



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA E
POTENCIAL ECONÔMICO DE OCORRÊNCIAS DE TERRAS RARAS
DO MACIÇO GRANÍTICO SERRA DO MENDES, GOIÁS.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO N° 390

Angélica María Zapata Montoya

Brasília - DF, 10 de março de 2017



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA E
POTENCIAL ECONÔMICO DE OCORRÊNCIAS DE TERRAS RARAS
DO MACIÇO GRANÍTICO SERRA DO MENDES, GOIÁS.**

Angélica María Zapata Montoya

Área de Concentração: Prospecção e Geologia Econômica

Orientador:

Prof. Dr. Nilson Francisquini Botelho

Banca examinadora:

Prof. Dr. Vitor Paulo Pereira (UFRGS)

Prof. Dr. Valmir da Silva Souza (UnB)

Brasília - DF, 10 de março de 2017

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus e a toda minha família na Colômbia, especialmente a minha mãe Clara Luz e meu esposo Rafael.

Agradeço ao meu orientador Nilson Francisquini Botelho pela oportunidade oferecida e por sua paciência, dedicação e apoio ao longo de todo o projeto.

A todos meus amigos do Instituto de Geociências, especialmente ao Eduardo, Pedro, Alanna e Carol por me brindar com sua amizade e apoio nestes 2 anos. Ao Felipe Velásquez e Carlos Moreno, amigos de vida e companheiros incansáveis de luta.

Á CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, por todo o suporte financeiro prestado aos meus estudos e meu projeto.

Agradeço infinitamente a todo o pessoal dos laboratórios do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília pelo apoio prestado durante este processo

Eternamente agradecida ao povo Brasileiro por me acolher tão bem em seu lindo país.

SUMÁRIO

RESUMO.....	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	3
2. OBJETIVOS.....	4
3. ESCOPO DA DISSERTAÇÃO.....	4
4. LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	4
4.1 Geomorfologia.....	5
4.2 Solos	7
4.3 Clima e vegetação.	7
5. MATERIAIS E MÉTODOS	7
6. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE PESQUISA.....	9
6.1 Maciço Serra Do Mendes	10
6.1.1 Biotita monzogranito (Pb1a):.....	13
6.1.2 Fluorita biotita sienogranito (Pb1b):	13
6.1.3 Leucomonzogranito (Pb1c):	14
7. FORMAS DE OCORRÊNCIA DE ETR NO MGSM	16
8. REFERÊNCIAS.....	16
9. ARTIGO	19
ABSTRACT	19
9.1 INTRODUCTION.....	20
9.2 GEOLOGIC CONTEXT.....	20
9.2.1 Serra do Mendes Granite Massif	21
9.3 MATERIALS AND METHODS	23
9.3.2 Scanning electron microscopy	24
9.3.3 Whole-rock chemical analyses	24
9.4 RESULTS.....	24
9.4.1 Mineralogic characterization	24
Fluocerite-(Ce) ((Ce, La) F ₃).....	25
Bastnaesite ((Ce, La, Y) CeO ₃ F)	25

Monazite-(Ce) ((Ce, La, Nd, Th)PO ₄)	28
Allanite-(Ce) ((Ca, Ce, Y, La) ₂ (Al, Fe ⁺³) ₃ (SiO ₄) ₃ (OH)).....	29
Solid Solutions of Thorite	32
Zircon-ZrSiO ₄	33
Apatite-Ca ₅ (PO ₄) ₃ F	33
Unidentified Nb-Si-REE Mineral	34
9.4.2 Geochemistry of REE in granites, saprolites and alluvial sediments.....	34
9.5 DISCUSSION	40
9.6 CONCLUSIONS	44
9.7 REFERENCES	45
10. ANEXOS	49
10.1 QUÍMICA MINERAL PARA FLUOCERITAS.....	49
10.2 QUÍMICA MINERAL PARA BASTNAESITAS	50
10.3 QUÍMICA MINERAL PARA OXIFLUORETOS DE ETR	51
10.4 QUÍMICA MINERAL PARA MONAZITAS	52
10.5 QUÍMICA MINERAL PARA ALLANITAS	53
10.6 QUÍMICA MINERAL PARA SS-TORITAS	54
10.7 QUÍMICA MINERAL PARA ZIRCÃO	57
10.8 QUÍMICA MINERAL PARA APATITA.....	60
10.9 QUÍMICA MINERAL PARA MINERAL NÃO IDENTIFICADO	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área estudada e principais acessos.	5
Figura 2. Mapa geomorfológico da área estudada. Fonte: Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográficas do Estado de Goiás-Superintendência de Geologia e Mineração.	6
Figura 3. Mapa com os principais maciços graníticos com potencial para ETR na PEG, com localização do Maciço Serra do Mendes (Botelho, 2013).	10
Figura 4. Mapa geológico do Maciço Serra do Mendes e adjacências. Adaptado de Miranda & Ribas (2006) e Castanheira & Andrade (2006).	12

- Figura 5.** Fotomicrografias do biotita monzogranito. a(P//) e b(PX): amostra AZME-8B com textura granofírica preservada. c(P//) e d(PX): amostra AZME-01 com marcada foliação, onde se observa, quartzo e microclínio deformados.(Qz: quartzo; Fsp: microclínio; Bt: biotita)13
- Figura 6.** Fotomicrografias do fluorita biotita sienogranito (amostra TF171B), a(P//) e b(PX): textura e associação mineral típicas da rocha; c(P//) e d(PX): Textura granofírica preservada. (Qz: quartzo; Fsp: microclínio; Ab; albita; Fl: fluorita)14
- Figura 7.** Características representativas do leucomonzogranito (fácies PB1c) no MGSM. a(P//) e b(PX): Amostra ME-10A com mineralogia típica. c(P//) e d(PX): Muscovita com orientação incipiente na amostra AZME-04D.....15
- Figura 8.** Gráfico de Streckeisen (1974) para classificação modal de rochas plutônicas, com amostras das diferentes fácies graníticas do MGSM.15
- Figure 9.** a) Schematic geological map of the northern part of the Goiás Tin Province, with the main granitic massifs with potential for REE and location of the SMGM (modified from Botelho and Moura (1998); b) local geological map and sampling locations in the SMGM (adapted from Alvarenga et al. 2007); c) schematic section A-A'.22
- Figure 10.** Optical and backscattered electron images (BSE) of REE bearing minerals from the SMGM. a) and b): fluocerite (Flc) associated with fluorite (F) and zircon (Zrn) in the leucomonzogranite (sample AZME-4B); c) and d) Bastnaesites associated with allanite (Aln), muscovite (Musc) and ilmenite (Ilm) in the leucomonzogranite (sample ME10A); e) and f) oxyfluorides (REE-Oxf) associated with altered zircon in the leucomonzogranite. Light areas: Ce-rich; dark areas: La-rich (sample 05-l-164); g) and h): Monazite grains (Mnz) in the biotite granite; i): BSE image of a monazite grain with reaction rim of Fe-oxide (Ox-Fe); j), k) and l): allanite associated with epidote (ep) and ilmenite (ilm).....27
- Figure 11.** Optical and backscattered electron images (BSE) of REE bearing minerals in the SMGM, a), b) and c): thorite – zircon- xenotime association in the biotite granite (sample AZME-7D) and in the leucomonzogranite; d), e), f) REE-bearing zircon associated with thorite (Th), bastnaesite (bast) and fluorite (Fl) in the leucomonzogranite (samples AZME 4A and ME-8C); g) zircon of the biotite granite (sample AZME-12B); h) and i) apatite grain in the biotite granite with Fe-oxide inclusions (white dots in h)); j), k) and l) Unidentified Nb-Si-Y- REE mineral in association with titanite (Ttn) agglomerates.28
- Figure 12.** a) to h): Mineral chemistry plots and respective chondrite normalized REE patterns with normalization values from Sun & McDonough (1989) for REE-bearing minerals in the SMGM; i) Diagram of Linthout, (2007) showing the compositional variation of the SMGM monazites in the system $2\text{REEPO}_4 - \text{CaTh}(\text{PO}_4)_2 - 2\text{ThSiO}_4$30
- Figure 13.** Mineral chemistry plots and respective chondrite normalized REE patterns with normalization values from Sun & McDonough (1989) for REE-bearing minerals in the SMGM. a) to c): allanite; d) to f): thorite (Th) – xenotime (REE + Y) – zircon (Zr) solid solutions;g) to i): zircon;i) j) REE patterns for the PB1c zircons.....31

Figure 14. Mineral chemistry plots and respective chondrite normalized REE patterns with normalization values from Sun & McDonough (1989) for REE-bearing minerals in the SMGM. a) and b): apatite; c) to e): unidentified Nb-Si-Y-REE rich mineral.32

Figure 15. a) to c)Diagrams of REE+Y contents, Zr contents, and LaN/YbN ratios vs.SiO₂ contents showing an increasing in the REE, mainly in the HREE, contents with the increasing in SiO₂); d) to f) chondrite-normalized REE patterns of the granites, saprolites and alluvial sediments; normalization values from Sun &McDonough (1989); g) REE patterns of the leucomonzogranite and associated saprolite normalized to the less evolved biotite granite (sample AZME07D), highlighting the enrichment in the HREE by a factor up to 539

Figure 16. Map of geochemical anomalies for REE + Y (ppm) in the SMGM.40

LISTA DE TABELAS

Table 1. Relative amounts of REE minerals in the SMGM granites and in the alluvial sediments (- no observed, +low ++ medium, +++ high, SS: solid solution) and the respective REE contents (wt. %) obtained by EPMA.25

Table 2. Whole-rock compositions for granites, saprolites and alluvial sediments from the SMGM.....36

RESUMO

O Maciço Granítico Serra do Mendes (MGSM) está localizado na Província Estanífera de Goiás (PEG), que é caracterizada por corpos de granito de tipo A com conteúdos de estanho e elementos das terras raras associados. O maciço da Serra do Mendes é o maior corpo granítico da subprovincia do Paraná e possui 3 fácies principais pertencentes à Suíte Granítica Pedra Branca. Esta suíte tem idades de 1.77 a 1.74 Ga, com uma tendência subalcalina para alcalina e altas concentrações de Zr, Y e ETR.

Amostras de rocha fresca, saprolito e sedimentos de drenagem foram coletadas das fácies graníticas mais abundantes, PB1a e PB1c, com o objetivo de caracterizar os minerais portadores de ETR e suas concentrações. As técnicas analíticas incluíram petrografia, microscopia eletrônica de varredura, análise de química mineral por microsonda eletrônica (EPMA) e geoquímica de rocha total.

A fácies mais evoluída, PB1c, contém as concentrações mais elevadas de minerais portadores de ETR, sendo os mais notáveis fluocerita-Ce, oxifluoretos de ETR, bastnaesita, monazita, allanita, soluções sólidas de torita-zircão e torita-xenotima, além de apatita.

De acordo com a litogeoquímica, a fácies mais abundante, PB1a, contém concentrações de ETR de 363.8 a 985.9 ppm, e seu saprolito contém concentrações de 60 a 1283.9 ppm, com razões La_N / Yb_N entre 4 e 17,7. A fácies PB1c contém ETR em concentrações entre 460.9 e 958.6 ppm, e seus saprolitos contêm concentrações de ETR de 495.7 e 902.1 ppm. As razões La_N / Yb_N nas rochas e saprolitos estão entre 2 e 12.3. Ao lado dos minerais de terras raras, merece destaque a ocorrência de zircão e torita com até 20% de $ETR_2O_3 + Y_2O_3$.

As concentrações de ETR, juntamente com fatores como o clima e morfologia da área de estudo, tornam o Maciço Granítico da Serra do Mendes um alvo interessante para prospecção e exploração de ETR.

PALAVRAS CHAVE: Minerais portadores de ETR, Maciço Granítico Serra do Mendes, intemperização

ABSTRACT

The Serra do Mendes granite massif (SMGM) is located in the Goiás tin province (GTP), which is characterized by A-type granite bodies that bear tin and associated rare earth elements (REEs). The Serra do Mendes massif is the largest granitic body in the Paranã subprovince and has 3 main facies belonging to the Pedra Branca Granite Suite. This suite has ages of 1.77 to 1.74 Ga, a subalkaline to alkaline tendency and high concentrations of Zr, Y and REEs.

Samples of fresh rock, saprolite and alluvial sediments were collected from the most abundant facies, PB1a and PB1c, with the objective of characterizing the REE-bearing minerals and their concentrations. The analytical techniques included petrography, scanning electron microscopy, mineral chemistry analysis with an electron probe micro-analyzer (EPMA) and total rock geochemistry.

The most evolved facies, PB1c, contains the highest concentrations of REE-bearing minerals, the most noteworthy of which are fluocerite-Ce, REE oxyfluorides, bastnaesite, monazite, allanite, solid solutions of thorite, zircon, fluorite and apatite.

REE contents in the most abundant facies, PB1a, range from 363.8 to 985.9 ppm, and its saprolite contains concentrations of 60 and 1283.9 ppm with LaN/YbN ratios between 4 and 17.7. Facies PB1c contains REEs at concentrations between 460.9 and 958.6 ppm, and its saprolites contain concentrations of REEs of 495.7 and 902.1 ppm. The LaN/YbN ratios in the rocks and are between 2 and 12.3. Along with the REE minerals, it is noteworthy the occurrence of zircon and thorite with up to 20% REE₂O₃ + Y₂O₃.

These values together with factors such as the climate and morphology of the study area make the Serra do Mendes granite massif an interesting objective for prospecting and exploration for REEs.

KEY WORDS: REE bearing minerals, Serra do Mendes Granite Massif, weathering

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A procura por jazidas de elementos terras raras (ETR) tem se tornado cada vez maior nos últimos anos, em razão da sua utilização na indústria de alta tecnologia e do monopólio da China na produção destes elementos (97% de toda a produção mundial). Em 2010, o governo chinês anunciou que, em poucos anos, toda sua produção de terras raras seria destinada para seu mercado interno. Estes metais são utilizados em células fotovoltaicas, carros híbridos, turbinas eólicas, ímãs de alto rendimento, supercondutores, luminóforos, catalisadores, entre outros.

Os fatores mencionados acima enquadram os ETR no grupo dos “Minerais Estratégicos”, definição utilizada para um mineral escasso, além de essencial e/ou crítico para um país. De acordo com o Plano Nacional de Mineração 2030, existem três situações que permitem a caracterização de um bem mineral como estratégico:

- Elementos e minerais de que o país depende e que importa em grande escala, tais como o potássio, nitrogênio, fósforo e o carvão metalúrgico, essenciais para setores vitais da nossa economia.
- Minerais portadores de ETR, lítio, tântalo, entre outros, cuja demanda é crescente e que deverá se expandir ainda mais nas próximas décadas devido a sua aplicação em produtos de alta tecnologia, denominados minerais “portadores do futuro”
- Minerais em que o Brasil apresenta vantagens comparativas naturais e liderança internacional em reservas e produção, tais como os minérios de ferro e nióbio.

A partir de todos os motivos listados, entende-se que é muito importante um melhor conhecimento técnico/geológico sobre estes elementos, fator imprescindível para o país se tornar cada vez menos dependente do mercado externo, por meio da exploração de suas próprias reservas. No Brasil, importantes alvos para pesquisa de terras raras estão relacionados a granitos do tipo A, tema que está sendo investigado dentro de um grande projeto apoiado pelo CNPq-CT MINERAL (Bastos Neto & Botelho, 2013). O projeto aborda granitos da região de Pitinga, no Amazonas, e granitos da Província Estanífera de Goiás, na qual está inserida esta Dissertação de Mestrado, cuja proposta é a “Caracterização Mineralógica, Geoquímica e Potencial Econômico de Ocorrências de Terras Raras do Maciço Granítico Serra do Mendes, Goiás”.

Trabalhos anteriores (Marini *et al*, 1992; Teixeira e Botelho, 1999; Teixeira, 2002, Santana, 2013 e Santana *et al* 2015) descrevem o potencial para terras raras em determinados granitos encontrados na região. O primeiro aborda a Província Estanífera de Goiás como um todo e os demais trabalhos abordam as subprovíncias Tocantins ou Paranã. São abordadas as concentrações de TR em rocha fresca, saprolitizada e alterada por processos hidrotermais.

Diversos corpos graníticos apresentam potencial econômico, em especial os maciços Pedra Branca e Serra Dourada. O Maciço Serra do Mendes ainda é pouco conhecido, mas anomalias de ETR foram evidenciadas por Marini *et al.* (1992).

2. OBJETIVOS

Com o presente trabalho pretende-se caracterizar as ocorrências de ETR no maciço granítico Serra do Mendes e os minerais magmáticos e hidrotermais portadores desses elementos. Além disto, serão investigadas possíveis concentrações desses minerais em aluviões, no interior e na borda do maciço granítico, além de possíveis enriquecimentos supergênicos de TR, como aqueles descritos por Santana (2013) e Santana *et al* (2015) no Maciço Serra Dourada.

Depósitos de TR de enriquecimento supergênico estão entre os mais importantes descritos na literatura. O depósito deste tipo mais conhecido e importante é o de adsorção iônica, descrito em diversos trabalhos (Bao e Zao 2008, Sanematsu *et al* 2009 e Sanematsu *et al* 2013) e normalmente associado a granitos. Este tipo de depósito consiste na adsorção de ETR em argilominerais presentes no solo (principalmente caolinita) através da alteração dos minerais detentores de ETR, com a interação de água meteórica. Os trabalhos citados anteriormente, além de Bau (1999), descrevem este processo.

A pesquisa terá como objetivo final uma avaliação da importância econômica dessas ocorrências.

3. ESCOPO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação de mestrado se divide em duas partes: a primeira é introdutória, informado os objetivos, generalidades da área de estudo e a geologia regional. A segunda parte, contém o resultado da dissertação de mestrado, feita em forma de artigo científico, intitulado "*Mineralogic and geochemical characterization of rare-earth occurrences in the Serra do Mendes Massif, Goiás, Brazil*" a ser submetido à revista especializada *Journal of Geochemical Exploration*.

4. LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

A zona de estudo está localizada na região do Nordeste Goiano, nas imediações da municipalidade de Monte Alegre de Goiás aproximadamente a 15 km da área urbana. Partindo de Brasília, o acesso pode ser feito pela via BR-020 em direção a Planaltina, em seguida toma-se a rodovia estadual GO-118, passando pelas cidades de São Gabriel de Goiás, São João D'

Aliança, Alto Paraiso de Goiás, Teresina de Goiás até a cidade de Monte Alegre de Goiás. A figura 1 mostra a localização da área estudada com seus principais acessos.

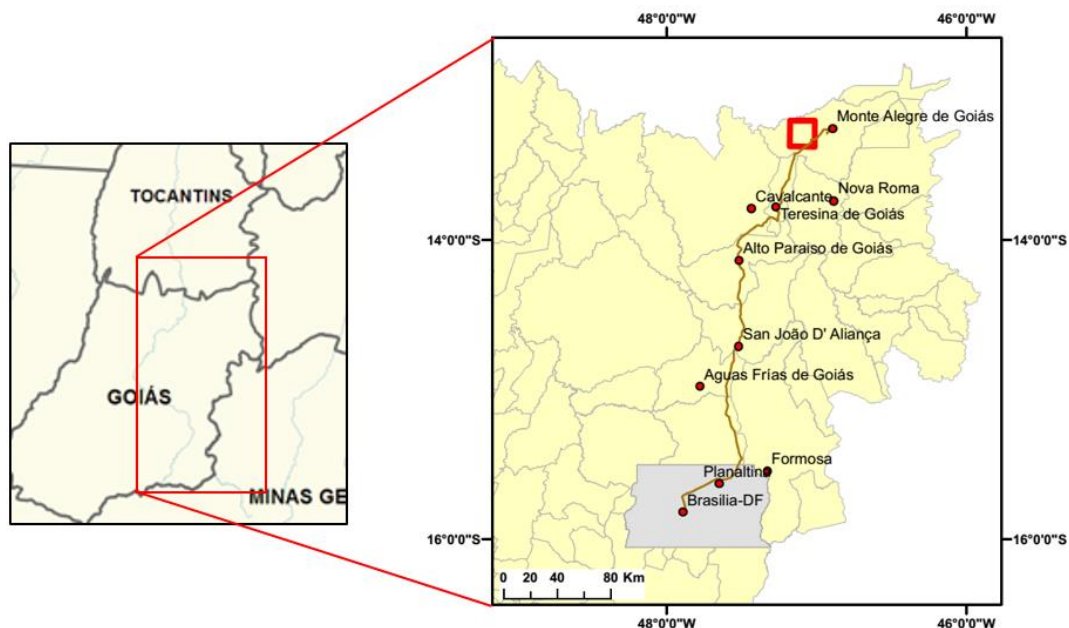


Figura 1. Localização da área estudada e principais acessos.

4.1 Geomorfologia

O relevo de uma área bem como seus tipos de solo e clima constituem aspectos fundamentais para a evolução dos depósitos de ETR por adsorção em argilo-minerais, que são favorecidos por superfícies de aplainamento, localizadas sobre rochas graníticas com algum enriquecimento prévio de ETR.

A área de estudo caracteriza-se por apresentar superfícies relativamente aplainadas interrompidas por altos topográficos de formas circulares, pertencentes aos corpos graníticos intrusivos e suas rochas encaixantes imediatas (Figura 2), além de colinas e, em menor proporção, estruturas *hog-backs*. Segundo Latrubesse e Carvalho (2006), de maneira geral a região está subdividida em três unidades geomorfológicas:

a) Superfície Regional de Aplainamento (SRA), que abrange áreas de depressões, formadas pela bacia hidrográfica do Rio Paranã, com sistema de drenagens no sentido sul. A região é constituída predominantemente por as rochas da Suíte Aurumina, principal encaixante do Granito Serra do Mendes. “Uma SRA é uma unidade denudacional gerada pelo arrasamento de uma superfície de terreno dentro de um determinado intervalo de cotas e este aplainamento se dá de forma relativamente independente dos controles geológicos regionais

(litologias e estruturas). Uma SRA, na sua distribuição espacial, pode seccionar/aplainar sobre limites litológicos e estilos estruturais, erodindo diversas unidades geológicas” (Latrubesse e Carvalho, 2006)

b) Zonas de Erosão Recuante, que são zonas onde as Superfícies Regionais de Aplainamento encontram-se escalonadas em diferentes cotas, geralmente delimitadas por escarpas de erosão. Grandes reentrâncias marcam a erosão das superfícies de aplainamento antigas a partir de um nível de base inferior (local o regional), associado à rede de drenagem que evolui por erosão recuante, dissecando as superfícies de aplainamento e gerando outras SRAs. Estas zonas (ZER) frequentemente passam transicionalmente para SRA, que atua como nível de base local. Em algumas zonas onde o contato entre superfícies é muito abrupto, embora exista uma Zona de Erosão Recuante, ela não foi cartografada em função da escala, sendo simplesmente indicado o contato entre as superfícies.

c) Morros e Colinas (MC), caracterizada na região pelos granitos Serra do Mendes e Mangabeira e pela Serra de Bom Jardim, composta de rochas metassedimentares e metavulcânicas da Formação Arraias. Na área de estudo, as intruções graníticas respondem por relevos dômicos de formas circulares e ovais. Trata-se de corpos exumados associados à evolução da superfície Regional de Aplainamento. Geomorfologicamente podem ser classificados como *inselbergs*. Estas formas são o resultado da erosão diferencial e, por resistirem mais à erosão/denudação, sobressaem ao relevo circundante (figura. 2).

