



INSTITUTO DE GEOGRAFIA, GEOCIÊNCIAS
E SAÚDE COLETIVA
Curso de Graduação em Geologia

JOÃO VITOR DA SILVA FOCA

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DO CORPO PEGMATÍTICO “AZURITE” EM
ARAÇUAÍ (MG)

Monte Carmelo (MG)

2025

JOÃO VITOR DA SILVA FOCA

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DO CORPO PEGMATÍTICO “AZURITE” EM
ARAÇUAÍ (MG)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geografia, Geociências e Saúde
Coletiva da Universidade Federal de
Uberlândia, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do título de Bacharel em
Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Felix Nannini

Monte Carmelo (MG)

2025

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU com
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

F652 2025	Foca, João Vitor da Silva, 2000- Caracterização Mineralógica do Corpo Pegmatítico “Azurite” em Araçuaí (MG) [recurso eletrônico] / João Vitor da Silva Foca. - 2025. Orientador: Felix Nannini. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Geologia. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia. Inclui ilustrações. 1. Geologia. I. Nannini, Felix ,1987-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Geologia. III. Título. CDU: 551
--------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

JOÃO VITOR DA SILVA FOCA

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DO CORPO PEGMATÍTICO “AZURITE” EM
ARAÇUAÍ (MG)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geografia, Geociências e Saúde
Coletiva da Universidade Federal de
Uberlândia, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do título de Bacharel em
Geologia.

Monte Carmelo (MG), 10 de Fevereiro de 2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Felix Nannini (UFU)

Universidade Federal de Uberlândia

Geólogo Dr. Ítalo Lopes de Oliveira (UFU)

Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Fabiano Mota da Silva (UFU)

Universidade Federal de Uberlândia

Dedico este trabalho à minha família, pelo amor incondicional e apoio em todos os momentos; aos meus amigos, pela companhia e incentivo ao longo desta jornada; e aos meus professores, por compartilharem conhecimento, inspiração e sabedoria.

Sem vocês, esta conquista não seria possível.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha mais profunda gratidão a Deus, por ter me concedido força, sabedoria e paciência nos momentos em que mais precisei. Sem Ele, nada disso teria sido possível.

Manifesto também meu sincero agradecimento ao meu professor, orientador e amigo, Dr. Felix Nannini, por todos os ensinamentos, comprometimento e companheirismo. Sua orientação foi extremamente essencial para a realização deste trabalho e também para toda a minha trajetória acadêmica.

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia e a todos os discentes, docentes e funcionários, não apenas do curso de graduação em Geologia, mas de toda a instituição. Em especial, registro minha gratidão ao geólogo Dr. Ítalo Lopes, ao Prof. Dr. Fabiano Mota, ao Prof. Dr. Otávio Paccola, à Profa. Dra. Rubia Viana e ao técnico Flaysner Magayver, por suas contribuições inestimáveis para a concretização deste trabalho. Sem vocês, nada disso teria sido possível.

À minha família: Jeovano, Sandra e Vinícius. Deixo aqui minha eterna gratidão. Vocês sempre foram meu alicerce. Sempre compartilhei com vocês o sonho de ser grande e minha inquietação sempre refletiu em minha ambição de me tornar melhor no que faço. Este é apenas o primeiro passo dessa jornada. Obrigado por sempre me apoiarem e por abrirem mão de tantas coisas para que eu pudesse ter uma vida melhor. Amo vocês incondicionalmente.

Também sou imensamente grato aos amigos e irmãos que pude fazer ao longo da graduação: Octavio, Milk, Cheppas, Paulinha, Mayra, Maria, Meia Barba, Negrini, Braguinha, Ewertinho, Olavo, João Peludo, Hernani, Igã, Lelé, Tuts, Andrea, Cecília, Arifa e Giovana. Sempre lembrarei dos inúmeros momentos felizes que compartilhamos, especialmente na República :A. Vocês tornaram essa etapa muito mais leve e divertida. Tenho certeza de que todos vocês serão os melhores no que decidirem fazer.

Por fim, mesmo àqueles que não foram mencionados aqui, deixo meu muito obrigado. De alguma forma, vocês também contribuíram para essa caminhada. A todos, minha eterna gratidão.

Muito Obrigado!!!

"Saber que temporais são temporários é o
que me faz desistir de desistir."

(BLACK)

RESUMO

A região norte de Minas Gerais é conhecida pela grande diversidade geotectônica e geológica, principalmente por seu grande leque de pegmatitos, por vezes sendo litiníferos. A Província Pegmatítica Oriental Brasileira corta o estado mineiro com orientação NNE-SSW, abrangendo o município de Araçuaí. O objetivo do trabalho consiste na análise e caracterização mineralógica de um corpo pegmatítico localizado às margens da Chapada do Lagoão, na zona rural de Araçuaí, Minas Gerais, por meio de amostras coletadas, juntamente com a confecção de lâminas petrográficas (seções delgadas polidas). O maciço rochoso é conhecido localmente como "Azurite" devido à grande quantidade de minerais azuis no pegmatito, interpretados como cristais de azurita. Contudo, não há nenhuma bibliografia local ou regional contendo descrição de pegmatitos com azurita. Neste trabalho, a partir de testes de propriedades físicas e, inicialmente, constatou-se que não se tratava do mineral azurita. A fim de confirmar esta conclusão e identificar o mineral, foram realizadas descrições macroscópicas de amostras e descrições microscópicas através de lâminas petrográficas em microscópio óptico. Como não houve êxito na identificação do mineral, foram utilizados a microscopia eletrônica de varredura (MEV) e o espectro de dispersão de energia (EDS) para identificação do mineral azul investigado. Concluiu-se, por meio das análises realizadas com MEV-EDS, que o mineral azul é um fosfato de ferro, identificado como vivianita ($\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{2+}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) e não um carbonato de cobre, a azurita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$).

Palavra-chave: Pegmatito, Orógeno Araçuaí, Azurita, Vivianita, Província Pegmatítica Oriental Brasileira.

ABSTRACT

The northern region of Minas Gerais is known for its great geotectonic and geological diversity, mainly due to its wide range of pegmatites, some of which are lithium-bearing. The Brazilian Eastern Pegmatite Province traverses the state in a NNE-SSW orientation, encompassing the municipality of Araçuaí. This study aims to analyze and characterize a pegmatitic body located on the margins of Chapada do Lagoão, in the rural area of Araçuaí, Minas Gerais, through collected samples, along with the preparation of petrographic thin sections. The rock massif is locally known as "Azurite" due to the large quantity of blue minerals within the pegmatite, interpreted as azurite crystals. However, there is no local or regional literature describing pegmatites containing azurite. Based on physical property tests, it was initially determined that the mineral in question was not azurite. To confirm this conclusion and accurately identify the mineral, macroscopic descriptions of the samples were conducted, followed by microscopic analyses using petrographic thin sections under an optical microscope. As the mineral could not be identified through optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive spectroscopy (EDS) were employed for further investigation of the blue mineral. Through SEM-EDS analyses, it was concluded that the blue mineral is an iron phosphate, identified as vivianite ($\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{2+}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), rather than a copper carbonate, azurite ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$).

Keywords: Pegmatite, Araçuaí Orogen, Azurite, vivianite, Brazilian Eastern Pegmatite Province.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos pegmatitos graníticos por associação mineralógica.	27
Tabela 2: Sistema de classificação geológica, paragenética e geoquímica dos pegmatitos graníticos.	28
Tabela 3: Subdivisão principal e características das cinco classes de pegmatitos graníticos. .	29
Tabela 4: Subdivisão de pegmatitos graníticos das classes muscovita e muscovita-elementos-raros.	30
Tabela 5: Sistema familiar de classificação petrogenética de pegmatitos graníticos.	31
Tabela 6: Tabela propriedades físicas: Azurita x Mineral Estudado.....	40
Tabela 7: Comparação entre espectros em vivianita.	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização do maciço rochoso “Azurite”.....	16
Figura 2: A) Serra utilizada para o corte das amostras. B) Placas diamantadas de 400# (mesh) e 1000# (mesh) utilizada para desbaste. Amostras cortadas para confecção das lâminas petrográficas. C) Serra para corte de precisão GTS-1 - Logitech. D) Lâminas no microscópio eletrônico de varredura (MEV). E) Visualização de lâmina no microscópio no Laboratório de Microscopia e Petrografia.....	18
Figura 3: Províncias Pegmatíticas do Brasil.	19
Figura 4: O Orógeno Araçuaí na região central do Paleococontinente Gondwana.	20
Figura 5: Unidades do embasamento do Orógeno Araçuaí.....	21
Figura 6: Mapa geológico do Orógeno Araçuaí.	23
Figura 7: Pegmatitos zonados - Anatomia interna.	25
Figura 8: Tipos de Pegmatitos.....	26
Figura 9: Mapa de Minas Gerais mostrando a distribuição das áreas com jazidas ou ocorrências de minerais de lítio em Minas Gerais.....	32
Figura 10: Mapa geológico do Campo Pegmatítico no distrito de Taquaral. * = Pegmatito “Azurite”.....	33
Figura 11: Dobra aberta em xisto do Grupo Macaúbas.....	34
Figura 12: Fluxo magmático laminar no Granito Teixeira resultante do alinhamento das micas.....	36
Figura 13: Granito a duas micas Teixeira – Fácies 1.	37
Figura 14: a) Bloco de quartzito recoberto por cobertura detrítico-laterítica. b) Blocos de laterita em superfície.	37
Figura 15: Afloramento azurite (antiga frente de lavra), pegmatito em contato biotita xisto. Hachurado em amarelo = xenólitos do biotita xisto. Hachurado em azul = M1 - áreas contendo maiores quantidades de “azurita”.....	38
Figura 16: A) Bloco de pegmatito extraído para comércio de rocha ornamental coberto por “azurita”. B) Matação de pegmatito com grandes granadas com fraturas preenchidas por “azurita”. Fsp= Feldspato, Grt= Granada, M1= “Azurita”, Qz= Quartzo e Ms= Muscovita. C) Amostra de pegmatito contendo grandes granadas e “azurita”.	39
Figura 17: Amostras coletadas do local estudado, sendo as amostras AZ-01, AZ-03, AZ-04 e AZ-06 escolhidas para a confecção de lâminas.....	41
Figura 18: Quartzo-biotita xisto.	42
Figura 19: Carta de cores de interferência de Michael Levy.....	43
Figura 20: Fotomicrografias das amostras AZ-04-B e AZ-04-A.	44
Figura 21: Fotomicrografias das amostras AZ-06 e AZ-03.....	45
Figura 22: Fotomicrografias da amostra AZ-03.....	46
Figura 23: Fotomicrografias da amostra AZ-04-A.....	46
Figura 24: Fotomicrografias da amostra AZ-04-A.....	47
Figura 25: Fotomicrografias da amostra AZ-04-B.....	48
Figura 26: Fotomicrografias das amostras AZ-04-B e AZ-06.	49
Figura 27: Fotomicrografias da amostra AZ-01.....	50
Figura 28: Fotomicrografias das amostras AZ-03 e AZ-01.....	51
Figura 29: Fotomicrografias da amostra AZ-01.....	52
Figura 30: Fotomicrografias da amostra AZ-01.....	52
Figura 31: Lâmina AZ-04-B.....	53

Figura 32: Mapas composicionais da região selecionada (conforme apresentado na Figura 31) da lâmina AZ-04-B. Observam-se altas concentrações dos elementos Fe, P e O, bem como a presença de Cl, Mg, Na, Al, Si, Mo, Mn, Ca e Co. Tendo os possíveis minerais: vivianita, quartzo e plagioclásio (albita).....	54
Figura 33: Imagem e espectros obtidos por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e espectro de dispersão de energia (EDS) na amostra AZ-03.	55
Figura 34: EDS na amostra AZ-04-B.....	56
Figura 35: Mapas composicionais da lâmina AZ-03 com altas concentrações dos elementos Nb e Fe, bem como a presença de Na, Al, O, Si, Cl, K, P, Mn, Mg, Ca e Ti. Tendo os possíveis minerais: Columbita, vivianita e plagioclásio (albita) e quartzo.	57
Figura 36: Imagem e espectro obtidos por MEV-EDS na amostra AZ-03.....	58
Figura 37: Mapas composicionais da lâmina AZ-01 com altas concentrações dos elementos Mn, Si, O, Al, Ca e P, bem como a presença de Na, Fe, S e Cl. Tendo os possíveis minerais: plagioclásio (albita), granada, quartzo e apatita.	59
Figura 38: Imagem e espectro obtidos por MEV-EDS na amostra AZ-01.	60
Figura 39: Mapas composicionais da lâmina AZ-03 com altas concentrações dos elementos Si e O, bem como a presença de Na, K, Al, Cl, Fe, S, P, Mn, Mg, Co. Tendo os possíveis minerais: quartzo, vivianita, plagioclásio (albita) e muscovita.	61
Figura 40: Imagem e espectros obtidos por MEV-EDS na amostra AZ-03.	62
Figura 41: Mapas composicionais da lâmina AZ-01 com altas concentrações dos elementos K, Al, Si e O, bem como a presença de Na, Mn, P, K, Cl, Ca. Tendo os possíveis minerais: granada, vivianita, plagioclásio (albita) e ortoclásio.	62
Figura 42: Imagem e espectro obtidos por MEV-EDS na amostra AZ-01.....	63
Figura 43: Mapas composicionais da lâmina AZ-03 com altas concentrações dos elementos Na, Al, Si e O, bem como a presença de P, K, Cl, Fe e Mn. Tendo os possíveis minerais: vivianita, quartzo e plagioclásio (albita), ortoclásio.....	63
Figura 44: Imagem e espectro obtidos por MEV-EDS na amostra AZ-03.....	64
Figura 45: Imagem e espectros obtidos por MEV-EDS na amostra AZ-03.	65

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 ÁREA DE ESTUDO.....	15
1.2 OBJETIVOS	16
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1 PROVÍNCIA PEGMATÍTICA ORIENTAL DO BRASIL (PPOB)	19
3.2 ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO DE PEGMATITOS.....	22
3.3 PEGMATITOS: FONTE DE LÍTIO	31
4. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL	33
4.1 GRUPO MACAÚBAS (UNIDADE XISTOS)	33
4.2 MONZOGRANITO TESTE.....	34
4.3 GRANITO TEIXEIRINHA (FÁCIES 1 – MONZOGRANITO)	35
4.4 COBERTURAS DETRITO-LATERÍTICAS	37
5. RESULTADOS.....	37
5.1 DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA	37
5.2 DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA.....	42
5.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	52
6. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

1. INTRODUÇÃO

Minas Gerais é conhecida por sua grande atuação na área de mineração, e o Vale do Jequitinhonha, situado nesse estado, é um dos tradicionais polos de riquezas minerais, destacando-se: ouro, diamante e outras gemas que foram exploradas pela coroa portuguesa até o século XIX (ALMEIDA, 2018).

Localizada na Província Pegmatítica Oriental, a região nordeste de Minas Gerais, é afamada mundialmente pela ocorrência exclusiva de minerais da região e por suas características de valor gemológico (CHAVES *et al.*, 2008). Por volta de 1940, essa província foi delimitada, sendo definida como uma grande faixa, com cerca de 800 km de extensão e aproximadamente 100 a 150 km de largura, seguindo na direção NNE para SSW ao longo da região oriental de Minas Gerais (PAIVA, 1946 apud NEVES *et al.*, 1986). Com relação às idades de formação das rochas, as informações obtidas combinam com as manifestações pós-tectônicas tardias provenientes da Orogenia Brasileira. Através de dados geocronológicos coletados nas porções setentrional, centro-oriental e meridional, confirma-se que a maior parte dos pegmatitos que compõem a Província Pegmatítica Oriental fazem parte de diversas épocas metalogenéticas, confirmando o grande volume de material pegmatítico gerado no fim do Ciclo Brasileiro (STANTON, 1972 apud NEVES *et al.*, 1986).

Os pegmatitos são caracterizados como rochas ígneas formadas predominantemente pela cristalização de magmas graníticos residuais, tendo como diferencial o enriquecimento em voláteis, como, água, boro, flúor e fósforo. Distinguem-se por sua granulação grossa, geralmente variando da borda para o núcleo e, também, pela grande quantidade de cristais apresentando hábitos esqueléticos, textura gráfica e sendo bastante unidirecionais (SIMMONS, 2007; DIAS *et al.*, 2013). Suas composições mineralógicas são semelhantes a granitos, tendo quartzo, feldspato potássico e plagioclásio sódico como a principal assembleia mineralógica. Podem ocorrer veios ou segregações hidrotermais enriquecidas em lítio, berílio, boro, flúor, fósforo, estanho, tântalo, nióbio e terras raras (LONDON, 2008; DIAS *et al.*, 2013).

O Orógeno Araçuaí é um sistema orogênico do Neoproterozoico que se localiza entre o Cráton São Francisco e a margem continental leste brasileira (PEDROSA-SOARES *et al.*, 2001). No item 3 deste trabalho será apresentada uma revisão bibliográfica sobre a geotectônica e a formação da Província Pegmatítica Oriental, tendo um enfoque no Orógeno Araçuaí, desde sua gênese até o detalhamento dos pegmatitos que o compõem.

A região de Araçuaí, antigamente chamada de Calhau, sempre foi centro de estudos geológicos. Em 1882, Costa Sena efetuou estudos de campo em amplas regiões no norte e nordeste de Minas Gerais, tendo como principal objetivo o estudo da mineralogia e geologia das bacias dos rios Araçuaí e Jequitinhonha. O autor descreveu, na época, entre o Rio Araçuaí e o Ribeirão Piauí, "gneisses cortados por veios de pegmatita e quartzo" (SÁ, 1977).

A região nordeste de Minas Gerais tem grande relevância econômica no setor mineral do Brasil, tendo grandes reservas de lítio encontradas nos pegmatitos litíferos, com destaque para os pegmatitos de Itinga e Araçuaí, contendo lítio, cério e tântalo (BORBOREMA, 2023). Atualmente o médio Vale do Jequitinhonha está se tornando um grande alvo para empreendimentos de mineração de lítio (SULZBACHER *et al.*, 2021). O município de Araçuaí está inserido na Província Pegmatítica Oriental do Brasil (PPOB), tendo 90 % do contexto geotectônico do Orógeno Araçuaí fazendo parte da província. A PPOB tem grande relevância

econômica, principalmente nos pegmatitos litíferos, tendo abundância significativa de lítio em diversas áreas, predominantemente presente nos minerais espodumênio, amblygonita, petalita e lepidolita (SULZBACHER *et al.*, 2021).

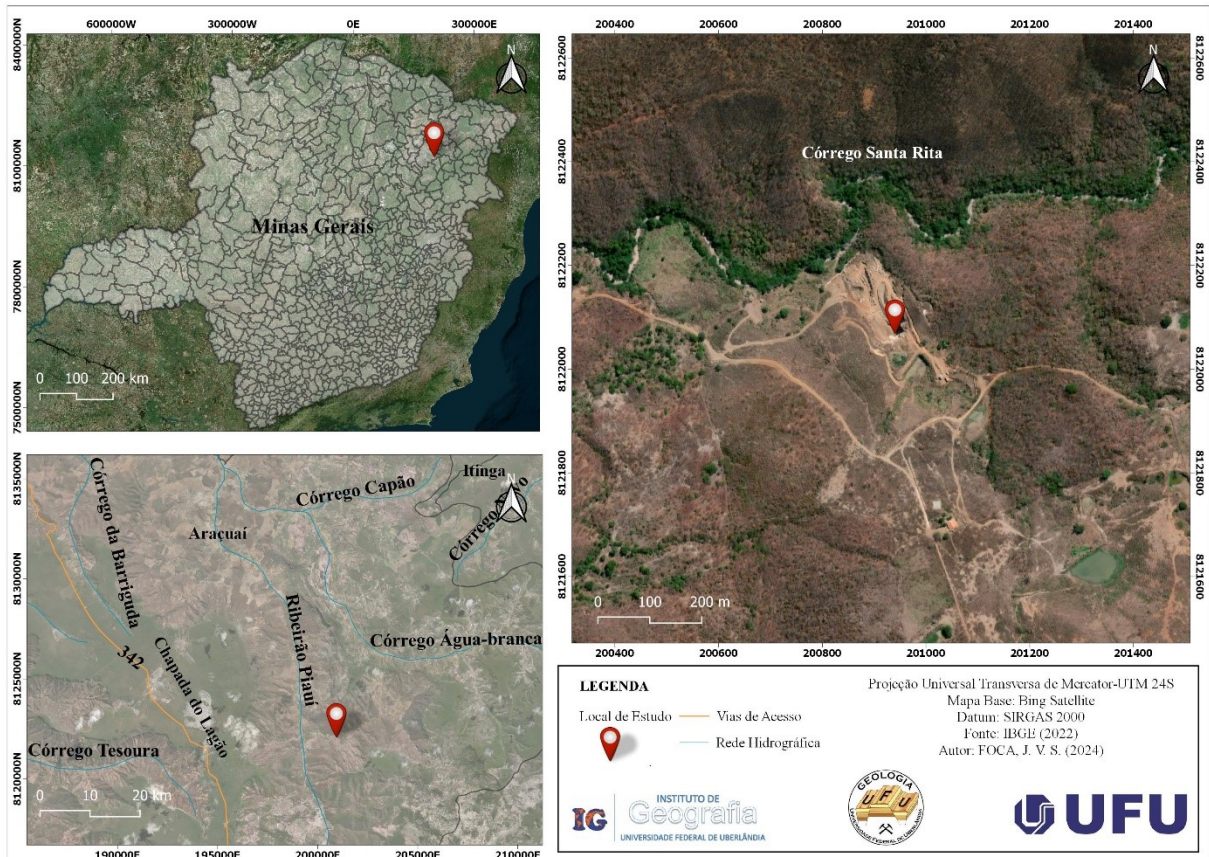
O presente trabalho tem como objetivo a análise e descrição de um corpo pegmatítico localizado na região de Araçuaí, Minas Gerais, com foco na caracterização mineralógica, especificamente de um mineral que ocorre no maciço, localmente denominado de "Azurite". Essa nomenclatura foi atribuída devido à presença significativa de minerais com tonalidade azul, de modo a fazer alusão ao mineral azurita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$). No entanto, não há registros bibliográficos locais ou regionais que descrevam pegmatitos contendo carbonatos de cobre. Além da caracterização mineralógica, por meio da identificação e descrição detalhada dos minerais presentes, o estudo visa contribuir para o enriquecimento bibliográfico da litologia no município de Araçuaí, ampliando o conhecimento geocientífico disponível para a comunidade acadêmica e os residentes da região.

1.1 ÁREA DE ESTUDO

A intrusão pegmatítica nomeada popularmente como "Azurite" está localizada no Médio Jequitinhonha, na zona rural de Araçuaí, Minas Gerais, nas proximidades da Chapada do Lagoão e do Ribeirão Piauí, na margem esquerda do Córrego Santa Rita (Figura 1).

O acesso ao local é feito a partir de Araçuaí, seguindo inicialmente pela BR-367 no sentido leste por aproximadamente 8 km, onde se deve acessar à direita a estrada para a Comunidade Quatis. A partir deste ponto, segue-se apenas por via não pavimentada, percorrendo-se 6 km em estrada de terra em direção à Chapada do Lagoão. Em seguida, continua-se por aproximadamente 20 km, cruzando os Córregos Piauí e Santa Rita. Após mais 5 km, chega-se ao ponto de estudo.

Figura 1: Mapa de localização do maciço rochoso “Azurite”.



Fonte: O autor. Mapa base: IBGE (2022).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é a descrição e caracterização mineralógica de um corpo pegmatítico que apresenta concentrações significativas de um ou mais minerais de coloração azul. Localmente, esse corpo é denominado “Azurite”, sob a suposição de que o mineral azul em questão seja a azurita. Entretanto, não há registros, nem estudos locais ou regionais, que descrevam a ocorrência de pegmatitos contendo esse mineral em específico.

Para atingir os objetivos propostos, inicialmente, esperava-se confirmar por meio da descrição das propriedades físicas se o mineral em questão era de fato a azurita. Como os resultados foram inconclusivos, buscou-se a identificação mineralógica por meio de análises em lâminas petrográficas utilizando microscopia óptica. Não foi possível a identificação por microscopia óptica, então empregou-se a análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) juntamente com espectro de dispersão de energia (EDS), sendo assim possível verificar e comprovar o mineral investigado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada para a execução deste estudo foi organizada em um cronograma estruturado em três etapas: pré-campo, campo e pós-campo.

A etapa pré-campo iniciou-se com uma revisão bibliográfica sobre a geotectônica e a formação da Província Pegmatítica Oriental, com ênfase no Orógeno Araçuai, destacando os pegmatitos presentes na região de estudo, especialmente os pegmatitos litiníferos. As principais

referências utilizadas para a caracterização mineralógica e petrográfica foram Sá (1977) e Betiollo *et al.*, (2016), sendo um trabalho feito juntamente com a CPRM, ambas dedicadas aos pegmatitos do médio Vale do Jequitinhonha. De modo complementar, foi realizado um levantamento de informações em publicações científicas, mapas geológicos, teses, dissertações, entre outros documentos relevantes.

Na etapa de campo, foram realizadas atividades de levantamento litológico e estrutural no maciço rochoso, com o objetivo de compreender a complexidade geológica da rocha metamórfica encaixante e do pegmatito intrusivo, que apresenta uma mineralogia atípica. Durante o trabalho de campo, foram coletadas 10 amostras, com descrições detalhadas dos minerais que as compõem.

A identificação preliminar dos minerais primários e secundários foi realizada com o auxílio de uma lupa geológica, enquanto a retirada de amostras do maciço foi efetuada com o uso de um martelo geológico. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, garantindo o controle e a organização adequados para posterior análise. A orientação estrutural dos corpos rochosos foi aferida com o uso de bússola geológica, permitindo a medição das atitudes (direção e inclinação) das estruturas. Também foi utilizado *smartphone* equipado com GPS para a coleta precisa dos pontos geográficos e para registros fotográficos das principais ocorrências em campo. Para a identificação de minerais com propriedades magnéticas, foi utilizado um ímã, enquanto a presença de carbonatos foi testada com ácido clorídrico (HCl). Essas ferramentas e metodologias permitiram a coleta sistemática de dados litológicos e estruturais, essenciais para a caracterização geológica da área estudada.

Na etapa de pós-campo, para parte de sensoriamento remoto, foi utilizado o software QGIS®, versão 3.14.16, que resultou na elaboração dos mapas de localização e geológico como produtos do Sistema de Informações Geográficas (SIG).

As amostras coletadas foram submetidas a descrições macroscópicas detalhadas em laboratório, com ênfase em suas propriedades físicas, incluindo estrutura, textura, cor e mineralogia, entre outros, com o objetivo de realizar a caracterização inicial precisa do mineral em investigação. Foram escolhidas quatro amostras sendo AZ-01, AZ-03, AZ-04 e AZ-06, para elaboração de lâminas petrográficas.

