

FEIÇÕES MACRO E MICROSCÓPICAS DE MISTURA DE MAGMAS DO MACIÇO GARRAFÃO, SUL DO ORÓGENO ARAÇUAÍ

Luis Paulo Luzorio Scolforo¹, Pillar de Oliveira Carvalho Rodrigues¹ e Iago Mateus Lopes de Macedo²

¹Instituto Federal do Espírito Santo, campus Nova Venécia, BR-381, 799 – Santa Luzia, Nova Venécia – ES, 29830-000 - Brasil, autor¹ lp.luzorio@gmail.com, autor² pillar.carvalho@ifes.edu.br.

²Universidade do Estado do Rio de Janeiro/ Rio de Janeiro/Programa de Pós-Graduação em Geociências, Rua São Francisco Xavier, 524 - Maracanã, Rio de Janeiro – RJ – 20550-900, Brasil, autor³ lopes.iago1@gmail.com.

Resumo

O Maciço Garrafão é um corpo ígneo plutônico formado na fase final de amalgamação do supercontinente Gondwana Ocidental, entre o período Cambro-Ordoviciano. A granitogênese deste período possui contribuições de magmas mantélicos e crustais que interagiram para formar uma ampla variedade de rochas que estão atualmente agrupadas na Supersuíte G5 (530-480 Ma) do Orógeno Araçuaí. Uma importante característica encontrada no Maciço Garrafão consiste nas texturas relacuicadas a mistura mecânica e química de magmas (*mingling/mixing*), enclaves máficos microgranulares, intrusões tipo *net-veined* e zonas híbridas além de várias texturas microscópicas como plagioclásios zonados, *synneusis*, opacos com coronas de titanita e epidoto, apatita acicular e quartzo com textura *embayment*. Além destas texturas, as feições estruturais e geoquímicas que reforçam a ideia de que o maciço é produto do estágio pós-colisional do Orógeno Araçuaí.

Palavras-chave: Maciço Garrafão. Mistura de magmas. Petrografia. Orógeno Araçuaí. Gondwana.

Área do Conhecimento: (Ciências Exatas e da Terra - Geociências).

Introdução

No Orógeno Araçuaí, o estágio pós-colisional foi marcado por um intenso magmatismo de natureza bimodal, gerado a partir de fontes mantélicas e crustais que interagiram para formar diversas intrusões durante a fase final de amalgamação do Paleocóntinente Gondwana Ocidental (Alkmim et al., (2007) e Pedrosa-Soares et al., 2007). A mistura de magmas é um importante processo capaz de gerar uma grande variedade de rochas que compõe a crosta terrestre e suas feições macro e microscópicas auxiliam a compreender a dinâmica relação entre a crosta e o manto durante a evolução do planeta Terra.

O Maciço Garrafão é uma dessas intrusões formadas durante o colapso do Orógeno Araçuaí, entre o período Cambro-Ordoviciano. O batólito é parcialmente zonado, e suas bordas apresentam composição gabro-noríticas, quartzo-dioríticas, tonalíticas e granodioríticas com núcleo predominantemente granítico (Féboli, 1993). Seus litotipos apresentam feições relacionadas ao processo de mistura de magmas como enclaves máficos microgranulares, *net-veined*, zona híbrida, plagioclásio com zonação borda-núcleo, plagioclásio *synnesius*, texturas de intercrescimento como mirmequítica, poiquilítica e simplectítica, opacos com coroa de titanita/epidoto, apatita acicular e quartzo *embayment*. Essas texturas podem ser interpretadas como resultado do processo de mistura de magmas e seu estudo é importante para entender as características do magmatismo pós-colisional do Orógeno Araçuaí.

