

PETROGRAFIA DE PEGMATITOS DA PRAIA DA AREIA PRETA EM GUARAPARI, ESPÍRITO SANTO

Camila Schelleberg Solano¹, Marilane Gonzaga de Melo²

¹Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, Brasil (camila.solano@edu.ufes.br)

²Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, Brasil

Resumo: Os pegmatitos analisados apresentam magnetita predominante em pegmatitos com menores espessuras. A presença de magnetita nos paragneisses da Praia da Areia Preta contrasta com outros paragneisses das praias vizinhas, onde esse mineral está ausente, indicando diferenças na composição química do magma parental e nos processos de cristalização. A ausência de minerais gemológicos sugere cristalização rápida e baixa diferenciação magmática.

Palavras-chave: Complexo Nova Venécia; Pegmatito; Paragneisse; Petrografia; Difração de Raios-X

INTRODUÇÃO

Os pegmatitos são rochas ígneas intrusivas com texturas de tamanho extremamente grossa e possuem enriquecimento de elementos raros que contribuem para serem excelentes portadores de minerais-gemas e metais estratégicos (Simmons e Webber, 2008). No entanto, os pegmatitos podem ocorrer com granulação variando de grãos com tamanhos submilimétricos a dezenas de metros. Texturas pegmatíticas podem se desenvolver em qualquer tipo de forma intrusiva de rocha ígnea, desde ultramáfica, granítica a sienítica, entretanto o termo é usado, comumente, para se referir aos pegmatitos graníticos, que são compostos predominantemente por quartzo e feldspatos, tendo mica como acessório. Os pegmatitos apresentam texturas diagnósticas típicas como feldspatos com textura granofírica, esquelética e zoneamento de minerais (London, 2018).

De acordo com Simmons e Webber (2008), embora ainda não tenha surgido um modelo de formação de pegmatitos universalmente aceito, que satisfaça todas as características dos pegmatitos graníticos, a gênese a partir de fusões residuais derivados da cristalização de magmas graníticos com enriquecimento de elementos incompatíveis, voláteis e elementos raros, além de fluídos que diminuam a temperatura de cristalização e taxas de nucleação dos minerais é mais aceita, sendo cruciais para a evolução e crescimento de grandes cristais e textura pegmatítica. Este evento ocorre em função de um único magmatismo, com uma cristalização interna complexa, propiciando a formação dos grandes cristais.

Souza (2022) relaciona dois modelos genéticos mais aceitos para as origens dos pegmatitos. O mais aceito relaciona-se ao fracionamento de magmas graníticos,

no qual os pegmatitos se formariam a partir da cristalização de fusões residuais enriquecidas em elementos incompatíveis, terras raras e voláteis. Esses componentes reduzem a temperatura de fusão e diminuem a nucleação, possibilitando o crescimento de cristais de grande tamanho, característicos dessas rochas. Nesse cenário, há dois estágios principais: o magmático, em que as soluções se acomodam e cristalizam em condições de sistema fechado; e o hidrotermal, quando há interação dessas soluções com minerais já formados, provendo substituições e modificações em um ambiente mais aberto.

Outro modelo proposto considera a geração de pegmatitos a partir da fusão parcial de rochas metamórficas, especialmente metassedimentos em ambientes ricos em elementos fluxantes como boro e lítio (Souza, 2022). Esse processo não exige a presença de um granito parental, podendo justificar casos em que não se observa zoneamento mineralógico ou associação direta entre pegmatitos e granitos.

Para que um pegmatito desenvolva minerais gemológicos, é necessário que o magma residual seja rico em voláteis (H₂O, B, F, Li, CO₂, P) e elementos raros (Be, Cs, Nb, Ta, Sn), permitindo a exsolução de um fluido aquoso entre 750° e 650° C (Shigley et al., 1984). Tal fluido, menos viscoso enriquecido em elementos incompatíveis, favorece a formação de bolsões internos (*pockets*) em condições de baixa pressão e cristalização rasa na crosta. São nesses espaços que os minerais podem se desenvolver em cristais grandes, euédricos e de qualidade gemológica (Shigley et al., 1984).

Os pegmatitos ainda são classificados de acordo com sua mineralogia e estrutura interna como simples ou homogêneos, complexos ou heterogêneos (Cameron

et al., 1949). Estes últimos ainda apresentam zoneamento, determinados pelo avanço da cristalização que gera uma associação ou assembleia de minerais em cada uma dessas zonas, sendo elas: zona de borda ou marginal; zona mural; zona intermediária e núcleo. No entanto, nem todas estão presentes em todos os pegmatitos (Cameron et al., 1949).