Foram confeccionadas cinco lâminas petrográficas pelo discente responsável por este trabalho, com o apoio do técnico Ítalo Lopes de Oliveira, no Laboratório de Preparação de Amostras (LAPREA), localizado no *campus* Monte Carmelo da Universidade Federal de Uberlândia. As lâminas, denominadas AZ-01, AZ-03, AZ-04-A, AZ-04-B e AZ-06 (Figura 2B), foram selecionadas com prioridade para as amostras que apresentavam maior concentração de minerais de coloração azul.

Inicialmente, foi utilizada uma serra de corte (Figura 2A), similar às empregadas em marmorarias, para o corte preliminar das amostras que posteriormente seriam transformadas em lâminas petrográficas. Em seguida, os fragmentos obtidos foram levados para uma serra de corte de precisão (Figura 2C), com o objetivo de reduzir a espessura das lâminas. O processo de desbaste foi realizado com o auxílio de placas diamantadas (Figura 2B) de granulação 400# (mesh) e 1000# (mesh) e utilizando carbetos de silício como abrasivo sobre placas de vidro, com as mesmas especificações mencionadas anteriormente, visando a obtenção de lâminas com a espessura adequada para análise petrográfica. As lâminas posteriormente foram levadas para o

Laboratório de Microscopia e Petrografia (Figura 2E) para a realização de análises e descrições por meio de microscópio óptico.

Com base na análise das lâminas petrográficas e na descrição das propriedades físicas, não foi possível identificar com precisão os minerais de cor azul utilizando o microscópio óptico. Diante dessa limitação, optou-se por realizar uma análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) no Laboratório Multiusuário do Instituto de Química (LAMIQ), localizado no *campus* Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia (Figura 2D). Foram selecionadas três lâminas petrográficas, priorizando aquelas com maior concentração de minerais azuis. A análise foi conduzida com o suporte técnico do Flaysner Magayver Portela e a supervisão do Prof. Félix Nannini.

Figura 2: A) Serra utilizada para o corte das amostras. B) Placas diamantadas de 400# (mesh) e 1000# (mesh) utilizada para desbaste. Amostras cortadas para confecção das lâminas petrográficas. C) Serra para corte de precisão GTS-1 - Logitech. D) Lâminas no microscópio eletrônico de varredura (MEV). E) Visualização de lâmina no microscópio no Laboratório de Microscopia e Petrografia.



Fonte: O autor.

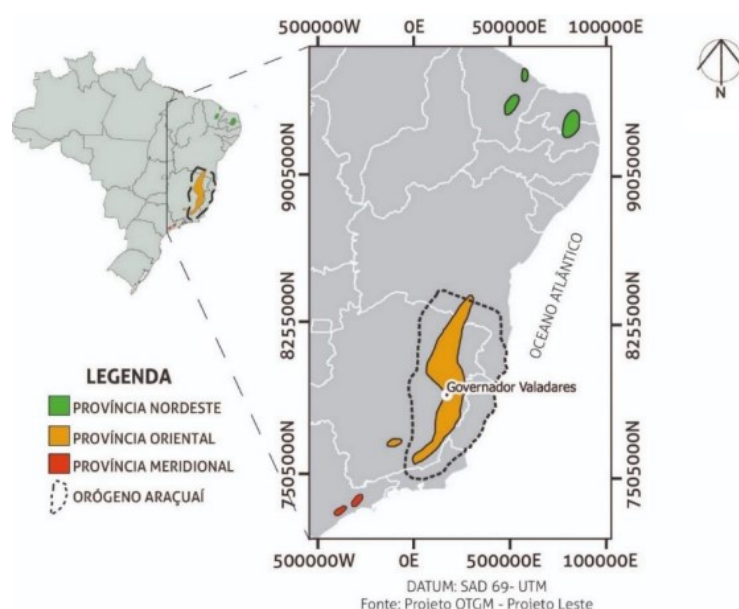
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PROVÍNCIA PEGMATÍTICA ORIENTAL DO BRASIL (PPOB)

As Províncias Pegmatíticas do Brasil são divididas de acordo com o seu posicionamento geográfico, sendo três províncias principais: Nordeste, Oriental e Meridional (PAIVA, 1946 apud BARROSO, 2018) (Figura 3). As formações pegmatíticas destas províncias foram constituídas, em sua maior parte, no final do Proterozoico como consequência de processos orogênicos, tendo como produto final a consolidação da plataforma da América do Sul (ALMEIDA, 1976; BARROSO, 2018).

Almeida (1977) caracterizou as margens sudeste e sul do Cráton São Francisco como um cinturão orogênico brasileiro, dando nome de Faixa Araçuai, sendo uma faixa de dobramentos brasileiros que abrange maior parte em Minas Gerais e regiões vizinhas da Bahia.

Figura 3: Províncias Pegmatíticas do Brasil.



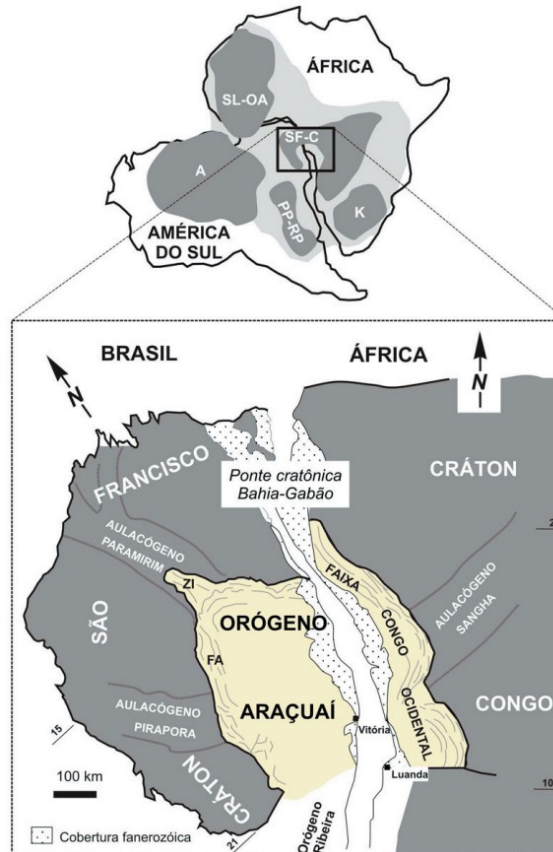
Fonte: Barroso (2018).

Durante o curso para mudança de nome “Orógeno Araçuai”, Porada em 1989 e Pedrosa-Soares *et al.* em 1992, pontuam sobre a Faixa Araçuai e seus terrenos adjacentes, situados a leste, fazendo parte do sistema orogênico brasileiro-panafricano do Gondwana Ocidental (ALKMIM *et al.*, 2007). O Orógeno Araçuai-Congo ocidental evoluiu de uma bacia por partes de crosta oceânica (Bacia Macaúbas), tendo datação de 880 Ma (milhões de anos) formada por rifteamento interiores. Parte do Cráton São Francisco e Congo se moveram em sentidos contrários por forças de colisões que ocorreram em suas margens ocasionando no fechamento da bacia mediterrânea percussora (ALKMIM *et al.*, 2007).

O Orógeno Araçuai e sua parte equivalente, sendo a então porção oeste congoleza, teve sua evolução e formação confinada pelos crátons do São Francisco e Congo, resultando em estruturas tectônicas com direção preferencial NNE a NS, infletindo para EW no seu extremo norte, junto ao limite Minas-Bahia (PEDROSA-SOARES *et al.*, 1992; CARNEIRO, 2003). Junto a isso, no mesmo território, há um embasamento pré-brasiliano, parte do Cráton São Francisco e a faixa móvel brasileira, ligada à implantação do Orógeno Araçuai, durante o

Neoproterozoico (CARNEIRO, 2003). As margens continentais a leste do Brasil e oeste da África, foram interpretadas através da reconstrução cartográfica do Gondwana Ocidental, sendo que a parte norte do Cráton São Francisco vai de encontro com o segmento setentrional do Cráton do Congo (Figura 4) (DE WIT *et al.*, 1988 apud ALKMIM *et al.*, 2007). Observando a Faixa Araçuaí é notável que se tenha compreensão entre margem continental brasileira, sendo a Província Mantiqueira Setentrional, onde sua parte correspondente pode ser verificada na Faixa Panafricana, ficando a oeste do Congo (ALKMIM *et al.*, 2007).

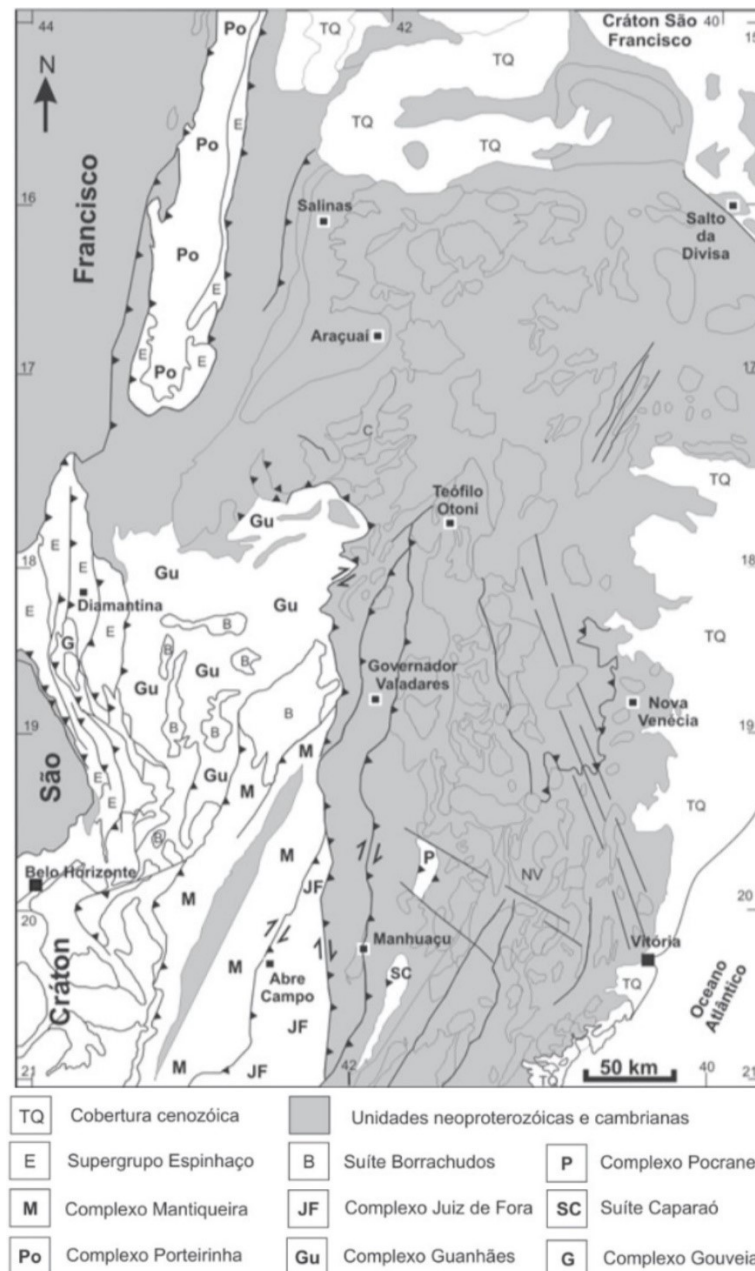
Figura 4: O Orógeno Araçuaí na região central do Paleocontinente Gondwana.



Fonte: Alkmim *et al.* (2007).

A evolução do embasamento do Orógeno Araçuaí está ligada a junção dos blocos crustais arqueanos, evento que ocorreu entre 2,2 e 2,0 Ga, durante processo orogênico Paleoproterozoico. Estas unidades do embasamento estão localizadas a oeste (domínio externo) e ao leste (domínio interno) do orógeno. Durante a Orogênese Brasileira houve a separação destes setores, variando a intensidade do retrabalhamento tectônico e isotópico dos complexos. A característica do setor externo é o cinturão de dobras e cavalgamentos de grau metamórfico baixo, localizando ao entorno do Cráton São Francisco. O setor interno é marcado por grandes corpos de granitóides, formados em etapas diferentes da evolução do orógeno, apresentando metamorfismo em fácies granulito e anatexia. A maior parte do embasamento do Orógeno Araçuaí é formado por ortognaisses, sendo os complexos Juiz de Fora, Porteirinha, Guanhões, Mantiqueira e Gouveia (Figura 5) (NOCE *et al.*, 2007).

Figura 5: Unidades do embasamento do Orógeno Araçuaí.



Fonte: Pedrosa-Soares *et al.* (2001) apud Noce *et al.* (2007).

A evolução tectônica do Orógeno Araçuaí é marcada por diferentes fases de magmatismo de origem granítica, sendo diferenciadas por características estruturais, petrológicas, geoquímicas e geocronológicas dentro das suítes ou supersuítes G1 (pré-colisional), G2 (sin-colisional), G3 (tardi a pós-colisional), G4 e G5 (pós-colisional) (Figura 6) (GONÇALVES *et al.*, 2010). A supersuíte G1 é datada entre 630 e 585 Ma, sua principal composição é de tonalitos e granodioritos; pontualmente, ocorrem granitos cálcio-alcalinos metaluminosos, possuindo fácies máficas a dioríticas. Os principais maciços rochosos que representam a suíte são os batólitos Baixo Guandu, Brasilândia, Derribadinha, Divino, Estrela-Muniz Freire, Galileia, Manhuaçu e São Vitor. A supersuíte G2 tem idade marcada entre 590 e 545 Ma, possuindo foliação magmática. Em certos casos, ocorre foliação em estado sólido. Geralmente, os corpos peraluminosos ocorrem nas formas de batólitos, tabulares e stocks. A

maior parte é formada por biotita-cordierita-granada-sillimanita granito. Os principais corpos representantes da suíte são Ataléia, Carlos Chagas, Montanha, Nanuque e Urucum. A supersuíte G3 é representada pelos corpos Água Boa, Água Branca, Almenara, Barro Branco e Itaobim. A suíte é formada por leucogranitos autóctones a parautóctones, advindos da fusão parcial dos granitos deformados da suíte G2, tendo datação entre 545 e 530 Ma. A supersuíte G4 possui composição peraluminosa, sendo representada por granitos a duas micas, biotita granito e muscovita-granada leucogranito. As idades obtidas dos granitoides variam entre 530 e 500 Ma, sendo que seus principais corpos recebem nomenclaturas locais como Campestre, Caraí, Córrego do Fogo, Itaporé, Laje Velha, Mangabeiras, Piauí, Quati, Santa Rosa e Teixeira. Por fim, a supersuíte G5 é representada por corpos com nomenclaturas locais, como Aimorés, Caladão, Cotaxé, Guaratinga, Lajinha, Padre Paraíso, Pedra Azul, Pedra do Elefante, Rubim, Salomão, Santa Angélica, Santo Antônio do Jacinto e Várzea Alegre. A suíte é composta por monzogranitos, sienogranitos e charnockitos, tendo datação entre 530 e 480 Ma (PEDROSA-SOARES *et al.*, 2011; KAWATA, 2018).

A formação de pegmatitos é marcada pelo evento brasileiro, sendo o mais importante na produção dos mesmos nas faixas móveis ao entorno do oriente do Cráton São Francisco (Figura 6). Seu pico de formação foi entre 590 e 575 Ma (CARNEIRO, 2003), sendo marcado pela fusão parcial do embasamento granulítico e a formação de granitos sintectônicos, onde sua maior parte são do tipo I e S. Como consequência do evento, houve a produção de melt pela colisão dos Crátons do São Francisco e Congo, gerando também dobramentos para oeste (SÖLLNER *et al.*, 1991 apud CARNEIRO, 2003). O término do evento foi datado entre 460 e 450 Ma, pelo método K-Ar (FERNANDES E BILIAL, 1997 apud CARNEIRO, 2003). Através dos minerais sillimanita, estauroлита e cianita encontrados nos metassedimentos e gnaisses, foi inferido o metamorfismo em fácies anfibolito de alto grau, onde a gradação do metamorfismo nas rochas encaixantes aos pegmatitos diminui de leste para oeste, sendo da costa do Atlântico para a borda oriental do Cráton do São Francisco (CARNEIRO, 2003).

3.2 ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO DE PEGMATITOS

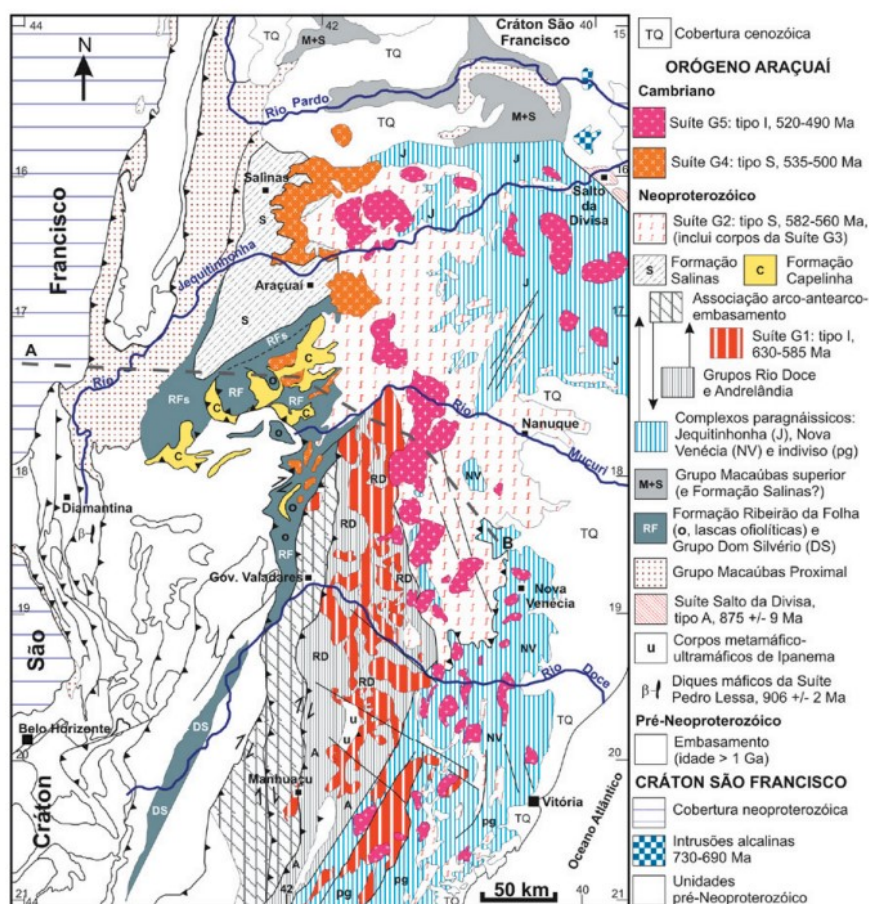
A primeira citação do termo pegmatito foi em 1801 pelo padre e mineralogista R.J Haüy, empregando a palavra para rochas que tinham texturas gráficas (CORREIA NEVES, 1981). Os pegmatitos comumente estão associados a maciços graníticos, podendo ser encontrados em formas de filões, *pipes*, diques e corpos de formas irregulares, intrudindo as rochas encaixantes (SOUZA, 1985 apud BARROSO, 2018). De forma geral, os pegmatitos são corpos de rocha constituídos basicamente por composição granítica (quartzo, feldspato e mica), tendo granulação grossa e grandes cristais, encontrados em estruturas desenvolvidas em terrenos metamórficos com idade pré-cambriana, com diversas formas e tamanhos. Os pegmatitos graníticos constituem a maior fonte de metais raros, particularmente tântalo e lítio, apresentando também depósitos de gemas, feldspatos, micas, caulim, quartzo, berílio e estanho (BARROSO, 2018).

A gênese dos pegmatitos é associada à fusão magmática residual ou à anatexia. Inicialmente, ocorre fusão parcial em temperaturas entre 700°C e 800°C de uma fonte rica em compostos voláteis e elementos incompatíveis. Esse processo é acompanhado pela solidificação do magma e pela cristalização fracionada, durante a qual o fluido residual ascende, preenchendo cavidades vazias em rochas pré-existentes. Esse fluido residual é caracterizado por sua alta concentração de silício e alumínio, além de conter água, componentes voláteis e elementos com

alta carga e pequeno raio. No contexto da fusão magmática, a geoquímica dos pegmatitos reflete a associação com elementos alcalinos, que desempenham papel significativo nas fases de cristalização. Durante as etapas iniciais de cristalização, os elementos sódio (Na) e cálcio (Ca) são incorporados, resultando na formação de plagioclásios. À medida que o processo evolui, há um aumento progressivo da concentração de potássio (K), favorecendo a cristalização de feldspatos potássicos-sódicos (microclina e ortoclásio), típicos de estágios mais avançados da evolução magmática (FERSMAN, 1930; JAHNS, 1995; GINSBURG, 1971 apud CRUZ, 2024).

Os pegmatitos formados por anatexia estão relacionados a processos que ocorrem em altas profundidades, sendo sua geração associada à remobilização da crosta continental. Esses corpos também podem estar vinculados à formação de leucossomas em terrenos migmatíticos, comumente presentes em fácies metamórficas que variam de anfibolito a granulito inferior. Os pegmatitos anatéticos são, geralmente, os primeiros a se formar durante a remobilização crustal, apresentando características composicionais semelhantes às de granitos alcalinos, com alta concentração de SiO₂ (FERSMAN, 1931; CERNY, 1982a e b apud CRUZ, 2024).

Figura 6: Mapa geológico do Orógeno Araçuai.



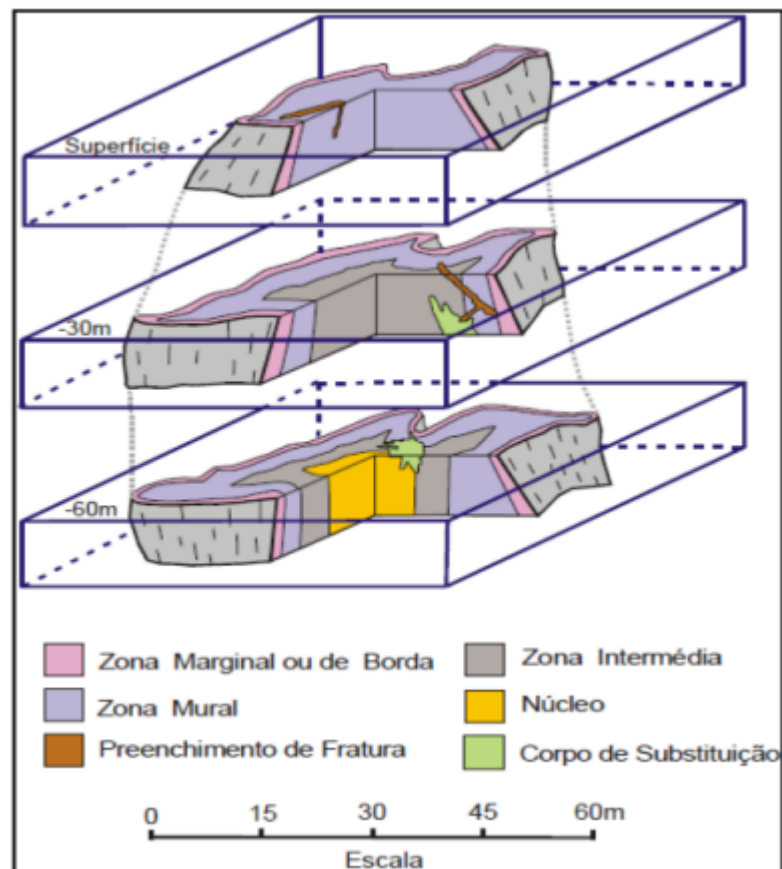
Fonte: Pedrosa-Soares *et al.* (2007).

Uma das formas de classificar os pegmatitos é dividi-los em zonados e não zonados. Os pegmatitos zonados são caracterizados por uma mineralogia complexa, apresentando diferentes zonas internas que se distinguem tanto pela composição mineralógica quanto pela textura. Em

contraste, os pegmatitos não zonados exibem uma estrutura homogênea, sem variações significativas em sua mineralogia ou textura ao longo de todo o corpo. Os pegmatitos zonados podem apresentar três tipos principais de estrutura interna. O primeiro tipo é a zona de cristalização primária, composta por camadas concêntricas e gradacionais que envolvem um núcleo central, o qual pode ser diferenciado das zonas externas com base em suas características texturais e mineralógicas. O segundo tipo corresponde aos corpos formados por substituição metassomática, nos quais minerais originalmente presentes são substituídos por novas fases minerais ao longo do processo de formação. Por fim, o terceiro tipo refere-se ao preenchimento de fraturas, onde minerais secundários preenchem cavidades ou fraturas preexistentes (CRUZ, 2024).

Existem quatro tipos principais de zonas nos pegmatitos (Figura 7). A zona marginal ou zona de borda é caracterizada por uma granulação fina, espessura reduzida e mineralogia predominante composta por turmalina, muscovita, biotita, berilo e feldspato alcalino. A zona mural apresenta uma mineralogia similar à da zona marginal, mas com textura e granulação grossa. A zona intermediária é a mais extensa do corpo pegmatítico, onde ocorrem os primeiros megacristais e fenocristais, predominantemente de quartzo, plagioclásio e mica. Além desses minerais, essa zona pode acumular elementos e minerais raros, como urânio, tório, lítio, cério, nióbio e elementos de terras raras, devido à concentração de fluidos residuais durante a cristalização. Por fim, o núcleo está localizado no centro do corpo pegmatítico, sendo geralmente composto predominantemente por quartzo, que pode formar cristais de grandes dimensões em uma matriz relativamente homogênea. A cristalização e associação mineralógica é perceptível nas quatro zonas, podendo descrever da parte externa para o núcleo da seguinte forma: 1- Plagioclásio – quartzo- muscovita; 2- Plagioclásio- quartzo; 3- Quartzo- plagioclásio- pertita- (muscovita + biotita); 4- Pertita- quartzo; 5- Plagioclásio- quartzo- espodumênio (petalita e/ou montebrasita); 6- Quartzo- espodumênio (petalita e /ou montebrasita); 7- Quartzo- microclínio; 8- Quartzo; 9- Lepidolita ou mica rica em lítio- plagioclásio- quartzo- microclínio (Cameron *et al.*, 1949 apud CRUZ, 2024).