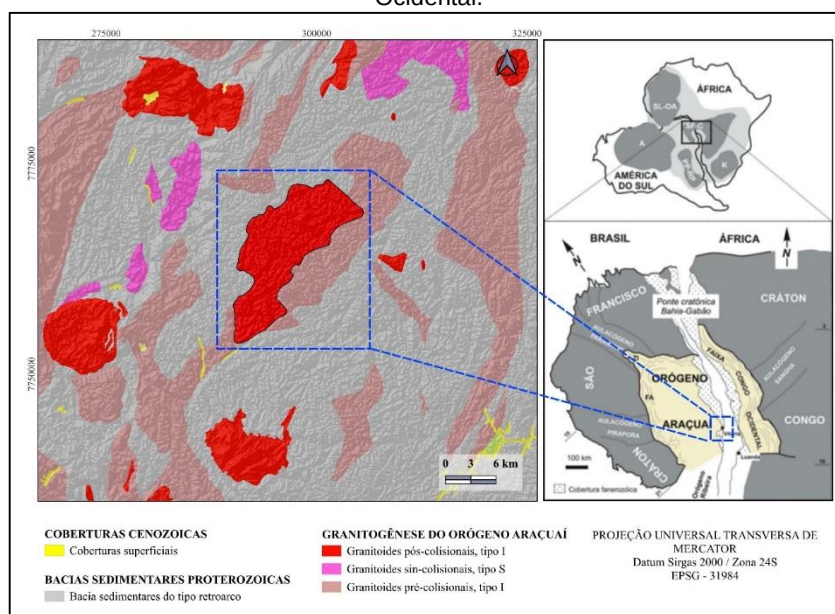
O maciço está localizado entre as cidades de Santa Maria de Jetibá, Domingos Martins e Afonso Cláudio e seu principal acesso saindo da capital Vitória se dá pela rodovia ES-264 até a comunidade de São João de Garrafão, e os principais afloramentos podem ser acessados pelas estradas vicinais, principalmente nas serras de Tijuco Preto e Garrafão e entre as localidades de Bom Parto, Cristo Rei e Sabino.

Contexto Regional

Durante a Orogenia Brasileira/Pan-Africana, a colisão entre antigas massas continentais formou um conjunto de orógenos diacrônicos que se desenvolveram a partir do Neoproterozoico e parte deles foram agrupados na Província Mantiqueira. A área de estudo localiza-se na porção setentrional desta província, no núcleo anatético metamórfico do Orógeno Araçuai, onde predominam granitos e rochas metamórficas da fácies anfibolito a granulito (Heilbron et al., 2004; Alkmim et al., 2007; Pedrosa-Soares et al., 2011). O estágio pós-colisional envolve intensos ajustes horizontais ao longo de zonas de cisalhamento, associados à delaminação da litosfera e/ou ao desacoplamento da placa subductada (Bioene et al., 2019).

Neste contexto, o estado do Espírito Santo aloja diversas intrusões (Figura 1) produtos de uma sequência complexa de eventos magmáticos que envolve a geração de magma máfico formado pela fusão por descompressão do manto, deslocamento e ascensão por estruturas profundas até a base da crosta, fusão crustal induzida pelo calor das intrusões máficas, além da mistura de magmas com geração de litotipos híbridos que preservam feições macro e microscópicas de mistura de magmas (Alkmim et al., 2007; Pedrosa-Soares et al., 2007).

Figura 1: Mapa dos domínios tectônicos da área de estudo e sua relação com Paleocontinente Gondwana Ocidental.



Fonte: Adaptado de Pedrosa-Soares et al., (2007) e Vieira et al., (2015).

Metodologia

Para este trabalho, as texturas relacionadas ao processo de mistura de magmas são baseadas no trabalho de Hibbard (1995), Tavares et al., (2020) e Jamshidibadr et al. (2020).

A etapa de campo ocorreu em 6 dias nos meses de maio, julho e outubro de 2024 e consistiu na descrição detalhada de 46 afloramentos e na coleta de 20 amostras do Maciço Garrafão. Nesta etapa foram identificadas as principais feições macroscópicas relacionadas ao processo de mistura de magmas.