A relevância deste trabalho é destacada pela importância do estado do Espírito Santo como região integrante da Província Pegmatítica Oriental do Brasil, umas das mais importantes produtoras de pegmatitos portadores de minerais-gema e elementos raros no mundo (Costa, 2018). O Distrito Pegmatítico do Espírito Santo representa uma área de significativo interesse geológico e mineralógico, sendo de suma importância a categorização e descrição petrográfica e petrogenética dos pegmatitos para ampliar o conhecimento sobre os recursos minerais do estado e sua gênese, e desta forma contribuir para o desenvolvimento econômico local e para futuras pesquisas minerais. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é compreender os processos magmáticos e metamórficos envolvidos na petrogênese dos pegmatitos que intrudem o Complexo Nova Venécia, localizados na Praia da Areia Preta (Figura 1), em Guarapari (Espírito Santo).

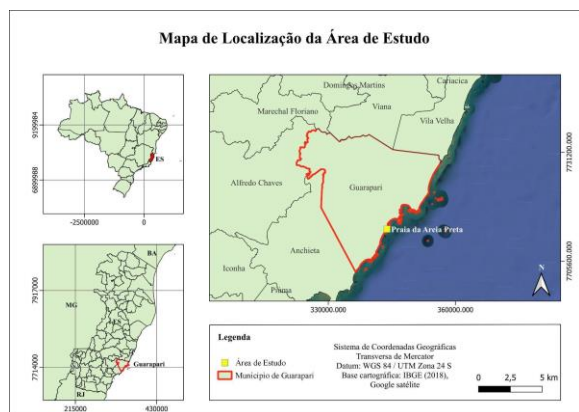


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

MATERIAL E MÉTODOS

A atividade de campo possibilitou a observação das características geológicas como forma, contatos e mineralogia dos pegmatitos e da rocha encaixante, além da coleta de amostras representativas para realização das análises petrográfica e de Difração de Raios-X (DRX). As descrições petrográficas das rochas levam em consideração as estruturas, texturas e composição mineralógica, sendo que a classificação das rochas segue as recomendações de Le Maitre (2002) e Fettes e Desmons (2007).

Para a realização da Difração de Raios-X, as amostras foram inicialmente moídas em moinho

pulverizador, no Laboratório de Preparação de Amostras (LPA) do Departamento de Geologia/UFES, até atingir a fração argila, condição necessária para garantir uma granulometria adequada à análise por DRX. Em seguida, o material pulverizado foi submetido ao difratômetro da marca Rigaku (modelo Mini-Flex 600), no Laboratório de Engenharia Química 1/CCAUE/UFES. A velocidade de leitura foi de 0,5° 2 theta/min, sendo o intervalo de leitura variante entre 5° a 50°, usando tubo de cobre como fonte de radiação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área de estudo possui diferentes pulsos pegmatíticos, cuja mineralogia tem variações quanto a presença ou ausência de magnetita. Os pegmatitos de menores espessuras (entre 15 cm e 30 cm) apresentam maiores porções deste mineral (Figura 2A e 2B), enquanto nos pegmatitos de maiores espessuras (aproximadamente 1m) a magnetita é ausente.

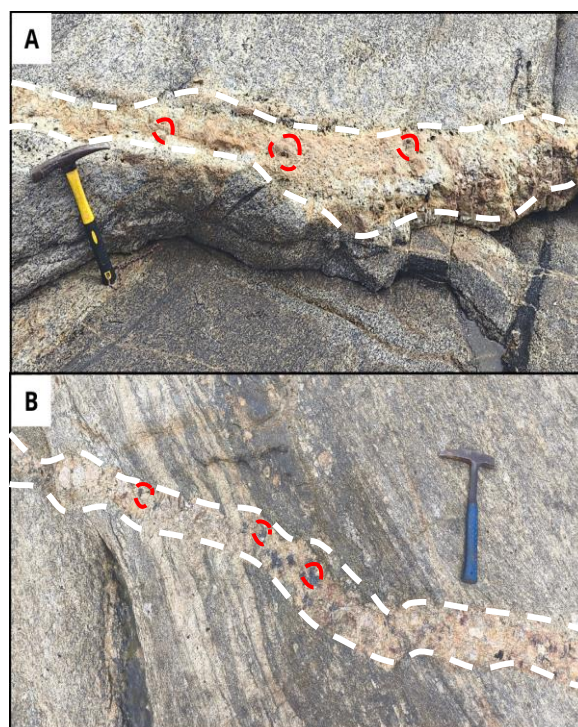


Figura 2. (A e B) Pegmatitos de menores espessuras (delimitados por linhas pontilhadas brancas) apresentando maiores porções de magnetita (círculos pontilhados vermelhos).

O pegmatito apresenta-se com textura holocristalina fanerítica, com granulação variando de fina (0,5 mm) a muito grossa (60 mm), apresentando tamanho relativo dos grãos inequigranulares com formas variando entre idiomórficas e xenomórficas, visto que ocorrem minerais com faces totalmente preservadas, ao passo que, outros minerais

apresentam-se com ausência de faces. Sua mineralogia média é composta por feldspato potássico (55%), quartzo (15%), plagioclásio (10%), biotita (10%) e magnetita (10%) (Figura 3).