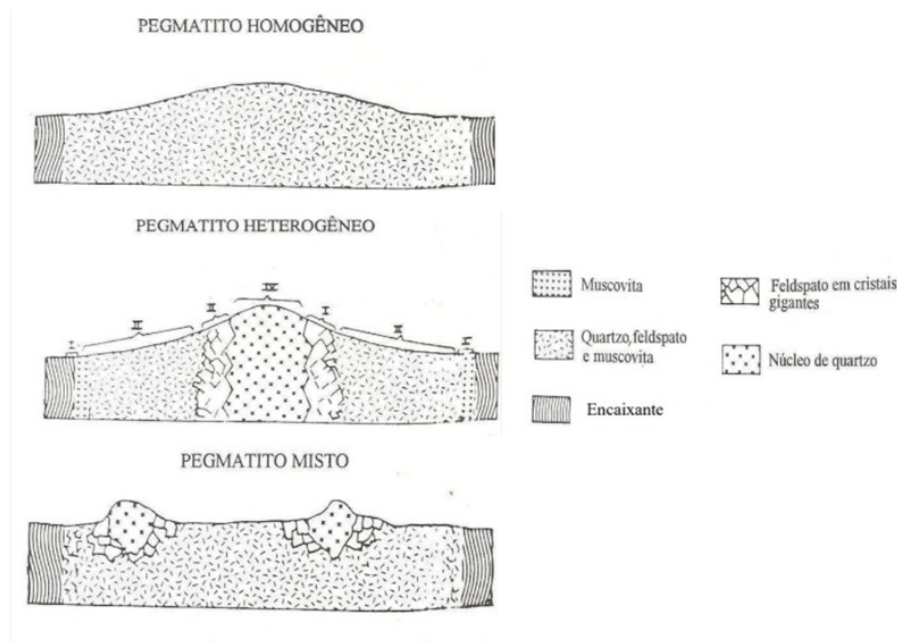
Figura 7: Pegmatitos zonados - Anatomia interna.



Fonte: Newman Carvalho (2004).

Os pegmatitos podem ser classificados ainda por sua complexidade mineralógica em homogêneos, heterogêneos e mistos (Figura 8) e por sua textura em simples e complexos. Os pegmatitos simples apresentam em sua composição os minerais essenciais feldspato (predominante o microclínio em comparação ao plagioclásio/oligoclásio), quartzo e muscovita. Os minerais acessórios presentes são a turmalina e berilo. Os pegmatitos complexos apresentam maiores quantidades de minerais acessórios, principalmente de lítio (SÁ, 1977). Em uma nova classificação, os pegmatitos homogêneos são compostos essencialmente por quartzo, feldspatos alcalinos (microclínio e plagioclásio sódico) e micas (muscovita e/ou biotita); os pegmatitos heterogêneos são constituídos por quartzo, feldspatos, micas e minerais raros em considerável quantidade, apresentando as seguintes variedades: lepidolita, espodumênio, turmalina, topázio, cassiterita, berilo, tantalita, columbita, zircão, uraninita, torita, apatita, amblygonita etc; os pegmatitos mistos são junções de pegmatitos homogêneos e heterogêneos, porém seus núcleos não são individualizados, ao invés disso, apresentam bolsões de quartzo (BARROSO, 2018).

Figura 8: Tipos de Pegmatitos.



Fonte: Landes (1933).

A mineralogia dos pegmatitos pode ser dividida em três classes principais: silicatos, fosfatos e óxidos. Dentro dessa classificação, os minerais são categorizados como essenciais e acessórios. Os minerais essenciais incluem quartzo, feldspato potássico, plagioclásio albitico e micas, como muscovita e biotita. Os minerais acessórios abrangem uma variedade de elementos e compostos raros, como minerais de lítio (exemplos: lepidolita, espodumênio e amblygonita), minerais de berílio, minerais de cério, turmalina, apatita, minerais de nióbio, cassiterita, zircão, além de minerais sulfurosos, como galena e esfalerita, e minerais portadores de elementos de terras raras. Outra forma de classificação dos pegmatitos baseia-se nas associações mineralógicas e nas proporções relativas de feldspato potássico, plagioclásio, albita, biotita, muscovita e lepidolita presentes no corpo pegmatítico, divididas em cinco tipos (Tabela 1) (CERNY, 1982).

Tabela 1: Classificação dos pegmatitos graníticos por associação mineralógica.

Tipo	Subtipo	Mineral Típico	Potencial Econômico
Terras Raras Kf>plg Bi>msc	- alanita-monazita (L) ETR, U, Th, (P, Be, Nb, Ta) - gadolinita Y, (H), ETR, Be, Nb>Ta F, (U,Th, Ti, Zr)	- alanita, monazita - gadolinita, fergusonita, euxenita, (topázio), (berilo)	- ETR - Y, ETR, U (Be, Nb-Ta)
Berilo Kf>plg Msc≥bi	- berilo-columbita Be, Nb≥Ta (± Sn, B) - berilo-columbita-fosfatos Be, Nb≥Ta, Ta, P (Li, F, ± Sn, B) - espodumênio Li, Rb, Cs, Be, Ta-Nb (Sn, P, F, ± B)	- berilo, columbita-tantalita - berilo, columbita-tantalita, triplita, trifilita - espodumênio, berilo, tantalita (amblygonita), (lepidolita), polucita	- Be - Be, (Nb-Ta) - Li, Rb, Cs, Be
Complexo Kf=ab Msc=lep	- petalita Li, Rb, Cs, Be, Ta>Nb (Sn, Ga, P, F, ± B) - lepidolita F, Li, Rb, Cs, Be, Ta>Nb (Sn, P, ± B) - amblygonita P, F, Li, Rb, Cs, Be, Ta>Nb (Sn, ± B)	- petalita, berilo, tantalita, (amblygonita), (lepidolita) - lepidolita, topázio, berilo, microlita, (polucita) - amblygonita, berilo, tantalita, (lepidolita), (polucita)	- Ta (Sn, Ga, Hf) - Li, Rb, Cs, Ta, Be (Sn, Ga) - Li, Rb, Cs, Ta, Be (Sn, Ga)
Albita-Espodumênio Ab>Kf Msc	Li (Sn, Be, Ta-Nb, ± B)	espodumênio, (cassiterita), (berilo), (tantalita)	Li, Sn, (Be, Ta)
Albita Ab>>Kf Msc, Lep	Ta-Nb, Be (Li, ±Sn, B)	tantalita, berilo, (cassiterita)	Ta, (Sn)

Fonte: O autor. Modificado de Cerny (1982).

Cerny e Ercit (2005) publicaram o artigo intitulado “The Classification of Granitic Pegmatites Revisited”, no qual propuseram uma classificação detalhada para pegmatitos graníticos, fundamentada em aspectos mineralógicos, geoquímicos e nas condições de formação. Essa proposta representa a abordagem mais amplamente adotada na atualidade. A primeira classificação apresentada refere-se ao “Sistema de Classificação Geológica, Paragenética e Geoquímica dos Pegmatitos Graníticos”, que organiza os pegmatitos em cinco categorias distintas, com base em suas características geológicas e composicionais (Tabela 2).

A Classe Abissal é formada em profundidades significativas e está associada a condições de alta pressão e temperatura, apresentando em sua mineralogia predominância de quartzo, feldspatos e micas, sendo comumente encontrados em terrenos metamórficos de alto grau. A Classe Muscovita apresenta baixo conteúdo de elementos raros e é rica em muscovita, estando associada a granitos peraluminosos, com mineralogia composta principalmente por muscovita, quartzo e feldspato. A Classe Muscovita Elementos Raros é semelhante aos pegmatitos muscovíticos, porém apresenta concentrações moderadas de elementos raros, com mineralogia que, além de muscovita, pode incluir minerais como berilo e columbita, estando sempre

associada a granitos peraluminosos evoluídos. A Classe Elementos Raros é enriquecida em elementos como Li, Cs, Ta, Nb e Be, apresentando minerais como espodumênio, lepidolita, berilo e tantalita, sendo associado a granitos altamente fracionados. A Classe Miarolítica contém cavidades preenchidas por cristais bem formados, apresentando em sua mineralogia quartzo, feldspato e, frequentemente, minerais contendo elementos raros, estando associada a zonas de intrusão superficial (CERNY E ERCIT, 2005).

Tabela 2: Sistema de classificação geológica, paragenética e geoquímica dos pegmatitos graníticos.

Class	Subclass	Type	Subtype
Abyssal (AB)	AB-HREE AB-LREE AB-U AB-Bbe		
Muscovite (MS)			
Muscovite-Rare-element (MSREL)	MSREL-REE MSREL-Li		
Rare-element (REL)	REL-REE	allanite-monazite euxenite gadolinite	
	REL-Li	Beryl	beryl-columbite beryl-columbite-phosphate
		Complex	spodumene petalite lepidolite elbaite amblygonite
		albite-spodumene albite	
Miarolitic (MI)	MI-REE	topaz-beryl gadolinite-fergusonite	
	MI-Li	beryl-topaz MI-spodumene MI-petalite MI-lepidolite	

Fonte: O autor. Modificado de Cerny e Ercit (2005).

Dentro das classes, os pegmatitos são divididos em subclasses, tipos e subtipos (Tabela 3). Nas subclasses, a diferenciação é feita com base na presença e na abundância de certos minerais e elementos. Os tipos são definidos por associações mineralógicas específicas e padrões geoquímicos. Por fim, os subtipos representam variantes dentro dos tipos e são caracterizados por detalhes mineralógicos ou texturais (CERNY E ERCIT, 2005).

Tabela 3: Subdivisão principal e características das cinco classes de pegmatitos graníticos.

Class Subclass	Typical minor elements	Metamorphic environment	Relation to granites
Abyssal (AB)			
AB-HREE	HREE, Y, Nb, Zr, U, Ti	(upper amphibolite to) low - to high-P granulite facies: ~4 to 9 kbar, ~700 to 800°C	none (?) (segregations of anatectic leucosome ?)
AB-LREE	LREE, U, Th, Ti		
AB-U	U, Th, Zr, LREE		
AB-BBe	B, Be		
Muscovite (MS)			
	no rare-element mineralization (micas and ceramic minerals)	high-P, Barrovian amphibolite facies (kyanite-sillimanite) 5 to 8 kbar, ~650 to 580°C	none (anatectic bodies) to marginal and exterior
Muscovite-Rare-Element (MSREL)			
MSREL-REE	Be, Y, REE, Ti, U, Th, Nb-Ta	moderate to high P, (T) amphibolite facies: 3 to 7 kbar, ~650 to 520°C	interior to exterior: locally poorly defined
MSREL-Li	Li, Be, Nb		
Rare-element (REL)			
REL-REE	Be, Y, REE, U, Th, Nb>Ta, F	low-P, Abukuma amphibolite (andalusite-sillimanite) to upper greenschist facies: ~2 to 4 kbar, ~650 to 450 °C	interior to marginal (rarely exterior)
REL-Li	Li, Rb, Cs, Be, Ga, SN, Hf, Nb, Ta, B, P, F		(interior to marginal to) (exterior)
Miarolitic (MI)			
MI-REE	Y, REE, Ti, U, Th, Zr, Nb, F	very low P, postdating regional events that affect the host rocks	interior to marginal
MI-Li	Li, Be, B, F, Ta>Nb	low-P amphibolite to greenschist facies, 3 to 1.5 kbar, 500 to 400°C	(interior to) marginal to exterior

Fonte: O autor. Modificado de Cerny e Ercit (2005).

Os pegmatitos da Classe Muscovita são gerados diretamente por fusão parcial (Tabela 4). Esses pegmatitos são tipicamente estéreis, contendo feldspato, quartzo e mica, o que originou sua denominação. A mineralogia simples, caracterizada por silicatos acessórios, e a ausência de mineralização, mesmo em quantidades menores, na maioria das ocorrências, impedem subdivisões significativas dentro dessa classe. Os pegmatitos da Classe Muscovita

Elementos Raros (Tabela 4), diferentemente dos da Classe Muscovita, são em sua maioria discordantes em relação à foliação metamórfica de suas rochas hospedeiras e, ocasionalmente, apresentam zoneamento regional em relação aos granitos parentais. As ligações entre os pegmatitos da Classe Muscovita Elementos Raros e granitos ou eventos de metamorfismo regional são, em grande parte, mal definidas. Entretanto, em alguns casos, a ascendência granítica é espacialmente evidente ou pelo menos suportada por dados geoquímicos. Assim como na Classe Muscovita, as interpretações genéticas são frequentemente baseadas, principalmente ou exclusivamente, em relações de campo e em estimativas da composição em massa das rochas ígneas envolvidas (CERNY E ERCIT, 2005).

Tabela 4: Subdivisão de pegmatitos graníticos das classes muscovita e muscovita-elementos-raros.

Class Subclass	Geochemical signature	Typical minerals	Examples	References
Muscovite class (MS)				
(unsubdivided)	Ca, Ba, Sr, Fe>Mn	muscovite, biotite, almandine-spessartine, (kyanite, sillimanite)	White Sea region, Russia Mama-Vitima, Siberia most of the Appalachian pegmatite province	Gorlov (1975) Shmakin (1976) Jahns <i>et al.</i> (1952)
Muscovite-Rare-element class (MSREL)				
MSREL-REE	Be, Y, REE, Ti, U, Th, Nb-Ta	muscovite, fergusonite, samarskite, monazite, beryl, almandine-spessartine	Mattawa, ON parts of Chupa-Yena district, NW Russia Spruce Pine, NC some migmatite terranes, Ural Mtns, Russia	Ercit (1992, 2005) Leonova & Polezhaeva (1975) Olson (1944), Lessure (1968) Ayzderdzis (1976)
MSREL-Li	Li, Be, Nb	beryl, cassiterite, columbite, lepidolite, (spodumene)	Shelby-Hickory, NC (most) parts of Bihar belt, India Pobezovice-Domazlice, SW Bohemia, CZ	Griffitts & Olson (1953) Shmakin (1976) Vejanar (1968)

Fonte: O autor. Modificado de Cerny e Ercit (2005).

Cerny e Ercit (2005) também classificaram os pegmatitos em famílias petrogenéticas. Em contraste com o propósito predominantemente geológico e descritivo da hierarquia composta por classe, subclasse, tipo e subtipo, o conceito de famílias de pegmatitos aborda a proveniência desses corpos graníticos, os quais são derivados por diferenciação ígnea a partir de distintas fontes plutônicas. A classificação é dividida em duas famílias: LCT (Lítio-Césio-Tântalo) e NYF (Nióbio-Ítrio-Flúor) (Tabela 5).

Na família LCT, os elementos dominantes são lítio (Li), césio (Cs) e tântalo (Ta), estando associados a granitos peraluminosos. Seus minerais característicos incluem espodumênio, lepidolita, pollucita, tantalita, microlita, berilo, turmalina e topázio. Esses pegmatitos estão relacionados a granitos orogênicos, formados em zonas de colisão continental (ambientes compressivos) e altamente fracionados, desenvolvendo-se em estágios tardios da cristalização magmática. Na família NYF, os elementos dominantes são nióbio (Nb), ítrio (Y)

e flúor (F), estando associados a granitos metaluminosos e alcalinos. Seus minerais característicos incluem columbita, pirocloro, xenotímio, monazita, fluorita, apatita e topázio. Esses pegmatitos são formados em ambientes intracontinentais extensivos, associados a granitos anorogênicos. Embora sejam menos fracionados do que os pegmatitos LCT, ainda apresentam enriquecimento tardio de elementos incompatíveis.

Tabela 5: Sistema familiar de classificação petrogenética de pegmatitos graníticos.

Family	Dominant subclass of pegmatites	Geochemical Signature	Bulk composition of pegmatites	Associated granites	Bulk composition of granites	Source lithologies
LCT	REL-Li MI-Li	Li, Rb, Cs, Be, Sn, Ga, Ta>Nb, (B, P, F)	peraluminous to subaluminous	(synorogenic to) late-orogenic (to anorogenic): largely heterogeneous	peraluminous, S, I or mixed S+I types	undepleted upper-to middle-crust supracrustal rocks and basement gneisses
NYF	REL-REE MI-REE	Nb>Ta, Ti, Y, Se, REE, Zr, U, Th, F	subaluminous to metaluminous (to subalkaline)	(syn-, late, post-), to mainly anorogenic; quasi-homogeneous	(peraluminous to) subaluminous and metaluminous; A and I types	depleted middle-to lower-crust granulites, juvenile granites, mantle-metasomatized crust
Mixed	Cross-bred LCT and NYF	mixed	(metaluminous to) moderately peraluminous	(postorogenic to) anorogenic; heterogeneous	subaluminous to slightly peraluminous	mixed protoliths or assimilation of supracrustal rocks by NYF granites

Fonte: O autor. Modificado de Cerny e Ercit (2005).

3.3 PEGMATITOS: FONTE DE LÍTIO

Existem uma diversidade de minerais que contém lítio em sua composição química. Com maiores relevâncias econômicas destacam-se o espodumênio ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$), ambligonita/montebrasita ($(\text{Li},\text{Na})\text{Al}(\text{PO}_4)(\text{F},\text{OH})$), petalita ($\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$), tavorita ($\text{LiFe}^{3+}(\text{PO}_4)(\text{OH})$) e lepidolita ($\text{K}(\text{Li},\text{Al})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$). No Brasil, os minerais que apresentam o elemento lítio ocorrem principalmente em Minas Gerais, diretamente associados a pegmatitos graníticos pertencentes a Província Pegmatítica Oriental do Brasil, com exceção o Distrito de São João del Rei, que ocorre isolado no sul do Estado (CHAVES & DIAS, 2022).

Uma grande parte dos pegmatitos (mais de 90 %) está localizada na parte nordeste do estado de Minas Gerais, especificamente no Orógeno Araçuaí, tendo rochas graníticas com idades variando do final do Neoproterozoico até o Cambri-ordoviciano, incluindo pegmatitos associados, cobrindo em torno de 1/3 desta região. Os depósitos de minerais de lítio mais importantes nessa província associam-se ao Distrito de Araçuaí (Figura 9) (PEDROSA-SOARES *et al.*, 2011).

Figura 9: Mapa de Minas Gerais mostrando a distribuição das áreas com jazidas ou ocorrências de minerais de lítio em Minas Gerais: **1)** Araçuaí-Itinga; **2)** Conselheiro Pena-Divino das Laranjeiras; **3)** Santa Maria do Suaçuí; **4)** São João del Rei.

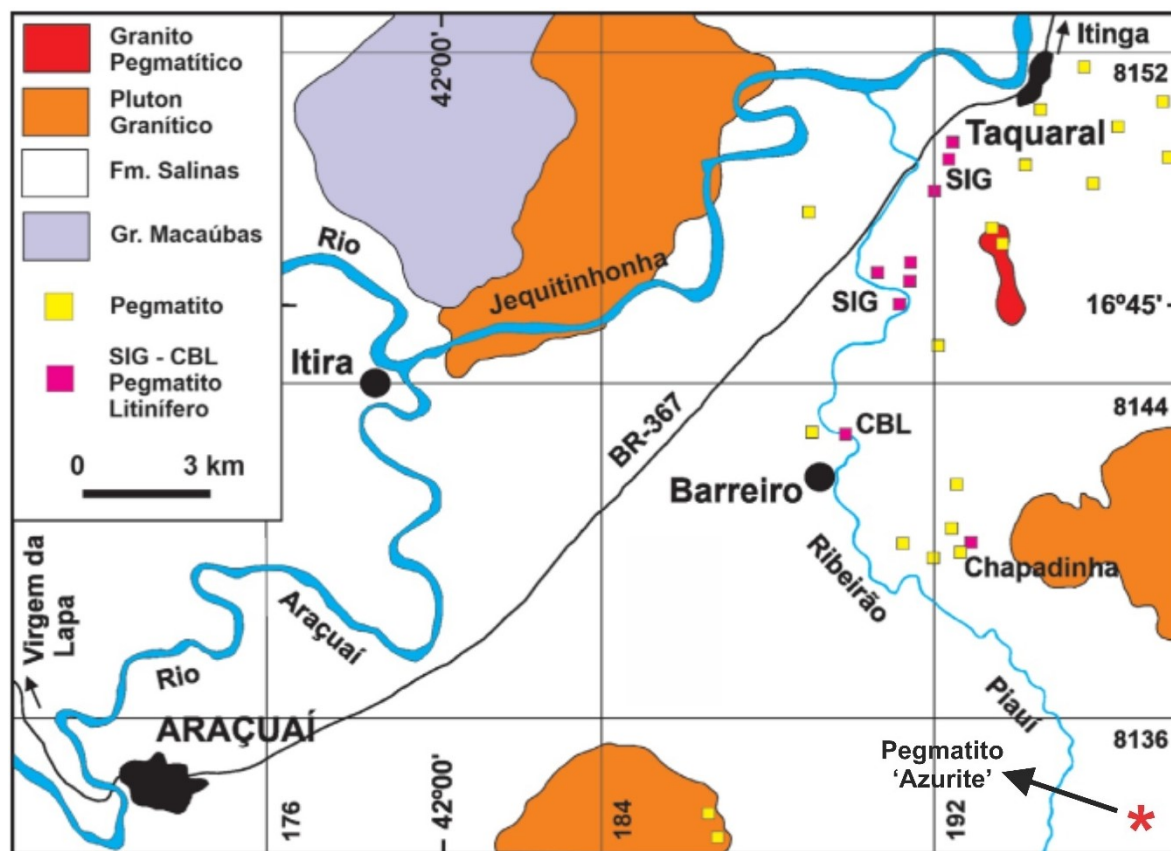


Fonte: Chaves *et al.* (2022).

Nas regiões de Araçuaí e Itinga – MG (Figura 10), foram identificados quatro tipos de pegmatitos complexos, a) Pegmatitos com microclínio-quartzo-muscovita-petalita-(espodumênio)-(albita) b) Pegmatitos com microclínio-quartzo-espodumênio-albita-muscovita c) Pegmatitos com microclínio-quartzo-albita-muscovita-lepidolita-amblygonita d) Pegmatitos com microclínio-quartzo-muscovita-polucita-espodumênio (SÁ, 1977).

Sá (1977) e Betiollo *et al.*, (2016) classificam os pegmatitos litiníferos do médio Vale do Jequitinhonha (Araçuaí e Itinga - MG) em oito tipos: 1) Pegmatitos com espodumênio disseminado, homogêneos; 2) Pegmatitos com espodumênio disseminado e com zoneamento mineralógico nas bordas; 3) Pegmatitos com espodumênio disseminado, homogêneos ou zonados e com alta proporção de albita; 4) Pegmatitos com petalita na zona intermediária; 5) Pegmatitos com petalita na zona intermediária e com alta proporção de albita; 6) Pegmatitos com petalita e espodumênio na zona intermediária; 7) Pegmatitos com lepidolita e amblygonita, zonados; e 8) Pegmatitos com espodumênio no núcleo de quartzo e no seu entorno, zonados.

Figura 10: Mapa geológico do Campo Pegmatítico no distrito de Taquaral. * = Pegmatito “Azurite”.



Fonte: Modificado de Pedrosa-Soares (1996) apud Chaves *et al.*, (2022).

4. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

As principais unidades que abrangem a região de estudo fazem parte da Folha Itaobim SE.24-V-A-IV (2008), em escala 1:100.000. Sendo elas a unidade Xistos, pertencente ao Grupo Macaúbas, Monzogranito Teste, Granito Teixeira (Fácies I – Monzogranito) e Coberturas Detrito-lateríticas.

4.1 GRUPO MACAÚBAS (UNIDADE XISTOS)

O Grupo Macaúbas está localizado no norte e sul da folha Itaobim e no oeste da folha Comercinho, sendo dividido em Unidade Xistosa e Unidade Quartzítica (MORAIS, 2017). A formação do grupo está relacionada ao desenvolvimento de uma bacia neoproterozoica, que é parte de um rifte continental para uma margem passiva, tendo influência glacial (CASTRO, 2019).

A Formação Salinas é uma unidade litoestratigráfica pertencente ao Grupo Macaúbas, amplamente distribuída ao longo da Faixa Araçuaí (LIMA *et al.*, 2002). A Unidade Xistos, sendo a Formação Salinas, faz parte do Neoproterozoico (Toniano/Criogeniano). A litologia é constituída por biotita-quartzo xisto e biotita-quartzo gnaiss (Figura 11), com granulação variando de fina a média e coloração variando em tons de cinza, ocasionada pela porcentagem de biotita, apresentando também K-feldspato frequentemente e, em alguns casos, ocorrendo plagioclásio. Localmente, sillimanita pode atingir até 3 % de proporção, granada menor que 1 %, cordierita e muscovita são comuns de ocorrer, e em alguns casos é possível observar andaluzita. Os xistos e gnaisses descritos apresentam laminação ou bandamentos centimétricos,

sendo resultado da variação de minerais máficos e félsicos. Localmente ocorrem manchas brancas irregulares ou lenticulares variando de milimétricas a centimétricas, tendo em sua composição feldspato, muscovita e, por vezes, quartzo. Comumente ocorrem veios graníticos e pegmatíticos entre os xistos (BETIOLLO *et al.*, 2016).

Figura 11: Dobra aberta em xisto do Grupo Macaúbas.



Fonte: Paes *et al.* (2010).

4.2 MONZOGRANITO TESTE

O Monzogranito Teste é uma unidade que carece de informações bibliográficas, mas o que se sabe é que abrange uma extensão de cerca de 50 km², fazendo parte do magmatismo tardi a pós-colisional do tipo S, podendo apresentar resquícios de rochas metassedimentares (MORAIS, 2017). A unidade é composta por biotita monzogranito com variação de porfirítico a não porfirítico, sendo rochas brancas ou cinzas claras com cristais de feldspato potássico variando de 1 a 4 cm, não seguindo orientação preferencial. Ocorrem também rochas isotrópicas com granulação média e em partes apresentam leve foliação, causada pela orientação da biotita (BETIOLLO *et al.*, 2016).

A fração modal de biotita é classificada entre 4 % e 5 %, seguindo a muscovita, que é menor que 1 %. Também ocorrem outros minerais, como o microclínio com micropertita, sillimanita e granada. São presentes veios pegmatíticos; porém, não em grandes quantidades, com morfologias tabulares e lenticulares e tamanhos variando de centimétricos a decimétricos. Em alguns casos, ocorrem em bolsões irregulares com tamanhos de 2 a 3 metros. Os minerais presentes são quartzo, feldspato, biotita, muscovita e podem conter turmalina preta, contendo estrutura interna homogênea (MORAIS, 2017).

4.3 GRANITO TEIXEIRINHA (FÁCIES 1 – MONZOGRANITO)

A unidade é dividida em três fácies, sendo a Fácies 1 caracterizada como a de maior expressão (PAES *et al.*, 2010). Datado entre 523 ± 19 Ma, pelo método U-Pb, a unidade Granito Teixeira pertence à Supersuíte G4 (PAES *et al.*, 2010; KAWATA, 2018), pontualmente, ocorrem dois corpos menores a sudeste do maciço dominante (MORAIS, 2017). As rochas desta unidade são correspondentes a granitos crustais do tipo-S (PAES *et al.*, 2010).

A Fácies 1 é constituída por monzogranito a duas micas, dividido em maciços rochosos com tonalidade branca e cinza-clara, possuindo textura granular hipidiomórfica ou alotriomórfica, com granulação variando entre média e, por vezes, grossa ou fina, equigranulares e, localmente, podendo ser porfiríticas. Geralmente, são isotrópicas ou possuem foliação que varia de tênue a conspicua. Quando conspicua, ocorre nos limites dos corpos, sendo marcada por superfície de fluxo magmático laminar, gerado, em sua maior parte, pelo alinhamento das micas biotita e muscovita, uma parcela das muscovitas dos granitos a duas micas são de origem metassomática deutérica, produto gerado pela substituição da biotita. Em casos específicos, estas estruturas apresentam-se paralelizadas à superfície de contato, os metassedimentos encaixantes (Figura 12) (PAES *et al.*, 2010).