Na etapa pós-campo foram descritas 10 lâminas delgadas representativas dos litotipos identificados em campo. A confecção foi realizada pelo Laboratório Geológico de Processamento de Amostras (LGPA), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Nesta etapa foi identificada as principais texturas microscópicas relacionadas ao processo de mistura de magmas.

Resultados

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

As feições macroscópicas encontradas no Maciço Garrafão envolvem a presença de enclaves máficos microgranulares, uma complexa estrutura de rede de veios (*net-veined*) além de uma zona híbrida.

Os enclaves máficos microgranulares, segundo Hibbard (1995), tem sua origem relacionada ao processo de mistura de magmas (*mingling/mixing*), onde um magma máfico mais primitivo, mais quente e denso é injetado em uma câmara magmática contendo um magma félsico, mais frio, viscoso e evoluído. O contraste térmico provoca um rápido resfriamento ocasionando na desagregação do magma máfico durante o contato dos magmas. Por todo maciço foram observados diversos enclaves máficos microgranulares (Figura 2a), de diferentes formas e tamanhos, formando trilhas ou aglomerados (Figura 2b) que podem conter xenocristais da rocha hospedeira e em alguns casos esses enclaves ocorrem no interior de diques pegmatíticos (Figura 2c) e são cortados por apófises desse dique. Na borda do Maciço Garrafão ocorre uma complexa interação entre rochas máficas e félsicas, constituindo as vezes feições do tipo *mingling*, como se observa no mosaico máfico de gabro-norito (Figura 2d) que intruiu um sienogranito leucocrático, preservando em seu interior porções da rocha leucocrática encaixante na forma de pequenos veios dobrados.

Uma complexa rede de veios do tipo *net-veined* se forma quando um magma félsico preenche fraturas ou espaços entre lóbulos de magma máfico ainda não solidificado, criando uma estrutura de rede de veios claros em uma matriz escura, preservando a identidade de ambos os magmas devido ao resfriamento rápido (Hibbard, 1995). As estruturas do tipo *net-veined* (Figura 2e) foram observadas na borda oeste do maciço através da intrusão de veios leucocráticos de composição sienogranítica em rocha mesocrática de composição tonalítica e quartzo-diorítica.

A zona híbrida do Maciço Garrafão é formada com a interação de diferentes magmas que preservam feições de mistura mecânica e química (*mingling/mixing*) de magmas e é constituída de rochas de diferentes composições químicas. Em escala macroscópica, observa-se em alguns afloramentos presença de rochas gabroicas, quartzo-diorítica e granodioríticas com pequenos veios aplíticos (Figura 2f) que refletem a interação entre diferentes magmas que preservaram suas identidades originais.

Figura 2: Feições macroscópicas de magmas do Maciço Garrafão. (a) Enclave máfico microgranular, (b) aglomerado de enclaves, (c) enclaves alojados no dique pegmatítico e com xenocristais, (d) mosaico de gabro em V em sienogranito, (e) veios do tipo *net-veined* e (f) zona híbrida.



Fonte: Autores, 2025.

As feições microscópicas relacionadas ao processo de mistura de magmas do Maciço Garrafão envolvem texturas de zonação, intercrescimento e de desequilíbrio químico e térmico como plagioclásio com borda e núcleo, plagioclásio *synnesius*, mirmequitas, poiquilítica, simpelctitos, apatita acicular e quartzo *embayment*.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

A zonação borda-núcleo em plagioclásio (Figura 3- A) representa zonas de composição abruptamente mais cálcica em cristais de plagioclásio e pode indicar mistura entre um magma máfico, rico em cálcio, e um magma félsico. As superfícies dos cristais pré-existentes são ideais para a nucleação de um novo plagioclásio cálcico.

A zonação do tipo *synnesius* que ocorre em plagioclásio (Figura 3- B) caracteriza-se pela agregação de cristais de plagioclásio que passam a apresentar intercrescimento em conjunto. A textura pode resultar de processos convectivos em câmaras magmáticas, desencadeados pela injeção de novos magmas em sistemas abertos, facilitando a colisão e união de cristais em movimento durante a agitação do sistema (Vance 1969, Hibbard, 1995, Grogan e Reavy 2002 e Jamshidibadr et al. 2020).