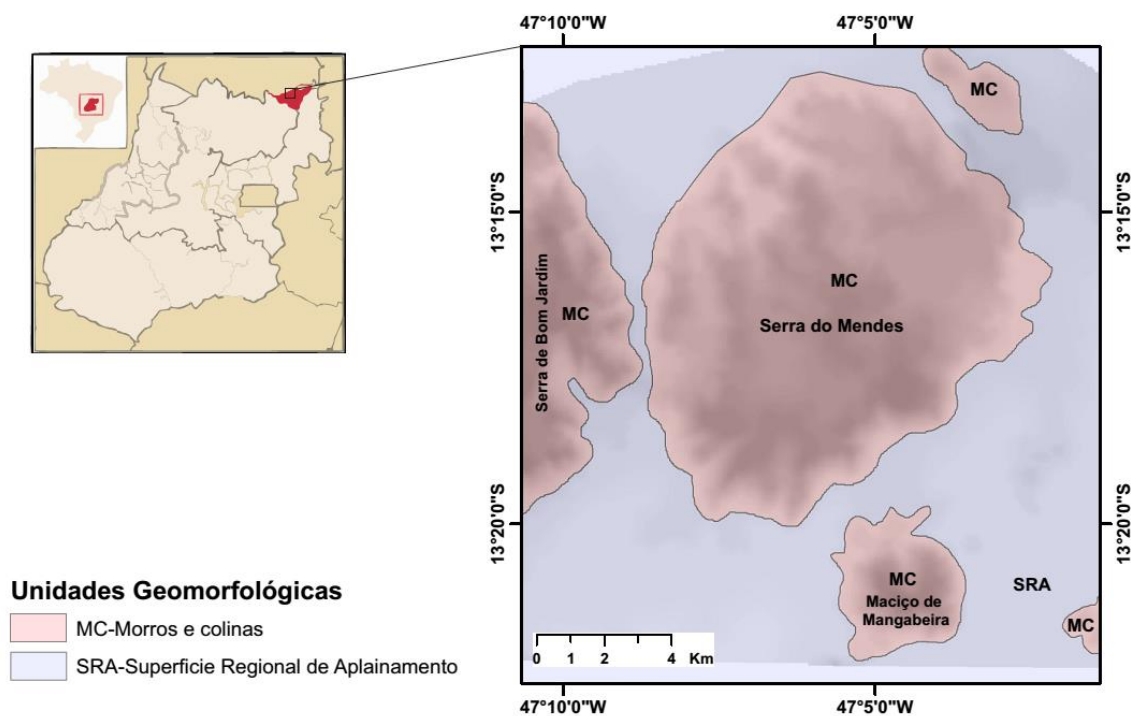


Figura 2. Mapa geomorfológico da área estudada. Fonte: Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográficas do Estado de Goiás-Superintendência de Geologia e Mineração.

4.2 Solos

Os solos da região do Norte Goiano podem ser classificados em três tipos diferentes de acordo com o Manual Técnico de Pedologia, publicado pelo IBGE em 2007.

Argissolos: Os solos desta classe têm como característica marcante um aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B que é do tipo textural (Bt), geralmente acompanhado de boa diferenciação também de cores e outras características. As cores do horizonte Bt variam de acinzentadas a avermelhadas e as do horizonte A, são sempre mais escuras. A profundidade dos solos é variável, mas em geral são pouco profundos. São juntamente com os Latossolos, os solos mais expressivos do Brasil, sendo verificados em praticamente todas as regiões.

Latossolos: Em geral são solos muito intemperizados, profundos e de boa drenagem. Caracterizam-se por grande homogeneidade de características ao longo do perfil, mineralogia da fração argila predominantemente caulinítica ou caulinítica-oxídica e praticamente ausência de minerais primários de fácil intemperização.

Neossolos litólicos: São marcadamente rasos e pouco desenvolvidos, com ausência de horizonte B distinguível e presença de material mineral/regolítico imediatamente abaixo do horizonte orgânico. Embora bem distribuídos pelo Brasil, os neossolos litólicos não apresentam expressivo volume, sendo encontrados principalmente em regiões de morrarias e serras.

4.3 Clima e vegetação.

O clima local é predominantemente Tropical quente com duas estações bem definidas: verões quentes e chuvosos entre os meses de outubro a abril e invernos quentes e secos entre os meses de maio a setembro.

A vegetação é de tipo cerrado ou savana, desenvolvida em terrenos areníticos, lixiviados e fortemente aluminizados. O cerrado está composto de formações geralmente cobertas ou entremeadas por plantas lenhosas. O cerrado ou savana corresponde a uma vegetação xeromorfa, de clima estacional (onde aproximadamente seis meses são marcados pela seca). Ocorre com frequência vegetação arbustiva como *Vellozias Squamata* (Canela de Ema).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo foi mapeada e amostrada em trabalhos de conclusão do Curso de Geologia da UnB (Miranda e Ribas, 2006; Castanheira e Andrade, 2006), sendo que algumas

amostras foram aproveitadas nessa Dissertação de Mestrado. Foi realizado mais um trabalho de campo com o objetivo de reconhecimento geológico, amostragem de rochas, de saprolitos e concentração de minerais pesados em drenagens. Para auxiliar na identificação dos locais com maiores concentrações dos minerais de interesse, foi utilizado um gamaespectrômetro, já que minerais de ETR comumente incorporam U e Th em suas estruturas cristalinas.

A partir das amostras de rocha coletadas, foram confeccionadas seções delgadas e uma seção de cada amostra foi moída em panela de ágata e enviada para análise de rocha total. Os sedimentos de córrego foram secados em estufa a 50°C e posteriormente peneirados e separados para observação em maior detalhe em microscópio de luz transmitida e lupa binocular. Deste concentrado, alguns minerais foram recuperados com pinças e montados em suportes com resina de epóxi, polidos em disco rotativo com pasta diamantada e revestidos com película de carbono para serem examinados na microsonda eletrônica.

Análises de rocha total e elementos traço foram feitas no Laboratório ACME, Canadá, onde elementos maiores, menores e traços foram detectados por ICP-ES e ICP-MS, após fusão com metaborato de lítio, diluição e digestão em ácido múltiplo de 0,2g de amostra, com exceção dos metais base, que foram extraídos por água-régia. A perda ao fogo, ou *Loss on Ignition (LOI)*, é dada pela diferença de peso após incineração a 1000°C. Foram ainda analisados carbono e enxofre totais em forno Leco.

As análises em microsonda eletrônica foram realizadas na Universidade de Brasília, no Laboratório de Microsonda Eletrônica, utilizando-se uma JEOL JXA-8230 equipada com cinco espectrômetros WDS para análises quantitativas e um EDS para análises qualitativas. Primeiramente realizaram-se as análises SEM-EDS para identificar os minerais ricos em Y e ETR e, em seguida, foram feitas as análises quantitativas. Nestas análises dividiu-se os elementos em dois programas: um contendo os elementos F, Al, Si, P, Nb, Mn, Ti, Y, Ta, Ca, Fe e Zr e o outro Na, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Pb, K, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Th, Sr, La, Ce, Pr, Nd, U e Ba. As condições de análise foram: 15 kV de aceleração de voltagem, 10 nA de corrente e 1 µm de diâmetro dos feixes de elétrons para o primeiro programa e 20 kV de aceleração de voltagem, 50 nA de corrente e 1 µm de diâmetro dos feixes de elétrons para o segundo programa. Os tempos de contagem para todos os elementos foi de 10 segundos no pico e 5 segundos no *background*. Para os elementos F, Al, Si, P, Mn, Ti, Fe, Na e K utilizou-se a linha K α , para Y, Er, Tm, Yb, Lu, Eu, Gd, Tb, Sr, La, Ce, Nd e Ba a linha L α , para Ca a linha K β e para Nb, Zr, Ho, Sm, Dy e Pr a linha L β . Vidros silicáticos de Ca-Al sintéticos contendo cada ETR foram usados como padrões de ETR, com exceção do Ce, que foi analisado com um padrão de CeO₂ sintético. Os outros padrões utilizados para calibração foram: topázio (F), microclínio (Al, K e Si), apatita (P e Ca), LiNbO₃ (Nb), MnTiO₃ (Mn e Ti), YFe₂O₁₂ (Y), LiTaO₃ (Ta), andradita (FeO), baddeleita (Zr), albita (Na), vanadinita (Pb), ThO₂ (Th), SrSO₄ (Sr), UO₂

(U) e BaSO₄ (Ba). Correções de interferência foram executadas em todos os casos necessários.

6. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE PESQUISA

O maciço Serra do Mendes insere-se dentro da Província Estanífera de Goiás (PEG), composta por quatro subprovíncias, onde foram encontrados maciços granitoides portadores de estanho com ETR associados (Marini e Botelho, 1986; Marini *et al.* 1992). A província é constituída por cerca de vinte corpos graníticos e filões pegmatíticos de idade Paleoproterozóica a Neoproterozóica, intruídos em rochas metassedimentares da Formação Ticunzal e granitos da Suíte Aurumina e superpostos por rochas sedimentares dos grupos Serra da Mesa, Araí e Paranoá.

As duas principais subprovíncias estaníferas da PEG estão situadas na porção norte, abrangendo também o extremo sul do estado do Tocantins. Na figura 3, a oeste, está localizada a Subprovíncia Tocantins (SPT), que tem o Maciço Serra Dourada como principal alvo para depósitos de terras raras. O Maciço Serra do Mendes está inserido na Subprovíncia Paranã (SPP), localizada a leste na mesma figura.

A subprovíncia Paranã é constituída pelos granitos Pedra Branca, Mocambo, Magabeira, Mendes e Sucuri, todos do tipo A. Este magmatismo granítico é denominado de Suíte Pedra Branca (PB), constituída pelos granitos, PB1 e PB2, com idades entre 1,77 e 1,74 Ga. No Maciço Serra do Mendes, encontra-se apenas a fase Pb1, predominantemente Pb1a, que apresenta tendência alcalina a subalcalina, alto conteúdo de Zr, Y e ETR.

Trabalhos mais recentes (Botelho *et al.* 2006; Alvarenga *et al.* 2007) incluem nesta subprovíncia os granitos peraluminosos da Suíte Aurumina (2,15 Ga.), que hospedam depósitos de estanho, tântalo, urânio e ouro, mas que não têm potencial para depósitos de terras raras. Os granitos do tipo A são intrusivos em rochas da Suíte Aurumina e/ou da Formação Ticunzal, localizados na porção externa da Faixa Brasília (Alvarenga *et al.*, 2007). Os mesmos autores descrevem que estes corpos constituem altos topográficos circulares ou elípticos que se destacam do relevo mais suave das rochas encaixantes.

Caracterização Mineralógica, Geoquímica e Potencial Econômico de Ocorrências de Terras Raras do Maciço Granítico Serra do Mendes, Goiás.

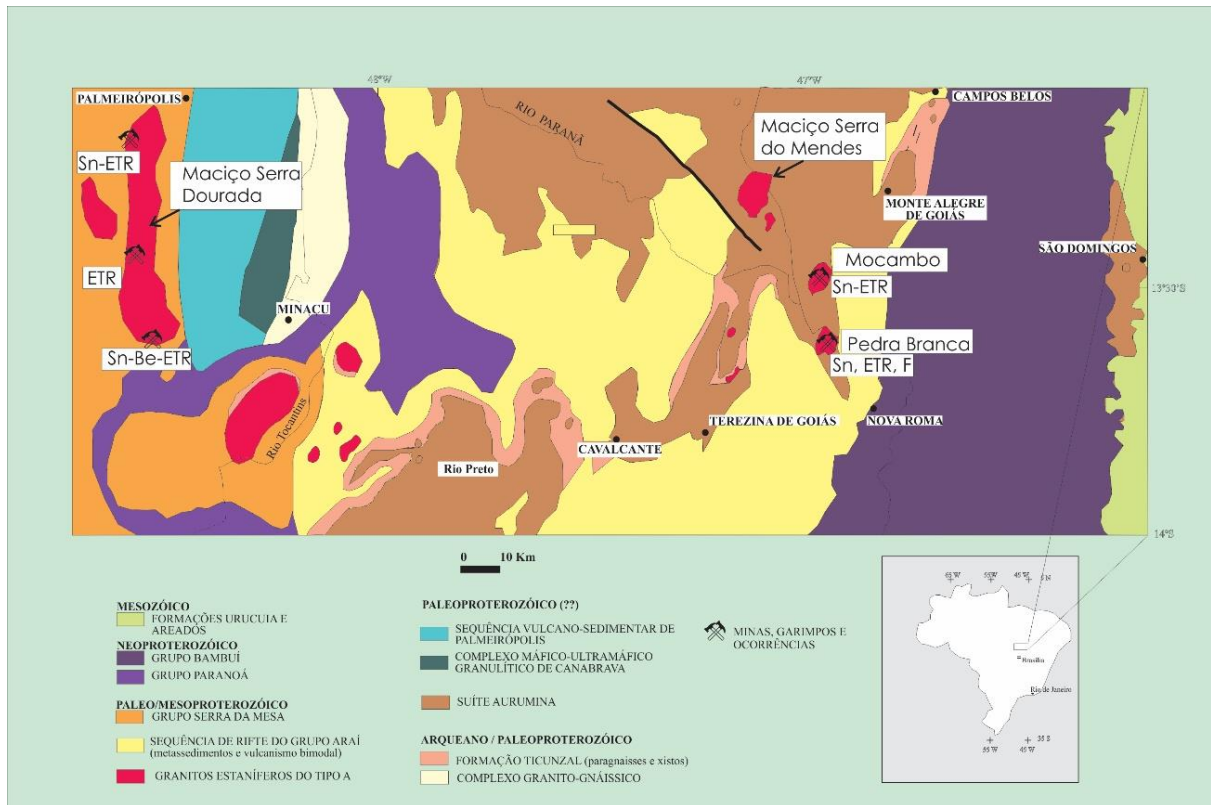


Figura 3. Mapa com os principais maciços graníticos com potencial para ETR na PEG, com localização do Maciço Serra do Mendes (Botelho, 2013).

De acordo com Marini e Botelho (1986) e Marini *et al.* (1992), estas rochas graníticas constituem corpos circulares, predominantemente porfíricos e com orientação mineral difusa, nos quais destacam-se megacristais de K-feldspato e cristais de quartzo azulado. É importante ressaltar que a biotita é o único mineral máfico presente. Também são observados granitos greisenizados e greisens mineralizados com cassiterita nos maciços Serra do Mendes, Mangabeira, Mocambo, Pedra Branca e Sucuri. Estes são resultados de fenômenos tardi a pós-magmáticos, representados por greisenização, albitização e microclinização.

6.1 Maciço Serra Do Mendes

O maciço Serra do Mendes, constitui um corpo de forma elipsoide, com o eixo maior NE com cerca de 15 km e com o eixo menor em torno de 10 km constituindo o maior corpo granítico da Subprovincia Estanífera de Paranã e é pouco conhecido, já que não constitui alvo importante para prospecção de estanho (figuras 3 e 4). Estudos de maior detalhe são decorrentes de levantamentos geológicos realizados durante trabalhos de formatura de alunos de Graduação em Geologia da Universidade de Brasília (Miranda e Ribas, 2006; Castanheira e Andrade, 2006). É constituído predominantemente por biotita monzogranito, com deformação proeminente, principalmente nas bordas. Esta deformação oblitera as texturas magmáticas,

mas em regiões menos deformadas têm sido observadas texturas gráfica e micrográfica/granofírica, além de grãos de quartzo euédricos a subédricos, semelhantes a feições encontradas em granitos rapakivi.

Em sua porção central, o maciço serra do Mendes possui um corpo de leucogranito mais evoluído, denominado de Fazenda Poção, onde estão concentradas as poucas ocorrências de estanho (figura 4). São descritas ainda ocorrências de sienogranito rico em fluorita. O leucogranito da Fazenda Poção é o principal alvo para terras raras, pois tem como minerais acessórios, allanita, monazita, torita, além de maior concentração de terras raras pesadas (ETRP) em relação ao biotita granito principal.

Dados petrográficos e geoquímicos permitem classificar a fácies predominante do Maciço Serra do Mendes como pertencente à Família PB1 de Suíte Pedra Branca, equivalente ao biotita monzogranito à fácies PB1a, o fluorita biotita sienogranito à PB1b e o leucogranito Poção e diques de biotita granito porfírico à fácies Pb1c. O contato observado desta unidade com a Suíte Aurumina é tectônico, porém o caráter intrusivo da Suíte Pedra Branca em relação aos granitos peraluminosos é evidenciado por xenólitos decimétricos de biotita muscovita granito. O contato observado com a Formação Ticunzal é tectônico, marcado por uma faixa centimétrica de milonito fino (Miranda e Ribas, 2006).

Caracterização Mineralógica, Geoquímica e Potencial Econômico de Ocorrências de Terras Raras do Maciço Granítico Serra do Mendes, Goiás.

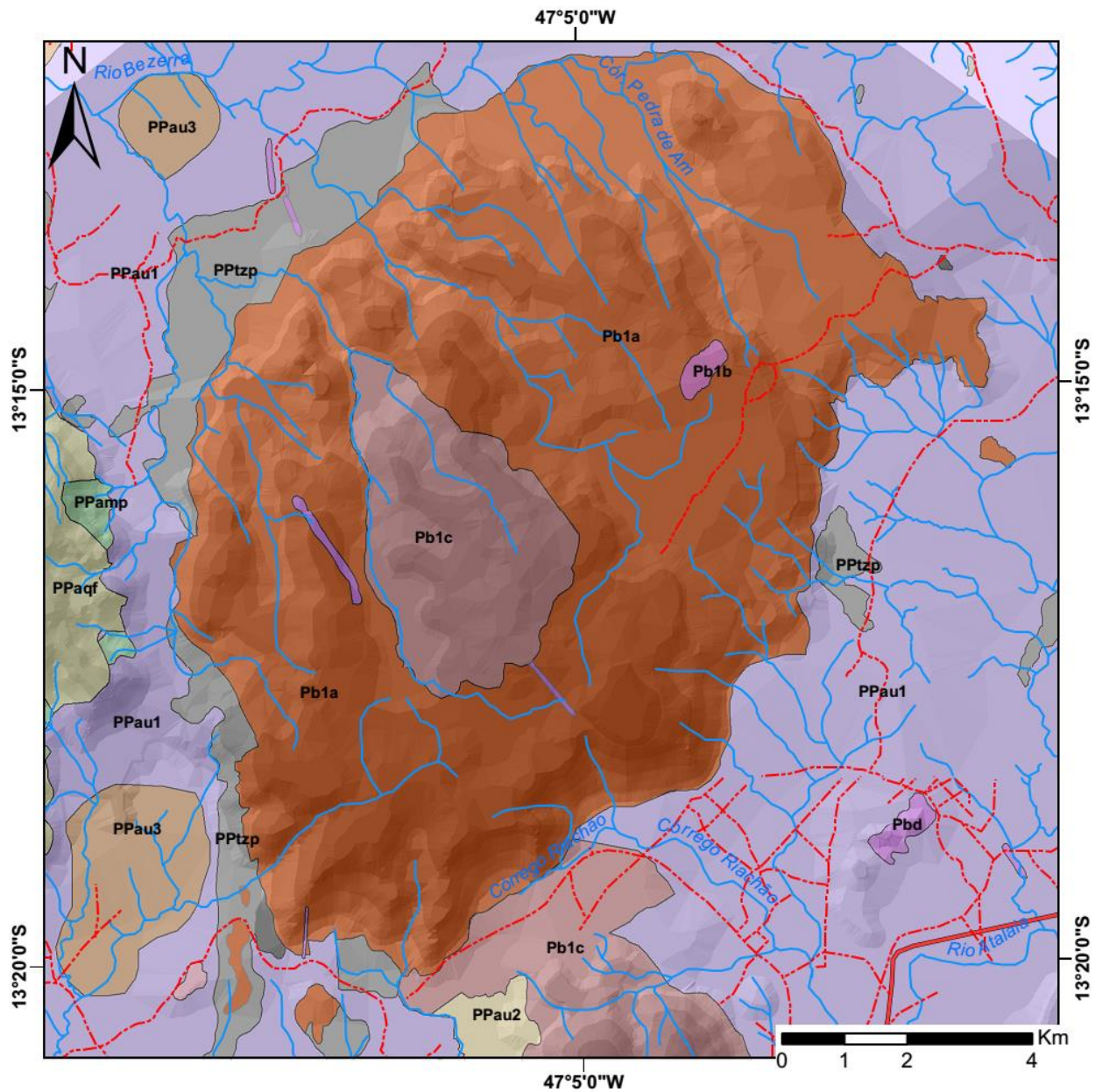


Figura 4. Mapa geológico do Maciço Serra do Mendes e adjacências. Adaptado de Miranda & Ribas (2006) e Castanheira & Andrade (2006).

6.1.1 Biotita monzogranito (Pb1a): A fácies biotita monzogranito Pb1a é a mais abundante no Granito Serra do Mendes (figura 5). É composta por rochas de coloração escura, fortemente foliadas, faneríticas médias a grossas, inequigranulares, localmente porfíricas constituídas de 26 a 28 % de quartzo, 23- 21% de microclínio, 18-21% de albita, 10-13% de biotita, 5-7% de muscovita e 5-7% de ilmenita, além de apatita, zircão, monazita, fluorita e allanita como acessórios. Os minerais com conteúdos consideráveis de ETR são monazita, torita, zircão, allanita e apatita. Destacam-se, em lâmina, os cristais subédricos de ilmenita com avançadas coroas de reação formadas por titanita, bem como a textura de intercrescimento gráfico. Estas rochas apresentam uma foliação milonítica que as distinguem das demais rochas do maciço.

