UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Evolução tectono-metamórfica da Formação São Tomé, Grupo
Rio Doce, Faixa Araçuaí**

Marcelo Takei Kawata

Orientador: Prof. Dr. Marcos Egydio da Silva

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO

2018

Evolução tectono-metamórfica da Formação São Tomé, Grupo Rio Doce, Faixa Araçuaí

Marcelo Takei Kawata

Dissertação apresentada junto ao Instituto de
Geociências da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de Mestre em
Ciências

Área de concentração: Geotectônica

Orientador: Prof. Dr. Marcos Egydio da Silva

SÃO PAULO

2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Serviço de Biblioteca e Documentação do IGc/USP

Ficha catalográfica gerada automaticamente com dados fornecidos pelo(a) autor(a)
via programa desenvolvido pela Seção Técnica de Informática do ICMC/USP

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de catalogação da publicação:
Sonia Regina Yole Guerra - CRB-8/4208 | Anderson de Santana - CRB-8/6658

Kawata, Marcelo Takei

Evolução tectono-metamórfica da Formação São Tomé,
Grupo Rio Doce, Faixa Araçuaí / Marcelo Takei Kawata;
orientador Marcos Egydio Silva. -- São Paulo, 2018.
96 + anexos p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Geoquímica e Geotectônica) -- Instituto de
Geociências, Universidade de São Paulo, 2018.

1. Geotermobarometria. 2. Datação Th-U-Pb em
microsonda eletrônica. 3. Orógeno Araçuaí. I. Silva,
Marcos Egydio, orient. II. Título.

Agradecimentos

Agradeço a todos que de alguma forma tornaram possível a realização deste trabalho de mestrado.

À minha família, principalmente aos meus pais, Moacir e Nanci, e meus irmãos, Leonardo e Lucas por terem se desdobrado e me ajudado da melhor forma que apenas vocês conseguem!

À CAPES pelo auxílio financeiro durante o período de mestrado.

Ao Professor Doutor Marcos Egydio da Silva pela oportunidade orientação, discussões construtivas, parceria e paciência.

Ao Professor Doutor Renato de Moraes, pela co-orientação informal, discussões e por ter me apresentado à Glaucia. Muito obrigado mesmo!

À Professora Doutora Glaucia Queiroga e ao Marco Castro, do Laboratório de Microscopia e Microanálises – LMic, da Universidade Federal de Ouro Preto, pelo enorme apoio durante e após as análises em microsonda eletrônica de silicatos e monazita. Ao Sheila e Ana por terem me hospedado em Ouro Preto.

Aos professores doutores Gergeley, Lucelene, Adriana, Mario, Maria Helena e André Negrão por terem me ajudado com dúvidas diversas.

Aos funcionários do Instituto de Geociências, especialmente ao Samuca, Vasco, Arthur, Dani, Katherine, Alexandre, Tadeu e Marcos.

A todos que frequentaram a Sala 7C durante minha residência nela.

Aos colegas de pós-graduação Astrid, pela ajuda com dúvidas diversas, Ana, Dori, Lari, Maria Paula e especialmente Lina, pelos correios finais. À Anny, pelas diversas conversas geológicas, não-geológicas e grande amizade estabelecida.

Ao pessoal do Geoboulder, especialmente Lele, Sese e Cleber, por me acompanharem em diversas espiarecidas.

Aos amigos de sempre que compõem ou compuseram o glorioso Flatulentos (Craca, Habiba, Kuprólito, Mocinha, Nany, Piriguete, Peluda, Perobo, Sífilis, Tassolto, Vaselina). Isso é mais que um time.

À Ayumi por todo o apoio durante essa jornada. E ao Kenzo, por existir e ser minha fonte de inspiração.

Resumo

A presente dissertação apresenta uma investigação sobre a evolução tectono-metamórfica da Formação São Tomé, uma das unidades metassedimentares pertencente ao Grupo Rio Doce, no Orógeno Araçuaí. Essa unidade, de origem pelítica, ocorre em uma faixa com direção geral aproximadamente N-S, com vergência para NE, contrária ao cráton São Francisco neste setor do orógeno. Possui como litotipo principal quartzo-mica xisto, com proporções variadas de granada, estaurolita, sillimanita e plagioclásio. Duas fases deformacionais estão registradas através de uma foliação contínua S1 do tipo clivagem de fratura e uma foliação S2 de clivagem de crenulação. As relações texturais indicam que parte das fases minerais se cristalizaram tanto durante o evento deformacional como em condições ausentes de tensão deviatórica, e registro de condições de pico metamórfico de 6 kbar e 650 °C. Os dados geocronológicos foram obtidos em monazita por meio de datações Th-U-Pb em microsonda eletrônica. Foram identificadas três populações distintas: (i) A população mais antiga de 641 ± 32 Ma, 614 ± 39 Ma e 607 ± 47 Ma, a qual pode representar grãos detríticos de corpos ígneos, não mais aflorantes, relacionados a um possível estágio pré-colisional ou, tratar-se de monazitas metamórficas formadas em um primeiro evento térmico; (ii) População com idades intermediárias entre 560 ± 32 Ma e 559 ± 29 Ma, compatíveis com as idades do ápice metamórfico regional; (iii) População mais jovem de idades entre 501 ± 28 Ma e 491 ± 34 Ma, condizentes com a formação concomitante à geração dos corpos ígneos tardios. Ainda que não esteja esclarecido se essas idades estão relacionadas a eventos metamórficos distintos ou são reflexo da baixa taxa de resfriamento do orógeno, os três grupos de monazita com idades distintas estão bem estabelecidos.

PALAVRAS-CHAVE: Geotermobarometria, monazita, datação Th-U-Pb em microsonda eletrônica, Orógeno Araçuaí

Abstract

The present dissertation presents an investigation on the tectono-metamorphic evolution of the São Tomé Formation, one of the metasedimentary units belonging to the Rio Doce Group, in the Araçuaí Orogen. This unit, of pelitic origin, occurs in a band with general direction approximately N-S, with vergence for NE, contrary to the São Francisco craton in this sector of the orogen. It has quartz-mica schist as main lithotype, with varying proportions of garnet, staurolite, sillimanite and plagioclase. Two deformational phases are recorded through a continuous foliation S1 of the fracture cleavage type and a foliation S2 of crenulation cleavage. The textural relations indicate that part of the mineral phases crystallized both during the deformational event and in conditions absent of deviatoric stress, and record of metamorphic peak conditions of 6 kbar and 650 ° C. The geochronological data were obtained in monazite by means of Th-U-Pb dating in electron microprobe. Three distinct populations were identified: (i) The oldest population of 641 ± 32 Ma, 614 ± 39 Ma and 607 ± 47 Ma, which may represent detrital grains of igneous bodies, no longer outcrops, related to a possible pre- collisional or, being metamorphic monazites formed in a first thermal event; (ii) Populations with intermediate ages between 560 ± 32 Ma and 559 ± 29 Ma, compatible with regional metamorphic apex ages; (iii) Younger population between 501 ± 28 Ma and 491 ± 34 Ma, consistent with the formation concomitant with the generation of late igneous bodies. Although it is unclear whether these ages are related to distinct metamorphic events or are reflective of the low orogenic cooling rate, the three monazite groups of different ages are well established.

KEYWORDS: Geothermobarometry, monazite, electron microprobe Th-U-Pb dating, Araçuaí Orogen

Sumário

1. Introdução.....	1
1.1. Objetivo	2
1.2. Localização e acesso	2
2. Materiais e métodos	3
2.1. Trabalhos de campo	4
2.2. Descrição petrográfica	4
2.3. Química mineral	5
2.4. Geotermobarometria	5
2.5. Geocronologia.....	5
3. Revisão Bibliográfica	6
3.1. Contexto geológico regional	6
3.2. Conceitos de geotermobarometria	23
3.3. Considerações sobre geocronologia de monazita em rochas metapelíticas.....	26
4. Resultados	28
4.1. Caracterização da unidade mapeada	28
4.2. Análises de composição química mineral.....	56
4.3. Metamorfismo e cálculos geotermobarométricos	74
4.4. Dados geocronológicos.....	77
5. Discussão	83
6. Conclusões.....	87
7. Referências Bibliográficas	89

Índice de ilustrações

Figura 1.1 – Localização e acesso da área de estudo.	3
Figura 2.1 – Fluxograma das etapas de aquisição de dados obtidos para a consecução do objetivo proposto.....	4
Figura 3.1 – Localização do Orógeno Araçuaí-West Congo no contexto do Gondwana Ocidental (Alkmim et al., 2006).	6
Figura 3.2 – Principais propostas de compartimentação geológica para o orógeno Araçuaí.	7
Figura 3.3 – Distribuição geográfica dos domínios geotectônicos do Orógeno Araçuaí. Adaptado de Alkmim et al. (2007) e Vauchez et al. (2007).	8
Figura 3.4 – Esquema da estratigrafia das unidades sedimentares e posição cronológica das demais unidades litotectônicas do orógeno. Extraído de Pedrosa-Soares <i>et al.</i> (2008).	13
Figura 3.5 – Modelo esquemático da tectônica de quebra-nozes (Alkmim et al., 2006) e escape lateral (Vauchez et al., 1994)..	18
Figura 3.6 – Modelo esquemático indicando parte da evolução do orógeno em perfil (fase de abertura da bacia Macaúbas e pré-colisional). Adaptado de Alkmim et al. (2017).	18
Figura 3.7 – Mapa geológico do orógeno Araçuaí (Pedrosa-Soares <i>et al.</i> 2007).....	22
Figura 3.8 – Perfil de compartimentação geológica do orógeno Araçuaí.	22
Figura 3.9 – Evolução geocronológica dos compartimentos tectônicos de ocorrência próxima à área de estudo.	23
Figura 4.1 - Afloramentos do granada-mica xisto.....	29
Figura 4.2 - Fotomicrografias de amostras do granada-mica xisto	30
Figura 4.3 – Estrutura do estaurolita-granada-mica xisto	31
Figura 4.4 – Ocorrência do estaurolita-granada-mica xisto.	32
Figura 4.5 – Microfotografais das formas de ocorrência de granada pertencente ao estaurolita-granada-mica xisto.	33
Figura 4.6 – Forma de ocorrência de cristais de estaurolita no estaurolita-granada-mica xisto.....	34
Figura 4.7 - Pseudomorfo porfiroblástico de muscovita decussada.	35
Figura 4.8 - Fotomicrografias de plagioclásio do estaurolita-granada-mica xisto.	36
Figura 4.9 – Fotomicrografias de texturas de fases minerais acessórias do estaurolita-granada-mica xisto.	37
Figura 4.10 – Fotomicrografias do sillimanita-estaurolita-granada-mica xisto.	38
Figura 4.11 – Forma de afloramento do sillimanita-granada-mica xisto.	39
Figura 4.12 – Fotomicrografias do sillimanita-granada-mica xisto.	40
Figura 4.13 – Fotomicrografias do sillimanita-granada-mica xisto.	41
Figura 4.14 – Afloramentos do sillimanita-mica xisto.....	42
Figura 4.15 – Fotomicrografias do sillimanita-mica xisto.	43

Figura 4.16 – Fotomicrografias do sillimanita-mica xisto.....	44
Figura 4.17 – Fotografias da rocha calcissilicática.....	45
Figura 4.18 – Fotomicrografias da rocha calcissilicática.	46
Figura 4.19 – Fotomicrografias de minerais da rocha calcissilicática.	47
Figura 4.20 – Dobras associadas à geração da foliação S2..	49
Figura 4.21 – Fotografias de estruturas observadas na área de estudo.....	50
Figura 4.22 – Microfografias de estruturas observadas.....	51
Figura 4.23 – Dados estruturais projetados em diagramas de Schimdt-Lambert, semi-esfera inferior. 52	
Figura 4.24 – Mapa geológico base (CPRM 2001) e perfil interpretativo da área de estudo.....	55
Figura 4.25 – Amostras selecionadas para estudo termobarométrico	56
Figura 4.26 – Perfis composicionais de porfiroblastos de granada da amostra MM-24.....	60
Figura 4.27 – Perfil e mapa composicional qualitativo de porfiroblasto de granada da amostra MM-24	61
Figura 4.28 – Perfil composicional para granada poiquiloblástica da amostra MM-24.....	62
Figura 4.29 – Perfil e mapa composicional qualitativo para granada da amostra MM-24, campo 4. O aumento de Fe em algumas bordas está relacionado com alteração para limonita.....	63
Figura 4.30 – Perfil composicional para granada da amostra MM-24, campo 1.....	64
Figura 4.31 –Pontos analisados em microsonda eletrônica para a amostra MM-34.....	65
Figura 4.32 –Diagramas binários Mg vs. Fe e Mn vs. Fe. Valores em a.p.f.u.....	66
Figura 4.33 –Perfil X_{Mg} em estauroлита da amostra MM-21	67
Figura 4.34 – Diagramas binários Fe^{2+} vs. Mg, Al vs. Si e Ti vs. Si. Valores em a.p.f.u	68
Figura 4.35 – Diagramas binários para bioitita. Fe^{2+} vs. Mg, Al vs. Si e Ti vs. Si. Valores em a.p.f.u. 70	
Figura 4.36 – Diagramas binários para muscovita. Fe^{2+} vs. Mg, Na vs. K, Al vs. Si+Mg, Al vs. Si+Mg e Ti vs. Si. Valores em a.p.f.u.....	72
Figura 4.37 – Diagrama ternário de feldspatos.....	74
Figura 4.38 – Condições estimadas de formação para as rochas metapelíticas da Formação São Tomé.	77
Figura 4.39 –Resultados geocronológicos da amostra MM-21.	80
Figura 4.40 – Resultados geocronológicos da amostra MM-34.	81
Figura 4.41 – Diagramas binários para monazita da amostra MM-21. Y_2O_3 vs. Idade, ThO_2 vs. Idade, UO_2 vs. Idade. Valores em wt%.	82
Figura 4.42 – Diagramas binários para monazita da amostra MM-34. Y_2O_3 vs. Idade, ThO_2 vs. Idade, UO_2 vs. Idade. Valores em wt%.	82
Figura 5.1 – Esquema ilustrativo da evolução temporal do metamorfismo da Formação São Tomé. ..	86

Índice de tabelas

Tabela 3.1 – Síntese das unidades componentes do Grupo Rio Doce e interpretação do ambiente deposicional (Vieira, 2007; Novo, 2013).	14
Tabela 3.2 – Síntese das informações geocronológicas disponíveis para o Grupo Rio Doce	16
Tabela 3.3 – Síntese dos dados termobarométricos para diferentes compartimentos do Orógeno Araçuaí	21
Tabela 4.1 – Síntese das características texturais e fases deformacionais das rochas da Formação São Tomé	54
Tabela 4.2 – Condições operacionais para as análises em microsonda eletrônica	57
Tabela 4.3 – Número de análises conduzidas nas amostras de interesse	57
Tabela 4.4 – Fórmulas estruturais de granada das amostras analisadas	59
Tabela 4.5 – Fórmulas estruturais de estauroлита das amostras analisadas	67
Tabela 4.6 – Fórmulas estruturais de biotita das amostras analisadas	69
Tabela 4.7 – Fórmulas estruturais de muscovita das amostras analisadas	71
Tabela 4.8 – Fórmulas estruturais de plagioclásio das amostras analisadas	73
Tabela 4.9 – Resultado termobarométricos obtidos através do THERMOCALC	76
Tabela 4.10 – Resumos dos dados geocronológicos de monazita obtidos na microsonda	79
Tabela 4.11 – Intervalo das concentrações de ThO ₂ , UO ₂ e Y ₂ O ₃ (wt%) nos diferentes contextos de cristalização de monazita.	82

Anexos

Anexo I – Tabela e mapa de pontos de campo

Anexo II – Tabelas de análises químicas de silicatos

Anexo III – Tabelas de análises químicas de monazita

1. INTRODUÇÃO

Os processos tectônicos de encurtamento e espessamento crustal que perturbam o arranjo da litosfera manifestam-se de forma complexa em faixas orogênicas, de forma que as alterações dos estados originais dos diversos compartimentos geotectônicos suscitem muitas dúvidas e levem a diversas interpretações de concepção. Em orógenos antigos, a compreensão da edificação é dificultada ao se considerar o prolongado tempo de erosão, quando a remoção da crosta superior e exposição das rochas metamórficas de níveis inferiores tornam impossível a quantificação de parâmetros por medição direta, como elevação topográfica e fluxo térmico da superfície. Por outro lado, a exposição dessas rochas permite a caracterização das condições de pressão e temperatura a que foram submetidos (Brown, 2014; Stüwe, 2007).

Nesse cenário, para a interpretação sobre quais os possíveis mecanismos da geodinâmica responsáveis pela colocação e transformações de compartimentos tectônicos, a determinação das condições termobarométricas que tais unidades percorreram ao longo de um determinado período de tempo deve contribuir para a solidificação do embasamento teórico da evolução tectono-metamórfica de um terreno que compõe um orógeno (Rubatto et al., 2001). A utilização de rochas metassedimentares de composição pelítica configura uma vantagem devido à sensibilidade de suas fases minerais quanto a mudanças termais e barométricas, da relativa facilidade de reconhecimento das reações metamórficas e da presença de minerais com potencial geocronológico, como o zircão e monazita (Spear and Pyle, 2002).

Com o propósito para contribuir com o entendimento desses processos metamórficos na região definida como Orógeno Araçuaí, setor setentrional da Província Mantiqueira, uma sequência de rochas paraderivadas denominada Formação São Tomé, pertencente ao Grupo Rio Doce, foi alvo de investigação. A utilização exclusiva dessa unidade, além de possuir composição química favorável, reduz as incertezas que uma investigação mais ampla, com diversidade maior de litotipos, pode trazer.

O presente estudo explora as relações geocronológicas com o metamorfismo atuante nessa unidade, a determinação de quais condições termobarométricas esteve submetida, além da discussão sobre quais ambientes geotectônicos são verossímeis às condições calculadas e qual a implicação para a evolução tectono-metamórfica da referida unidade no panorama do orógeno.

1.1. Objetivo

Dado o cenário geotectônico singular que o orógeno Araçuaí está inserido, muitos aspectos quanto à evolução de seu arcabouço estrutural permanecem em aberto. Ainda que os representantes plutônicos estejam consideravelmente bem caracterizados, as unidades metamórficas paraderivadas, suas relações de contatos e seus significados para a edificação do orógeno carecem de informações.

Com tal situação, o trabalho ora apresentado tem por objetivo investigar a evolução metamórfica da Formação São Tomé, buscando estabelecer as condições termobarométricas e balizar o tempo de metamorfismo, além de comparar os dados geocronológicos com os demais compartimentos tectônicos adjacentes, para então promover uma discussão sobre a evolução dessa unidade dentro do contexto de colocação da suíte ígnea associada a tal unidade, uma vez que os dados disponíveis na literatura indicam uma relação temporal pouco clara entre esses compartimentos.

1.2. Localização e acesso

A área estudada encontra-se no centro-leste do Estado de Minas Gerais, em região a nordeste da cidade de Governador Valadares, na porção oeste da folha topográfica Itabirinha de Mantena (SE-24-Y-A-V), em escala 1:100.000, do IBGE (1979), englobando parte dos municípios de São Félix de Minas, Mendes Pimentel, Divino das Laranjeiras e Central de Minas (Figura 1.1). A delimitação do polígono percorrido é dada pelas coordenadas UTM 234.000/7.948.000, 251.000/7.948.000, 251.000/7.902.000 e 234.000/7.902.000 (datum SIRGAS 2000 – 23K).

A partir da cidade de São Paulo, o principal acesso é realizado pela Rodovia Fernão Dias (BR-381) até Belo Horizonte, mantendo-se na mesma BR-381 após a região metropolitana, segue-se até Governador Valadares e posteriormente à cidade de Divino das Laranjeiras. Na região de Linópolis, povoado pertencente a este município, toma-se a saída para a Avenida Israel Pinheiro (MG-417), percorrendo cerca de 15 km até a cidade de Mendes Pimentel.

Figura 1.1 – Localização e acesso da área de estudo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a consecução dos objetivos propostos, os trabalhos foram realizados em uma ordem que primeiro puderam elucidar questões relacionadas à distribuição geográfica da Formação São Tomé, para então serem selecionadas amostras que possam ser utilizadas para aquisição de dados geocronológicos e geotermobarométricos.

O balizamento entre a idade máxima de deposição dos sedimentos que originaram as rochas da unidade e a idade do pico metamórfico foram determinadas pelas fases minerais acessórias zircão e monazita, respectivamente. Já para o entendimento das condições termobarométricas, analisou-se a composição química mineral de granada, estauroлита, biotita, muscovita e plagioclásio.

O fluxograma da Figura 2.1 resume a linha de pesquisa adotada, destacando as fases minerais de interesse e as ferramentas utilizadas para aquisição das informações que subsidiaram as construções e estimativas das trajetórias P-T-t dos metassedimentos objetos de estudo.

Figura 2.1 – Fluxograma das etapas de aquisição de dados obtidos para a consecução do objetivo proposto.

2.1. Trabalhos de campo

Foi realizada uma campanha de campo para aquisição dos dados, entre os dias 18 e 24 de fevereiro de 2017. Essa fase do trabalho teve como objetivo a descrição dos litotipos aflorantes, obtenção de informações estruturais e relações de contatos e amostragem para análises laboratoriais. O Anexo I apresenta a tabela e mapa de pontos levantados no presente estudo.

2.2. Descrição petrográfica

A partir da seleção de amostras com associação mineral e relações texturais relevantes da unidade, foram confeccionadas 25 seções delgadas para petrografia. Os equipamentos utilizados para a descrição e obtenção de imagens das lâminas foram os microscópios ZEISS AXIOPLAN 2 acoplados à câmera Leica e processamento através do software LAS (*Leica*

Analysis Suite) Versão 4.9, do Laboratório de Petrografia Sedimentar da Universidade de São Paulo. Para a identificação dos minerais nas fotomicrografias, adotaram-se as siglas de Whitney and Evans (2010), uma atualização da lista publicada por Kretz (1983).

2.3. Química mineral

As análises de quantificação de elementos químicos nas fases minerais de interesse (granada, estauroлита, biotita, muscovita e plagioclásio) foram realizadas através de aparelho de microsonda eletrônica JEOL JXA-8230 do Laboratório de Microanálises da Universidade Federal de Ouro Preto.

A verificação de variações composicionais das fases minerais foi efetuada por análises pontuais e transectos ao longo de cristais. Os Anexos II e III apresentam as tabelas completas dos resultados obtidos. Para a elaboração da base de dados para o estudo termobarométrico, foram selecionadas três amostras representativas da unidade.

2.4. Geotermobarometria

Os dados de química mineral foram utilizados para modelamentos das condições termobarométricas através do software Thermocalc (versão 3.26), baseado em banco de dados termodinâmicos internamente consistentes (Holland and Powell, 1990).

2.5. Geocronologia

Para a obtenção de dados geocronológicos foram efetuadas datações não-isotópicas em monazita, utilizando-se microsonda eletrônica em seções delgadas, no laboratório do Departamento de Geologia (DEGEO) da Universidade Federal de Ouro Preto.

Previamente às análises, considerando a diversidade de reações metamórficas capazes de contribuir com sua cristalização, investigaram-se primeiramente os contextos texturais em que esses minerais estão para entender em quais condições termobarométricas foram cristalizadas e poder correlacioná-las ao dado geocronológico. Assim, previamente aos trabalhos de datação não-isotópica, uma verificação das relações texturais dos cristais foi efetuada através do microscópio eletrônico de varredura Quanta FEG 650 da FEI Company, no Laboratório de Tratamento de Amostras da Escola Politécnica da USP.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Contexto geológico regional

3.1.1. Compartimentação tectono-estrutural

Representando o segmento setentrional da Província Mantiqueira, o orógeno Araçuaí constitui um sistema de dobramentos desenvolvido paralelamente à margem leste do cráton São Francisco, estendendo-se até a margem atlântica brasileira (Almeida, 1977; Trompette, 1994). Seu limite norte também é delimitado pelo cráton São Francisco enquanto o limite sul, no qual o sistema orogênico passa a receber o nome de orógeno Ribeira, define-se aproximadamente pelo paralelo 21°S, onde ocorre uma inflexão do *trend* estrutural principal de NNE-SSW para NE-SW (Pedrosa-Soares et al., 2001; Trompette, 1994; Vauchez et al., 1994).

No contexto da amalgamação brasileira-panafricana do Gondwana Ocidental, durante o Neoproterozoico-Cambriano, o orógeno Araçuaí representa uma unidade estruturalmente contínua com o orógeno *West-Congo*, localizada na costa ocidental africana (Alkmim et al., 2006; Brito-Neves and Cordani, 1991; Trompette, 1994), confinados entre os crátons do São Francisco e do Congo (Figura 3.1). Diante dessa configuração, os diversos trabalhos voltados à descrição dos compartimentos geotectônicos tratou de forma conjunta esse cinturão orogênico denominado Araçuaí-West Congo.

Figura 3.1 – Localização do Orógeno Araçuaí-West Congo no contexto do Gondwana Ocidental (Alkmim et al., 2006).

Os trabalhos pioneiros compartimentam o orógeno em dois domínios distintos: um externo, caracterizado por uma sequência de empurrões com vergência tectônica em direção ao cráton, envolvendo unidades metassedimentares representantes da antiga margem passiva cratônica, sem evidências de magmatismo orogênico associado e um domínio interno, correspondente ao núcleo metamórfico-anatético, com predomínio de rochas gnáissicas-migmatíticas e graníticas (*e.g.*, Pedrosa-Soares et al., 2001; Pedrosa-Soares and Wiedemann-Leonardos, 2000; Siga Jr, 1986; Siga Jr et al., 1987). O incremento do banco de dados a partir de diversos trabalhos de cunho estrutural, geoquímico, geofísico e geocronológico, além do mapeamento sistemático denominado Projeto Leste realizado pela CPRM (Pinto et al., 2000), novas subdivisões desses domínios foram adotadas (Figura 3.2 e Figura 3.3).

Figura 3.2 – Principais propostas de compartimentação geológica para o orógeno Araçuai.

Alkmim et al. (2007, 2006) separam os domínios estruturais com base na orientação espacial, história deformacional e cinemáticas das zonas de cisalhamentos. Dentro dessa

subdivisão, o domínio externo recebe maior detalhamento, sendo representado por: Cinturão de cavalgamentos da Serra do Espinhaço, Zona de cisalhamento Chapada Acauã, Zona de dobramentos de Salinas. Corredor Transpressivo Minas Novas, Saliência do Rio Pardo, Bloco do embasamento Guanhães, Zona de cisalhamento Dom Silvério, Zona de cisalhamento Itapebi. O domínio interno é definido como uma zona de alto grau metamórfico, subdividido em subdomínio norte, com zonas de cisalhamento e cavalgamentos com vergência tanto pra leste como oeste e subdomínio sul, onde predominam um sistema de zonas de cisalhamentos dextral-transpressional.

Definido como o núcleo metamórfico-anatético, o domínio interno pode ser subdividido pelas características dos esforços deformacionais e relações de contemporaneidade entre os diferentes tipos de fundido produzido. Distinguem-se três unidades principais - os subdomínios Oeste, Central e Leste (Oliveira et al., 2000; Vauchez et al., 2007).

Figura 3.3 – Distribuição geográfica dos domínios geotectônicos do Orógeno Araçuai. Adaptado de Alkmim et al. (2007) e Vauchez et al. (2007).

3.1.2. Unidades litotectônicas

Dentro da organização por compartimentos tectono-estruturais, são reconhecidas e individualizadas unidades que incluem rochas antigas do embasamento (*e.g.*, Noce et al., 2007), associação de rochas sugestiva de rifteamento (*e.g.*, Alkmim et al., 2007; Pedrosa-Soares et al., 1992), rochas compatíveis com sedimentação em bacia oceânica (*e.g.*, Pedrosa-Soares et al., 1992; Queiroga et al., 2007), depósitos plataformais e de *foreland* (*e.g.*, Lima et al., 2002; Peixoto et al., 2015; Santos et al., 2009), intensa granitogênese individualizada essencialmente em termos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos (*e.g.*, Pedrosa-Soares et al., 2008, 2001; Vauchez et al., 2007) e complexos paragnáissicos e granulíticos (*e.g.*, Gradim et al., 2014; Moraes et al., 2015; Noce et al., 2004; Richter et al., 2016).

De modo sumário, o embasamento é representado por blocos que compreendem complexos metamórficos, granitoides e unidades supracrustais de idades arqueanas e paleoproterozoicas, ocorrendo nas regiões sudoeste e norte do orógeno. Dentre esses blocos do embasamento, destaca-se o complexo Guanhães (Alkmim et al., 2006).

A associação metassedimentar do Grupo Macaúbas e o magmatismo anorogênico de idade toniana são sugestivos de episódio de rifteamento e abertura oceânica. Da base para o topo, a sucessão estratigráfica dessa unidade metassedimentar é compreendida por: depósitos proximais, que incluem metarenitos e metarcóseos com lentes de metaconglomerados das formações Matão, Duas Barras e Rio Peixe Bravo, interpretados como deposição em ambiente fluvial; Pacote metamorfoisado de tilitos com arenitos fluviais subordinados, pertencentes à Formação Serra do Catuni e representativos de sedimentação glacial terrestre; Formação Nova Aurora, composta por metadiamicititos, formação ferrífera e subordinadas camadas de metarenitos e metapelitos em ambiente glacio-marinho restrito; Formação Chapada Acauã, representante da sedimentação distal do Grupo Macaúbas, compreendendo rochas cujos protólitos são descritos como damictitos, ortoconglomerados e turbiditos, além de magmatismo máfico em sua porção basal, indicativa da transição entre a fase tipo *rift* e de margem passiva e, por fim; Formação Ribeirão da Folha, marcado por deposição de pelitos pelágicos em contexto pós-glacial, além de sedimentos indicativos de atividade químico-exalativa, interpretados como margem passiva e de fundo oceânico com geração de crosta máfica. Lateralmente correlata às unidades pré-glaciais do Grupo Macaúbas, a Formação Capelinha representa uma sequência metapsamítica basal com lentes de rochas metamáficas e uma sequência metapelítica no topo. A evolução temporal dessa bacia é balizada pela idade do magmatismo bimodal anorogênico (suítes Pedro Lessa e Salto da Divisa), datado em

aproximadamente 930 Ma e pelos plagiogranitos associados às rochas máficas/ultramáficas de assinatura de fundo oceânico, em 600 Ma (Castro, 2014; Gradim et al., 2005; Grossi-Sad et al., 1993; Kuchenbecker et al., 2015; Martins-Neto et al., 2001; Noce et al., 1997; Pedrosa-Soares et al., 1992; Queiroga et al., 2007; Silva et al., 2008; Uhlein et al., 1998).

Estratigraficamente acima do Grupo Macaúbas, a Formação Salinas compreende camadas metamorfisadas em baixo grau de turbiditos, conglomerados, grauvacas e ritmitos intercaladas que representam sedimentação plataformar rasa a turbidítica em contexto sin-orogênico, ou próximas a um arco magmático. Os dados geocronológicos de zircão detrítico balizam sua idade máxima de deposição em aproximadamente 568 Ma (Lima et al., 2002).

A ocorrência da extensa granitogênese no núcleo metamórfico-anatético do orógeno é subdividida por Pedrosa-Soares et al. (2011) em supersuíte G1 (c. 630-585 Ma), G2 (c. 585-560 Ma), G3 (c. 545-530 Ma), G4 e G5 (c. 530-490 Ma). Este agrupamento dos eventos magmáticos em termos de supersuítas tem sido admitido como um longo período de colocação contínua de corpos ígneos entre 640 e 480 Ma, em um contexto majoritariamente colisional. Nesse sentido, considerando a provável contemporaneidade parcial de colocação dos diversos corpos que compõem as suítas, Richter et al. (2016) optam por organizar em seis períodos esses eventos: 640-595 Ma (evento G1); 595-570 Ma (G1+G2); 570-540 Ma (G2); 540-525 Ma (G3+G4); 525-505 Ma (G4+G5); e 505-475 Ma (G5).

A supersuíte G1 é constituída majoritariamente por tonalitos e granodioritos e, subordinadamente, granitos cálcio-alcalinos metaluminosos contendo fácies gabbroicas a enderbíticas. Os principais corpos são representados pelos batólitos São Vitor, Galileia, Brasilândia, Divino, Manhauçu, Estrela-Muniz Freire, Baixo Gandu e Derribadinha (Campos-Neto and Figueiredo, 1995; Noce et al., 2010; Pedrosa-Soares et al., 2011; Tedeschi et al., 2016). A assinatura geoquímica desse grupo de rochas ígneas compatibiliza a existência de um arco magmático continental, denominado Arco Rio Doce (Figueiredo and Campos-Neto, 1993), desenvolvido entre 630 e 580 Ma (*e.g.*, Alkmim et al., 2006; Gonçalves et al., 2014; Pedrosa-Soares et al., 2008, 2001).

A Supersuíte G2 é composta pela granitogênese peraluminosa que ocorre na forma de batólitos, corpos tabulares e stocks, cujo litotipo predominante é representado por biotita-cordierita-granada-sillimanita granito. Esses corpos registram foliação magmática e localmente, foliação em estado sólido. Admite-se intervalo de cristalização dessa suíte entre 590 e 545 Ma. Os principais corpos são representados pelo Carlos Chagas, Ataleia,

Montanha, Nanuque e Urucum (*e.g.*, Cavalcante et al., 2014; Melo et al., 2017; Pedrosa-Soares et al., 2011).

Associado à supersuíte G2, os representantes da Suíte G3 têm como produtos típicos leucogranitos autóctones a parautóctones provenientes da fusão parcial dos granitos G2 deformados. Os corpos que a compõem são representados por granada-cordierita-sillimanita leucogranitos, com idade de cristalização entre 545 e 530 Ma, aproximadamente. Algumas das denominações recebidas incluem Água Branca, Água Boa, Almenara, Barro Branco e Itaobim (*e.g.*, De Campos et al., 2004; Pedrosa-Soares et al., 2011, 2007).

Os corpos ígneos que compõem a supersuíte G4 recebem nomes locais como Campestre, Carai, Córrego do Fogo, Itaporé, Laje Velha, Mangabeiras, Piauí, Quati, Santa Rosa e Teixeirinha e possuem composição peraluminosa, são representados por biotita granito, muscovita-granada leucogranito e granitos a duas micas. Possuem poucas evidências de foliação em estado sólido e podem apresentar estruturas de fluxo ígneo. As idades desses granitoides variam de 530 a 500 Ma (*e.g.*, Pedrosa-Soares et al., 2011).

A supersuíte G5 consiste em monzogranitos, sienogranitos e charnockitos com evidências de fluxo magmático sem sobreposição de deformação em estado sólido. Geoquimicamente, associa-se ao campo de rochas cálcio-alcálica de alto K e Fe. Seu intervalo de cristalização ocorre entre 530 e 480 Ma e recebe nomes locais como Aimorés, Caladão, Cotaxé, Guaratinga, Lajinha, Padre Paraíso, Pedra Azul, Pedra do Elefante, Rubim, Santa Angélica, Salomão, Santo Antônio do Jacinto e Várzea Alegre (*e.g.*, De Campos et al., 2004; Pedrosa-Soares et al., 2011).

Em relação à compartimentação do núcleo metamórfico-anatético, (Vauchez et al., 2007) não adotam a separação em supersuítas e priorizam termos puramente descritivos. O Domínio Oeste, ou Unidade Milonítica (Mondou, 2010; Vauchez et al., 2007), é composto por rochas de alto grau metamórfico (fácies anfibolito superior a granulito) que formam uma zona milonítica, com vergência para oeste, de baixo ângulo, possuindo aproximadamente 5 km de espessura e *trend* geral N-S (Mondou, 2010; Vauchez et al., 2007), com lineação E-W. Sua origem está associada a protólitos sedimentares, estando frequentemente injetados por veios leucocráticos contendo granada e, mais raramente, cordierita (Cunningham et al., 1998).