Figura 12: Fluxo magmático laminar no Granito Teixeira resultante do alinhamento das micas.



Fonte: Paes *et al.* (2010).

Em observação macroscópica, a fração modal das micas apresenta uma pequena diferença: a biotita varia entre 3% e 7%, e a muscovita entre 2% e 7%. Por esse motivo, a unidade é classificada como granito a duas micas (Figura 13). O feldspato potássico observado é microclina, e, por vezes, também ocorre micropertita. Os minerais acessórios são turmalina preta, granada e apatita, podendo ocorrer sillimanita em proporções menores que 1% (MORAIS, 2017). Comumente, ocorrem veios pegmatíticos com turmalina preta na unidade, apresentando forma tabular ou irregular, com contatos sinuosos com a rocha encaixante. Em certos casos, aparecem como bolsões sem indícios de zonamento interno (PAES *et al.*, 2010).

Figura 13: Granito a duas micas Teixeira – Fácies 1.



Fonte: Paes *et al.* (2010).

4.4 COBERTURAS DETRITO-LATERÍTICAS

Este tipo de cobertura está relacionado ao ciclo sul-americano (Figura 14), ocorrendo sobre qualquer tipo de litologia, recobrindo planaltos ondulados e chapadas (com topo entre 980 e 750 m). Em sua maior parte, recobre terrenos onde os granitos são dominantes. A maioria das chapadas é formada por latossolo areno-argiloso de coloração amarelo-alaranjada a avermelhada (PAES *et al.*, 2010).

Figura 14: a) Bloco de quartzito recoberto por cobertura detrito-laterítica. b) Blocos de laterita em superfície.



Fonte: Paes *et al.* (2010).

5. RESULTADOS

5.1 DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA

A intrusão pegmatítica está localizada nas proximidades do córrego Santa Rita, na zona rural do município de Araçuaí, Estado de Minas Gerais, a aproximadamente 5 km da Chapada do Lagoão (Figura 15). O maciço rochoso aflora a uma altitude de cerca de 450 metros. A área corresponde a uma mineração de rocha ornamental que, no momento da realização do trabalho de campo, encontrava-se inativa.

Como a abreviatura "Az" está diretamente associada ao mineral azurita, optou-se por utilizar um código distinto para o mineral investigado, denominado "M1", que significa "Mineral 1".

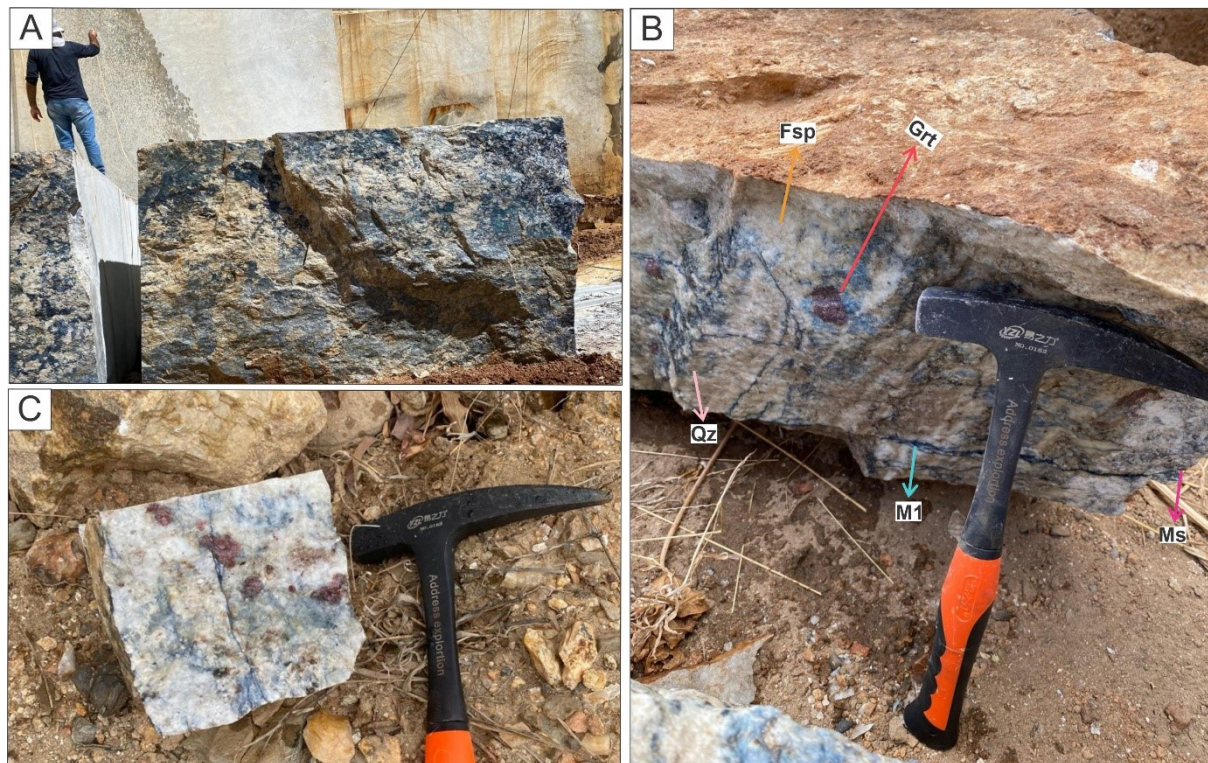
Figura 15: Afloramento azurite (antiga frente de lavra), pegmatito em contato biotita xisto. Hachurado em amarelo = xenólitos do biotita xisto. Hachurado em azul = M1 - áreas contendo maiores quantidades de “azurita”.



Fonte: O autor.

O corpo pegmatítico “Azurite” apresenta uma estrutura não zonada, homogênea e complexa, concordante com a foliação dos xistos encaixantes. Sua composição mineralógica é constituída por quartzo, feldspato, muscovita, granada e um mineral descrito localmente como “azurita”, além de acessórios como espodumênio e turmalinas (elbaíta e schorlita). Destacam-se no maciço rochoso os grandes cristais de granada (até 5 centímetros) e a abundância de “azurita” nas fraturas (Figura 16). O afloramento exhibe predominantemente tonalidades esbranquiçadas. No entanto, áreas onde ocorre o mineral azul apresentam maior intemperismo, resultando em variações cromáticas que vão do marrom escuro ao preto (Figura 15). O corpo pegmatítico apresenta uma geometria tabular, com extensão aproximada de 50 metros, e encontra-se pouco fraturado.

Figura 16: A) Bloco de pegmatito extraído para comercio de rocha ornamental coberto por “azurita”. B) Matacão de pegmatito com grandes granadas com fraturas preenchidas por “azurita”. Fsp= Feldspato, Grt= Granada, M1= “Azurita”, Qz= Quartzo e Ms= Muscovita. C) Amostra de pegmatito contendo grandes granadas e “azurita”.



Fonte: O autor.

O quartzo é o mineral mais abundante, ocorrendo como cristais subédricos a anédricos, com tamanhos que podem atingir até 15 cm, distribuídos de maneira heterogênea. Sua coloração incolor confere ao afloramento uma tonalidade esbranquiçada, especialmente em áreas menos intemperizadas. O feldspato aparece na forma de cristais subédricos a anédricos, com dimensões de até 20 cm, distribuído irregularmente ao longo da matriz pegmatítica.

A turmalina é predominantemente schorlita, caracterizada por cristais euédricos geralmente menores que 0,3 cm, sendo mais evidentes sob lupa. A coloração preta predomina, com raras ocorrências de elbaíta esverdeada. A granada, de coloração avermelhada, apresenta cristais euédricos a subédricos com tamanhos entre 0,3 cm e 2 cm. O espodumênio é encontrado com menor frequência, com cristais subédricos a anédricos que atingem até 0,5 cm, distribuídos de forma heterogênea. A muscovita é amplamente distribuída, apresentando cristais euédricos com tamanhos que variam de 0,2 cm a 25 cm, frequentemente organizados em agregados. Em algumas regiões, a muscovita exibe coloração azulada, atribuída ao preenchimento de suas clivagens pela “azurita”.

O mineral de coloração azul destaca-se frequentemente por preencher fraturas na rocha. Seus cristais anédricos apresentam tamanhos variados, alcançando até 5 cm, com distribuição heterogênea (Figura 17). A coloração azul intensa é característica, porém tende a escurecer em áreas submetidas a maior grau de intemperismo, adquirindo tons de verde escuro, marrom e preto. Inicialmente foram realizados testes de propriedades físicas para verificar se o mineral era azurita. A azurita, um carbonato de cobre, apresenta três direções de clivagem (perfeita, indistinta e fraca), fratura conchoidal, dureza entre 3,5 e 4 na escala de Mohs, e colorações que

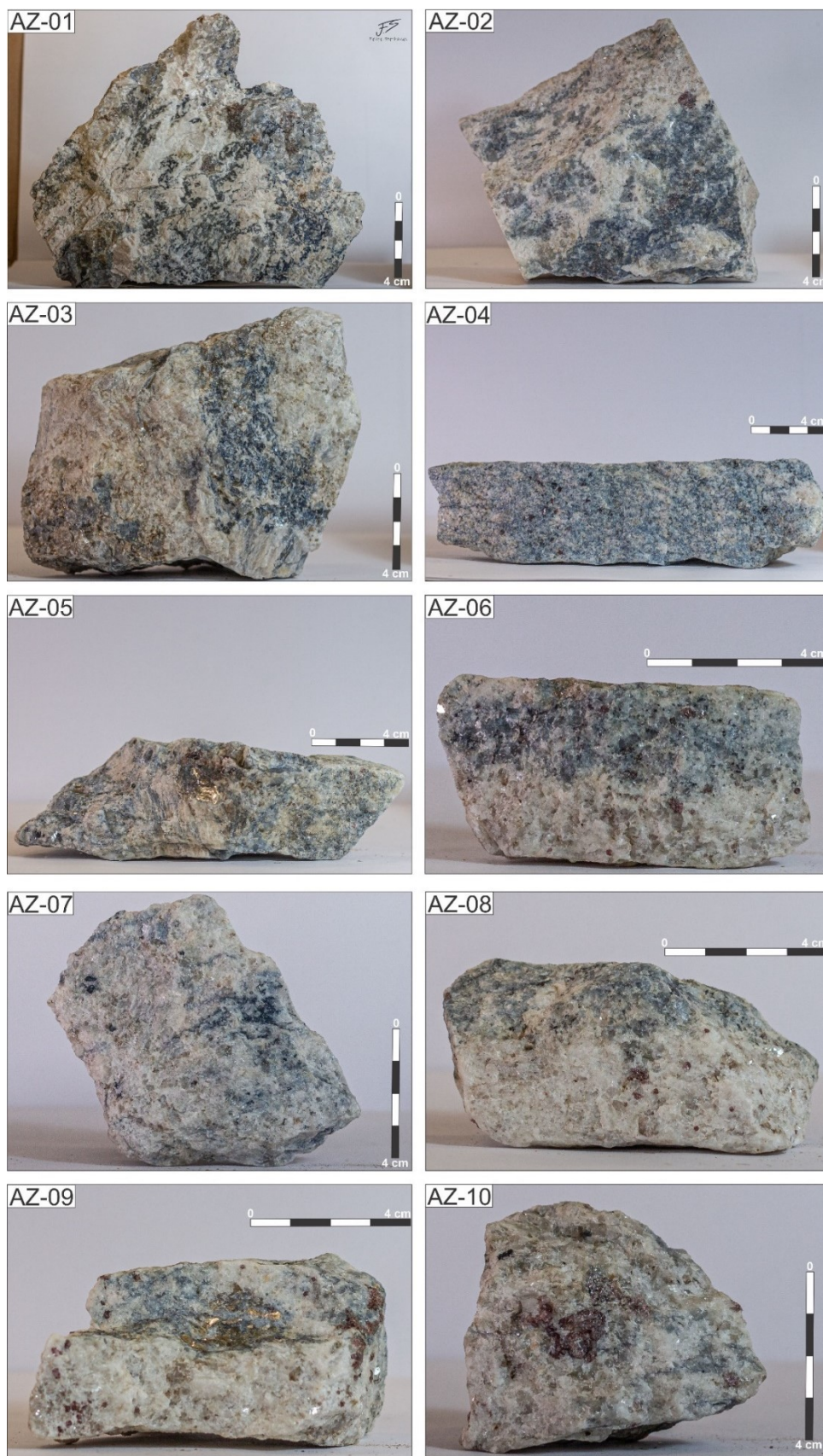
variam entre violeta, azul claro, azul escuro e azul Berlim. Sua cor de traço é azul pálido, possui brilho vítreo a subadamantino, não apresenta magnetismo, é solúvel em HCl e frequentemente ocorre associada à malaquita (KLEIN & DUTROW, 2011). No entanto, o mineral estudado não reagiu com HCl, apresentou dureza de 2 na escala de Mohs, brilho opaco, ocasionalmente vítreo, e cor de traço incolor. Não exibiu magnetismo, e sua coloração variou entre azul claro e azul escuro. Além disso, não foi observada associação com malaquita. Devido à espessura reduzida dos cristais, não foi possível determinar a clivagem ou o tipo de fratura (Tabela 6).

Tabela 6: Propriedades físicas: Azurita x Mineral Estudado.

Propriedades	Azurita	Mineral Estudado
Clivagem	Três direções: perfeita, indistinta e fraca	Não foi possível observar
Fratura	Conchoidal	Não foi possível determinar
Dureza (escala de Mohs)	3,5 a 4	2
Coloração	Violeta, azul claro, azul escuro, azul Berlim	Azul claro a azul escuro
Cor do Traço	Azul pálido	Incolor
Brilho	Vítreo a subadamantino	Opaco, ocasionalmente vítreo
Magnetismo	Ausente	Ausente
Reação com HCl	Solúvel	Não reagiu
Associação com Malaquita	Frequentemente ocorre associada	Não foi observada associação

Fonte: O autor. Modificado de Klein & Dutrow (2011).

Figura 17: Amostras coletadas do local estudado, sendo as amostras AZ-01, AZ-03, AZ-04 e AZ-06 escolhidas para a confecção de lâminas.



Fonte: O autor.

A ocorrência de xistos, em particular os tipos biotita xisto e quartzo-biotita xisto (Figura 18), é totalmente consistente com a bibliografia consultada. A composição mineralógica dessas rochas é predominada por biotita, muscovita e quartzo, podendo conter turmalina do tipo schorlita e arsenopirita como acessórios. Esses xistos apresentam foliação bem desenvolvida, com orientação predominante na direção NE-SW, variando entre 30° e 40°, e mergulho em direção ao NW, em torno de 40° (40/040). São rochas metamórficas de textura granolepidoblástica, caracterizadas por baixo grau de intemperismo e baixa densidade de fraturas. Frequentemente, ocorrem como xenólitos com dimensões superiores a dois metros. A coloração varia de cinza escuro a preto, devido à elevada concentração de biotita na matriz. Os cristais apresentam dimensões milimétricas, com a biotita distribuída de forma homogênea em toda a rocha, ao contrário do quartzo e da arsenopirita, que ocorrem concentrados em bolsões.

Figura 18: Quartzo-biotita xisto.

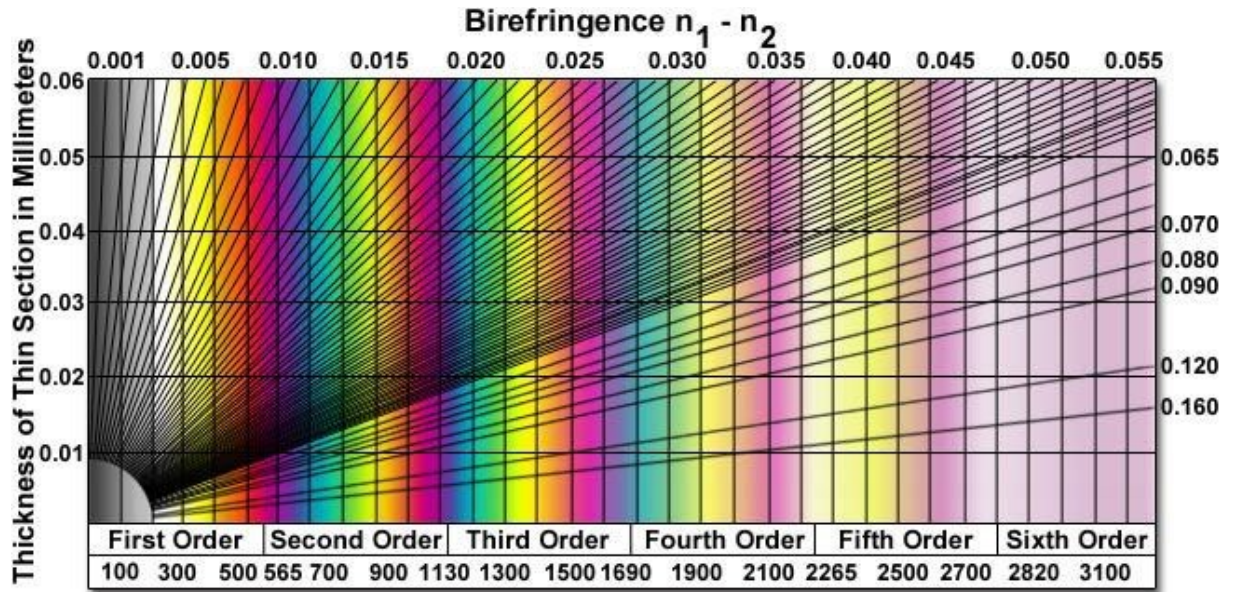


Fonte: O autor.

5.2 DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA

As cinco lâminas produzidas no laboratório, em sua maioria, não atingiram a espessura ideal de 30 micrômetros (μm). As espessuras obtidas variaram entre 40 e 60 μm (0,04 mm a 0,06 mm), com exceção da lâmina AZ-06, que em algumas regiões apresentou espessura próxima ao valor ideal de 30 μm (0,03 mm). Para a avaliação da espessura, utilizou-se a Carta de Cores de Interferência de Michel-Lévy (Figura 19), juntamente com o mineral quartzo, identificando predominantemente cores correspondentes de segunda a sexta ordem.

Figura 19: Carta de cores de interferência de Michael Levy.

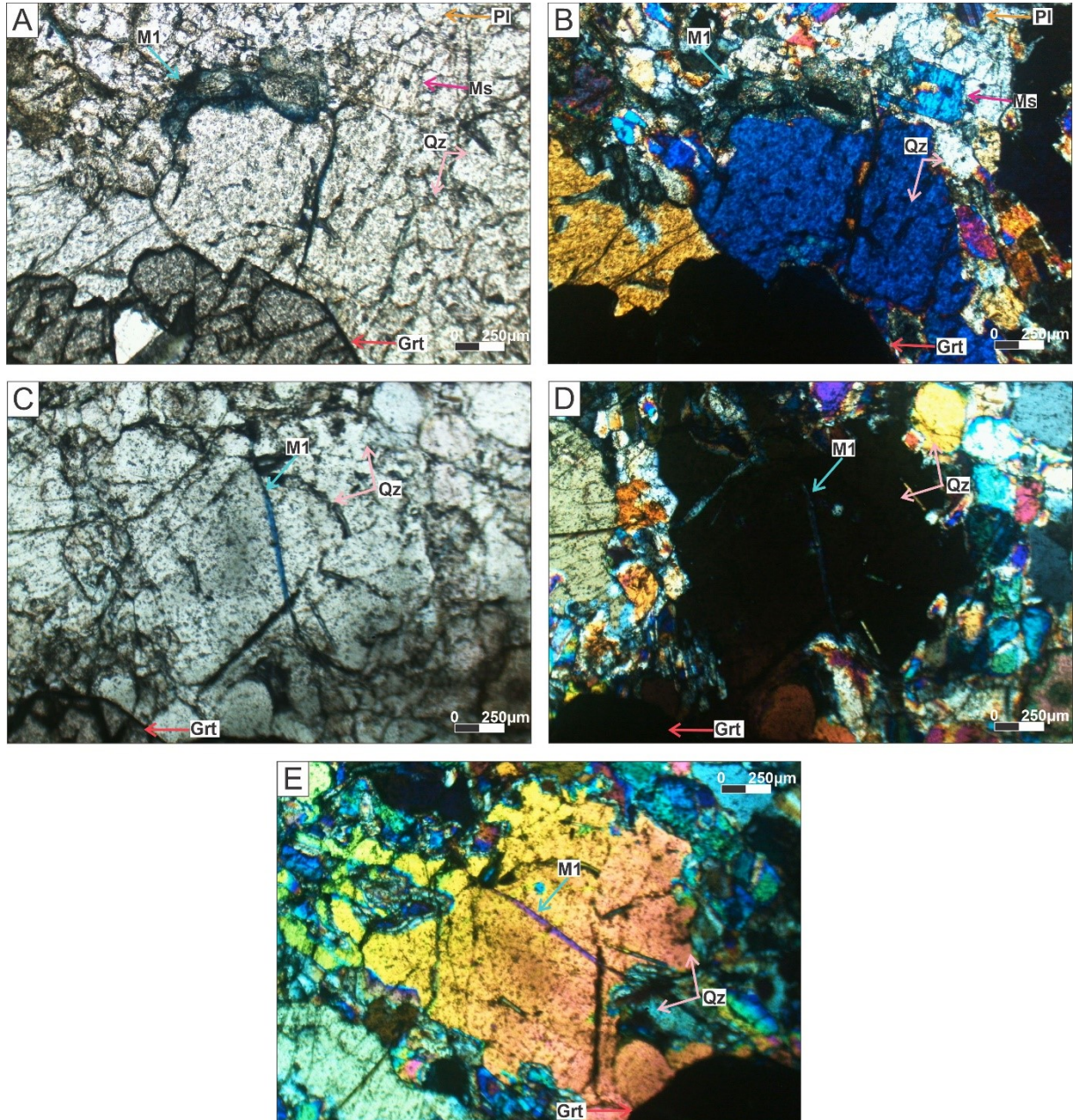


Fonte: Klein & Dutrow (2011).

De forma geral, a rocha observada apresenta textura fanerítica inequigranular com cristais de tamanhos médios a grandes, holocristalina. A geometria dos cristais é na maioria das vezes hipidiomórfica a alotriomórfica, subédrica a anédrica, exibindo relações de contato irregulares, com algumas áreas apresentando contatos planares. Em geral, cinco lâminas, possui matriz constituída por quartzo (30-45%), plagioclásio (15-20%), muscovita (10-25%), granada (10-15%), mineral azul (10-20%), ortoclásio (5-10%), carbonato (2%), espodumênio (2%) e minerais opacos (1%).

Os cristais de quartzo (Figura 20) presente são predominantemente subédricos a anédricos, granular e tamanho variando de até 200 μm a 600 μm . Em alguns casos, apresenta extinção ondulante e cores de interferência com variações que incluem amarelo, azul, verde, rosa, marrom e tons de cinza. Os contatos entre os cristais de quartzo e outros minerais são, em geral, irregulares, podendo ser serrilhados em relação aos carbonatos. Os cristais menores apresentam fraturas moderadas, enquanto os maiores tendem a ser mais fraturados. Além disso, foram observadas inclusões de minerais azuis e opacos em alguns cristais.

Figura 20: Fotomicrografias das amostras AZ-04-B e AZ-04-A. **A)** Cristais de quartzo (Qz) com maiores dimensões, tendo contato preenchido pelo mineral azul (M1), bordado por outros minerais, sendo: muscovita (Ms), plagioclásio (Pl), granada (Grt), em polarizadores paralelos com lente ocular de 4x. **B)** Descrição coincidente com a anterior, em polarizadores cruzados. **C)** Cristais de quartzo, com destaque para um cristal central de maior dimensão. Nas margens, observam-se cristais de granada (Grt), enquanto o mineral azul (M1) preenche fraturas. A imagem foi obtida em polarizadores paralelos utilizando lente ocular de aumento 4x. **D)** Descrição coincidente com a anterior, em polarizadores cruzados. **E)** Descrição coincidente com a Figura 20C, em polarizadores cruzados e cores de interferência mudando a 70°.

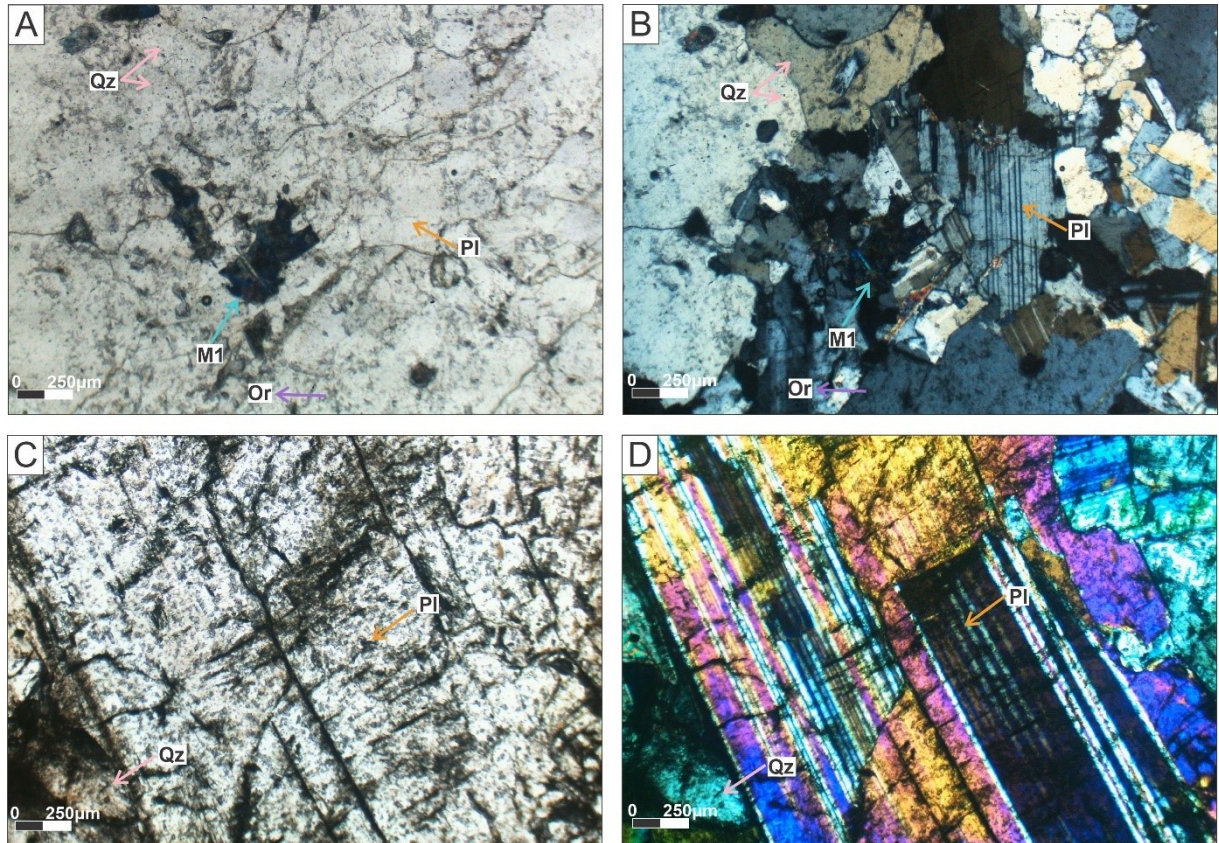


Fonte: O autor.