Texturas de intercrescimento como *mirmequitas* (Figura 3- C) podem ser formadas devido a reações entre mistura de magmas envolvendo íons de Ca e Na em magma híbrido (Zanon et al., 2023, Tavares et al., 2020) e ocorre geralmente no contado entre o plagioclásio e o quartzo.

A textura *poiquilítica* (Figura 3- D) representa o intercrescimento de quartzo em microclina e ocorre quando o magma félsico, ao ser reinjetado e aquecido, dissolve grande parte de seus cristais pré-existentes. Quando o sistema volta a resfriar, restam poucos núcleos para que novos cristais cresçam. Assim, cristais tornam-se muito grandes e, durante seu crescimento lento, incorporam os numerosos cristais pequenos de quartzo que haviam se formado rapidamente durante o resfriamento abrupto (Hibbard, 1995, Tavares et al., 2020).

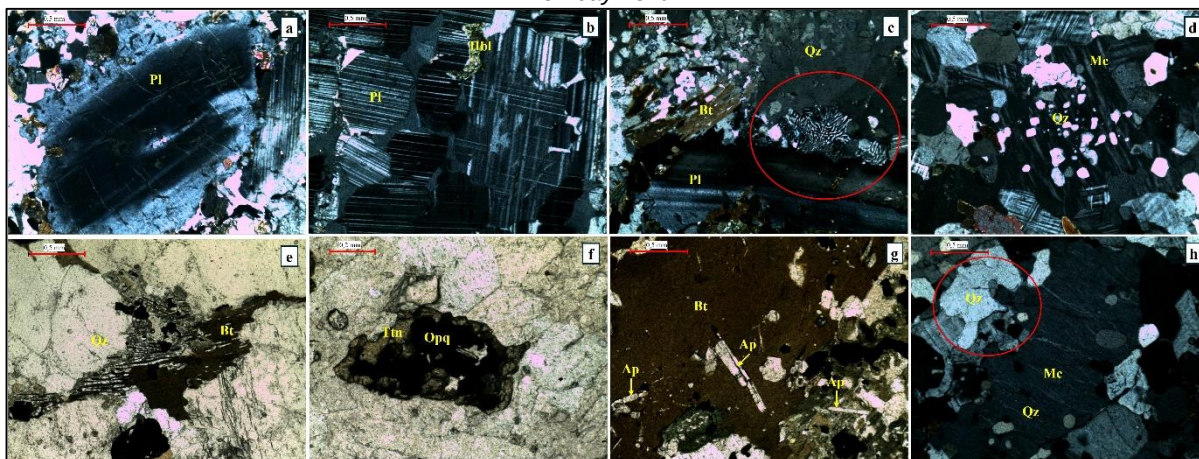
A textura *simplectítica* (Figura 3- E) representa uma associação intercalada de minerais que nuclearam e cresceram conjuntamente, resultando da reação entre duas fases minerais adjacentes em desequilíbrio químico ou térmico (Tavares et al., 2020). No maciço, foi observado essa associação entre cristais de quartzo e biotita com morfologia *dactilítica*.

Minerais opacos apresentam coronas de titanita (Figura 3- F) e essa textura frequentemente surge como resposta a desequilíbrios químicos e térmicos gerados pela interação entre magmas de composições distintas. A reação entre esses cristais e o líquido magmático híbrido resulta no crescimento de minerais estáveis nas novas condições (Tavares et al., 2020).

A *apatita acicular* (Figura 3- G) formam-se quando o magma quimicamente propício à cristalização da apatita, sofre um rápido resfriamento durante o processo de mistura e hibridização. Nessas condições, a apatita cresce de forma alongada e fina (Hibbard, 1995).