O Domínio Central, ou Unidade Plutônica (Mondou, 2010; Vauchez et al., 2007), abrange um volume importante de rochas ígneas intrusivas em rochas metassedimentares. O plutonismo é representado principalmente pelos corpos tonalíticos São Vitor e Galileia (Nalini

et al., 2000; Noce et al., 2000; Oliveira et al., 2000). Ambos apresentam uma foliação magmática marcante registrada pela orientação de biotitas e cristais de feldspatos, ao longo da qual também são comuns enclaves máficos alongados. A deformação no estado sólido está limitada às zonas de cisalhamento, de escala métrica. A partir de informações petrográficas e termocronológicas, infere-se que anteriormente à total cristalização desses plútons, ocorreu deformação contemporânea a das rochas metassedimentares encaixantes (Mondou, 2010; Vauchez et al., 2007).

Por fim, o Domínio Leste, ou Unidade Anatética ((Mondou, 2010; Vauchez et al., 2007), consiste predominantemente de uma unidade representada pelo batólito Carlos Chagas, com granitoides de composição peraluminosa, variando entre granada-biotita diatexito e leucogranito, marcados por foliação magmática com orientação de cristais de biotita e feldspato, podendo apresentar vergências locais para leste ou para oeste, além de granulitos migmatíticos/kinzigitos (Complexos Nova Venécia e Jequitinhonha) intrudidos por rochas charnockíticas e graníticas (Cavalcante et al., 2014; Gradim et al., 2014; Mondou, 2010; Noce et al., 2000; Vauchez et al., 2007).

As rochas paragnáissicas são representadas pelos complexos Jequitinhonha e Nova Venécia. O Complexo Jequitinhonha é compreendido por granada-biotita gnaisses, kinzigitos, quartzitos, gnaisses grafitosos, mármore e rochas metamáficas e é interpretado como o equivalente metamorfoisado em alto grau do Grupo Macaúbas. O Complexo Nova Venécia caracteriza-se por paragnaisses migmatíticos ricos em alumínio, dado principalmente pelos litotipos sillimanita-cordierita-granada biotita gnaiss e sillimanita-granada-cordierita gnaiss granulítico (*e.g.*, Gonçalves-Dias et al., 2011; Gradim et al., 2014; Moraes et al., 2015).

A Figura 3.4 ilustra de forma simplificada uma combinação entre a possível estratigrafia das unidades litotectônicas que compõem o orógeno, com dados geocronológicos de alguns desses elementos para compreensão do empilhamento.

Figura 3.4 – Esquema da estratigrafia das unidades sedimentares e posição cronológica das demais unidades litotectônicas do orógeno. (1) Rochas vulcânicas relacionadas a rift; (2) conglomerados; (3) diamictitos; (4) arenitos; (5) pelitos; (6) carbonatos; (7) formações ferríferas glaciogênicas; (8) margas, diopsiditos com corpos maciços de sulfetos e formações ferríferas bandadas; (9) rochas máficas e ultramáficas de lascas ofiolíticas; (10) associação grauvaça-pelito; (11) formação ferrífera detrítica; (12) dropstones. Extraído de Pedrosa-Soares *et al.* (2008).

3.1.3. O Grupo Rio Doce

Os registros metassedimentares do Grupo Rio Doce ocorrem associados ao domínio plutônico central (Vauchez *et al.*, 2007), ou suíte G1 (Pedrosa-Soares *et al.*, 2001). Objeto do presente estudo, essa unidade representa a sequência vulcanossedimentar depositada em bacia de ante-arco no contexto da edificação do arco magmático homônimo. Vieira (2007) propõe que o empilhamento estratigráfico, da base para o topo, é representado pelas formações Palmital do Sul, Tumiritinga, São Tomé e João Pinto (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Síntese das unidades componentes do Grupo Rio Doce e interpretação do ambiente deposicional (Vieira, 2007; Novo, 2013).

Formação	Litotipo	Mineralogia	Protólitos principais
João Pinto	Quartzito puro	qz, ms, bt, zrn	Quartzito arenito
	Quartzito subarcoseano	qz, matriz feldspática	
	Quartzito micáceo	qz, ms, tur	
	Calcissilicática	-	
São Tomé	Xisto	qz, pl, bt, ms, grt, st, sill (Kfs, tur, crd, ap, zrn, ttn, opq)	Pelitos; arenitos imaturos
Tumiritinga	Xisto/Gnaiss	qz, pl, bt, grt, sill, kfs, ms (st, crd, ap, ttn, zrn)	Pelitos
	Rocha calcissilicática	di, ep, czo, ttn, hbl, pl	Vulcanoclástica
	Metavulcanoclástica bandada	Kfs, bt, qz, pl (grt, ms, zrn, ttn, opq)	
Palmital do Sul	Xisto/Gnaiss	qz, pl, bt, ms, mc, kfs, grt, sill, st	Pelitos grauvaquianos; tufos dacíticos
	Quartzito	qz, ms, ttn, bt, zrn, tur, rt	
	Metavulcânica (piroclástica)	pl e qz em matriz fina (agregados policristalinos) (zrn, ttn, aln, opq)	

A Formação Palmital do Sul compreende uma associação composta por biotita xisto/paragneiss aluminoso, quartzito, rocha calcissilicática e talco xisto com rochas vulcânicas piroclásticas, de composição dacítica a riolítica, com fração lapilli e bombas vulcânicas. Essa associação litológica sugere deposição relativamente próxima ao edifício vulcânico. A idade U-Pb em zircão da discordância obtida para as rochas piroclásticas de aproximadamente 584 ± 5 Ma (Tabela 3.2) baliza a idade de sedimentação dessa unidade (Vieira, 2007).

Correlata à Formação Palmital do Sul, a Formação Tumiritinga é composta basicamente por quartzito-biotita xisto com proporções variadas de granada, sillimanita e anfibólio. De origem vulcanoclástica, a contribuição majoritária de fração cinza indica sítio deposicional distal em relação a edifícios vulcânicos. Considerando a presença de mármore aliada à abundância de rochas pelíticas, infere-se ambiente marinho para essa formação. A presença de

tufos vulcânicos atua como balizador para a idade deposicional da formação, indicando idade concórdia de 585 ± 4 Ma (Tabela 3.2), além de sustentar o argumento de deposição contemporânea à edificação do arco Rio Doce (Novo, 2013).

As rochas da Formação São Tomé são representadas por quartzo-biotita xistos/gnaisses com quantidades variadas de quartzo, plagioclásio, biotita, muscovita, granada, estauroлита, sillimanita e, subordinadamente, feldspato potássico, turmalina, cordierita, apatita, zircão, titanita e opacos. Essas camadas alternam-se com leitos delgados de rocha calcissilicática. Essa unidade é interpretada com contribuição significativa de sedimentação proveniente do arco magmático. Apesar da idade 594 ± 3 Ma (Tabela 3.2) em zircão detrítico, é alocada em posição estratigraficamente acima das unidades portadoras de rochas vulcânicas, dado o grau de maturidade inferido pra os sedimentos. Descrita como representante de depósitos de ambiente marinho, caracteriza-se por correntes de turbidez de alta a baixa concentração (plataforma profunda a talude).

Os quartzitos puros, subarcoseanos e com intercalações micáceas da Formação João Pinto apresentam-se com alto grau de recristalização, de granulação fina, com grãos subangulosos de alta esfericidade. Possuem como mineralogia quartzo, muscovita, biotita zircão e raramente clorita e minerais opacos. Nota-se gradações de granulação, sugerindo acamamento parcialmente preservado (Novo, 2013). Essa sedimentação madura, relaciona-se a exposição extensiva de áreas tectonicamente estáveis e/ou transporte longo, sob clima úmido, que possibilitem o enriquecimento relativo de areias muito ricas em quartzo. A idade obtida para a unidade indica máxima deposição em 619 ± 19 Ma (Tabela 3.2).

As assinaturas geoquímicas de Vieira (2007) sugerem protólitos através do diagrama de Wronkiewicz and Condie (1987) para inferir que os protólitos das formações Tumiritinga e São Tomé são representados por grauwacas, baseados em relações de SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O e Na_2O apenas e desconsiderando elementos maiores como MgO e Fe_2O_3 .

Tabela 3.2 – Síntese das informações geocronológicas disponíveis para o Grupo Rio Doce

Formação	Litotipo amostrado	Idade		Análises	Método	Interpretação	Observações	Referência	
João Pinto	Quartzito	619 ± 19	(2σ)	3 <i>spots</i>	LA-ICP-MS	Deposição Complexos Pocrane, Juiz de Fora, Mantiqueira, Kimeziano, Eburneano	Total de 43 <i>spots</i> considerados; Idade mínima da formação balizada pelo metamorfismo	Novo (2013)	
		1201 ± 24		7 <i>spots</i>					
		1824 ± 21		4 <i>spots</i>					
		2087 ± 12		27 <i>spots</i>					
		2976 ± 62		2 <i>spots</i>					
São Tomé	Metarenito	708 ± 310	(1σ)	18 <i>spots</i>	SHRIMP	Zircão detrítico	Idade discórdia	Vieira (2007)	
		2161 ± 30							
	Xisto (Grauvaca)	594 ± 3	-	3 <i>spots</i>	LA-ICP-MS	Zircão detrítico	Menor idade concordante	Vieira (2007)	
	Grt-Sil xisto	793-663	-	90 <i>spots</i>	LA-ICP-MS	Zircão detrítico		Freire (2015)	
		890-850	-						
1060-960		-							
Tumiritinga	Vulcânica	585 ± 4	(1σ)	23 <i>spots</i>	LA-ICP-MS	Cristalização	Menor idade concordante	Vieira (2007)	
Palmital do Sul	Metavulcânica	595 ± 13	-	13 <i>spots</i>	SHRIMP	Cristalização	Concordância de 70%	Novo (2013)	
	grt-bt xisto	664 ± 13	(2σ)	61 <i>spots</i>	LA-ICP-MS	Deposição <i>Rift</i> precursor Espinhaço/Chapada Diamantina Complexos Pocrane, Juiz de Fora, Mantiqueira, Kimeziano, Eburneano	Total de 87 <i>spots</i> considerados; Concordância de 68,3%	Novo (2013)	
		952							
		1325 ± 16							9 <i>spots</i>
		1980 ± 16							9 <i>spots</i>
		2493 ± 18							7 <i>spots</i>
	3252 ± 72	1 <i>spot</i>							
Piroclástica	584 ± 5	(2σ)	4 frações	TIMS	Idade edifício vulcânico	Idade discórdia	Vieira (2007)		

Assim, a partir das características petrográficas e geoquímicas, a análise do empilhamento estratigráfico das unidades que compõem o Grupo Rio Doce indica uma sequência com maturidade crescente para o topo, caracterizada por rochas metavulcânicas e metassedimentares grauvaquianas com contribuição derivada do arco magmático no pacote inferior que é parcialmente recoberta pelo pacote quartzítico da Formação João Pinto (Vieira, 2007). Os estudos de rochas vulcânicas intercaladas à sequência metassedimentar do Grupo Rio Doce e de proveniência ofereceram idades U-Pb em zircão praticamente exclusivas do tempo de edificação do arco magmático, sugerindo, portanto, sedimentação intra-arco (Vieira, 2007).

Em termos de metamorfismo, os cálculos termobarométricos de metapelitos da Formação Palmital do Sul, base do Grupo Rio Doce, apontam que a trajetória P-T registrada possui sentido horário, com aumento de temperatura de *c.* 442°C para 590°C e decompressão de 9,3 Kbar para 4,2 Kbar (Novo et al., 2015).

3.1.4. Modelos evolutivos do orógeno

Os modelos de evolução propostos consideram que o Orógeno Araçuaí, juntamente com sua contraparte denominada Faixa Congo Ocidental, originou-se no contexto de amalgamação do supercontinente Gondwana Ocidental durante o Ciclo neoproterozoico Brasileiro. As propostas são divididas em duas concepções básicas, uma que considera desenvolvimento estritamente ensialítico (*e.g.*, Siga Jr, 1986; Trompette, 1994) e outra que se ampara em um cenário parcialmente oceanizado com geração de crosta máfica (*e.g.*, Alkmim et al., 2006; Pedrosa-Soares et al., 1992). A descrição de lascas ofiolíticas na “ fácies Ribeirão da Folha” (Pedrosa-Soares et al., 1992) sustenta os modelos com produção de litosfera oceânica e seu posterior consumo por processo de subducção.

Nesse período, os crátons do São Francisco e Congo constituíam uma única área estável formando uma baía (*cratonic embayment*) que, segundo o modelo geodinâmico proposto para a região, abrigaria uma paleobacia parcialmente oceanizada e articulada com aulacógenos. A natureza “confinada” do orógeno (*“confined orogen”*) e o estilo de fechamento propostos por Alkmim et al. (2006) semelhante a um quebra-nozes (*“nutcracker tectonics”*), é dado pela rotação do cráton São Francisco em direção ao cráton do Congo, impulsionado por colisões à distância que forçaram o fechamento da bacia Macaúbas (Figura 3.5 e Figura 3.6).

Figura 3.5 – Modelo esquemático da tectônica de quebra-nozes (Alkmim et al., 2006) e escape lateral (Vauchez et al., 1994). (a) Abertura anterior à fase orogênica da Bacia Macaúbas; (b) Início do fechamento da bacia, consequente da interação de placas; (c) Fase colisional do orógeno; (d) escape lateral da porção sul e colapso extensional do orógeno.

Figura 3.6 – Modelo esquemático indicando parte da evolução do orógeno em perfil (fase de abertura da bacia Macaúbas e pré-colisional). Adaptado de Alkmim et al. (2017).

Posto o modelo de evolução proposto por Alkmim et al. (2006), as unidades litotectônicas anteriormente descritas em Pedrosa-Soares and Wiedemann-Leonardos (2000) e reorganizadas por Pedrosa-Soares et al. (2011, 2007) que compõem o orógeno podem ser agrupadas em uma ordem cronológica caracterizada por registros de um estágio relacionado à deposição dos sedimentos da bacia precursora de fase *rift* a margem passiva (Grupo Macaúbas), uma fase pré-colisional acrescionária de margem continental ativa (Supersuíte G1), um estágio sin-colisional (Supersuíte G2), plutonismo pós-colisional (Supersuítas G3 e G4) e um estágio estritamente posterior à orogenia brasileira durante o Cambro-Ordoviciano (Supersuíte G5).

Após a abertura da bacia e deposição do Grupo Macaúbas, o processo de inversão e imposição da fase pré-colisional é marcado por processo de subducção e edificação do Arco Magmático Rio Doce, entre 630 e 575 Ma. Nesse sistema, a placa inferior seria representada pelo “paleocontinente São Francisco” e o “paleocontinente do Congo”, a superior (Pedrosa-Soares et al., 2001; Tedeschi et al., 2016).

Associados a esta fase de subducção, admite-se deposição sedimentar em três contextos, separados pelas posições relativas ao arco magmático: as rochas metassedimentares de composição pelítica próximas ao Bloco Guanhães são candidatos ao prisma acrescionário em bacia de ante-arco; o Grupo Rio Doce, também metapelítico com intercalações metavulcânicas, representam a bacia de intra-arco, enquanto os complexos Nova Venécia e Jequitinhonha, compreendidos por kinzigitos e migmatitos, a bacia de retro arco (Figueiredo and Campos-Neto, 1993; Gradim et al., 2014; Pedrosa-Soares et al., 2008b; Peixoto et al., 2015; Richter et al., 2016; Vieira, 2007).

A fase pré-colisional pode ser subdivida ainda em três momentos: Um estágio precoce (630-605 Ma) caracterizado pelo processo de subducção em si; Um intermediário (605-585 Ma) com granitogênese generalizada devido ao mecanismo de *roll-back*; E um estágio final, com quebra da placa (“*slab break-off*”) e soerguimento do manto astenosférico, gerando calor adicional com consequente colocação de intrusões tardias, que coincidem temporalmente com o início da fase colisional (Tedeschi et al., 2016).

Corroborando a colocação contemporânea à deformação regional (*i.e.*, fase sin-colisional) de parte dos batólitos tonalíticos relacionados ao domínio plutônico (Vauchez et al., 2007) ou suíte pré-colisional G1 (Pedrosa-Soares et al., 2001), Mondou et al. (2012) indicam através de estudo microestrutural e de ASM ausência de deformação em estado sólido nesses corpos,

cujas rochas encaixantes são representadas por metassedimentos (principalmente do Grupo Rio Doce), na crosta média, com idade em torno de 580 Ma.

A fase sin-colisional é essencialmente balizada pela granitogênese G2 entre 590 e 560 Ma, podendo ser estendida até 544 Ma. Durante essa fase, o espessamento crustal provocado pela colisão promoveu fusão parcial da crosta média e colocação intensa de corpos ígneos. O principal período de colocação dos corpos representantes se deu entre 576 e 565 Ma, coincidindo com o pico metamórfico regional, ou evento metamórfico M1, em fácies granulito (Gradim et al., 2014; Melo et al., 2017b; Peixoto et al., 2015; Richter et al., 2016).

O período final da colisão é marcado pela granitogênese da supersuíte G3, interpretada como produtos de desidratação regional tardia, entre 545 e 530 Ma (Gradim et al., 2014). Os esforços tectônicos laterais devido ao regime colisional associados aos gravitacionais promoveram o colapso gravitacional durante o período extensional, posterior à colisão, dando origem à Suíte G4 (*ca.* 530-500 Ma), composta essencialmente por granitos que em parte são correspondentes alóctones contemporâneos da Suíte G3.

Esse período de colapso é ainda marcado pela colocação dos corpos da Suíte G5, majoritariamente marcadas pela ausência de foliação regional, ocorre entre 525 e 480 Ma. Associado a esta fase, trabalhos recentes têm reconhecido um segundo evento metamórfico (M2), com pressões e temperaturas compatíveis com fácies granulito (De Campos *et al.* 2016, Richter *et al.* 2016; Melo *et al.* 2017a).

Na região meridional do orógeno, a partir de dados geocronológicos de zircão e monazita em paragnaisses, foram reconhecidas três fases tectono-termiais, sendo a primeira entre *c.* 620-590 Ma caracterizada pelo metamorfismo progressivo atingindo fácies granulito e relacionada ao estágio pré-colisional e cedo-colisional do domínio do arco Rio Doce, a segunda entre *c.* 590-540 Ma marcada por metamorfismo em fácies anfibolito nos estágios pré-colisional a tardi-colisional e uma terceira fase entre *c.* 540-480 cujo evento termal em fácies anfibolito relaciona-se ao estágio tardi-colisional com escape lateral em zonas de cisalhamento, bem como ao estágio pós-colisional associado ao colapso do orógeno (Degler et al., 2017 e referências).

Os estudos termobarométricos (

Tabela 3.3) e termocronológicos conduzidos em diferentes compartimentos (*e.g.*, Melo et al., 2017b; Mondou et al., 2012; Moraes et al., 2015; Munhá et al., 2005; Novo et al., 2015; Peixoto et al., 2015; Petitgirard et al., 2009; Queiroga et al., 2016; Richter et al., 2016;

Tedeschi et al., 2015) concordam na ocorrência de um padrão de alta temperatura e baixa pressão para o orógeno como um todo e manutenção de altas temperaturas por tempo prolongado. Considerando condições compatíveis a um gradiente geotérmico de 32-34 °C/km, o pico metamórfico registrado compatibiliza profundidades de 25 a 26,5 km. Estimativas relacionadas à paleoespessura do orógeno durante o estágio colisional propostas por Cavalcante et al. (2014) forneceu valores na ordem de 60 km.

Tabela 3.3 – Síntese dos dados termobarométricos para diferentes compartimentos do Orógeno Araçuai

Unidade	Pico metamórfico	Metamorfismo M2	Método	Referência
Formação Capelinha	500-620 °C 4,5-8,0 kbar	-	THERMOCALC Term. G-B Bar. GASP	Queiroga <i>et al.</i> 2016
Formação Palmital do Sul	590 °C 4,2 kbar	-	THERMOCALC Term. G-B Bar. GASP	Novo et al 2015
Carlos Chagas	800 °C 6,5 - 7,0 kbar	-	Termômetro Ti-in-quartz	Cavalcante <i>et al.</i> 2014
	790-820 °C 9,5-10,5 kbar	770 °C 6,6 kbar	Pseudoseção	Melo <i>et al.</i> 2017a
	823 ± 23 °C	785 ± 14 °C	Termômetro Ti-in-zircon	Melo <i>et al.</i> 2017b
Suíte G3	814 °C 5,0 kbar	-	THERMOCALC	(Pedrosa-Soares et al., 2011)
Gnaisses migmatíticos	820 ± 30 °C 6,5 ± 0,5 kbar	-	GASP GOSP grt+crd+sill+qtz	Munhá et al 2005
Complexo Jequitinhonha	850 °C 7,8 kbar	-	THERMOCALC GAPES	Moraes <i>et al.</i> 2015
Complexo Nova Venécia	750-850 °C 5,3-7,5 kbar	640-800°C 4,5-6,0 kbar	THERMOCALC	Richter <i>et al.</i> 2016

O mapa da Figura 3.7 ilustra a distribuição dos componentes do orógeno, trazendo de forma individualizada as suítes G1 a G5. O perfil esquemático ao longo do orógeno (Figura 3.8) permite a visualização das relações tectono-estratigráficas dos componentes, bem como uma estimativa dos graus metamórficos.

Figura 3.7 – Mapa geológico do orógeno Araçuaí (Pedrosa-Soares *et al.* 2007)

Figura 3.8 – Perfil de compartimentação geológica do orógeno Araçuaí.

Como forma de simplificar a visualização da relação temporal das unidades geotectônicas, a Figura 3.9 apresenta uma compilação dos dados geocronológicos e a relação temporal das idades nessas unidades.

Figura 3.9 – Evolução geocronológica dos compartimentos tectônicos de ocorrência próxima à área de estudo.

3.2. Conceitos de geotermobarometria

A compreensão sobre as condições de pressão e temperatura que terrenos metamórficos foram submetidos são essenciais para o entendimento da evolução geológica de faixas orogênicas. A termobarometria, em associação com estudos geocronológicos, tem por objetivo fornecer dados quantitativos a esses modelos de evolução.

Idealmente, esse tipo de investigação traz como resposta o registro das condições do pico metamórfico de uma determinada rocha, uma vez que suas associações minerais passam por constante equilíbrio durante o metamorfismo progressivo, com geração de fluido ou de fundido, mas pouco se modificam durante o retrometamorfismo. Tal efeito ocorre devido à perda desse fluido ou restos de fundido que potencialmente poderiam ter reagido com os minerais do pico, ao resfriar em direção ao *solidus* (Powell et al., 2005). Como consequência, uma associação mineral em equilíbrio se preserva quando o fluido é extraído da rocha em

condições de *subsolidus* (próximo do pico térmico) ou como restos de fundido cristalizado em rochas residuais em condições *suprasolidus* (Brown, 2014).

O metamorfismo progressivo e a evolução da trajetória P-T-t até o pico metamórfico de uma rocha encontram-se registrados em sua associação mineral, na química e variação composicional desses minerais e nas relações microestruturais entre essas fases minerais (Brown, 2014). A expressão que descreve a dependência entre as variáveis pressão (P), temperatura (T) e composição mineral (X) é dada segundo a equação:

$$\Delta G(P, T, X) = 0 = \Delta H + \int^T \Delta C_p dT + \int^P \Delta V dP - T \left[\Delta S(298,1) + \int^T \left(\frac{\Delta C_p}{T} \right) dT \right] + RT \ln K \quad (\text{eq. 1})$$

Onde:

ΔG = Energia livre de Gibbs

ΔH = Entalpia

ΔC_p = Capacidade calorífica

ΔV = Volume

ΔS = Entropia

K = Constante de equilíbrio termodinâmico

Em termos termodinâmicos, considerando que o estado de equilíbrio é representado por energia de Gibbs nula, a resolução da equação deve passar pela aquisição da constante K, posto que os valores de ΔH , ΔC_p , ΔV e ΔS estão disponíveis em tabelas padronizadas de termodinâmica ou são obtidos por calibração experimental (Prakash, 2007). Essa constante pode ser obtida a partir da razão entre as atividades (a) dos membros-finais dos reagentes e produtos de uma reação. Já a atividade do mineral, representante da concentração termodinamicamente efetiva (*i.e.*, variável que descreve o quão reativo um determinado membro-final é em uma composição mineral específica), associa-se com a abundância molar da fase. Em soluções sólidas, a atividade do membro-final e a composição da fase (a -X) podem ser dadas pela relação:

$$a_e^f = X_e^f \gamma_e^\alpha \quad (\text{eq. 2})$$

Onde:

a_e^f = Atividade do membro-final e na fase f

X_e^f = Proporção molar de e em f

γ_e = Coeficiente de atividade do membro-final e

α = Multiplicidade do sítio cristalográfico envolvido na substituição

As composições químicas de fases minerais específicas em equilíbrio podem ser medidas em microsonda eletrônica. O coeficiente de atividade é obtido com base em modelos de atividade e é dependente de pressão, temperatura e composição das fases envolvidas. A escolha apropriada das fases acarreta em modelos favoráveis de atividade e consequentemente de constantes de equilíbrios das reações entre os membros-finais desses minerais, permitindo o estabelecimento de valores consistentes de pressão e temperatura a qual a associação mineral foi formada ou quimicamente reequilibrada (*e.g.*, Powell et al., 2005).

Para os cálculos geotermobarométricos, observa-se a partir da equação de equilíbrio termodinâmico (eq. 1) que as reações com grandes variações de entalpia e entropia (variáveis dependentes da temperatura), mas pequenas no volume molar (termo sensível à pressão), são bons geotermômetros. No diagrama P-T, são representados por curvas de alta inclinação. As reações de troca (“*exchange reactions*”) se enquadram nessa categoria, na qual ocorre a substituição catiônica de elementos de tamanhos e cargas similares entre dois minerais, por exemplo na troca de Fe e Mg entre os minerais segundo a reação:

Por outro lado, reações com pequenas variações nos parâmetros dependentes de temperatura e significativa mudança no volume, com envolvimento apenas de fases sólidas, conferem geobarômetros ideais e são representados por curvas de pequena inclinação. As reações de transferência total (“*net transfer reaction*”) ocorrem com formação ou consumo fases sólidas de diferentes composições, podendo incorporar elementos típicos de fluídos (H, C), mas com conservação desses elementos nas fases sólidas, acarretando no não envolvimento de fases fluidas (H₂O, CO₂) como reagentes ou produtos. Um exemplo se dá pela geração de granada, aluminossilicato e quartzo a partir do consumo de plagioclásio:

Tendo em vista esses tipos de reação, os programas de cálculos termobarométricos que possuem um banco de dados internamente consistentes, como THERMOCALC (Holland and Powell, 1998), usam um conjunto mínimo de reações linearmente independentes que combina a atividade de todos os membros finais dos minerais que compõem uma rocha em um

determinado modelo de sistema químico. Tais reações são deslocadas dentro de suas barras de incertezas para que a combinação global defina uma elipse com incertezas mínimas (Powell and Holland, 1994).

3.3. Considerações sobre geocronologia de monazita em rochas metapelíticas

Em rochas de composição pelítica, a monazita pode ocorrer como mineral detrítico, sendo termodinamicamente instável entre a diagênese e a zona da estaurolita, condições em que ocorrem reações de seu consumo para a formação de outras fases ricas em ETR, como allanita ou apatita, voltando a ser cristalizada em grau mais elevado, com temperaturas a partir de 550 ou 650 °C (*e.g.*, Ferry, 2000; Kingsbury et al., 1993; Overstreet, 1967; Rasmussen and Muhling, 2007; Smith and Barreiro, 1990; Spear and Pyle, 2002; Suzuki et al., 1994; Wing et al., 2003).

A estrutura química de monazita fortemente condicionada pela disponibilidade de Y e ETR no sistema faz com que sua cristalização esteja invariavelmente relacionada a outras fases minerais que também podem incorporar esses mesmos elementos químicos (*e.g.* granada, allanita, apatita, xenotima). Existe uma série de reações químicas que possuem monazita como subproduto. Considerando ainda que algumas reações ocorrem em um intervalo restrito de temperatura e/ou pressão, a datação de monazita atua como uma vantajosa ferramenta para a elaboração de trajetórias P-T-t (Spear and Pyle, 2002). Os contextos de cristalização incluem:

- Preservação de monazita detrítica, indicando estágio diagenético ou de baixíssimo grau metamórfico (Parrish, 1990; Suzuki et al., 1994; Wing et al., 2003);
- Substituição de monazita detrítica por metamórfica durante metamorfismo regional progressivo (Rasmussen and Muhling, 2007);
- Consumo de xenotima a partir da reação (Pyle and Spear, 2003):

- Consumo de allanita e cristalização de monazita a aproximadamente 550°C (Corrie and Kohn, 2008; Kingsbury et al., 1993; Overstreet, 1967; Parrish, 1990; Smith and Barreiro, 1990; Wing et al., 2003);
- Consumo de granada próximo à isógrada da estaurolita segundo a reação (Kohn and Malloy, 2004; Pyle and Spear, 2003):

- Cristalização de sillimanita, segundo a reação $\text{Grt} + \text{Ms} + \text{Ap} = \text{Sill} + \text{Bt} + \text{Mnz}$ (Ferry, 2000; Wing et al., 2003);
- Reações que envolvem fusão parcial (Kohn and Malloy, 2004; Spear and Pyle, 2002);
- Processos hidrotermais (Townsend et al., 2000).

Nesse sentido, para que um dado geocronológico obtido a partir de monazita tenha significado geológico é necessário identificar os contextos texturais que envolvem sua formação e que possam ser alocadas no gráfico P-T (Gervais and Hynes, 2013). A datação *in situ* através de microsonda eletrônica permite que haja esse controle textural. Outra vantagem configura-se pela alta resolução espacial obtida por tal equipamento, condição necessária para a obtenção de dados em diferentes domínios composicionais, que normalmente se dão de forma complexa dentro do cristal e consequentes idades distintas (Montel et al., 1996).

Diferente da datação isotópica, na qual são quantificados a abundância dos isótopos de interesse, a medição via microsonda eletrônica permite a aplicação do método da isócrona química (*chemical Th-U total Pb isochron method* - CHIME), considerando a abundância natural dos elementos radioativos. A razão de proporção dos isótopos de ^{235}U e ^{238}U é igual 1:137,88 (Steiger and Jäger, 1977) e pode ser utilizada para determinação da idade (t), segundo a equação (Montel et al., 1996):

$$\text{Pb} = \frac{\text{Th}}{232} \times [\exp(\lambda^{232}t) - 1]208 + \frac{\text{U}}{238,04} 0,9928 \times [\exp(\lambda^{238}t) - 1]206 + \frac{\text{U}}{238,04} 0,0072 \times [\exp(\lambda^{235}t) - 1]207 \quad (\text{eq. 3})$$

Onde Pb, U, Th são concentrações em ppm medidas em microsonda e λ^{232} , λ^{235} e λ^{238} são as constantes de decaimento de ^{232}Th , ^{235}U e ^{238}U , respectivamente. Para que o valor calculado tenha significado geológico é necessário que a quantidade de Pb não-radiogênico seja negligenciável e que o sistema tenha permanecido fechado para os elementos U, Th e Pb (Montel et al., 1996).

Considerando que os valores de concentração dos elementos químicos em microsonda eletrônica são dados em peso de óxidos (ThO_2 , UO_2 e PbO), a equação 3 deve ser reescrita como (Suzuki and Kato, 2008):

$$\frac{\text{PbO}}{W_{\text{Pb}}} = \frac{\text{ThO}_2}{W_{\text{Th}}} \times [\exp(\lambda^{232}t) - 1] + \frac{\text{UO}_2}{W_{\text{U}}} \times \{[\exp(\lambda^{235}t) + 137,88 \times \exp(\lambda^{238}t)]/138,88 - 1\} \quad (\text{eq. 4})$$

Onde W simboliza o peso molecular de cada óxido. Para as fases minerais ricas em Th, a conversão de ThO₂ para ThO₂* é dada por:

$$ThO_2^* = ThO_2 + UO_2 \left(\frac{W_{Th}}{W_U} \right) \times \{ [exp(\lambda^{235}t) + 137,88 \times exp(\lambda^{238}t)] / 138,88 - 1 \} / [exp(\lambda^{232}t) - 1] \quad (eq. 5)$$

Utilizando-se da variação de Th e U dos diferentes domínios de uma única geração de monazita e considerando as premissas de Montel et al. (1996), os dados analíticos plotados em gráficos binários PbO vs. ThO₂* deverão fornecer pontos lineares segundo a equação da isócrona:

$$PbO = m \times ThO_2^* + b \quad (eq. 6)$$

Por fim, a estimativa da idade (T) a partir da inclinação (m) é dada pela equação:

$$T = \ln [m(W_{Th}/W_{Pb}) + 1/\lambda_{232}] \quad (eq. 7)$$

Ainda que o método de datação via microsonda eletrônica não forneça informações relacionadas à discordância isotópica no sistema Th-U-Pb, geralmente resultante da perda de Pb, contaminação e/ou metamictização, critérios químicos podem ser utilizados para inferir esses processos (Suzuki and Kato, 2008).

4. RESULTADOS

4.1. Caracterização da unidade mapeada

A região alvo de estudo insere-se em um intrincado arcabouço tectono-estrutural, com a colocação das rochas do embasamento em contato com a Formação São Tomé por meio de uma zona de cisalhamento em sua porção oriental e diversas intrusões de rochas ígneas, representadas principalmente pelo Tonalito São Vitor e Granito Santa Rosa, em suas porções central e ocidental. Ao longo de todos os perfis caracterizados, é notória a interação com corpos ígneos em escalas variadas, desde centimétricas até métricas, tanto discordantes quanto concordantes à foliação regional. Nesse sentido, o entendimento do metamorfismo das unidades metassedimentares deve considerar o grau de interação com esses corpos intrusivos.

Para tanto, foram realizados dois perfis principais na área de estudo, onde o pacote metassedimentar apresenta ampla distribuição espacial, com orientação E-W, ortogonais à

estruturação tectônica. Ainda que os litotipos sejam representativos de uma única unidade geológica e não possuem diferenças composicionais significativas, a distinção se faz necessária para a compreensão do grau metamórfico atuante na região, além de atuar como balizador da seleção de amostras para estudos geotermobarométricos.

Foram diferenciados cinco litotipos principais, agrupados conforme suas similaridades mineralógicas e estruturais: Granada-mica xisto, Estauroлита-granada-mica xisto, Sillimanita-estauroлита-granada-mica xisto, Sillimanita-granada-mica xisto e Sillimanita-mica xisto. Subordinadamente ocorrem intercalações de camadas centimétricas de rochas calcissilicáticas.

A tabela completa e o mapa com as estações de campo levantadas encontram-se no Anexo I.

4.1.1. *Granada-mica xisto*

As exposições desse litotipo ocorrem na parte norte da área de estudo. Com foliação evidenciada pela estrutura xistosa da rocha (Figura 4.1 a e b), é comum a ocorrência de intrusões graníticas centimétricas, com pouca continuidade lateral, concordantes a essa foliação (Figura 4.1 c) e bolsões sem padrão de forma com maior quantidade de minerais máficos, predominantemente biotita (Figura 4.1 d).

Figura 4.1 - Afloramentos do granada-mica xisto. (a) Foliação bem marcada pela orientação de mica. (b) Ocorrência de pseudomorfos de aglomerados de muscovita alinhados segundo a foliação principal. (c) Corpos intrusivos de rocha ígnea concordantes à foliação. (d) Bolsões com concentração de biotita discordantes à foliação.

Em petrografia, identificou-se biotita, muscovita, quartzo e plagioclásio como fases minerais principais. Os minerais acessórios incluem granada, apatita, zircão, monazita, turmalina e minerais opacos (provavelmente ilmenita). A estrutura xistosa é dada pela orientação de biotita e muscovita (Figura 4.2 a), enquanto que as porções granoblásticas são compostas predominantemente por quartzo, com plagioclásio subordinado.

Os porfiroblastos poiquiloblásticos de granada (Figura 4.2 b e c) possuem tamanhos máximos de 0,8 mm. As inclusões compreendem quartzo ameboide e minerais opacos distribuídos sem orientação preferencial evidente. O entorno da granada é geralmente marcado por menor quantidade de biotita em relação à matriz.

Dentre os minerais acessórios, destacam-se as ocorrências de apatita idiomórfica (Figura 4.2 d) e turmalina com forte zoneamento entre núcleo e borda. As ocorrências de monazita e zircão são evidentes quando inclusas em biotita, formando halos pleocroicos, mas ocorrem também inclusas em quartzo.