Os cristais de plagioclásio e ortoclásio (Figura 21) ocorrem predominantemente de forma tabular, com cristais variando entre euédricos, subédricos e anédricos, apresentando tamanhos maiores que 600 μm. Em geral, os contatos com outros minerais são planares e retilíneos, especialmente com cristais de quartzo, mas podem ser irregulares ou levemente serrilhados em contato com outros minerais, principalmente carbonatos. Os cristais apresentam

fraturas moderadas a intensas, sendo os maiores mais fraturados. O pleocroísmo varia de cinza claro a tons mais escuros, incluindo preto a luz cruzada.

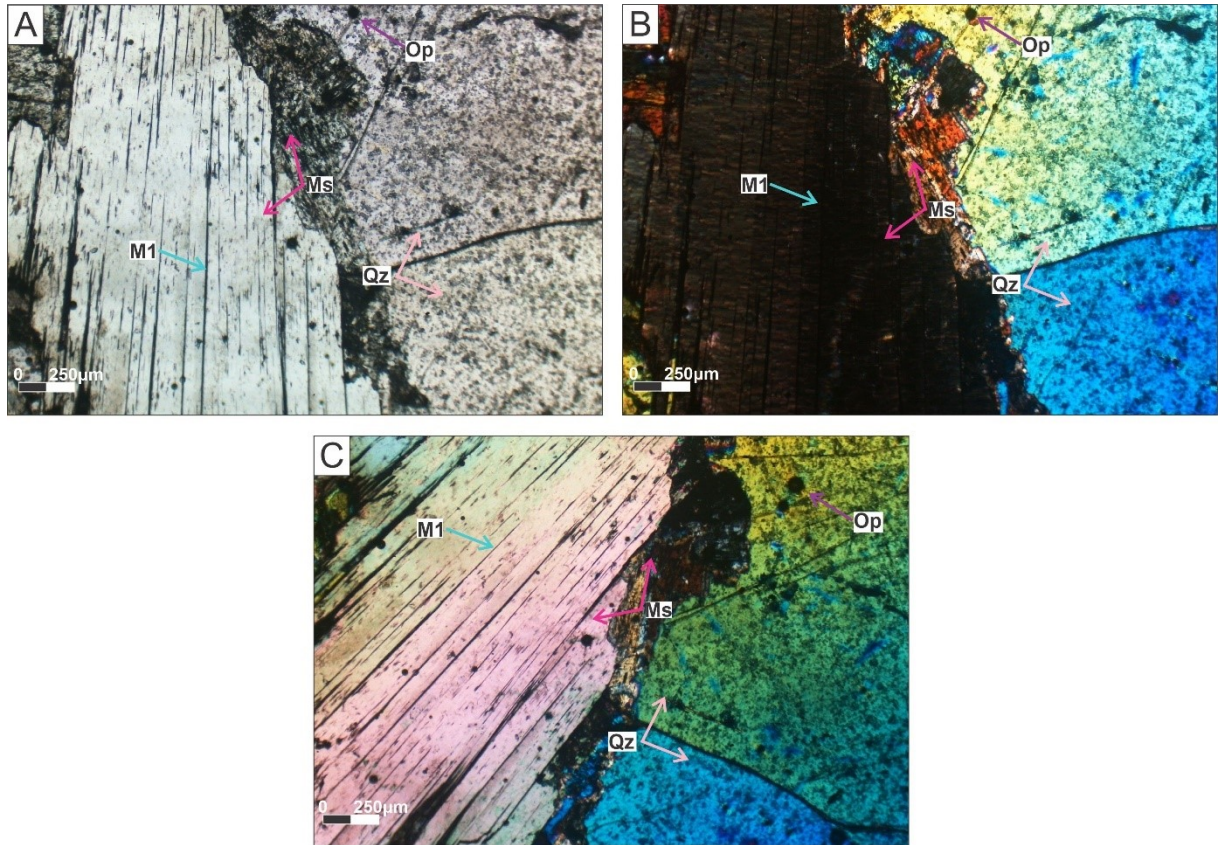
Figura 21: Fotomicrografias das amostras AZ-06 e AZ-03. **A)** Cristais tabulares de plagioclásio (Pl) e cristais de ortoclásio (Or) em menor proporção. Na região central, observam-se cristais do mineral azul (M1) em processo de alteração. Além disso, quartzo (Qz) ocorre em grandes quantidades. A imagem foi capturada com polarizadores paralelos, utilizando lente ocular com aumento de 4x. **B)** Descrição coincidente com a anterior, em polarizadores cruzados. **C)** Cristal tabular de plagioclásio (Pl) ao centro da imagem e cercado por cristais de quartzo (Qz), em polarizadores paralelos com lente ocular de 4x. **D)** Descrição coincidente com a anterior, em polarizadores cruzados.



Fonte: O autor.

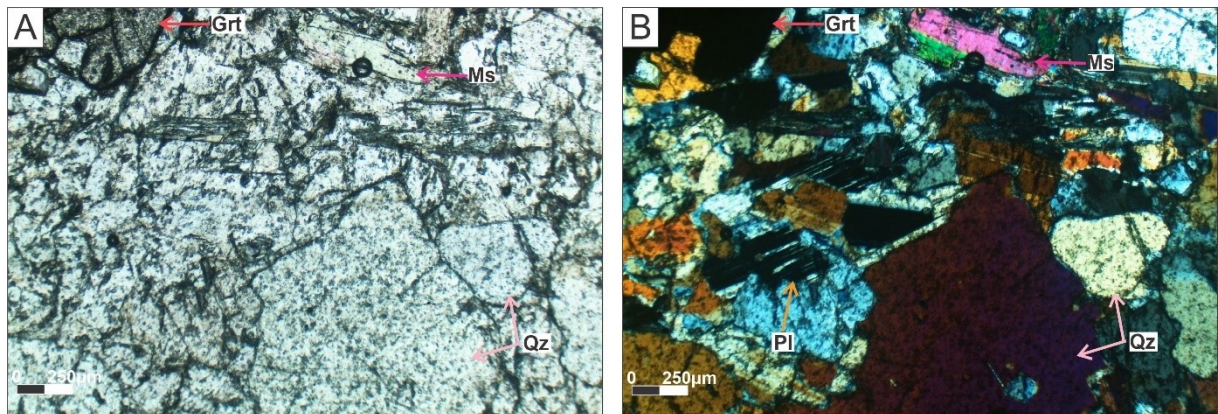
A muscovita ocorre predominantemente de forma tabular (Figura 22 e Figura 23), com cristais variando de anédricos, subédricos e euédricos, atingindo tamanhos entre 200 μm e 700 μm. Os cristais apresentam cores de interferência evidente, com variações que incluem marrom escuro, amarelo, rosa, verde e azul (luz cruzada). Em alguns casos, a clivagem é preenchida por minerais azuis, e pequenas inclusões de minerais opacos são observadas. Os contatos com outros minerais são geralmente irregulares, embora possam ser retilíneos ou ligeiramente serrilhados em algumas áreas. A muscovita apresenta fraturas que variam de pouco a moderadamente intensas, com cristais menores geralmente formando agregados cominuídos.

Figura 22: Fotomicrografias da amostra AZ-03. **A)** Cristal de muscovita (Ms) com clivagens preenchidas pelo mineral azul (M1). Em contato com o cristal principal de muscovita, observam-se cristais menores do mesmo mineral, os quais são delimitados por grandes cristais de quartzo (Qz) e minerais opacos (Op). A imagem foi obtida com polarizadores paralelos, utilizando lente ocular com aumento de 4x. **B)** Descrição coincidente com a anterior, em polarizadores cruzados. **C)** Descrição coincidente com a Figura 22A, em polarizadores cruzados e cores de interferência mudando a 60°.



Fonte: O autor.

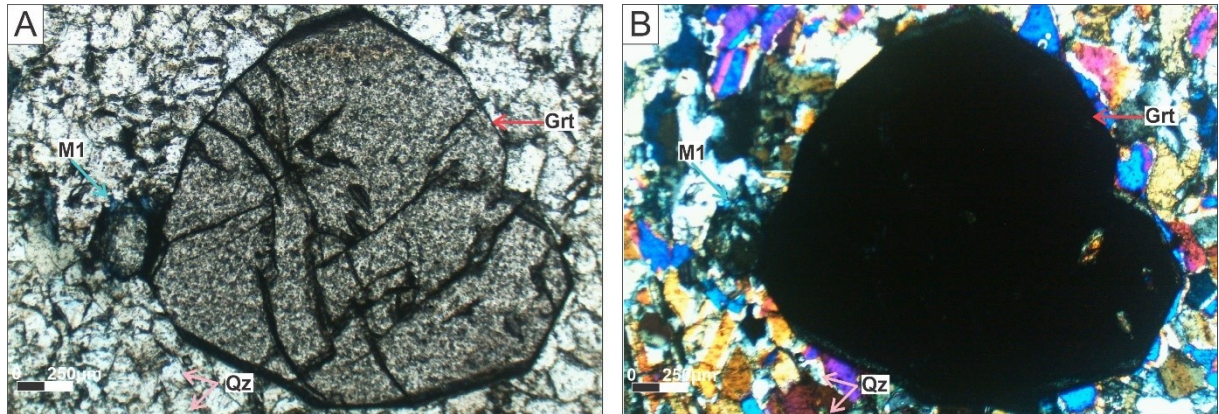
Figura 23: Fotomicrografias da amostra AZ-04-A. **A)** Cristal tabular de muscovita (Ms). Também estão presentes cristais de quartzo (Qz) e granada (Grt) sendo estes de maiores dimensões. A imagem foi capturada com polarizadores paralelos, utilizando lente ocular com aumento de 4x. **B)** Descrição coincidente com a anterior, em polarizadores cruzados.



Fonte: O autor.

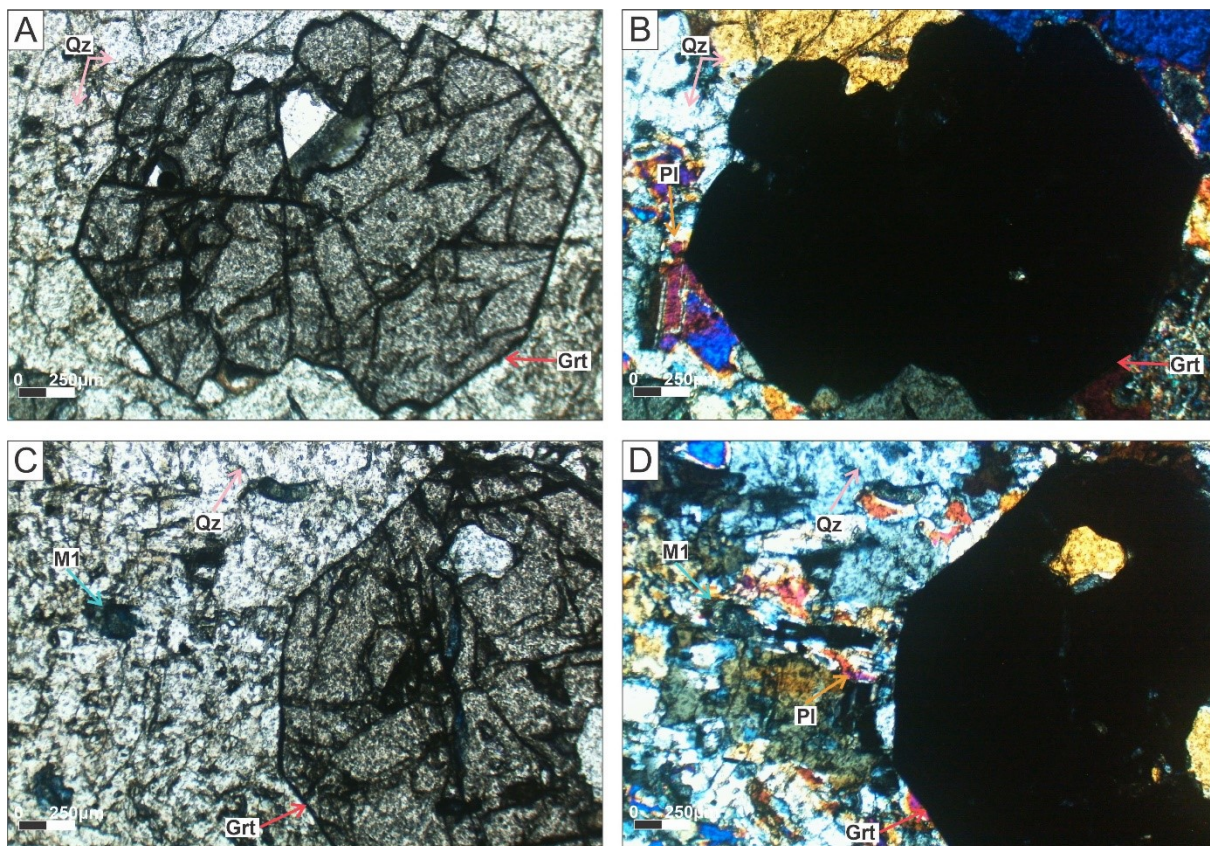
A granada ocorre de forma granular (Figura 24 e Figura 25), com cristais euédricos a subédricos, variando em tamanho máximo de até 600 μm a 700 μm . Os cristais menores apresentam poucas fraturas, enquanto os maiores exibem fraturas moderadas, algumas das quais são preenchidas pelo mineral azul. Os contatos com outros minerais são predominantemente regulares e retilíneos.

Figura 24: Fotomicrografias da amostra AZ-04-A. **A)** Cristal de granada (Grt) fraturado, localizado no centro da imagem. Também é observado um cristal menor de granada (Grt) com margens preenchidas pelo mineral azul (M1) e cristais de quartzo (Qz) com hábito granular. Imagem obtida com polarizadores paralelos, utilizando lente ocular com aumento de 4x. **B)** Descrição coincidente com a anterior, em polarizadores cruzados.



Fonte: O autor.

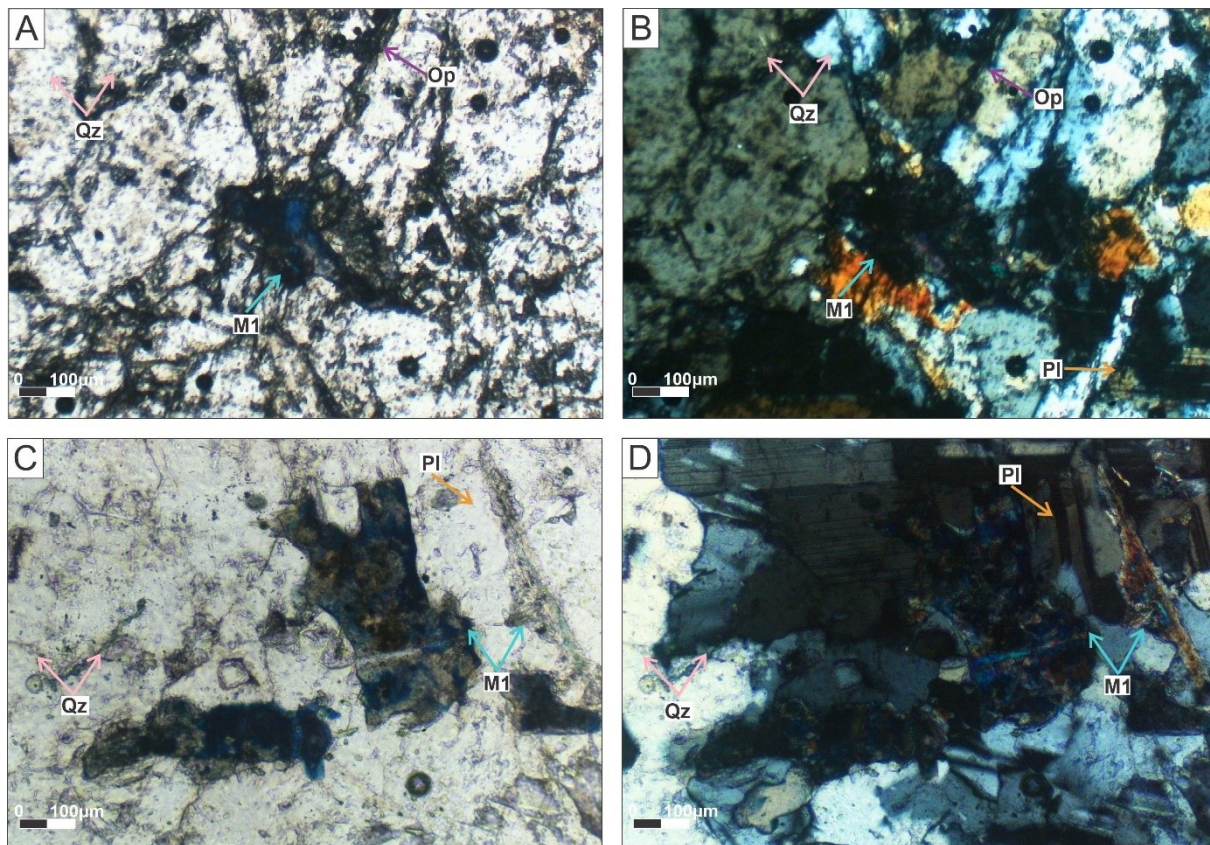
Figura 25: Fotomicrografias da amostra AZ-04-B. **A)** Cristal de granada (Grt) circundado por cristais de quartzo (Qz). A imagem foi obtida através de polarizadores paralelos, utilizando lente ocular com aumento de 4x. **B)** Descrição coincidente com a anterior, em polarizadores cruzados. **C)** Cristal euédrico de granada (Grt) com inclusões de quartzo (Qz) e mineral azul (M1). O cristal de granada está circundado por cristais de quartzo e pelo mineral azul (M1). A imagem foi capturada com polarizadores paralelos, utilizando lente ocular com aumento de 4x. **D)** Descrição coincidente com a anterior, em polarizadores cruzados.



Fonte: O autor.

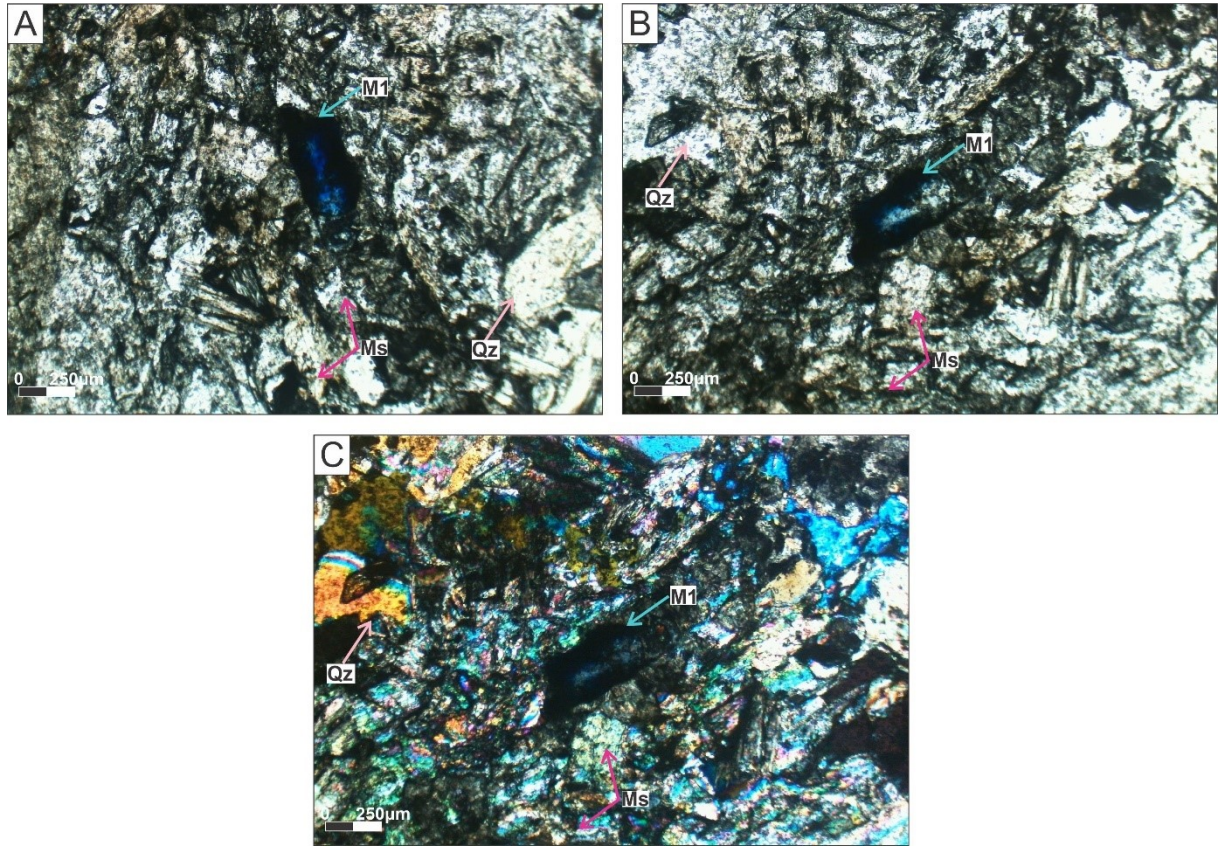
Os minerais azuis ocorrem predominantemente de forma anédrica (Figura 26 e Figura 27), com cristais atingindo tamanhos de até 400 μm. São frequentemente encontrados preenchendo fraturas e clivagens, especialmente na muscovita, além de ocorrerem como inclusões no quartzo e na granada. Em algumas situações, aparecem de forma granular. Apresentam pleocroísmo marcante, com tonalidades variando de azul claro a azul escuro. Os cristais possuem contatos geralmente irregulares e são pouco fraturados. Por vezes é possível notar o mineral em estado de alteração, variando em tonalidades de marrom a preto (Figura 26C). Devido à granulação extremamente fina do mineral, polimento não ideal e à espessura inadequada da lâmina, não foi possível identificar o mineral em questão apenas a partir das propriedades ópticas obtidas.

Figura 26: Fotomicrografias das amostras AZ-04-B e AZ-06. **A)** Ao centro da imagem, o mineral azul (M1), localizado entre os contatos dos minerais de quartzo (Qz). Também são observados cristais de plagioclásio (Pl). A imagem foi obtida com polarizadores paralelos, utilizando lente ocular com aumento de 10x. **B)** Descrição coincidente com a anterior, em polarizadores cruzados. **C)** Cristais do mineral azul (M1) em processo de alteração, localizados ao centro da imagem e circundados por cristais de quartzo (Qz) e plagioclásio (Pl). A imagem foi obtida com polarizadores paralelos, utilizando lente ocular com aumento de 10x. **D)** Descrição coincidente com a anterior, em polarizadores cruzados.



Fonte: O autor.

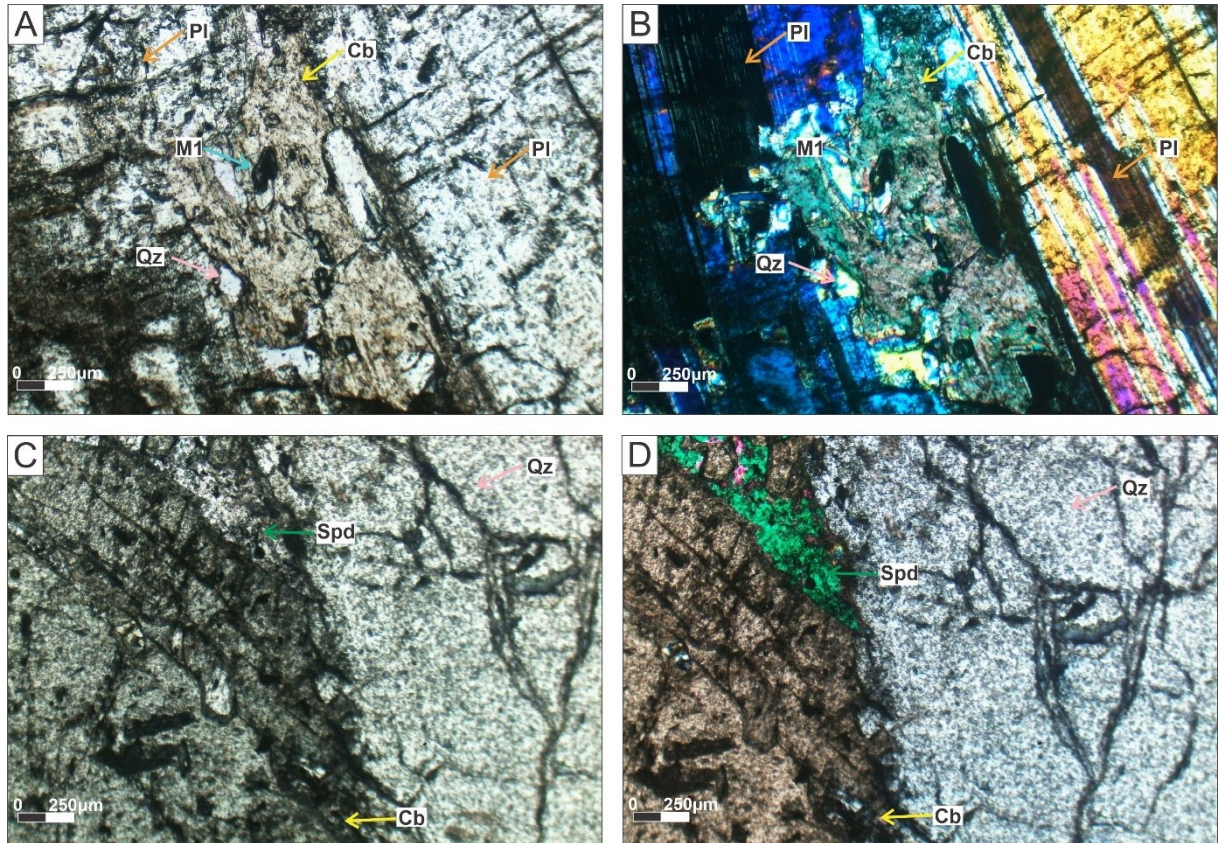
Figura 27: Fotomicrografias da amostra AZ-01. **A)** Mineral azul (M1) localizado ao centro da imagem, circundado por numerosos cristais menores de muscovita (Ms) e cristais de quartzo (Qz). A imagem foi obtida com polarizadores paralelos, utilizando lente ocular com aumento de 4x. **B)** Descrição coincidente com a anterior, tendo cores de interferência mudando a 50°. **C)** Descrição coincidente com a anterior, em polarizadores cruzados.



