologia, 12).

MACHADO, N.; NOCE, C. M.; LADEIRA, E. A.; BELO DE OLIVEIRA, O. A. **U-Pb geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the southern São Francisco craton, Minas Gerais, Brazil.** *Geological Society of America Bulletin*, v. 104, n. 9, p. 1221-1227, 1992.

MARINHO, M.S., Magalhães, J.R., Lombello, J.C., Araújo, J.C.S., Di Salvio, L.P.P., Silva, R.N., Brito, D.C., Feboli, W.L., Basto, C.F., 2023. **Stratigraphy of the Pitangui Synclinorium, northwest of the Quadrilátero Ferrífero mineral province – Brazil: magmatism and sedimentation from Archean to Neoproterozoic.** *Journal of the Geological Survey of Brazil*, 6(2), 135–164. <https://doi.org/10.29396/jgsb.2023.v6.n2.1>

MARTINS-NETO, M. A.; ALKMIM, F. F. **Estratigrafia e evolução tectônica da Bacia do São Francisco.** In: PINTO, C. P.; MARTINS-NETO, M. A. (Eds.). *Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais.* Belo Horizonte: SBG, 2001. p. 31-54.

MARQUES, E. D.; CASTRO, C. C.; BARROS, R. A.; LOMBELLO, J. C.; MARINHO, M. S.; ARAÚJO, J. C. S.; SANTOS, E. A. M. **Geochemical mapping by stream sediments of the NW portion of Quadrilátero Ferrífero, Brazil: Application of the exploratory data analysis (EDA) and a proposal for generation of new gold targets in Pitangui gold district.** *Journal of South American Earth Sciences*, v. 127, p. 104–146, 2023.

MANGE, M. A., Maurer, H. F. W. (1992). **Heavy Minerals in Colour**: Chapman and Hall. Londres: Cambridge University.

MANGE, M. A., Morton, A. C. (2007). **Geochemistry of heavy minerals**. In: M. A. Mange, D. T. Wright (Coord.), *Heavy Minerals*, 345-391. *Developments in Sedimentology*. Amsterdã: Elsevier.

Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Programa Geologia do Brasil. Contrato CPRM-UFMG Nº. 059/PR/05. **Nota explicativa da folha Pará de Minas (SE.23-Z-C-IV) na escala de 1:100.000**. Autor: Antônio Wilson Romano (2006). Coordenação Geral: Antônio Carlos Pedrosa Soares;

MINDDATA. **Banco de dados geológicos e minerários do Brasil**. 2025. Disponível em: <https://www.minddata.org/>.

Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Subprograma Integração Geológico-Metalogenética. Aracaju-NW, **Folha SC.24-V**. Texto explicativo. Estados da Bahia, de Pernambuco e do Piauí. Organizado por Luiz Alberto de Aquino Angeline e Marília Kosin. Recife, 2001.

NOCE, C. M.; Pedrosa-Soares, A.C.; Silva, L. C.; Armstrong, R.; Piuzana, D., 2007. **Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí orogen, based on U–Pb SHRIMP data: Implication of Brazil-Africa links in Paleoproterozoic time.** *Precambrian Research* 159, 60–78.

PEDROSA-SOARES, A. C. *et al.* **Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida (1977).** [s. l.], 2018.

PETTIJOHN, F. J. (1975). *Sedimentary Rocks*. 2. ed. Nova York: Harper and Row.
SCHORSCHER, H. D. 1976. **Polimetamorfismo do Pré-Cambriano na região de Itabira, MG, Brasil.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29. Ouro Preto, 1976. Resumos. Ouro Preto, SBG, p. 194-195.

PINTO, L. G. R. **Interpretação de dados gravimétricos e eletromagnéticos do sul do Cráton São Francisco: novos modelos crustais e litosféricos.** 2009. 173 f. Tese (Doutorado em Geofísica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

POURRET O, Davranche M. **Rare earth element sorption onto hydrous manganese oxide: a modeling study.** *J Colloid Interface Sci.* 2013 Apr 1;395:18-23. doi: 10.1016/j.jcis.2012.11.054. Epub 2012 Dec 5. PMID: 23266025.

PRICE, J. R.; VELBEL, M. A.; PATIÑO, L. C. **Allanite and epidote weathering at the Coweeta Hydrologic Laboratory**, western North Carolina, U.S.A. *American Mineralogist*, v. 90, n. 1, p. 101–114, Jan. 2005. DOI: 10.2138/am.2005.1444.

ROMANO, A.W., NOCE, C.M. 1995. **Feições Estruturais do Lineamento Pitangui Congonhas.** In SNET 5. Gramado, 1995. Anais..., Gramado, SBG: 76-77.

ROMANO, A. W., PAIVA, C.T. 1997c. **Geologia da região de Brás Corrêa, oeste de Pará de Minas. Relatório de Pesquisa inédito.** Pará de Minas: 12 páginas, 1 mapa 1:5.000.

SOARES, M.B., Corrêa-Neto, A.V., Zeh A., Cabral, A.R., 2017. **Geology of the Pitangui greenstone belt, Minas Gerais, Brazil: stratigraphy, geochronology and BIF geochemistry.** *Precambrian Research* 291, 17–41.

SWARNKAR, Vikas; DESHMUKH, S. D.; VERMA, Komal Singh; SIDDIQUE, Sana. **Heavy minerals: key tool in sedimentological research.** *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, v. 13, n. 1, p. 342-347, 2024. DOI: 10.15680/IJIRSET.2024.1301040.

TEIXEIRA, W. **A evolução geotectônica da porção meridional do Cráton do São Francisco, com base em interpretações geocronológicas.** 1985. 218 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

TEIXEIRA, W.; Sabaté, P.; Barbosa, J. S. F.; Noce, C. M.; Carneiro, M. A., 2000. **Archean and Paleoproterozoic tectonic evolution of the São Francisco Craton.** In: Cordani, U. G., Milani, E.J., Thomaz-Filho, A, Campos, D. A. (Eds.), *Tectonic Evolution of South America*. 31st International Geological Congress, pp. 101–138.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). ***U.S. Geological Survey Releases 2022 List of Critical Minerals.*** Reston, VA: U.S. Department of the Interior, 2022. Disponível em: <https://www.usgs.gov/news/national-news-release/us-geological-survey-releases-2022-list-critical-minerals>