Figura 4.2 - Fotomicrografias de amostras do granada-mica xisto (a) Foliação bem marcada pela orientação de mica. (b) Porfiroblastos poiquiloblásticos a xenoblásticos de granada sobre foliação principal. (c) Detalhe para cristalização de cristal de granada com consumo de biotita. (d) Cristal de apatita idioblástico e monazita associada.

4.1.2. *Estaurolita-granada-mica xisto*

De ocorrência na porção sudoeste da área de estudo, o litotipo possui alternância entre lâminas xistosas e granoblásticas com diferentes granulações e por vezes de forma gradacional (Figura 4.3 a e b). A cristalização de granada está controlada por essa variação de níveis.

Figura 4.3 – Estrutura do estaurolita-granada-mica xisto (a) Foliação marcada pela orientação de mica com aparente gradação para níveis com menor quantidade de mica. (b) Fotomicrografia dos níveis gradacionais dado pela quantidade e granulação de mica. Notar nível inferior com porfiroblastos de granada.

O litotipo é formado por estaurolita + granada + muscovita + quartzo + biotita $\pm$ plagioclásio $\pm$ ilmenita e fases acessórias como turmalina, apatita, zircão e monazita. A interação com corpos ígneos de escalas variadas são recorrentes (Figura 4.4 a e b). Em locais restritos, nota-se concentração anômala de cristais de granada, concordante à foliação principal (Figura 4.4 c).

Figura 4.4 – Ocorrência do estaurolita-granada-mica xisto (a) Intrusões ígneas discordantes à foliação. (b) Intrusão de rocha ígnea com enclave, ou xenólito do xisto encaixante. (c) Concentração anômala de cristais de granada em nível paralelo à foliação.

A granada que compõe os xistos é majoritariamente porfiroblástica, com 1 a 1,5 mm de diâmetro. O crescimento dos cristais com pouca a nenhuma inclusão é dado em dois momentos, o primeiro inter-cinemático, cujas inclusões de quartzo e ilmenita marcam a foliação interna, retilínea e discordante à externa (Figura 4.5 a), e o segundo pós-cinemático, ausentes de inclusão, com bordas truncando a foliação externa (Figura 4.5 b).

Figura 4.5 – Microfotografais das formas de ocorrência de granada pertencente ao estaurolita-granada-mica xisto. (a) Granada inter a sin-cinemática. (b) Cristais pós-cinmáticos. (c) Biotita associada a borda de granada. (d) Detalhe para halos pleocroicos e borda de granada consumida por segunda geração de biotita. (e) Granada xenoblástica associada a biotita porfiroblástica. (f) Detalhe para pseudomorfo de biotita substituindo parcialmente granada. (g) Granada completamente substituída e alta densidade de halos pleocroicos.

A biotita porfiroblástica, relacionada a uma segunda geração distinta da que compõe a foliação, ocorre em bordas de granada, de forma oblíqua ou ortogonal à foliação principal (Figura 4.5 c). Nota-se ainda alta densidade de halos pleocroicos nos cristais mais próximos à granada, relacionados ao crescimento de monazita e consumo de granada, ocorrendo em locais específicos da biotita (Figura 4.5 d). Tal consumo é evidente quando biotita ocorre como pseudomorfos (Figura 4.5 e, f, g), conferindo textura xenoblástica à granada ou a substituindo completamente.

A estaurolita ocorre como porfiroblastos idioblásticos, com eixo maior de até 6 cm, que truncam a foliação externa (Figura 4.6 a) e são interpretados, portanto, como pós-cinemática. Podem apresentar ainda corona de muscovita (Figura 4.6 b). Localmente, em porções granoblásticas da rocha, ocorre com textura xenoblástica e possuem biotita associada a suas bordas (Figura 4.6 c).

Figura 4.6 – Forma de ocorrência de cristais de estaurolita no estaurolita-granada-mica xisto. (a) Porfiroblasto de estaurolita pós deformacional. (b) Porfiroblasto de estaurolita com corona de muscovita. (c) Fotomicrografia de estaurolita associada a biotita em porção granoblástica da rocha.

Pseudomorfos de muscovita substituindo estaurolita são tardi a pós-deformacional, dados seus cristais sem indícios de tensão deviatória (Figura 4.7). Inclusas na muscovita decussada, observa-se poucos cristais de biotita e granada. A borda desses pseudomorfos são compostos

por biotita intercrescida com muscovita em granulação levemente maior que os cristais da matriz. A existência desses indícios de substituição indicam percolação de fluido posterior ao metamorfismo de sua geração.

Figura 4.7 - Pseudomorfo porfiroblástico de muscovita decussada. (a) Aglomerado de cristais com crescimento posterior à foliação principal. (b) Amostra evidenciando parte da foliação flexionada. (c) Fotomicrografia da relação entre a foliação e o pseudomorfo. (d) Detalhe para cristais de muscovita, com granada e biotita subordinados. Notar bordas de granulação moderadamente maior que matriz.

Plagioclásio possui granulação fina e seus contatos com quartzo indicam alta taxa de recuperação e cristalização estática (Figura 4.8 a). Alguns cristais apresentam extinção concêntrica, sugerindo zoneamento composicional metamórfico (Figura 4.8 b). A geminação polissintética não ocorre de forma generalizada.

Figura 4.8 - Fotomicrografias de plagioclásio do estauroлита-granada-mica xisto (a) Cristal em contato poligonizado com quartzo. (b) Extinção concêntrica de cristal de plagioclásio.

Dentre as fases acessórias, a turmalina possui textura idioblástica, possui zonação composicional concêntrica e ocorre em porções específicas da rocha, normalmente associada à bioita e alinhados segundo a foliação (Figura 4.9 a), bem como os minerais opacos, provavelmente ilmenita (Figura 4.9 b) e apatita idioblástica (Figura 4.9 c). Cristais de zircão com continuidade ótica sugerem um único cristal que durante o metamorfismo participou de reações (Figura 4.9 d,e). Clorita retrometamórfica ocorre substituindo biotita, tanto a associada à borda de granada, quanto a que pertence à matriz (Figura 4.9 f, g).

Figura 4.9 – Fotomicrografias de texturas de fases minerais acessórias do estaurolita-granada-mica xisto. (a) Cristais de turmalina alinhados segundo a foliação. (b) Minerais opacos sobre foliação. (c) Cristal de apatita idioblástica sobrepondo foliação. (d), (e) Cristais de zircão em continuidade ótica sobrepondo a foliação. Notar halo pleocroico na biotita em contato. (f) Clorita substituindo biotita em borda de granada. (g) Cristalização de clorita em nível lepidoblástico.

4.1.3. *Sillimanita-estaurolita-granada-mica xisto*

De ocorrência restrita na porção central da área de estudo, a associação mineral do litotipo é composta por sillimanita + estaurolita + granada + muscovita + quartzo + biotita $\pm$ plagioclásio $\pm$ ilmenita. As fases acessórias incluem monazita, minerais opacos e pouco zircão. Xenotima foi identificada apenas em microscópio eletrônico.

A granada é porfiroblástica poiquiblastica, com 3 a 4 mm de diâmetro, e possuem suas bordas corroídas. Os cristais são pré a sin-cinemáticos e possuem biotita lepidoblástica e aglomerado de quartzo equigranular associadas a suas sombras de pressão, levemente assimétrica. As inclusões incluem quartzo e ilmenita que marcam uma foliação interna levemente ondulada com tendência a se paralelizar com a foliação externa (Figura 4.10 a e b). Ressalta-se ainda a ocorrência de inclusões de fases acessórias, principalmente monazita.

A estaurolita ocorre com textura poiquiblastica, por vezes xenoblástica, e tem sua geração interpretada como inter-cinemática. As inclusões compreendem quartzo e ilmenita e sugerem uma foliação interna oblíqua à externa. Os níveis lepidoblásticos se amoldam

parcialmente e formam sombras de pressão assimétricas, evidenciando sua rotação (Figura 4.10 c). A substituição de estaurólita por muscovita e biotita é evidente nesse litotipo.

Figura 4.10 – Fotomicrografias do sillimanita-estaurólita-granada-mica xisto. (a) Seção delgada da rocha com porfiroblastos de granada e estaurólita evidentes. (b) Detalhe para porfiroblasto de granada. (c) Estaurólita xenoblástica. (d) Porções com intercrescimento de fibrolita e biotita. (e) Detalhe para intercrescimento de fibrolita e biotita (polarizadores cruzados).

Sillimanita ocorre como aglomerado de fibrolita alongado paralelo à foliação principal. Apresenta-se intercrescida com biotita e aparentemente é cristalizada em níveis específicos, não ocorrendo homogeneamente pelas lâminas (Figura 4.10 d,e).

4.1.4. *Sillimanita-granada-mica xisto*

Litotipo com grande quantidade de corpos ígneos intrusivos, possui mineralogia composta por sillimanita + granada + muscovita + quartzo + biotita + plagioclásio + ilmenita. Como acessórios, foram observados apatita, minerais opacos, monazita e zircão. Assim como no estauroлита-sillimanita-granada-mica xisto, xenotima foi identificada apenas em microscópio eletrônico. A interação com os corpos ígneos se dá de forma concordante (Figura 4.11 a), dobrados (Figura 4.11 b) ou discordantes (Figura 4.11 c).

Figura 4.11 – Forma de afloramento do sillimanita-granada-mica xisto. (a) Intrusão granítica concordante à foliação subvertical. (b) Xisto com intrusões concordante à foliação e dobramento associado. (c) Intrusão ígnea discordante à foliação.

A granada nesse litotipo ocorre como cristais xenoblásticos, rotacionados (Figura 4.12 a) ou levemente alongados segundo a foliação principal (Figura 4.12 b). Possui inclusões de quartzo sem orientação evidente e é interpretada como pré a cedo-cinemática. Os cristais apresentam-se parcial ou totalmente substituídos por biotita (Figura 4.12 c).

Figura 4.12 – Fotomicrografias do sillimanita-granada-mica xisto (a) Granada poiquiloblástica rotacionada pré a sin-cinemática. (b) Cristal de granada xenoblástico. (c) Substituição total de granada por biotita.

A sillimanita pertencente a esse litotipo forma aglomerados que se alinham segundo a foliação principal e podem formar coronas em cristais de ilmenita (Figura 4.13 a), mas podem ocorrer sem orientação definida (Figura 4.13 b). Nota-se nesse litotipo a recorrência de crescimento de placas de muscovita sem orientação sobre esses aglomerados e a menor quantidade relativa de biotita (Figura 4.13 c,d).

A muscovita pode ocorrer ainda com textura porfiroblástica, pós-cinemática (Figura 4.13e), atingindo tamanhos máximos de 2,0 mm em seu eixo maior.

Figura 4.13 – Fotomicrografias do sillimanita-granada-mica xisto. (a) Fibrolita paralela à foliação com inclusão de ilmenita. (b) Fibrolita sem orientação preferencial de crescimento. (c), (d) Substituição de fibrolita por muscovita (polarizadores descruzados e cruzados). (e) Porfiroblasto de muscovita pós-cinemático.

4.1.5. *Sillimanita-mica xisto*

Representante das condições mais elevadas do metamorfismo na área de estudo, o litotipo possui maior resistência ao intemperismo comparado aos demais xistos. Possui foliação penetrativa evidente (Figura 4.14 a) e também dispõe de intrusões graníticas de variados tamanhos (Figura 4.14 b). Sua composição mineralógica é caracterizada pela associação sillimanita + quartzo + biotita + muscovita. As fases acessórias incluem apatita, turmalina, monazita e zircão.

Figura 4.14 – Afloramentos do sillimanita-mica xisto. (a) Afloramento em córrego com foliação subvertical. (b) Intrusões ígneas concordantes à foliação principal.

A sillimanita ocorre na forma de fibrolita em forma de agregados monominerálicos ou intercrescida com biotita, formando lâminas lenticulares ou sigmoides (Figura 4.15 a, b). O agregado pode formar “paralelogramos” com textura da inclusão semelhante à da matriz (Figura 4.15 c), com exceção à maior densidade de halos pleocroicos na biotita associada a essa textura (Figura 4.15 d). Em um terceiro contexto textural, a sillimanita nesse litotipo também é verificada em sua variedade prismática (Figura 4.15 e).

A biotita e muscovita aparentam possuir duas gerações, uma concordante à foliação e outra porfiroblástica discordante. A muscovita porfiroblástica é comumente observada associada à sillimanita (Figura 4.16 a, b), mas pode ocorrer substituindo antigos porfiroblastos idioblásticos (Figura 4.16 c, d) e com textura poiquiloblástica quando cristalizada por cima de biotita (Figura 4.16 e).

Localmente, observa-se em plagioclásio, texturas vermiformes sugerindo mirmequitas (Figura 4.16 f). Apatita parece ocorrer de forma intersticial (Figura 4.16 g).

Figura 4.15 – Fotomicrografias do sillimanita-mica xisto. (a) Agregado lenticular sigmoidal de fibrolita (polarizadores descruzados). (b) Mesmo agregado a polarizadores cruzados, indicando núcleo composto por mineral isotrópico (provável granada). (c) Textura de fibrolita e halos pleocroicos associados. (d) Detalhe para textura em formato de “paralelogramo”. (e) Sillimanita prismática parcialmente incluída em biotita.

Figura 4.16 – Fotomicrografias do sillimanita-mica xisto. (a), (b) Cristal muscovita porfiroblástico associado a aglomerado de sillimanita+biotita (polarizadores descruzados e cruzados). (c), (d) Pseudomorfo de sillimanita e muscovita. Notar contato irregular entre essas duas fases minerais (polarizadores descruzados e cruzados). (e) Porfiroblasto poiquiloblástico de muscovita com inclusão de fibrolita e cristalização sobre biotita. (f) Textura mirmequítica, de ocorrência restrita. (g) Apatita intercrescida com biotita.

4.1.6. Rochas calcissilicáticas

As rochas calcissilicáticas ocorrem de forma subordinada aos xistos e formam camadas centimétricas concordantes à foliação principal (Figura 4.17 a, b). A foliação nesse litotipo é evidente pelos níveis de diferentes composições (Figura 4.17 c), mas também ocorre com estrutura maciça (Figura 4.17 d). Apresenta composição mineralógica que inclui, além de quartzo e plagioclásio, proporções diversas de anfibólio, diopsídio, granada, epidoto/zoisita, feldspato potássico, titanita, apatita, alanita e opacos.

Figura 4.17 – Fotografias da rocha calcissilicática. (a) Intercalação do litotipo com o metapelite predominante. (b) Detalhe para a foliação e provável acamamento sedimentar preservado. (c) Amostra com foliação evidente. (d) Amostra sem foliação evidente.

A estrutura foliada da rocha não se apresenta de maneira óbvia em petrografia (Figura 4.18 a), sendo reconhecida pelo alinhamento geral dos cristais de hornblenda, embora também ocorram cristais desorientados.

Epídoto e zoisita possuem textura xenoblástica (Figura 4.18 b, c) e sua cristalização está geralmente associada a cristais de hornblenda.

O plagioclásio possui textura granoblástica e frequentemente apresenta extinção concêntrica, sugerindo zoneamento químico. O feldspato potássico também possui textura granoblástica (Figura 4.18 d, e).

Figura 4.18 – Fotomicrografias da rocha calcissilicática. (a) Amostra levemente orientada dada a textura nematoblástica do anfibólio. (b), (c) Aspecto geral da textura ameboide de epidoto e zoisita em meio a cristais de quartzo (Polarizadores descruzados e cruzados). (d), (e) Cristais de hornblenda e diopsídio em meio a cristais de plagioclásio e feldspato potássico (Polarizadores descruzados e cruzados).

A granada ocorre normalmente como porfiroblastos de 1 a 2 mm de diâmetro, subédrica com bordas parcialmente corroída (Figura 4.19 a). Apresentam zonação microestrutural interna, com reconhecimento de ao menos duas fases de crescimento. A primeira fase caracteriza-se por núcleos poiquiloblásticos, ricos em inclusões de quartzo, sem orientação evidente. A segunda, livre de inclusão forma uma borda pouco espessa envolvendo parcialmente o núcleo, tornando-os euédricos. Alguns cristais que podem ter até 0,1 mm tornam mais evidente a segunda geração livre de inclusões (Figura 4.19 b). Ressalta-O sobrecrecimento de granada livre de inclusão é evidente nas rochas calcissilicáticas, mas não nos xistos.

Hornblenda ocorre com textura poiquiloblástica e xenoblástica (Figura 4.19 a), com inclusões que compreendem quartzo e fases acessórias como apatita e zircão (Figura 4.19 c). Em locais específicos apresentam bordas com pleocroísmo fraco a ausente, sugerindo cristalização de actinolita, associados a mudanças químicas na rocha. Titanita geralmente corre com textura idiomórfica, cristalizando sobre outras fases minerais.

Figura 4.19 – Fotomicrografias de minerais da rocha calcissilicática. (a) Textura poiquiloblástica de hornblenda e granada. (b) Detalhe para cristal de granada com duas fases de cristalização. (c) Cristal de zircão inclusa em hornblenda, formando halos pleocroicos.

4.1.7. *Geologia estrutural*

A trama tectônica regional é marcada por foliação com direção geral N-S, com mergulhos acentuados. Em escala de afloramento, na área de estudo são reconhecidas duas gerações de foliações. A foliação S_1 é diagnosticada pelo bandamento composicional das rochas metapelíticas enquanto que a foliação principal S_2 desenvolve-se paralela aos planos axiais de dobras D_2 abertas a isoclinais (Figuras 4.20 a, b e c). Localmente, associada a essa fase de dobramento, são observadas dobras em chevron, em afloramentos específicos onde as camadas possuem competências contrastantes (Figura 4.20 d). A foliação regional S_2 geralmente se mostra anastomosada e apresenta crenulação relacionada a uma fase deformacional D_3 .

A movimentação com transporte principal para leste é evidenciada pela rotação de porfiroblastos de granada (Figura 4.21 a). A ocorrência de um componente de cisalhamento puro é evidenciada pela boudinagem imposta nas rochas calcissilicáticas (Figura 4.21 b), e a componente de cisalhamento simples é ilustrada por fendas de tração (Figura 4.21 c).

Em descrições petrográficas, a foliação caracteriza-se pela orientação de biotita e muscovita, paralelo ao bandamento composicional. Os níveis granoblásticos apresentam evidências de recristalização estática, sendo observados grãos de quartzo com alta taxa de recuperação, sem deformação intracristalina e sem geração de subgrão de forma generalizada (Figura 4.22 a, b). Os contatos poligonizados podem ser observados tanto nas rochas metapelíticas como nas calcissilicáticas (Figura 4.22 c). A crenulação não é penetrativa, ocorrendo em porções mais ricas em muscovita (Figura 4.22 d).

A definição de fases deformacionais e relação temporal de geração de foliação pode ser traçada a partir das relações texturais dos porfiroblastos de granada, que evidenciam pelo menos duas gerações de foliação (Figura 4.22 e). As inclusões de quartzo e opacos que apresentam alinhamento retilíneo sugerem uma primeira fase de deformação e geração da foliação S_1 , enquanto que a foliação principal S_2 que envolve esses porfiroblastos é marcado pelo alinhamento de biotita, muscovita e quartzo, principalmente.

Figura 4.20 – Dobras associadas à geração da foliação S₂. (a) Distinção da foliação S₁ dada por diferenças composicionais dobradas e posterior S₂ plano axial. (b) Intrusões graníticas dobradas. (c) Charneira de dobra com geração de foliação S₂ subvertical. (d) Dobras em chevron.

Figura 4.21 – Fotografias de estruturas observadas na área de estudo. (a) Porfiroblasto rotacionado de granada. (b) *Boundins* de rocha calcissilicática. (c) Fendas de tração preenchidas por quartzo.

Figura 4.22 – Microfotografias de estruturas observadas. (a), (b) Porção granolepidoblástica da rocha metapelítica com contatos poligonizados dos cristais de quartzo. Notar a presença de cristais alongados segundo a foliação (polarizadores descruzados e cruzados). (c) Contatos poligonizados de quartzo em rocha calcissilicática. (d) Ocorrência de crenulação não penetrativa. (e) Foliação interna S_1 oblíqua à externa S_2 observada em porfiroblasto de granada.

A partir dos dados estruturais analisados com auxílio de estereograma para foliação (Figura 4.23 a) e lineação (Figura 4.23 b), observa-se que as rochas metassedimentares na área de estudo possuem vergência para NE, dada a concentração de polos de foliação neste quadrante associadas a uma concentração de lineação *down-dip* no quadrante SW. Um segundo grupo de lineação com caimento subhorizontal de eixo e orientação NW-SE sugere transcorrência.

Figura 4.23 – Dados estruturais projetados em diagramas de Schmidt-Lambert, semi-esfera inferior. (a) Polos de foliação indicando vergência para NE. (b) Lineação com caimento principal para NW.

4.1.8. Síntese das relações texturais

Os metapelitos descritos possuem composições químicas semelhantes, dadas as fases minerais presentes. A partir do estabelecimento dos eventos deformacionais e descrições texturais é possível organizar a ordem de cristalização mineral.

Relacionadas à primeira fase de deformação e geração da foliação S_1 , é possível identificar apenas quartzo e ilmenita, considerando que ocorrem de forma inclusa e orientada em cristais de granada com S_i oblíqua a S_e . Essa textura indica ainda que granada ocorre de em fase intercinemática e é denominada como de primeira geração.

A segunda fase deformacional é marcada pela foliação principal S_2 , com cristalização de biotita e muscovita, além dos minerais índices estauroлита, sillimanita e granada. A primeira geração de estauroлита e segunda de granada ocorrem como porfiroblastos poiquiloblásticos

rotacionados com foliação interna levemente curvilínea, enquanto que sillimanita ocorre como aglomerado de fibrolita paralelo à foliação ou formando sigmoides. Essas texturas permitem posicionar esses minerais como pré- a sin-cinemáticos a S_2 .

As fases minerais reconhecidas como pós- S_2 incluem botita e muscovita com texturas porfiroblásticas, decussadas ou como pseudomorfos. A segunda geração de estauroлита e terceira de granada é diagnosticada pelo crescimento de profiroblastos sobre a foliação.

Dentre as fases minerais acessórias, é possível posicionar a turmalina e apatita como pós-deformacionais, considerando que ocorrem com textura idiomórfica. A ocorrência de monazita inclusa em granada sin-cinemática permite inferir que pelo menos uma geração desse mineral é anterior à deformação principal, enquanto que a monazita na matriz pode ser representante sin- ou pós- S_2 .

A partir das descrições de campo, petrográficas e da definição das fases deformacionais, a Tabela 4.1 apresenta o quadro de blastese com a ordem de cristalização das fases minerais presentes nas rochas da Formação São Tomé.

A Figura 4.25 ilustra as foliações obtidas para a área de estudo, sobre o mapa base da CPRM (2000) e o perfil geológico esquemático elaborado no presente estudo.

Tabela 4.1 – Síntese das características texturais e fases deformacionais das rochas da Formação São Tomé

Fase mineral	Tamanho	Fase de cristalização		Características principais
		S1	S2	
Quartzo	~ 0,2 mm	-----	-----	Granoblástica Simplectitos
Plagioclásio	~ 0,2 mm	-----	-----	Granoblástica
Biotita	~ 0,4 mm		-----	Lepidoblástica; Porfiroblástica
Muscovita	~ 0,2 mm		-----	Lepidoblástica; Porfiroblástica
Granada	Até 6 mm	-----	-----	Porfiroblástica; Poiquiloblástica; Xenoblástica
Estaurolita	Até 6 cm	-----	-----	Porfiroblástica; Poiquiloblástica
Sillimanita	-		-----	Fibrosa; Prismática; Alinhada segundo S ₂
Ilmenita	~ 0,1 mm	-----	-----	Alinhado segundo S ₂
Apatita	~ 0,1 mm		-----	Idioblástica; Xenoblástica
Monazita	-		-----	Inclusa em biotita
Zircão	-	-----	-----	Inclusa em biotita
Turmalina	Até 0,2 mm		-----	Idioblástica

Figura 4.24 – Mapa geológico base (CPRM 2001) e perfil interpretativo da área de estudo

4.2. Análises de composição química mineral

Baseado em critérios petrográficos, foram selecionadas três amostras de seções delgadas polidas para obtenção das composições químicas de fases minerais de interesse: Uma representante do estauroлита-granada-mica xisto (MM-24), um do sillimanita-estauroлита-granada mica xisto (MM-21) e um do sillimanita-granada-mica xisto (MM-34). A distribuição geográfica das amostras pode ser visualizada na Figura 4.25.

Figura 4.25 – Amostras selecionadas para estudo termobarométrico

As análises foram conduzidas em granada, estauroлита, biotita, muscovita e plagioclásio, realizadas por meio da microsonda eletrônica da marca JEOL, modelo JXA-8230 do Laboratório de Microanálises da Universidade Federal de Ouro Preto. As condições foram estabelecidas em 15 kV, 20 nA e feixe de 5 μ m. Os elementos analisados são Si, Ti, Al, Cr, Fe, Mn, Mg, Ba, Na, K, Sr, F e Cl. A contagem de pico e *background* foi de 10s e 5s, respectivamente, para todos os elementos, exceto para Cl, que foram usados os tempos respectivos de 30s e 15s. O conteúdo total de ferro foi obtido como FeO. As incertezas analíticas ficaram entre 0,2 e 1,7%. A Tabela 4.2 sumariza as principais características das análises. Os resultados completos das análises são apresentados no Anexo II.

Tabela 4.2 – Condições operacionais para as análises em microsonda eletrônica

Elemento	Espectrômetro	Cristal	Padrão
Na (K α)	1	TAPH	anortoclásio
F (K α)	1	TAPH	CaF ₂
Si (K α)	2	TAP	quartzo
Al (K α)	2	TAP	coríndon
Mg (K α)	2	TAP	olivina
Ba (L α)	3	PETH	BaSO ₄
Fe (K α)	3	LIFH	magnetita
Cl (K α)	3	PETH	escapolita (meionita)
Cr (K α)	3	LIFH	Ccomita
Sr (L α)	4	PETJ	Eetrocianita
Ti (K α)	5	PETL	rutilo
Ca (K α)	5	PETL	fluorapatita
K (K α)	5	PETL	microclínio
Mn (K α)	5	LIFL	MnO ₂

Os pontos de análises das fases minerais com interesse termobarométrico foram alocados conforme seus contextos texturais, sintetizados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Número de análises conduzidas nas amostras de interesse

Fase mineral	Contexto textural	MM-24	MM-21	MM-34
Granada	Porfiroblástica livre de inclusão	-	6 cristais (45 pontos)	-
	Porfiroblástica poiquiloblástica	2 cristais (17 pontos)	1 cristal (14 pontos)	-
	Xenoblástico	-	-	4 cristais (47 pontos)
Estauroлита	Poiquiloblástica	3 cristais (22 pontos)	-	-
	Xenoblástica	-	1 cristal (7 pontos)	-
Biotita	Bandas lepidoblásticas	3 cristais (16 pontos)	4 cristais (20 pontos)	1 cristal (9 pontos)
	Porfiroblástica (Borda de granada)	3 cristais (28 pontos)	1 cristal (8 pontos)	4 cristais (30 pontos)
Muscovita	Bandas lepidoblásticas	2 cristais (8 pontos)	5 cristais (23 pontos)	2 cristais (17 pontos)
Plagioclásio	Bandas granoblásticas	2 cristais (18 pontos)	3 cristais (28 pontos)	3 cristais (14 pontos)

4.2.1. Granada

Pertencente à classe dos nesossilicatos, o grupo da granada compreende uma série de espécies com ampla ocorrência em rochas metamórficas, é constituinte acessório em alguns tipos de rochas ígneas e ainda pode ocorrer de forma detrítica (Deer et al., 1992). Em sistemas naturais, a extensa variedade de soluções sólidas da granada permite que sua composição química possa ser expressa em termos das proporções molares de membros-finais (Locock, 2008). A fórmula estrutural geral do grupo é representada por:

Onde:

X = Ca, Mg, Fe²⁺, Mn²⁺ (Y), em coordenação cúbica

Y = Al, Fe³⁺, Cr³⁺ (Mg, Si, Sc, Ti, V, Mn³⁺, Fe²⁺, Fe³⁺, Zr, Sn), em coordenação octaédrica

Z = Si, Al (Fe³⁺), em coordenação tetraédrica

Nos casos em que o sítio Y é ocupado basicamente por Al, em normalização para 12 oxigênios e 8 cátions as composições dos membros finais são representadas por piropo (Mg₃Al₂Si₃O₁₂), almandina (Fe₃Al₂Si₃O₁₂), espessartita (Mn₃Al₂Si₃O₁₂) e grossulária (Ca₃Al₂Si₃O₁₂), e nos casos de ocupação do sítio Y variada e sítio X por Ca, as composições incluem andradita (Ca₃Fe₂Si₃O₁₂) e uvarovita (Ca₃Cr₂Si₃O₁₂). Os cálculos das frações molares dos membros finais principais são dados pelas relações:

Piropo (prp): $(Mg/[Mg+Fe^{2+}+Mn+Ca]) \times 100$

Almandina (alm): $(Fe^{2+}/[Mg+Fe^{2+}+Mn+Ca]) \times 100$

Espessartita (sps): $(Mn/[Mg+Fe^{2+}+Mn+Ca]) \times 100$

Grossulária (grs): $(Ca/[Mg+Fe^{2+}+Mn+Ca]) \times 100$

Andradita (adr): $(Fe^{3+}/[Fe^{3+}+Al+Cr]) \times 100$

Uvarovita (uva): $(Cr/[Fe^{3+}+Al+Cr]) \times 100$

Nas rochas da Formação São Tomé, a granada ocorre como porfiroblastos com pouca ou nenhuma inclusão na amostra MM-24, como porfiroblastos poiquiloblásticos na MM-21 e de forma hipidioblástica na MM-34. A Tabela 4.4 apresenta as fórmulas estruturais dos cristais de granada e as proporções dos membros finais para cada amostra, distinguindo borda e

núcleo, baseada em observações petrográficas. As fórmulas estruturais foram calculadas com base em 12 oxigênios e 8 cátions. Os valores são dados em átomos por fórmula unitária (a.p.f.u.).

Tabela 4.4 – Fórmulas estruturais de granada das amostras analisadas

Amostra	Fórmula estrutural aproximada (intervalo) e proporções moleculares médias				
MM 24	Borda	$\text{Fe}^{2+}_{1,99-2,23}, \text{Mg}_{0,34-0,45}, \text{Mn}_{0,26-0,48}, \text{Ca}_{0,08-0,12}$	$\text{Cr}^{3+}_{0-0,07}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,19}, \text{Al}_{1,90-2,00}$	$\text{Al}_{0-0,07}, \text{Si}_{2,93-3,03}$	O_{12}
		(Alm ₇₂ Prp ₁₃ Sps ₁₁ Grs ₂)			
	Núcleo	$\text{Fe}^{2+}_{2,01-2,15}, \text{Mg}_{0,37-0,43}, \text{Mn}_{0,31-0,53}, \text{Ca}_{0,10-0,12}$	$\text{Cr}^{3+}_{0-0,05}, \text{Fe}^{3+}_{0-0,11}, \text{Al}_{1,93-1,99}$	$\text{Al}_{0-0,04}, \text{Si}_{2,96-3,01}$	O_{12}
		(Alm ₇₀ Prp ₁₃ Sps ₁₃ Grs ₂)			
MM 21	Borda	$\text{Fe}^{2+}_{2,05-2,20}, \text{Mg}_{0,39-0,44}, \text{Mn}_{0,30-0,46}, \text{Ca}_{0,05-0,07}$	$\text{Cr}^{3+}_{0-0,03}, \text{Fe}^{3+}_{0,04-0,12}, \text{Al}_{1,92-1,97}$	$\text{Al}_{0,01-0,04}, \text{Si}_{2,96-2,99}$	O_{12}
		(Alm ₇₂ Prp ₁₄ Sps ₁₂ Grs ₀)			
	Núcleo	$\text{Fe}^{2+}_{2,03-2,13}, \text{Mg}_{0,37-0,44}, \text{Mn}_{0,33-0,50}, \text{Ca}_{0,06-0,08}$	$\text{Cr}^{3+}_{0-0,02}, \text{Fe}^{3+}_{0,05-0,14}, \text{Al}_{1,91-1,97}$	$\text{Al}_{0,01-0,05}, \text{Si}_{2,95-2,99}$	O_{12}
		(Alm ₇₀ Prp ₁₄ Sps ₁₃ Grs ₀)			
MM 34		$\text{Fe}^{2+}_{1,85-1,97}, \text{Mg}_{0,29-0,38}, \text{Mn}_{0,58-0,74}, \text{Ca}_{0,05-0,09}$	$\text{Cr}^{3+}_{0-0,04}, \text{Fe}^{3+}_{0,03-0,13}, \text{Al}_{1,91-1,98}$	$\text{Al}_{0-0,05}, \text{Si}_{2,95-3,02}$	O_{12}
		(Alm ₆₄ Prp ₁₁ Sps ₂₂ Grs ₀)			

Amostra MM-24

A granada que compõe os xistos da amostra MM-24 é porfiroblástica, com 1 a 1,5 mm de diâmetro. O crescimento dos cristais com pouca a nenhuma inclusão é dado em dois momentos, o primeiro intercinemático, cujas inclusões de quartzo e ilmenita marcam a foliação interna retilínea (S₁) discordante à externa (S₂), e o segundo pós-S₂, ausentes de inclusão, com bordas truncando a foliação externa e biotita porfiroblástica associadas às suas bordas, oblíquas ou ortogonais à foliação principal (S₂).

A variação composicional indica zonação química simétrica, com mudanças entre núcleo e borda evidentes pelo aumento de Fe e redução de Mn em direção às bordas. Menos notório são as variações de Mg e Ca, sem padrão definido entre os cristais (Figura 4.26). A composição média de alm₇₀prp₁₃sps₁₃grs₂ no núcleo varia para alm₇₂prp₁₃sps₁₁grs₂ nas bordas. As amostras que apresentam núcleos ricos em Mn com empobrecimento nas bordas indicam mudanças nas condições de temperatura mais baixa para mais elevada e são diagnósticas de metamorfismo progressivo. Como Mn é preferencialmente incorporado em granada em relação à maioria dos outros minerais, ocorre consumo desses cátions, diminuindo a oferta para seu próprio crescimento subsequente. Os valores de X_{Mg} (Mg/Mg+Fe) da amostra variam entre 0,14 e 0,17 (Figura 4.26). O mapa composicional qualitativo confeccionado para um cristal da amostra evidencia o zoneamento concêntrico, especialmente pela variação de Mn (Figura 4.27).

Campo 5

Campo 12

Campo 16

Campo 18

Figura 4.26 – Perfis composicionais de porfiroblastos de granada da amostra MM-24

Campo 17

Figura 4.27 – Perfil e mapa composicional qualitativo de porfiroblasto de granada da amostra MM-24

Em menor quantidade, a granada porfiroblástica poiquiloblástica é interpretada como sin a tardi- S_2 , com inclusões de quartzo e ilmenita paralelos à foliação externa. Sua variação composicional é evidente apenas com o aumento de Fe em direção às bordas, ocorrendo de forma relativamente homogênea para Mg e Mn (Figura 4.28). O cristal analisado apresenta composição $\text{alm}_{72}\text{prp}_{14}\text{sps}_{10}\text{grs}_0$, evidenciando alta proporção de andradita, e possui razão X_{Mg} entre 0,14 e 0,16.

Campo 8

Figura 4.28 – Perfil composicional para granada poiquiloblástica da amostra MM-24

Amostra MM-21

A granada da amostra MM-21 é porfiroblástica poiquiloblástica, com 3 a 4 mm de diâmetro. Os cristais são pré a sin-cinâmáticos S_2 e possuem biotita lepidoblástica e quartzo associados à suas sombras de pressão. As inclusões incluem quartzo, ilmenita e fases acessórias e marcam foliação interna levemente ondulada com tendência a se paralelizar com a foliação externa.