Fonte: O autor.

Os carbonatos ocorrem em cristais anédricos a subédricos (Figura 28), com tamanhos variando de até 300 µm a 600 µm. Apresentam cores que vão de marrom acinzentado claro a amarelo claro, tanto em luz refletida quanto polarizada. Os cristais são medianamente fraturados e possuem contatos irregulares com outros minerais.

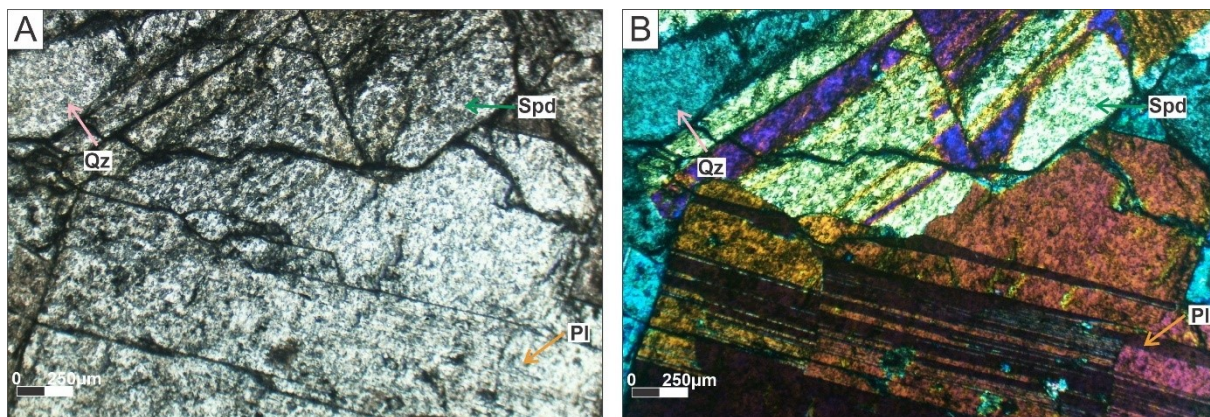
Figura 28: Fotomicrografias das amostras AZ-03 e AZ-01. **A)** Cristal anédrico de carbonato (Cb) com inclusões de quartzo (Qz) e do mineral azul (M1). Também são observados grandes cristais de plagioclásio (Pl) e quartzo na região circundante. A imagem foi obtida com polarizadores paralelos, utilizando lente ocular com aumento de 4x. **B)** Descrição coincidente com a anterior, em polarizadores cruzados. **C)** Cristal subédrico de carbonato (Cb) em contato serrilhado com quartzo (Qz) e espodumênio (Spd). A imagem foi obtida com polarizadores paralelos, utilizando lente ocular com aumento de 4x. **D)** Descrição coincidente com a anterior, em polarizadores cruzados.



Fonte: O autor.

O piroxênio, identificado como espodumênio (Figura 29), ocorre em cristais subédricos a euédricos, frequentemente com hábito tabular e com tamanho de até 500 μm . Os cristais apresentam fraturas moderadas e exibem contatos retilíneos com outros minerais, ocasionalmente serrilhados. As cores de interferência variam entre tonalidades de roxo, rosa, azul e amarelo.

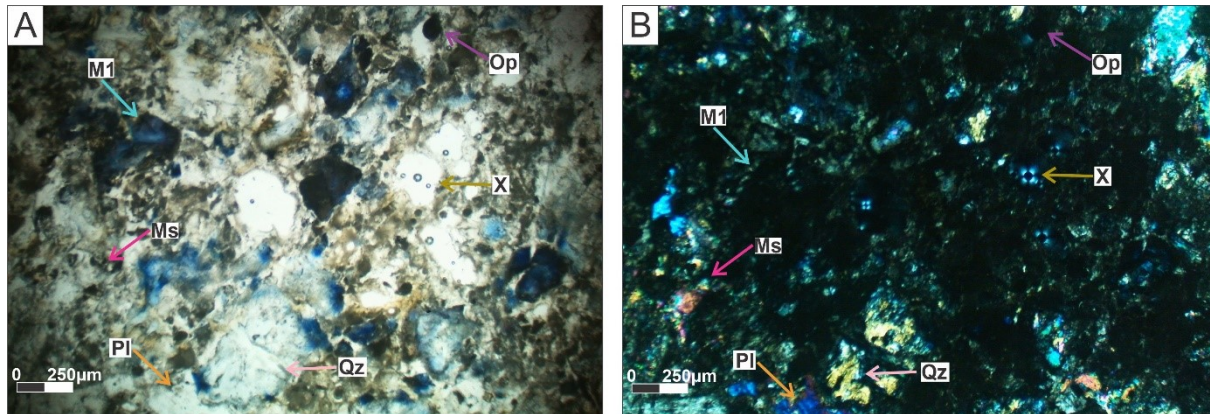
Figura 29: Fotomicrografias da amostra AZ-01. **A)** Cristal de espodumênio (Spd) fraturado, em contato com cristais de quartzo (Qz) e plagioclásio (Pl). A imagem foi obtida com polarizadores paralelos, utilizando lente ocular com aumento de 4x. **B)** Descrição coincidente com a anterior, em polarizadores cruzados.



Fonte: O autor.

Os minerais opacos ocorrem em forma granular, com cristais de coloração preta e tamanho de até 50 µm (Figura 30). Apresentam contatos regulares e geralmente em inclusões no quartzo e muscovita.

Figura 30: Fotomicrografias da amostra AZ-01. **A)** Cristais opacos (Op), geralmente presentes como inclusões em outros minerais. Também são observados cristais do mineral azul (M1), plagioclásio (Pl), quartzo (Qz) e espaços vazios (X). A imagem foi obtida com polarizadores paralelos, utilizando lente ocular com aumento de 4x. **B)** Descrição coincidente com a anterior, em polarizadores cruzados.



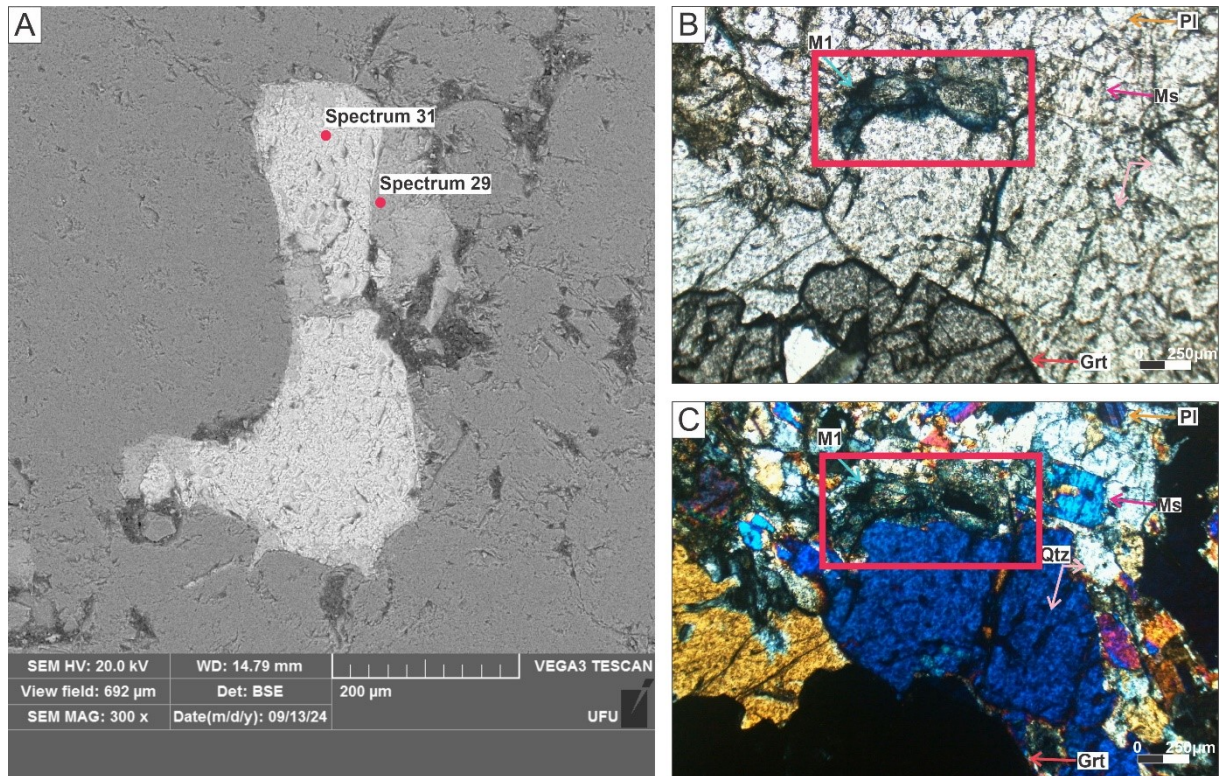
Fonte: O autor.

5.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Devido à impossibilidade de identificação específica do mineral azul, optou-se pela realização de análises por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Essa técnica permite um estudo mais detalhado por meio de mapas composicionais, identificação de elementos químicos e espectros de dispersão de energia (EDS). Foram selecionadas três lâminas AZ-01, AZ-03 e AZ-04-B por apresentarem maior diversidade nos padrões do mineral azul observado.

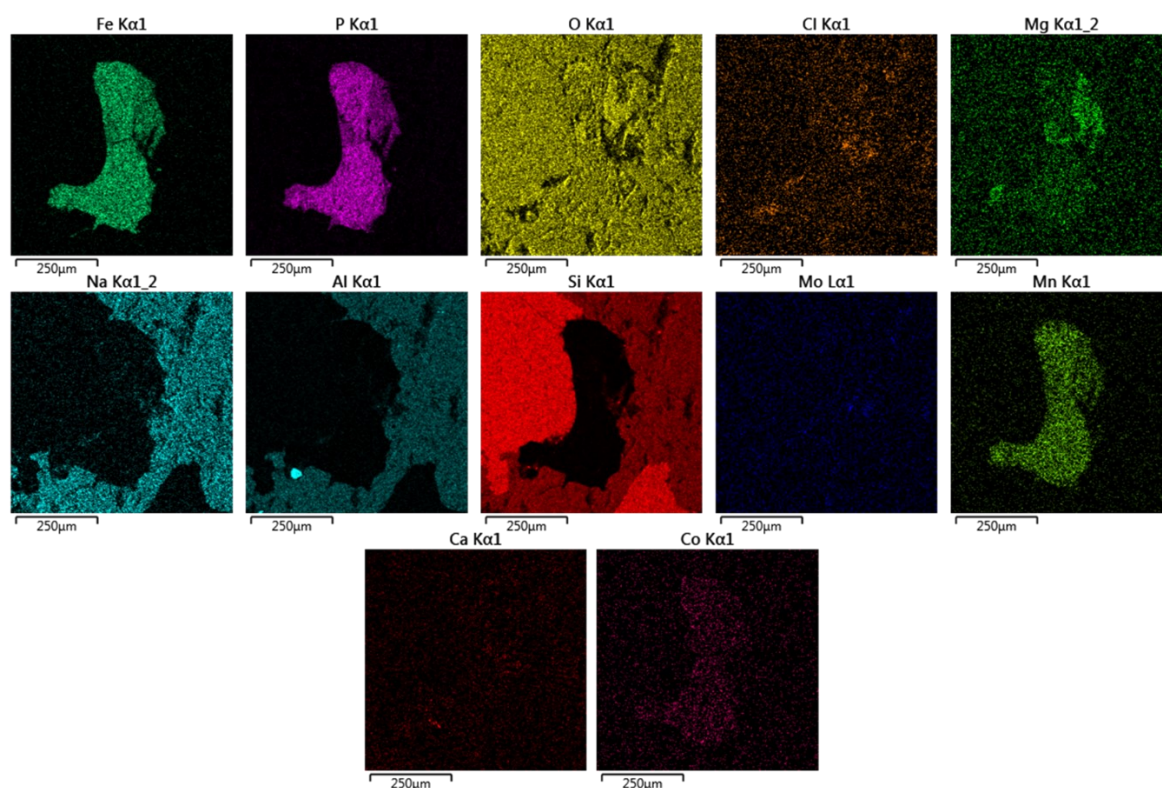
Sendo o foco a investigação do mineral azul, foram escolhidos pontos estratégicos nas lâminas onde se tinham as maiores concentrações do mineral (Figura 31). Através do mapa composicional foi possível observar picos e concentrações dos elementos Ferro (Fe), Fósforo (P) e Oxigênio (O) (Figura 32).

Figura 31: Lâmina AZ-04-B. **A)** Imagem obtida por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) resultante da interação de elétrons com a amostra tendo os espectros 29 e 31. **B)** Região selecionada em vermelho para análise por MEV na lâmina AZ-04-B, apresentando cristais de quartzo (Qz) com dimensões mais expressivas. Os contatos entre os cristais são preenchidos por um mineral azul (M1) e estão bordeados por outros minerais, incluindo muscovita (Ms), plagioclásio (Pl) e granada (Grt). A análise foi realizada utilizando polarizadores paralelos com lente ocular de 4x. **C)** Região selecionada em vermelho para análise por MEV na lâmina AZ-04-B, apresentando cristais de quartzo (Qz) com dimensões mais expressivas. Os contatos entre os cristais são preenchidos por um mineral azul (M1) e estão bordeados por outros minerais, incluindo muscovita (Ms), plagioclásio (Pl) e granada (Grt). A análise foi realizada utilizando polarizadores cruzados com lente ocular de 4x.



Fonte: O autor.

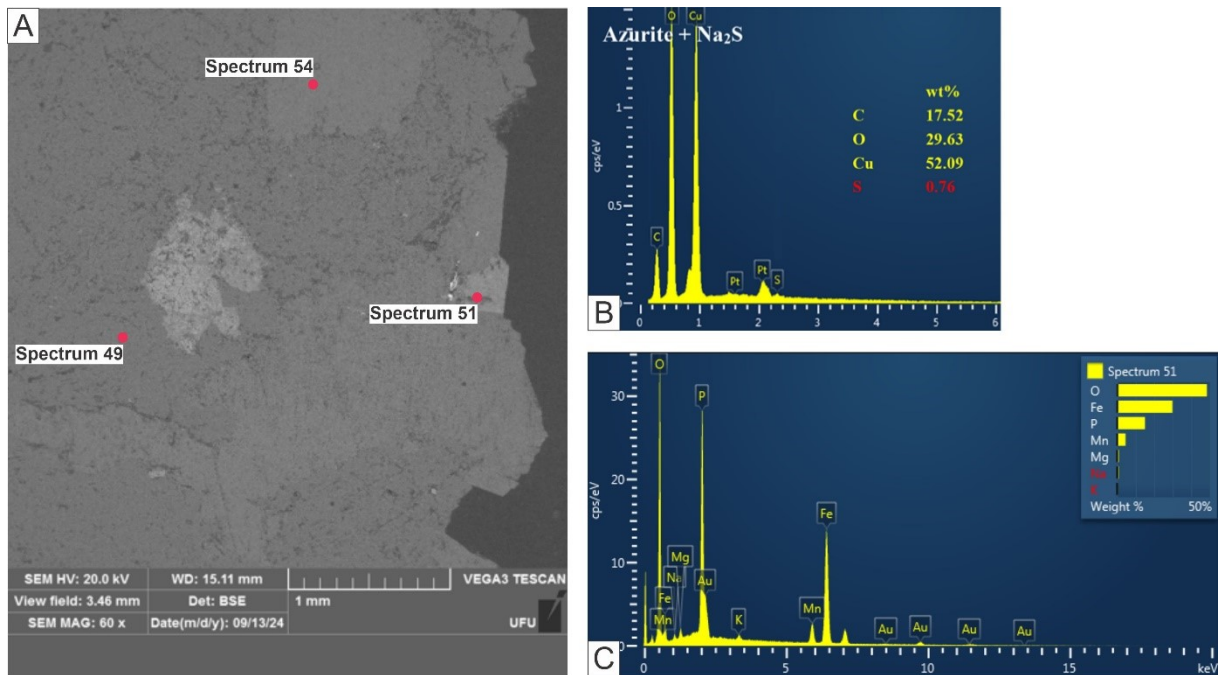
Figura 32: Mapas composicionais da região selecionada (conforme apresentado na Figura 31) da lâmina AZ-04-B. Observam-se altas concentrações dos elementos Fe, P e O, bem como a presença de Cl, Mg, Na, Al, Si, Mo, Mn, Ca e Co. Tendo os possíveis minerais: vivianita, quartzo e plagioclásio (albita).



Fonte: Laboratório Multiusuário do Instituto de Química (LAMIQ-UFU).

Os resultados obtidos para as composições do mineral azul não correspondem aos elementos presentes na estrutura da azurita, um carbonato de cobre com fórmula química $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$. Outra forma de verificação é por meio dos espectros EDS gerados (Figura 33A). Para a azurita, esperam-se picos de cobre (Cu), oxigênio (O) e carbono (C) (Figura 33B). No entanto, os picos obtidos foram de ferro (Fe), fósforo (P) e oxigênio (O) (Figura 33C), confirmando que o mineral azul não se trata de azurita.

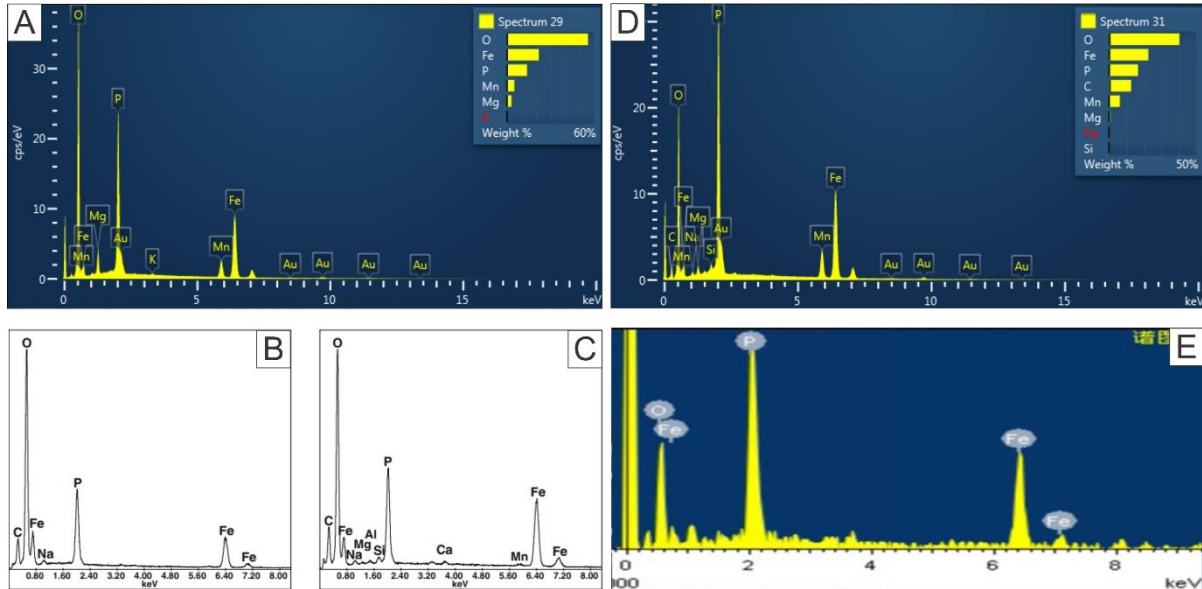
Figura 33: Imagem e espectros obtidos por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e espectro de dispersão de energia (EDS) na amostra AZ-03. **A)** Imagem MEV e EDS 49, 51 e 54. **B)** EDS para azurita em bibliografia. **C)** EDS 51.



Fonte: A) O autor. B) Cai *et al.* (2022). C) O autor.

Ao comparar os espectros 29 e 31 (podendo observar a área na Figura 31A) obtidos neste estudo (Figura 34A e Figura 34D) com aqueles apresentados na literatura (Figuras 42B, 42C e 42E), observa-se uma semelhança nos picos correspondentes aos elementos característicos do mineral vivianita. A vivianita, um fosfato de ferro com fórmula química $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{2+}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, geralmente apresenta concentrações semelhantes de ferro (Fe). Entretanto, em determinados casos, verifica-se uma maior proporção de oxigênio (O) em relação ao fósforo (P) (Figura 34A), enquanto, em outros, ocorre o oposto, com maior proporção de fósforo em relação ao oxigênio (Figura 34D). A explicação para as mudanças de proporções está relacionada ao estado de oxidação do ferro (Fe), possivelmente envolvendo a transição de Fe^{2+} para Fe^{3+} .

Figura 34: EDS na amostra AZ-04-B. **A)** EDS 29 apresentando maiores concentrações de oxigênio (O). **B)** EDS de vivianita em bibliografia, exibindo pequenas impurezas de sódio (Na). **C)** EDS de vivianita em bibliografia com pequenos picos de sódio (Na). **D)** EDS 31, apresentando maiores concentrações de fósforo (P). **E)** EDS obtido para a vivianita em bibliografia, apresentando maiores concentrações de fósforo (P).



Fonte: A) O autor. B) Sapota *et al.* (2006). C) Sapota *et al.* (2006). D) Autor. E) Cai *et al.* (2022).

Outra forma de comparação foi uma análise semiquantitativa da composição em massa dos elementos químicos ferro (Fe), fósforo (P) e oxigênio (O), manganês (Mn) e magnésio (Mg), normalizados para 100%, no espectro 29 na lâmina AZ-04-B gerado sobre a vivianita neste estudo. Os resultados obtidos foram: O = 56,04%; Fe = 22,04%; P = 13,82%; Mn = 5,06% e Mg = 3,05%. Para o espectro 31, também na lâmina AZ-04-B, os resultados obtidos foram: O = 46,63%; Fe = 26,08%; P = 19,24%; Mn = 7,21% e Mg = 0,84%. Comparando-se com os resultados de Cai *et al.*, (2022), observaram-se valores de Fe = 60,24%, P = 24,68% e O = 15,09%. É notável a discrepância em massa dos elementos em comparação com os dados disponíveis na literatura (Tabela 7). Uma possível explicação para essa diferença é que a vivianita apresentada na bibliografia possivelmente estava em estado avançado de alteração ou não é vivianita. Outra explicação, a vivianita apresentada neste trabalho, sendo os espectros 29 e 31, podem estar em estado de alteração maior que o apresentado em literatura. Ressalta-se, ainda, a significativa escassez de bibliografia relacionada a estudos de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia por Dispersão de Energia (EDS) em vivianita, o que restringiu a realização de comparações mais abrangentes.

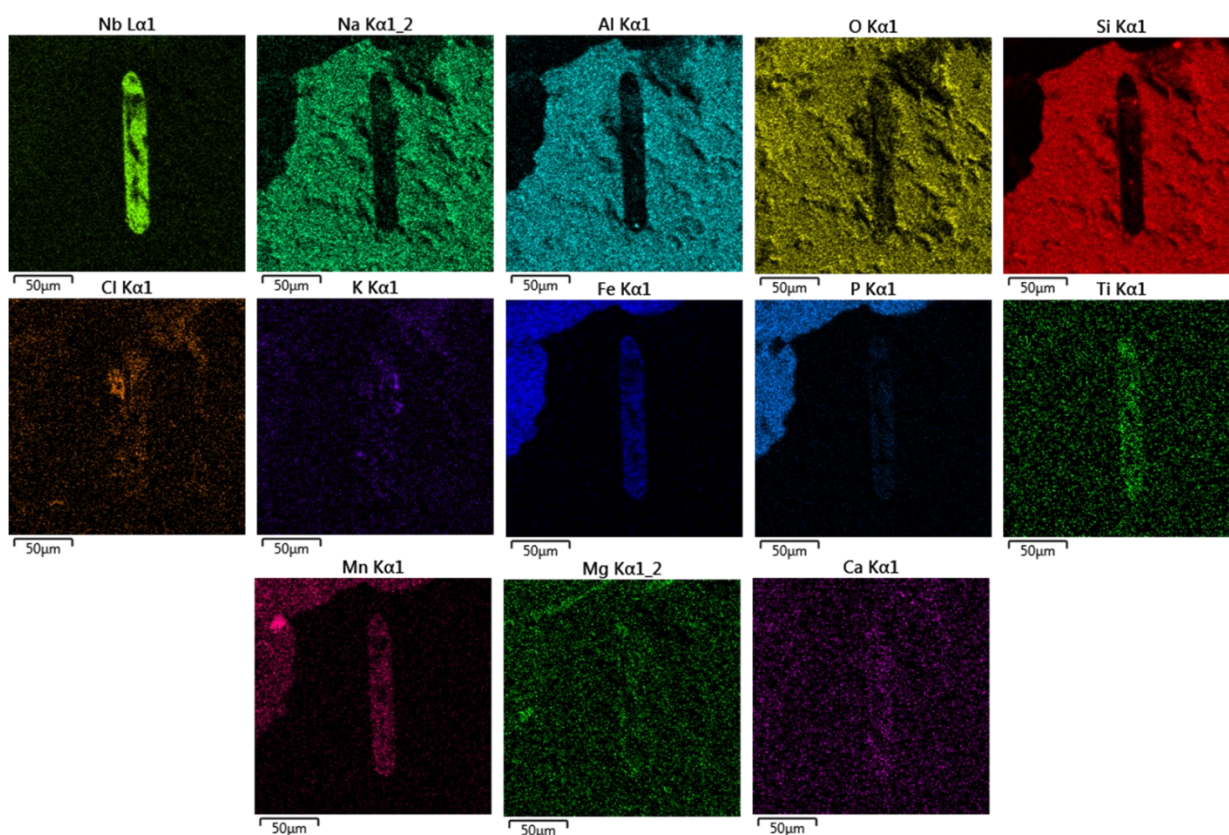
Tabela 7: Comparação entre espectros em vivianita.

Espectro 29 - lâmina AZ-04-B		Espectro 31 - lâmina AZ-04-B		Espectro - Cai <i>et al.</i> , (2022)	
Elemento	Weight - Peso (%)	Elemento	Weight - Peso (%)	Elemento	Weight - Peso (%)
O	56,04	O	46,63	O	15,09
Fe	22,04	Fe	26,08	Fe	60,24
P	13,82	P	19,24	P	24,68
Mn	5,06	Mn	7,21	Mn	Não Informado
Mg	3,05	Mg	0,84	Mg	Não Informado

Fonte: Autor e Cai *et al.* (2022).

O presente trabalho tem como foco a caracterização mineralógica do pegmatito mencionado, com ênfase na identificação do mineral azul, caracterizado como vivianita. No entanto, durante as análises de MEV-EDS, também foram obtidos espectros de outros minerais presentes nas lâminas. Uma das descobertas notáveis na lâmina AZ-03 foi a identificação de um mineral pertencente ao Grupo da Columbita, especificamente a columbita-(Fe), cuja fórmula química é $\text{Fe}^{2+}\text{Nb}_2\text{O}_6$. A análise do mapa composicional (Figura 35) revelou uma significativa concentração de nióbio (Nb) e ferro (Fe) na estrutura do mineral.