Figura 3. Pegmatito (delimitado por linha pontilhada branca) apresentando porções significativas de magnetita (círculos pontilhados vermelhos).

O pegmatito apresenta borda com granulação fina (0,5 mm) e a zona intermediária com granulação grossa (5mm a 60 mm) com abundância de magnetita. Ademais, é possível observar na zona de contato com a rocha encaixante, um notável enriquecimento de biotita, mineral proveniente da própria rocha encaixante (Figura 4). A magnetita presente no pegmatito apresenta coloração preta, com granulação variando de fina (<0,5 mm) a muito grossa (60 mm), com formas variando de idiomórficas a xenomórficas, com hábito octaédrico a granular. Alguns cristais de magnetita apresentam borda de reação, possivelmente como consequência de oxidação (Figura 5).

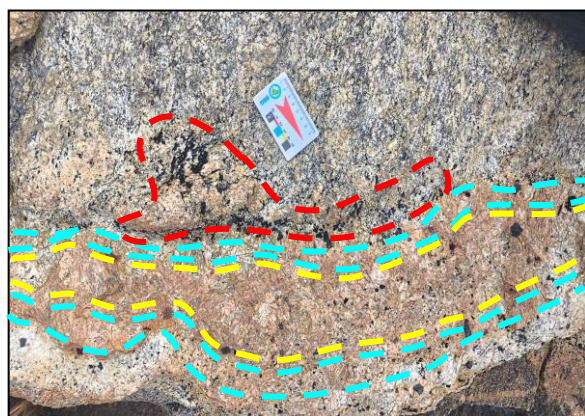


Figura 4. Bordas com granulação mais fina (0,5 mm) no pegmatito (cor azul) e zona intermediária com granulação grossa (5mm a 60 mm) com abundância de magnetita (cor amarela). Zona de contato com a rocha encaixante com enriquecimento de biotita, mineral proveniente da própria rocha encaixante (cor vermelha).

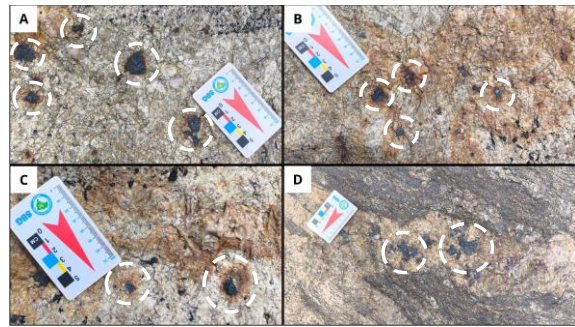


Figura 5. (A) Cristais de magnetita presentes no pegmatito com formas idiomórficas a xenomórficas, com hábito octaédrico a granular. (B) Exemplos de magnetita que apresentam borda de reação. (C) Exemplos de magnetita com fácies com hábito octaédrico com bordas de reação. (D) Cristais de magnetita com formas xenomórficas sem borda de reação.

A rocha encaixante trata-se de um paragnaisse com textura granolepidoblástica, com granulação média (2,5 mm) a grossa (5 mm), apresentando tamanho relativo dos grãos inequigranulares exibindo, por vezes, porfiroblastos de plagioclásio e ortoclásio com granulação grossa (30 mm) com formas variando entre idiomórficas e xenoblásticas (Figura 6). Sua mineralogia média é composta por ortoclásio (25%), quartzo (30%), plagioclásio (10%), biotita (30%) e magnetita (5%). Os corpos rochosos situam-se com direção 220/19 (Dip Direction Dip).

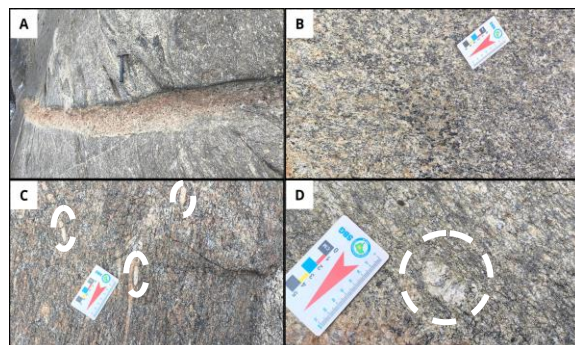


Figura 6. (A) Contato entre o pegmatito e a rocha encaixante. (B) Corte da rocha encaixante com textura granolepidoblástica e granulação média, apresentando bandamento gnáissico. (C) Exemplos de porfíros de plagioclásio com fácies com hábito tabular na encaixante. (D) Porfiro de ortoclásio na rocha encaixante.

As amostras destinadas às análises de DRX foram previamente preparadas de acordo com sua natureza litológica e mineralógica, sendo separadas em seis categorias, sendo elas: A1, referente a porção félsica da rocha encaixante; A2, porção máfica da rocha encaixante; A3, porção máfica do pegmatito com magnetita; A4, porção félsica do pegmatito com magnetita; A5, porção máfica do pegmatito sem

magnetita; e A6, porção fêlsica do pegmatito sem magnetita (Tabela 1).