A variação composicional indica zoneamento químico simétrico, com mudanças entre núcleo e borda evidentes pelo aumento de Fe e Mg e redução de Mn em direção às extremidades (Figuras 4.29 e 4.30). A composição média de $\text{alm}_{70}\text{prp}_{14}\text{sps}_{13}\text{grs}_0$ no núcleo varia para $\text{alm}_{72}\text{prp}_{14}\text{sps}_{12}\text{grs}_0$ nas bordas e os valores de X_{Mg} estão entre 0,15 e 0,17.

O mapa composicional qualitativo da Figura 4.29 permite a visualização da simetria da variação composicional de Fe e Mn. Notam-se ainda os pontos de alto teor de Ca, provavelmente associados às fases minerais acessórias inclusas.

Figura 4.29 – Perfil e mapa composicional qualitativo para granada da amostra MM-24, campo 4. O aumento de Fe em algumas bordas está relacionado com alteração para limonita.

Campo1

Figura 4.30 – Perfil composicional para granada da amostra MM-24, campo 1.

Amostra MM-34

A granada dessa amostra apresenta cristais xenoblásticos, alongados segundo a foliação principal. Possui inclusões de quartzo sem orientação evidente e é interpretada como pré- a cedo-cinemática S_2 . Os cristais apresentam-se parcialmente substituídos por biotita.

A distribuição química ao longo dos cristais indica conteúdos de Fe, Mg e Mn homogêneos (Figura 4.31). A quantidade de almandina na amostra é menor e de esperssatita maior em relação aos cristais das amostras MM-24 e MM-21. Sua proporção molecular média é $\text{alm}_{64}\text{prp}_{11}\text{sps}_{22}\text{grs}_0$ e dado seu contexto textural não é possível distinguir borda e núcleo. A razão X_{Mg} varia entre 0,13 e 0,16.

Campo 1

Campo 3

Campo 6

Campo 8

Figura 4.31 –Pontos analisados em microsonda eletrônica para a amostra MM-34

Na comparação das três amostras em gráficos binários é possível observar composições químicas semelhantes entre as amostras MM-21 e MM-24 e composição relativamente empobrecida de Fe e enriquecida de Mn para a MM-34 (Figura 4.32).

Figura 4.32 –Diagramas binários Mg vs. Fe e Mn vs. Fe. Valores em a.p.f.u.

4.2.2. *Estauroлита*

A estauroлита pertence à classe dos ortossilicatos e é formada durante o metamorfismo de médio grau de rochas ricas em alumínio. Devido a sua estabilidade restrita no campo P-T, é utilizada como mineral índice. Idealmente, é composta por FeO 16,9%, Al₂O₃ 53,9%, SiO₂ 28,2% e H₂O 1,6%. Entretanto, ainda que apresente variação composicional restrita, Fe²⁺ pode ser substituídos por pequenas quantidades de Zn, Li, Co, Mg, Al e vacâncias (Klein and Dutrow, 2012). Em termos estruturais, é baseada em tetraedros de Si-O e Fe-O e octaedros de Al-O em arranjo cúbico (Deer et al., 1992). Esses arranjos formam planos de cianita (Al₂SiO₅) alternados por camadas Fe-Al-óxido-hidróxido – Al_{0,7}Fe₂O₂(OH)₂ (Hawthorne, 1993). Sua fórmula geral é representada por:

Onde:

T(1) = Al e Si

T(2) = Fe, Zn, Li, Co, Mg, Al, $\Box$, (Mn)

M(1), M(2) e M(3) = Metais de transição (predominantemente ocupado por Al)

M(4) = Fe (+ $\Box$)

$\Box$ = Vacância

Os cálculos foram feitos com base anidra e contendo 46,5 oxigênios, considerando a não determinação de concentrações de H ou Li, assumindo-se então valor de 3 a.p.fu. de H (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 – Fórmulas estruturais de estaurolita das amostras analisadas

Amostra	Fórmula estrutural aproximada (intervalo)			
MM 24	$\text{Fe}^{2+}_{3,22-3,29}, \text{Mn}_{0,04-0,07}$	$\text{Ti}_{0,11-0,13}, \text{Mg}_{0,75-0,91}, \text{Al}_{17,13-17,23}$	$\text{Al}_{0,31-0,46}, \text{Si}_{7,54-7,69}$	$\text{O}_{46,5}\text{H}_3$
MM 21	$\text{Fe}^{2+}_{3,21-3,37}, \text{Mn}_{0,07-0,09}$	$\text{Ti}_{0,12-0,14}, \text{Mg}_{0,68-0,79}, \text{Al}_{17,12-17,26}$	$\text{Al}_{0,31-0,47}, \text{Si}_{7,54-7,70}$	$\text{O}_{46,5}\text{H}_3$

Amostra MM-24

A estaurolita ocorre com textura porfiroblástica euhedral, observadas somente em amostra de mão, atingindo tamanhos máximos de 6 cm em seu eixo maior. Em petrografia foram observados apenas cristais xenoblásticos associados a alguns cristais de biotita em porção da rocha com textura granoblástica. Quimicamente, o mineral possui valores de Fe^{2+} entre 3,22 e 3,29 a.p.f.u, Mn entre 0,04 e 0,07 a.p.f.u e a razão X_{Mg} varia entre 0,18 e 0,22.

Amostra MM-21

Os cristais de estaurolita ocorrem com textura poiquiloblástica e são pré- a sin-cinemáticos, com tamanho de eixo maior entre 1 e 10 mm, oblíquo a foliação principal. As inclusões são de quartzo e ilmenita e todos os cristais analisados estão sobrepostos por crescimento de porfiroblastos de muscovita e biotita. Em termos químicos, os valores de Fe^{2+} encontram-se entre 3,21 e 3,37 a.p.f.u, Mn entre 0,07 e 0,09 a.p.f.u e X_{Mg} entre 0,17 a 0,19. Não foi observado variações sistemáticas de Fe entre núcleo e borda, dado seu contexto textural (Figura 4.33).

Campo 7

Figura 4.33 –Perfil X_{Mg} em estaurolita da amostra MM-21

Comparando-se os cristais das duas amostras em gráficos binários, é possível identificar que a principal diferença é marcada pelos teores de Mg, com valores mais elevados na amostra MM-24. Nota-se também uma correlação inversa entre os teores de Al e Si, sem distinção clara entre as duas amostras (Figura 4.34).

Figura 4.34 – Diagramas binários Fe^{2+} vs. Mg, Al vs. Si e Ti vs. Si. Valores em a.p.f.u

4.2.3. Biotita

Os filossilicatos que são representados pelas micas escuras possuem grande variedade composicional, permitindo ampla ocorrência estável no campo P-T. Possuem estrutura composta por folhas octaédricas (Os) entre duas folhas tetraédricas (Ts). Esse conjunto forma uma camada separada das demais por meio de planos de cátions não hidratados (I). Os ânions entre os cátions de coordenação octaédrica (M) compreendem átomos apicais de oxigênio da coordenação tetraédrica e ânions do sítio A. A fórmula estrutural geral desse grupo é representada por (Rieder et al., 1998):

Onde:

I = K, Na, Ca (Rb, Ba, NH₄, Cs)

M = Fe, Mg, Al, Li, Ti (Mn, Zn, Cr, V)

□ = Vacância

T = Si, Al, Fe³⁺ (Be, B)

A = OH, F (Cl, O, S)

Os membros-finais do grupo das micas escuras são representados por Flogopita [KMg₃(AlSi₃O₁₀)(OH)₂], Annita [KFe₃(AlSi₃O₁₀)(OH)₂], Eastonita [K(Al₁Mg₂)(Al₂Si₂O₁₀)(OH)₂] e Siderofilita [K(Al₁Fe₂)(Al₂Si₂O₁₀)(OH)₂]. Considerando base anidra e 11 átomos de oxigênio, as fórmulas estruturais aproximadas dos cristais de biotita para cada amostra são apresentadas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Fórmulas estruturais de biotita das amostras analisadas

Amostra	Fórmula estrutural aproximada (intervalo)
MM 24	K _{0,73-0,79} ,Na _{0,04-0,06} ,Ca _{0-0,004} Mg _{1,26-1,35} ,Fe ²⁺ _{1,00-1,08} ,Ti _{0,07-0,09} ,Al _{0,28-0,35} (Al _{1,34-1,40} ,Si _{2,60-2,66}) O ₁₁
MM 21	K _{0,31-0,81} ,Na _{0,006-0,04} ,Ca _{0,002-0,008} Mg _{0,92-1,25} ,Fe ²⁺ _{0,88-1,18} ,Ti _{0,07-0,11} ,Al _{0,36-0,97} (Al _{1,19-1,39} ,Si _{2,61-2,81}) O ₁₁
MM 34	K _{0,75-0,86} ,Na _{0,03-0,05} ,Ca _{0-0,002} Mg _{1,17-1,30} ,Fe ²⁺ _{1,04-1,19} ,Ti _{0,10-0,14} ,Al _{0,24-0,33} (Al _{1,35-1,45} ,Si _{2,55-2,65}) O ₁₁

Os cristais de biotita analisados ocorrem em quatro contextos texturais distintos: lepidoblástica, quando define a foliação principal junto com com muscovita, porfiroblástica discordante e disposta sobre a foliação, porfiroblástica intercrescida com muscovita sobre cristais de estauroilite e porfiroblástica, por vezes decussada quando se associa a algumas zonas específicas de granada.

Na amostra MM-24, a concentração de Mg em relação ao Fe²⁺ é superior (X_{Mg} = 0,54 a 0,57), enquanto que para as amostras MM-21 e MM-34, a distribuição entre esses cátions é similar, com leve tendência a maior incorporação de Mg, apresentando valores de X_{Mg} = 0,49 a 0,56 e X_{Mg} = 0,49 a 0,54, respectivamente. O empobrecimento de Mg nessa fase mineral está associado a seu consumo dado o aumento do grau metamórfico (Guidotti and Johnson, 2002). Os valores de TiO₂ variam entre 1,3 e 2,5 wt%.

A partir de diagramas binários, as correlações entre elemento de interesse indicam que, apesar da grande homogeneidade dos cristais de uma mesma amostra, maior dispersão e diferenças quanto aos teores de Si e Al são observados na amostra MM-21 (Figura 4.35).

Em relação às diferenças entre cristais de contextos texturais distintos de uma mesma amostra, a biotita da amostra MM-21 quando associada à granada, apresenta menores teores de Ti e Mg e maior de Al em relação aos cristais que ocorrem na matriz, seja concordante ou discordante à foliação. Ressalta-se que nessa amostra os cristais de biotita associados à granada ocorrem somente em textura lepidoblástica.

Figura 4.35 – Diagramas binários para biotita. Fe^{2+} vs. Mg, Al vs. Si e Ti vs. Si. Valores em a.p.f.u

4.2.4. *Muscovita*

A estrutura cristaloquímica dessa série dentro do grupo das micas é regida pelos mesmos arranjos das micas escuras. A diferença para a formação da mica branca é a ocupação por cátions de Al no sítio de coordenação octaédrica e apenas dois dos três sítios octaédricos são ocupados. Os principais membros-finais compreendem Muscovita $[\text{KAl}_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$, Margarita $[\text{CaAl}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$ e Paragonita $[\text{NaAl}_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$. De forma subordinada, o grupo das micas brancas ainda possuem Celadonita $[\text{KFe}^{3+}(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$ e Ferroceldonita $[\text{KFe}^{3+}(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$. Em base anidra e 11 átomos de oxigênio, as fórmulas estruturais aproximadas dos cristais de muscovita para cada amostra são apresentadas na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Fórmulas estruturais de muscovita das amostras analisadas

Amostra	Fórmula estrutural aproximada (intervalo)
MM 24	$\text{K}_{0,69-0,72}, \text{Na}_{0,23-0,25} \text{Mg}_{0,05-0,07}, \text{Fe}^{2+}_{0,03-0,05}, \text{Ti}_{0,02-0,03}, \text{Al}_{1,89-1,92} (\text{Al}_{0,92-0,95}, \text{Si}_{3,05-3,08}) \text{O}_{11}$
MM 21	$\text{K}_{0,69-0,74}, \text{Na}_{0,20-0,23} \text{Mg}_{0,04-0,07}, \text{Fe}^{2+}_{0,04-0,06}, \text{Ti}_{0,02-0,04}, \text{Al}_{1,88-1,93} (\text{Al}_{0,93-0,98}, \text{Si}_{3,02-3,07}) \text{O}_{11}$
MM 34	$\text{K}_{0,78-0,83}, \text{Na}_{0,15-0,17} \text{Mg}_{0,06-0,08}, \text{Fe}^{2+}_{0,05-0,06}, \text{Ti}_{0,03-0,04}, \text{Al}_{1,84-1,88} (\text{Al}_{0,914-0,95}, \text{Si}_{3,05-3,09}) \text{O}_{11}$

Em contextos texturais semelhantes à biotita, a mica branca também ocorre de forma lepidoblástica, quando define a foliação principal, e porfiroblástica, quando discordante a essa foliação e sobre cristais de estauroлита. Quimicamente, apresenta concentração de Mg em relação ao Fe^{2+} homogênea entre as três amostras, com $X_{\text{Mg}} = 0,48$ a $0,64$ (MM-24), $X_{\text{Mg}} = 0,48$ a $0,60$ (MM-21) e $X_{\text{Mg}} = 0,52$ a $0,60$ (MM-34). Os planos de cátions não hidratados (sítio I) são ocupados por K ($0,69$ a $0,83$ a.p.f.u.) e em menor quantidade, por Na ($0,15$ a $0,25$ a.p.f.u.), sendo a quantidade de Ca negligenciável.

Em diagramas binários (Figura 4.36), é notória a distinção de Na e K entre as amostras. As razões médias $\text{Na}/(\text{Na}+\text{K})$ para a amostra MM-24 é igual a $0,23$, para a MM-21, $0,25$ e para a MM-34, $0,16$. Menores valores na razão $\text{Na}/(\text{Na}+\text{K})$ sugerem condições de pressão de formação mais baixas (Guidotti, 2000). Observa-se ainda pouca correlação entre $\text{K}+\text{Al}^{\text{IV}}$ vs. Si, que são relacionados a possíveis substituições que envolvem vacância entre camadas $\text{K}+\text{Al}^{\text{IV}} = \text{Si}+\square$ (Konings et al., 1988) e correlação negativa entre Al e Si+Mg, substituição Mg-Tschermak.

Figura 4.36 – Diagramas binários para muscovita. Fe^{2+} vs. Mg, Na vs. K, Al vs. Si+Mg, Al vs. Si+Mg e Ti vs. Si. Valores em a.p.f.u

4.2.5. Plagioclásio

O grupo dos feldspatos faz parte da classe dos tectossilicatos e, em contextos metamórficos, sua facilidade em apresentar variações composicionais o torna conveniente para determinações de condições termobarométricas. A fórmula estrutural geral dos feldspatos é representada por:

Onde:

$T = Al + 3Si$, quando $M = K, Na$

$T = 2Al + 2Si$, quando $M = Ca$

Os feldspatos são divididos em duas soluções binárias, com três membros-finais. Em normalização para 8 oxigênios, são representados por feldspato potássico ($KAlSi_3O_8$), albita ($NaAlSi_3O_8$) e anortita ($CaAl_2Si_2O_8$). Os cálculos das frações molares desses membros-finais principais são dados pelas relações:

Ortoclásio (or): $(K/[K+Na+Ca]) \times 100$

Albita (ab): $(Na/[K+Na+Ca]) \times 100$

Anortita (an): $(Ca/[K+Na+Ca]) \times 100$

A Tabela 4.8 apresenta as fórmulas estruturais dos cristais de feldspato para cada amostra. As fórmulas estruturais foram calculadas com base em 8 oxigênios.

Tabela 4.8 – Fórmulas estruturais de plagioclásio das amostras analisadas

Amostra	Fórmula estrutural aproximada (intervalo)
MM 24	$Na_{0,83-0,87}, Ca_{0,12-0,15}, K_{0,002-0,005} Fe^{3+}_{0-0,01}, Al_{1,11-1,15}, Si_{2,85-2,89} O_8$
MM 21	$Na_{0,87-0,91}, Ca_{0,09-0,11}, K_{0,002-0,004} Fe^{3+}_{0,003-0,008}, Al_{1,08-1,12}, Si_{2,88-2,91} O_8$
MM 34	$Na_{0,83-0,87}, Ca_{0,12-0,14}, K_{0,003-0,005} Fe^{3+}_{0-0,004}, Al_{1,11-1,14}, Si_{2,87-2,89} O_8$

Nas amostras estudadas, os cristais de plagioclásio são muito finos e ocorrem nas porções granoblásticas. Possuem contatos poligonizados a interlobados e podem apresentar zonação entre núcleo e borda. Ainda que haja pouca diferença de teores de anortita entre as três

amostras, nota-se uma maior concentração na amostra MM-24 ($An_{13,3}$) e menor na MM-21 ($An_{10,4}$), todos ocorrendo na lacuna de miscibilidade da peristerita (Figura 4.37), e apenas um intervalo de composição foi observado nas análises.

Figura 4.37 – Diagrama ternário de feldspatos

4.3. Metamorfismo e cálculos geotermobarométricos

Aliando as observações petrográficas com as investigações de composições químicas dos minerais é possível inferir parte das reações metamórficas que ocorreram nas rochas estudadas. As paragêneses e as relações texturais da sequência metassedimentar estudada são típicas de fácies anfibolito, em condições de pressão intermediária, associadas ao metamorfismo regional progressivo. Entretanto, texturas sobrepostas, como pseudomorfos euhedrais, podem sugerir dois cenários: *i*) trajetória retrometamórfica em tempo prolongado, permitindo a reação e reequilíbrio das fases metaestáveis ou, *ii*) ocorrência de um evento de metamorfismo de contato sobreposto em condições de baixo esforço deviatório.

Independente do cenário, tona-se essencial a separação desses dois eventos para a interpretação das condições termobarométricas. As fases minerais sin- ou inter-cinemáticas foram interpretadas como produtos do metamorfismo regional, enquanto que as fases pós-cinemáticas, ao metamorfismo de contato.

Em relação ao metamorfismo regional, infere-se como balizador inferior das condições mais baixas do metamorfismo observado a reação de entrada na zona da Estaurolita, cuja associação mineral é composta por estaurolita + granada + muscovita + quartzo + biotita ± plagioclásio e ausência de clorita diagnóstica de metamorfismo progressivo. Essa reação, de acordo com (Guidotti et al., 1988) é dada por:

Considerando a coexistência de estaurolita + sillimanita e textura de intercrescimento de fibrolita com biotita, indicando sua cristalização pela reação de outras fases minerais e não pela mudança do polimorfo de aluminossilicato (Vernon and Flood, 1977), as rochas com a associação sillimanita + estaurolita + granada + muscovita + quartzo + biotita ± plagioclásio possuem a reação indicativa da transição entre a zona da estaurolita e a zona inferior da sillimanita, representada, de acordo com (Guidotti et al., 1988) por:

A reação observada por (Guidotti et al., 1988) pode ser aplicada no presente caso, uma vez observada correlação entre a razão Na/(Na+K) em muscovita e as texturas nas rochas estudadas, com maior proporção de K conforme associações representativas de grau metamórfico mais elevado. A coexistência de sillimanita, estaurolita, biotita e granada pode ser explicada pela elevada quantidade de Mn na última fase. A consideração de MnO como um componente extra no sistema reflete na inclusão de granada como uma fase adicional parcialmente independente em relação às reações que ocorrem nos metapelitos clássicos (Guidotti, 1974).

A associação sillimanita + granada + muscovita + quartzo + biotita ± plagioclásio, com consumo total de estaurolita, é indicativo da entrada para a zona superior da sillimanita, segundo a reação (Guidotti et al., 1988):

Por fim, para a associação sillimanita + muscovita + quartzo + biotita + plagioclásio, com granada em desequilíbrio (não sendo utilizada para cálculos termobarométricos), foram

observadas relações texturais compatíveis com a reação da zona superior da sillimanita (Guidotti et al., 1988):

A ausência de feldspato potássico e fundido atua como limite superior das condições metamórficas observadas.

Foram consideradas como reações associadas ao retrometamorfismo ou metamorfismo de contato a geração de muscovita e biotita a partir da quebra de estauroлита e geração de biotita pela quebra de granada, todas envolvendo rehidratação.

A partir das reações descritas e distinção das diferentes zonas metamórficas, foram selecionadas três amostras para os cálculos termobarométricos. Tais amostras são representadas por MM-24 (zona da estauroлита), MM-21 (zona da inferior da sillimanita) e MM-34 (zona da superior da sillimanita). Os cálculos foram realizados utilizando-se o programa THERMOCALC (Holland and Powell, 1998) versão 3.26, nos módulos de cálculo de P, T e *average* P-T, assumindo-se saturação em água.

Observando-se os diagramas binários, foram selecionados os pontos de análises de melhor representatividade do equilíbrio químico. Nesse sentido, para as fases granada, estauroлита e plagioclásio, optou-se pelas análises em borda, enquanto que em relação às micas, para as amostras MM-21 e MM-34 foram utilizados pontos de cristais concordantes à foliação e para a amostra MM-24 escolheu-se cristal de biotita pós-deformação, associado à borda de granada. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Resultado termobarométricos obtidos através do THERMOCALC

Amostra	Associação Mineral	P (kbar)	T (°C)	Average PT
MM-24	St-Grt-Pl-Ms- Qtz-Bt	6,46 ± 0,60	658 ± 14	7,4 ± 1,1
				685 ± 24
MM-21	St-Sil-Grt-Pl-Ms-Qtz-Bt	5,96 ± 0,39	654 ± 08	7,4 ± 1,1
				676 ± 24
MM-34	Sil-Grt-Pl-Ms-Qtz-Bt	5,76 ± 0,44	653 ± 10	6,4 ± 1,2
				652 ± 28

Os melhores resultados foram obtidos pelos cálculos separados de P e T. Considerando os erros associados, as condições de maior pressão e temperatura foram calculadas em $6,46 \pm 0,6$ kbar e 658 ± 14 °C, enquanto que os menores valores foram de $5,76 \pm 0,4$ kbar e 653 ± 10 °C, para as três amostras juntas, indicando que, apesar das associações serem distintas, as condições termobarométricas são muito próximas.

A visualização na grade petrogenética KFMASH de Spear & Cheney (inédito) indica que as maiores condições de P e T ocorrem na amostra MM-24, que petrograficamente é sugestiva de grau metamórfico mais baixo (zona da estaurolita), enquanto que a amostra MM-34 (zona superior da sillimanita) apresenta os menores valores (Figura 4.38).

Figura 4.38 – Condições estimadas de formação para as rochas metapelíticas da Formação São Tomé.

4.4. Dados geocronológicos

4.4.1. Th-U-Pb em monazita via EPMA

A relação temporal das condições termobarométricas calculadas para a Formação São Tomé foi obtida por meio de datação em monazita. Para tanto, foram selecionadas seções

polidas das amostras MM-21 e MM-34 para aquisição das informações geocronológicas. Os cristais foram localizados por meio de imagens de elétrons retro-espalhados (*backscattered electrons* - BSE) e análises de espectroscopia de energia dispersiva (*energy dispersive spectroscopy* - EDS).

As análises *in-situ* de Th, U e Pb para os cálculos das idades de monazita, assim como a leitura de Ca, Si, elementos terras raras (ETR) leves e Y para aquisição da química mineral foram realizadas na microsonda eletrônica da marca JEOL, modelo JXA-8230L no Laboratório de Microanálises da Universidade Federal de Ouro Preto. As condições operacionais foram estabelecidas em 20 kV para a voltagem de aceleração, 150 nA de corrente e diâmetro do feixe de 2 μm . As linhas $M\alpha$ para Th e Pb e a linha $M\beta$ para U de um cristal PET (PETJ para Th e PETH para Pb e U) foi selecionada para análise. Os erros absolutos para tempos de contagem de 30s (Pb), 50s (U) e 15s (Th) são tipicamente 0,12 wt% para Pb e U e 0,40 wt% para Th. Foram estabelecidas as linhas $L\alpha$ para La, Y, Ce; $L\beta$ para Pr, Sm, Nd, Gd e $K\alpha$ para P, Si e Ca. A calibração de PbO foi realizada em padrão de covelita (PbS), enquanto que para U foi utilizado U-glass (4,54 wt% de U_3O_8). Para os ETR foram usadas os ortofosfatos do Instituto Smithsonian (Donovan et al., 2003; Jarosewich and Boatner, 1991). Adicionalmente, para a verificação da leitura correta dos elementos na microsonda, foram realizadas análises no padrão Madmon (Schulz et al., 2007). As tabelas completas das análises, incluindo o padrão, encontram-se no Anexo III.

A idade de modelo químico de monazita foi determinada usando o método da isócrona $\text{ThO}_2^*-\text{PbO}$ (CHIME) de Suzuki et al. (1994), Suzuki and Adachi (1991, 1994), onde a idade é calculada a partir da inclinação da linha de regressão de ThO_2^* VS PbO forçadas para zero. Foi utilizado o programa MonaziteAge, versão 2.03 da JEOL (McSwiggen & Associates).

Baseado nas idades obtidas, foi possível distinguir três populações (Tabela 4.10). As imagens de BSE em modo composicional indicam, de uma forma geral, cristais com faces externas relativamente bem formadas e pouca variação composicional química (Figuras 4.39 e 4.40). Os cristais que apresentam heterogeneidade química revelam padrão *patch*, típico de processos de dissolução e reprecipitação. Observou-se ainda que os maiores cristais de monazita podem atingir tamanho do eixo menor em torno de 30 μm , entretanto a maioria possui 10 μm de diâmetro, aproximadamente.

Com base nas informações da literatura da geologia regional, as idades do presente trabalho obtidas por meio de datação química possuem significado geológico e são complementares. A população 1, mais antiga, ocorre tanto como inclusão em granada quanto

na matriz e possui idades entre 641 ± 32 Ma e 607 ± 47 Ma. As idades de 560 ± 32 Ma e 559 ± 29 Ma podem ser consideradas como representantes da população 2, de ocorrência na matriz e a população 3 abrange as idades mais novas obtidas, de 501 ± 28 e 491 ± 34 , também na matriz. Ainda que alguns cristais tenham evidências de relação núcleo e borda com as idades, outros possuem maior complexidade.

Tabela 4.10 – Resumos dos dados geocronológicos de monazita obtidos na microsonda

Amostra	Contexto textural	Idade (Ma)		
		População 1	População 2	População 3
MM-21	Inclusa em granada	607 ± 47 (n=04)	-	-
	Matriz	614 ± 39 (n=12)	560 ± 32 (n=26)	501 ± 28 (n=15)
MM-34	Matriz	641 ± 32 (n=09)	559 ± 29 (n=19)	491 ± 34 (n=20)

Por meio de gráficos binários (Figuras 4.41 e 4.42), nota-se que os padrões geocronológicos não são reflexo dos padrões químicos, dada a dispersão dos pontos. O gráfico de Y da população inclusa em granada da amostra MM-21 aparente ter uma correlação de pontos (Figura 4.41). Relativamente mais empobrecida em Y (1,0 a 1,17 wt% Y_2O_3 , Tabela 4.11), o gráfico ilustra que a monazita da matriz pode ter sido cristalizada concomitante ou posteriormente ao consumo parcial de granada, uma vez que teve menor competição para incorporação de Y em relação à monazita inclusa em granada (*e.g.* Foster and Parrish, 2003).

Para a amostra MM-34, a correlação de U indica que para a população mais antiga, a incorporação desse elemento é menor em relação à população mais recente (Figura 4.42). Em relação ao Th, os cristais mais jovens possuem menor variação, enquanto que as populações mais antigas possuem maior dispersão.

Ressalta-se que as diferenças químicas e texturais observadas em imagens BSE não implicam necessariamente em diferenças geocronológicas, uma vez os principais elementos que refletem na resposta da imagem não são os mesmos elementos utilizados para datação e suas mobilidades podem ser distintas.

Figura 4.39 – Resultados cronológicos da amostra MM-21. (a) Imagens de BSE dos cristais de monazita analisados. (b) Isócronas químicas PbO vs. ThO2* (wt.%) das populações consideradas e idades calculadas a partir da regressão forçada a zero. Incertezas reportadas em 2 sigma (c) Histograma das populações obtidas.

Figura 4.40 – Resultados cronológicos da amostra MM-34. (a) Imagens de BSE dos cristais de monazita analisados. (b) Isócronas químicas PbO vs. ThO₂* (wt.%) das populações consideradas e idades calculadas a partir da regressão forçada a zero. Incertezas reportadas em 2 sigma (c) Histograma das populações obtidas.

Tabela 4.11 – Intervalo das concentrações de ThO_2 , UO_2 e Y_2O_3 (wt%) nos diferentes contextos de cristalização de monazita.

Amostra	Contexto textural	ThO ₂	UO ₂	Y ₂ O ₃
MM-21	Inclusa em granada	1,08 – 3,97	0,32 – 0,39	1,00 – 1,17
	Matriz	0,32 – 10,59	0,12 – 0,91	0,89 – 2,08
MM-34	Matriz	1,57 – 8,56	0,10 – 0,73	0,40 – 2,42

Figura 4.41 – Diagramas binários para monazita da amostra MM-21. Y_2O_3 vs. Idade, ThO_2 vs. Idade, UO_2 vs. Idade. Valores em wt%.

Figura 4.42 – Diagramas binários para monazita da amostra MM-34. Y_2O_3 vs. Idade, ThO_2 vs. Idade, UO_2 vs. Idade. Valores em wt%.

5. DISCUSSÃO

Os padrões petrográficos, termobarométricos e geocronológicos observados na Formação São Tomé sugerem uma complexa evolução tectono-metamórfica da unidade, com evidências de que as rochas estiveram submetidas a condições de pressão e temperatura compatíveis com níveis crustais médios, em contexto termal elevado e baixa taxa de resfriamento (*e.g.* Cavalcante et al., 2014; Melo et al., 2017b; Silva et al., 2011).

Apesar de não ser possível traçar o gradiente metamórfico de campo (Turner, 1981), , pode-se tecer algumas considerações sobre o metamorfismo na região a partir das análises petrográficas e dados termobarométricos obtidos. Considerando que a variação das diferentes zonas metamórficas em curtos espaços dentro da área de estudo não podem ser reflexo apenas do metamorfismo associado aos esforços colisionais, deve-se considerar que a colocação de corpos ígneos contemporâneos à deformação podem modificar os limites das zonas metamórficas, sendo necessário conjecturar um modelo alternativo que explique esse tipo de variação (*e.g.* Solar and Brown, 1999).

Nesse sentido, as condições de pressão e temperatura de 6 kbar e 650 °C calculadas para a unidade, associada ao primeiro grupo de idades Th-U-Pb em monazita de 560 ± 32 Ma e 539 ± 29 Ma, estão fortemente relacionados ao pico metamórfico regional, representante do período de máxima fusão da crosta e geração de corpos magmáticos, balizado entre 575-565 Ma (Tedeschi et al., 2016). Tais circunstâncias corroboram as observações de campo das recorrentes intrusões ígneas na unidade e a ideia do metamorfismo das rochas encaixantes influenciado pela colocação de plútons.

As observações petrográficas de pseudomorfos de biotita e muscovita sustentam um evento posterior ao pico metamórfico. De acordo com Guidotti and Johnson (2002), pseudomorfos podem se formar em um número variado de processos: (i) recristalização durante evento metamórfico progressivo temporalmente extenso envolvendo mudanças na associação mineral, química e textural.; (ii) evento de recristalização temporalmente distinta; (iii) recristalização retrometamórfica durante resfriamento lento, especialmente se há abundância de fluídos.

Considerando as baixas taxas de resfriamento calculadas para o orógeno (*e.g.* Petitgirard et al., 2009), as idades de 501 ± 28 e 499 ± 34 obtidas no segundo grupo de monazita podem estar perfeitamente associadas à existência desses pseudomorfos, cristalizados durante o retrometamorfismo. O contexto é condizente com o período de colocação de corpos ígneos

tardi- a pós-colisionais e percolação de fluídos, durante a fase de colapso gravitacional, conforme observado em outros setores do orógeno (*e.g.* Melo et al., 2017b; Queiroga et al., 2016; Richter et al., 2016). Essa idade sugere ainda que nesse período a unidade ainda estava em condições de pressão e temperatura compatíveis com geração de monazita.

Ressalta-se que a influência térmica da colocação dos corpos ígneos pós-colisionais em condições de retrometamorfismo a baixas taxas de resfriamento provavelmente não teve intensidade elevada o suficiente para sobrepor o metamorfismo de pico das rochas da unidade estudada, permitindo assim a manutenção das estruturas e texturas do pico metamórfico.

O entendimento da população mais antiga é mais complexo. As idades obtidas de 641 ± 32 , 614 ± 39 Ma e 607 ± 47 Ma, incluindo cristais inclusos em granada, é compatível ao intervalo de edificação do arco magmático Rio Doce, entre 630-580 Ma (Tedeschi et al., 2016). A interpretação de sua origem (*i.e.*, metamórfico ou detrítico) deve ser analisada sob uma ótica mais ampla.

A existência de monazita em rochas de fácies anfibolito tem sido reportada em alguns estudos (*e.g.* Krenn et al., 2008; Rubatto et al., 2001; Suzuki et al., 1994; Williams, 2001). No presente trabalho, o padrão das idades obtidas, com um intervalo de pelo menos 10 Ma entre a população mais antiga e a do pico metamórfico, pode sugerir origem detrítica para esse grupo (Figuras 4.39c e 4.40c). A favor da origem detrítica, Vieira (2007) e Freire (2015) obtiveram a partir de análises U-Pb em zircão idades entre 595 Ma e 660 Ma, respectivamente, as quais representam a idade máxima deposicional para a Formação São Tomé.

Em investigação das possíveis áreas fontes da monazita detrítica, observou-se, entretanto, que o corpo ígneo de idade compatível com as obtidas em monazita de 620 Ma é representado pelo batólito Muriaé (Noce et al., 2010), geograficamente distante da área de estudo, sendo improvável ter atuado como fonte.

Por outro lado, se o espessamento crustal no orógeno Araçuaí-Oeste Congo tiver seu início considerado em 630-620 Ma, balizado pelo tempo necessário para fusão da crosta média de 20 a 25 Ma e datações no domínio anatético (Fossen et al., 2017), as idades mais antigas obtidas seriam representantes do metamorfismo associado a esse período de espessamento. Favorável a essa hipótese, Rasmussen and Muhling (2007) argumentam que monazita é instável e passa por processos de dissolução e reprecipitação durante metamorfismo de fácies xisto verde, formando monazita metamórfica de baixo Th e ThSiO_4 e tornando inviável a presença de cristais detríticos em grau metamórfico elevado. Ressalta-se

que a compreensão do comportamento de consumo e recristalização de monazita durante diagênese e em baixo grau metamórfico é dificultada por fatores que incluem composição da rocha e de fluídos diagenéticos e metamórficos (Gasser et al., 2012).

Independente dos processos de evolução temporal, o prolongado período em que a unidade esteve submetida a condições elevadas de temperatura corrobora o padrão geral observado em diversos setores do orógeno (Melo et al., 2017b; Peixoto et al., 2017; Petitgirard et al., 2009; Queiroga et al., 2016; Richter et al., 2016).

Para a visualização da evolução da unidade ao longo do tempo, o esquema da Figura 5.1 sintetiza as informações petrográficas, termobarométricas e geocronológicas obtidas no presente estudo.

Figura 5.1 – Esquema ilustrativo da evolução temporal do metamorfismo da Formação São Tomé.

6. CONCLUSÕES

A partir de estudos de geologia regional, informações petrográficas, termobarométricas e geocronológicas obtidas para a Formação São Tomé, na região estudada, foi possível estabelecer a relação entre as condições de pressão e temperatura máximas em que a unidade esteve submetida e o tempo de metamorfismo atuante nessa unidade e sua evolução tectono-metamórfica durante a edificação do orógeno Araçuaí.