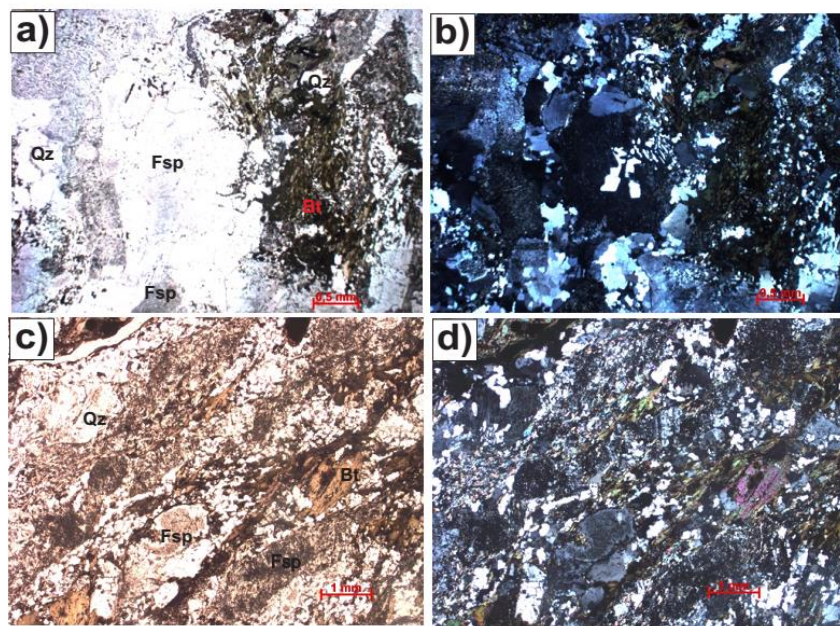


Figura 5. Fotomicrografias do biotita monzogranito. a(P//) e b(PX): amostra AZME-8B com textura granofíbrica preservada. c(P//) e d(PX): amostra AZME-01 com marcada foliação, onde se observa, quartzo e microclínio deformados. (Qz: quartzo; Fsp: microclínio; Bt: biotita)

6.1.2 Fluorita biotita sienogranito (Pb1b): A fácies fluorita biotita sienogranito foi individualizada como um pequeno corpo na porção centro-leste da Serra do Mendes. A textura fanerítica média a fina, a foliação incipiente e a presença de fluorita em amostras de mão, são critérios que a distingue das demais fácies da Suíte Pedra Branca. Sua composição mineralógica é 28-30% de quartzo, 23-28% de microclínio, 8-10% de albita, 9-12% de biotita, 12-14% de muscovita e 8-12% de fluorita como minerais essenciais e apatita, opacos e epidoto como acessórios. Suas características ígneas estão muito bem preservadas, sendo comum a textura granofíbrica (figura 6).

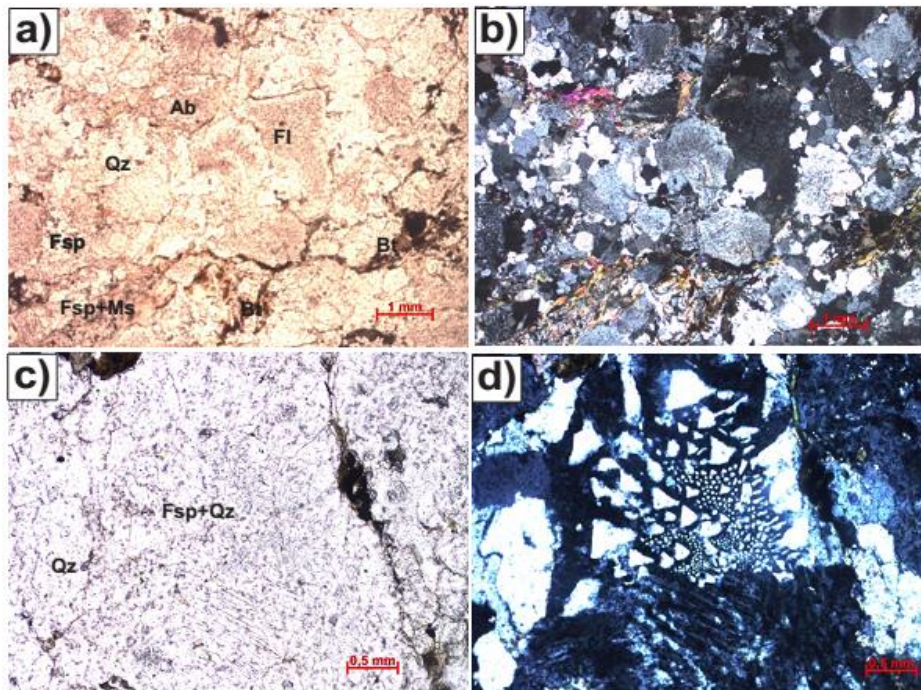


Figura 6. Fotomicrografias do fluorita biotita sienogranito (amostra TF171B), a(P//) e b(PX): textura e associação mineral típicas da rocha; c(P//) e d(PX): Textura granofírica preservada. (Qz: quartzo; Fsp: microclínio; Ab; albita; Fl: fluorita)

6.1.3 Leucomonzogranito (Pb1c): A fácies Pb1c é conhecida como o leucogranito Poção, por ter afloramentos na área da Fazenda Poção, e corresponde ao corpo mais evoluído que está localizado na parte central do Granito Serra do Mendes (figura 4). Ocorre também como diques a noroeste do maciço. É um muscovita leucomonzogranito, composto por 32-35% de quartzo, 24-26% de microclínio, 18-20% de albita, 12-15% de muscovita e 4-6% de fluorita, além de epidoto, rutilo e titanita como acessórios e secundários (figura 7). Minerais portadores de ETR como bastnaesita, fluocerita e oxifluoretos de ETR são representativos desta fácies.

Os diques de biotita granito porfírico afloram como matacões verticalizados *in situ*, com matriz escura, onde se destacam os fenocristais esbranquiçados de K-feldspato e quartzo azul. Têm composição monzogranítica e sua mineralogia essencial é 30% de quartzo, 25% de K-feldspato, 20% de plagioclásio, 15% de biotita, acompanhada de ilmenita, apatita, zircão, fluorita e titanita, como minerais acessórios, e calcita, muscovita, zoisita e epidoto como minerais secundários.

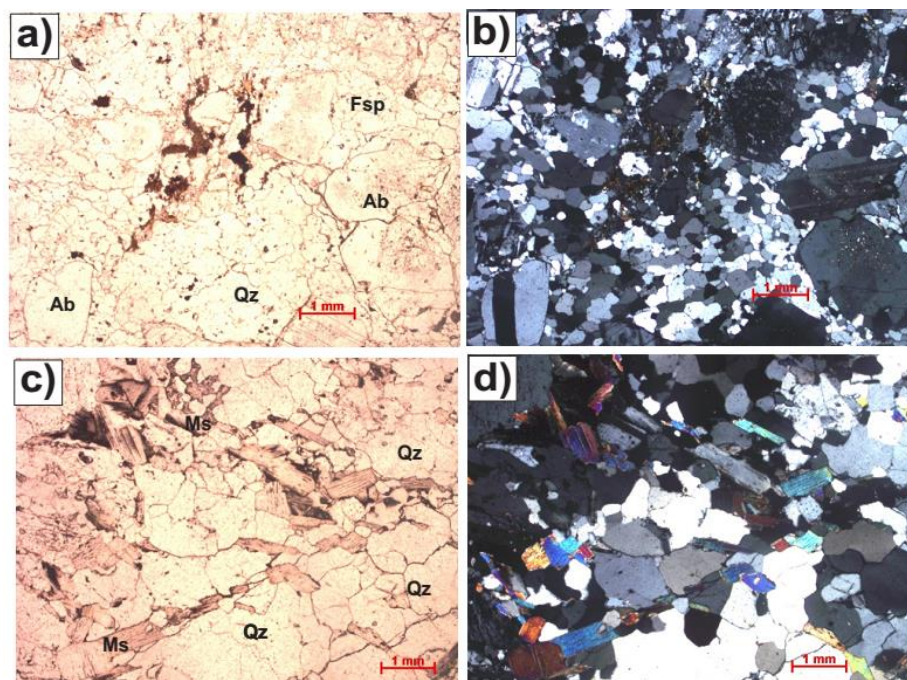


Figura 7. Características representativas do leucomonzogranito (fácies PB1c) no MGSM. a(P//) e b(PX): Amostra ME-10A com mineralogia típica. c(P//) e d(PX): Muscovita com orientação incipiente na amostra AZME-04D.

As composições modais para as diferentes fácies graníticas do MGSM foram plotadas no gráfico de Streckeisen (1974) para classificação de rochas ígneas plutônicas (figura 8), onde se evidenciam as composições monzograníticas para as fácies PB1a e PB1c e a composição sienogranítica para a fácies PB1b.

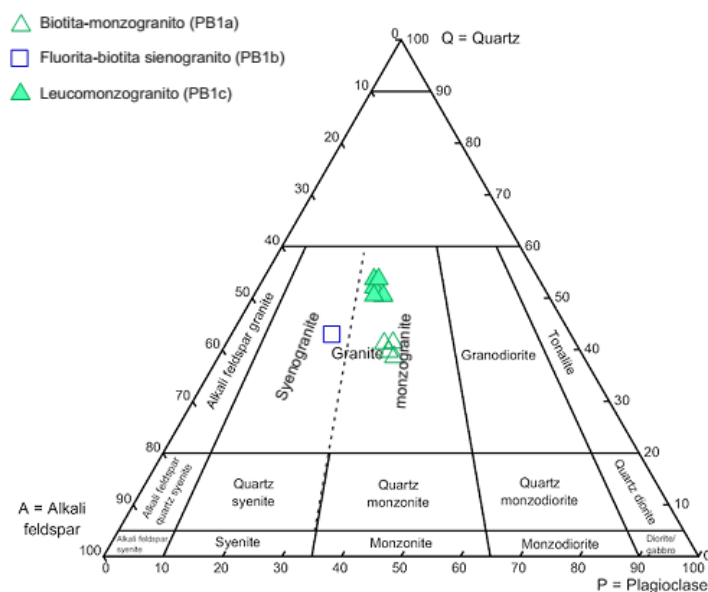


Figura 8. Gráfico de Streckeisen (1974) para classificação modal de rochas plutônicas, com amostras das diferentes fácies graníticas do MGSM.

7. FORMAS DE OCORRÊNCIA DE ETR NO MGSM

Os ETR apresentam-se no MGSM em diferentes formas de ocorrência. Na forma mais comum, minerais concentradores de ETR, principalmente allanita, monazita, torita e zircão, encontram-se hospedados no leucomonzogranito (fácies PB1c) não alterado, ocorrendo como minerais acessórios, mas em concentrações já consideradas anômalas como assinalado por Marini *et al.* (1992). Ainda na rocha não alterada, ocorrem outros minerais de TR secundários (bastnaesita, fluocerita, oxifluoretos de ETR), como resultado de alteração hidrotermal e interação do granito com fluidos ricos em F e CO₂. Outra forma de ocorrência observada foi em zonas onde o granito encontra-se saprolitizado, no qual monazita, torita e zircão se comportam como minerais resistatos permanecendo na rocha alterada entre minerais argilosos. A alteração contínua do granito por agentes intempéricos físicos e químicos resulta na total lixiviação dos minerais menos resistentes, com posterior concentração dos mais resistentes e densos na forma de depósitos de *placer*, o que constitui em mais uma forma de ocorrência observada. Finalmente, em estágios avançados da alteração do granito e concomitantes à pedogênese, observa-se a formação de camadas argilosas pertencentes a saprolitos que incorporam ETR. No artigo a ser submetido (item 9) descreve-se as características principais dos minerais portadores de ETR encontrados no maciço granítico Serra do Mendes, assim como as análises de rocha total de rochas e saprolitos das duas principais fácies graníticas estudadas.

8. REFERÊNCIAS

- Alvarenga, C.J.S.; Dardenne, M.A.; Botelho, N.F.; Machado, M.A.; Lima, O.N.B.; Almeida, T. 2007. Relatório final das folhas Monte Alegre de Goiás, Cavalcante e Nova Roma. Programa Geologia do Brasil (PGB/CGB). UnB/CPRM.
- Bao Z. & Zhao Z. 2008. Geochemistry of mineralization with exchangeable REY in the weathering crusts of granitic rocks in South China. *Ore Geology Reviews*, 33:519-535.
- Bastos Neto, A.C. e Botelho, N.F. 2013. Estudo integrado de geologia, mineralogia e caracterização tecnológica do minério no depósito associado ao granito Madeira e em planta piloto, com vistas à exploração de ETRP como coproduto do Sn-Nb-Ta na mina Pitinga (AM). Avaliação do potencial para ETRP de granitos análogos na Província Estanífera de Goiás. Chamada MCTI/CNPq/CT-Mineral Nº 76/2013: APOIO AO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO EM TERRAS RARAS. UFRGS/UnB, 45pp.
- Bau M., 1999. Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and the significance of the oxidation state of europium. *Chemical Geology* 93 (3): 219-230.

Caracterização Mineralógica, Geoquímica e Potencial Econômico de Ocorrências de Terras Raras do Maciço Granítico Serra do Mendes, Goiás.

- Botelho, N.F., Fuck, R.A., Dantas, E.L., Laux, J.H. & Junges, S.L. 2006. The Paleoproterozoic peraluminous Aurumina granite suite, Goiás and Tocantins, Brazil: Geological, whole rock geochemistry and U-Pb and Sm-Nd isotopic constraints. In The Paleoproterozoic Record of the São Francisco Craton (F.F. Alkmin & M. Noce, eds.). IGCP 509 annual meeting, Brazil. Field Guide & Abstracts, 91.
- Botelho, N.F. 2013. Potencial Econômico para Terras Raras em Granitos tipo-A da Província Estanífera de Goiás. XIII Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, SBG, Cuiabá, Palestras.
- Castanheira D. & Andrade T.V. 2006. Projeto Nova Roma-Porto Real. Área II. Trabalho Final de Graduação, Universidade de Brasília.
- Latrubesse, E. & Carvalho, T. 2006. Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. Goiânia: Secretaria de Indústria e Comércio. 127 p.
- Marini, O.J.; Botelho, N.F. 1986. A Província de Granitos Estaníferos de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 16:119 – 131.
- Marini, O.J.; Botelho, N.F. e Rossi, P.H. 1992 Elementos terras raras em granitoides da província estanífera de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 22: 61 – 72.
- Miranda F.S. Ribas, M.P.P 2006. Projeto Nova Roma-Porto Real. Área I. Trabalho Final de Graduação, Universidade de Brasília.
- Sanematsu K., Murakami H., Watanabe Y., Duangsurigna S., Vilayhack S. 2009. Enrichment of rare earth elements (REE) in granitic rocks and their weathered crusts in central and southern Laos. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 60:527-558.
- Sanematsu K., Kon Y., Imai A., Watanabe K., Watanabe Y. 2013. Geochemical and mineralogical characteristics of ion-adsorption type REE mineralization in Phuket, Thailand. *Miner Deposita*, 48:437-451.
- Santana, I.V. 2013. Caracterização mineralógica e geoquímica de ocorrência de terras raras no maciço granítico Serra Dourada, Goiás/Tocantins, Brasil. 82 folhas. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- Santana, I. V.; BOTELHO, N. F. e WALL, F. 2015. Occurrence and behaviour of monazite-(Ce) and xenotime-(Y) in detrital and saprolitic environments related to the Serra Dourada granite, Goiás/Tocantins State, Brazil: potential for REE deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 155, p. 1-13.
- Streckeisen, A. L., 1974. Classification and Nomenclature of Plutonic Rocks. Recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. *Geologische Rundschau. Internationale Zeitschrift für Geologie*. Stuttgart. Vol.63, p. 773-785.
- Teixeira, L.M & Botelho, N.F. 1999. Comportamento dos elementos terras raras pesadas em zircão, xenotima e torita de granitos e greisens da Subprovíncia Estanífera Paranã, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 29(4): 549-556.

Caracterização Mineralógica, Geoquímica e Potencial Econômico de Ocorrências de Terras Raras do Maciço Granítico Serra do Mendes, Goiás.

Teixeira, L.M. 2002. Caracterização de Minerais Portadores de Terras Raras e sua Aplicação à Petrologia e Geocronologia de Granitos das Subprovíncias Tocantins e Paranaíba – Goiás. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 356p.

PARTE 2

9. ARTIGO

(Artigo submetido ao *Journal of Geochemical Exploration*)

MINERALOGIC AND GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF RARE-EARTH OCCURRENCES IN THE SERRA DO MENDES MASSIF, GOIÁS, BRAZIL

ABSTRACT

The Serra do Mendes granite massif (SMGM) is located in the Goiás tin province (GTP), which is characterized by A-type granite bodies that bear tin and associated rare earth elements (REEs). The Serra do Mendes massif is the largest granitic body in the Paranã subprovince and has three main facies belonging to the Pedra Branca Granite Suite (PB). This suite has ages of 1.77 to 1.74 Ga, a subalkaline to alkaline tendency and high concentrations of Zr, Y and REE.

Samples of fresh rock, saprolite and alluvial sediments were collected from the most abundant facies, biotite monzogranite (PB1a) and leucomonzogranite (PB1c), with the objective of characterizing the REE-bearing minerals and their concentrations. The analytical techniques included petrography, scanning electron microscopy, mineral chemistry analysis with an electron probe micro-analyzer (EPMA) and total rock geochemistry.

The most evolved facies, PB1c contains the highest concentrations of REE-bearing minerals, the most noteworthy of which are fluocerite-Ce, REE oxyfluorides, bastnaesite, monazite, allanite, solid solutions of thoritezircon, fluorite and apatite.

REE contents in the most abundant facies, PB1a, range from 363.8-985.9 ppm, and its saprolite contains concentrations of 60 to 1283.9 ppm with LaN/YbN ratios between 4 and 17.7%. Facies PB1c contains REEs at concentrations between 460.9 and 958.6 ppm, and its saprolites contain concentrations of REEs of 495.7 and 902.1 ppm. The LaN/YbN ratios in the rocks and saprolites are between 2 and 12.3%. Along with the REE minerals, it is noteworthy the occurrence of zircon and thorite with up to 20% REE₂O₃ + Y₂O₃.

These values together with factors such as the climate and morphology of the study area make the Serra do Mendes granite massif an important area for prospecting and exploration for REE.

KEY WORDS: REE bearing minerals, Serra do Mendes Granite Massif, weathering

9.1 INTRODUCTION

Rare earth elements (REE) are important materials in high technology and are consequently strategic resource in the 21st century. With the global increase in demand for REEs, the study of and exploration for these resources have increased and attracted international interest. Although REE are relatively abundant in the earth's crust, deposits of economic interest are rarer, and scarce and are randomly distributed in a few countries, notably China, United States, Australia, Russia, Brazil, India, Malaysia, South Africa and Thailand. The largest percentages of economically important REE deposits are located in China.

In general, based on the embedding material, REE deposits can be classified into the following types (Kanazawa and Kamitani, 2006; Wang et al., 2015, Bgs, 2011): carbonatites, alkaline compounds, weathered soils and hydrothermalized skarns. REE deposits associated with the weathering of granitic rocks are not common. There are few granite bodies that contain significant concentrations of REE, although this type of rock is common in the Earth's crust. Factors such as the tropical climate play an important role in the development of REE deposits of supergenic type such the case of deposits associated with weathering profiles of China. The distribution of this type of deposit in addition to a few prospects in China, and southern Thailand is in the research and exploration stage (Wu et al., 1990; Bao and Zhao, 2008; Chi and Tian, 2009; Yang et al., 2013, Sanematsu et al., 2009, 2013, Ibrahim et al., 2015). In Brazil, Marini et al. (1992) drew attention to the importance of REE concentrations in granitic rocks with economic potential. This study gave rise to exploration targets in granites of the Goiás Tin Province and a first prospect for REE deposits of the ionic-adsorption type in clay, the Serra Verde project, is in the final phase of research in the Serra Dourada granite massif (Rocha et al., 2013; Santana et al., 2014).

The Serra do Mendes granite massif (SMGM) is petrogenetically and mineralogically similar and is located in the same geological context of the Serra Dourada granite- They are important for the REE exploration do to relative high concentrations in saprolites and weathering profiles.

9.2 GEOLOGIC CONTEXT

The SMGM is part of the Goiás Tin Province (GTP), which consists of four subprovinces where tin-bearing granite massifs with associated REEs are located (Marini and Botelho, 1986, Marini et al., 1992). The GTP consists of approximately 20 granitic bodies and pegmatite veins of Paleoproterozoic to Neoproterozoic age that intruded or were overlapped by metasedimentary rocks of the Serra da Mesa, Araújo, and Paranoá groups and Ticunzal Formation.

The two main subprovinces belonging to the GTP are located in the northern portion of the state of Goiás and in the southern tip of the state of Tocantins. Figure 9a shows the location of the Tocantins Subprovince (TSP) in the west, where the main targets of exploration for rare earth deposits are hosted in the Serra Dourada massif, and the Paranã Subprovince (PSP) in the east, where the SMGM is located.

The Paranã subprovince consists of the Pedra Branca, Mocambo, Mangabeira, Mendes and Sucurí granites. All these granites are A-type and are part of the granitic unit called the Pedra Branca (PB) Suite, which is composed of PB1 and PB2 granites with ages between 1.77 and 1.74 Ga. These A-type granites intruded the Aurumina Suite and/or the Ticunzal Formation, located in the external portion of the Brasília Belt (Alvarenga et al., 2007). The exposures of these granite bodies generally form domed topography that stands out from the subdued relief underlain by the surrounding rocks (Marini and Botelho, 1986 and Marini et al., 1992).

9.2.1 Serra do Mendes Granite Massif

The SMGM is exposed in an elliptical area with its 15 km long major axis trending NE, and its minor axis being approximately 10 km long, which makes the SMGM the largest granitic body in the PSP. It is little known because it is not an important source of tin. It consists mainly of a melanocratic biotite monzogranite with deformation mainly on the borders. In less-deformed regions, it is possible to observe graphic or micrographic/granophyric textures and euhedral to subhedral quartz crystals similar to those in rapakivi granites.

Biotite monzogranite (PB1a): Facies PB1a is the most abundant facies in the SMGM (Figure 9b). It consists of dark-colored, inequigranular, moderately foliated rocks with medium to thick phaneritic textures and local porphyritic texture and consists of 26% quartz, 21% microcline, 18% plagioclase, 14% biotite, 7% muscovite and 5% ilmenite. The most common accessory minerals are apatite, zircon, monazite, fluorite and allanite. In thin section, the subhedral ilmenite crystals with advanced reaction rims formed by titanite and graphic intergrowth textures stand out.

Syenogranite with fluorite and biotite (PB1b): Facies PB1b was mapped as a small body in the east-central portion of the SMGM. It displays medium to fine phaneritic texture, incipient foliation and the presence of fluorite in hand samples, which distinguishes it from the other facies of the Pedra Branca Suite. It contains 30% quartz, 20% orthoclase, 10% plagioclase, 11% biotite, 14% muscovite and 10% fluorite as essential minerals and apatite, ilmenite and epidote as accessories. Its igneous characteristics are very well preserved, with granophyric texture being common.