Tabela 1. Amostras preparadas para análise de Difração de Raio-X.

Código da amostra	Litotipo	Porção
A1	Rocha Encaixante	Fêlsica
A2	Rocha Encaixante	Máfica
A3	Pegmatito com Magnetita	Máfica
A4	Pegmatito com Magnetita	Fêlsica
A5	Pegmatito sem Magnetita	Máfica
A6	Pegmatito sem Magnetita	Fêlsica

A partir da técnica de DRX foram identificados os seguintes constituintes minerais para a amostra A1: quartzo, albita, microclina e ortoclásio, que compõem a maior parte da associação mineral identificada. Além desses, foram observados picos correspondentes a muscovita e rutilo (Figura 7).

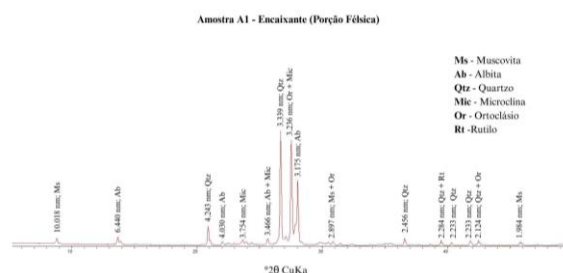


Figura 7. Resultado do ensaio de Difractometria de Raios-X da amostra A1, referente a porção fêlsica da rocha.

O quartzo pertence ao grupo dos silicatos e possui fórmula química SiO_2 (Deer et al., 2010). Trata-se de um dos minerais mais abundantes da crosta terrestre. Sua origem pode estar associada à recristalização da sílica proveniente de minerais preexistentes ou a precipitação a partir de fluidos hidrotermais enriquecidos em sílica, o que resulta na formação de veios, principalmente em contextos metamórficos.

O mineral correspondente a série dos plagioclásios, foi identificado como Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), sendo a extremidade sódica da série (Deer et al., 2010). O Ortoclásio (KAlSi_3O_8), mineral do grupo dos feldspatos, sendo um feldspato potássico que cristaliza no sistema monoclinico, pertencente à série dos feldspatos alcalinos (Deer et al., 2010).

O ortoclásio apresenta alta resistência química, mas pode sofrer alteração para caulinita ou ser substituído por sericita em processos de intemperismo e

hidrotermalismo. Outro mineral da série do plagioclásio observado é a Microclina. Um feldspato potássico com composição química (KAlSi_3O_8), estrutura cristalina no sistema triclinico, com ângulos ligeiramente distorcidos e menor ordenança.

A muscovita é um mineral do grupo dos filossilicatos, pertencente à família das micas, com fórmula química $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ (Deer et al., 2010). É comum em rochas ígneas e metamórficas, como granitos, pegmatitos, xistos e gnaisses. Forma-se pela cristalização de magmas ricos em potássio e alumínio quanto pela recristalização de minerais aluminosos durante o metamorfismo.

O rutilo é um óxido de titânio (TiO_2) que cristaliza no sistema tetragonal (Deer et al., 2010). Este mineral ocorre comumente como componente acessório em rochas ígneas e metamórficas. Tal mineralogia é compatível com a composição fêlsica da rocha encaixante que se trata de um paragneisse, o que reforça seu caráter rico em feldspatos alcalinos e quartzo, com participação subordinada de micas e minerais acessórios.

As análises realizadas na amostra A2, correspondente à porção máfica da rocha encaixante apresentaram no seu difratograma uma predominância de biotita, destacando-se como principal constituinte máfico. Ademais, também foram observadas a presença de magnetita, em menor porção. Caracterizando, desta forma, os componentes máficos da rocha. Secundariamente, a análise identificou a presença de minerais fêlsicos, como quartzo, albita, microclina e ortoclásio e granada, como um mineral acessório (Figura 8).

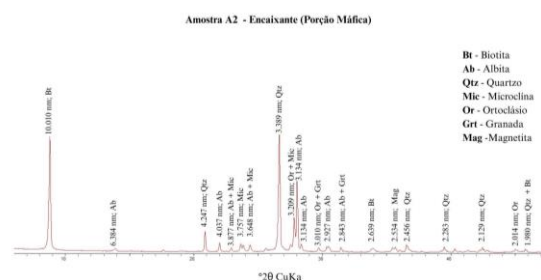


Figura 8. Resultado do ensaio de Difractometria de Raios-X da amostra A2, referente a porção máfica da rocha encaixante.

A biotita ($\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH},\text{F})_2$) pertence ao grupo das micas ferromagnesianas e apresenta composição rica em ferro (Fe), magnésio (Mg), alumínio (Al), potássio (K) e silício (Si) (Deer et al., 2010).