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho foi possível concluir:

- O litotipo geral quartzo-mica xisto possui proporções variadas de granada, estauroлита e sillimanita. As relações texturais indicam três gerações de granada, duas de estauroлита, duas de biotita e duas de muscovita. A cristalização das gerações tardias indica que reações metamórficas atuaram em condições de tensão deviatórica ausentes.
- Em relação à Geologia Estrutural é facilmente identificável três tipos estruturas planares. Em setores onde a deformação não é de grande intensidade é possível registrar a estratificação sedimentar (S_0), com estruturas primárias do tipos variação composicional, gradacional e estratificação cruzadas. Duas fases deformacionais estão registradas através de uma foliação continua S_1 do tipo clivagem de fratura e uma foliação S_2 (clivagem de crenulação). Eventos metamórficos foram a elas relacionados, respectivamente M_1 e M_2 .
- As máximas condições de pressão e temperatura obtidas, localmente, para a Formação São Tomé foram de aproximadamente 6 kbar e 650 °C, compatíveis com níveis crustais médios e são condizentes com as associações minerais presentes nos metassedimentos.
- As mudanças das associações de minerais metamórficos em espaços relativamente curtos podem indicar que o metamorfismo principal atuante na unidade é reflexo de uma combinação entre os esforços regionais, composições distintas dos sedimentos originais e colocações de corpos ígneos.
- O grupo de monazita com idades em torno de 620 Ma, obtidos por datação Th-U-Pb através de microsonda eletrônica, podem representar grãos detríticos de corpos ígneos, não mais aflorantes, relacionados a um possível estagio pré-colisional. Alternativamente, poder-se-ia tratar de monazitas metamórficas formadas de um primeiro evento térmico, haja vista a presença de idades distintas em um único grãos.

- As idades obtidas em torno de 550 Ma são perfeitamente compatíveis com as idades do pico metamórfico regional, balizado em torno de 575-565 Ma. A diferença na idade pode ser explicada pelo sistema isotópico considerado. As idades obtidas em monazita são sistematicamente inferiores às obtidas em zircão.
- O terceiro grupo de idades, em torno de 500 Ma, tem sua formação concomitante à geração dos corpos ígneos tardios, entretanto ainda não está esclarecido se essas idades estão relacionadas a um novo evento termal ou à época de resfriamento do orógeno. Independentemente da resposta, os três grupos de monazita com idades distintas são bem estabelecidos.

Entender as evoluções tectono-metamórficas dos diferentes setores do orógeno Araçuaí é chave para o estabelecimento de modelos robustos de sua edificação como um todo. O enriquecimento desse banco de dados em compartimentos pouco estudados, como as unidades que compõem o Grupo Rio Doce, deverá contribuir para elucidar parte dessa evolução.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim, F.F., Kuchenbecker, M., Reis, H.L.S., Pedrosa-Soares, A.C., 2017. The Araçuaí Belt, in: Heilbron, M., Cordani, U., Alkmim, F.F. (Eds.), *São Francisco Craton, Eastern Brazil*. Springer International Publishing, pp. 255–276. https://doi.org/10.1007/978-3-319-01715-0_14
- Alkmim, F.F., Marshak, S., Pedrosa-Soares, A.C., Peres, G.G., Cruz, S.C.P., Whittington, A., 2006. Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian Res.* <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2006.06.007>
- Alkmim, F.F., Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Cruz, S.C.P., 2007. Sobre a Evolução Tectônica do Orogênio Araçuaí-Congo Ocidental. *Geonomos* 15, 25–43. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18285/geonomos.v15i1.105>
- Almeida, F.F., 1977. O Craton do São Francisco. *Rev. Bras. Geociências* 7, 349–364.
- Brito-Neves, B.B.D., Cordani, U., 1991. Tectonic evolution of south america during the late proterozoic. *Precambrian Res.* 53, 23–40.
- Brown, M., 2014. The contribution of metamorphic petrology to understanding lithosphere evolution and geodynamics. *Geosci. Front.* 5, 553–569. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2014.02.005>
- Campos-Neto, M.C., Figueiredo, M.C.H. de, 1995. The Rio Doce Orogeny, Southeastern Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* 8, 143–162. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0895-9811\(95\)00002-W](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0895-9811(95)00002-W)
- Castro, M.P. De, 2014. Caracterização geológica da Formação Capelinha como uma unidade basal do Grupo Macaúbas em sua área tipo, Minas Gerais. Universidade Federal de Ouro Preto.
- Cavalcante, G.C.G., Vauchez, A., Merlet, C., Egydio-Silva, M., De Holanda, M.H.B., Boyer, B., 2014. Thermal conditions during deformation of partially molten crust from TitaniQ geothermometry: Rheological implications for the anatexis domain of the Araçuaí belt, eastern Brazil. *Solid Earth* 5, 1223–1242. <https://doi.org/10.5194/se-5-1223-2014>
- Corrie, S.L., Kohn, M.J., 2008. Trace-element distributions in silicates during prograde metamorphic reactions: Implications for monazite formation. *J. Metamorph. Geol.* 26, 451–464. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.2008.00769.x>
- Cunningham, D., Alkmim, F.F., Marshak, S., 1998. A structural transect across the coastal mobile belt in the Brazilian Highlands (latitude 20°S): The roots of a Precambrian transpressional orogen. *Precambrian Res.* 92, 251–275. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(98\)00077-1](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(98)00077-1)
- De Campos, C.P., Cezar Mendes, J., Ludka, I.P., de Medeiros, S.R., de Moura, J.C., Wallfuss, C., 2004. A review of the Brasiliano magmatism in southern Espírito Santo, Brazil, with emphasis on post-collisional magmatism. *J. Virtual Explor.* 17. <https://doi.org/10.3809/jvirtex.2004.00106>
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1992. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals* (2nd edition). Longman Scientific & Technical, Harlow.
- Degler, R., Pedrosa-Soares, A., Dussin, I., Queiroga, G., Schulz, B., 2017. Contrasting provenance and timing of metamorphism from paragneisses of the Araçuaí-Ribeira orogenic system, Brazil: Hints for Western Gondwana assembly. *Gondwana Res.* 51, 30–50. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.07.004>
- Donovan, J.J., Hanchar, J.M., Picolli, P.M., Schrier, M.D., Boatner, L.A., Jarosewich, E., 2003. A re-examination of the rare-earth-element orthophosphate standards in use for electron-microprobe analysis. *Can. Mineral.* 41, 221–232. <https://doi.org/10.2113/gscanmin.41.1.221>
- Ferry, J.M., 2000. Patterns of mineral occurrence in metamorphic rocks. *Am. Mineralogist* 85, 1573–1588. <https://doi.org/10.2138/am-2000-11-1201>
- Figueiredo, M.C.H. de, Campos-Neto, M.C., 1993. Geochemistry of the Rio Doce magmatic arc, southeastern Brazil. *An. Acad. Bras. Cienc.* 65, 63–82.

- Fossen, H., Cavalcante, G.C., de Almeida, R.P., 2017. Hot Versus Cold Orogenic Behavior: Comparing the Araçuaí-West Congo and the Caledonian Orogens. *Tectonics* 36, 2159–2178. <https://doi.org/10.1002/2017TC004743>
- Foster, G., Parrish, R.R., 2003. Metamorphic monazite and the generation of P-T-t paths. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 220, 25–47. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2003.220.01.02>
- Freire, F.Q., 2015. Os metassedimentos da Formação São Tomé na folha Itabirinha de Mantena: petrografia, geocronologia, e geologia estrutural. Universidade de São Paulo.
- Gasser, D., Bruand, E., Rubatto, D., Stüwe, K., 2012. The behaviour of monazite from greenschist facies phyllites to anatectic gneisses: An example from the Chugach Metamorphic Complex, southern Alaska. *Lithos* 134–135, 108–122. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.12.003>
- Gervais, F., Hynes, A., 2013. Linking metamorphic textures to U-Pb monazite in-situ geochronology to determine the age and nature of aluminosilicate-forming reactions in the northern Monashee Mountains, British Columbia. *Lithos* 160–161, 250–267. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.12.007>
- Gonçalves-Dias, T., Pedrosa-Soares, A.C., Dussin, I.A., Alkmim, F.F., Caxito, F.A., Silva, L.C., Noce, C.M., 2011. Idade máxima de sedimentação e proveniência do Complexo Jequitinhonha na área-tipo (orógeno Araçuaí): primeiros dados U-Pb (La-ICP-MS) de grãos detríticos de zircão. *Geonomos* 19, 121–130.
- Gonçalves, L., Farina, F., Lana, C., Pedrosa-Soares, A.C., Alkmim, F., Nalini, H.A., 2014. New U–Pb ages and lithochemical attributes of the Ediacaran Rio Doce magmatic arc, Araçuaí confined orogen, southeastern Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* 52, 129–148. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.02.008>
- Gradim, C., Roncato, J., Pedrosa-Soares, A.C., Cordani, U., Dussin, I., Alkmim, F.F., Queiroga, G., Jacobsohn, T., Silva, L.C. da, Babinski, M., 2014. The hot back-arc zone of the Araçuaí orogen, Eastern Brazil: from sedimentation to granite generation. *Brazilian J. Geol.* 44, 155–180. <https://doi.org/10.5327/Z2317-4889201400010012>
- Gradim, R.J., Alkmim, F.F., Pedrosa-Soares, A.C., Babinski, M., Noce, C.M., 2005. Xistos verdes do Alto Araçuaí, Minas Gerais: vulcanismo básico do rifte neoproterozóico Macaúbas. *Rev. Bras. Geociências* 35, 59–69.
- Grossi-Sad, J.H., Motta, E., Baars, F., 1993. Formação Capelinha: uma nova entidade litoestratigráfica do Grupo Macaúbas, in: *Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, 7. SBG, Belo Horizonte, pp. 30–33.
- Guidotti, C. V., 2000. THE CLASSIC HIGH-T - LOW-P METAMORPHISM OF WEST-CENTRAL MAINE: IS IT POST-TECTONIC OR SYNTECTONIC? EVIDENCE FROM PORPHYROBLAST - MATRIX RELATIONS: DISCUSSION. *Can. Mineral.* 38, 995–1006. <https://doi.org/10.2113/gscanmin.38.4.995>
- Guidotti, C. V., 1974. Transition from staurolite to sillimanite zone, Rangeley quadrangle, Maine. *Bull. Geol. Soc. Am.* 85, 475–490. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1974\)85<475:TFSTSZ>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1974)85<475:TFSTSZ>2.0.CO;2)
- Guidotti, C. V., Cheney, J.T., Henry, D.J., 1988. Compositional variation of biotite as a function of metamorphic reactions and mineral assemblage in the pelitic schists of Western Maine. *Am. J. Sci.* 288–A, 270–292.
- Guidotti, C. V., Johnson, S.E., 2002. Pseudomorphs and associated microstructures of western Maine, USA. *J. Struct. Geol.* 24, 1139–1156. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(01\)00097-9](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(01)00097-9)
- Hawthorne, F.C., 1993. Minerals, mineralogy and mineralogists; past, present and future. *Can. Mineral.* 31, 253–296.
- Holland, T.J.B., Powell, R., 1998. An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. *J. Metamorph. Geol.* 16, 309–343. <https://doi.org/10.1111/j.1525->

1314.1998.00140.x

- Holland, T.J.B., Powell, R., 1990. An enlarged and updated internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations: the system K₂O–Na₂O–CaO–MgO–MnO–FeO–Fe₂O₃–Al₂O₃–TiO₂–SiO₂–C–H₂–O₂. *J. Metamorph. Geol.* 8, 89–124. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1990.tb00458.x>
- Jarosewich, E., Boatner, L.A., 1991. Rare-Earth Element Reference Samples for Electron Microprobe Analysis. *Geostand. Geoanalytical Res.* 15, 397–399. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.1991.tb00115.x>
- Kingsbury, J.A., Miller, C.F., Wooden, J.L., Harrison, T.M., 1993. Monazite paragenesis and U–Pb systematics in rocks of the eastern Mojave Desert, California, U.S.A.: implications for thermochronometry. *Chem. Geol.* 110, 147–167. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(93\)90251-D](https://doi.org/10.1016/0009-2541(93)90251-D)
- Klein, C., Dutrow, B., 2012. *Manual de Ciências dos Minerais*, 23^a. ed.
- Kohn, M.J., Malloy, M.A., 2004. Formation of monazite via prograde metamorphic reactions among common silicates: Implications for age determinations. *Geochim. Cosmochim. Acta* 68, 101–113. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(03\)00258-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(03)00258-8)
- Konings, R.J.M., Boland, J.N., Vriend, S.P., Jansen, J.B.H., 1988. Chemistry of biotites and muscovites in the Abas granite, northern Portugal. *Am. Mineral.* 73, 754–765.
- Krenn, E., Ustaszewski, K., Finger, F., 2008. Detrital and newly formed metamorphic monazite in amphibolite-facies metapelites from the Motajica Massif, Bosnia. *Chem. Geol.* 254, 164–174. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.03.012>
- Kretz, R., 1983. Symbols for rock-forming minerals. *Am. Mineral.* 68, 277–279. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(83\)90220-X](https://doi.org/10.1016/0016-7037(83)90220-X)
- Kuchenbecker, M., Pedrosa-Soares, A.C., Babinski, M., Fanning, M., 2015. Detrital zircon age patterns and provenance assessment for pre-glacial to post-glacial successions of the Neoproterozoic Macaúbas Group, Araçuaí Orogen, Brazil. *Precambrian Res.* 266, 12–26. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.04.016>
- Lima, S.A.A., Martins-Neto, M.A., Pedrosa-Soares, A.C., Cordani, U., Nutman, A., 2002. 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. *Rev. Bras. Geociências* 32, 491–500.
- Locock, A.J., 2008. An Excel spreadsheet to recast analyses of garnet into end-member components, and a synopsis of the crystal chemistry of natural silicate garnets. *Comput. Geosci.* 34, 1769–1780. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.12.013>
- Martins-Neto, M.A., Pedrosa-Soares, A.C., Lima, S.A.A., 2001. Tectono-sedimentary evolution of sedimentary basins from Late Paleoproterozoic to Late Neoproterozoic in the São Francisco craton and Araçuaí fold belt, Eastern Brazil. *Sediment. Geol.* 141–142, 343–370. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00082-3](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00082-3)
- Melo, M.G., Lana, C., Stevens, G., Pedrosa-Soares, A.C., Gerdes, A., Alkmin, L.A., Nalini, H.A., Alkmim, F.F., 2017a. Assessing the isotopic evolution of S-type granites of the Carlos Chagas Batholith, SE Brazil: Clues from U–Pb, Hf isotopes, Ti geothermometry and trace element composition of zircon. *Lithos* 284–285, 730–750. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.05.025>
- Melo, M.G., Stevens, G., Lana, C., Pedrosa-Soares, A.C., Frei, D., Alkmim, F.F., Alkmin, L.A., 2017b. Two cryptic anatectic events within a syn-collisional granitoid from the Araçuaí orogen (southeastern Brazil): Evidence from the polymetamorphic Carlos Chagas batholith. *Lithos* 277, 51–71. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.10.012>
- Mondou, M., 2010. Structural and thermal evolution of a synkinematic batholith from the Neoproterozoic Araçuaí hot orogen (Eastern Brazil). Universidade de São Paulo.

- Mondou, M., Egydio-Silva, M., Vauchez, A., Raposo, M.I.B., Bruguier, O., Oliveira, A.F., 2012. Complex, 3D strain patterns in a synkinematic tonalite batholith from the Araçuaí Neoproterozoic orogen (Eastern Brazil): Evidence from combined magnetic and isotopic chronology studies. *J. Struct. Geol.* 39, 158–179. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2012.02.015>
- Montel, J., Foret, S., Veschambre, M., Nicollet, C., Provost, A., 1996. Electron microprobe dating of monazite. *Chem. Geol.* 131, 37–53. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(96\)00024-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(96)00024-1)
- Moraes, R., Nicollet, C., Barbosa, J.S.F., Fuck, R.A., Sampaio, A.R., 2015. Applications and limitations of thermobarometry in migmatites and granulites using as an example rocks of the Araçuaí Orogen in southern Bahia, including a discussion on the tectonic meaning of the current results. *Brazilian J. Geol.* 45, 517–539. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201520150026>
- Munhá, J.M.U., Cordani, U., Tassinari, C., Palácios, T., 2005. Petrologia e termocronologia de gnaisses migmatíticos da Faixa de Dobramentos Araçuaí (Espírito Santo, Brasil). *Rev. Bras. Geociências* 35, 123–134.
- Nalini, H.A., Bilal, E., Paquette, J., Pin, C., Rômulo, M., 2000. Géochronologie U – Pb et géochimie isotopique Sr – Nd des granitoïdes néoprotérozoïques des suites Galiléia et Urucum , vallée du Rio Doce , Sud-Est du Brésil. *Sci. York* 331, 459–466. [https://doi.org/10.1016/S1251-8050\(00\)01440-3](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(00)01440-3)
- Noce, C.M., Figueiredo, C.M.S., Novo, T. a, Fernando, F., Carlos, L., Dussin, I. a, Armstrong, R., 2010. The southern segment of the Araçuaí magmatic arc (SE Brazil): U-Pb zircon dating and implications for geodynamic reconstructions of the pre-collisional orogenic stage, in: VII SSAGI - South American Symposium on Isotope Geology. pp. 625–628.
- Noce, C.M., Macambira, M.J.B., Pedrosa-Soares, A.C., 2000. Geochronology of Neoproterozoic-Cambrian granitic magmatism in the Aracuai Belt, eastern Brazil, based on single zircon evaporation dating. *Rev. Bras. Geociências* 30, 25–29.
- Noce, C.M., Pedrosa-Soares, A.C., da Silva, L.C., Armstrong, R., Piuzana, D., 2007. Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí Orogen, based on U-Pb SHRIMP data: Implications for Brazil-Africa links in Paleoproterozoic time. *Precambrian Res.* 159, 60–78. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.06.001>
- Noce, C.M., Pedrosa-Soares, A.C., Grossi-Sad, J.H., Baars, F.J., Guimarães, M.L. V, Mourão, M.A.A., Oliveira, M.J.R., Roque, N.C., 1997. Nova divisão estratigráfica regional do Grupo Macaúbas na Faixa Araçuaí: o registro de uma bacia neoproterozóica, in: SBG, Simpósio de Geologia de Minas Gerais. pp. 29–30.
- Noce, C.M., Pedrosa-Soares, A.C., Piuzana, D., Armstrong, R., Laux, J.H., de Campos, C.M., de Medeiros, S.R., 2004. Ages of sedimentation of the kinzigitic complex and a late orogenic thermal episode in the Aracuai Orogen, northern Espírito Santo state, Brazil; zircon and monazite U/Pb SHRIMP and ID-TIMS data. *Rev. Bras. Geociências* 34, 587–592.
- Novo, T., 2013. Caracterização do Complexo Pocrane, magmatismo básico mesoproterozóico e unidades neoproterozóicas do sistema Araçuaí-Ribeira, com ênfase em geocronologia U-Pb (SHRIMP e LA-ICP-MS). Universidade Federal de Minas Gerais.
- Novo, T.A., Soares, A.C.P., Degler, R., Schulz, B., 2015. Termobarometria De Metapelitos Granadíferos Do Grupo Rio Doce, Orógeno Araçuaí. *Rev. Geonomos* 23, 18–25. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v23i1.658>
- Oliveira, M.-J.R., Pinto, C.P., Féboli, W.L., Alves dos Santos, R., 2000. Projeto Leste - Relatório mapa integrado 1:500 000 - Geologia estrutural e tectônica. CPRM-COMIG, Belo Horizonte.
- Overstreet, W.C., 1967. The geologic occurrence of monazite, Professional Paper.
- Parrish, R.R., 1990. U-Pb dating of monazite and its application to geological problems. *Can. J. Earth Sci* 27, 1431–1450. <https://doi.org/10.1139/e90-152>
- Pedrosa-Soares, A., Noce, C., Vidal, P., Monteiro, R.L.B., Leonardos, O., 1992. Toward a new

- tectonic model for the Late Proterozoic Araçuaí (SE Brazil)-West Congolian (SW Africa) Belt. *J. South Am. Earth Sci.* 6, 33–47. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(92\)90015-Q](https://doi.org/10.1016/0895-9811(92)90015-Q)
- Pedrosa-Soares, A.C., Alkmim, F.F., Tack, L., Noce, C.M., Babinski, M., Silva, L.C., Martins-Neto, M.A., 2008a. Similarities and differences between the Brazilian and African counterparts of the Neoproterozoic Araçuaí-West Congo orogen. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 294, 153–172. <https://doi.org/10.1144/SP294.9>
- Pedrosa-Soares, A.C., De Campos, C.P., Noce, C., Silva, L.C., Novo, T., Roncato, J., Medeiros, S., Castañeda, C., Queiroga, G., Dantas, E., Dussin, I., Alkmim, F., 2011. Late Neoproterozoic-Cambrian granitic magmatism in the Araçuaí orogen (Brazil), the Eastern Brazilian Pegmatite Province and related mineral resources. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 350, 25–51. <https://doi.org/10.1144/SP350.3>
- Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Alkmim, F.F., da Silva, L.C., Babinski, M., Cordani, U., Castañeda, C., 2007. Orógeno Araçuaí : Síntese Do Conhecimento 30 Anos Após Almeida 1977. *Geonomos* 15, 1–16. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v15i1.103>
- Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Wiedemann, C.M., Pinto, C.P., 2001. The Araçuaí-West-Congo Orogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. *Precambrian Res.* 110, 307–323. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(01\)00174-7](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(01)00174-7)
- Pedrosa-Soares, A.C., Silva, L.C. da, Cordani, U., Martins-Neto, M.A., Lima, S., Vieira, V.S., Gradim, C., Armstrong, R., Liu, D., Noce, C.M., 2008b. Bacias neoproterozóicas relacionadas ao arco magmático do Orógeno Araçuaí, in: Congresso Brasileiro De Geologia. Sociedade Brasileira de Geologia, Curitiba.
- Pedrosa-Soares, A.C., Wiedemann-Leonardos, C.M., 2000. Evolution of Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, eastern Brazil. *Tecton. Evol. South Am.* 265–285. <https://doi.org/10.13140/2.1.3802.5928>
- Peixoto, E., Alkmim, F.F., Pedrosa-Soares, A., Lana, C., Chaves, A.O., 2017. Metamorphic record of collision and collapse in the Ediacaran-Cambrian Araçuaí orogen, SE-Brazil: Insights from P-T pseudosections and monazite dating. *J. Metamorph. Geol.* <https://doi.org/10.1111/jmg.12287>
- Peixoto, E., Pedrosa-Soares, A.C., Alkmim, F.F., Dussin, I.A., 2015. A suture-related accretionary wedge formed in the Neoproterozoic Araçuaí orogen (SE Brazil) during Western Gondwanaland assembly. *Gondwana Res.* 27, 878–896. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.11.010>
- Petitgirard, S., Vauchez, A., Egydio-Silva, M., Bruguier, O., Camps, P., Monié, P., Babinski, M., Mondou, M., 2009. Conflicting structural and geochronological data from the Ibituruna quartz-syenite (SE Brazil): Effect of protracted “hot” orogeny and slow cooling rate? *Tectonophysics* 477, 174–196. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.02.039>
- Pinto, C.P., Drumond, J.B.V., Féboli, W.L. (coord.), 2000. Projeto Leste, Etapas 1 e 2, CD-ROM. ed. CPRM-COMIG, Belo Horizonte.
- Powell, R., Guiraud, M., White, R.W., 2005. Truth and beauty in metamorphic phase-equilibria: Conjugate variables and phase diagrams. *Can. Mineral.* 43, 21–33. <https://doi.org/10.2113/gscanmin.43.1.21>
- Powell, R., Holland, T., 1994. Optimal geothermometry and geobarometry. *Am. Mineral.* 79, 120–133.
- Prakash, D., 2007. Geothermobarometry : Applications and Limitations. *Res.* 1, 42–46.
- Pyle, J.M., Spear, F.S., 2003. Four generations of accessory-phase growth in low-pressure migmatites from SW New Hampshire. *Am. Mineral.* 88, 338–351. <https://doi.org/10.2138/am-2003-2-311>
- Queiroga, G.N., Pedrosa-Soares, a. C., Noce, C.M., de Alkmim, F.F., Martins Pimentel, M., Dantas, E., Martins, M., Castañeda, C., de Freitas Suito, M.T., Prichard, H.M., 2007. Age of the Ribeirão da Folia Ophiolite, Araçuaí Orogen: the U-Pb zircon (LA-ICPMS) dating of a plagiogranite. *Geonomos* 15, 61–65.

- Queiroga, G.N., Schulz, B., Martins, M. de S., Castro, M.P. de, Pedrosa-Soares, A.C., Jordt-Evangelista, H., Silva, A.L. da, 2016. Thermobarometry and electron-microprobe Th-U-Pb monazite dating in garnet metapelites from the Capelinha Formation, Araçuaí Orogen, Brazil. *Rem Rev. Esc. Minas* 69, 33–44. <https://doi.org/10.1590/0370-44672015690066>
- Rasmussen, B., Muhling, J.R., 2007. Monazite begets monazite: Evidence for dissolution of detrital monazite and reprecipitation of syntectonic monazite during low-grade regional metamorphism. *Contrib. to Mineral. Petrol.* 154, 675–689. <https://doi.org/10.1007/s00410-007-0216-6>
- Richter, F., Lana, C., Stevens, G., Buick, I., Pedrosa-Soares, A.C., Alkmim, F.F., Cutts, K., 2016. Sedimentation, metamorphism and granite generation in a back-arc region: Records from the Ediacaran Nova Venécia Complex (Araçuaí Orogen, Southeastern Brazil). *Precambrian Res.* 272, 78–100. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.10.012>
- Rieder, M., Cavazzini, G., D'yakonov, Y.S., Frank-Kamenetskii, V.A., Gottardi, G., Guggenheim, S., Koval', P. V., Mueller, G., Neiva, A.M.R., Radoslovich, E.W., Robert, J.-L., Sassi, F.P., Takeda, H., Weiss, Z., Wones, D.R., 1998. Nomenclature of the micas. *Can. Mineral.* 36, 905–912.
- Rubatto, D., Williams, I.S., Buick, I.S., 2001. Zircon and monazite response to prograde metamorphism in the Reynolds Range, central Australia. *Contrib. to Mineral. Petrol.* 140, 458–468. <https://doi.org/10.1007/PL00007673>
- Santos, R.F., Alkmim, F.F., Pedrosa-Soares, A.C., 2009. A Formação Salinas, Orógeno Araçuaí (MG): história deformacional e significado tectônico. *Rev. Bras. Geociências* 39, 81–100.
- Schulz, B., Brätz, H., Bombach, K., Krenn, E., 2007. In-situ Th-Pb dating of monazite by 266 nm laser ablation and ICP-MS with a single collector , and its control by EMP analysis. *Z.geol.Wiss.* 35, 16p.
- Siga Jr, O., 1986. A evolução geocronológica da porção nordeste de Minas Gerais, com base em interpretações geocronológicas. Universidade de São Paulo.
- Siga Jr, O., Cordani, U., Basei, M.A.S., Teixeira, W., Kawashita, K., Schmus, W.R., 1987. Contribuição ao estudo geológico-geocronológico da porção nordeste de Minas Gerais. Sociedade Brasileira de Geologia, Belo Horizonte.
- Silva, L.C., Pedrosa-Soares, A.C., Armstrong, R., Noce, C.M., 2011. Determinando a duração do período colisional do Orógeno Araçuaí com base em geocronologia U-Pb de alta resolução em zircão : uma contribuição para a história da amalgamação do Gondwana Ocidental. *Geonomos* 19, 180–197.
- Silva, L.C., Pedrosa-Soares, A.C., Teixeira, L.R., Armstrong, R., 2008. Tonian rift-related, A-type continental plutonism in the Araçuaí Orogen, eastern Brazil: New evidence for the breakup stage of the São Francisco-Congo Palecontinent. *Gondwana Res.* 13, 527–537. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2007.06.002>
- Smith, H.A., Barreiro, B., 1990. Monazite U-Pb dating of staurolite grade metamorphism in pelitic schists. *Contrib. to Mineral. Petrol.* 105, 602–615. <https://doi.org/10.1007/BF00302498>
- Solar, G.S., Brown, M., 1999. The classic high-T - low-P metamorphism of West-Central Maine: Is it post-tectonic or syntectonic ? Evidence from porphyroblast-matrix relations. *Can. Mineral.* 37, 311–333.
- Spear, F.S., Pyle, J.M., 2002. Apatite, Monazite, and Xenotime in Metamorphic Rocks. *Rev. Mineral. Geochemistry* 48, 293–335. <https://doi.org/10.2138/rmg.2002.48.7>
- Steiger, R.H., Jäger, E., 1977. Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry compded by On August 24 , 1976 the IUGS Subcommmlsslson on Geochronology met in Sydney , Australia , during the 25th International Geological Congress . *It. Earth Planet. Sci. Lett.* 36, 359–362.
- Stüwe, K., 2007. Geodynamics of the Lithosphere. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-71237-4>

- Suzuki, K., Adachi, I.M., 1991. Precambrian provenance and Silurian metamorphism of the Tsubonosawa paragneiss in the South Kitakami terrane, Northeast Japan, revealed by the chemical Th-U-total Pb isochron ages of monazite, zircon and xenotime. *Geochem. J.* 25, 357–376. <https://doi.org/10.2343/geochemj.25.357>
- Suzuki, K., Adachi, M., 1994. Middle Precambrian detrital monazite and zircon from the hida gneiss on Oki-Dogo Island, Japan: their origin and implications for the correlation of basement gneiss of Southwest Japan and Korea. *Tectonophysics* 235, 277–292. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90198-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90198-8)
- Suzuki, K., Adachi, M., Kajizuka, I., 1994. Electron microprobe observations of Pb diffusion in metamorphosed detrital monazites. *Earth Planet. Sci. Lett.* 128, 391–405. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(94\)90158-9](https://doi.org/10.1016/0012-821X(94)90158-9)
- Suzuki, K., Kato, T., 2008. CHIME dating of monazite, xenotime, zircon and polycrase: Protocol, pitfalls and chemical criterion of possibly discordant age data. *Gondwana Res.* 14, 569–586. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2008.01.005>
- Tedeschi, M., Novo, T., Pedrosa-Soares, A., Dussin, I., Tassinari, C., Silva, L.C., Gonçalves, L., Alkmim, F., Lana, C., Figueiredo, C., Dantas, E., Medeiros, S., De Campos, C., Corrales, F., Heilbron, M., 2016. The Ediacaran Rio Doce magmatic arc revisited (Araçuaí-Ribeira orogenic system, SE Brazil). *J. South Am. Earth Sci.* 68, 167–186. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.11.011>
- Townsend, K.J., Miller, C.F., D’Andrea, J.L., Ayers, J.C., Harrison, T.M., Coath, C.D., 2000. Low temperature replacement of monazite in the Ireteba granite, Southern Nevada: Geochronological implications. *Chem. Geol.* 172, 95–112. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(00\)00238-2](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(00)00238-2)
- Trompette, R., 1994. *Geology of Western Gondwana (2000 - 500 Ma): Pan-African-Brasiliano Aggregation of South America and Africa*. CRC Press.
- Turner, F.J., 1981. *Metamorphic Petrology*. McGraw-Hill, New York.
- Uhlein, A., Trompette, R.R., Egydio-Silva, M., 1998. Proterozoic rifting and closure, SE border of the Sao Francisco Craton, Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* 11, 191–203. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(98\)00010-8](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(98)00010-8)
- Vaucher, A., Egydio-Silva, M., Babinski, M., Tommasi, A., Uhlein, A., Liu, D., 2007. Deformation of a pervasively molten middle crust: Insights from the neoproterozoic Ribeira-Araçuaí orogen (SE Brazil). *Terra Nov.* 19, 278–286. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2007.00747.x>
- Vaucher, A., Tommasi, A., Egydio-Silva, M., 1994. Self-identification of a heterogeneous continental lithosphere. *Geology* 22, 967–970. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1994\)022<0967:SIOAHC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1994)022<0967:SIOAHC>2.3.CO;2)
- Vernon, R.H., Flood, R.H., 1977. Interpretation of metamorphic assemblages containing fibrolitic sillimanite. *Contrib. to Mineral. Petrol.* 59, 227–235. <https://doi.org/10.1007/BF00374554>
- Vieira, V.S., 2007. *Significado do Grupo Rio Doce no contexto do Orógeno Araçuaí*. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Whitney, D.L., Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Am. Mineral.* 95, 185–187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- Williams, I.S., 2001. Response of detrital zircon and monazite, and their U–Pb isotopic systems, to regional metamorphism and host-rock partial melting, Cooma Complex, southeastern Australia. *Aust. J. Earth Sci.* 48, 557–580.
- Wing, B.A., Ferry, J.M., Harrison, T.M., 2003. Prograde destruction and formation of monazite and allanite during contact and regional metamorphism of pelites: petrology and geochronology. *Contrib. to Mineral. Petrol.* 145, 228–250. <https://doi.org/10.1007/s00410-003-0446-1>
- Wronkiewicz, D.J., Condie, K.C., 1987. Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand

Supergroup, South Africa: Source-area weathering and provenance. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51, 2401–2416. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(87\)90293-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(87)90293-6)

Anexo I – Tabela e mapa de pontos de campo

ESTAÇÕES DE CAMPO

Ponto	Coord N	Coord E	Litotipo de campo	Foliação		Lineação		PA		Petrografia	Microsonda	Geocron
MM-01	7934618	242604	ms-bt xisto	330	45							
MM-02	7934572	242696	ms-bt xisto	249	30					x		
MM-03	7934548	242744	grt-ms-bt xisto	240	38	155	20					
						190	15					
MM-04	7934518	242789	bt xisto	240	40	262	55			x		
				274	50							
MM-05	7934494	242867	ms-bt xisto	244	71	326	2	122	10			
MM-06	7934509	242893	bt xisto	226	42							
				250	50							
				248	45							
MM-07	7934516	242932	ms-bt xisto	252	70							
				220	65							
				240	60	322	10					
MM-08	7934425	243026	sil-bt xisto	247	39	310	15					
				243	45							
				226	50							
MM-09	7934367	243196	st-sil-bt xisto	220	45							
				230	55							
MM-10	7934338	243199	st-sil-ms-bt xisto	236	53	315	2	40	40			
				233	55	326	4					
MM-11	7934236	243175	grt-bt xisto	242	60	185	45			x		
MM-12	7934231	243296	sil-st-ms-bt xisto	230	55							
				220	55							
MM-13	7933292	239931	grt-ms-bt xisto									
MM-14	7933315	239921	ms-bt xisto	195	85					x		
				195	86							
MM-15	7933344	239917	grt-ms-bt xisto	220	70	220	70					
MM-16	7933368	239907	ms-bt xisto									
MM-17	7933378	239905	grt-sil-ms-bt xisto									
MM-18	7933400	239891	grt-sil-ms-bt xisto	125	70					x		
				132	65							

Ponto	Coord N	Coord E	Litotipo de campo	Foliação		Lineação		PA		Petrografia	Microsonda	Geocron
MM-19	7933411	239890	ms-bt xisto	207	84							
MM-20	7918496	238898	ms-bt xisto	232	85					x		
MM-21	7918214	237460	grt-ms-bt xisto	298	85	219	56			x	x	x
				298	86							
MM-29	7903542	236399	granitoide							x		
MM-30	7903471	236580	grt-ms-bt xisto	228	89	148	75			x		
MM-22	7903388	236701	grt-st-ms-bt xisto	340	50							
MM-23	7906455	250238	grt-ms-bt xisto	285	75							
				292	64							
MM-24	7906986	249717	grt-ms-bt xisto	305	78	270	70			x	x	x
				210	80							
MM-25	7907281	248057	sil-grt-ms-bt xisto/calcissilicática	230	88	110	57	214	80			
MM-26	7934154	241210	bt xisto/grt-sil-bt xisto							x		
MM-27	7947854	239642	bt xisto/calcissilicática	188	55					x		
MM-28	7947459	239777	sil-bt xisto	210	75							
MM-31	7903118	239958	sil-grt-ms-bt xisto	32	86	114	60					
				95	46					x		
MM-32	7904192	242214	bt xisto	105	45							
				356	80							
MM-33	7904192	242214	bt xisto/calcissilicática	212	60							
				208	69							
MM-34	7907378	247042	sil-ms-bt xisto	32	80	324	65			x	x	x
						67	72					
MM-35	7933365	240167	ms-bt xisto	236	71							
MM-36	7933298	240062	grt-ms-bt xisto									
MM-37	7933257	239974	grt-ms-bt xisto	218	79							
MM-38	7932959	240010	grt-st-bt xisto							x		
MM-39	7932942	240034	grt-sil-bt xisto									
MM-40	7932942	240050	bt xisto/calcissilicática							x		
MM-41	7932937	240056	sil-grt-bt xisto	266	71	246	70					