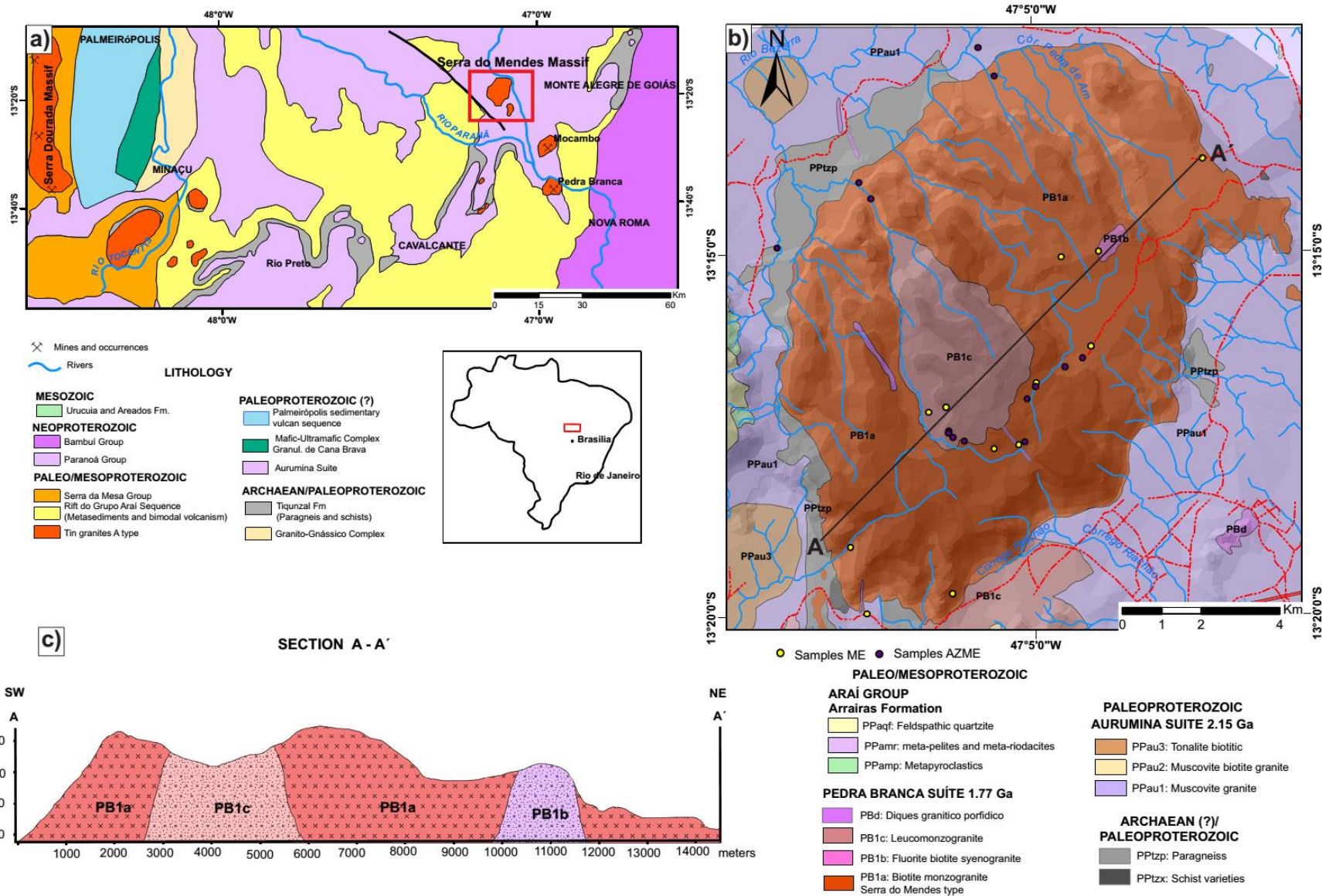


Figure 9. a) Schematic geological map of the northern part of the Goiás Tin Province, with the main granitic massifs with potential for REE and location of the SMGM (modified from Botelho and Moura (1998); b) local geological map and sampling locations in the SMGM (adapted from Alvarenga et al. 2007); c) schematic section A-A'.

Leucomonzogranite (PB1c): Facies PB1c is located in the central part of the SMGM (Figure 9b). It is also present as dikes located NE of the massif. The rocks are muscovitic leucomonzogranite composed of 35% quartz, 25% K-feldspar, 20% plagioclase, 12% muscovite and 4% fluorite. The accessory minerals include zircon, allanite, epidote, rutile and titanite.

Dikes of biotitic porphyritic granite with a dark matrix are present; K-feldspar and blue quartz crystals stand out. This rock has a monzogranitic composition, and its essential minerals are 30% quartz, 25% K-feldspar, 20% plagioclase and 15% biotite. The secondary minerals are ilmenite, apatite, zircon, fluorite, titanite, calcite, muscovite and epidote. It displays a distinct mylonitic foliation.

9.3 MATERIALS AND METHODS

Field trips were made to the massif for geologic reconnaissance, sampling rocks, saprolite and alluvial heavy-mineral sands deposited by streams located within the massif. To pinpoint the best spots for sampling we counted on the aid of a gamaspectrometer, since the assemblage of heavy minerals include Th-U-bearing specimens such as monazite, and thorite. Also, the sampling sites were chosen based on the local geology, the slope of terrain and the magnitude of the streams.

9.3.1 Electron Microprobe Analyses

The compositions of the REE-bearing minerals were determined using a JEOL-JXA-8230M electron microprobe analyser (EPMA) in the Institute of Geosciences of the University of Brasilia, equipped with five vertical wavelength-dispersive spectrometers (WDS), one energy-dispersive spectrometer (EDS) and ZAF matrix correction. Both REE-minerals bearing were analyzed following the protocol of Scherrer *et al.* (2000). The advantage of this method is that no pre-measured correction factors are needed, the spectral lines and background positions are already set in order to avoid it. Analytical conditions were: take-off angle of 40°, 25kV acceleration voltage; 50nA electron current and 3µm the diameter of the beam. Counting times were 20s for the REE's and 10s for the other elements. K α -lines were used for P, Al, Si, Ca and Fe. L α -lines were considered for Y, La, Ce, Er, Yb. L β -lines were used for Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho. For U, Th, and Pb we used M β , M α and M β respectively. Standards were the same as those employed for monazite analysis. The standards for the REE's were synthetic glasses; for Y a synthetic oxide of Fe and Y; natural oxides for the elements U and Th and the mineral galena for Pb. The elements Ca and Si were standardized with wollastonite; P with apatite. For supplementary detailed information on the background positions and integration times refer to Scherrer *et al.* (2000).

9.3.2 Scanning electron microscopy

In order to identify accessory minerals, including REE bearing minerals, we employed a scanning electron microscopy (SEM) with energy dispersive X-ray spectrometry (EDS) after observation by plane-polarized light microscopy. Imaging and semi-quantitative analyses of REE-bearing minerals were performed using a FEI QUANTA 450- SEM-EDS systems at the Geoscience Institute Laboratory, University of Brasília. Imaging was carried out on carbon coated polished thin sections at an accelerating voltage of 15 kV and beam current of 33 nA.

9.3.3 Whole-rock chemical analyses

Eighteen representative samples of rock, saprolite and stream sediments within the two main granitic facies in the Serra do Mendes massif were analyzed. Analyses of major, minor and trace elements were carried out by ACME Analytical Laboratories Ltd (Vancouver-Canada). The abundances of major and minor elements were obtained by ICP-AEs and ICP-MS after fusion of the sample with lithium metaborate. The sample powder of 0,200 g was mixed with lithium metaborate flux of 0,90 g and fused in a furnace at 1000°C. The sample melt is cooled and dissolved in 100 ml of 4% HNO₃ and/or 2% HCl solution. This solution is analyzed by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).

9.4 RESULTS

9.4.1 Mineralogic characterization

The REE-bearing minerals in the SMGM, listed in order of REE abundance, are fluorocrite-Ce, bastnaesite, REE oxyfluorides, monazite, allanite, solid solutions of thorite, zircon, and apatite. Table 1 presents the relative abundances of these minerals based on the granitic carrier facies and a summary of the amount (wt.%) of REE, obtained using the EPMA.

Table 1. Relative amounts of REE minerals in the SMGM granites and in the alluvial sediments (- no observed, +low ++ medium, +++ high, SS: solid solution) and the respective REE contents (wt. %) obtained by EPMA.

REE-bearing minerals	Abundance			% REE (EPMA)		
	biotite monzogranite (PB1a)	leucomonzogranite (PB1c)	stream sediments	Min	Max	Average
Fluocerite-Ce	-	++	-	74,6	80,4	77,3
Bastnasite	+	+++	+	55,2	78,2	66,8
REE-oxifluorides	+	++	-	41,8	76,2	63,9
Monazite	+++	++	++	47,3	62,1	57,2
Allanite	++	++	-	8,1	29,3	19,1
SS Th-Xe	+++	+++	++	1,2	53,8	10,0
SS Th-Zr	+++	+++	++	2,1	18,1	8,1
Zircon	+++	++	+++	0,9	14,6	4,0
Apatite	++	-	++	0,8	1,4	1,1

The most important characteristics of each mineral, the mineral chemistry and the REE concentrations are described below.

Fluocerite-(Ce) ((Ce, La) F₃)

The fluocerite crystals in the SMGM tend to be compositionally homogeneous, range in diameter from 10 to 40 µm and are present mainly in the PB1c facies. This mineral varies slightly in its content of LREE₂O₃ (between 73.4 and 79.7%). The concentrations of HREE₂O₃+Y₂O₃ are low or zero, i.e., below 2%. The concentrations of Th are elevated in the fluocerite, where they reach up to 4.3%, which makes Th the main impurity in the mineral and lends it metamictic characteristics.

Low F concentrations are also evident (11.9-16.7 wt.%). Figure 10a and 10b shows the mineral relations between the fluocerite, fluorite and zircon and the chemical relationships between the LREE₂O₃ and HREE₂O₃+Y₂O₃ in the figure 12a. The REE pattern, normalized to the chondrite (Figure 12b), shows descending and approximately coincident curves of La to Nd and a small positive anomaly of Eu. This pattern is characterized by an important fractionation between the LREE and the HREE.

Bastnaesite ((Ce, La, Y) CeO₃F)

The bastnaesite crystals observed in the SMGM range in diameter from 20 to 200 µm and are present as dendritic aggregates associated mainly with allanite masses and in contact with fluorite and mica (Figures 10c and 10d). They were observed in the most evolved

leucomonzogranite facies (PB1c). Bastnaesite is a relatively rare mineral in the massif. According to Teixeira and Botelho (2006), who studied this mineral in the Serra Dourada massif and in the Paranã subprovince (PSP), bastnaesite was found only in hydrothermally altered rocks such as greisenized granites, greisens and albitites, or as a product of destabilization of allanite, as is the case of the bastnaesites analyzed in the SMGM, suggesting that it is a secondary mineral originating from the alteration of allanite due to hydrothermalism. In specific cases, bastnaesite occurs as well formed crystals, presenting contacts defined by fluorite.

According to the results from the EPMA, two types of bastnaesite were characterized, both in the same PB1c granite facies: one type rich in Ce and another type rich in Y. The second type contains concentrations of Y_2O_3 of 14-19%, which classifies it as bastnaesite-(Y). The concentrations of $REE_2O_3+Y_2O_3$ in the bastnaesites-(Ce) range from 58.6-84.6%, and those in the bastnaesite-(Y) are slightly lower, 56.8-63.7%. The amounts of $HREE_2O_3+Y_2O_3$ in the bastnaesite-(Y) vary from 23.5 to 35.8% and are below 2% in the bastnaesite-(Ce) (figure 12c). This difference in the HREE concentration is observed in the figure 12d, where the bastnaesite-(Y) presents a nearly flat REE pattern.

REE Oxyfluorides

REE oxyfluorides were identified in the two main granitic facies of the SMGM, with greater abundance in facies PB1c. They are present as anhedral crystals with diameters between 50 and 150 μm , irregular edges, and associations mainly with fluorite, quartz and zircon. REE oxyfluorides were observed at the rims of zircon grains, probably formed by the alteration of REE minerals, such as monazite, included or in contact with the zircon crystal (figure 10e). They display decomposition textures such as those observed by Johan and Johan (1994) and Teixeira (2002), in which two phases of La and Ce and an intermediate phase between the two are observed, as verified via EDS (figure 10f).

The studied oxyfluorides contain 51-89% $REE_2O_3+Y_2O_3$, particularly $LREE_2O_3$ (47-87%). The concentrations of F vary from 5 to 9%. Some grains are enriched in $HREE_2O_3+Y_2O_3$ (2-3%) and present an ascending REE pattern for the heavier REE (figures 12 e and f).

Caracterização Mineralógica, Geoquímica e Potencial Econômico de Ocorrências de Terras Raras do Maciço Granítico Serra do Mendes, Goiás.

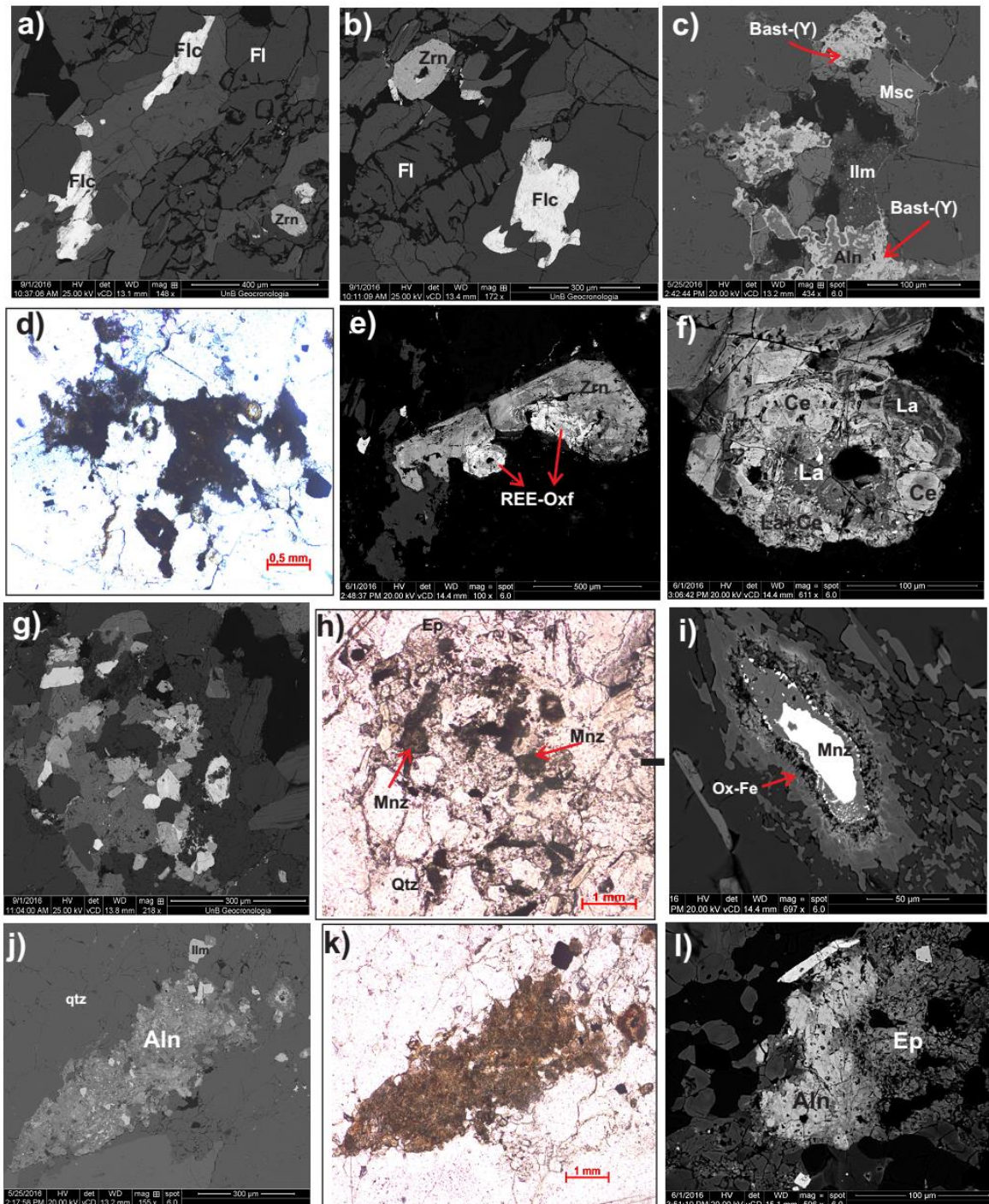


Figure 10. Optical and backscattered electron images (BSE) of REE bearing minerals from the SMGM. a) and b): fluocerite (Flc) associated with fluorite (Fl) and zircon (Zrn) in the leucomonzogranite (sample AZME-4B); c) and d) Bastnaesites associated with allanite (Aln), muscovite (Musc) and ilmenite (Ilm) in the leucomonzogranite (sample ME10A); e) and f) oxyfluorides (REE-Oxf) associated with altered zircon in the leucomonzogranite. Light areas: Ce-rich; dark areas: La-rich (sample 05-I-164); g) and h): Monazite grains (Mnz) in the biotite granite; i): BSE image of a monazite grain with reaction rim of Fe-oxide (Ox-Fe); j), k) and l): allanite associated with epidote (ep) and ilmenite (ilm).

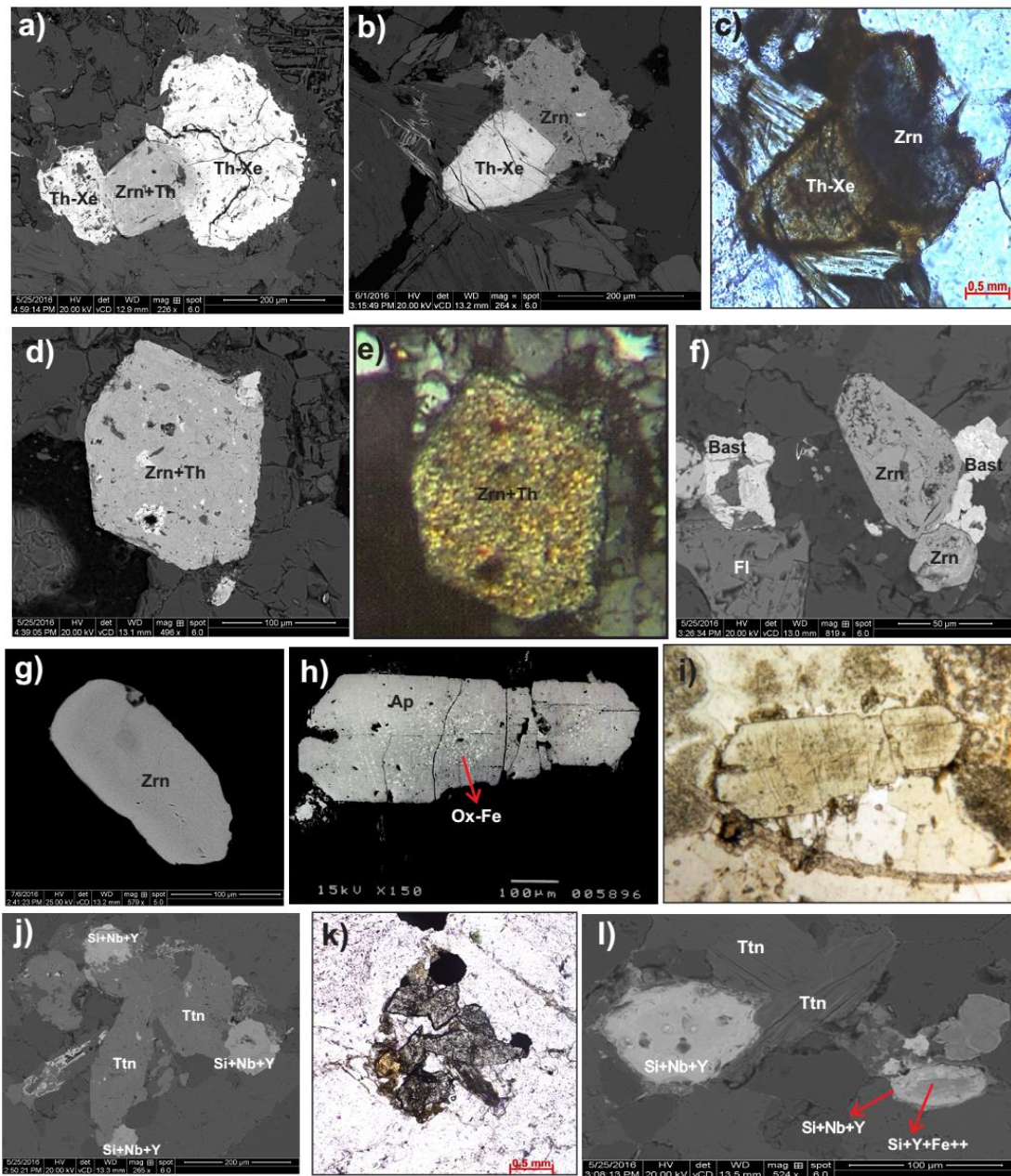


Figure 11. Optical and backscattered electron images (BSE) of REE bearing minerals in the SMGM, a), b) and c): thorite – zircon – xenotime association in the biotite granite (sample AZME-7D) and in the leucomonzogranite; d), e), f) REE-bearing zircon associated with thorite (Th), bastnaesite (bast) and fluorite (Fl) in the leucomonzogranite (samples AZME 4A and ME-8C); g) zircon of the biotite granite (sample AZME-12B); h) and i) apatite grain in the biotite granite with Fe-oxide inclusions (white dots in h)); j), k) and l) Unidentified Nb- Si-Y- REE mineral in association with titanite (Ttn) agglomerates.

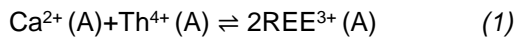
Monazite-(Ce) ((Ce, La, Nd, Th)PO₄)

Monazite is a common mineral in both granitic facies of the SMGM and is present mainly as isolated elongated grains ranging from 30 to 100 µm in diameter. The grains commonly display reaction rims of ilmenite and epidote with, in some cases, inclusions of Fe oxides. Their reddish

coloration is characteristic. The grains are spatially associated with biotite but seldom with quartz and feldspar (Figures 10g, 10h and 10i).

According to the EPMA results, the REE₂O₃+Y₂O₃ content is between 54.2 and 71.1%. The, LREEs are typically abundant, at 52.4-69.8% (figures 12g and 12h), the La₂O₃ content varies from 9.2 to 17.1%, and the Ce₂O₃ content varies from 29.2 to 38.1%. There are also high concentrations of ThO₂ ranging from 2.0 to 10.1% and CaO and F concentrations that can reach 1.6%.

According to Ni et al. (1995), monazite has the general formula ABO₄, where A = REE³⁺, Y³⁺, Th⁴⁺, U⁴⁺, Ca²⁺, etc., and the tetrahedral site B is occupied by P⁵⁺ and Si⁴⁺. Substitutions (1), (2), (3) and (4) are the main substitutions observed in monazite, and the corresponding minerals are cheralite, huttonite, coffinite and xenotime, respectively.



According to the diagram proposed by Linthout (2007), in which monazite, huttonite and cheralite are end members (Figure 12i), the studied mineral plots in the monazite field but can contain up to 20% huttonite (ThSiO₄) and 5% cheralite CaTh(PO₄)₂. The main substitution reactions acting on the SMGM monazite are represented by equations (1) and (2).