A magnetita é um óxido de ferro com fórmula química Fe_3O_4 , pertencente ao grupo dos espinélio e apresenta-se como mineral acessório (Deer et al., 2010). Cristaliza no sistema cúbico e possui forte magnetismo.

A granada pertence ao grupo dos nesossilicatos, sendo mais comum em paragneisses a ocorrência de granada almandina, com fórmula química $\text{Fe}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$, é comum em rochas metamórficas como mineral acessório (Deer et al., 2010).

A amostra A3, correspondente a porção máfica do pegmatito com ocorrência de magnetita, demonstrou predominância de biotita, acompanhada de magnetita, que atua como fase diagnóstica para um enriquecimento ferromagnésiano ao pegmatito. Secundariamente, ocorrem, quartzo e feldspatos, como albita, microclina e ortoclásio (Figura 9).

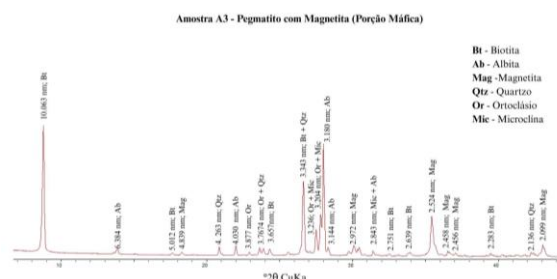


Figura 9. Resultado do ensaio de Difractometria de Raios-X da amostra A3, correspondente a porção máfica do pegmatito com magnetita.

A amostra A4, porção félsica do pegmatito com magnetita, demonstrou a predominância de quartzo, ortoclásio, microclina e albita, conferindo a característica félsica da amostra. Foram identificados também picos de anortita, indicando a presença de feldspatos cálcicos, além da fase acessória máfica diagnosticada pela ocorrência de magnetita (Figura 10).

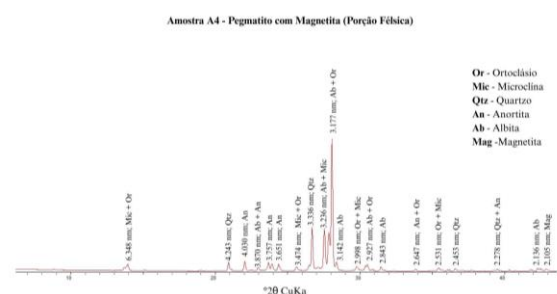


Figura 10. Resultado do ensaio de Difractometria de Raios-X da amostra A4, correspondente a porção félsica do pegmatito com magnetita.

A anortita pertence ao grupo dos plagioclásios cálcicos, com fórmula química $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (Deer et al., 2010). Podem ocorrer em pegmatitos e rochas metamórficas de alto grau, cristaliza-se no sistema triclinico. Forma-se por cristalização de magmas ricos em cálcio, sendo associada a intercrescimentos a outros feldspatos, como albita, em processo de diferenciação magmática. Nos pegmatitos ocorrem como fase acessória.

Os minerais identificados na amostra A5, porção máfica do pegmatito que não apresenta magnetita, foram relacionados da seguinte forma: predominância de biotita, sendo o principal representante máfico da amostra. Foram identificados quartzo, albita, anortita e microclina (Figura 11).

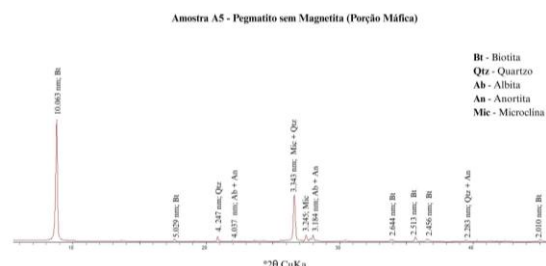


Figura 11. Resultado do ensaio de Difractometria de Raios-X da amostra A5, correspondente a porção máfica do pegmatito sem magnetita.

Na amostra A6, relativa à porção félsica do pegmatito com ausência de magnetita, foi identificada uma mineralogia composta por quartzo, albita, microclina, ortoclásio e anortita, muscovita e biotita (Figura 12).

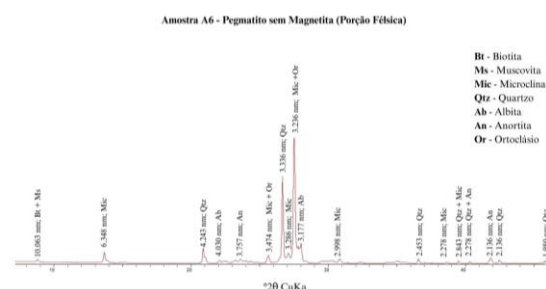


Figura 12. Resultado do ensaio de Difractometria de Raios-X da amostra A6, correspondente à porção félsica do pegmatito sem magnetita.