Mapa de pontos

Legenda

Área de estudo

Convenções Cartográficas

Mancha Urbana

Rodovia

Estrada não pavimentada de tráfego permanente

Estrada não pavimentada de tráfego periódico

Pojeção Unapal Transversa de Mercator 24S
Datum horizontal - SIRGAS 2000

Anexo II – Tabela de análises químicas de silicatos

GRANADA

	MM21 CAMPO1							MM21 CAMPO4						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO2	37.287	36.793	37.245	37.202	37.011	36.622	36.882	36.627	36.872	36.816	36.482	36.851	36.611	36.829
TiO2	0	0.011	0.003	0.027	0	0.019	0.002	0	0.014	0	0.01	0	0	0.006
Al2O3	20.758	20.606	20.863	20.995	20.731	20.621	20.54	20.708	20.543	20.687	20.584	20.763	20.66	20.719
Cr2O3	0.037	0.004	0.04	0	0.037	0	0	0.004	0.028	0.02	0	0	0.019	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	33.531	33.022	32.751	33.031	32.331	32.428	32.843	32.769	32.601	31.973	31.538	30.851	32.192	31.198
MnO	4.348	4.558	4.734	4.939	5.138	4.988	4.71	4.453	5.241	6.058	6.647	7.284	6.316	6.7
MgO	3.613	3.66	3.59	3.664	3.579	3.594	3.685	3.659	3.501	3.386	3.182	3.053	3.491	3.229
CaO	0.683	0.778	0.828	0.878	0.836	0.845	0.853	0.574	0.711	0.67	0.679	0.837	0.732	0.813
Na2O	0.02	0.001	0.038	0.06	0.017	0	0.035	0.069	0.024	0	0.008	0	0.019	0.049
K2O	0.001	0.009	0	0.006	0.006	0.003	0.001	0.006	0.009	0	0.008	0.001	0.004	0
Total	100.278	99.442	100.092	100.802	99.686	99.12	99.551	98.869	99.544	99.61	99.138	99.64	100.044	99.543
Oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.993	2.977	2.992	2.967	2.986	2.973	2.979	2.977	2.984	2.979	2.97	2.985	2.95	2.982
Ti	0	0.001	0	0.002	0	0.001	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0
Al	1.964	1.966	1.976	1.974	1.972	1.973	1.956	1.984	1.96	1.974	1.976	1.983	1.963	1.978
Cr	0.002	0	0.003	0	0.002	0	0	0	0.002	0.001	0	0	0.001	0
Fe3	0.051	0.08	0.043	0.099	0.056	0.079	0.09	0.073	0.074	0.066	0.085	0.046	0.14	0.065
Fe2	2.2	2.154	2.157	2.105	2.126	2.122	2.129	2.154	2.132	2.098	2.063	2.044	2.03	2.047
Mn	0.296	0.312	0.322	0.334	0.351	0.343	0.322	0.307	0.359	0.415	0.458	0.5	0.431	0.46
Mg	0.432	0.441	0.43	0.436	0.43	0.435	0.444	0.443	0.422	0.408	0.386	0.369	0.419	0.39
Ca	0.059	0.067	0.071	0.075	0.072	0.073	0.074	0.05	0.062	0.058	0.059	0.073	0.063	0.071
Na	0.003	0	0.006	0.009	0.003	0	0.005	0.011	0.004	0	0.001	0	0.003	0.008
K	0	0.001	0	0.001	0.001	0	0	0.001	0.001	0	0.001	0	0	0
Total	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Alm	73.7	72.4	72.4	71.4	71.4	71.4	71.7	72.9	71.7	70.4	69.6	68.5	69.0	69.0
Py	14.5	14.8	14.4	14.8	14.4	14.6	15.0	15.0	14.2	13.7	13.0	12.4	14.2	13.1
Sps	9.9	10.5	10.8	11.3	11.8	11.5	10.8	10.4	12.1	13.9	15.4	16.7	14.6	15.5
Grs														
Adr	2.5	3.9	2.1	4.8	2.8	3.8	4.4	3.5	3.6	3.2	4.1	2.3	6.7	3.2

GRANADA

	MM21 CAMPO4			MM24-1 CAMPO5								MM24-1 CAMPO16	
	15	16	17	25	26	27	28	29	30	31	32	18	19
SiO2	36.529	36.609	36.566	37.651	37.399	36.948	36.945	36.875	36.921	37.187	36.765	37	37.248
TiO2	0.012	0.028	0	0	0	0	0	0	0.002	0	0	0	0
Al2O3	20.7	20.586	20.571	21.312	20.976	20.858	21.168	20.74	20.913	21.008	20.986	21.205	20.993
Cr2O3	0.006	0.026	0.05	0.035	0.005	0.05	0.028	0.069	0.019	0	0.011	0.028	0.063
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	31.594	32.9	33.797	33.911	33.127	31.599	31.541	31.385	31.792	31.812	33.452	33.917	32.894
MnO	6.233	4.979	4.382	3.842	4.152	5.655	6.006	5.815	5.924	5.464	4.191	3.945	4.278
MgO	3.333	3.416	3.637	3.471	3.425	3.13	3.103	3.045	3.179	3.349	3.469	3.529	3.498
CaO	0.788	0.728	0.574	0.877	1.165	1.219	1.302	1.203	1.256	1.24	0.996	1.034	1.352
Na2O	0	0.037	0.015	0.059	0	0.079	0.048	0.091	0.034	0.04	0.06	0.011	0
K2O	0.002	0.01	0	0.015	0.006	0.035	0.006	0.016	0.004	0	0.012	0	0
Total	99.197	99.319	99.592	101.173	100.255	99.573	100.147	99.239	100.044	100.1	99.942	100.669	100.326
Oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.968	2.97	2.958	2.992	3	2.987	2.97	2.993	2.973	2.987	2.959	2.957	2.985
Ti	0.001	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	1.983	1.969	1.962	1.997	1.984	1.988	2.006	1.984	1.985	1.99	1.991	1.998	1.983
Cr	0	0.002	0.003	0.002	0	0.003	0.002	0.004	0.001	0	0.001	0.002	0.004
Fe3	0.08	0.093	0.122	0.027	0.015	0.051	0.06	0.042	0.073	0.042	0.102	0.089	0.044
Fe2	2.067	2.14	2.165	2.227	2.207	2.085	2.061	2.088	2.068	2.095	2.15	2.177	2.16
Mn	0.429	0.342	0.3	0.259	0.282	0.387	0.409	0.4	0.404	0.372	0.286	0.267	0.29
Mg	0.404	0.413	0.438	0.411	0.41	0.377	0.372	0.368	0.381	0.401	0.416	0.42	0.418
Ca	0.069	0.063	0.05	0.075	0.1	0.106	0.112	0.105	0.108	0.107	0.086	0.089	0.116
Na	0	0.006	0.002	0.009	0	0.012	0.007	0.014	0.005	0.006	0.009	0.002	0
K	0	0.001	0	0.002	0.001	0.004	0.001	0.002	0	0	0.001	0	0
Total	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Alm	69.6	72.3	73.3	74.9	73.6	70.6	69.8	70.5	69.8	70.4	73.2	73.7	72.4
Py	13.6	14.0	14.8	13.8	13.7	12.8	12.6	12.4	12.9	13.5	14.2	14.2	14.0
Sps	14.4	11.6	10.2	8.7	9.4	13.1	13.8	13.5	13.6	12.5	9.7	9.0	9.7
Grs				1.2	2.6	1.1	0.9	1.5	0.1	1.5			1.7
Adr	3.9	4.5	5.9	1.3	0.8	2.5	2.9	2.1	3.5	2.1	4.9	4.3	2.2

GRANADA

	MM24-1 CAMPO16					MM24-1 CAMPO17								
	20	21	22	23	24	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SiO2	37.013	37.056	37.191	37.05	37.278	37.394	37.108	37.132	36.916	36.895	36.857	37.126	37.274	36.818
TiO2	0.018	0.012	0	0.004	0.013	0.01	0	0	0.022	0.021	0.004	0.02	0.016	0
Al2O3	21.147	21.212	21.019	20.899	21.031	21.316	20.786	20.806	20.743	20.779	20.777	20.772	20.89	20.597
Cr2O3	0.049	0	0.008	0	0	0	0.003	0.032	0	0.034	0.004	0.017	0.117	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	32.6	32.233	32.516	32.44	33.145	32.696	31.431	30.8	30.146	29.94	30.754	31.273	32.021	32.462
MnO	4.868	4.859	4.623	4.31	4.226	4.614	5.783	6.99	7.533	7.641	7.345	6.645	5.489	4.641
MgO	3.292	3.328	3.372	3.356	3.453	3.143	3.102	2.835	2.709	2.765	2.7	2.873	3.103	3.28
CaO	1.221	1.245	1.257	1.381	1.042	1.341	1.243	1.187	1.303	1.37	1.264	1.285	1.306	1.306
Na2O	0.014	0.037	0.038	0	0.025	0.034	0.042	0.028	0.048	0.017	0	0.016	0.018	0.017
K2O	0	0.01	0.006	0.014	0	0	0.003	0	0	0.002	0	0.014	0.009	0
Total	100.222	99.992	100.03	99.454	100.213	100.548	99.501	99.81	99.42	99.464	99.705	100.041	100.243	99.121
Oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.972	2.979	2.989	2.995	2.991	2.992	3.003	3.003	2.998	2.994	2.988	2.996	2.997	2.99
Ti	0.001	0.001	0	0	0.001	0.001	0	0	0.001	0.001	0	0.001	0.001	0
Al	2.002	2.01	1.992	1.992	1.99	2.011	1.983	1.984	1.986	1.988	1.986	1.976	1.98	1.972
Cr	0.003	0	0.001	0	0	0	0	0.002	0	0.002	0	0.001	0.007	0
Fe3	0.051	0.038	0.036	0.02	0.03	0.008	0.016	0.012	0.023	0.021	0.037	0.032	0.021	0.05
Fe2	2.139	2.129	2.149	2.173	2.195	2.18	2.111	2.071	2.025	2.011	2.048	2.078	2.132	2.155
Mn	0.331	0.331	0.315	0.295	0.287	0.313	0.396	0.479	0.518	0.525	0.504	0.454	0.374	0.319
Mg	0.394	0.399	0.404	0.404	0.413	0.375	0.374	0.342	0.328	0.334	0.326	0.346	0.372	0.397
Ca	0.105	0.107	0.108	0.12	0.09	0.115	0.108	0.103	0.113	0.119	0.11	0.111	0.113	0.114
Na	0.002	0.006	0.006	0	0.004	0.005	0.007	0.004	0.008	0.003	0	0.003	0.003	0.003
K	0	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0
Total	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Alm	72.0	71.8	72.2	72.6	73.5	73.1	70.6	69.1	67.9	67.3	68.5	69.5	71.3	72.2
Py	13.3	13.5	13.6	13.5	13.8	12.6	12.5	11.4	11.0	11.2	10.9	11.6	12.4	13.3
Sps	11.1	11.2	10.6	9.9	9.6	10.5	13.2	16.0	17.4	17.6	16.9	15.2	12.5	10.7
Grs	1.1	1.8	1.9	3.0	1.5	3.5	2.8	2.8	2.6	2.9	1.9	2.1	2.7	1.3
Adr	2.5	1.9	1.8	1.0	1.5	0.4	0.8	0.6	1.1	1.0	1.8	1.6	1.0	2.5

GRANADA

	MM24-1_CAMPO18								MM24-2_CAMPO8					
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6
SiO2	37.852	37.515	37.419	37.082	37.3	37.027	37.025	36.558	37.246	37.074	37.147	37.064	36.889	36.291
TiO2	0	0	0	0	0.006	0.001	0.017	0	0.021	0.001	0.015	0	0.021	0.002
Al2O3	21.198	20.779	20.949	21.077	20.862	20.8	21.147	20.638	20.954	20.983	20.916	20.956	20.911	22.871
Cr2O3	0.023	0	0.071	0	0.011	0.03	0	0	0.018	0	0.058	0.016	0.07	0.002
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	32.891	32.217	31.832	31.982	32.021	32.594	32.322	33.585	33.715	33.699	33.325	32.947	32.588	31.952
MnO	4.329	4.738	5.114	5.144	5.147	4.764	4.661	3.959	4.42	3.797	4.242	4.556	4.518	4.446
MgO	3.021	3.413	3.308	3.224	3.291	3.384	3.352	3.218	3.423	3.613	3.745	3.589	3.445	3.523
CaO	1.214	1.29	1.194	1.238	1.275	1.191	1.293	1.01	0.96	1.231	1.178	1.196	1.151	1.177
Na2O	0.049	0.028	0.022	0.024	0.043	0.059	0.028	0.019	0.021	0.012	0.026	0.053	0.053	0.068
K2O	0.003	0	0.003	0	0.007	0.011	0.001	0.002	0.005	0.001	0.005	0	0.001	0
Total	100.58	99.98	99.912	99.771	99.963	99.861	99.846	98.989	100.783	100.411	100.657	100.377	99.647	100.332
Oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	3.023	3.017	3.01	2.99	3.002	2.983	2.98	2.977	2.977	2.968	2.965	2.967	2.976	2.892
Ti	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0
Al	1.996	1.97	1.987	2.004	1.979	1.975	2.007	1.981	1.974	1.98	1.968	1.978	1.989	2.149
Cr	0.001	0	0.005	0	0.001	0.002	0	0	0.001	0	0.004	0.001	0.004	0
Fe3	0	0.002	0	0.02	0.023	0.068	0.035	0.068	0.072	0.086	0.101	0.095	0.061	0.077
Fe2	2.197	2.165	2.142	2.137	2.132	2.128	2.141	2.219	2.181	2.17	2.124	2.111	2.138	2.052
Mn	0.293	0.323	0.349	0.351	0.351	0.325	0.318	0.273	0.299	0.257	0.287	0.309	0.309	0.3
Mg	0.36	0.409	0.397	0.387	0.395	0.406	0.402	0.391	0.408	0.431	0.445	0.428	0.414	0.418
Ca	0.104	0.111	0.103	0.107	0.11	0.103	0.112	0.088	0.082	0.106	0.101	0.103	0.099	0.101
Na	0.008	0.004	0.003	0.004	0.007	0.009	0.004	0.003	0.003	0.002	0.004	0.008	0.008	0.011
K	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0
Total	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Alm	74.4	72.0	71.6	71.7	71.4	71.8	72.0	74.7	73.4	73.2	71.8	71.5	72.2	71.5
Py	12.2	13.6	13.3	13.0	13.2	13.7	13.5	13.2	13.7	14.5	15.0	14.5	14.0	14.6
Sps	9.9	10.7	11.7	11.8	11.7	11.0	10.7	9.2	10.1	8.7	9.7	10.5	10.4	10.4
Grs	3.5	3.6	3.4	2.6	2.5	0.1	2.1							
Adr	0.0	0.1	0.0	1.0	1.1	3.3	1.7	3.3	3.5	4.2	4.9	4.6	3.0	3.5

GRANADA

	MM24-2 CAMPO8								MM24-2 CAMPO12					
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO2	36.909	37.084	36.844	37.139	36.945	36.707	36.772	36.633	37.378	37.656	36.944	36.856	36.895	36.9
TiO2	0.009	0.034	0.012	0	0.003	0	0.013	0.011	0	0.014	0	0	0.014	0.014
Al2O3	20.773	20.858	20.926	20.876	20.933	20.97	20.697	20.811	20.034	20.077	21.534	20.879	20.682	20.823
Cr2O3	0.016	0.008	0	0.036	0.015	0.027	0	0.011	0.04	0.028	0.025	0.017	0	0.031
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	32.37	32.434	32.572	32.845	32.885	32.719	33.337	33.305	33.223	32.865	31.647	31.655	31.406	31.264
MnO	4.802	4.828	4.874	4.878	4.723	4.45	4.3	4.192	4.892	4.822	5.713	6.09	6.423	6.999
MgO	3.473	3.575	3.506	3.673	3.516	3.536	3.63	3.537	3.172	3.242	3.072	3.148	2.954	2.873
CaO	1.237	1.219	1.216	1.228	1.158	1.33	1.058	0.863	1.294	1.257	1.266	1.292	1.279	1.245
Na2O	0.029	0.045	0.027	0.037	0.047	0.029	0.015	0.049	0.058	0.031	0.049	0.011	0.057	0.009
K2O	0.01	0.01	0	0	0.009	0	0.003	0.001	0.012	0.012	0	0.001	0.011	0.009
Total	99.628	100.095	99.977	100.712	100.234	99.768	99.825	99.413	100.103	100.004	100.25	99.949	99.721	100.167
Oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.979	2.977	2.963	2.964	2.964	2.956	2.963	2.964	3.014	3.037	2.965	2.972	2.985	2.976
Ti	0.001	0.002	0.001	0	0	0	0.001	0.001	0	0.001	0	0	0.001	0.001
Al	1.976	1.974	1.984	1.964	1.98	1.991	1.966	1.985	1.905	1.909	2.037	1.985	1.972	1.98
Cr	0.001	0.001	0	0.002	0.001	0.002	0	0.001	0.003	0.002	0.002	0.001	0	0.002
Fe3	0.07	0.075	0.092	0.111	0.1	0.099	0.109	0.093	0.074	0.019	0.039	0.072	0.067	0.068
Fe2	2.115	2.102	2.098	2.081	2.107	2.104	2.138	2.16	2.167	2.198	2.085	2.062	2.058	2.041
Mn	0.328	0.328	0.332	0.33	0.321	0.304	0.293	0.287	0.334	0.329	0.388	0.416	0.44	0.478
Mg	0.418	0.428	0.42	0.437	0.42	0.424	0.436	0.426	0.381	0.39	0.367	0.378	0.356	0.345
Ca	0.107	0.105	0.105	0.105	0.1	0.115	0.091	0.075	0.112	0.109	0.109	0.112	0.111	0.108
Na	0.005	0.007	0.004	0.006	0.007	0.005	0.002	0.008	0.009	0.005	0.008	0.002	0.009	0.001
K	0.001	0.001	0	0	0.001	0	0	0	0.001	0.001	0	0	0.001	0.001
Total	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Alm	71.3	70.9	71.0	70.5	71.5	71.4	72.3	73.3	72.4	72.6	70.7	69.5	69.4	68.7
Py	14.1	14.4	14.2	14.8	14.2	14.4	14.7	14.5	12.7	12.9	12.4	12.7	12.0	11.6
Sps	11.1	11.1	11.2	11.2	10.9	10.3	9.9	9.7	11.2	10.9	13.2	14.0	14.8	16.1
Grs									0.0	2.6	1.8	0.3	0.5	0.3
Adr	3.4	3.7	4.4	5.3	4.8	4.7	5.3	4.5	3.7	1.0	1.9	3.5	3.3	3.3

GRANADA

	MM24-2 CAMPO12							MM-34 CAMPO1						
	21	22	23	24	25	26	27	1	2	3	4	5	6	7
SiO2	36.809	37.081	36.965	36.713	37.157	37.073	36.687	37.327	37.196	37.116	37.176	37.021	37.022	36.664
TiO2	0.01	0.002	0.005	0.013	0.005	0.008	0	0.001	0	0	0.008	0.014	0.013	0.009
Al2O3	20.831	20.922	20.758	20.845	20.96	20.867	20.729	20.915	20.764	20.843	20.878	20.73	20.678	20.826
Cr2O3	0.062	0	0.038	0.013	0.027	0.015	0	0	0	0.055	0	0.044	0.017	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	31.402	31.537	31.985	32.594	32.572	33.113	33.736	29.395	29.495	29.584	29.575	29.668	29.768	29.799
MnO	7.065	6.778	6.466	6.064	5.336	4.676	4.111	9.669	9.661	9.149	9.263	9.32	9.083	9.019
MgO	2.991	2.992	3.029	3.257	3.337	3.306	3.628	2.74	2.672	2.963	2.884	3.011	2.919	3.003
CaO	1.243	1.303	1.274	1.305	1.387	1.212	0.988	0.794	0.968	0.942	1.01	0.892	0.924	0.871
Na2O	0.005	0.026	0.062	0.1	0.01	0	0.016	0.002	0.027	0.015	0.02	0.029	0.013	0.032
K2O	0.014	0.006	0	0.002	0.016	0	0.003	0.008	0.008	0.008	0.002	0.003	0.005	0.007
Total	100.432	100.647	100.582	100.906	100.807	100.27	99.898	100.851	100.791	100.675	100.816	100.732	100.442	100.23
Oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.96	2.973	2.966	2.933	2.968	2.979	2.955	2.995	2.987	2.979	2.98	2.97	2.98	2.955
Ti	0.001	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001
Al	1.975	1.978	1.964	1.963	1.974	1.977	1.968	1.978	1.966	1.972	1.973	1.961	1.962	1.979
Cr	0.004	0	0.002	0.001	0.002	0.001	0	0	0	0.003	0	0.003	0.001	0
Fe3	0.103	0.081	0.111	0.185	0.091	0.064	0.124	0.033	0.064	0.071	0.069	0.099	0.077	0.116
Fe2	2.009	2.034	2.036	1.992	2.085	2.161	2.148	1.94	1.917	1.915	1.914	1.891	1.927	1.892
Mn	0.481	0.46	0.439	0.41	0.361	0.318	0.28	0.657	0.657	0.622	0.629	0.633	0.619	0.616
Mg	0.358	0.358	0.362	0.388	0.397	0.396	0.436	0.328	0.32	0.354	0.345	0.36	0.35	0.361
Ca	0.107	0.112	0.11	0.112	0.119	0.104	0.085	0.068	0.083	0.081	0.087	0.077	0.08	0.075
Na	0.001	0.004	0.01	0.015	0.002	0	0.002	0	0.004	0.002	0.003	0.005	0.002	0.005
K	0.001	0.001	0	0	0.002	0	0	0.001	0.001	0.001	0	0	0.001	0.001
Total	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Alm	68.0	68.6	69.1	68.6	70.4	72.5	72.8	64.8	64.4	64.4	64.3	63.9	64.8	64.3
Py	12.1	12.1	12.3	13.4	13.4	13.3	14.8	11.0	10.7	11.9	11.6	12.2	11.8	12.3
Sps	16.3	15.5	14.9	14.1	12.2	10.7	9.5	22.0	22.1	20.9	21.1	21.4	20.8	20.9
Grs						0.4								
Adr	5.0	3.9	5.3	8.6	4.4	3.1	5.9	1.6	3.2	3.5	3.4	4.8	3.8	5.5

GRANADA

	MM-34 CAMPO1					MM-34 CAMPO3								
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
SiO2	36.954	37.05	37.093	36.745	37.01	37.345	37.056	36.439	36.919	36.799	36.871	37.075	37.025	36.956
TiO2	0.002	0	0	0.005	0	0.025	0.013	0.01	0.025	0	0	0.021	0.007	0
Al2O3	20.731	20.925	20.907	20.918	20.837	21.409	20.877	20.953	20.78	20.735	21.05	20.905	20.104	20.848
Cr2O3	0.017	0	0	0	0.009	0	0.038	0.013	0	0.063	0.005	0.021	0.067	0.002
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	29.637	29.627	29.81	29.722	29.435	29.531	29.186	28.861	29.6	29.305	29.239	29.138	29.657	29.223
MnO	8.654	8.696	8.553	8.619	9.25	9.833	9.74	9.907	10.163	10.658	10.673	9.472	9.485	9.439
MgO	3.073	3.103	3.155	3.073	2.836	2.664	2.711	2.691	2.581	2.455	2.389	2.741	2.838	2.861
CaO	0.921	1.045	1.02	0.867	0.971	1.063	0.97	1.025	0.598	0.645	0.637	0.997	0.949	0.925
Na2O	0.016	0	0.026	0.021	0	0	0	0.005	0.026	0	0	0	0.04	0
K2O	0.01	0.009	0.008	0	0.014	0.006	0	0.006	0.002	0.001	0	0	0	0
Total	100.015	100.455	100.572	99.97	100.362	101.876	100.591	99.91	100.694	100.661	100.864	100.37	100.172	100.254
Oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.982	2.975	2.974	2.966	2.981	2.965	2.981	2.95	2.973	2.968	2.967	2.987	2.994	2.98
Ti	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.002	0	0	0.001	0	0
Al	1.972	1.981	1.976	1.99	1.979	2.004	1.98	2	1.973	1.972	1.997	1.986	1.916	1.982
Cr	0.001	0	0	0	0.001	0	0.002	0.001	0	0.004	0	0.001	0.004	0
Fe3	0.066	0.069	0.08	0.081	0.06	0.063	0.054	0.099	0.082	0.088	0.07	0.037	0.098	0.059
Fe2	1.934	1.921	1.919	1.926	1.923	1.899	1.909	1.855	1.911	1.889	1.898	1.927	1.908	1.911
Mn	0.592	0.592	0.581	0.589	0.631	0.661	0.664	0.679	0.693	0.728	0.727	0.646	0.65	0.645
Mg	0.37	0.371	0.377	0.37	0.34	0.315	0.325	0.325	0.31	0.295	0.286	0.329	0.342	0.344
Ca	0.08	0.09	0.088	0.075	0.084	0.09	0.084	0.089	0.052	0.056	0.055	0.086	0.082	0.08
Na	0.003	0	0.004	0.003	0	0	0	0.001	0.004	0	0	0	0.006	0
K	0.001	0.001	0.001	0	0.001	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0
Total	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Alm	65.0	64.6	64.7	65.1	64.6	64.0	64.0	62.9	64.4	63.6	64.0	64.5	64.0	64.1
Py	12.4	12.5	12.7	12.5	11.4	10.6	10.9	11.0	10.5	9.9	9.6	11.0	11.5	11.5
Sps	19.9	19.9	19.6	19.9	21.2	22.3	22.3	23.0	23.4	24.5	24.5	21.6	21.8	21.6
Grs														
Adr	3.2	3.4	3.9	3.9	2.9	3.0	2.7	4.7	4.0	4.3	3.4	1.8	4.9	2.9

GRANADA

	MM-34 CAMPO3				MM-34 CAMPO6					MM-34 CAMPO8			
	22	42	43	44	45	46	47	48	49	23	24	25	26
SiO2	36.85	36.67	36.746	36.775	36.866	36.485	36.512	36.628	36.473	36.859	36.658	36.96	36.754
TiO2	0.004	0	0.009	0	0	0	0	0.012	0	0.009	0	0.008	0
Al2O3	20.806	20.905	20.82	20.721	20.506	20.623	20.849	20.751	20.505	20.915	20.529	20.99	20.93
Cr2O3	0	0.019	0.02	0	0	0.033	0	0	0	0.055	0	0	0.007
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	28.829	29.056	29.177	29.462	29.284	29.197	29.729	29.746	28.846	28.892	29.088	29.605	29.372
MnO	9.565	10.122	9.901	9.771	9.674	10.053	9.616	9.669	10.719	10.144	10.677	9.322	9.895
MgO	2.658	2.503	2.679	2.852	2.825	2.579	2.879	2.907	2.355	2.502	2.379	2.618	2.592
CaO	0.992	0.921	0.893	0.865	0.856	0.698	0.607	0.652	0.806	0.81	0.787	0.74	0.91
Na2O	0.023	0.032	0.024	0.027	0	0.037	0.003	0.022	0	0.031	0	0	0.002
K2O	0.015	0	0.002	0.014	0.007	0.015	0.003	0.005	0.008	0.008	0.007	0	0.009
Total	99.742	100.228	100.271	100.487	100.018	99.72	100.198	100.392	99.712	100.225	100.125	100.243	100.471
Oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.987	2.964	2.966	2.961	2.983	2.965	2.949	2.952	2.97	2.979	2.973	2.985	2.963
Ti	0	0	0.001	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0
Al	1.989	1.992	1.981	1.967	1.956	1.976	1.985	1.972	1.969	1.993	1.963	1.998	1.989
Cr	0	0.001	0.001	0	0	0.002	0	0	0	0.004	0	0	0
Fe3	0.041	0.084	0.087	0.117	0.078	0.099	0.118	0.126	0.092	0.051	0.091	0.031	0.086
Fe2	1.913	1.879	1.882	1.866	1.904	1.885	1.89	1.88	1.873	1.902	1.882	1.968	1.895
Mn	0.657	0.693	0.677	0.666	0.663	0.692	0.658	0.66	0.739	0.694	0.734	0.638	0.676
Mg	0.321	0.301	0.322	0.342	0.341	0.312	0.347	0.349	0.286	0.301	0.288	0.315	0.311
Ca	0.086	0.08	0.077	0.075	0.074	0.061	0.053	0.056	0.07	0.07	0.068	0.064	0.079
Na	0.004	0.005	0.004	0.004	0	0.006	0	0.003	0	0.005	0	0	0
K	0.002	0	0	0.001	0.001	0.002	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0	0.001
Total	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Alm	64.3	63.6	63.6	63.3	63.8	63.9	64.1	63.8	63.1	64.1	63.3	65.9	64.0
Py	10.8	10.2	10.9	11.6	11.4	10.6	11.8	11.9	9.6	10.1	9.7	10.6	10.5
Sps	22.1	23.5	22.9	22.6	22.2	23.5	22.3	22.4	24.9	23.4	24.7	21.4	22.8
Grs													
Adr	2.0	4.0	4.2	5.6	3.8	4.8	5.6	6.0	4.5	2.5	4.4	1.5	4.1

GRANADA

	MM-34 CAMPO8												
	27	28	30	31	32	33	35	36	37	38	39	40	41
SiO2	36.963	36.749	36.547	36.803	36.844	36.534	37.146	37.393	37.044	36.86	36.582	36.635	36.732
TiO2	0.01	0.025	0	0	0	0	0.008	0.014	0.006	0	0	0	0.008
Al2O3	20.785	20.804	20.701	21.018	20.653	20.874	20.022	20.047	20.013	21.012	20.838	21.027	20.846
Cr2O3	0.013	0.04	0.036	0	0.011	0.011	0.008	0.037	0.061	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	29.024	29.065	28.962	29.538	29.77	29.025	29.515	29.615	29.714	29.597	29.72	29.141	28.471
MnO	9.794	10.149	10.12	9.822	9.873	10.108	10.072	9.842	9.87	9.414	10.046	10.573	10.547
MgO	2.649	2.476	2.549	2.63	2.59	2.564	2.54	2.811	2.799	2.915	2.684	2.597	2.367
CaO	1.009	1.021	0.79	0.898	0.88	0.987	0.753	0.744	0.652	0.583	0.598	0.626	0.745
Na2O	0.035	0.023	0	0.02	0.017	0.006	0.014	0	0.01	0	0.005	0.043	0.021
K2O	0.004	0.004	0.003	0.001	0.003	0	0.01	0.008	0	0	0	0.005	0
Total	100.286	100.356	99.708	100.73	100.641	100.109	100.088	100.511	100.169	100.381	100.473	100.647	99.737
Oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.982	2.968	2.971	2.958	2.968	2.956	3.014	3.017	3	2.969	2.951	2.949	2.986
Ti	0.001	0.002	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0
Al	1.977	1.981	1.984	1.992	1.962	1.991	1.915	1.907	1.911	1.995	1.982	1.995	1.998
Cr	0.001	0.003	0.002	0	0.001	0.001	0.001	0.002	0.004	0	0	0	0
Fe3	0.062	0.082	0.073	0.095	0.104	0.097	0.06	0.057	0.087	0.067	0.116	0.114	0.034
Fe2	1.896	1.881	1.896	1.891	1.902	1.867	1.943	1.941	1.926	1.926	1.889	1.848	1.902
Mn	0.669	0.694	0.697	0.669	0.674	0.693	0.692	0.673	0.677	0.642	0.686	0.721	0.726
Mg	0.319	0.298	0.309	0.315	0.311	0.309	0.307	0.338	0.338	0.35	0.323	0.312	0.287
Ca	0.087	0.088	0.069	0.077	0.076	0.086	0.065	0.064	0.057	0.05	0.052	0.054	0.065
Na	0.005	0.004	0	0.003	0.003	0.001	0.002	0	0.002	0	0.001	0.007	0.003
K	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0	0	0.001	0
Total	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Alm	63.8	63.5	63.8	64.1	64.2	63.2	64.6	64.4	64.2	64.9	64.0	63.0	63.8
Py	10.7	10.1	10.4	10.7	10.5	10.5	10.2	11.2	11.3	11.8	10.9	10.6	9.6
Sps	22.5	23.4	23.5	22.7	22.7	23.5	23.0	22.3	22.6	21.6	23.3	24.6	24.4
Grs													
Adr	3.0	4.0	3.5	4.6	5.0	4.6	3.0	2.9	4.4	3.2	5.5	5.4	1.7

ESTAUIROLITA

MM21 CAMPO2							MM21 CAMPO7_1							
SiO2	27.32	27.163	27.102	27.237	27.455	27.208	27.104	27.355	27.295	26.954	27.407	27.252	27.336	27.444
TiO2	0.633	0.628	0.63	0.618	0.633	0.658	0.635	0.606	0.647	0.578	0.636	0.609	0.653	0.628
Al2O3	53.979	54.211	53.739	53.461	53.299	53.288	53.01	53.27	54.283	53.705	53.172	53.516	53.297	53.012
Cr2O3	0.029	0.059	0.028	0	0.052	0.054	0.048	0.047	0.059	0.042	0.014	0	0.037	0.025
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	13.993	13.889	14.18	13.998	14.091	13.843	13.862	13.949	14.128	14.047	13.745	14.083	13.978	14.168
MnO	0.326	0.356	0.3	0.371	0.325	0.331	0.325	0.34	0.347	0.337	0.302	0.349	0.359	0.333
MgO	1.737	1.79	1.866	1.753	1.872	1.861	1.793	1.851	1.78	1.749	1.774	1.705	1.761	1.868
CaO	0	0	0.015	0.001	0.006	0	0	0	0	0.017	0	0.005	0.006	0
Na2O	0.023	0.033	0.047	0.037	0.035	0.009	0.069	0.045	0.053	0.049	0.031	0.047	0.038	0.054
K2O	0.001	0	0	0	0	0.008	0	0	0.006	0.005	0.01	0.007	0.012	0.003
Total	98.041	98.129	97.907	97.476	97.768	97.26	96.846	97.463	98.598	97.483	97.091	97.573	97.477	97.535
Oxigênio	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5
Si	7.586	7.535	7.548	7.611	7.651	7.615	7.622	7.643	7.543	7.537	7.676	7.61	7.639	7.671
Ti	0.132	0.131	0.132	0.13	0.133	0.139	0.134	0.127	0.134	0.122	0.134	0.128	0.137	0.132
Al	17.669	17.729	17.644	17.612	17.511	17.584	17.575	17.547	17.686	17.704	17.556	17.618	17.558	17.468
Cr	0.006	0.013	0.006	0	0.011	0.012	0.011	0.01	0.013	0.009	0.003	0	0.008	0.006
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	3.249	3.222	3.303	3.271	3.284	3.24	3.26	3.26	3.265	3.285	3.219	3.289	3.267	3.312
Mn	0.077	0.084	0.071	0.088	0.077	0.078	0.077	0.08	0.081	0.08	0.072	0.083	0.085	0.079
Mg	0.719	0.74	0.774	0.73	0.777	0.776	0.751	0.771	0.733	0.729	0.74	0.71	0.733	0.778
Ca	0	0	0.004	0	0.002	0	0	0	0	0.005	0	0.001	0.002	0
Na	0.012	0.018	0.025	0.02	0.019	0.005	0.038	0.024	0.028	0.027	0.017	0.025	0.021	0.029
K	0	0	0	0	0	0.003	0	0	0.002	0.002	0.004	0.002	0.004	0.001
Total	29.451	29.472	29.508	29.463	29.465	29.452	29.469	29.463	29.488	29.499	29.421	29.467	29.454	29.476
Xmg	0.18	0.19	0.19	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.19	0.18	0.18	0.19