Allanite-(Ce) ((Ca, Ce, Y, La)₂(Al, Fe⁺³)₃(SiO₄)₃(OH))

The SMGM allanite displays xenomorphic texture and is present as aggregates with epidote in all granite facies. An allanite+epidote+bastnaesite association is also common. It contains REE₂O₃+Y₂O₃ at concentrations (wt. %) of 9.4-32.6%; the LREE₂O₃ concentrations are between 9.0 and 31.5% (Ce₂O₃ at 5.1 to 20.1%), and the HREE₂O₃+Y₂O₃ content can reach up to 4.6% and the concentrations of SiO₂ (wt.%) 25,6 to 33.2 (figures 13a and 13b). Its TiO₂ content can reach 2.4%. The REE values of allanites normalized to the chondrite, present a descending pattern (figure 13c).

Figures 10j, 10k, and 10l show BSE and optical microscopy images of the allanites and their relationship with epidote; an imbalance is evident between the phases. Brighter gray colors represent sites where allanite is concentrated and the REE content is significant, and dark areas represent destabilization to epidote with no REE.

Caracterização Mineralógica, Geoquímica e Potencial Econômico de Ocorrências de Terras Raras do Maciço Granítico Serra do Mendes, Goiás.

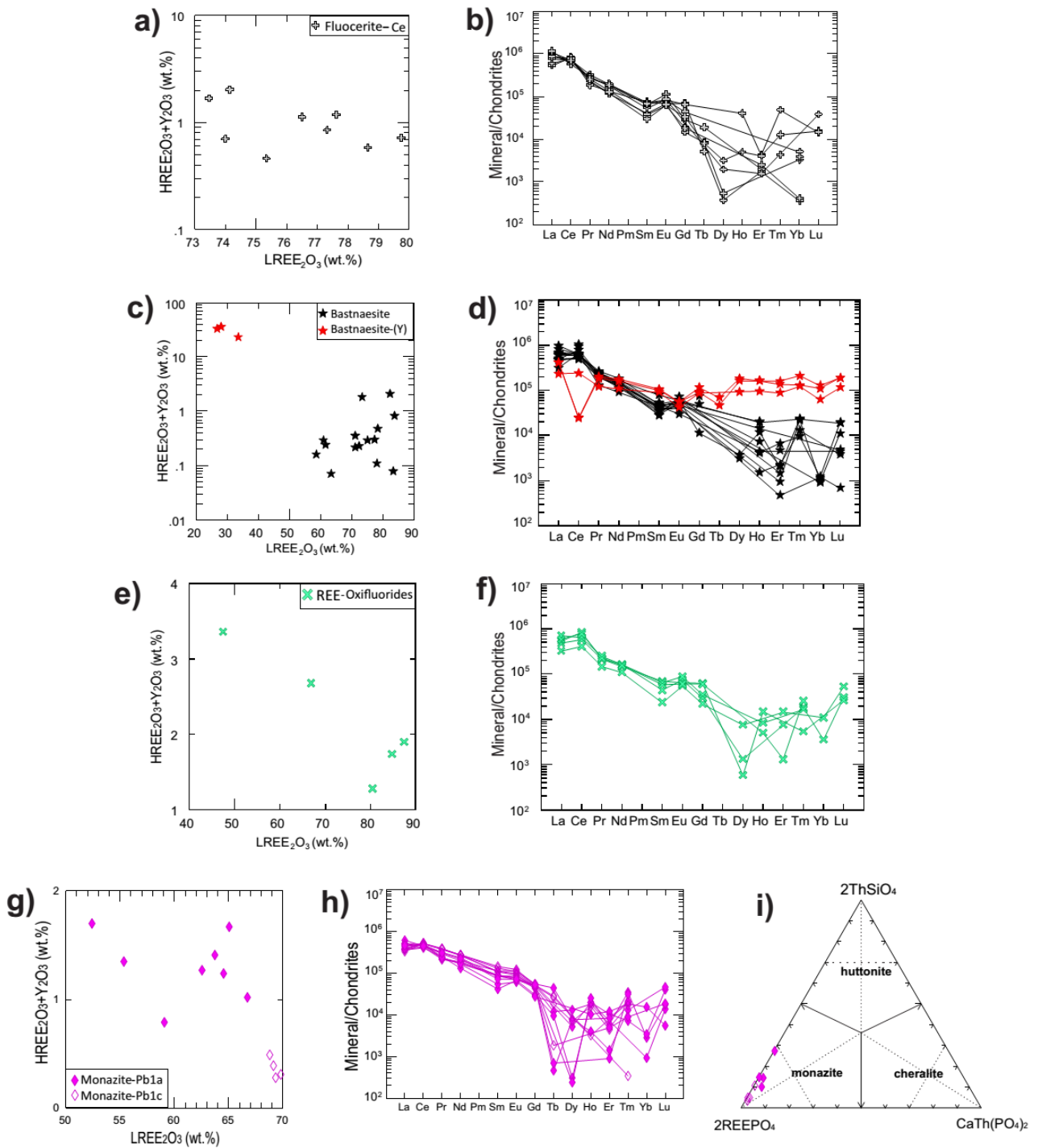


Figure 12. a) to h): Mineral chemistry plots and respective chondrite normalized REE patterns with normalization values from Sun & McDonough (1989) for REE-bearing minerals in the SMGM; i) Diagram of Linthout, (2007) showing the compositional variation of the SMGM monazites in the system 2REEPO₄ - CaTh(PO₄)₂ - 2ThSiO₄.

Caracterização Mineralógica, Geoquímica e Potencial Econômico de Ocorrências de Terras Raras do Maciço Granítico Serra do Mendes, Goiás.

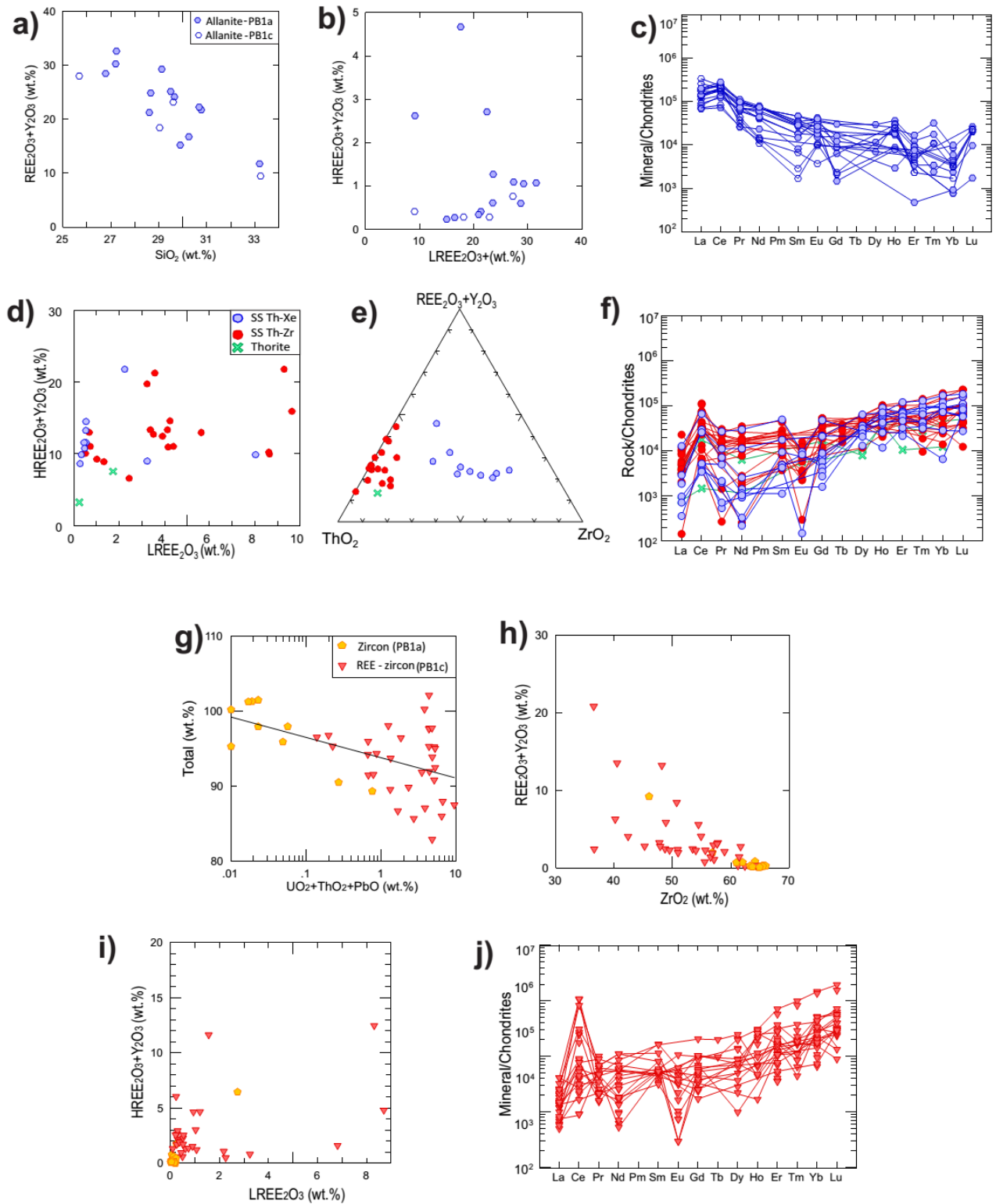


Figure 13. Mineral chemistry plots and respective chondrite normalized REE patterns with normalization values from Sun & McDonough (1989) for REE-bearing minerals in the SMGM. a) to c): allanite; d) to f): thorite (Th) – xenotime (REE + Y) – zircon (Zr) solid solutions; g) to i): zircon; i) j) REE patterns for the PB1c zircons.

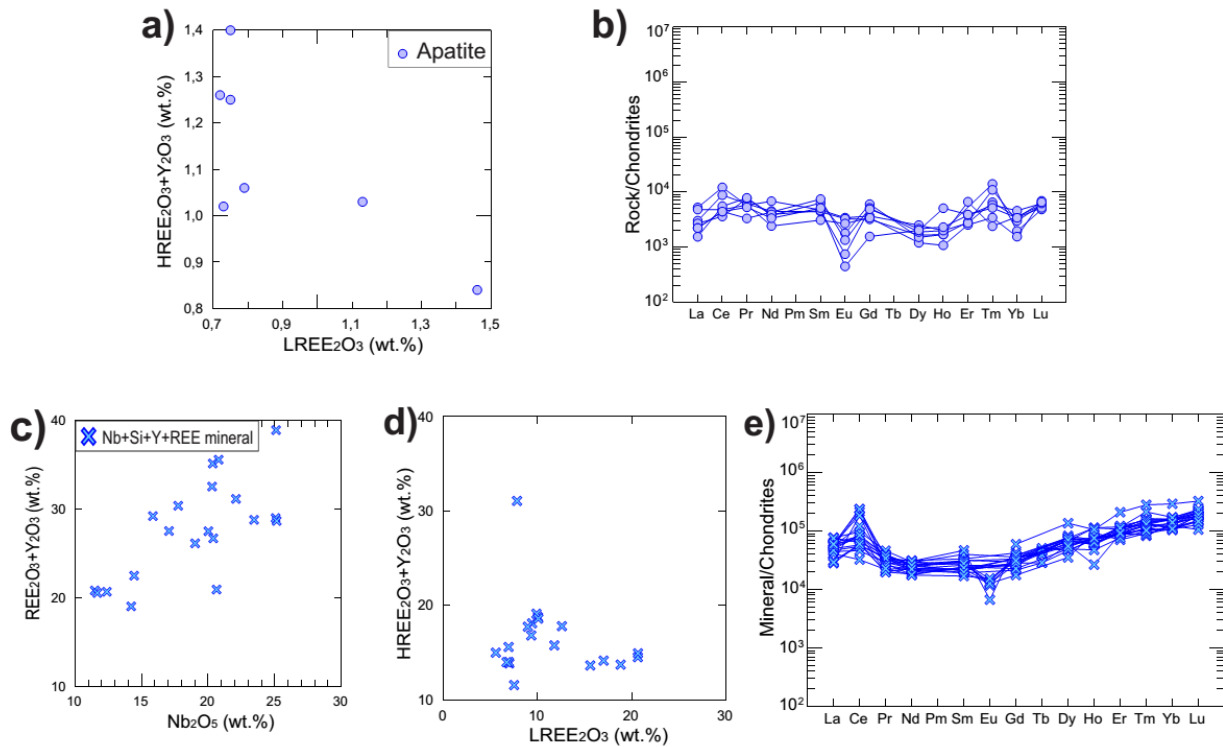


Figure 14. Mineral chemistry plots and respective chondrite normalized REE patterns with normalization values from Sun & McDonough (1989) for REE-bearing minerals in the SMGM. a) and b): apatite; c) to e): unidentified Nb-Si-Y-REE rich mineral.

Solid Solutions of Thorite

The thorite grains identified in the SMGM are spatially associated with zircon. Their diameters range from 10 to 150 μm , and they were observed in the two granite facies (Figures 11a, 11b and 11c.). According to the EPMA analyses, the thorites are present mainly in the form of solid solutions (SS). The most abundant is a thorite-xenotime SS followed by a thorite-zircon SS.

Compositionally, the thorite-xenotime SS contains $\text{REE}_2\text{O}_3+\text{Y}_2\text{O}_3$ at concentrations ranging from 9.0 to 31.1% (LREE_2O_3 at <9.6% and $\text{HREE}_2\text{O}_3+\text{Y}_2\text{O}_3$ at 3-23%). It contains significant concentrations of Y_2O_3 and P_2O_5 (4.7-12.6% and up to 8.8%, respectively), which means that it is classified as a thorite-xenotime SS. The thorite-xenotime SS contains 27.9 to 54.9% ThO_2 , which corresponds to 39.9 to 72 mol% of ThSiO_4 .

The thorite-zircon SS is characterized by ZrO_2 concentrations ranging from 2.5 to 29.5%, Y_2O_3 at concentrations of 6.1 to 12.3% and $\text{REE}_2\text{O}_3+\text{Y}_2\text{O}_3$ at concentrations between 8.9 and 24.0% (LREE_2O_3 at <4.3% and $\text{HREE}_2\text{O}_3+\text{Y}_2\text{O}_3$ at 8.6-21.7%).

Figure 13d shows graphs of the SS mineral chemistry of the Serra do Mendes thorites, $LREE_2O_3$ vs $HREE_2O_3 + Y_2O_3$; Figure 13e shows the two predominant trends of the Th-Xe and Th-Zr SSs and the similar $REE_2O_3 + Y_2O_3$ concentrations in the 2 solid solutions. Figure 13f) shows a diagram of the SSs analyzed in relation to the chondrite of Sun and McDonough (1989).

Zircon- $ZrSiO_4$

The zircons in the SMGM differ morphologically and compositionally between the two main granite facies. In the facies PB1a (biotite monzogranite), the zircon grains are subrounded, with lengths ranging from 100 to 200 μm and width-length ratios of 1:1 and 1:2. They are optically and compositionally homogeneous. The zircons from PB1c range from pink to brown in color and 50-150 μm in diameter and have 1:3 width-length ratios; they are translucent to opaque indicating some degree of metamictization and are enriched in REE (Figures 11d, 11e and 11f).

The EPMA analyses of the zircons with homogeneous composition show that the amounts of ZrO_2 are between 50.8 and 60.9%, the SiO_2 content is between 26.5 and 33.3%, and the HfO_2 concentrations are between 1.10 and 3.2%. The concentration of $REE_2O_3 + Y_2O_3$ can reach 2.3% ($HREE_2O_3 + Y_2O_3$ at <1.9%). Most of these analyses correspond to facies PB1a and detrital zircons. In the EPMA results, some of the totals are less than 100%, which is attributed to water within the zircon at concentrations as high as 10.5% due to the metamictization (Figure 13g) and hydrothermal alterations of the mineral.

In the zircons of facies PB1c, the SiO_2 content varies from 19.6 to 32.5%, that of ZrO_2 is between 36.4 and 61.6%, that of ThO_2 is 0.3-9.0% and that of P_2O_5 is <4.1%. The $REE_2O_3 + Y_2O_3$ concentration is between 1.9 and 20.7%, with $HREE_2O_3 + Y_2O_3$ concentrations between 0.55 and 12.4% and $LREE_2O_3$ concentrations between 0.2 and 8.7% (Ce_2O_3 can reach 7.8%). (Fig. 13h and 13i). In the diagram normalized to chondrite (figure 13j), a positive trend for HREE is observed in zircons of the facies PB1c.

Apatite- $Ca_5(PO_4)_3F$

Apatite is the main accessory mineral in the biotite monzogranite and occurs as colorless, subrounded grains of various sizes between 100 and 700 μm . Small crystals are present as inclusions within biotite, thereby forming pleochroic halos. According to the BSE images, the apatite crystals are chemically homogeneous and do not present zoning or evidence of alteration. Some apatite crystals contain small inclusions of Fe oxides (figures 11h and 11i).

The SMGM apatite is of the fluorapatite variety and contains P_2O_5 and CaO at concentrations between 39.9 and 41.2% and 48.0 and 52.8%, respectively and the F concentrations is between 3.4 and 4.5 (wt.%). It also contains SiO_2 at <1.2% and Y_2O_3 at <0.9%. The $REE_2O_3+Y_2O_3$ concentrations are between 1.1 and 3.3%, the Ce_2O_3 content can reach 0.8%, and the $HREE_2O_3+Y_2O_3$ content is less than 1.7% (figure 14a). The studied apatites has flat REE patterns (figure 14b).

Unidentified Nb-Si-REE Mineral

In sample ME-10A, under isotropic polarization, reddish grains with a rounded habit and diameters ranging from 20 to 50 μm were observed. They are spatially associated with fluorite, muscovite, plagioclase and aggregates of titanite. The mineral characteristics under optical microscopy are similar to those of monazite, but the EPMA analysis indicates that it is compositionally different (Figure 11j, 11k and 11l).

According to the EPMA analyses, this mineral is an Nb+Y silicate with significant Fe and REE concentrations and slight enrichment in $HREE_2O_3+Y_2O_3$. The content of SiO_2 is between 9.7 and 19.1%, that of Nb_2O_5 is between 11.4 and 25.1%, that of Y_2O_3 is between 5.4 and 13.5%, the FeO content is in a wider range between 2.6 and 17.9%, and the TiO2 content is <6.1%. The $REE_2O_3+Y_2O_3$ concentration is between 19.7 and 38.9 ($HREE_2O_3+Y_2O_3$ at 11.5-31.0% and $LREE_2O_3$ at 5.5-20.6%). The mineral also contains UO_3 at concentrations as high as 5.28%. These concentration totals are less than 100%, specifically, between 63.3 and 89.9%.

According to Figure 14c, the greater Nb_2O_5 concentrations are directly related to the greater amount of $REE_2O_3+Y_2O_3$. Figure 14d shows that the $LREE_2O_3$ and $HREE_2O_3+Y_2O_3$ concentrations are similar and generally do not exceed 20%. Figure 14e), shows the mineral normalized to chondrite, with a homogeneous tendency for both LREEs and HREEs, with a positive Ce anomaly. The plot shows slightly greater concentrations of HREEs.

9.4.2 Geochemistry of REE in granites, saprolites and alluvial sediments

Whole-rock chemical compositions of the SMGM samples are listed in table 2. The REE contents of the biotite monzogranite (PB1a) range from 363.8 to 985.9 ppm (LREEs at 327.3-891.7 ppm and HREEs at 35-112.5 ppm). La, Ce and Nd are the most abundant, with concentrations of up to 206.0, 440.4 and 187.6 ppm, respectively. The HREEs Gd, Dy, Er and Yb are present at concentrations of up to 34.5, 29.5, 17.7 and 14.8 ppm, respectively. The LaN/YbN ratio is between 7.2 and 12.5.

The saprolites of the PB1a granite facies contain REEs at concentrations between 60 and 1283.9 ppm (LREEs at 51.6-1232.7 ppm and HREEs at 8.4 and 73.7 ppm). La (160.2 ppm), Ce (23.8-889.2 ppm) and Nd (12.0-152.0 ppm) are the most abundant LREEs, and Gd (2.10-23.4 ppm), Dy (2.10-19.4 ppm), Er (6.5-12.9 ppm) and Yb (1.67-11.2 ppm) are the most abundant HREEs. The LaN/YbN ratio is between 4.0 and 17.7.

The leucomonzogranite PB1c contains REEs at concentrations between 460.9 and 958.6 ppm (LREEs at 339.2 and 761.4 ppm and HREEs at 121.6 and 197.2 ppm). La (92.8-200.7 ppm), Ce (151.0-334.2 ppm) and Nd (63.6-147.4 ppm) are the most abundant LREEs, and Gd (21.2-40.3 ppm), Dy (30.5-51.0 ppm), Er (23.9-35.2 ppm) and Yb (30.2-39.7 ppm) are the most abundant HREEs. The LaN/YbN ratio is between 2.0 and 3.4, indicating a relatively high enrichment of the HREE in relation to the HREE.

The saprolites of facies PB1c contain REEs at concentrations between 495.7 and 902.1 ppm (LREEs at 464.0 and 833.5 ppm and HREEs at 31.7 and 120.8 ppm). La (80.8-273.7 ppm), Ce (284.9-403.7 ppm) and Nd (67.1-166.3 ppm) are the most abundant LREEs, and Gd (10.1-18.5 ppm), Dy (8.2-27.2 ppm), Er (4.6-23.7 ppm) and Yb (4.4-31.5 ppm) are the most abundant HREEs. The LaN/YbN ratio is between 2.7 and 12.3, indicating a relatively high enrichment of the HREE in relation to the HREE.

In the alluvial sediments, REEs are present at concentrations between 94.7 and 481.6 ppm, with LREE concentrations between 83.9 and 419.1 ppm and HREE concentrations between 10.8 and 62.4 ppm. La (19.3-72.3 ppm), Ce (39.8 and 269.5 ppm) and Nd (16.9-51.1 ppm) are the most abundant LREEs, and Gd (2.4-10.4 ppm), Dy (2.4-14.1 ppm), Er (1.8-11.3 ppm) and Yb (2.3-16.1 ppm) are the most abundant HREEs. The LaN/YbN ratio is between 3.0 and 6.0.