Observa-se que a rocha encaixante e o pegmatito com magnetita apresentam magnetita como um mineral acessório em meio a uma matriz composta por quartzo, feldspatos e micas, indicando em ambos o enriquecimento em ferro e magnésio. Já o pegmatito sem magnetita é constituído por minerais como quartzo, feldspatos e micas, com ausência de enriquecimento de minerais de óxido de ferro e magnésio (Tabela 2).

Os dados coletados em campo e as análises de DRX demonstram uma coerência entre a mineralogia das rochas em questão. Os pegmatitos de pulsos com menores espessuras, ricos em magnetita, em análise de DRX apresentaram predominância de biotita e magnetita nas porções máficas (A3), enquanto nas porções félsicas (A4) foram observados quartzo e feldspatos potássicos, tendo como ocorrência acessória a magnetita e Anortita. Isso indicou o caráter félsico da matriz principal e o enriquecimento ferromagnésiano pontual.

Tabela 2. Componentes minerais por amostra de acordo com análise de Difração de Raio-X

Amostra	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Qtz	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ab	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Mc	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Or	✓	✓	✓	✓		✓
Bt		✓	✓		✓	✓
Mus	✓					✓
Mag		✓	✓	✓		
Grt		✓				
An				✓	✓	✓

Já os pegmatitos mais espessos, sem ocorrência macroscópica de magnetita, demonstraram em suas porções máficas (A5) predominância de biotita, com quartzo e feldspatos em menor proporção, enquanto nas porções félsicas (A6) prevalecem o quartzo e os feldspatos, complementada por muscovita e biotita, compatível com a ausência de magnetita observada em campo.

Na rocha encaixante, o paragneisse apresenta porções máficas (A2) com biotita em altas proporções, ocorrendo magnetita em menor proporção, enquanto nas porções félsicas (A1) exibem quartzo, albita, microclina e ortoclásio como constituintes principais, o que reforça as interações metassomáticas nas zonas proximais às bordas do pegmatito, onde se observa enriquecimento em biotita proveniente da rocha encaixante. Portanto, os dados de DRX ao serem correlacionados às informações coletadas em campo confirmaram a distribuição heterogênea de minerais máficos e félsicos, bem como a influência da espessura do pegmatito na presença de magnetita.

Com base na composição mineralógica dos pegmatitos é interpretado que diferentes fontes foram envolvidas no processo de fusão parcial. Os pegmatitos portadores de magnetita apresentam uma composição tipicamente granítica e sua formação pode ter relação com o processo local de anatexia da rocha encaixante, atuando como uma possível fonte parental. Na rocha encaixante ocorrem a magnetita de granulação fina ($<0,5\text{mm}$) nas porções máficas, enquanto o pegmatito contém magnetita com granulação significativamente mais grossa (até 60 mm), indicando crescimento cristalino e possível concentração do ferro durante a formação do corpo pegmatítico. A diferença de granulação indica processos de segregação mineral que podem refletir a origem e evolução química do pegmatito a partir de fluidos derivados dos paragneisses migmatíticos (Shaw et al., 2016). Outra possibilidade é a formação do pegmatito portador de magnetita ser derivada de granitos tipo I, atuando este como fonte parental do magma pegmatito. Esses pegmatitos apresentam uma

composição mineralógica tipicamente granítica e a presença de magnetita é comumente associada a granitos desse tipo (Chappell e White, 1974). Apesar de não estarem diretamente associados aos pegmatitos com magnetita em escala de afloramento, granitos tipo I pós-colisionais são encontrados próximos à área estudada.

De acordo com Brito (2024), as demais praias em Guarapari onde as rochas encaixantes correspondem a paragneisses não apresentaram em sua mineralogia a presença de magnetita, sendo constituídos por quartzo, plagioclásio, K-feldspato, biotita, granada e cordierita. Os pegmatitos que afloram intrudindo os paragneisses apresentam composição mineralógica com predomínio de quartzo, K-feldspato, biotita e granada, não sendo observada a ocorrência de magnetita (Brito, 2024). De acordo com essa autora, a presença recorrente da granada, tanto na rocha encaixante como no pegmatito, sugere um contexto petrogenético enriquecido em alumínio, em contrapartida a ausência de magnetita indica um sistema de cristalização relativamente diferente.

Os pegmatitos sem magnetita apresentam uma composição peraluminosa, evidenciado pela presença de micas (biotita e muscovita), que refletem uma fonte metassedimentar. A rocha encaixante também mostra um caráter peraluminoso com a presença de minerais ricos em alumínio (biotita, muscovita e granada), indicando que os paragneisses podem ter atuado como uma possível fonte parental do pegmatito sem magnetita. De acordo com Shaw et al. (2016), a composição do pegmatito deve também refletir sua fonte em situações em que a fusão ocorreu em uma escala muito mais localizada, sem fracionamento extenso. Isso é compatível com as observações em escala de afloramento.