ESTAUIROLITA

MM21 CAMPO7_2									MM24-1 CAMPO9						
SiO2	27.17	26.78	27.179	27.458	27.176	27.421	27.191	27.281	27.17	27.616	26.946	27.038	27.043	27.407	27.148
TiO2	0.623	0.65	0.644	0.637	0.625	0.632	0.64	0.654	0.633	0.589	0.535	0.559	0.544	0.55	0.564
Al2O3	52.699	52.022	52.822	52.916	53.678	53.216	53.191	53.226	54.034	53.198	53.245	53.302	53.096	52.787	53.202
Cr2O3	0	0.035	0.03	0.059	0.033	0.019	0.018	0.059	0.039	0.014	0	0.027	0	0.022	0.071
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	14.075	14.118	14.003	13.848	14.195	13.819	13.678	14.009	14.154	14.126	13.874	13.956	13.707	13.985	13.98
MnO	0.374	0.364	0.356	0.332	0.336	0.279	0.318	0.324	0.304	0.239	0.241	0.222	0.222	0.185	0.253
MgO	1.885	1.744	1.778	1.825	1.841	1.804	1.74	1.622	1.802	1.978	1.955	2.105	2.078	2.169	2.186
CaO	0.006	0.001	0.003	0.008	0	0	0.003	0.019	0	0	0.004	0.005	0.001	0.009	0.003
Na2O	0.062	0.082	0.028	0.027	0.044	0.047	0.023	0.07	0.037	0.039	0.09	0.038	0.035	0.008	0.034
K2O	0.004	0.015	0.004	0	0	0.004	0.006	0.007	0.004	0.003	0.014	0	0	0.002	0.003
Total	96.898	95.811	96.847	97.11	97.928	97.241	96.808	97.271	98.177	97.802	96.904	97.252	96.726	97.124	97.444
Oxigênio	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5
Si	7.647	7.633	7.648	7.695	7.567	7.67	7.638	7.641	7.542	7.689	7.573	7.572	7.605	7.682	7.591
Ti	0.132	0.139	0.136	0.134	0.131	0.133	0.135	0.138	0.132	0.123	0.113	0.118	0.115	0.116	0.119
Al	17.486	17.482	17.524	17.483	17.621	17.549	17.615	17.575	17.683	17.462	17.642	17.599	17.602	17.443	17.538
Cr	0	0.008	0.007	0.013	0.007	0.004	0.004	0.013	0.009	0.003	0	0.006	0	0.005	0.016
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	3.313	3.366	3.296	3.246	3.306	3.233	3.213	3.281	3.286	3.289	3.261	3.269	3.224	3.278	3.269
Mn	0.089	0.088	0.085	0.079	0.079	0.066	0.076	0.077	0.071	0.056	0.057	0.053	0.053	0.044	0.06
Mg	0.791	0.741	0.746	0.762	0.764	0.752	0.728	0.677	0.745	0.821	0.819	0.879	0.871	0.906	0.911
Ca	0.002	0	0.001	0.002	0	0	0.001	0.006	0	0	0.001	0.002	0	0.003	0.001
Na	0.034	0.045	0.015	0.015	0.024	0.025	0.013	0.038	0.02	0.021	0.049	0.021	0.019	0.004	0.018
K	0.001	0.005	0.001	0	0	0.001	0.002	0.003	0.001	0.001	0.005	0	0	0.001	0.001
Total	29.495	29.508	29.459	29.43	29.499	29.434	29.425	29.448	29.49	29.466	29.52	29.518	29.489	29.481	29.523
Xmg	0.19	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19	0.18	0.17	0.18	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22

BIOTITA

	MM21 CAMPO1				MM21 CAMPO2				MM21 CAMPO4				
SiO2	36.748	36.661	36.407	35.467	36.219	36.219	36.741	34.307	36.022	36.055	33.237	33.618	30.519
TiO2	1.791	1.765	1.797	1.692	1.714	1.851	1.376	1.661	1.747	1.649	1.532	1.388	1.388
Al2O3	20.635	20.013	19.806	19.599	19.783	20.043	19.911	19.669	19.545	20.086	18.983	19.25	17.846
Cr2O3	0.024	0.023	0.025	0.02	0.039	0.028	0.014	0.04	0.01	0.047	0.011	0.042	0.049
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	17.085	16.684	17.132	17.67	17.057	16.496	17.582	18.032	17.577	17.798	21.101	15.368	16.441
MnO	0.109	0.091	0.086	0.09	0.122	0.118	0.114	0.092	0.081	0.165	0.07	0.087	0.07
MgO	10.587	10.516	10.497	10.303	10.369	10.807	10.694	10.851	10.518	10.624	9.917	9.134	8.276
CaO	0.075	0.046	0.019	0.05	0.058	0.06	0.071	0.057	0.079	0.064	0.043	0.052	0.082
Na2O	0.184	0.039	0.142	0.198	0.221	0.222	0.206	0.121	0.217	0.175	0.14	0.102	0.172
K2O	5.694	8.41	7.415	6.854	6.877	6.539	7.043	5.429	6.295	5.924	6.206	5.546	5.817
Total	92.932	94.248	93.326	91.943	92.459	92.383	93.752	90.259	92.091	92.587	91.24	84.587	80.66
Oxigênio	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	2.738	2.752	2.752	2.717	2.756	2.738	2.756	2.657	2.736	2.714	2.606	2.764	2.673
Ti	0.1	0.1	0.102	0.097	0.098	0.105	0.078	0.097	0.1	0.093	0.09	0.086	0.091
Al	1.813	1.771	1.765	1.77	1.775	1.786	1.761	1.796	1.75	1.782	1.754	1.866	1.843
Cr	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.003	0.001	0.003	0.003
Fe3	0.129	0	0	0.092	0.006	0.052	0.057	0.175	0.122	0.168	0.208	0.025	0.131
Fe2	0.936	1.047	1.083	1.04	1.08	0.991	1.046	0.993	0.995	0.952	1.176	1.032	1.073
Mn	0.007	0.006	0.006	0.006	0.008	0.008	0.007	0.006	0.005	0.011	0.005	0.006	0.005
Mg	1.176	1.176	1.183	1.176	1.176	1.218	1.195	1.252	1.191	1.192	1.159	1.119	1.08
Ca	0.006	0.004	0.002	0.004	0.005	0.005	0.006	0.005	0.006	0.005	0.004	0.005	0.008
Na	0.027	0.006	0.021	0.029	0.033	0.033	0.03	0.018	0.032	0.026	0.021	0.016	0.029
K	0.541	0.805	0.715	0.67	0.668	0.631	0.674	0.536	0.61	0.569	0.621	0.582	0.65
Total	7.474	7.668	7.631	7.604	7.605	7.569	7.61	7.537	7.549	7.514	7.644	7.503	7.587
Xmg	0.56	0.53	0.52	0.53	0.52	0.55	0.53	0.56	0.54	0.56	0.50	0.52	0.50

BIOTITA

	MM21 CAMPO4						MM21 CAMPO6						MM21 CAMPO7
SiO2	36.176	37.274	36.347	35.783	36.383	35.606	36.261	35.44	35.995	36.158	36.275	36.798	36.671
TiO2	1.344	1.54	1.713	1.378	1.301	1.461	1.695	1.721	1.782	1.883	1.92	1.853	1.601
Al2O3	23.569	21.667	20.013	20.313	22.32	20.678	20.305	19.284	19.748	20.075	19.504	20.278	19.47
Cr2O3	0.065	0.023	0.004	0.02	0.035	0.041	0.001	0.023	0	0.05	0.031	0.042	0.017
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	13.588	15.59	17.353	16.714	16.024	16.791	16.278	17.993	16.631	17.075	17.139	17.677	17.192
MnO	0.142	0.108	0.133	0.141	0.079	0.34	0.123	0.065	0.12	0.097	0.159	0.129	0.105
MgO	7.93	9.236	10.368	9.86	8.604	9.643	10.282	9.456	10.1	10.533	10.789	11.114	10.504
CaO	0.087	0.083	0.087	0.079	0.038	0.066	0.069	0.075	0.066	0.048	0.055	0.059	0.082
Na2O	0.095	0.144	0.179	0.199	0.059	0.211	0.11	0.166	0.157	0.137	0.148	0.104	0.26
K2O	3.109	6.179	6.245	5.889	6.239	5.739	6.808	6.42	6.673	6.97	7.199	7.291	7.35
Total	86.105	91.844	92.442	90.376	91.082	90.576	91.932	90.643	91.272	93.026	93.219	95.345	93.252
Oxigênio	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	2.81	2.803	2.747	2.756	2.768	2.735	2.759	2.757	2.766	2.731	2.742	2.713	2.775
Ti	0.079	0.087	0.097	0.08	0.074	0.084	0.097	0.101	0.103	0.107	0.109	0.103	0.091
Al	2.159	1.921	1.783	1.845	2.002	1.873	1.822	1.769	1.789	1.788	1.738	1.763	1.737
Cr	0.004	0.001	0	0.001	0.002	0.002	0	0.001	0	0.003	0.002	0.002	0.001
Fe3	0	0	0.086	0.06	0	0.08	0	0.039	0	0.033	0.033	0.093	0
Fe2	0.883	0.981	1.01	1.017	1.019	0.998	1.036	1.132	1.069	1.046	1.05	0.997	1.088
Mn	0.009	0.007	0.009	0.009	0.005	0.022	0.008	0.004	0.008	0.006	0.01	0.008	0.007
Mg	0.918	1.035	1.168	1.132	0.975	1.104	1.166	1.096	1.157	1.186	1.215	1.221	1.185
Ca	0.007	0.007	0.007	0.007	0.003	0.005	0.006	0.006	0.005	0.004	0.004	0.005	0.007
Na	0.014	0.021	0.026	0.03	0.009	0.031	0.016	0.025	0.023	0.02	0.022	0.015	0.038
K	0.308	0.593	0.602	0.579	0.605	0.562	0.661	0.637	0.654	0.672	0.694	0.686	0.71
Total	7.191	7.456	7.536	7.515	7.464	7.5	7.572	7.569	7.575	7.596	7.621	7.606	7.639
Xmg	0.51	0.51	0.54	0.53	0.49	0.53	0.53	0.49	0.52	0.53	0.54	0.55	0.52

BIOTITA

	MM21 CAMPO7		MM24-1 CAMPO1		MM24-1 CAMPO4									
SiO2	36.674	36.128	35.738	35.592	35.573	35.771	35.798	35.539	35.666	35.665	36.155	35.826	35.736	
TiO2	1.436	1.753	1.595	1.604	1.608	1.578	1.517	1.504	1.682	1.594	1.68	1.645	1.635	
Al2O3	19.842	19.435	19.156	19.204	19.373	19.3	19.646	19.648	19.432	19.556	19.979	19.852	20.099	
Cr2O3	0.026	0.046	0.029	0.027	0.038	0.047	0.015	0.001	0.021	0.045	0.083	0.052	0.018	
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
FeO	17.229	17.322	19.413	19.632	19.285	19.468	19.308	19.81	19.861	20.01	19.682	19.941	19.752	
MnO	0.118	0.114	0.078	0.082	0.078	0.082	0.103	0.076	0.039	0.071	0.098	0.082	0.071	
MgO	10.325	10.168	11.517	11.801	11.755	11.734	11.654	11.751	11.759	11.645	12.051	11.892	11.794	
CaO	0.073	0.07	0.019	0.006	0.01	0.009	0.01	0.006	0.008	0	0.006	0.005	0.01	
Na2O	0.228	0.181	0.358	0.391	0.363	0.34	0.281	0.34	0.348	0.327	0.368	0.312	0.372	
K2O	6.775	7.201	8.14	8.178	8.162	8.221	8.231	8.233	8.023	8.089	8.127	8.173	8.109	
Total	92.726	92.418	96.043	96.517	96.245	96.55	96.563	96.908	96.839	97.002	98.229	97.78	97.596	
Oxigênio	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
Si	2.779	2.762	2.656	2.636	2.638	2.645	2.643	2.623	2.631	2.629	2.624	2.618	2.613	
Ti	0.082	0.101	0.089	0.089	0.09	0.088	0.084	0.083	0.093	0.088	0.092	0.09	0.09	
Al	1.772	1.752	1.678	1.677	1.693	1.683	1.71	1.709	1.69	1.699	1.71	1.71	1.733	
Cr	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.001	0	0.001	0.003	0.005	0.003	0.001	
Fe3	0.004	0	0.181	0.182	0.179	0.181	0.179	0.183	0.184	0.185	0.179	0.183	0.181	
Fe2	1.087	1.107	1.025	1.034	1.016	1.023	1.013	1.039	1.041	1.048	1.016	1.036	1.027	
Mn	0.008	0.007	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006	0.005	0.002	0.004	0.006	0.005	0.004	
Mg	1.166	1.158	1.275	1.303	1.299	1.293	1.282	1.292	1.293	1.279	1.304	1.295	1.285	
Ca	0.006	0.006	0.002	0	0.001	0.001	0.001	0	0.001	0	0	0	0.001	
Na	0.033	0.027	0.052	0.056	0.052	0.049	0.04	0.049	0.05	0.047	0.052	0.044	0.053	
K	0.655	0.702	0.772	0.773	0.772	0.776	0.775	0.775	0.755	0.761	0.753	0.762	0.756	
Total	7.595	7.625	7.737	7.759	7.748	7.747	7.736	7.76	7.741	7.744	7.74	7.747	7.745	
Xmg	0.52	0.51	0.55	0.56	0.56	0.56	0.56	0.55	0.55	0.55	0.56	0.56	0.56	

BIOTITA

	MM24-1 CAMPO5			MM24-1 CAMPO5				MM24-1 CAMPO9				MM24-1 CAMPO16
SiO2	35.178	35.653	35.034	35.67	35.659	35.661	35.504	35.446	34.953	35.237	35.445	35.681
TiO2	1.624	1.537	1.552	1.633	1.639	1.64	1.599	1.657	1.606	1.534	1.574	1.509
Al2O3	19.448	19.436	18.993	19.415	19.446	19.344	19.139	19.295	18.995	19.169	19.49	19.336
Cr2O3	0	0.035	0.014	0.03	0.039	0.01	0.064	0.044	0.016	0	0.041	0.042
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	20.544	19.917	19.291	19.739	19.386	19.639	19.694	19.584	20.289	19.836	20.272	19.435
MnO	0.093	0.118	0.077	0.089	0.085	0.071	0.057	0.055	0.065	0.089	0.09	0.076
MgO	11.452	11.749	11.247	11.676	11.91	11.632	11.681	11.681	12.056	12.203	12.352	11.376
CaO	0.02	0.008	0	0	0	0.006	0.011	0.028	0.046	0.02	0.024	0.049
Na2O	0.355	0.355	0.312	0.357	0.352	0.344	0.372	0.33	0.286	0.29	0.299	0.333
K2O	8.014	8.218	8.168	8.268	8.187	8.068	8.041	8.241	7.644	8.033	8.069	8.179
Total	96.728	97.026	94.688	96.877	96.703	96.415	96.162	96.361	95.956	96.411	97.656	96.016
Oxigênio	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	2.61	2.63	2.645	2.633	2.632	2.641	2.639	2.63	2.608	2.615	2.6	2.653
Ti	0.091	0.085	0.088	0.091	0.091	0.091	0.089	0.092	0.09	0.086	0.087	0.084
Al	1.701	1.69	1.691	1.69	1.692	1.689	1.677	1.688	1.671	1.677	1.686	1.695
Cr	0	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.004	0.003	0.001	0	0.002	0.002
Fe3	0.191	0.184	0.183	0.183	0.18	0.182	0.184	0.182	0.19	0.185	0.187	0.181
Fe2	1.083	1.044	1.035	1.036	1.017	1.034	1.041	1.033	1.076	1.047	1.057	1.027
Mn	0.006	0.007	0.005	0.006	0.005	0.004	0.004	0.003	0.004	0.006	0.006	0.005
Mg	1.266	1.291	1.266	1.285	1.31	1.284	1.294	1.292	1.341	1.35	1.35	1.26
Ca	0.002	0.001	0	0	0	0	0.001	0.002	0.004	0.002	0.002	0.004
Na	0.051	0.051	0.046	0.051	0.05	0.049	0.054	0.047	0.041	0.042	0.043	0.048
K	0.758	0.773	0.787	0.779	0.771	0.762	0.762	0.78	0.728	0.761	0.755	0.776
Total	7.759	7.759	7.746	7.754	7.751	7.738	7.748	7.755	7.755	7.77	7.775	7.736
Xmg	0.54	0.55	0.55	0.55	0.56	0.55	0.55	0.56	0.55	0.56	0.56	0.55

BIOTITA

	MM24-1 CAMPO16										MM24-1 CAMPO17			
SiO2	35.421	35.344	35.412	35.442	35.963	35.565	35.756	35.731	36.097	35.896	35.453	35.662	34.936	35.587
TiO2	1.555	1.561	1.511	1.568	1.529	1.376	1.392	1.428	1.388	1.446	1.485	1.5	1.494	1.577
Al2O3	19.282	19.11	19.361	19.704	19.5	19.337	19.714	19.312	19.834	19.746	19.344	19.337	19.45	19.603
Cr2O3	0.042	0.012	0.053	0.025	0.053	0.019	0.026	0.058	0.032	0.004	0.012	0.027	0.005	0.018
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	19.646	19.833	19.571	19.928	19.552	19.858	19.964	19.533	19.659	19.58	19.647	19.995	19.456	19.806
MnO	0.049	0.068	0.084	0.091	0.078	0.096	0.085	0.092	0.104	0.086	0.085	0.045	0.11	0.148
MgO	11.588	11.438	11.707	11.603	11.835	11.942	11.879	11.85	11.894	11.714	11.68	11.743	11.507	11.461
CaO	0.056	0.053	0.052	0.043	0.056	0.002	0.001	0.004	0.007	0.015	0.015	0.013	0.024	0.016
Na2O	0.363	0.363	0.402	0.313	0.291	0.337	0.335	0.356	0.329	0.324	0.313	0.323	0.327	0.339
K2O	8.029	7.934	8.133	8.117	8.029	8.023	8.214	8.272	8.248	8.097	8.256	8.092	8.314	8.18
Total	96.031	95.716	96.286	96.834	96.886	96.555	97.366	96.636	97.592	96.908	96.29	96.737	95.623	96.735
Oxigênio	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	2.636	2.64	2.629	2.618	2.646	2.633	2.626	2.642	2.639	2.641	2.633	2.636	2.616	2.631
Ti	0.087	0.088	0.084	0.087	0.085	0.077	0.077	0.079	0.076	0.08	0.083	0.083	0.084	0.088
Al	1.691	1.683	1.695	1.716	1.691	1.688	1.707	1.684	1.709	1.713	1.694	1.685	1.717	1.708
Cr	0.002	0.001	0.003	0.001	0.003	0.001	0.002	0.003	0.002	0	0.001	0.002	0	0.001
Fe3	0.183	0.186	0.182	0.185	0.18	0.184	0.184	0.181	0.18	0.181	0.183	0.185	0.183	0.184
Fe2	1.039	1.053	1.033	1.046	1.023	1.045	1.042	1.027	1.022	1.024	1.037	1.051	1.036	1.041
Mn	0.003	0.004	0.005	0.006	0.005	0.006	0.005	0.006	0.006	0.005	0.005	0.003	0.007	0.009
Mg	1.285	1.273	1.295	1.277	1.298	1.317	1.3	1.306	1.296	1.284	1.293	1.294	1.284	1.263
Ca	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001
Na	0.052	0.053	0.058	0.045	0.042	0.048	0.048	0.051	0.047	0.046	0.045	0.046	0.047	0.049
K	0.762	0.756	0.77	0.765	0.754	0.758	0.77	0.78	0.769	0.76	0.782	0.763	0.794	0.771
Total	7.747	7.742	7.761	7.75	7.73	7.758	7.76	7.761	7.748	7.736	7.759	7.75	7.771	7.746
Xmg	0.55	0.55	0.56	0.55	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.55	0.55	0.55	0.55

BIOTITA

	MM24-1 CAMPO17							MM34 CAMPO1						
SiO2	35.713	35.327	35.401	35.182	35.222	35.489	35.208	34.545	34.616	34.7	34.675	34.365	34.861	35.006
TiO2	1.604	1.582	1.539	1.505	1.49	1.469	1.495	2.36	2.23	2.284	2.439	2.365	2.313	2.537
Al2O3	19.44	19.443	19.253	19.342	19.336	19.453	19.146	18.601	18.806	18.555	18.656	18.618	18.807	18.827
Cr2O3	0.019	0.045	0.031	0.069	0.022	0.031	0.045	0.037	0.037	0.09	0.016	0.005	0.047	0.089
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	19.934	19.712	19.51	19.029	19.195	19.175	18.852	20.242	20.278	20.093	20.158	20.644	20.024	20.257
MnO	0.082	0.077	0.079	0.078	0.076	0.054	0.065	0.248	0.241	0.233	0.231	0.261	0.227	0.181
MgO	11.918	11.74	11.662	11.427	11.729	11.932	11.714	10.66	10.651	10.692	10.788	10.472	10.555	10.492
CaO	0	0	0.019	0.04	0	0.026	0.026	0.001	0.007	0.009	0	0.013	0	0
Na2O	0.331	0.347	0.283	0.277	0.362	0.313	0.345	0.307	0.273	0.257	0.233	0.223	0.311	0.268
K2O	8.294	8.261	8.18	8.167	8.308	8.162	8.244	8.625	8.787	8.652	8.609	8.635	8.684	8.927
Total	97.335	96.534	95.957	95.116	95.74	96.104	95.14	95.626	95.926	95.565	95.805	95.601	95.829	96.584
Oxigênio	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	2.626	2.619	2.636	2.639	2.629	2.634	2.641	2.611	2.61	2.622	2.611	2.601	2.629	2.628
Ti	0.089	0.088	0.086	0.085	0.084	0.082	0.084	0.134	0.126	0.13	0.138	0.135	0.131	0.143
Al	1.685	1.7	1.69	1.711	1.702	1.702	1.693	1.657	1.671	1.653	1.656	1.661	1.672	1.666
Cr	0.001	0.003	0.002	0.004	0.001	0.002	0.003	0.002	0.002	0.005	0.001	0	0.003	0.005
Fe3	0.184	0.183	0.182	0.179	0.18	0.179	0.177	0.174	0.168	0.164	0.185	0.196	0.122	0.092
Fe2	1.042	1.039	1.033	1.015	1.019	1.012	1.005	1.105	1.11	1.106	1.084	1.111	1.141	1.18
Mn	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.003	0.004	0.016	0.015	0.015	0.015	0.017	0.015	0.012
Mg	1.306	1.297	1.294	1.277	1.305	1.32	1.309	1.201	1.197	1.204	1.21	1.181	1.186	1.174
Ca	0	0	0.002	0.003	0	0.002	0.002	0	0.001	0.001	0	0.001	0	0
Na	0.047	0.05	0.041	0.04	0.052	0.045	0.05	0.045	0.04	0.038	0.034	0.033	0.045	0.039
K	0.778	0.781	0.777	0.782	0.791	0.773	0.789	0.832	0.845	0.834	0.827	0.834	0.836	0.855
Total	7.763	7.766	7.75	7.741	7.768	7.753	7.758	7.777	7.786	7.773	7.761	7.77	7.782	7.795
Xmg	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.57	0.57	0.52	0.52	0.52	0.53	0.52	0.51	0.50

BIOTITA

	MM34 CAMPO1				MM34 CAMPO3				MM34 CAMPO5				
SiO2	35.293	35.141	34.74	35.094	35.113	36.663	35.172	35.147	34.853	35.299	35.151	35.084	35.025
TiO2	2.463	2.477	2.455	2.482	2.2	2.222	2.269	2.213	2.212	2.375	2.399	2.344	2.319
Al2O3	19.321	18.848	18.873	18.624	19.171	19.922	19.06	19.165	18.915	18.96	19.014	18.922	18.921
Cr2O3	0.048	0.053	0	0	0.034	0.023	0.033	0.032	0.051	0.025	0.025	0.001	0.055
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	20.182	19.952	20.337	20.12	20.194	20.168	20.097	20.252	20.764	20.161	20.369	20.647	20.398
MnO	0.228	0.187	0.183	0.179	0.216	0.328	0.234	0.224	0.208	0.203	0.274	0.253	0.269
MgO	11.013	10.627	10.559	10.435	10.842	11.426	10.538	10.748	10.634	10.805	10.642	10.719	10.683
CaO	0	0	0	0	0.014	0.012	0.009	0	0	0	0	0.006	0.024
Na2O	0.296	0.268	0.269	0.268	0.322	0.282	0.272	0.267	0.299	0.283	0.316	0.28	0.276
K2O	8.832	8.759	8.834	8.831	8.725	8.621	8.594	8.718	8.445	8.652	8.61	8.633	8.73
Total	97.676	96.312	96.25	96.033	96.831	99.667	96.278	96.766	96.381	96.763	96.8	96.889	96.7
Oxigênio	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	2.606	2.637	2.613	2.648	2.616	2.635	2.635	2.62	2.61	2.63	2.622	2.614	2.618
Ti	0.137	0.14	0.139	0.141	0.123	0.12	0.128	0.124	0.125	0.133	0.135	0.131	0.13
Al	1.682	1.667	1.674	1.657	1.684	1.688	1.684	1.684	1.67	1.666	1.672	1.662	1.667
Cr	0.003	0.003	0	0	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003	0.001	0.001	0	0.003
Fe3	0.155	0.098	0.136	0.076	0.159	0.169	0.125	0.159	0.195	0.142	0.15	0.185	0.158
Fe2	1.091	1.154	1.144	1.193	1.1	1.043	1.134	1.103	1.105	1.114	1.121	1.101	1.117
Mn	0.014	0.012	0.012	0.011	0.014	0.02	0.015	0.014	0.013	0.013	0.017	0.016	0.017
Mg	1.212	1.188	1.184	1.173	1.204	1.224	1.177	1.194	1.187	1.2	1.183	1.19	1.19
Ca	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0.002
Na	0.042	0.039	0.039	0.039	0.047	0.039	0.04	0.039	0.043	0.041	0.046	0.04	0.04
K	0.832	0.839	0.848	0.85	0.829	0.79	0.822	0.829	0.807	0.823	0.819	0.821	0.832
Total	7.775	7.778	7.787	7.79	7.777	7.731	7.762	7.768	7.758	7.764	7.765	7.762	7.775
Xmg	0.53	0.51	0.51	0.50	0.52	0.54	0.51	0.52	0.52	0.52	0.51	0.52	0.52

BIOTITA

MM34 CAMPO6					
SiO2	34.946	35.126	34.238	35.136	35.422
TiO2	1.757	2.012	2.166	2.316	2.407
Al2O3	19.891	19.226	19.268	19.274	19.183
Cr2O3	0.012	0.049	0	0.026	0.028
Fe2O3	0	0	0	0	0
FeO	20.392	20.781	21.014	20.487	20.433
MnO	0.189	0.162	0.276	0.25	0.241
MgO	11.42	11.344	11.697	10.891	10.98
CaO	0.003	0	0.002	0	0
Na2O	0.263	0.261	0.259	0.282	0.307
K2O	8.014	8.333	7.939	8.495	8.585
Total	96.887	97.294	96.859	97.157	97.586
Oxigênio	11	11	11	11	11
Si	2.587	2.6	2.55	2.604	2.613
Ti	0.098	0.112	0.121	0.129	0.134
Al	1.736	1.677	1.692	1.684	1.668
Cr	0.001	0.003	0	0.002	0.002
Fe3	0.189	0.193	0.196	0.19	0.184
Fe2	1.073	1.093	1.113	1.079	1.076
Mn	0.012	0.01	0.017	0.016	0.015
Mg	1.26	1.251	1.298	1.203	1.207
Ca	0	0	0	0	0
Na	0.038	0.037	0.037	0.041	0.044
K	0.757	0.787	0.754	0.803	0.808
Total	7.75	7.764	7.781	7.751	7.752
Xmg	0.54	0.53	0.54	0.53	0.53

MUSCOVITA

	MM21 CAMPO1					MM21 CAMPO2					MM21 CAMPO4		
SiO2	44.773	44.642	45.057	45.957	44.198	45.071	45.58	45.672	44.974	45.924	45.611	45.632	44.671
TiO2	0.557	0.518	0.57	0.556	0.547	0.314	0.444	0.435	0.468	0.533	0.544	0.478	0.45
Al2O3	35.619	34.821	35.457	36.167	35.261	36.408	36.031	36.139	35.623	36.036	36.136	35.997	35.695
Cr2O3	0.005	0.013	0.021	0.048	0.073	0	0.052	0.034	0.02	0.033	0.025	0	0.069
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	1.108	1.014	0.959	1.015	1.145	0.796	0.742	0.766	0.782	0.681	0.677	0.705	0.847
MnO	0.007	0.012	0.002	0.039	0.005	0.034	0	0	0	0.031	0.024	0	0
MgO	0.665	0.644	0.61	0.653	0.582	0.408	0.595	0.549	0.577	0.584	0.546	0.562	0.518
CaO	0.01	0	0.016	0.012	0	0	0.006	0	0	0	0	0.003	0
Na2O	1.555	1.503	1.572	1.598	1.462	1.765	1.664	1.687	1.625	1.688	1.63	1.668	1.688
K2O	8.329	8.269	8.351	8.399	8.155	8.458	8.63	8.481	8.308	8.556	8.595	8.654	8.41
Total	92.628	91.436	92.615	94.444	91.428	93.254	93.744	93.763	92.377	94.066	93.788	93.699	92.348
Oxigênio	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	3.038	3.065	3.054	3.054	3.036	3.034	3.053	3.055	3.053	3.062	3.051	3.057	3.039
Ti	0.028	0.027	0.029	0.028	0.028	0.016	0.022	0.022	0.024	0.027	0.027	0.024	0.023
Al	2.849	2.819	2.833	2.833	2.856	2.889	2.845	2.85	2.851	2.833	2.85	2.843	2.863
Cr	0	0.001	0.001	0.003	0.004	0	0.003	0.002	0.001	0.002	0.001	0	0.004
Fe3	0	0	0	0	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	0.063	0.058	0.054	0.056	0.064	0.045	0.042	0.043	0.044	0.038	0.038	0.039	0.048
Mn	0	0.001	0	0.002	0	0.002	0	0	0	0.002	0.001	0	0
Mg	0.067	0.066	0.062	0.065	0.06	0.041	0.059	0.055	0.058	0.058	0.054	0.056	0.053
Ca	0.001	0	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na	0.205	0.2	0.207	0.206	0.195	0.23	0.216	0.219	0.214	0.218	0.211	0.217	0.223
K	0.721	0.724	0.722	0.712	0.715	0.726	0.737	0.724	0.719	0.728	0.734	0.74	0.73
Total	6.973	6.961	6.964	6.96	6.96	6.984	6.978	6.969	6.965	6.968	6.969	6.976	6.982
XMg	0.52	0.53	0.53	0.54	0.48	0.48	0.58	0.56	0.57	0.60	0.59	0.59	0.52
Na/Na+K	0.22	0.22	0.22	0.22	0.21	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23	0.22	0.23	0.23

MUSCOVITA

	MM21 CAMPO4			MM21 CAMPO6			MM21 CAMPO7			MM24_1 CAMPO1		
SiO2	44.749	45.276	45.108	44.546	45.929	44.246	46.357	45.904	44.769	44.496	36.828	64.517
TiO2	0.4	0.433	0.498	0.484	0.686	0.796	0.501	0.404	0.453	0.395	1.255	0.002
Al2O3	36.025	35.706	35.743	35.501	35.973	35.518	36.752	36.17	35.733	36.21	21.898	21.747
Cr2O3	0.01	0.02	0.013	0	0	0.017	0.031	0.027	0.042	0.015	0.036	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0.851	0.902	0.739	0.604	0.731	0.682	0.691	0.837	0.748	0.774	17.595	0.187
MnO	0	0	0.014	0.028	0	0.017	0	0.01	0	0	0.064	0
MgO	0.536	0.569	0.559	0.503	0.57	0.503	0.509	0.55	0.431	0.44	10.497	0.045
CaO	0.008	0	0.016	0.013	0	0	0	0.013	0.017	0.013	0	2.733
Na2O	1.717	1.724	1.591	1.663	1.503	1.541	1.712	1.595	1.705	1.612	0.509	9.926
K2O	8.42	8.453	8.435	8.189	8.274	8.22	8.306	8.11	8.411	8.359	8.194	0.116
Total	92.716	93.083	92.716	91.531	93.666	91.54	94.859	93.62	92.309	92.314	96.876	99.273
Oxigênio	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	3.032	3.055	3.052	3.049	3.068	3.031	3.057	3.066	3.044	3.024	3.063	3.06
Ti	0.02	0.022	0.025	0.025	0.034	0.041	0.025	0.02	0.023	0.02	0.024	0.025
Al	2.877	2.84	2.851	2.864	2.832	2.868	2.858	2.848	2.865	2.901	2.839	2.841
Cr	0.001	0.001	0.001	0	0	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	0.048	0.051	0.042	0.035	0.041	0.039	0.038	0.047	0.043	0.044	0.034	0.037
Mn	0	0	0.001	0.002	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0
Mg	0.054	0.057	0.056	0.051	0.057	0.051	0.05	0.055	0.044	0.045	0.06	0.058
Ca	0.001	0	0.001	0.001	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0	0
Na	0.226	0.226	0.209	0.221	0.195	0.205	0.219	0.207	0.225	0.212	0.234	0.238
K	0.728	0.728	0.728	0.715	0.705	0.718	0.699	0.691	0.73	0.725	0.705	0.706
Total	6.986	6.98	6.966	6.963	6.932	6.956	6.948	6.938	6.977	6.974	6.962	6.967
XMg	0.53	0.53	0.57	0.59	0.58	0.57	0.57	0.54	0.51	0.51	0.64	0.61
Na/Na+K	0.24	0.24	0.22	0.24	0.22	0.22	0.24	0.23	0.24	0.23	0.25	0.25

MUSCOVITA

	MM24-1		MM24_1				MM34						
	CAMPO1		CAMPO17				CAMPO1						
SiO2	43.167	45.456	40.441	45.568	45.428	41.162	45.108	45.569	45.228	45.394	45.096	45.173	45.181
TiO2	0.551	0.419	0.943	0.379	0.309	0.801	0.739	0.679	0.688	0.737	0.749	0.683	0.728
Al2O3	33.47	35.979	28.261	36.184	35.337	29.944	34.673	34.649	34.909	34.938	34.841	34.852	34.943
Cr2O3	0	0.066	0.046	0.028	0.023	0.027	0.012	0.028	0.01	0.018	0.047	0.02	0.023
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	4.505	0.902	10.371	0.914	0.827	7.884	0.997	1.033	1.038	1.005	0.985	1.035	1.018
MnO	0.005	0.033	0.041	0	0	0.029	0	0.013	0.026	0.026	0	0.008	0.045
MgO	2.508	0.652	5.956	0.484	0.559	4.247	0.735	0.772	0.637	0.691	0.669	0.692	0.744
CaO	0.015	0.009	0	0	0.016	0	0	0	0	0.001	0	0.017	0
Na2O	1.48	1.862	1.179	1.889	1.754	1.325	1.185	1.198	1.268	1.237	1.218	1.162	1.124
K2O	7.899	8.271	8.29	8.386	7.919	8.262	9.543	9.582	9.572	9.432	9.465	9.429	9.512
Total	93.6	93.649	95.528	93.832	92.172	93.681	92.992	93.523	93.376	93.479	93.07	93.071	93.318
Oxigênio	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	3.055	3.058	3.061	3.047	3.049	3.082	3.066	3.08	3.063	3.067	3.062	3.066	3.06
Ti	0.024	0.024	0.019	0.021	0.019	0.016	0.038	0.035	0.035	0.037	0.038	0.035	0.037
Al	2.841	2.839	2.855	2.843	2.854	2.826	2.779	2.761	2.787	2.783	2.789	2.788	2.79
Cr	0.003	0.002	0.002	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	0.04	0.038	0.034	0.051	0.051	0.047	0.057	0.058	0.059	0.057	0.056	0.059	0.058
Mn	0.003	0	0.001	0.002	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0	0	0.003
Mg	0.065	0.059	0.05	0.065	0.048	0.057	0.074	0.078	0.064	0.07	0.068	0.07	0.075
Ca	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0
Na	0.233	0.245	0.237	0.242	0.245	0.231	0.156	0.157	0.167	0.162	0.16	0.153	0.148
K	0.703	0.711	0.705	0.707	0.716	0.685	0.828	0.826	0.827	0.813	0.82	0.816	0.822
Total	6.967	6.976	6.963	6.983	6.985	6.947	6.999	6.997	7.005	6.992	6.995	6.99	6.993
XMg	0.62	0.61	0.60	0.56	0.48	0.55	0.56	0.57	0.52	0.55	0.55	0.54	0.56
Na/Na+K	0.25	0.26	0.25	0.26	0.25	0.25	0.16	0.16	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15