Table 2. Whole-rock compositions for granites, saprolites and alluvial sediments from the SMGM

Sample No	AZME-02A	AZME-02B	AZME-07D	AZME-08A	TF05-I-164	ME 03	ME 01A	ME 12	AZME-07A	AZME-07B	AZME-07C	AZME-10A	AZME-04C	ME08	AZME-05A	AZME05B	AZME-13A	AZME-05D	AZME-12A	AZME-12B	AZME-14B	TF05-I-171b
Material type	rock	rock	rock	rock	Rock	Rock	Rock	Rock	Gray saprolite	saprolite gray-brown	Gray-red Saprolite	saprolit yellow-rad	rock	Rock	Saprolite	clay-saprolite	soil-saprolite	clay-sand, creek	sediments creek	sediments creek	sediments creek	Rock
Gr group	PB1a	PB1a	PB1a	PB1a	PB1a	PB1a	PB1a	PB1a	PB1a	PB1a	PB1a	PB1a	PB1c	PB1c	PB1c	PB1c	PB1c	PB1c	PB1c	PB1c	PB1a	PB1b
SiO2 (wt.%)	66.92	74.45	66.99	66.19	66.45	67.34	65.75	66.27	70.72	66.16	62.75	56.11	77.07	76.37	73.56	72.61	67.72	83.29	83.41	84.06	85.96	73.48
TiO2 (wt.%)	0.78	0.26	0.76	0.83	0.89	0.76	0.82	0.77	0.02	0.91	0.91	1.06	0.07	0.04	0.08	0.13	0.83	0.08	1.40	0.80	2.21	0.22
Al2O3 (wt.%)	13.93	12.16	14.17	14.16	13.84	13.78	13.19	14.01	17.54	14.41	16.08	16.23	11.99	12.25	14.98	15.41	15.21	7.79	6.95	7.02	4.60	13.66
Fe2O3 (wt.%)	6.30	2.63	6.71	7.10	7.56	6.11	6.34	5.17	0.32	7.40	8.13	13.63	1.47	1.13	1.71	2.44	5.18	1.65	2.27	2.00	2.57	2.41
MnO (wt.%)	0.11	0.04	0.09	0.10	0.10	0.04	0.08	0.07	<0.01	0.10	0.09	0.12	0.02	0.02	0.02	0.01	0.08	<0.01	0.08	0.04	0.13	0.03
MgO (wt.%)	0.63	0.12	0.54	0.59	0.61	0.74	0.73	0.82	0.02	0.74	0.59	0.60	0.01	0.02	0.02	0.07	0.48	0.04	0.08	0.09	0.08	0.16
CaO (wt.%)	2.81	1.05	2.56	2.51	2.12	2.34	2.31	2.34	0.03	1.02	0.14	0.13	0.54	0.55	0.01	0.01	0.12	0.03	0.09	0.10	0.07	0.68
Na2O (wt.%)	3.70	2.64	2.66	2.62	2.20	2.98	3.01	2.60	2.67	1.60	0.49	0.26	2.67	3.18	0.12	0.09	0.24	0.37	0.70	0.70	0.33	2.95
K2O (wt.%)	3.52	5.51	4.35	4.68	4.73	4.42	4.37	4.67	4.74	4.81	4.67	3.87	4.94	4.59	4.74	2.61	3.34	2.44	3.52	3.50	2.19	5.71
P2O5 (wt.%)	0.27	0.04	0.26	0.29	0.33	0.36	0.37	0.32	0.02	0.26	0.09	0.26	<0.01	0.02	<0.01	0.01	0.07	0.01	0.05	0.05	0.05	0.15
P.F. (wt.%)	0.70	0.80	0.60	0.60	0.90	1.36	1.45	0.92	3.90	2.20	5.70	7.30	1.00	0.92	4.60	6.40	6.40	4.20	1.20	1.50	1.50	0.50
TOTAL (wt.%)	99.68	99.71	99.69	99.67	99.73	100.33	98.42	97.96	99.95	99.65	99.61	99.55	99.80	99.43	99.82	99.80	99.70	99.88	99.78	99.85	99.71	99.95
ASI	1.39	1.32	1.48	1.44	1.53	1.41	1.36	1.46	2.36	1.94	3.03	3.81	1.47	1.47	3.08	5.69	4.11	2.74	1.61	1.63	1.78	1.46
Rb (ppm)	167.50	255.70	200.10	268.00	226.50	202.00	194.00	223.50	580.30	373.70	252.30	217.40	757.30	695.90	671.50	307.10	189.20	270.80	169.00	170.50	68.80	467.50
Sr (ppm)	467.30	168.90	143.60	206.90	135.00	129.00	145.00	135.00	16.40	86.40	66.60	94.70	11.40	11.70	1.00	4.80	48.50	5.70	27.40	28.40	19.00	36.10
Zr (ppm)	568.40	380.00	627.80	584.40	567.60	467.00	488.20	443.00	49.60	721.10	729.20	831.60	141.10	124.70	194.80	322.70	973.10	256.30	1020.30	554.80	1786.60	209.10
Cs (ppm)	3.00	1.40	3.00	4.80	2.80	2.90	< 5,00	< 5,00	1.60	2.90	4.00	4.20	8.20	< 5,00	6.60	3.90	2.10	2.10	0.80	0.80	0.50	3.60
Ba (ppm)	849.00	401.00	1002.00	1173.00	1073.30	889.00	902.00	796.10	177.00	1176.00	1205.00	1052.00	20.00	26.30	30.00	44.00	674.00	27.00	461.00	479.00	295.00	302.80
Ga (ppm)	22.30	23.60	24.20	23.50	25.20	18.50	18.70	19.10	76.00	26.50	27.90	28.10	39.00	34.20	42.20	45.50	21.00	21.80	10.80	10.60	5.00	25.70
V (ppm)	20.00	<8	22.00	22.00	27.00	n.a.	n.a.	n.a.	<8	23.00	34.00	47.00	<8	n.a.	<8	15.00	23.00	17.00	12.00	15.00	13.00	11.00
Sn (ppm)	3.00	13.00	6.00	9.00	4.00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	8.00	9.00	8.00	4.00	9.00	17.90	17.00	18.00	4.00	8.00	6.00	4.00	3.00	9.00
W (ppm)	1.20	1.90	1.90	2.40					5.30	5.70	2.80	1.10	13.60		19.80	9.90	1.70	6.70	2.50	1.90	1.70	
Ta (ppm)	1.70	2.60	1.90	1.90	2.50	n.a.	1.60	n.a.	65.80	2.30	2.80	2.40	9.80	6.60	10.40	10.10	2.10	8.70	3.90	2.50	3.80	7.00
Nb (ppm)	29.50	31.80	29.30	31.80	33.60	30.40	0.60	30.30	81.90	34.00	32.10	37.70	101.70	69.10	105.50	100.70	30.40	87.20	50.90	32.10	58.40	62.80
Hf (ppm)	14.00	13.50	15.70	14.40	16.20	n.a.	15.00	n.a.	8.90	18.50	18.20	21.00	8.20	8.60	11.30	16.40	26.30	11.60	26.60	14.60	45.70	7.70

Caracterização Mineralógica, Geoquímica e Potencial Econômico de Ocorrências De Terras Raras do Maciço Granítico Serra do Mendes, Goiás.

Sample No		AZME-02A	AZME-02B	AZME-07D	AZME-08A	TF05-I-164	ME 03	ME 01A	ME 12	AZME-07A	AZME-07B	AZME-07C	AZME-10A	AZME-04C	ME08	AZME-05A	AZME05B	AZME-13A	AZME-05D	AZME-12A	AZME-12B	AZME-14B	TF05-I-171b
Sc	(ppm)	14.00	17.00	15.00	15.00	17.00	14.10	13.90	10.60	13.00	16.00	18.00	21.00	7.00	5.58	9.00	10.00	10.00	5.00	4.00	3.00	3.00	5.00
Tl	(ppm)	0.70	0.80	0.80	1.20					<0.1	1.30	1.10	1.00	0.60		0.30	0.40	0.50	0.20	0.10	0.10	<0.1	
Zn	(ppm)	144.00	167.00	116.00	144.00	110.00	67.00	93.70	71.40	4.00	80.00	130.00	109.00	21.00	61.50	5.00	12.00	28.00	9.00	18.00	17.00	11.00	43.00
Mo	(ppm)	0.50	1.90	0.70	0.70	1.00	n.a.	n.a.	n.a.	<0.1	0.50	0.80	1.70	2.10	n.a.	0.10	0.60	0.60	0.70	0.20	0.20	0.20	0.90
Pb	(ppm)	16.20	63.80	31.20	17.90	23.40	28.60	21.30	23.70	7.30	20.10	28.80	28.90	27.70	70.30	27.80	43.40	17.90	28.10	11.90	12.20	5.70	25.70
Th	(ppm)	25.40	112.10	25.50	23.30	33.80	35.80	27.10	34.60	17.20	34.10	36.60	40.60	76.20	55.90	78.80	104.20	40.90	49.10	22.50	17.60	12.00	55.00
U	(ppm)	3.90	14.30	4.10	4.10	5.40	8.00	4.30	<3,00	4.00	4.60	6.10	8.80	20.20	19.80	16.50	21.30	6.90	13.60	5.60	5.00	4.40	12.10
Y	(ppm)	59.10	136.00	73.30	56.20	185.90	58.40	58.50	64.20	10.30	139.40	99.40	57.80	291.30	305.40	92.40	180.50	42.30	79.60	19.80	16.30	14.60	62.80
La	(ppm)	100.30	206.00	110.50	85.70	199.00	74.00	81.60	82.10	10.00	84.50	142.50	160.20	200.70	92.80	273.70	127.30	80.80	72.30	31.70	26.10	19.30	71.20
Ce	(ppm)	181.00	440.40	195.30	177.90	210.80	167.00	153.00	158.00	23.80	170.60	330.50	889.20	334.20	151.00	316.10	403.70	284.90	269.50	57.50	50.90	39.80	155.10
Pr	(ppm)	22.89	46.99	27.69	21.34	46.72	19.52	17.16	17.74	3.20	22.66	38.80	34.72	41.26	18.74	50.52	25.74	18.62	15.21	7.07	5.63	4.58	17.17
Nd	(ppm)	86.70	167.50	106.60	82.10	187.60	64.90	63.60	66.40	12.00	92.30	152.00	126.00	147.40	63.60	166.30	87.20	67.10	51.10	23.80	19.70	16.90	62.70
Sm	(ppm)	16.02	30.23	19.08	15.20	33.60	15.00	10.40	11.00	2.40	18.67	28.11	20.41	37.47	13.00	26.64	18.28	11.70	10.93	4.60	3.67	3.11	12.60
Eu	(ppm)	1.85	0.59	2.13	1.91	3.58	1.63	1.62	1.39	0.28	2.27	3.35	2.17	0.42	0.10	0.28	0.25	0.93	0.14	0.46	0.36	0.23	0.28
Gd	(ppm)	13.38	25.22	16.72	13.47	34.56	8.05	11.60	13.08	2.10	19.29	23.49	18.71	40.30	21.28	17.29	18.57	10.12	10.48	3.68	3.02	2.49	10.19
Tb	(ppm)	1.96	4.22	2.59	1.98	5.56	1.32	1.53	1.70	0.36	3.17	3.55	2.46	8.23	4.09	2.40	3.92	1.47	2.06	0.64	0.55	0.39	2.01
Dy	(ppm)	10.63	24.72	13.92	11.37	29.59	9.25	9.84	10.80	2.10	19.13	19.41	13.27	51.03	30.50	14.07	27.23	8.24	14.15	3.78	3.23	2.45	9.95
Ho	(ppm)	2.12	5.12	2.67	2.23	6.61	2.10	1.96	2.13	0.41	4.41	3.88	2.34	11.19	7.62	3.27	6.54	1.54	3.24	0.82	0.71	0.55	2.32
Er	(ppm)	6.44	15.66	8.01	6.23	17.73	6.40	5.72	6.19	1.31	12.93	10.59	6.56	35.23	23.95	11.45	23.76	4.64	11.63	2.77	2.40	1.87	6.79
Tm	(ppm)	0.84	2.29	1.13	0.88	2.56	1.02	0.83	0.89	0.20	1.84	1.56	0.95	5.83	4.05	2.04	4.27	0.68	2.14	0.47	0.41	0.31	0.85
Yb	(ppm)	5.41	14.89	7.06	5.59	13.62	6.89	4.96	5.26	1.67	11.22	9.58	6.08	39.77	30.20	15.63	31.57	4.41	16.18	3.54	3.12	2.37	5.50
Lu	(ppm)	0.80	2.15	1.04	0.83	2.29	n.a.	n.a.	n.a.	0.25	1.73	1.41	0.89	5.66	n.a.	2.44	4.97	0.64	2.54	0.56	0.46	0.43	0.88
LREE	(ppm)	408.76	891.71	461.30	384.15	681.30	342.05	327.38	336.63	51.68	391.00	695.26	1232.70	761.45	339.24	833.54	662.47	464.05	419.18	125.13	106.36	83.92	319.05
HREE	(ppm)	41.58	94.27	53.14	42.58	112.52	35.03	36.46	40.05	8.40	73.72	73.47	51.26	197.24	121.69	68.59	120.83	31.74	62.42	16.26	13.90	10.86	38.49
REE	(ppm)	450.34	985.98	514.44	426.73	793.82	377.08	363.84	376.68	60.08	464.72	768.73	1283.96	958.69	460.93	902.13	783.30	495.79	481.60	141.39	120.26	94.78	357.54
LaN/YbN		12.50	9.33	10.55	10.34	9.85	7.24	11.09	10.52	4.04	5.08	10.03	17.76	3.40	2.07	11.81	2.72	12.35	3.01	6.04	5.64	5.49	8.73
Rb/Sr		0.36	1.51	1.39	1.30	1.68	1.57	1.34	1.66	35.38	4.33	3.79	2.30	66.43	59.48	671.50	63.98	3.90	47.51	6.17	6.00	3.62	12.95

Figures 15a and 15b show that the rocks and saprolites belonging to the facies PB1c, the most highly developed facies and therefore the richest in SiO₂, contain REE+Y at concentrations in excess of 1000 ppm. There is greater dispersion among the saprolites belonging to the less evolved facies, PB1a, than in the parental granite. The REE concentrations in the alluvial sediment samples are relatively low, which may be associated with the high concentration of quartz and consequent dilution of REEs in the selected samples.

Figure 15c shows the LaN/YbN ratio vs. SiO₂ (wt.%). The rocks and saprolites belonging to the most developed facies, PB1c, display lower LaNd/YbN ratios than facies PB1a. This difference indicates that the amount (wt.%) of SiO₂ in the samples is directly proportional to the amount of associated HREE+Y: facies PB1a is richest in LREEs, and the most developed facies, PB1c, is richest in HREE.

The REE diagrams normalized to the chondrite of Sun and McDonough (1989) of the rocks and saprolites of facies PB1a are generally enriched in LREEs by a factor of more than 100, and the saprolites are more enriched than their parent rocks (Figure 15d). The HREE, similarly, are more abundant in the saprolites than in the parent rock, although these concentrations are below 100 ppm (decreasing diagram).

The most developed facies, PB1c, displays enrichment in LREEs by a factor of up to 1000 versus the chondrite, a strong Eu anomaly and an ascending (seagull type) plot of the HREEs, both for the rock and saprolite samples, although the latter do not all contain concentrations greater than those in their parent rock. Figure 15f shows the REE diagram for the alluvial sediments, normalized to the chondrite. These REE concentrations reflect those of the source rock, which, according to the pattern, is very similar to that of the leucomonzogranite (facies PB1c).

To characterize the increase in REE concentrations in facies PB1c, normalization of REEs was performed on the poorly evolved sample belonging to facies PB1a (sample AZME-07D). Enrichment in REE, particularly HREE, by a factor of up to 5, is observed. The enrichment in LREE is not significant. (Figure 15g)

Caracterização Mineralógica, Geoquímica e Potencial Econômico de Ocorrências De Terras Raras do Maciço Granítico Serra do Mendes, Goiás.

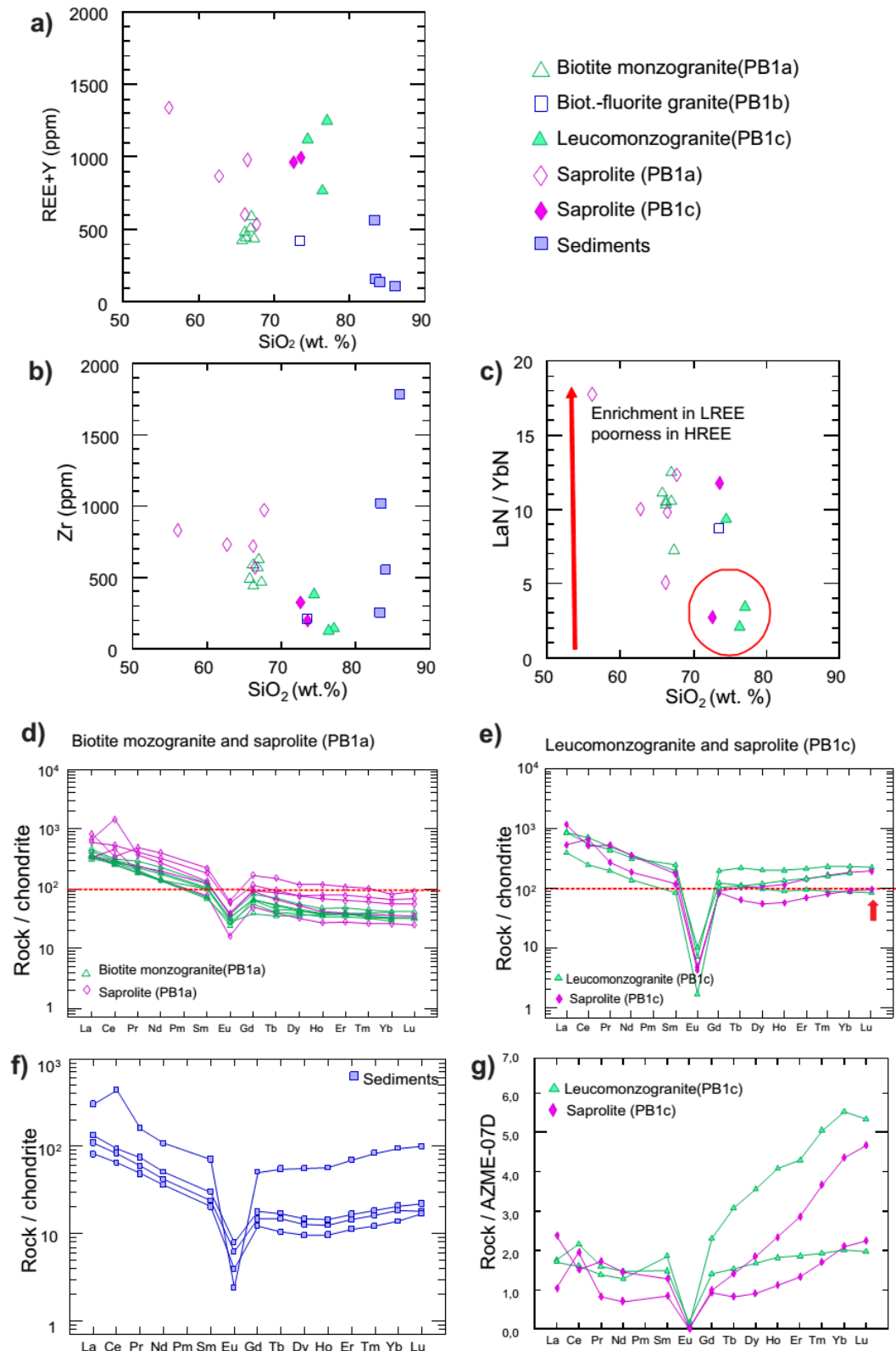


Figure 15. a) to c) Diagrams of REE+Y contents, Zr contents, and LaN/YbN ratios vs. SiO₂ contents showing an increasing in the REE, mainly in the HREE, contents with the increasing in SiO₂; d) to f) chondrite-normalized REE patterns of the granites, sapolites and alluvial sediments; normalization values from Sun & McDonough (1989); g) REE patterns of the leucomonzogranite and associated sapolite normalized to the less evolved biotite granite (sample AZME07D), highlighting the enrichment in the HREE by a factor up to 5

The interpolation of the REE + Y data for the SMGM, even considering the low representativity of the sample, indicates that the REE richest area is located in the leucomonzogranite-PB1C and in the areas of the biotite granite nearby the contact between both facies This is indicated by the red area in the figure 16, with REE + Y concentrations of 700-900 ppm.

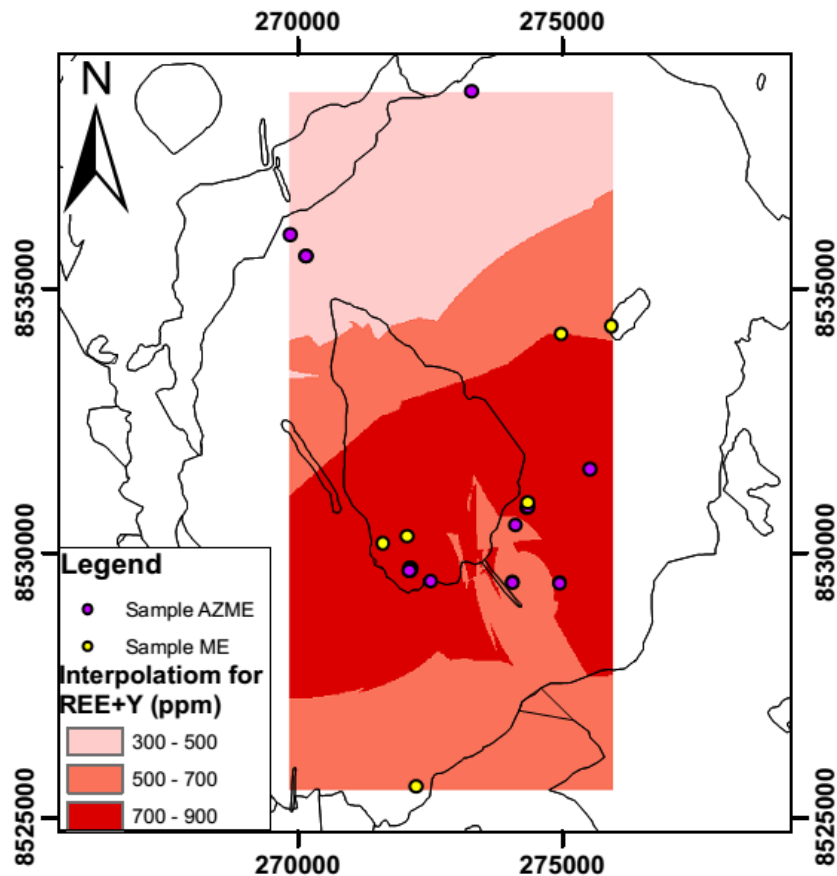


Figure 16. Map of geochemical anomalies for REE + Y (ppm) in the SMGM.