A ausência de minerais gemológicos na Praia da Areia Preta em Guarapari pode ser explicada devido a não diferenciação magmática suficiente dos pegmatitos, sendo considerados pegmatitos homogêneos. Provavelmente esses pegmatitos se formaram em níveis mais profundos da crosta, sujeitos a elevadas pressões, que dificultou a exsolução do fluido aquoso. Além disso, o magma parental provavelmente não era rico em voláteis e elementos incompatíveis, não havendo fracturação interna que permitisse a formação de bolsões. Possivelmente o resfriamento rápido aliado à cristalização precoce de feldspatos, quartzo e micas consumiu grande parte dos voláteis antes que pudessem formar os bolsões, o que explica a ausência de minerais gemológicos na região estudada (Shigley et al., 1984). De acordo com Vieira e Menezes (2015), os pegmatitos relacionados à área de estudo derivam de magmas residuais dos granitoides, mas, devido à sua composição química e ao contexto tectônico da região, apresentam condições desfavoráveis para a

formação de bolsões internos, o que limita o desenvolvimento de cristais gemológicos, como observado nos pegmatitos da Praia da Areia Preta, em Guarapari.

De acordo com a Folha Piúma (CPRM, 1993) na área de estudo ocorrem ortognaisses enderbíticos a tonalíticos, com predominância de ortognaisses tonalíticos de fácies granulito. Entretanto, as análises petrográficas realizadas em campo e em laboratório apontam a ocorrência de paragnaisses na região. Essas rochas podem ser do Complexo Nova Venécia, que corresponde a uma unidade metassedimentar de alto grau, caracterizada por rochas como paragnaisses peraluminosos e por migmatitos peraluminosos ricos em biotita, cordierita, granada, ortopiroxênio e sillimanita, ocorrem também intercalações de gnaisses granulíticos e rochas calcissilicáticas (Noce et al., 2004; Gradim, 2013).

A estrutura das rochas do Complexo Nova Venécia é marcada por foliação paralela às camadas migmatíticas, formada durante a principal fase de deformação dúctil regional. A sua gênese associa-se à sedimentação pelítica em bacia de retroarco para Noce et al. (2004), já para Gradim (2013) o protólito deriva de grauvas enriquecidas em fração pelítica peraluminosa e plagioclásio.

CONCLUSÃO

O presente estudo investigou a petrogênese dos pegmatitos portadores de magnetita da praia da Areia Preta, inseridos no Complexo Nova Venécia, com o objetivo de compreender os processos magmáticos e metamórficos responsáveis por sua formação e caracterizar mineralogicamente os pegmatitos e sua rocha encaixante. Foram realizadas observações de campo, análises petrográficas e mineralógicas, além de análises de DRX, permitindo identificar as principais fases minerais e correlacionar mineralogia e características textuais.

Os pegmatitos apresentam textura holocristalina e granulação heterogênea, com predomínio de quartzo, feldspatos e biotita, enquanto a magnetita ocorre principalmente em pegmatitos de menores espessuras. A rocha encaixante, representada por paragnaisses, mostrou enriquecimento em biotita nas zonas de contato com os pegmatitos, indicando interações metassomáticas.

As análises de DRX permitiram detalhar a mineralogia das amostras e correlacioná-la com as observações de campo: a porção félsica da rocha encaixante (A1) apresentou quartzo, albita, microclina, ortoclásio, muscovita e rutilo, compatível com seu caráter félsico; a porção máfica da encaixante (A2) mostrou predominância de biotita com magnetita e em menor proporção a presença de quartzo, feldspatos e granada. Nos pegmatitos com

magnetita, a porção máfica (A3) apresentou biotita e magnetita como principais minerais, com quartzo e feldspatos como minerais subordinados, enquanto a porção félsica (A4) foi dominada por quartzo e feldspatos, com magnetita e anortita como fases acessórias. Nos pegmatitos sem magnetita, a porção máfica (A5) teve biotita predominante, com quartzo e feldspatos em menor proporção, e a porção félsica (A6) apresentou quartzo e feldspatos complementados por muscovita e biotita. Esses dados confirmam a distribuição heterogênea de minerais, a influência da espessura do pegmatito na presença de magnetita e a interação metassomática entre os pegmatitos e a rocha encaixante.

A magnetita presente na rocha encaixante possui granulação mais fina que a magnetita presente no pegmatito, indicando crescimento cristalino e concentração de ferro. A gênese dos pegmatitos com magnetita pode estar relacionada a fluidos residuais provenientes da granitogênese tipo I pós-colisional, que atua como fonte parental do magma pegmatítico. Neste caso, o crescimento da magnetita provavelmente ocorreu a partir do ferro fornecido pelo magma residual do granito tipo I, formado por fusão parcial da crosta continental. Outra possibilidade é a formação dos pegmatitos com magnetita a partir da anatexia rocha encaixante, atuando esta como fonte parental.