Figura 35: Mapas composicionais da lâmina AZ-03 com altas concentrações dos elementos Nb e Fe, bem como a presença de Na, Al, O, Si, Cl, K, P, Mn, Mg, Ca e Ti. Tendo os possíveis minerais: Columbita, vivianita e plagioclásio (albita) e quartzo.

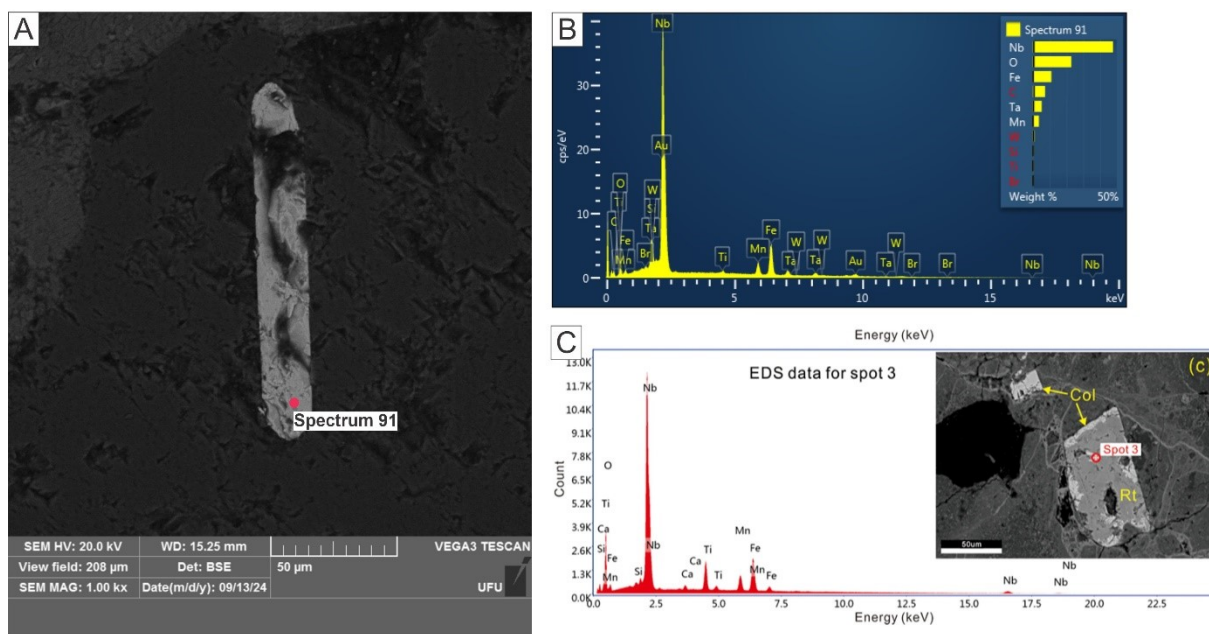


Fonte: Laboratório Multiusuário do Instituto de Química (LAMIQ-UFU).

A validação dos resultados é evidenciada pela comparação do comportamento dos picos de nióbio (Nb) nos espectros obtidos neste estudo (Figura 36B), especificamente o espectro 91

na lâmina AZ-03 (Figura 36A), com os dados presentes na literatura (Figura 36C), os quais apresentam comportamento semelhante. Ressalta-se a presença do pico de ouro (Au), atribuído à deposição de uma fina camada de ouro utilizada para melhorar a condutividade na análise por MEV. Dessa forma, confirma-se que o mineral analisado corresponde à columbita.

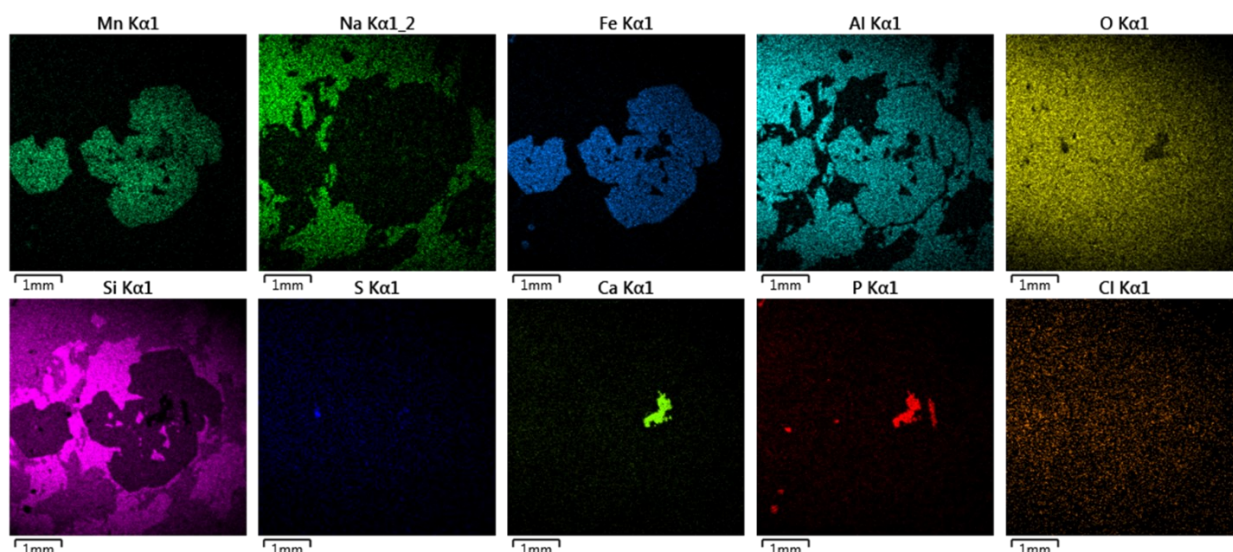
Figura 36: Imagem e espectro obtidos por MEV-EDS na amostra AZ-03. **A)** Imagem MEV e EDS 91. **B)** EDS 91 apresentando maiores concentrações de nióbio (Nb). **C)** EDS em rutilo primário cercado e preenchido por columbita em bibliografia.



Fonte: A) O autor. B) O autor. C) Deng *et al.* (2022).

Ao analisar outros mapas composicionais gerados, na lâmina AZ-01 foi selecionado um exemplar do mineral granada, caracterizado por altas concentrações dos elementos manganês (Mn), silício (Si), oxigênio (O) e alumínio (Al) e ferro (Fe) (Figura 37).

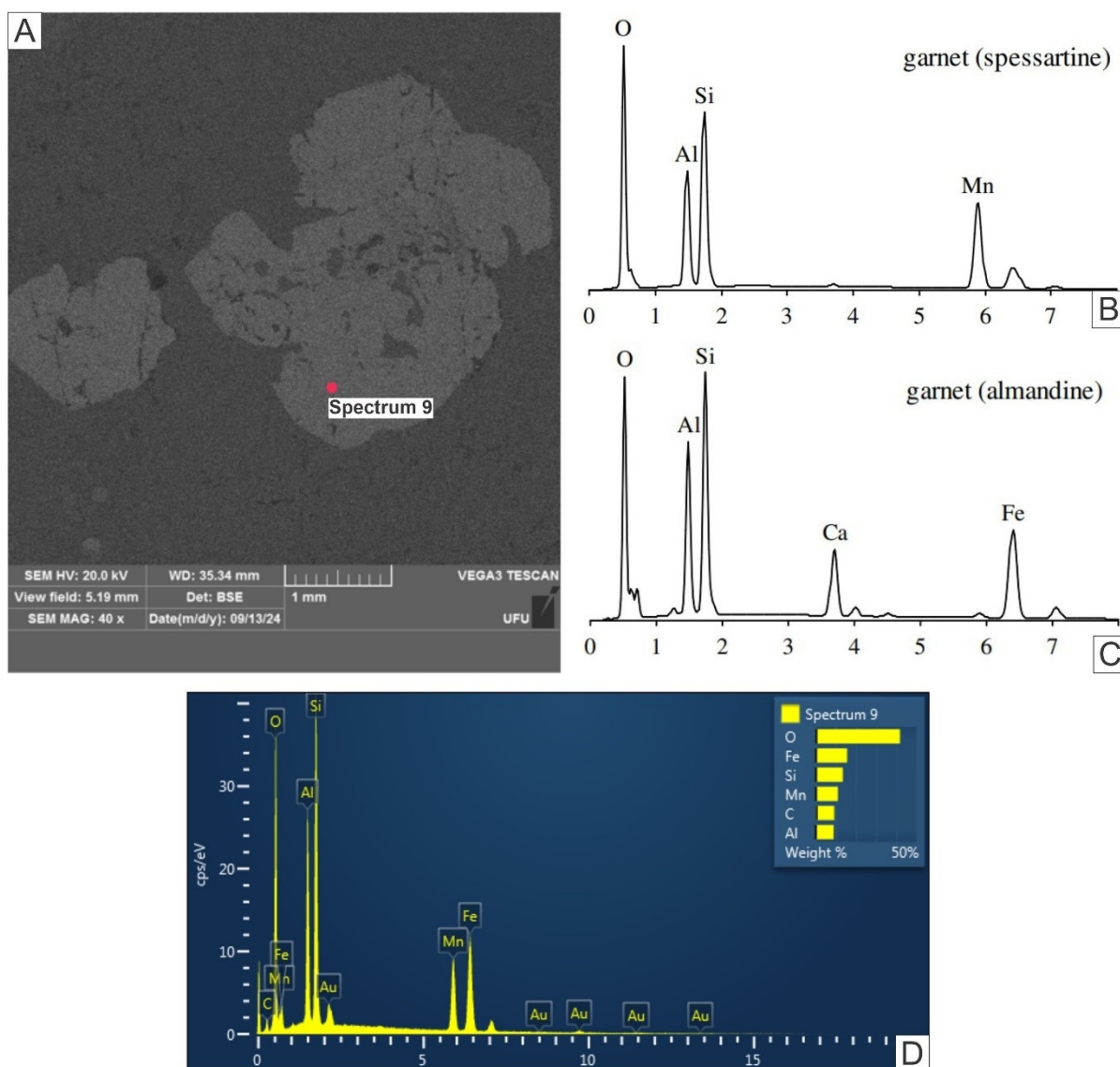
Figura 37: Mapas composicionais da lâmina AZ-01 com altas concentrações dos elementos Mn, Si, O, Al, Ca e P, bem como a presença de Na, Fe, S e Cl. Tendo os possíveis minerais: plagioclásio (albita), granada, quartzo e apatita.



Fonte: Laboratório Multiusuário do Instituto de Química (LAMIQ-UFU).

Considerando o tipo de granada identificado (Figura 38A), o que mais se aproxima com a abundância de elementos observados nos mapas composicionais é uma solução sólida de almandina, cuja fórmula química é $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$, tendo quantidades consideráveis de essartita, sendo rica em manganês (Mn), possuindo fórmula química $\text{Mn}^{2+}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$. Os espectros obtidos (Figura 38D), especificamente o espectro 9, apresentam correspondência com os dados reportados na literatura (Figura 38B e Figura 38C). Observando as concentrações de cálcio (Ca) e fósforo (P) em inclusões dentro da granada, pode se confirmar que o mineral em questão é a apatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{Cl/F/OH})$, um fosfato de cálcio.

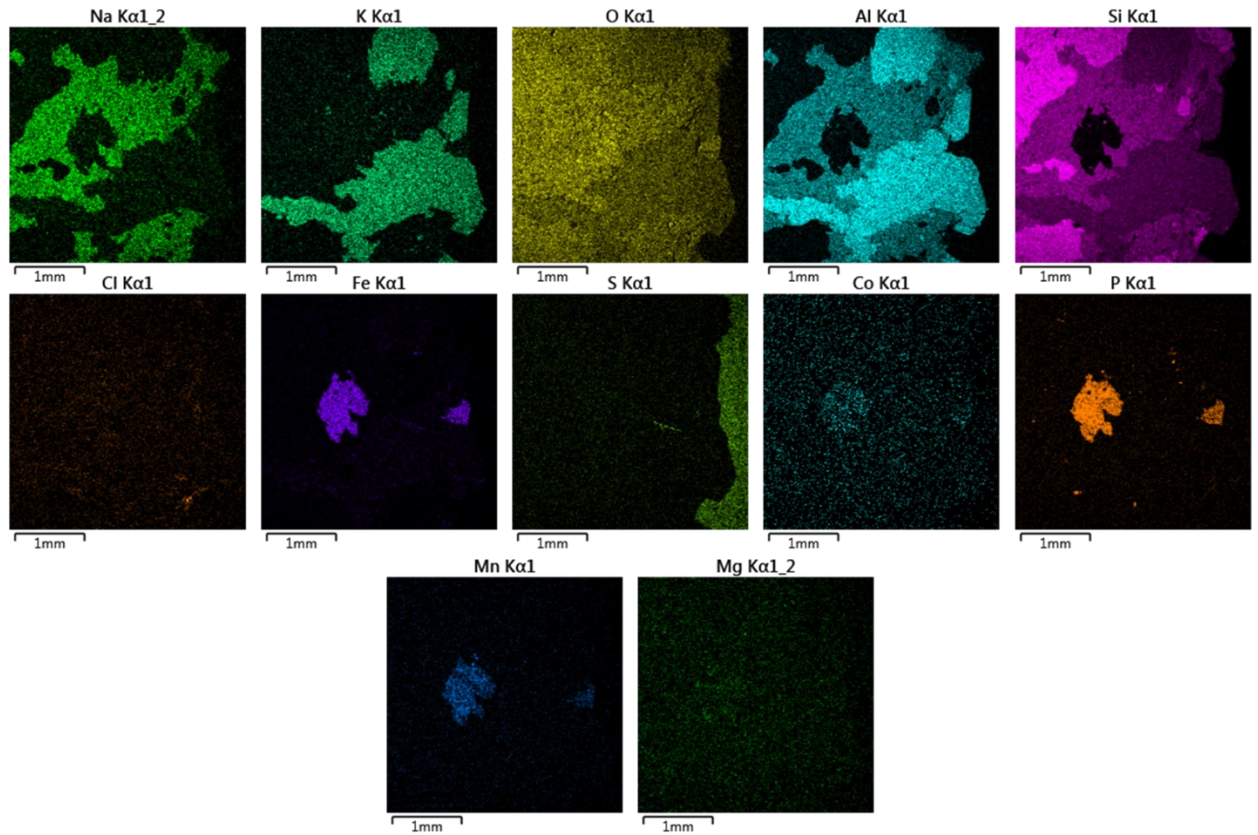
Figura 38: Imagem e espectro obtidos por MEV-EDS na amostra AZ-01. **A)** Imagem MEV e EDS 9. **B)** Espectro EDS para espessartita em bibliografia. **C)** Espectro EDS para almandina em bibliografia. **D)** EDS 9 apresentando maiores concentrações de manganês (Mn), silício (Si), oxigênio (O) e alumínio (Al).



Fonte: A) O autor. B) O autor. C) Reed (2005).

As elevadas concentrações dos elementos silício (Si) e oxigênio (O) são claramente evidenciadas nos mapas composicionais (Figura 39) referentes à lâmina AZ-03, indicando, possivelmente, a presença do mineral quartzo (SiO_2).

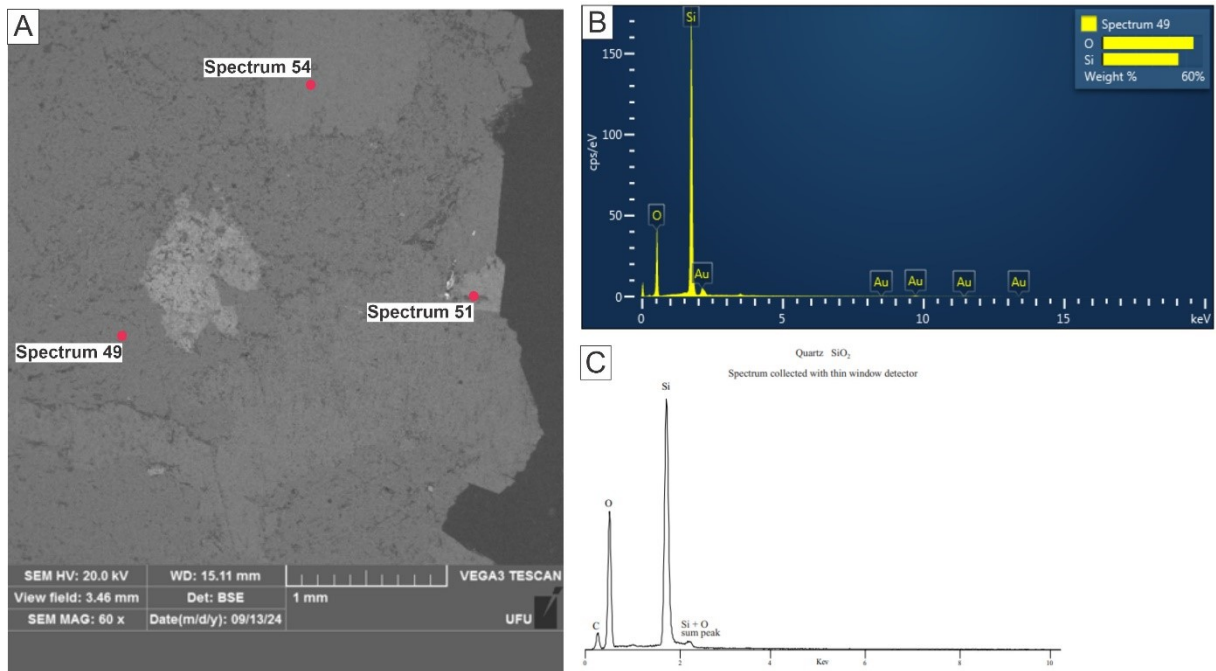
Figura 39: Mapas composicionais da lâmina AZ-03 com altas concentrações dos elementos Si e O, bem como a presença de Na, K, Al, Cl, Fe, S, P, Mn, Mg, Co. Tendo os possíveis minerais: quartzo, vivianita, plagioclásio (albita) e muscovita.



Fonte: Laboratório Multiusuário do Instituto de Química (LAMIQ-UFU).

Os espectros obtidos (Figura 40A), especificamente o espectro 49, confirmam as observações feitas nos mapas composicionais, evidenciando altas concentrações de silício (Si) e oxigênio (O). Esses resultados estão em conformidade com os dados reportados na literatura (Figura 40B), sendo quartzo o mineral.

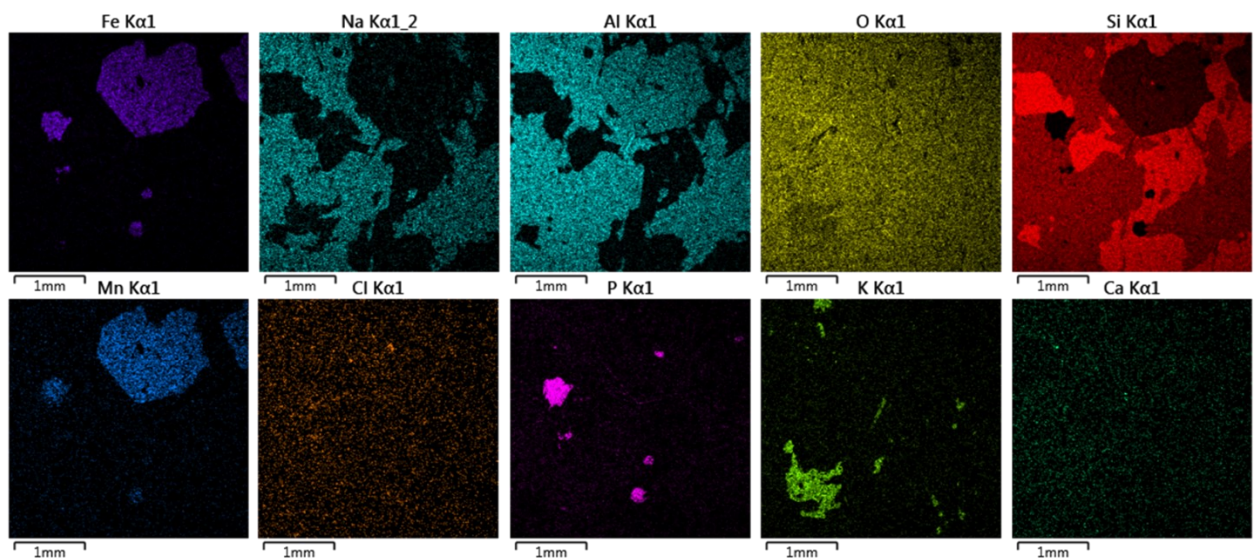
Figura 40: Imagem e espectros obtidos por MEV-EDS na amostra AZ-03. **A)** Imagem MEV e EDS 49, 51 e 54. **B)** EDS 49 apresentando maiores concentrações de silício (Si) e oxigênio (O). **C)** Espectro EDS para quartzo em bibliografia.



Fonte: A) O autor. B) O autor. C) Severin (2004).

Foram observadas altas concentrações de potássio (K), alumínio (Al), silício (Si) e oxigênio (O) nos mapas composicionais obtidos na lâmina AZ-01 (Figura 41).

Figura 41: Mapas composicionais da lâmina AZ-01 com altas concentrações dos elementos K, Al, Si e O, bem como a presença de Na, Mn, P, K, Cl, Ca. Tendo os possíveis minerais: granada, vivianita, plagioclásio (albita) e ortoclásio.

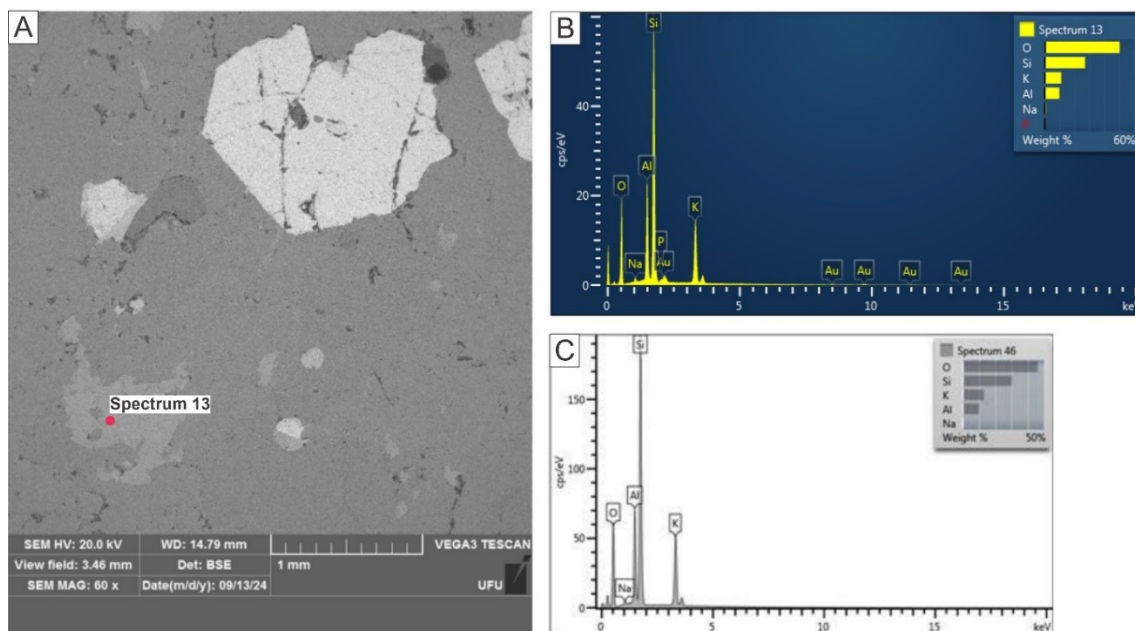


Fonte: Laboratório Multiusuário do Instituto de Química (LAMIQ-UFU).

Com base nos espectros obtidos (Figura 42A), especificamente o espectro 13, que apresentou altos picos de potássio (K), alumínio (Al), silício (Si) e oxigênio (O) (Figura 42B),

foi possível concluir que o mineral em questão é o feldspato potássico, mais especificamente o ortoclásio, com fórmula química KAlSi_3O_8 . Essa identificação foi corroborada pela literatura (Figura 42C), que apresenta espectros com picos semelhantes aos observados neste estudo.

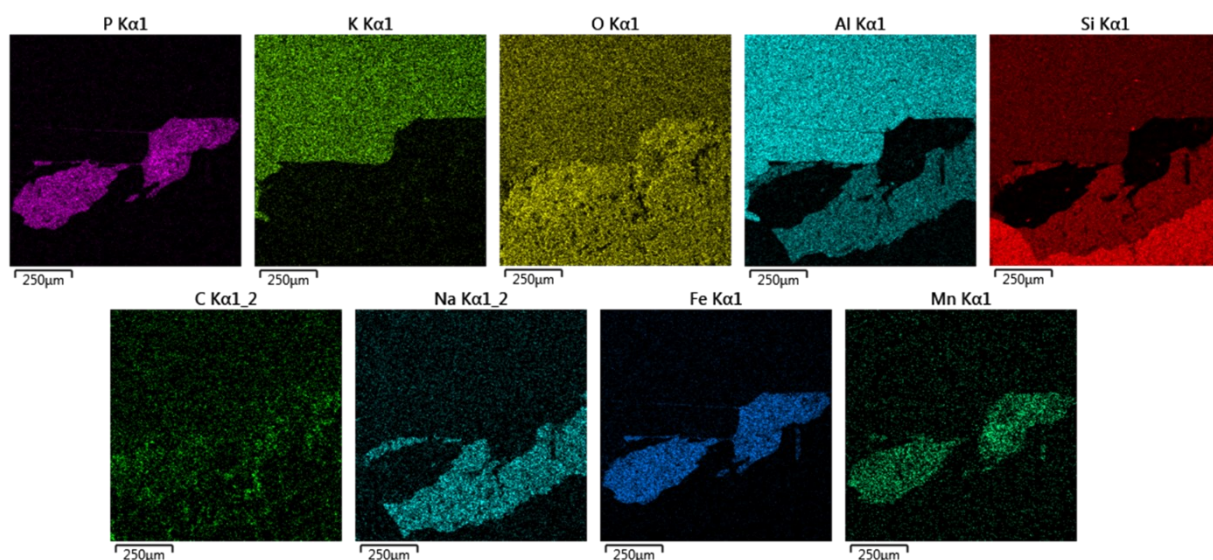
Figura 42: Imagem e espectro obtidos por MEV-EDS na amostra AZ-01. **A)** Imagem MEV e EDS 13. **B)** EDS 13 apresentando maiores concentrações de potássio (K), alumínio (Al), silício (Si) e oxigênio (O). **C)** Espectro EDS para ortoclásio em bibliografia.



Fonte: A) O autor. B) O autor. C) Paiva (2023).

Por meio dos mapas composicionais obtidos na lâmina AZ-03, foram observadas elevadas concentrações dos elementos sódio (Na), alumínio (Al), silício (Si) e oxigênio (O) (Figura 43).