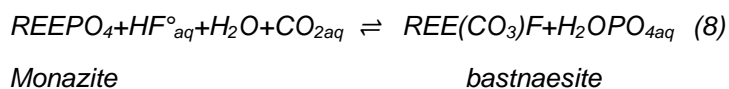
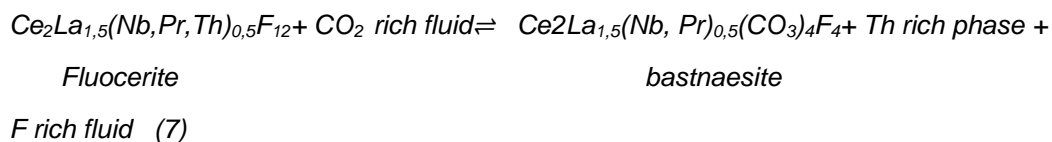
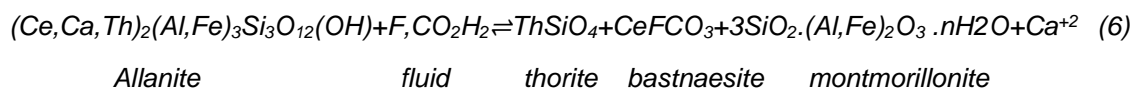
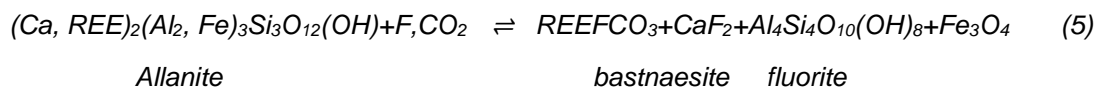
9.5 DISCUSSION

The REE-bearing secondary minerals in the Serra do Mendes massif are fluocerite, bastnaesite and oxyfluoride and are products of hydrothermalism. The fluocerite has a low F content (11.9-16.7% wt.), whereas the fluocerite-Ce content with normal concentrations of F is approximately 28%. This difference may be due to a destabilization of the system and phase transformation of minerals of the oxyfluorides and bastnaesite. According to Styles and Yong (1983), fluocerites can undergo 2 main types of alteration to bastnaesite-(La) and bastnaesite, where both transformations are controlled by the presence of monazite on the edges, based on an imbalance with minerals of the oxides group. The strong fractionation between LREEs and

HREEs is mainly due to structural constraints. Structural studies by Staritzky and Asprey (1957) indicated that LaF₃ and NdF₃ crystallize in the hexagonal system, whereas SmF₃ and YbF₃ crystallize in the orthorhombic system. Thus, the structure of the fluocerite is highly selective for LREEs, and incorporation of HREEs occurs only in small concentrations.

Decomposition textures were observed in the oxyfluorides present mainly in facies PB1c, by Teixeira (2002) in oxyfluorides belonging to the Pedra Branca Suite and by Johan and Johan (1994) in oxyfluorides of the Cínovec dome granite (Czech Republic), where 3 phases were observed: one rich in La, one rich in Ce and one intermediate phase. These three phases may be due to the destabilization of the system with time and/or a decrease in temperature, which excluded the 3 phases.

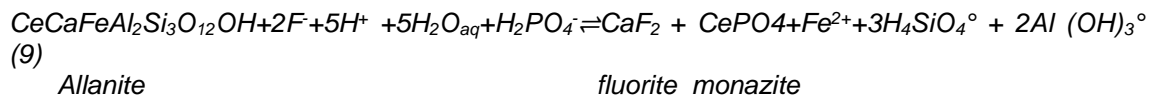
Assuming that the bastnaesites in this study are secondary minerals formed by decomposition of the allanite, the most advanced facies of the Serra do Mendes granite massif (Leucomonzogranite-PB1c) may have been acted on by some type of hydrothermal effect. Substitution of bastnaesite for allanite is commonly described in the literature; more rarely, bastnaesite can form from monazite and fluocerite (Littlejohn 1981, Kamineni and Bonardi 1983, Styles and Young 1983, Williams-Jones and Wood 1992, Forster 2000). According to Littlejohn (1981), the decomposition of allanite and formation of bastnaesite are described by equations (5) and (6); thorite may or may not form, depending on the availability of Th within the structure of the allanite. The formation of bastnaesite from fluocerite is described by equation (7) (Slyles and Young 1983), and its formation from monazite proceeds in accordance with equation (8) (Watson and Synman 1975).



In all cases, these reactions involve the action of a hydrothermal fluid rich in F and C, as mentioned in previous studies of the Granitic Massifs Pedra Branca. These studies discussed a

fluid rich in volatiles, mainly F, as the cause of the hydrothermalism (Botelho and Moura 1998, Freitas 2000, Lenharo et al., 2002, Teixeira and Botelho 2001, Teixeira and Botelho 2006, Moura et al., 2014).

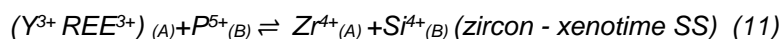
The study by Wood and Ricketts (2000) described the response of allanite to hydrothermal alteration. The decomposition of allanite and removal of REE and Th are facilitated by the formation of fluoride complexes. The decomposition of allanite is a 2-stage process represented by equation (9).



The allanite + epidote + bastnaesite ± fluorite and argillomineral association is similar to that observed by Mineyev (1973). Epidote and fluorite represent the regions of the allanite from which the REEs were leached, probably as complexes with F, and the minerals of the bastnaesite group represent the regions where the REEs were fixed. A similar process was observed by Wood and Ricketts (2000), who reported the leaching of REEs from portions of allanite grains and their substitution by fluorite; the REEs were concentrated as monazite. For this process to occur, there must be destabilization in the structure of the allanite.

Thorite is present as a primary mineral or as a product of the decomposition of a variety of minerals, including allanite (Buda and Nagy, 1995), zircon (Pointer et al., 1988a; Rubin et al., 1989), monazite (Finger et al., 1998) and bastnaesite (Gieré et al., 1998). According to Speer (1982), thorite is one of the most complex minerals and can contain more than 40 elements in concentrations detectable using an EPMA; these elements may have various oxidation states. Thorite is usually present in its metamictic state.

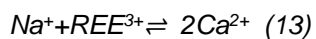
According to Speer (1982), more than 50 elements can enter the mineral structure of zircon, the most common elements being Y, U, Th, REE, Pb, Ca, Fe, Na, Ca, Ti, Nb, Ta, Al and P. Substitutions (10), (11) and (12) are the main substitution reactions observed in the zircons of facies PB1c.



According to Teixeira (2002), the zircons belonging to facies PB1 acquired their metamictic characteristics during the magmatic evolution, and the most evolved facies contain higher

concentrations of Th, U, REE and P, which was verified in this study. A feature also commonly observed in metamictic zircons is the presence of water in its structure (Aines and Rossman 1986, Woodhead et al., 1991). This water could explain the concentration totals of less than 100% resulting from our analyses, which are between 82.2 and 97.7%.

In the minerals belonging to the apatite group, Ca can be substituted for by Na, K, Ag, Sr, Mg, Zn, Cd, Sc, Y, REEs, Bi, U or Th, whereas PO₄ can be substituted for mainly by SiO₄, SO₄ and CO₃. The principal substitution reactions acting on the apatite are represented by equations (13) and (14).



According to Ito (1968), equation 14 occurs in high-temperature hydrothermal conditions, and its occurrence was reported earlier based on BSE images and analysis of apatites from greisenized granite of the Pedra Branca Suite (Botelho, 1992). According to Ronsbo (1989), the presence or lack of substitution (14) is controlled by the silica content of the rock. In rocks undersaturated in silica, equation (13) dominates, whereas in rocks closer to saturation, equation (14) dominates.

Geochemical data presented by Bao and Zhao (2008), who analyzed granitic rocks and their weathering profiles in 4 relevant granites in southern China, indicate that the Xinxiu muscovite granite contains REE at concentrations of 342.0 ppm in the rock and values ranging from 277.1 to 1227.9 ppm in the weathering profiles. These concentrations in the Guposhan biotite granite are 280.3 ppm in the rock and 669.3-1324.1 ppm in the weathering profile; in the biotite granite of Hushan, 325.72 ppm in the rock and 429.4-679.3 ppm in its weathering profile; and in the porphyritic granite of Heling, 807.69 ppm in the rock and 1212.79 to 3796 ppm in its weathering profile.

Altered granitic rocks in the Nusab El Bagum area, in the southwestern desert of Egypt, were analyzed by Ibrahim et al. (2015). These local silicified and kaolinized granites contain REE at concentrations of 134-39133 and 34-752 ppm, respectively. These rocks, which are exposed across an area measuring 40 m², were subjected to strong hydrothermal alteration that led to extreme enrichment in rare metals such as Zr, Nb, Y and REE.

The weathering profiles developed on the Kata Beach granite in Phuket, Thailand (the underlying granite contains REEs at 592 ppm), contain low REE concentrations of 174-548 ppm in the upper part of the profile and higher REE concentrations of 578-1084 ppm in the lower part of the profile (depths of 4.5-12 m). This fractionation between LREE and HREE is controlled by

the REE-bearing minerals and the absorption of the alteration products in the weathered granites (Sanematzu et al., 2013, Bao and Zhao, 2008; Ibrahim, 2015).

The geochemical results of the two granite facies belonging to the SMGM can be compared with the data presented by Bao and Zhao (2008) in the granitic province of southern China and with the Kate Beach granite data from Phuket (Sanematzu et al., 2013). The results presented by Ibrahim et al. (2015) indicate higher quantities only in a silicified granite, which is attributed to the strong hydrothermal processes that acted in the granitic area, which further favored the accumulation of these elements. All authors attributed the mobilization of REE mainly to the destabilization of REE-bearing accessory or alteration minerals, due to percolation of acidic meteoric waters. This percolation can cause marked chemical weathering, destabilization of minerals, and REE migration as aqueous solutions that can precipitate REE in the lower parts of weathering profiles and form part of the crystalline structure of neofomed clay minerals as a product of alteration.

9.6 CONCLUSIONS

The REE-bearing minerals in the SMGM, listed in order of REE concentrations, are fluocerite-Ce, bastnaesite, REE oxyfluorides, monazite, allanite, solid solutions of thorite, zircon, and apatite.

The most abundant REE-bearing minerals in facies PB1c are bastnaesite, monazite and thorite SS, with maximum amounts of REE (wt.%) of 78.2, 53.8 and 62.1, respectively. The most abundant PB1a granite facies contains significant concentrations of monazite, thorite SS, zircon and apatite

Fluocerite and REE oxyfluorides, with REE concentrations (wt.%) of up to 80.4 and 76.2, respectively, are present in smaller quantities and are restricted to granite facies PB1c.

Allanite, a common mineral in the 2 granite facies that can contain up to 29.3% REE, is prone to destabilization and alteration, and in contact with fluids rich in F and CO₂, it can form bastnaesite.

The most developed facies of the SMGM (leucomonzogranite, PB1c) exhibits greater enrichment in REE, with a slight increase in REE+Y concentrations, which is directly proportional to the SiO₂ content. The LaN/YbN ratio also confirms that PB1c, is more enriched in REE+Y than PB1a.

Based on the abundance of REE-bearing minerals such as oxyfluorides, fluocerite, bastnaesites and allanite within the biotite monzogranite (PB1a) and leucomonzogranite (PB1c)

belonging to the SMGM, their weak resistance to weathering, their alteration products rich in REE, and their wide spatial distribution, it can be concluded that the region is suitable for the prospecting and exploration for REE.

Low rates of climatic and environmental denudation in the area underlain by the SMGM, in addition to granitic rocks and similar REE concentrations in rocks and their alteration products, make the SMGM comparable to the REE prospects of southern China, Thailand and Serra Dourada in Brazil.

9.7 REFERENCES

- Aines, R.D. and Rossman, G.R. 1986. Relationships between radiation damage and trace wáter in zircón, topaz and quartz. *Am. Mineral.* 71, 1183-1193
- Alvarenga, C.J.S.; Dardenne, M.A.; Botelho, N.F.; Machado, M.A.; Lima, O.N.B.; Almeida, T. 2007. Relatório final das folhas Monte Alegre de Goiás, Cavalcante e Nova Roma. Programa Geologia do Brasil (PGB/CGB). UnB/CPRM.
- Bgs, C., 2011. Rare Earth Elements. British Geological Survey. 53 p.
- Botelho, N. F. 1992. Les ensembles granitiques subcalins a peralumineux mineralisés em Sn et In de la Sous-province Parana. Etat de Goiás, Brésil. Université de Paris VI. Thèse de Doctorat. 344 p.
- Botelho, N.F. and Moura M. 1998. Granite-ore deposit relationships in Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 11 (5), 427-438.
- Buda, G., Nagy, G. 1995. Some REE-bearing accessory minerals in two types of Variscan granitoids, Hungary. *Geologica Carpathica* 46, 67-78.
- Chi, R. and Tian, J. (2009) *Wathered Crust Elution-Deposited Rare Earth Ores*, Nova Science Publishers, New York, 288 p
- Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J. 1997b. Allanite. In: *Rock Forming Minerals*. Vol 1B. Disilicates and Ring Silicates, London, The Geological Society, 151-179.
- Freitas, M. E. 2000. A Evolução dos Greisens e Mineralização Estanífera no Morro do Laranjinha – Maciço Granítico Mangabeira – Goiás. Universidade de Brasília (Ph. D. Thesis)
- Forster, H. J. 2000. Cerite-(Ce) and thorian synchisite-(Ce) from the Niederbobritzsch granite, Erzgebirge, Germany: Implications for the differential mobility of the LREE and Th during alteration. *Can. Mineral.* 38, 67-69

- Finger, F., Broska, I., Roberts, M. P., Schermaier, A., 1998. Replacement of primary monazite by apatite-allanite-epidote coronas in an amphibolite facies granite gneiss from the Eastern Alps. *Am. Mineral.* 83, 248-258
- Gieré, R. 1996. Formation of rare earth minerals in hydrothermal systems. In: Jones, A.P.; Wall, F. and Williams, C. L. (ed). *Rare earth minerals- Chemistry, Origin and Ore deposits.* Chapman & Hall, London, 105-150
- Gieré, R., Williams, C.T., Braun, M., Graeser, S., 1998. Complex zonation patterns in monazite-(Nd) and monazite-(Ce). 17th General Meeting of the International Mineralogical Association, August 9-14, 1998, Toronto, Abstracts and program, p. A85
- Hogarth, D.D. 1977. Classification and nomenclature of the pyrochlore group. *Amer. Mineral.*, 62, 403-410.
- Ibrahim, M.E.A., El-Kalioby, B.A.E.H., Aly, G.M., El-Tohamy, A.M., Watanabe, K., 2015. Altered granitic rocks, Nusab El Balgum Area, Southwestern Desert, Egypt: Mineralogical and geochemical aspects of REEs. *Ore Geol. Rev.* 70, 252–261.
- Ito, J. 1968. Silicate apatites and oxyapatites. *Am. Mineral.* 53, 890-907
- Johan, Z., Johan, V. 1994. Oxyfluorures de terres rares de la coupole granitique de Cinovec (Zinwald), République Tchèque. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, t.318, série II:1333-1340.
- Kamineni, D. C. y Bonardy, M. 1983. Bastnaesite in fractures of the Eye-Dashwa Lakes Pluton, Atikokan, Northwestern Ontario. *Can. Mineral.*, 21, 115-119
- Kanazawa, Y., Kamitani, M., 2006. Rare earth minerals and resources in the world. *J. Alloys Compd.* 408-412, 1339-1343.
- Lenharo, S.L.R., Moura, A. M., Botelho, N.F., 2002. Petrogenetic and mineralization processes in Paleo to Mesoproterozoic rapakivi granites: examples from Pitinga and Goiás, Brazil. *Prec. Res.* 119, 277-299.
- Linthout, K. (2007). Discreditation of brabantite, and recognition of cheralite as the name for members dominated by CaTh (PO 4) *Can. Mineral.* 45 (2), 503–508
- Littlejohn, A. L. 1981. Alteration products of accessory allanite in radioactive granites from the Canadian Shield. *Geological Survey of Canada Professional Paper. Current research, Part B*, paper 81-1B, p.95-104.
- Marini, O.J.; Botelho, N.F. 1986. A Província de Granitos Estaníferos de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências* 16, 119 – 131.
- Moura, M.A., Botelho, N.F., Olivo, G.R., Kyser, K., Pontes, R.M. 2014. Genesis of the Proterozoic Mangabeira tin-indium mineralization, Central Brazil: Evidence from geology, petrology, fluid inclusion and stable isotope data. *Ore Geol. Rev.* 60, 36-49.

- Moura, M. A. 1993. A zona greisenizada principal do maciço estanífero Mangabeira (Go): Geologia, petrologia e ocorrência de índio. Universidade de Brasília. (M. Sc. Diss.)
- Ni, Y., Hughes J. M., Mariano, A. M. 1995, Crystal chemistry of the monazite and xenotime structures. *Am. Mineral.*, 37, 137, 157.
- Pointer, C. M., Ashworth, J. R., Ixer, R.A., 1988. The zircon-thorite mineral group in metasomatized granite, Ririwai, Nigeria 1. Geochemistry and metastable solid solution of thorite and coffinite. *Mineralogy and Petrology* 38, 245-262
- Rocha, A.; Schissel, D.; Sprecher, A.; Tarso, P. and J. Goode, J., 2013. Process Development for the Serra Verde Weathered Crust Elution-deposited Rare Earth Deposit in Brazil. In: I. London, J. Goode, G. Moldoveanu and M. Rayat (eds), Rare Earth Elements – Proceedings of the 52nd Conference of Metallurgists (COM 2013). Metallurgical Society of the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum (MetSoc-CIM), Montreal, Canada, 2013.
- Ronsbo, J. G. - 1989 - Coupled substitutions involving REEs and Na and Si in apatites in alkaline rocks from the Ilímaussaq intrusion, South Greenland, and the petrological implications. *Am. Mineral.* 74: 896 - 901.
- Rubin, J.N., Henry, C.H., Price, J.G., 1989. Hydrothermal zircons and circón overgrowths, Sierra Blanca Peaks, Texas. *Am. Mineral.* 74, 865-869.
- Sanematsu K., Murakami H., Watanabe Y., Duangsurigna S., Vilayhack S. 2009. Enrichment of rare earth elements (REE) in granitic rocks and their weathered crusts in central and southern Laos. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 60, 527-558.
- Sanematsu K., Kon Y., Imai A., Watanabe K., Watanabe Y. 2013. Geochemical and mineralogical characteristics of ion-adsorption type REE mineralization in Phuket, Thailand. *Miner. Deposita*, 48, 437-451.
- Santana, I.V.; Wall, F; Botelho, N.F. 2015 Occurrence and behavior of monazite and xenotime in detrital and saprolitic environments related to an A-type granite, Goiás/Tocantins, Brazil: potential for REE deposits. *Journal of Geochemical Exploration*. 155, 1-13.
- Scherrer, N.C.; Engi, M.; Gnos, E.; Jakob, V. & Leichti, A. 2000 Monazite analysis: from sample preparation to microprobe age dating and REE quantification. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*. 80. 93-105.
- Speer, J.A. 1982. The actinide orthosilicates. In: Ribbe, P.H. (Ed.), *Orthosilicates, Reviews in Mineralogy*, vol. 5. Mineralogical Society of America, Washington, DC, pp.113-135
- Staritzky, E.; Asprey, L.B. 1957. Lanthanum trifluoride, LaF₃ and neodymium trifluoride, NdF₃. *Analytical Chemistry*, 29, 856-857
- Styles, M. T. e Young, B. R. 1983. Fluocerite and its alteration products from the Afu Hills, Nigeria. *Min. Mag.* 47, 41-46.

- Sun, S.S. and McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D. and Norry, M.J. (Editors) *Magmatism in the ocean basins.*, Geological Society of London, 42, 313-345.
- Teixeira, L.M., Botelho, N.F., 2006. Comportamento geoquímico de ETR durante a evolução magmática e alteração hidrotermal de granitos: Exemplos da Província Estanífera De Goiás. *Revista Brasileira de Geociências* 36 (4), 679–691.
- Teixeira, L.M., Botelho, N.F., 2002. Comportamento cristaloquímico de monazita primária e hidrotermal durante a evolução de granitos e greisens: Exemplos das subprovíncias Tocantins e Paranaíba, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências* 32, 335–342
- Teixeira, L. M. 2002. Caracterização de minerais portadores de terras raras e sua aplicação à petrologia e geocronologia de granitos das subprovíncias Tocantins e Paranaíba – Goiás. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília (Ph. D. Thesis).
- Williams-Jones, E. A. and Woods, S. A. 1992. A preliminary petrogenetic grid for REE fluorocarbonates and associated minerals. *Geochimica et cosmochimica Acta*, 56, 725-738-
- Wang, L., Xu, C., Zhao, Z., Song, W., Kynicky, J., 2015. Petrological and geochemical characteristics of Zhaibei granites in Nanling region, Southeast China: Implications for REE mineralization. *Ore Geol. Rev.* 64, 569-582.
- Wood, S.A. and Ricketts, A. 2000. Allanite-(Ce) from the Eocene Casto granite, Idaho: Response to hydrothermal alteration. *Can. Mineral.* 38, 81-100
- Woodhead, J.A., Rossman, G.R., Silver, L.T. 1991. The metamictization of zircon: Radiation dose-dependent structural characteristics. *Am. Mineral.* 76, 74-82
- Wu, C. G., Huang, D. H. and Guo, Z. G. 1990. REE geochemistry in the weathered crust of granites, Longnan area, Jiangxi Province. *Acta Geol. Sinica*, 3, 193-21
- Yang, X.J., Lin, A., Li, X., Wu, Y., Zhou, W., Chen, Z., 2013. China ion-adsorption rare earth resources, mining consequences and preservation. *Environ. Dev.* 8, 131–136.