Os pegmatitos sem magnetita apresentam minerais ricos em alumínio que também são encontrados na rocha encaixante, reforçando o caráter peraluminoso de ambas rochas e possível correlação genética. Segundo a Folha Piúma (CPRM, 1993), a região é constituída por ortognaisses enderbítico a tonalítico, com predominância de ortognaisses tonalíticos de fácies granulito, entretanto, as informações obtidas neste trabalho apontam litologias distintas, sugerindo a presença de paragnaisses na área de estudo. Comparações com as outras praias em Guarapari onde ocorrem paragnaisses do Complexo Nova Venécia mostraram ausência de magnetita tanto na rocha encaixante como nos pegmatitos, indicando um sistema com várias fontes parentais para a formação dos pegmatitos.

Ademais, a ausência de minerais gemológicos nos pegmatitos da Praia da Areia Preta indica cristalização rápida, baixa diferenciação magmática, falta de fracturação inteira e insuficiência de elementos voláteis, impedindo a formação de bolsões. Os resultados reforçam a coerência entre observações de campo e análises laboratoriais, confirmando a relevância dos pegmatitos da Praia da Areia Preta como indicadores da evolução magmática e do processo metamórfico durante a edificação do Orógeno Araçuai.



AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Espírito Santo pelo uso dos equipamentos laboratoriais, ao Laboratório de Engenharia Química LQE 1 do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal do Espírito Santo - Campus Alegre, onde foi utilizado o Difratômetro de Raios-X, à Universidade Federal do Espírito Santo pela bolsa de iniciação científica e ao suporte técnico em atividade de campo de Pablo de Oliveira Salvato na coleta de amostras.

REFERÊNCIAS

- Brito, A. J. S. Petrogênese da granada nos pegmatitos das regiões de Anchieta e Guarapari - Es. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas, naturais e da Saúde, Alegre, 2024.
- Cameron E. N., Jahns R. H., McNair A. H., Page L. R. Internal structure of granitic pegmatites. *Economic Geology Monograph*, 2:117 p., 1949.
- Chappell, B. W. e White, A. J. R. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, v. 8. p. 173-174, 1974.
- Costa, Flávia Compassi da. Geoquímica e geocronologia U/Pb em monazita dos pegmatitos no sul do Espírito Santo. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 81 p., 2018.
- CPRM - Serviço Geológico Do Brasil. Folha SF.24-V-A-VI- Piúma. 1993. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/8551?locale=en>. Acesso em: 19 jun.2024.
- Deer W. A.; Howie R. A., Zussman J. Minerais constituintes das rochas: uma introdução. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian. 728 p., 2010.
- Fettes, D.; Desmons, J. Metamorphic rocks: a classification and glossary of terms – recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematic of Metamorphic Rocks. New York: Cambridge University Press, 2007.
- Gradim, C. T. Complexo Nova Venécia e magmatismo associado, Orógeno Araçuai, estado do Espírito Santo. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais, 98 p., 2013.
- Le Maitre, R. W. International Union of Geological Sciences. Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. New York: Cambridge University Press, 2002.
- London, David. Ore-forming processes within granitic pegmatites. *Ore Geology Reviews* 101. School of Geology & Geophysics, University of Oklahoma, Norman. p. 349-383, 2018.
- Noce, C. M., Pedrosa-Soares, A. C., Piuzana, D., Armstrong, R., Laux, J. H., Campos, C. M., Medeiros, S. R. Ages of sedimentation of the kinzigitic complex and of a late orogenic thermal episode of the Araçuai Orogen, northern Espírito Santo state, Brazil: zircon and monazite U-Pb SHRIMP and ID-TIMS data. *Revista Brasileira de Geociências*, v.34, n. 4, p. 587-592, 2004.
- Simmons, W. B.; Webber K. L. Pegmatite genesis: state of the art. *European Journal of Mineralogy*, v. 20, p. 421-438, 2008.
- Shaw, R.A.; Goodenough, K. M.; Roberts, N. M. W.; Horstwood, M. S. A.; Chenery, S. R.; Gunn, A. G. Petrogenesis of rare-metal pegmatites in high-grade metamorphic terranes: a case study from the Lewisian Gneiss Complex of north-west Scotland. *Precambrian Research*, v. 281. p. 338-362, 2016.
- Shigley, J. E.; Kampf, A. R. Gem-Bearing Pegmatites: A Review. *Gems Gemology*, v. 20, p. 63-75, 1984.
- Souza, Lucas Kenni dos Santos. Geoquímica e geocronologia de pegmatitos: interpretação da gênese e origem dos fluidos a partir de microanálises U-Pb e elementos traços em apatita. Monografia (bacharelado em Engenharia Geológica) - Escola de Minas, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 2022. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/4779/6/MONOGRAFIA_Geoqu%C3%ADmicaGeocronologiaPegmatitos.pdf. Acesso em: 7 set. 2025.
- Vieira, Valter S.; Menezes, Ricardo G. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais. Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2015. Disponível em: https://geologia.ufes.br/sites/geologia.alegre.ufes.br/files/field/anexo/geologia_aplicada_volume_i.pdf. Acesso em 7 set. 2025.