O quartzo *embayment* (Figura 3- H) resulta de corrosão magmática (reabsorção, dissolução) devido a uma mudança de condições que fazem com que um cristal anteriormente estável se torne instável em relação ao líquido, e assim comece a se dissolver (Hibbard, 1995).

Figura 3: Texturas de mistura química (mixing) de magmas do Maciço Garrafão. (a) plagioclásio com zonação borda-núcleo, (b) plagioclásio com zonação *synneusis*, (c) intercrescimento de *mirmequitas*, (d) intercrescimento *poiquilítico*, (e) intercrescimento *simplectito*, (f) opaco com corona de titanita, (g) apatita acicular e (h) quartzo *embayment*.



Fonte: Autores, 2025.

Discussão

A natureza bimodal do magmatismo que gerou o Maciço Garrafão pode ser observada através das texturas que indicam mistura mecânica (*mingling*) e química (*mixing*) de magmas. Essas texturas se formaram provavelmente pela interação entre diferentes magmas, como um magma mantélico e crustal, durante o estágio pós-colisional do Orógeno Araçuai. Muitas dessas feições também foram encontradas outros corpos ígneos da Supersuíte G5, próximos ao Maciço Garrafão, como os Complexos Intrusivos Várzea Alegre, Castelo, Pedra Azul, Afonso Cláudio, Venda Nova e Santa Angélica, conforme consta nos trabalhos de Torres et al., (2017), Aranda et al., (2020), Potratz et al., (2022), Macêdo et al., (2022) e Rodrigues et al., (2024). Em todo maciço foi observado feições de mistura de magmas, porém, a maioria das feições macro e microscópicas foram observadas na borda do maciço onde predominam rochas gabro-noríticas a granodioríticas. O litotipo quartzo-diorito contém a maioria das feições relacionadas ao processo de mistura mecânica e química (*mingling/mixing*) de magmas do Maciço Garrafão, representando a zona híbrida deste batólito.

Conclusão

Os dados macro e microscópicos obtidos para o Maciço Garrafão corroboram a natureza bimodal do magmatismo pós-colisional do Orógeno Araçuai, indicando a atuação de processos de mistura mecânica e química (*mingling/mixing*) de magmas em sua gênese. Conforme proposto por Hibbard (1995), a associação conjunta de feições texturais – e não sua ocorrência isolada – constitui um importante indicativo para esse tipo de processo. No contexto do maciço, a coexistência de tais texturas demonstra a interação entre fundidos mantélicos e crustais, o que reforça a hipótese de uma interação dinâmica entre o manto e a crosta durante o estágio pós-colisional da evolução do orógeno.

Referências

- ALKMIM, FERNANDO FLECHA; PEDROSA-SOARES ANTONIO CARLOS; NOCE CARLOS MAURÍCIO; CRUZ, SIMONE CERQUEIRA PEREIRA; 2007. Sobre a Evolução Tectônica do Orógeno Araçuai – Congo Ocidental, Geonomos, 15: 25-43p
- ARANDA, RAMON DE OLIVEIRA; CHAVES, A. D. O; JÚNIOR, EDGAR MEDEIROS E JUNIOR, RICARDO VENTURINI. (2020). Petrology of the Afonso Cláudio intrusive complex: new insights for the cambro-ordovician post-collisional magmatism in the Araçuai-West Congo orogen, southeast Brazil. Journal of South American Earth Sciences, 98, 102465.
- BIONE, F.R.A; BONGIOLO, E.M; MENDES, J.C; ROLAND, C.L. Geochemistry, Sm-Nd isotopes and SHRIMP U-Pb geochronology of the Morro do Coco Granite (RJ, Brazil): Another piece of the post-collisional magmatism of the Ribeira Belt. Braz. J. Geol. 2019, 49, 1–
- FÉBOLI, Wilson Luis. Domingos Martins: Folha SF. 24-VA-III. DNPM; CPRM, 1993.
- GROGAN, S. E., REAVY, R. J., 2002. Disequilibrium textures in the Leinster Granite Complex, SE Ireland: evidence for acid-acid magma mixing. Mineral. Mag. 66 (6), 929 939. <https://doi.org/10.1180/0026461026660068>.
- HEILBRON, MONICA; PEDROSA-SOARES, ANTONIO CARLOS; CAMPOS NETO, MARIA DA COSTA; SILVA, LUIZ CARLOS; TROUW, RUDOLPH ALLARD JOHANNES E JANASI, VALDECIR DE ASSIS. (2004). Província mantiqueira. Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, 203-235
- HIBBARD, Malcom J. 1995. Petrography to Petrogenesis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, p. 587p.