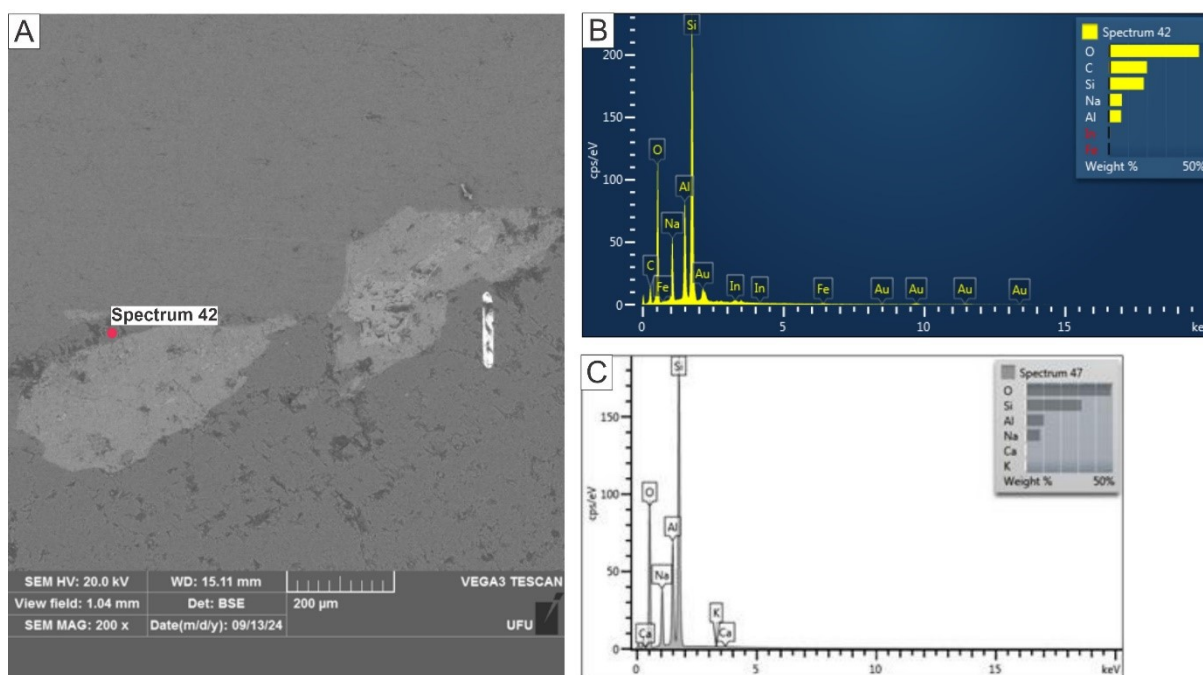
Figura 43: Mapas composicionais da lâmina AZ-03 com altas concentrações dos elementos Na, Al, Si e O, bem como a presença de P, K, Cl, Fe e Mn. Tendo os possíveis minerais: vivianita, quartzo e plagioclásio (albita), ortoclásio.



Fonte: Laboratório Multiusuário do Instituto de Química (LAMIQ-UFU).

Os espectros obtidos para a lâmina AZ-03 (Figura 44A), especificamente o espectro 42, apresentam picos elevados dos elementos sódio (Na), alumínio (Al), silício (Si) e oxigênio (O) (Figura 44B). Esses resultados indicam que o mineral analisado é um feldspato sódico, mais precisamente uma albita, com fórmula química $\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$. A comparação com dados da literatura (Figura 44C) corrobora essa identificação, devido à similaridade dos picos observados nos espectros. Por meio dos mapas composicionais obtidos na lâmina AZ-03, foram identificadas altas concentrações dos elementos alumínio (Al), silício (Si), oxigênio (O) e potássio (K) (Figura 39).

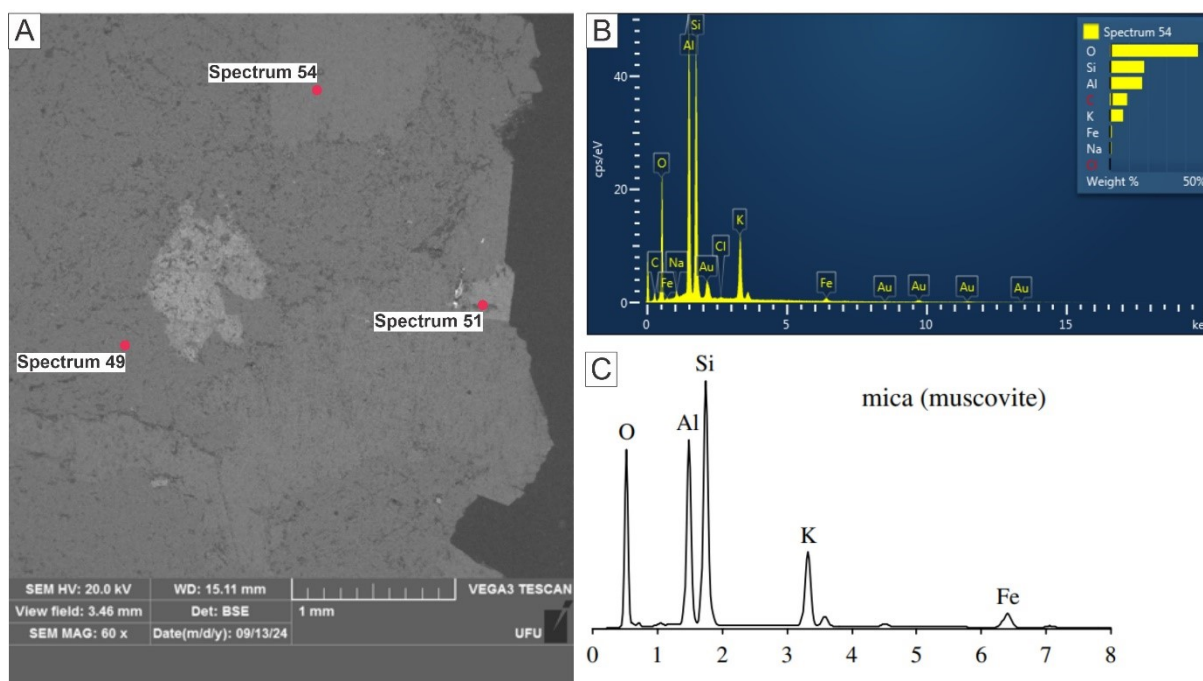
Figura 44: Imagem e espectro obtidos por MEV-EDS na amostra AZ-03. **A)** Imagem MEV e EDS 42. **B)** EDS 42 apresentando maiores concentrações de sódio (Na), alumínio (Al), silício (Si) e oxigênio (O). **C)** Espectro EDS para plagioclásio em bibliografia.



Fonte: A) O autor. B) O autor. C) Paiva (2023).

Os espectros obtidos para a lâmina AZ-03 (Figura 45A), especialmente o espectro 54, apresentaram picos com altas concentrações dos elementos alumínio (Al), silício (Si), oxigênio (O) e potássio (K) (Figura 45B). Esses resultados indicam que o mineral analisado é um silicato, identificado como muscovita, com fórmula química $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$. A comparação com o espectro disponível na literatura (Figura 45C) revela picos semelhantes para os mesmos elementos, confirmando a identificação como muscovita.

Figura 45: Imagem e espectros obtidos por MEV-EDS na amostra AZ-03. **A)** Imagem MEV e EDS 54. **B)** EDS 54 apresentando maiores concentrações de alumínio (Al), silício (Si), oxigênio (O) e potássio (K). **C)** Espectro EDS para muscovita em bibliografia.



Fonte: A) O autor. B) O autor. C) Reed (2005).

6. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Assim como a caracterização mineralógica do corpo pegmatítico, o principal objetivo deste estudo foi a identificação do mineral azul presente no maciço rochoso denominado "Azurite". Embora o nome sugira associação com a azurita, um carbonato de cobre conhecido por suas tonalidades azuis, a análise realizada por Microscopia Eletrônica de Varredura com Espectroscopia por Dispersão de Energia (MEV-EDS) permitiu concluir, com base na quantidade de ferro (Fe), fósforo (P) e oxigênio (O) obtida por meio de mapas composicionais, bem como no comportamento desses elementos nos espectros, que o mineral é, na verdade, um fosfato de ferro hidratado, identificado como vivianita. A vivianita recebeu essa designação em homenagem ao mineralogista inglês John Henry Vivian (1785–1855). Este mineral cristaliza no sistema monoclinico e representa o membro final rico em ferro (Fe) do grupo da vivianita (ROTHE *et al.*, 2016).

Os pegmatitos são rochas frequentemente de fácil identificação e caracterização mineralógica devido às suas características estruturais e à presença de cristais de grandes dimensões. Esses corpos podem conter diversos fosfatos, como apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$), trifilita (LiFePO_4), monazita ($((\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th})\text{PO}_4)$), ambligonita ($\text{LiAl}(\text{PO}_4)\text{F}$), entre outros. O fosfato de ferro vivianita ($\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{2+}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) é de ocorrência rara em pegmatitos. Com base apenas na descrição macroscópica realizada neste estudo, não foi possível identificar todos os minerais presentes no maciço rochoso, sendo, portanto, necessária a realização de análises químicas e microscópicas mais detalhadas.

A intrusão pegmatítica "Azurite" apresenta predominantemente coloração esbranquiçada, com setores exibindo tonalidades variáveis de azul. Entretanto, nessas regiões, ocorrem

frequentemente variações cromáticas que vão do marrom-escuro ao preto. O corpo intrusivo está em contato concordante com as rochas do tipo biotita-xisto e quartzo-biotita-xisto, as quais, em diversas ocasiões, aparecem como xenólitos métricos no interior da intrusão.

Seguindo a classificação de pegmatitos por complexidade mineralógica e textura, conforme os critérios propostos por Landes (1933), Sá (1977) e Cerny (1982), o pegmatito “Azurite” é caracterizado como uma rocha não zonada, homogênea, porém de textura complexa. Sua mineralogia essencial é composta por quartzo, granada (almandina e espessartita), feldspatos (plagioclásio – albita e ortoclásio) e muscovita. Os minerais acessórios incluem vivianita, carbonatos, piroxênio (espodumênio), turmalinas (elbaíta e schorlita), columbita (Fe), apatita e minerais opacos.

De acordo com as classificações propostas por Cerny (1982), o pegmatito analisado neste estudo se enquadra apenas na categoria baseada na presença de minerais essenciais e acessórios. No entanto, a “classificação dos pegmatitos graníticos por associação mineralógica” (Tabela 1), associando os minerais dos grupos principais silicatos, fosfatos e óxidos, não é aplicável a este pegmatito. Isso se deve às associações mineralógicas divergentes observadas, como, por exemplo, a presença do fosfato vivianita.

Porém, por meio da classificação de Cerny e Ercit (2005), é possível enquadrar o pegmatito “Azurite” na Classe Muscovita Elementos Raros (Tabela 4). Embora a vivianita não seja mencionada na literatura, a mineralogia apresentada é compatível, sendo composta por quartzo, feldspato e muscovita (ocorrendo em grande proporção, especialmente em bolsões), granada (almandina), mineral contendo nióbio (columbita) e mineral contendo lítio (espodumênio), como nas amostras do pegmatito “Azurite” ocorreram mineralogia iguais das duas subclasses MSREL-REE e MSREL-Li não foi possível classificar em um tipo. Cerny e Ercit (2005) afirmam que os pegmatitos da Classe Muscovita Elementos Raros, na maioria dos casos, ocorrem de forma discordante em relação à foliação das rochas metamórficas encaixantes. No entanto, diferentemente do observado neste trabalho, o pegmatito “Azurite” apresenta-se concordante com a foliação do biotita-xisto ou quartzo-biotita-xisto. Os autores também relatam que esse tipo de rocha está associado a granitos peraluminosos evoluídos, o que é coerente com a mineralogia dos granitos que ocorrem regionalmente no entorno da intrusão, como o “Corpo Monzogranito Teste” e a “Granito Teixeira – Fácies 1”. Entretanto, são necessários estudos mais detalhados para confirmar essa hipótese.

O pegmatito analisado neste estudo apresenta uma concentração extremamente baixa de nióbio, derivado da columbita, e de lítio, proveniente do espodumênio. Portanto, não pode ser incluído nas famílias petrogenéticas de pegmatitos descritas por Cerny e Ercit (2005) sendo as famílias NYF (Nióbio-Ítrio-Flúor) e LCT (Lítio-Césio-Tântalo) (Tabela 5). Além disso, embora tenha sido classificado como pertencente à Classe Muscovita Elementos Raros (MSREL-REE), este tipo de pegmatito também não se enquadra nas famílias mencionadas, devido à baixa concentração de elementos acessórios em sua composição.

Cruz (2024) descreve que em pegmatitos zonados, ocorrem três principais tipos de estrutura interna (Figura 7). A primeira zona é a zona de cristalização, caracterizada por camadas concêntricas e gradacionais envolvendo o núcleo central. Esta zona se diferencia das zonas externas por apresentar características texturais e mineralógicas distintas. A segunda zona é formada por substituição metassomática, na qual os minerais preexistentes são substituídos por novas fases minerais durante o processo de formação. A terceira e última zona refere-se ao

preenchimento de fraturas, onde minerais secundários ocupam cavidades e fraturas preexistentes. No afloramento “Azurite”, observa-se a presença da última zona descrita na literatura, na qual minerais secundários, como a vivianita, preenchem fraturas ao longo de todo o corpo rochoso. Entretanto, a intrusão pegmatítica apresenta uma litologia homogênea, sem variações significativas e não zonada. Dessa forma, verifica-se uma divergência em relação à literatura existente.

Visualmente, é evidente que a vivianita se originou de um evento tardio, preenchendo fraturas e clivagens, não fazendo parte do mesmo evento de formação do pegmatito em que está inserida. No Orógeno Araçuaí, Viana (2007) também relata, no pegmatito Cigana, a ocorrência de vivianita formada em estágios finais de cristalização ou durante atividades hidrotermais, nas quais a atividade hidrotermal promoveu o metassomatismo de fosfatos primários para secundários e a transformação de microclínio em muscovita, além da conversão de massas de fosfatos em material policristalino. Segundo Moore (1973), a mineralogia dos fosfatos em pegmatitos ocorre em três estágios distintos: primário, metassomático e hidrotermal. Dessa forma, a evolução dos fosfatos está diretamente relacionada a fatores internos, como a composição química e a mineralogia do ambiente primário, além de fatores externos, como a entrada de água meteórica no sistema, que pode provocar alterações nos fosfatos primários em diferentes intensidades. Se o processo for intenso, pode ocorrer a substituição da mineralogia principal (CHAVES *et al.*, 2008). Essas hipóteses são semelhantes e sugerem que o metassomatismo e a atividade hidrotermal podem estar diretamente relacionados à ocorrência de fosfatos (vivianita) no pegmatito “Azurite”.

Embora a vivianita não tenha sido identificada durante a fase de descrição microscópica, foi possível observar, com maior detalhamento, ocorrências pontuais de carbonatos e produtos de alteração da vivianita.

A vivianita, em seu estado puro, é incolor. No entanto, quando exposta ao ar, sofre transformações que resultam em tonalidades azuladas e esverdeadas, decorrentes da oxidação gradual do Fe (II). Esse processo de oxidação ocorre lentamente em temperatura ambiente, estabilizando-se com a formação de concentrações de Fe^{3+} . A vivianita frequentemente contém quantidades significativas de Mn e/ou Mg, que podem substituir o Fe em sua estrutura cristalina. Essas substituições, aliadas ao processo de oxidação, promovem alterações na coloração, resultando em tonalidades progressivamente mais escuras (ROTHER *et al.*, 2016). A alteração da vivianita foi observada tanto macroscopicamente (Figura 15) quanto microscopicamente (Figura 26C). Em afloramento, a vivianita apresenta coloração de alteração variando de marrom-escuro a preto, enquanto em lâmina delgada exhibe transições de azul para verde-acinzentado e, posteriormente, para verde-escuro.

Para um melhor entendimento, recomenda-se a realização de um estudo de caso abrangente sobre a gênese do afloramento, com o objetivo de determinar seu protólito. Além disso, é aconselhável investigar os processos responsáveis pela formação da vivianita nessa intrusão, considerando a escassez de literatura relacionada à ocorrência de vivianita em pegmatitos. Sugere-se, ainda, a execução de um mapeamento detalhado da área local para verificar a presença de fosfatos semelhantes em outros afloramentos, visto que, até o momento, este é o único identificado na região com essa mineralogia. Adicionalmente, recomenda-se a realização de trabalhos futuros utilizando a técnica de Difração de Raios-X (DRX) como método

complementar para confirmar se o mineral investigado é, de fato, vivianita, bem como para avaliar seu comportamento nesse tipo de análise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALKMIM, F. F.; PEDROSA-SOARES, A. C.; NOCE, C. M.; CRUZ, S. C. P. **Sobre a Evolução Tectônica do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental**. Genomos. Departamento de Geologia. Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP. Ouro Preto, MG. 2007.
- ALMEIDA, C. S. de. **Território da água, território da vida: comunidades tradicionais e a monocultura de eucalipto no Alto Jequitinhonha**. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-graduação Interdisciplinar em Estudos Rurais), Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVM), Diamantina, 2018.
- ALMEIDA, F.F.M. DE; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. **The upper precambrian of South America**. Boletim do Instituto de Geociências da USP. São Paulo: USP. v.7, p.45-80. 1976. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-8978.v7i0p45-80>
- ALMEIDA, F.F.M. **O Cráton do São Francisco**. Revista Brasileira de Geociências. Volume 7, 1977.
- BARROSO, L. S. **Pesquisa mineral de pegmatitos na região leste de Minas Gerais em contexto de mineração de pequena escala**. Escola de Ciências. Dissertação de Mestrado em Geociências. Universidade Do Minho. Outubro de 2018.
- BETIOLLO, L. M.; PAES, V. J. C.; SANTOS, L. D.; MOURA, A. P. D.; TEDESCHI, M. F. **Tipologia dos pegmatitos litiníferos da região do médio Rio Jequitinhonha - MG, província pegmatítica oriental do Brasil**. Serviço Geológico do Brasil - CPRM. 2016.
- BORBOREMA, Pedro Henrique Lima. **Pegmatitos litiníferos de Araçuaí-Itinga (MG): importância geológica e econômica**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pampa. Caçapava do Sul -RS, 2023.
- CAI, J.; SU, C.; YU, X.; PENG, R.; LIU, R.; ZHANG, X.; SHEN, P.; LIU, D. **Understanding the mechanism for promoting azurite sulfurization with ammonium sulfate**. Minerals Engineering, 177, 107368. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107368>
- CARNEIRO, M. S. C. **Distribuição dos pegmatitos com minerais fosfáticos na região de Conselheiro Pena - Mendes Pimentel, província pegmatítica oriental, Minas Gerais**. Departamento de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Rio de Janeiro, julho 2003.
- CASTRO, Marco Paulo de. **Evolução do Grupo Macaúbas e Formação Salinas no Orógeno Araçuaí Central, MG**. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.
- CERNY P. **Petrogenesis of granitic pegmatites**. In: Granitic pegmatites in science and industry (Cerný P., ed.), Mineralogical Association of Canada. Short Course Handbook., 8:405- 461, 1982.

CERNY, P.; ERCIT, T.S. **The classification of granitic pegmatites revisited**. Can. Mineral. 43, 2005. <https://doi.org/10.2113/gscanmin.43.6.2005>

CHAVES, M. L. S. C., & DIAS, C. H. **Lítio em Minas Gerais: mineralogia, depósitos e estágios de geração de espodumênio na Província Pegmatítica Oriental Brasileira**. Terræ Didactica, 18(Publ. Contínua), 1-10, e022040. doi: 10.20396/td.v18i00.8671078. 2022. <https://doi.org/10.20396/td.v18i00.8671078>

CHAVES, M. L. S. C.; SHOLZ, R. **Pegmatito Gentil (Mendes Pimentel, MG) e suas paragéneses mineralógicas de fosfatos raros**. REM: R. Esc. Minas, 61(2): 141-149. Ouro Preto, MG, abr. jun. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672008000200006>

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

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. (2008). **FOLHA SE.24-V-A-IV ITAOBIM** [mapa]. 1:100.000. Programa Geologia Do Brasil.

CRUZ, T. P. **Caracterização mineralógica e petrográfica de fosfatos primários e suas alterações-pegmatito Eduardo, Conselheiro Pena-MG**. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica. Trabalho de Conclusão de Curso, n. 502, 46p. 2024.

DENG, W.; WENB, H.; DUD, S.; LINGA, K.; FANA, H.; ZHUA, C.; LUOA, C.; YANGA, Y. **Provenance of Late Permian Nb-Zr-REE-Ga enrichment in western Guizhou: Implications for the waning volcanism of Emeishan large igneous province**. Ore Geology Reviews, 150. 105160. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.105160>

DIAS, C. A. T.; LEITE JUNIOR, W. B.; MUZZOLON, R.; BETTENCOURT, J. S.; **Geologia e Mineralogia do Pegmatito Estanífero Cascavel, Mina Bom Futuro, Rondônia**. UNESP, Geociências, v. 32, n. 4, p. 731-745. São Paulo, 2013.

GONÇALVES, L. E. S.; ALKMIM, F. F.; PEDROSA-SOARES, A. C.; **Características geoquímicas da Suíte G1, arco magmático do Orógeno Araçuaí, entre Governador Valadares e Ipanema, MG**. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 63(3): 457-464, jul. set. 2010. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672010000300006>

KAWATA, M.T. **Evolução tectono-metamórfica da Formação São Tomé, Grupo Rio Doce, Faixa Araçuaí**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP), 2018.

KLEIN, C.; DUTROW, B. J. **Manual de Ciência dos Minerais**. 23. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

LANDES, K. K. **Origin and Classification of Pegmatites**. University of Kansas, 1933.

LIMA, S. A. A.; MARTINS-NETO, M. A.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CORDANI, U. G.; NUTMAN, A. **A Formação Salinas na área-tipo, NE de Minas Gerais: uma proposta de revisão da estratigrafia da Faixa Araçuaí com base em evidências sedimentares, metamórficas e idades U-Pb SHRIMP.** Revista Brasileira de Geociências, Volume 32. 2002.

MOORE, B.P. **Pegmatite phosphates: descriptive mineralogy and crystal chemistry.** Min. Record, v.4, p.103-130, 1973.

MORAIS, Roberto Mahler. **Prospecção de rochas ornamentais na área mapeada pelo projeto Jequitinhonha através de sistemas de informações geográficas.** Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas. 2017.

NEVES, J. M. C.; PEDROSA SOARES, A. C.; MARCIANO, V. R. P. O. **A Província Pegmatítica Oriental do Brasil à Luz dos Conhecimentos Atuais.** Revista Brasileira de Geociências 16(1): 106-118. Belo Horizonte, mar. de 1986.

NEWMAN CARVALHO, D. T. de. **Estudos mineralógicos e microtermométricos de berilo dos pegmatitos Ipê, Ferreirinha, Jonas Lima e Escondido, Governador Valadares, MG.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 143p, 2004.

NOCE, C.M., PEDROSA-SOARES, A.C., SILVA, L.C. & ALKMIM, F.F. **O Embasamento Arqueano e Paleoproterozóico do Orógeno Araçuaí.** Geonomos, 15. 2007.

PAES, V. J. C.; RAPOSO, F. O.; PINTO, C. P.; OLIVEIRA, F. A. R. **Projeto Jequitinhonha. Geologia e Recursos Minerais das Folhas Comercinho, Jequitinhonha, Almenara, Itaobim, Joáima e Rio do Prado.** CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. p.1-160. Belo Horizonte, 2010.

PAIVA, L. S. **Análise química por EDS e LA-MC-ICP-MS em amostras de feldspato do complexo intrusivo Várzea Alegre, Espírito santo (Orógeno Araçuaí - Província Pegmatítica Oriental do Brasil).** Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica. Ouro Preto, agosto de 2023.

PEDROSA-SOARES A.C., NOCE C.M., WIEDEMANN C.M., PINTO C.P. **The Araçuaí-West Congo Orogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly.** Precambrian Research, 110:307-323. 2001.
[https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(01\)00174-7](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(01)00174-7)

PEDROSA-SOARES, A. C., CAMPOS, C. P., NOCE, C. M., SILVA, L. C., NOVO, T., RONCATO, J., & ALKMIM, F. F. **Late Neoproterozoic-Cambrian Granitic Magmatism in the Araçuaí Orogen (Brazil) the Eastern Brazilian Pegmatite Province and Related Mineral Resources.** In: Sial, A. N., Bettencourt, J. S., Campos, C. P., & Ferreira, V. P. (Eds.), 2011. <https://doi.org/10.1144/SP350.3>

PEDROSA-SOARES, A. C.; ALKMIM, F. F.; NOCE, C. M.; SILVA, L. C.; BABINSKI, M.; CORDANI, U.; CASTAÑEDA, C. **Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977**. Genomos. CPMTC-IGC-UFMG. Belo Horizonte, MG, 2007.

PEDROSA-SOARES, A. C.; NOCE, C. M.; VIDAL, P.; MONTEIRO, R. & LEONARDOS, O. H. **Toward a new tectonic model for the Late Proterozoic Araçuaí (SE Brazil) - West Congolian (SW Africa) Belt**. Journal of South American Earth Sciences, 1992.
[https://doi.org/10.1016/0895-9811\(92\)90015-Q](https://doi.org/10.1016/0895-9811(92)90015-Q)

REED, S. J. B. **Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511610561>

ROTHER, M.; KLEEBERG, A.; HUPFER, M. **The occurrence, identification and environmental relevance of vivianite in waterlogged soils and aquatic sediments**. Earth-Science Reviews 158. 51-64. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.04.008>

SÁ, J. H. S. **Pegmatitos litiníferos da região de Itinga - Araçuaí, Minas-Gerais**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 1977.

SAPOTA, T.; AL-AASM, I.; ALDAHAN, A. **Sedimentary facies and climate control on formation of vivianite and siderite microconcretions in sediments of Lake Baikal, Siberia**. Journal of Paleolimnology. DOI 10.1007/s10933-006-9005-x. Outubro de 2006.
<https://doi.org/10.1007/s10933-006-9005-x>

SEVERIN, K. P. **Energy Dispersive Spectrometry of Common Rock Forming Minerals**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004.

SIMMONS, W. B. **GEM-BEARING PEGMATITES** In: GROAT L. A. (Editor), **Geology of Gem Deposits**, Mineralogical Association of Canada Short Course Series v. 37 p. 169-206, 2007.

SULZBACHER, A. W.; FERNANDES, L. C.; ALMEIDA, C.S. **"Nas minas, a terra vale ouro": questão agrária e mineração no Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil"**, Revista NERA, v. 24, n. 57, Presidente Prudente - SP, 2021.

VIANA, R. R.; PRADO, R. J. **Mineralogical and Chemical Characterization of Vivianite Occurrence in Pegmatites from the Eastern Brazilian Pegmatite Province**. Granitic Pegmatites: The State of the Art - International Symposium. 06th - 12th May 2007, Porto, Portugal.