MUSCOVITA

	MM34 CAMPO1					MM34 CAMPO6				
SiO2	45.74	45.098	45.106	45.121	44.933	44.986	45.476	45.713	45.871	45.958
TiO2	0.707	0.718	0.724	0.635	0.702	0.745	0.767	0.802	0.79	0.649
Al2O3	35.197	35.468	34.795	34.826	34.943	34.699	34.987	35.087	34.816	36.018
Cr2O3	0.039	0.024	0.033	0.041	0.065	0.012	0.033	0.034	0.03	0.023
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	1.03	0.975	0.898	0.948	0.979	0.959	0.948	0.969	0.898	0.96
MnO	0.003	0	0	0	0.02	0.018	0	0	0.015	0
MgO	0.687	0.684	0.641	0.712	0.694	0.68	0.775	0.817	0.722	0.691
CaO	0	0	0	0	0.018	0	0	0	0	0.023
Na2O	1.171	1.187	1.177	1.176	1.178	1.267	1.206	1.175	1.209	1.163
K2O	9.503	9.24	9.054	9.266	9.307	9.382	9.456	9.469	9.418	9.166
Total	94.077	93.394	92.428	92.725	92.839	92.748	93.648	94.066	93.769	94.651
Oxigênio	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	3.069	3.045	3.072	3.069	3.056	3.064	3.066	3.067	3.085	3.056
Ti	0.036	0.036	0.037	0.032	0.036	0.038	0.039	0.04	0.04	0.032
Al	2.785	2.823	2.794	2.792	2.801	2.786	2.781	2.776	2.761	2.823
Cr	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	0.058	0.055	0.051	0.054	0.056	0.055	0.053	0.054	0.051	0.053
Mn	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0	0.001	0
Mg	0.069	0.069	0.065	0.072	0.07	0.069	0.078	0.082	0.072	0.068
Ca	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0.002
Na	0.152	0.155	0.155	0.155	0.155	0.167	0.158	0.153	0.158	0.15
K	0.814	0.796	0.787	0.804	0.807	0.815	0.813	0.811	0.808	0.777
Total	6.985	6.982	6.964	6.982	6.988	6.996	6.99	6.986	6.977	6.964
XMg	0.54	0.56	0.56	0.57	0.56	0.56	0.60	0.60	0.59	0.56
Na/Na+K	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16

PLAGIOCLÁSIO

	MM21 CAMPO6									MM21 CAMPO10					
SiO2	64.619	64.744	65.126	64.823	65.848	65.429	65.961	65.277		65.507	65.293	65.074	65.07	65.498	64.877
TiO2	0.007	0.011	0	0.03	0.013	0.013	0.012	0.004		0.001	0	0.007	0.013	0.009	0.011
Al2O3	21.358	21.155	21.104	21.387	21.449	21.158	20.875	20.959		20.886	20.615	20.527	21.038	20.584	21.123
Cr2O3	0	0	0.042	0	0.026	0.026	0	0.002		0	0.038	0	0.011	0.015	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
FeO	0.202	0.145	0.11	0.111	0.147	0.087	0.073	0.159		0.143	0.158	0.16	0.154	0.133	0.129
MnO	0	0	0.046	0	0.011	0.008	0.005	0		0.002	0.015	0	0.017	0	0.025
MgO	0.01	0	0.007	0.008	0.001	0	0	0.001		0.019	0.009	0	0	0	0.003
CaO	2.32	2.17	2.145	2.36	2.099	2.09	2.027	2.338		2.189	1.875	1.998	2.215	1.988	2.178
Na2O	10.216	10.252	10.096	10.212	10.59	10.352	10.364	10.129		10.461	10.485	10.323	10.392	10.426	10.285
K2O	0.061	0.064	0.067	0.049	0.046	0.057	0.051	0.052		0.055	0.07	0.071	0.056	0.059	0.052
Total	98.793	98.541	98.743	98.98	100.23	99.22	99.368	98.921		99.263	98.558	98.16	98.966	98.712	98.683
Oxigênio	8	8	8	8	8	8	8	8		8	8	8	8	8	8
SiO2	2.877	2.887	2.895	2.879	2.888	2.896	2.912	2.898		2.9	2.91	2.911	2.891	2.913	2.889
TiO2	0	0	0	0.001	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
Al2O3	1.121	1.112	1.106	1.12	1.109	1.104	1.087	1.097		1.09	1.083	1.082	1.102	1.079	1.109
Cr2O3	0	0	0.001	0	0.001	0.001	0	0		0	0.001	0	0	0.001	0
Fe2O3	0.008	0.005	0.004	0.004	0.005	0.003	0.003	0.006		0.005	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
MnO	0	0	0.002	0	0	0	0	0		0	0.001	0	0.001	0	0.001
MgO	0.001	0	0	0.001	0	0	0	0		0.001	0.001	0	0	0	0
CaO	0.111	0.104	0.102	0.112	0.099	0.099	0.096	0.111		0.104	0.09	0.096	0.105	0.095	0.104
Na2O	0.882	0.886	0.87	0.879	0.901	0.888	0.887	0.872		0.898	0.906	0.895	0.895	0.899	0.888
K2O	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003		0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
Total	5.003	4.998	4.984	4.999	5.006	4.994	4.988	4.987		5.001	5.002	4.994	5.003	4.995	4.999
an	11.1	10.5	10.5	11.3	9.9	10.0	9.7	11.3		10.3	9.0	9.6	10.5	9.5	10.5
ab	88.6	89.1	89.1	88.4	89.8	89.7	90.0	88.4		89.4	90.6	89.9	89.2	90.2	89.2
or	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3

PLAGIOCLÁSIO

	MM21 CAMPO10				MM24-1 CAMPO4								
SiO2	65.282	65.342	64.826	65.071	64.106	64.081	64.034	63.864	64.449	64.747	64.174	63.934	63.814
TiO2	0	0	0.022	0	0.002	0	0	0.005	0.004	0.001	0.012	0	0
Al2O3	21.117	20.88	21.182	21.133	21.324	21.394	21.303	21.374	21.412	21.379	21.682	21.534	21.292
Cr2O3	0.026	0.009	0.011	0	0	0	0	0.005	0	0	0.016	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0.127	0.139	0.148	0.159	0	0.046	0.027	0.049	0.068	0.002	0.015	0.029	0.051
MnO	0.023	0	0.002	0.001	0	0	0.002	0.018	0	0	0.021	0	0
MgO	0	0.004	0	0	0	0	0.023	0.003	0	0	0	0.021	0
CaO	2.216	2.221	2.293	2.369	2.656	2.637	2.646	2.617	2.703	2.62	2.992	2.94	2.599
Na2O	10.35	10.198	10.274	10.253	9.847	10.065	9.908	9.833	9.879	10.083	9.7	9.953	9.931
K2O	0.058	0.043	0.061	0.041	0.054	0.074	0.053	0.069	0.057	0.073	0.071	0.084	0.066
Total	99.199	98.836	98.819	99.027	97.989	98.297	97.996	97.837	98.572	98.905	98.683	98.495	97.753
Oxigênio	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
SiO2	2.892	2.903	2.884	2.889	2.875	2.869	2.873	2.87	2.875	2.879	2.861	2.859	2.871
TiO2	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al2O3	1.103	1.093	1.111	1.106	1.128	1.129	1.127	1.133	1.126	1.121	1.14	1.135	1.129
Cr2O3	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0
Fe2O3	0.005	0.005	0.006	0.006	0	0.002	0.001	0.002	0.003	0	0.001	0.001	0.002
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.001	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0.001	0	0
MgO	0	0	0	0	0	0	0.002	0	0	0	0	0.001	0
CaO	0.105	0.106	0.109	0.113	0.128	0.127	0.127	0.126	0.129	0.125	0.143	0.141	0.125
Na2O	0.889	0.878	0.886	0.883	0.856	0.874	0.862	0.857	0.854	0.869	0.839	0.863	0.866
K2O	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003	0.004	0.003	0.004	0.003	0.004	0.004	0.005	0.004
Total	4.999	4.987	5	4.999	4.99	5.005	4.995	4.993	4.99	4.998	4.99	5.005	4.997
an	10.5	10.8	10.9	11.3	13.0	12.6	12.8	12.8	13.1	12.5	14.5	14.0	12.6
ab	89.2	89.0	88.8	88.5	86.7	87.0	86.9	86.8	86.6	87.1	85.1	85.5	87.0
or	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4

PLAGIOCLÁSIO

	MM24-1 CAMPO9												MM24-1 CAMPO15	
SiO2	64.014	63.934	63.843	63.802	64.804	64.054	64.675	65.198	64.535	64.536	64.352	64.655	64.36	64.54
TiO2	0	0.008	0.004	0.002	0.007	0	0.018	0.012	0.021	0	0	0	0.019	0
Al2O3	21.664	21.574	21.865	21.69	21.17	21.554	21.403	21.692	21.295	21.39	21.488	21.674	21.518	21.22
Cr2O3	0	0	0	0	0.01	0.018	0.013	0.009	0	0	0	0.014	0	0.021
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0.083	0.086	0.156	0.265	0.009	0.071	0.037	0.039	0.039	0.012	0.045	0.001	0	0
MnO	0.008	0.025	0	0	0	0	0	0.033	0.018	0	0	0	0	0.031
MgO	0.024	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0.003	0.023	0	0	0.012
CaO	2.954	2.943	3.189	3.102	2.598	3.034	2.654	2.604	2.624	2.646	2.635	2.616	2.758	2.633
Na2O	9.71	9.645	9.673	9.681	10.078	9.938	9.942	10.069	10.097	9.83	9.949	9.967	9.593	9.852
K2O	0.056	0.063	0.053	0.055	0.054	0.059	0.064	0.059	0.064	0.064	0.055	0.033	0.057	0.039
Total	98.513	98.278	98.783	98.598	98.73	98.728	98.806	99.715	98.693	98.481	98.547	98.96	98.305	98.348
Oxigênio	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
SiO2	2.859	2.862	2.847	2.851	2.886	2.859	2.877	2.875	2.877	2.879	2.871	2.871	2.875	2.883
TiO2	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0.001	0
Al2O3	1.141	1.139	1.15	1.143	1.111	1.134	1.123	1.128	1.119	1.125	1.13	1.135	1.133	1.118
Cr2O3	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.001
Fe2O3	0.003	0.003	0.006	0.01	0	0.003	0.001	0.001	0.001	0	0.002	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0	0	0	0.001
MgO	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0	0	0.001
CaO	0.141	0.141	0.152	0.149	0.124	0.145	0.127	0.123	0.125	0.126	0.126	0.124	0.132	0.126
Na2O	0.841	0.837	0.836	0.839	0.87	0.86	0.858	0.861	0.873	0.85	0.861	0.858	0.831	0.853
K2O	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.002	0.003	0.002
Total	4.99	4.987	4.994	4.995	4.994	5.005	4.991	4.992	5.001	4.984	4.995	4.99	4.975	4.985
an	14.3	14.4	15.3	15.0	12.4	14.4	12.8	12.5	12.5	12.9	12.7	12.6	13.7	12.8
ab	85.4	85.2	84.4	84.7	87.3	85.3	86.8	87.2	87.1	86.7	87.0	87.2	86.0	87.0
or	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2

PLAGIOCLÁSIO

	MM24-1 CAMPO15				MM34 CAMPO1				MM34 CAMPO3				
SiO2	64.33	64.356	64.927	64.367	64.022	64.254	63.934	63.394	63.396	64.319	64.876	64.165	64.273
TiO2	0	0.008	0.01	0	0	0.002	0.001	0.008	0	0.005	0	0	0
Al2O3	21.539	21.357	21.888	21.928	21.269	21.16	21.273	21.261	21.243	21.118	21.258	21.153	21.103
Cr2O3	0.037	0	0.028	0	0	0	0.008	0.015	0.012	0.013	0	0	0.007
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0.01	0	0.028	0.114	0.095	0.034	0.067	0.062	0.01	0.01	0.058	0.009
MnO	0	0.016	0	0	0	0.001	0	0.01	0	0	0	0.011	0
MgO	0.017	0.009	0	0	0	0	0	0.013	0	0.016	0.005	0	0
CaO	2.642	2.673	2.784	2.903	2.661	2.659	2.87	2.862	2.773	2.762	2.692	2.588	2.581
Na2O	9.824	9.946	9.967	9.721	9.712	9.866	9.55	9.528	9.661	9.98	10.032	9.94	9.941
K2O	0.053	0.066	0.07	0.049	0.086	0.073	0.087	0.086	0.058	0.06	0.058	0.063	0.059
Total	98.442	98.441	99.674	98.996	97.864	98.11	97.757	97.244	97.205	98.283	98.931	97.978	97.973
Oxigênio	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
SiO2	2.872	2.875	2.865	2.859	2.875	2.88	2.875	2.867	2.868	2.879	2.883	2.879	2.883
TiO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al2O3	1.134	1.125	1.139	1.148	1.126	1.118	1.128	1.134	1.133	1.114	1.114	1.119	1.116
Cr2O3	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0.001	0.004	0.004	0.001	0.003	0.002	0	0	0.002	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0
CaO	0.126	0.128	0.132	0.138	0.128	0.128	0.138	0.139	0.134	0.132	0.128	0.124	0.124
Na2O	0.85	0.862	0.853	0.837	0.846	0.857	0.833	0.836	0.848	0.866	0.864	0.865	0.865
K2O	0.003	0.004	0.004	0.003	0.005	0.004	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003
Total	4.987	4.996	4.994	4.986	4.984	4.991	4.98	4.986	4.988	4.995	4.992	4.993	4.991
an	12.9	12.9	13.3	14.1	13.1	12.9	14.1	14.2	13.6	13.2	12.9	12.5	12.5
ab	86.8	86.7	86.2	85.6	86.4	86.7	85.3	85.3	86.1	86.5	86.8	87.1	87.2
or	0.3	0.4	0.4	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3

PLAGIOCLÁSIO

	MM34 CAMPO3		MM34 CAMPO8		
SiO2	63.888	63.956	64.856	64.782	64.125
TiO2	0.004	0	0	0.001	0.022
Al2O3	21.502	21.204	21.37	21.177	21.412
Cr2O3	0	0	0	0	0.042
Fe2O3	0	0	0	0	0
FeO	0.055	0.103	0.001	0.057	0.092
MnO	0.04	0.026	0	0.003	0.019
MgO	0.008	0	0.005	0.019	0.027
CaO	2.775	2.653	2.738	2.457	2.675
Na2O	9.749	9.907	9.925	10.026	9.942
K2O	0.071	0.064	0.05	0.061	0.071
Total	98.092	97.913	98.945	98.583	98.427
Oxigênio	8	8	8	8	8
SiO2	2.865	2.874	2.881	2.887	2.867
TiO2	0	0	0	0	0.001
Al2O3	1.137	1.123	1.119	1.113	1.129
Cr2O3	0	0	0	0	0.001
Fe2O3	0.002	0.004	0	0.002	0.003
FeO	0	0	0	0	0
MnO	0.002	0.001	0	0	0.001
MgO	0.001	0	0	0.001	0.002
CaO	0.133	0.128	0.13	0.117	0.128
Na2O	0.848	0.863	0.855	0.866	0.862
K2O	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004
Total	4.992	4.997	4.988	4.989	4.998
an	13.5	12.9	13.2	11.9	12.9
ab	86.1	86.7	86.5	87.8	86.7
or	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4

Anexo III – Tabela de análises químicas de monazita

MONAZITA – MM21

Análise	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	ThO ₂	UO ₂	PbO	Total	ThO ₂ *	t (Ma)
<i>MM21 - Inclusa em granada</i>																
Grt_02-1	0.24	26.98	0.32	1.17	16.75	30.62	3.09	2.23	12.05	1.58	3.54	0.32	0.11	99.00	4.61	582
Grt_06-1	0.15	27.07	0.29	1.00	17.45	31.67	3.14	2.13	12.14	1.44	2.91	0.38	0.11	99.90	4.18	639
Grt_09-2	0.42	26.72	0.35	1.17	17.06	31.05	3.12	2.13	12.07	1.41	3.97	0.34	0.13	99.93	5.09	600
Grt_10-3	0.13	26.83	0.14	1.12	17.81	33.14	3.28	2.33	12.73	1.55	1.08	0.39	0.06	100.59	2.37	632
<i>MM21 - Matriz (população 1)</i>																
matrix_02-1	0.10	27.42	0.52	1.45	15.87	28.90	2.96	2.03	11.26	1.48	4.93	0.59	0.19	97.69	6.88	643
matrix_04-1	0.16	28.64	0.55	1.49	16.28	29.01	2.85	2.01	11.32	1.45	5.48	0.58	0.19	99.99	7.40	593
matrix_04-5	0.24	29.36	0.16	2.08	18.02	31.04	3.20	2.33	12.00	1.78	0.32	0.27	0.03	100.82	1.21	635
matrix_09-1	0.09	28.02	0.56	1.61	16.14	28.42	2.88	1.96	11.21	1.48	5.04	0.74	0.19	98.33	7.52	591
matrix_21-2	0.15	26.24	0.12	1.24	18.03	32.34	3.26	2.28	12.48	1.56	0.90	0.34	0.06	98.99	2.04	651
matrix_27-1	0.11	28.26	0.51	1.61	16.86	29.66	2.93	1.96	11.48	1.49	4.33	0.68	0.17	100.04	6.58	599
matrix_27-2	0.09	28.03	0.54	1.76	16.38	29.13	2.95	2.09	11.64	1.56	4.60	0.72	0.18	99.68	7.00	617
matrix_28-2	0.24	29.33	0.58	1.47	16.68	29.22	2.92	2.07	11.57	1.47	5.26	0.71	0.20	101.74	7.62	619
matrix_28-3	0.29	28.20	0.39	1.40	17.10	29.95	3.07	2.22	12.13	1.58	3.61	0.43	0.13	100.49	5.05	618
matrix_34-1	0.12	27.90	0.51	1.66	16.46	29.42	3.01	2.08	11.84	1.58	4.39	0.65	0.18	99.79	6.54	635
matrix_35-2	0.09	28.76	0.51	1.52	17.01	29.84	3.03	2.10	11.64	1.49	4.35	0.67	0.18	101.18	6.58	634
matrix_35-3	0.12	29.14	0.52	1.67	16.88	29.76	2.99	2.10	11.59	1.51	4.45	0.74	0.18	101.64	6.92	600
<i>MM21 - Matriz (população 2)</i>																
matrix_04-2	0.21	28.88	0.54	1.66	16.02	28.93	2.93	2.02	11.44	1.53	5.60	0.50	0.17	100.42	7.25	535
matrix_08-1	0.15	26.29	0.51	1.68	16.24	29.27	2.95	2.05	11.56	1.60	4.34	0.73	0.16	97.52	6.77	539
matrix_10-2	0.96	26.76	0.70	1.17	14.50	26.73	2.78	1.92	11.03	1.38	10.59	0.12	0.26	98.88	10.98	561
matrix_10-3	0.16	28.09	0.36	1.24	16.94	30.15	3.04	2.13	11.81	1.39	3.72	0.26	0.11	99.40	4.59	558
matrix_11-2	0.29	27.82	0.43	1.15	16.72	30.04	3.05	2.11	11.90	1.48	5.29	0.20	0.14	100.60	5.94	538
matrix_15-1	0.11	28.45	0.53	1.88	16.14	28.76	2.90	2.10	11.51	1.61	4.47	0.86	0.17	99.47	7.33	542
<i>MM21 - Matriz (população 3)</i>																
matrix_15-2	0.13	28.45	0.49	1.28	16.75	30.08	2.95	2.02	11.57	1.38	4.69	0.65	0.17	100.59	6.85	579
matrix_16-1	0.14	28.86	0.59	1.67	16.38	28.60	3.02	2.06	11.38	1.54	4.98	0.91	0.20	100.32	8.02	580
matrix_19-1	0.16	27.69	0.59	1.78	16.00	28.35	2.87	2.00	11.28	1.53	5.17	0.77	0.19	98.37	7.72	584
matrix_20-4	0.13	29.39	0.38	1.28	17.79	30.96	3.07	2.10	11.85	1.44	3.57	0.51	0.13	102.59	5.26	559
matrix_21-1	0.15	26.52	0.45	1.33	16.82	29.67	3.02	2.06	11.77	1.43	4.10	0.54	0.14	98.01	5.91	572

MONAZITA –MM21

Análise	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	ThO ₂	UO ₂	PbO	Total	ThO ₂ *	t (Ma)
matrix_24-1	0.31	28.21	0.53	1.17	16.23	29.66	3.08	2.03	11.71	1.42	5.88	0.43	0.18	100.84	7.31	575
matrix_24-2	0.54	28.15	0.46	1.13	16.53	29.40	3.01	2.10	11.82	1.45	6.20	0.18	0.16	101.11	6.80	560
matrix_25-1	0.16	28.13	0.34	1.18	17.14	31.03	3.23	2.26	12.37	1.58	3.27	0.36	0.10	101.16	4.45	544
matrix_25-2	0.14	27.62	0.57	1.56	16.54	29.24	2.97	2.01	11.38	1.48	4.90	0.85	0.19	99.44	7.71	578
matrix_26-1	0.20	26.96	0.26	1.07	17.61	31.53	3.22	2.19	12.33	1.43	2.81	0.21	0.09	99.90	3.49	572
matrix_26-2	0.23	27.13	0.35	1.09	17.35	30.73	3.13	2.14	12.07	1.43	3.86	0.16	0.11	99.77	4.41	586
matrix_28-1	0.35	28.62	0.48	1.10	16.69	30.02	2.96	2.13	11.87	1.48	5.30	0.35	0.15	101.50	6.47	555
matrix_30-1	0.23	28.13	0.38	1.24	16.75	29.70	3.07	2.32	12.24	1.62	4.23	0.28	0.13	100.34	5.17	572
matrix_30-3	0.14	28.71	0.50	1.19	17.04	30.12	3.05	2.14	11.91	1.54	4.97	0.57	0.17	102.04	6.86	569
matrix_32-3	0.13	28.44	0.50	1.35	16.82	29.59	3.09	2.15	11.86	1.57	4.62	0.55	0.16	100.84	6.46	574
matrix_32-5	0.09	28.25	0.59	1.50	16.40	29.10	2.97	2.01	11.39	1.53	5.13	0.72	0.17	99.86	7.54	531
matrix_32-6	0.11	28.49	0.59	1.50	16.45	28.92	2.93	2.03	11.45	1.62	5.21	0.72	0.18	100.19	7.59	545
matrix_33-1	0.12	27.40	0.60	1.33	16.55	29.00	2.96	2.08	11.58	1.53	5.40	0.67	0.18	99.40	7.62	552
matrix_34-3	0.20	27.92	0.19	1.26	17.51	31.43	3.16	2.39	12.80	1.69	1.74	0.27	0.06	100.61	2.64	561
matrix_35-4	0.13	29.15	0.53	1.64	16.41	29.42	3.00	2.14	11.69	1.63	4.60	0.73	0.17	101.22	7.01	557
matrix_01-1	0.19	26.52	0.14	1.10	17.57	31.56	3.20	2.28	12.40	1.50	1.36	0.24	0.05	98.11	2.16	491
matrix_01-3	0.08	25.77	0.50	1.81	16.20	28.80	2.88	1.95	11.22	1.52	4.43	0.74	0.15	96.06	6.88	509
matrix_02-2	0.14	24.68	0.33	0.89	16.59	28.93	2.83	1.89	10.77	1.22	3.53	0.18	0.08	92.06	4.11	476
matrix_08-2	0.14	27.14	0.52	1.64	16.47	29.42	3.00	2.09	11.37	1.55	4.45	0.77	0.15	98.70	6.99	505
matrix_09-2	0.15	27.99	0.57	1.33	16.13	28.84	2.87	2.00	11.18	1.43	5.33	0.65	0.16	98.62	7.49	503
matrix_09-3	0.09	28.71	0.49	1.49	16.70	29.61	2.94	2.04	11.41	1.43	4.41	0.61	0.14	100.06	6.43	512
matrix_10-1	0.28	27.58	0.35	1.18	16.77	30.15	3.03	2.20	12.08	1.48	4.05	0.21	0.10	99.44	4.75	476
matrix_11-1	0.11	28.23	0.61	1.63	16.17	28.74	2.92	1.96	11.07	1.45	5.47	0.72	0.17	99.24	7.84	495
matrix_12-1	0.10	29.06	0.60	1.40	16.60	29.09	2.93	2.00	11.22	1.42	5.53	0.67	0.17	100.78	7.73	511
matrix_13-2	0.19	26.30	0.37	1.14	17.30	30.47	3.07	2.05	11.77	1.42	3.55	0.47	0.11	98.21	5.10	521
matrix_15-6	0.16	27.97	0.41	1.22	17.09	30.56	3.07	2.08	11.74	1.43	4.18	0.47	0.13	100.51	5.75	515
matrix_22-1	0.07	27.75	0.53	1.62	16.75	29.11	2.95	1.97	11.41	1.37	4.73	0.69	0.14	99.09	7.01	484
matrix_22-4	0.08	27.70	0.57	1.70	16.60	28.79	2.95	1.93	11.25	1.51	4.82	0.75	0.15	98.80	7.30	493
matrix_30-4	0.22	28.56	0.43	1.07	17.37	30.08	3.11	2.16	12.08	1.58	4.67	0.32	0.12	101.77	5.72	502
matrix_33-2	0.08	26.99	0.16	1.02	18.39	31.90	3.27	2.29	12.67	1.54	1.32	0.15	0.04	99.80	1.80	484

MONAZITA – MM34

Análise	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	ThO ₂	UO ₂	PbO	Total	ThO ₂ *	t (Ma)
<i>MM34 - Matriz (população 1)</i>																
matrix_04-1	1.65	25.59	0.10	2.11	13.38	29.06	3.37	3.01	13.73	2.12	6.52	0.23	0.20	101.06	7.30	651
matrix_04-3	0.13	27.71	0.47	1.74	17.02	30.40	3.15	2.11	11.92	1.67	4.07	0.67	0.17	101.23	6.30	647
matrix_06-2	0.13	27.38	0.27	2.34	17.27	31.15	3.18	2.25	12.12	1.78	1.89	0.20	0.07	100.01	2.55	650
matrix_10-1	0.22	26.49	0.22	0.40	17.54	35.62	2.95	1.76	10.54	1.04	4.09	0.00	0.11	100.96	4.09	612
matrix_10-2	0.29	26.85	0.33	0.44	16.12	35.49	2.99	1.92	11.18	1.10	4.31	0.00	0.12	101.13	4.31	650
matrix_10-3	0.26	27.47	0.50	1.57	16.39	30.18	3.10	2.20	12.06	1.75	4.47	0.55	0.17	100.67	6.32	617
matrix_15-2	0.10	25.67	0.33	2.13	17.54	30.76	3.05	2.15	11.52	1.73	2.94	0.10	0.09	98.12	3.29	667
matrix_18-1	0.35	26.20	0.54	0.92	17.12	30.88	3.05	1.81	11.44	1.09	6.33	0.25	0.19	100.16	7.15	626
matrix_18-2	0.51	25.66	0.70	1.01	16.37	29.93	3.01	1.56	10.82	0.85	8.56	0.28	0.26	99.54	9.50	647
matrix_19-1	0.14	27.59	0.48	1.80	16.95	30.58	3.09	2.11	11.87	1.54	4.13	0.55	0.16	100.96	5.97	622
matrix_19-2	0.15	27.27	0.53	1.79	16.49	30.08	2.99	2.14	11.85	1.63	4.48	0.68	0.19	100.26	6.77	658
<i>MM34 - Matriz (população 2)</i>																
matrix_01-2	0.14	28.02	0.52	1.85	16.44	29.21	3.02	2.11	11.68	1.59	4.75	0.61	0.16	100.10	6.76	570
matrix_02-2	0.13	27.96	0.50	1.89	16.50	29.77	3.07	2.16	11.97	1.73	4.50	0.73	0.17	101.08	6.92	567
matrix_02-3	0.11	27.66	0.48	1.90	16.21	29.96	3.07	2.23	12.13	1.72	4.24	0.68	0.15	100.53	6.48	548
matrix_03-1	0.13	27.58	0.46	1.19	17.25	30.99	3.09	2.19	12.03	1.59	4.58	0.35	0.14	101.58	5.75	576
matrix_03-2	0.12	27.80	0.53	1.74	16.63	29.64	3.06	2.19	11.95	1.69	4.54	0.69	0.16	100.73	6.82	555
matrix_07-1	0.15	27.24	0.44	1.35	16.62	30.91	3.18	2.32	12.40	1.68	4.01	0.42	0.13	100.85	5.41	577
matrix_09-2	0.16	27.14	0.22	2.42	17.81	31.51	3.06	2.17	11.98	1.80	1.57	0.28	0.06	100.18	2.51	588
matrix_09-3	0.16	27.13	0.30	1.94	17.31	30.87	3.12	2.26	12.09	1.85	2.85	0.25	0.09	100.22	3.67	569
matrix_11-1	0.09	28.11	0.55	1.79	16.37	29.82	3.04	2.06	11.57	1.63	4.84	0.66	0.16	100.67	7.01	550
matrix_11-3	0.08	27.84	0.55	1.88	16.39	29.85	3.08	2.17	11.95	1.66	4.55	0.69	0.16	100.85	6.86	542
matrix_11-4	0.09	28.22	0.55	1.81	16.37	29.78	3.05	2.17	11.93	1.69	4.72	0.67	0.17	101.22	6.94	588
matrix_11-5	0.08	27.81	0.51	1.42	16.58	30.33	3.12	2.21	12.16	1.60	4.26	0.52	0.14	100.75	5.97	559
matrix_15-1	0.17	25.07	0.55	0.92	16.56	29.58	3.03	2.20	11.57	1.65	5.48	0.40	0.16	97.33	6.82	555
matrix_18-3	0.84	25.75	0.64	0.92	16.61	30.48	3.09	1.60	11.04	0.91	7.94	0.27	0.21	100.30	8.84	553
matrix_18-4	0.08	26.41	0.52	1.70	16.68	30.15	3.03	2.13	11.89	1.66	4.36	0.63	0.15	99.39	6.45	539
matrix_20-2	0.21	27.31	0.46	1.87	16.70	30.28	3.09	2.15	11.90	1.65	3.90	0.63	0.14	100.29	5.98	558
matrix_21-1	0.14	26.66	0.55	1.86	15.86	29.73	3.09	2.22	11.99	1.69	4.79	0.67	0.17	99.42	7.02	576
matrix_22-1	0.40	26.57	0.64	1.03	16.13	29.29	2.93	2.20	11.61	1.66	6.63	0.19	0.17	99.45	7.25	560
matrix_22-3	0.11	26.86	0.62	1.76	16.35	29.30	2.94	2.08	11.50	1.67	5.51	0.50	0.16	99.37	7.15	539

MONAZITA – MM34

Análise	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	ThO ₂	UO ₂	PbO	Total	ThO ₂ *	t (Ma)
<i>MM34 - Matriz (população 3)</i>																
matrix_01-1	0.15	28.26	0.45	1.56	16.74	30.25	3.03	2.08	11.83	1.48	4.29	0.43	0.12	100.68	5.72	502
matrix_07-3	0.89	27.63	0.54	1.53	16.23	29.67	3.02	2.20	12.14	1.76	4.80	0.68	0.14	101.23	7.03	476
matrix_08-1	0.11	27.29	0.52	1.33	16.87	30.08	3.08	2.27	12.14	1.70	4.67	0.45	0.12	100.62	6.16	474
matrix_09-1	0.12	27.54	0.48	1.67	16.72	30.20	3.08	2.22	11.98	1.73	4.35	0.65	0.13	100.85	6.48	472
matrix_12-3	0.08	27.47	0.53	1.85	16.43	30.13	3.07	2.09	11.63	1.59	4.59	0.54	0.13	100.13	6.38	476
matrix_13-1	0.13	26.00	0.62	0.78	16.58	30.13	2.99	2.14	11.75	1.53	5.64	0.64	0.16	99.10	7.74	496
matrix_13-2	0.17	25.57	0.53	0.83	16.67	29.77	3.05	2.22	11.77	1.69	5.22	0.50	0.14	98.12	6.86	487
matrix_17-2	0.15	26.75	0.51	1.84	16.18	29.57	3.01	2.20	11.95	1.76	4.44	0.70	0.15	99.21	6.76	505
matrix_23-1	0.09	26.78	0.55	1.90	16.62	29.24	2.99	2.10	11.54	1.64	4.95	0.63	0.14	99.17	7.03	482
matrix_24-1	0.22	26.61	0.72	1.23	15.71	28.31	2.99	2.28	11.55	1.83	7.13	0.48	0.18	99.22	8.72	481
matrix_24-2	0.15	26.84	0.63	1.56	16.53	29.61	3.00	2.15	11.70	1.70	5.59	0.57	0.15	100.17	7.47	482
matrix_24-3	0.11	26.50	0.60	1.77	16.43	29.33	3.02	2.07	11.56	1.70	5.21	0.61	0.16	99.06	7.23	514
matrix_26-1	0.04	27.16	0.58	1.89	16.26	29.57	3.02	2.21	11.76	1.81	4.90	0.56	0.14	99.90	6.76	478
matrix_26-2	0.14	27.23	0.55	1.30	17.09	30.20	3.07	2.16	12.00	1.59	4.74	0.45	0.13	100.64	6.23	472
matrix_27-1	0.17	26.53	0.46	1.20	17.13	30.81	3.16	2.20	12.19	1.64	4.32	0.37	0.12	100.29	5.53	527
matrix_28-1	0.09	27.24	0.51	1.79	16.47	30.00	3.05	2.09	11.75	1.58	4.31	0.46	0.13	99.47	5.84	519
matrix_30-1	0.19	26.65	0.47	1.20	16.72	30.93	3.15	2.27	12.24	1.68	4.36	0.46	0.12	100.44	5.89	495
matrix_30-4	0.19	26.79	0.51	1.88	16.54	30.02	3.06	2.17	11.84	1.65	4.43	0.70	0.14	99.93	6.75	482
matrix_32-1	0.21	26.08	0.48	1.30	16.79	30.78	3.12	2.17	12.04	1.61	4.23	0.43	0.12	99.35	5.65	512
matrix_35-1	0.16	27.22	0.56	1.08	16.92	30.33	3.02	2.20	11.82	1.63	5.55	0.43	0.15	101.07	6.98	512

MONAZITA – Madmon

Análise	ThO2	UO2	PbO	ThO2*	t (Ma)
<i>Madmon</i>					
Madmon-01-6 Line 002	10.852	0.294	0.266	11.825	529
Madmon-01-6 Line 005	10.815	0.305	0.248	11.825	494
Madmon-01-6 Line 010	10.785	0.3	0.261	11.778	521
Madmon-01-6 Line 017	10.764	0.308	0.269	11.783	537
Madmon-01-6 Line 019	10.81	0.287	0.259	11.76	518
Madmon-01-6 Line 024	10.854	0.317	0.267	11.903	527
Madmon-01-6 Line 026	10.743	0.295	0.257	11.719	516
Madmon-01-6 Line 033	9.964	0.282	0.239	10.897	516
Madmon-01-6 Line 038	11.33	0.391	0.272	12.624	507
Madmon-01-6 Line 041	10.586	0.282	0.258	11.519	527
Madmon-01-6 Line 049	10.63	0.281	0.256	11.56	521
Madmon-01-6 Line 051	10.56	0.284	0.259	11.5	529
Madmon-01-6 Line 053	10.478	0.286	0.257	11.425	529
Madmon-01-6 Line 069	10.656	0.28	0.256	11.583	520
Madmon-01-6 Line 078	10.719	0.27	0.258	11.613	522