JAMSHIDIBADR, M., TARABI, S., GHOLIZADEH, K., 2020. Study of micro-textures and chemistry of East Sarbisheh volcanic complex (Eastern Iran), for evidence of magma chamber process. Iran. J. Earth Sci. 12 (1), 10 31.

MACÊDO, IAGO MATEUS LOPES; GERALDES, MAURO CEZAR; DE ABREU MARQUES, RODSON; DE MELO, MARILANE GONZAGA; TAVARES, ARMANDO DIAS; MARTINS, MARIA VIRGÍNIA ALVES; COSTA, HUDSON E RODRIGUES, RENZO DIAS. (2022). New clues for magma mixing processes using petrological and geochronological evidence from the Castelo Intrusive Complex, Araçuaí Orogen (SE Brazil). Journal of South American Earth Sciences, 115, 103758.

PEDROSA-SOARES, ANTONIO CARLOS; NOCE, CARLOS MAURÍCIO; ALKMIM, FERNANDO FLECHA; SILVA, LUIZ CARLOS; BABINSKI, MARLY; CORDANI, UMBERTO E CASTAÑEDA, CRISTIANE. (2007). Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. Geonomos, 15(1), 21-16.

POTRATZ, GL, GERALDES, MC, MEDEIROS JÚNIOR, EBD, TEMPORIM, FA, & MARTINS, MVA (2022). Um Componente Juvenil no Magmatismo Pré e Pós-Colisional na Zona de Transição entre os Orógenos Araçuaí e Ribeira (SE do Brasil). Minerais, 12 (11), 1378.

RODRIGUES, RENZO DIAS. Geologia e geocronologia do Complexo Intrusivo Venda Nova, Orógeno Araçuaí (Espírito Santo, Brasil) 2024. Dissertação de mestrado – Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 135p.

TAVARES, CAIO DE FREITAS; OLIVEIRA, JOYCE LORENA; GALINDO, ANTONIO CARLOS; NASCIMENTO, MARCOS ANTONIO LEITE DO. Microtexturas em rochas ígneas. 1. ed. Ouro Preto, MG: Ed. dos Autores, 2020. E-book. ISBN 978-65-00-02454-8.

TORRES, LARISSA FURTADO; MEDEIROS, EDGAR B.; MARQUES, RODSON DE ABREU. Maciços Intrusivos do sul do Espírito Santo: petrografia e geoquímica – Pluton Conceição de Muqui, Pluton Iconha, Pluton Santa Angélica e Pluton Venda Nova. 117p. 2017

VANCE, J. A., 1969. On synneusis. Contrib. Mineral. Petrol. 24 (1), 7 29. <https://doi.org/10.1007/BF00398750>.

VIEIRA, VALTER SALINO, MENEZES, RICARDO GALLART. Geologia e recursos minerais do estado do Espírito Santo. Texto explicativo dos mapas geológicos e de recursos minerais do estado do Espírito Santo em escala 1:400.000. CPRM - Belo Horizonte, p.68, 2015.

ZANON M.L., CHAVES A.O.A, GABRIG C.V.T. 2012. A origem das bordas de mirmequita nos xenocristais de feldspato potássico em rochas máficas e híbridas do Maciço Santa Angélica – ES. Geonomos, 20(2):23-33.