10. ANEXOS

10.1 QUÍMICA MINERAL PARA FLUOCERITAS

Fluoceritas-Fácies PB1c									
	AZME4B _C2 fl 1	AZME4B _C2 fl 2	AZME4B _C4 fora	AZME4B _C5 fl 1	AZME4b C2 fl 2	AZME4b C2 fl 6	AZME4b C2 fl 7	AZME4b C2 fl 8	AZME4b C2 fl 9
P	0,24	0,02	0,03	0,14	0,45	0,29	0,10	0,03	0,00
Si	0,05	0,02	0,14	0,21	0,16	0,52	0,35	0,06	0,05
Y	0,15	0,18	0,15	0,22	0,28	0,29	0,12	0,22	0,23
Fe	0,09	0,06	0,01	0,09	0,19	0,24	0,07	0,02	0,01
Ca	0,76	0,04	0,40	0,50	1,26	0,55	0,86	0,60	0,23
F	15,97	13,21	14,78	12,11	13,27	16,76	13,41	11,98	15,80
La	12,83	25,57	20,53	14,17	21,84	27,73	18,42	20,92	27,57
Ce	51,02	44,35	42,88	46,77	42,12	35,25	45,27	48,00	42,86
Pr	1,79	2,16	3,04	2,50	2,48	2,82	2,64	2,18	2,41
Nd	6,25	5,55	9,22	9,10	6,61	8,20	8,65	5,70	6,08
Sm	1,16	0,63	1,00	1,11	0,58	0,82	1,03	0,46	0,46
Eu	0,39	0,40	0,66	0,48	0,36	0,51	0,49	0,36	0,38
Gd	1,46	0,30	0,60	1,34	0,38	0,00	0,92	0,68	0,37
Tb	0,02	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Dy	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,08	0,00
Ho	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Er	0,03	0,00	0,03	0,07	0,04	0,03	0,00	0,07	0,00
Tm	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01
Yb	0,01	0,06	0,00	0,00	0,01	0,00	0,09	0,00	0,07
Lu	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,10	0,00	0,04	0,04
Th	4,12	2,21	3,26	4,35	3,97	3,12	3,01	2,45	1,62
Pb	0,17	0,25	0,49	0,38	0,73	0,30	0,40	0,64	0,23
Total	96,84	95,18	97,84	94,50	95,09	97,89	96,13	94,71	98,53
REE+Y	75,13	79,24	78,18	76,16	74,69	75,79	77,62	78,81	80,47
LREE	73,45	78,66	77,33	74,14	73,99	75,33	76,50	77,63	79,75
HREE+Y	1,68	0,58	0,85	2,03	0,70	0,46	1,12	1,18	0,72
Fórmula calculada com base em quatro íons									
P	0,021	0,002	0,003	0,015	0,044	0,025	0,010	0,003	0,000
Si	0,005	0,003	0,014	0,024	0,017	0,050	0,038	0,007	0,005
Y	0,005	0,006	0,005	0,008	0,009	0,009	0,004	0,008	0,007
Fe	0,004	0,003	0,000	0,005	0,011	0,012	0,004	0,001	0,001
Ca	0,053	0,003	0,029	0,040	0,095	0,037	0,065	0,049	0,016
F	2,353	2,178	2,268	2,065	2,116	2,367	2,142	2,057	2,337
La	0,259	0,577	0,431	0,331	0,476	0,536	0,402	0,491	0,558
Ce	1,019	0,992	0,892	1,082	0,911	0,675	0,980	1,117	0,860
Pr	0,036	0,048	0,063	0,058	0,053	0,054	0,057	0,051	0,048
Nd	0,121	0,121	0,186	0,204	0,139	0,152	0,182	0,129	0,118
Sm	0,022	0,013	0,019	0,024	0,012	0,015	0,021	0,010	0,009
Eu	0,007	0,008	0,013	0,010	0,007	0,009	0,010	0,008	0,007
Gd	0,026	0,006	0,011	0,028	0,007	0,000	0,018	0,014	0,007
Tb	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Dy	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000
Ho	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Er	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
Tm	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Yb	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001
Lu	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001
Th	0,050	0,030	0,041	0,061	0,052	0,036	0,039	0,034	0,020
Pb	0,002	0,004	0,007	0,006	0,011	0,004	0,006	0,010	0,003
Total	4	4	4	4	4	4	4	4	4

10.2 QUÍMICA MINERAL PARA BASTNAESITAS

	Bastnaesitas-Fácies PB1c															Bastnaesita-(Y)		
	AZME-4A.1	AZME-4A.2	AZME-4A.3	AZME-4A.4	AZME-4A.5	AZME-4A.6	AZME-4A.7	AZME-4A.8	AZME-4A.9	AZME-4A.10	AZME-4A.11	AZME-04B.1	AZME-04B.2	AZME-04B.3	AZME-04B.4	ME10A_C2 3	ME10A_C3 1	ME10A_C3 3
P ₂ O ₅	2,28	0,19	0,12	1,15	0,37	1,59	2,56	1,66	0,07	1,14	1,23	0,92	0,72	0,82	0,44	0,00	0,03	0,04
Y ₂ O ₃	0,31	0,35	0,00	0,24	0,05	0,13	0,16	0,14	0,05	0,03	0,03	0,15	0,16	0,28	0,40	19,53	19,33	14,50
CaO	0,30	0,65	0,28	0,41	0,64	0,85	0,80	0,45	0,24	0,53	0,24	0,75	1,36	1,07	1,07	1,81	1,46	3,36
F	5,66	6,05	6,42	4,67	4,96	6,55	6,03	4,12	5,77	4,93	2,47	5,94	2,47	7,11	2,95	4,80	6,05	7,27
La ₂ O ₃	17,08	22,96	18,22	12,73	27,23	18,20	13,18	14,18	19,70	17,15	8,90	16,78	0,92	13,44	1,22	11,74	11,65	6,60
Ce ₂ O ₃	42,24	45,79	45,63	37,92	45,30	41,62	35,37	37,16	45,40	42,58	46,98	46,84	76,16	57,19	67,77	1,79	1,74	17,50
Pr ₂ O ₃	2,58	2,29	2,98	2,28	2,77	2,53	2,21	2,16	2,71	2,78	1,46	2,42	0,54	2,52	0,42	2,31	2,06	1,37
Nd ₂ O ₃	8,19	6,29	10,04	7,05	7,02	7,77	6,81	6,95	8,39	8,53	5,00	7,85	3,31	8,81	2,93	9,76	8,88	5,98
Sm ₂ O ₃	0,69	0,60	0,87	0,51	0,51	0,74	0,64	0,79	0,77	0,92	0,77	0,83	1,44	1,42	0,96	1,92	1,81	1,63
Eu ₂ O ₃	0,27	0,42	0,33	0,35	0,49	0,29	0,32	0,32	0,40	0,41	0,20	0,38	0,02	0,40	0,01	0,38	0,38	0,29
Gd ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,77	0,27	1,20	2,75	2,19	2,06
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,20	0,00
Dy ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,09	5,42	4,80	2,74
Ho ₂ O ₃	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,13	0,03	0,03	0,13	0,00	0,08	0,00	1,08	1,07	0,63
Er ₂ O ₃	0,04	0,04	0,02	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,04	0,04	0,09	3,06	2,64	1,68
Tm ₂ O ₃	0,00	0,04	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,03	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,62	0,39	0,36
Yb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	2,50	2,15	1,23
Lu ₂ O ₃	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	0,01	0,06	0,00	0,01	0,00	0,13	0,00	0,06	0,55	0,55	0,34
ThO ₂	8,26	2,60	1,90	6,60	2,51	7,58	8,64	5,93	1,94	3,60	4,18	4,84	5,72	4,26	6,14	0,08	2,59	7,01
F=O ₂	2,38	2,55	2,70	1,97	2,09	2,76	2,54	1,73	2,43	2,08	1,04	2,50	1,04	3,00	1,24	2,02	2,55	3,06
Total	88,97	86,44	85,17	75,01	90,63	88,01	78,40	75,09	84,06	82,55	73,35	89,68	95,07	97,90	86,35	71,47	68,76	81,69
REE+Y	71,42	78,84	78,17	61,13	83,39	71,36	58,68	61,80	77,67	72,60	63,37	75,39	84,48	84,63	75,15	63,72	59,85	56,89
LREE	71,06	78,35	78,07	60,83	83,32	71,14	58,52	61,56	77,37	72,36	63,31	75,11	82,37	83,78	73,30	27,90	26,52	33,36
HREE+Y	0,36	0,48	0,11	0,29	0,08	0,22	0,16	0,24	0,30	0,23	0,07	0,29	2,11	0,84	1,85	35,82	33,33	23,54
Fórmula calculada com base em 1 cátion. -Em todos os análises o conteúdo de C é equivalente a 1 a.f.u.																		
P	0,037	0,003	0,002	0,023	0,006	0,027	0,045	0,032	0,001	0,021	0,024	0,015	0,011	0,013	0,008	0,000	0,001	0,001
Y	0,002	0,002	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,121	0,127	0,071
Ca	0,006	0,015	0,007	0,010	0,014	0,018	0,018	0,011	0,006	0,012	0,006	0,016	0,027	0,021	0,024	0,045	0,038	0,066
F	0,341	0,413	0,449	0,343	0,317	0,410	0,398	0,292	0,410	0,334	0,178	0,370	0,147	0,418	0,196	0,355	0,470	0,423
La	0,120	0,183	0,148	0,109	0,203	0,133	0,102	0,117	0,163	0,136	0,075	0,122	0,006	0,092	0,009	0,101	0,106	0,045
Ce	0,295	0,362	0,369	0,323	0,335	0,302	0,271	0,305	0,374	0,334	0,393	0,338	0,525	0,389	0,520	0,015	0,016	0,118
Pr	0,018	0,018	0,024	0,019	0,020	0,018	0,017	0,018	0,022	0,022	0,012	0,017	0,004	0,017	0,003	0,020	0,018	0,009
Nd	0,056	0,048	0,079	0,059	0,051	0,055	0,051	0,056	0,067	0,065	0,041	0,055	0,022	0,058	0,022	0,081	0,078	0,039
Sm	0,005	0,004	0,007	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006	0,006	0,007	0,006	0,006	0,009	0,009	0,007	0,015	0,015	0,010
Eu	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,003	0,000	0,003	0,000	0,003	0,003	0,002
Gd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,002	0,008	0,021	0,018	0,013
Tb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000
Dy	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,041	0,038	0,016
Ho	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,008	0,008	0,004
Er	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,022	0,020	0,010
Tm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,003	0,002
Yb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,016	0,007
Lu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,004	0,004	0,002
Th	0,036	0,013	0,010	0,035	0,012	0,034	0,041	0,030	0,010	0,018	0,022	0,022	0,025	0,018	0,029	0,000	0,015	0,029
Total	0,977	1,078	1,114	0,992	0,980	1,060	1,034	0,936	1,077	0,988	0,828	1,027	0,817	1,082	0,865	0,920	1,021	1,037

10.3 QUÍMICA MINERAL PARA OXIFLUORETOS DE ETR

Oxifluoretos de ETR-Fácies PB1c					
	05-l 164_C1 1	05-l 164_C1 2	AZME4b C2 fl 3	AZME4b C2 fl 4	AZME4b C2 fl 5
P ₂ O ₅	0,02	0,01	0,48	1,53	1,08
SiO ₂	6,72	2,44	0,15	0,09	0,25
TiO ₂	8,40	1,21	0,00	0,02	0,00
Al ₂ O ₃	5,05	2,14	0,12	0,15	0,13
Y ₂ O ₃	1,95	1,57	0,22	0,32	0,17
FeO	0,95	0,44	0,23	0,13	0,33
CaO	4,69	6,05	0,69	1,30	1,28
F	7,14	9,07	5,39	5,82	4,96
La ₂ O ₃	9,18	13,32	15,19	19,92	16,36
Ce ₂ O ₃	29,76	40,98	60,25	47,05	55,92
Pr ₂ O ₃	1,64	2,41	2,38	2,82	2,53
Nd ₂ O ₃	6,07	8,85	7,94	8,91	8,49
Sm ₂ O ₃	0,43	0,80	1,25	1,17	1,03
Eu ₂ O ₃	0,37	0,51	0,43	0,59	0,41
Gd ₂ O ₃	0,53	0,71	1,48	0,85	1,44
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy ₂ O ₃	0,22	0,04	0,02	0,00	0,00
Ho ₂ O ₃	0,00	0,00	0,10	0,05	0,03
Er ₂ O ₃	0,28	0,15	0,00	0,00	0,03
Tm ₂ O ₃	0,00	0,05	0,02	0,05	0,08
Yb ₂ O ₃	0,21	0,07	0,00	0,00	0,00
Lu ₂ O ₃	0,16	0,09	0,08	0,00	0,00
ThO ₂	2,71	2,61	3,64	2,67	3,51
F=O ₂	3,01	3,82	2,27	2,45	2,09
Total	84,22	90,30	98,74	91,66	97,55
REE+Y	50,80	69,54	89,36	81,74	86,49
LREE	47,45	66,87	87,45	80,46	84,75
HREE+Y	3,36	2,68	1,90	1,28	1,74
Fórmula calculada com base em 1 cation					
P	0,000	0,000	0,008	0,025	0,018
Si	0,092	0,036	0,003	0,002	0,005
Ti	0,173	0,027	0,000	0,001	0,000
Al	0,081	0,037	0,003	0,003	0,003
Y	0,007	0,006	0,001	0,002	0,001
Fe	0,011	0,005	0,004	0,002	0,005
Ca	0,069	0,095	0,014	0,027	0,027
F	0,309	0,420	0,324	0,353	0,304
La	0,046	0,072	0,107	0,141	0,117
Ce	0,149	0,219	0,420	0,330	0,397
Pr	0,008	0,013	0,017	0,020	0,018
Nd	0,030	0,046	0,054	0,061	0,059
Sm	0,002	0,004	0,008	0,008	0,007
Eu	0,002	0,003	0,003	0,004	0,003
Gd	0,002	0,003	0,009	0,005	0,009
Tb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dy	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Ho	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Er	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
Tm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Yb	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Lu	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Th	0,008	0,009	0,016	0,012	0,015
Total	1	1	1	1	1

10.4 QUÍMICA MINERAL PARA MONAZITAS

	Monazitas-Fácies PB1a								Monazitas-Fácies PB1c			
	AZME12		AZME12		AZME12		ME12_C3		AZME04		AZME04	
	14ACafe_k11	ME12_C7_1	B5D_G12_1	AZME12_B5D_I6_2	B5D_M5_1	B5D_M5_2	ME12_C3_mz_1	ME12_C5_mz_1	AZME12_B5D_J2	D_C2_mz_1	D_C2-3_mz_1	AZME04_D_Cf_mz_1
P ₂ O ₅	24,09	25,35	23,99	20,87	24,22	21,24	24,85	24,34	25,32	25,72	25,06	24,83
SiO ₂	0,99	0,57	0,57	2,56	0,60	3,92	0,45	1,73	0,23	0,22	0,30	0,32
ZrO ₂	0,45	0,68	0,57	1,10	0,59	0,51	0,37	0,51	0,48	0,56	0,79	0,40
Y ₂ O ₃	0,82	0,68	0,08	0,55	0,59	0,97	0,90	0,89	0,18	0,02	0,15	0,12
CaO	1,67	1,24	1,01	0,17	0,00	0,12	1,31	1,25	0,19	0,46	0,55	0,21
F	1,05	1,24	1,35	1,56	1,05	0,92	1,15	1,20	1,06	1,45	1,39	1,48
La ₂ O ₃	10,40	12,03	13,60	10,10	14,53	17,12	14,33	12,91	10,46	9,27	10,55	10,88
Ce ₂ O ₃	30,80	38,19	34,28	29,23	32,99	32,63	34,10	32,23	36,30	36,73	37,43	37,33
Pr ₂ O ₃	2,38	2,46	2,80	2,65	3,26	2,67	3,52	3,42	4,27	4,20	4,17	4,39
Nd ₂ O ₃	9,67	10,24	7,20	9,04	10,99	9,28	12,76	12,20	15,02	15,17	14,54	14,68
Sm ₂ O ₃	1,52	1,61	0,74	0,97	2,00	1,55	1,48	1,29	2,35	2,59	1,98	1,92
Eu ₂ O ₃	0,57	0,52	0,45	0,42	0,77	0,47	0,52	0,49	0,73	0,83	0,66	0,61
Gd ₂ O ₃	1,15	1,04	0,72	0,65	1,32	1,15	1,15	1,26	1,24	1,25	1,18	1,10
Tb ₂ O ₃	0,00	0,05	0,04	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,12	0,08	0,11	0,01
Dy ₂ O ₃	0,15	0,39	0,01	0,00	0,23	0,22	0,00	0,01	0,00	0,21	0,00	0,00
Ho ₂ O ₃	0,13	0,12	0,13	0,07	0,03	0,00	0,00	0,16	0,02	0,10	0,00	0,00
Er ₂ O ₃	0,00	0,11	0,20	0,23	0,03	0,16	0,02	0,09	0,00	0,08	0,00	0,09
Tm ₂ O ₃	0,00	0,10	0,02	0,05	0,04	0,06	0,09	0,03	0,06	0,00	0,00	0,05
Yb ₂ O ₃	0,02	0,06	0,07	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lu ₂ O ₃	0,04	0,05	0,12	0,02	0,14	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
ThO ₂	10,11	5,55	8,08	7,32	4,19	4,18	5,25	5,59	2,03	2,96	3,76	3,71
PbO	0,67	0,33	0,45	0,14	0,03	0,00	0,28	0,32	0,00	0,09	0,11	0,18
F=O ₂	0,44	0,52	0,57	0,66	0,44	0,39	0,48	0,51	0,45	0,61	0,58	0,62
Total	99,73	102,63	96,06	90,36	97,36	97,46	102,33	99,66	99,88	101,63	102,28	102,00
REE+Y	57,65	67,63	60,45	54,27	67,09	66,29	68,87	65,03	70,75	70,51	70,76	71,17
LREE	55,34	65,04	59,07	52,40	64,53	63,72	66,72	62,54	69,12	68,78	69,32	69,80
HREE+Y	2,31	2,59	1,38	1,87	2,56	2,56	2,16	2,49	1,62	1,73	1,45	1,37
Formula estrutural calculada com base em 4 oxigênios												
P	0,873	0,887	0,900	0,821	0,899	0,778	0,881	0,868	0,911	0,913	0,893	0,892
Si	0,042	0,024	0,025	0,119	0,026	0,170	0,019	0,073	0,010	0,009	0,013	0,013
Zr	0,009	0,014	0,012	0,025	0,013	0,011	0,008	0,011	0,010	0,011	0,016	0,008
Y	0,009	0,007	0,001	0,007	0,007	0,011	0,010	0,010	0,002	0,000	0,002	0,001
Ca	0,077	0,055	0,048	0,008	0,000	0,005	0,059	0,056	0,008	0,020	0,025	0,009
F	0,142	0,161	0,189	0,229	0,146	0,125	0,152	0,160	0,143	0,193	0,185	0,198
La	0,164	0,183	0,222	0,173	0,235	0,273	0,221	0,201	0,164	0,143	0,164	0,170
Ce	0,482	0,578	0,556	0,497	0,529	0,517	0,523	0,497	0,565	0,564	0,576	0,580
Pr	0,037	0,037	0,045	0,045	0,052	0,042	0,054	0,053	0,066	0,064	0,064	0,068
Nd	0,148	0,151	0,114	0,150	0,172	0,143	0,191	0,184	0,228	0,227	0,218	0,222
Sm	0,022	0,023	0,011	0,016	0,030	0,023	0,021	0,019	0,034	0,037	0,029	0,028
Eu	0,008	0,007	0,007	0,007	0,011	0,007	0,007	0,007	0,011	0,012	0,010	0,009
Gd	0,017	0,014	0,011	0,010	0,019	0,017	0,016	0,018	0,017	0,017	0,016	0,015
Tb	0,000	0,001	0,001	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,002	0,000
Dy	0,002	0,005	0,000	0,000	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000
Ho	0,002	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000
Er	0,000	0,001	0,003	0,003	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001
Tm	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001
Yb	0,000	0,001	0,001	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Lu	0,001	0,001	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Th	0,098	0,052	0,081	0,077	0,042	0,041	0,050	0,054	0,020	0,028	0,036	0,036
Pb	0,008	0,004	0,005	0,002	0,000	0,000	0,003	0,004	0,000	0,001	0,001	0,002
Total	2,199	2,224	2,239	2,307	2,192	2,201	2,223	2,222	2,201	2,253	2,252	2,261
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

10.5 QUÍMICA MINERAL PARA ALLANITAS

	Allanitas-Fácies PB1a													Allanitas-Fácies PB1c			
	AZME8C-1	AZME8C-2	AZME8C-3	AZME8C-4	AZME8C-5	AZME8C-6	AZME8C-7	AZME14-C-1	AZME14-C-2	AZME14-C-3	AZME14-C-4	ME12-1	05-I-164-1	ME10Dv-1	ME10D-1	ME10D-2	ME10D-3
P ₂ O ₅	0,13	0,04	1,54	1,85	1,47	0,67	1,08	0,00	0,11	0,10	0,02	0,09	0,04	0,00	0,03	0,00	0,01
SiO ₂	30,77	29,12	30,25	28,60	29,89	30,68	33,20	29,49	26,78	27,20	28,66	29,65	27,23	25,68	29,03	33,24	29,60
ZrO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
TiO ₂	1,65	0,52	0,43	0,66	0,29	0,37	0,04	0,37	0,52	0,43	0,86	1,54	2,43	1,98	0,36	0,27	1,30
Al ₂ O ₃	14,93	13,09	18,04	15,68	17,55	17,01	20,29	13,73	8,33	9,88	12,32	13,03	8,49	7,24	10,63	17,63	9,58
Y ₂ O ₃	0,19	0,31	0,07	0,07	0,12	2,47	1,28	1,60	0,78	0,65	0,75	0,37	0,64	0,51	0,02	0,15	0,00
FeO	13,27	14,97	11,28	11,84	10,79	12,16	9,62	15,64	21,04	19,67	16,98	14,18	7,02	17,72	17,85	13,78	19,93
MnO	0,38	0,58	0,41	0,70	0,40	0,79	0,33	0,39	0,47	0,36	0,38	0,13	0,08	1,02	0,32	0,27	0,61
CaO	11,74	10,20	12,30	9,30	12,56	10,47	15,39	11,16	9,17	9,21	10,80	11,23	6,01	7,96	11,57	16,89	12,50
F	0,64	0,18	0,24	0,38	0,18	0,10	0,41	0,22	0,35	0,49	0,30	0,18	2,26	0,28	0,26	0,13	0,15
La ₂ O ₃	4,11	5,54	3,11	3,64	2,53	2,23	1,89	3,66	5,24	4,85	3,79	3,96	5,57	9,38	4,90	1,99	7,18
Ce ₂ O ₃	13,91	17,35	9,98	12,87	8,84	9,80	5,17	13,04	16,26	17,94	14,09	14,81	20,19	16,51	11,96	5,95	14,69
Pr ₂ O ₃	0,86	1,11	0,67	0,82	0,70	0,74	0,29	0,96	1,17	1,24	1,03	0,81	1,09	0,49	0,42	0,29	0,35
Nd ₂ O ₃	2,18	3,95	2,29	3,00	2,41	3,75	1,26	3,75	3,90	4,32	4,02	3,32	4,01	0,80	0,75	0,70	0,59
Sm ₂ O ₃	0,15	0,51	0,32	0,48	0,32	0,82	0,26	0,82	0,64	0,61	0,56	0,49	0,51	0,00	0,05	0,12	0,03
Eu ₂ O ₃	0,14	0,23	0,12	0,10	0,22	0,25	0,28	0,22	0,17	0,27	0,12	0,15	0,18	0,07	0,07	0,03	0,07
Gd ₂ O ₃	0,00	0,00	0,05	0,00	0,04	0,72	0,21	0,38	0,00	0,00	0,21	0,15	0,29	0,00	0,06	0,00	0,00
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	0,34	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ho ₂ O ₃	0,11	0,12	0,06	0,12	0,05	0,24	0,15	0,20	0,00	0,16	0,02	0,00	0,00	0,00	0,16	0,19	0,00
Er ₂ O ₃	0,08	0,10	0,07	0,07	0,00	0,24	0,32	0,19	0,11	0,16	0,17	0,01	0,14	0,10	0,04	0,04	0,15
Tm ₂ O ₃	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,05	0,09	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
Yb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,02	0,05	0,02	0,09	0,17	0,08	0,19	0,07	0,12	0,02	0,00	0,06	0,00	0,03	0,06
Lu ₂ O ₃	0,00	0,08	0,01	0,03	0,00	0,00	0,07	0,06	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00	0,00	0,07
F=O ₂	0,27	0,08	0,10	0,16	0,08	0,04	0,17	0,09	0,15	0,21	0,13	0,08	0,95	0,12	0,11	0,05	0,06
Total	95,42	98,23	91,59	91,62	91,04	95,68	93,85	96,58	95,20	97,63	95,26	94,35	86,70	90,68	88,57	92,17	97,37
REE+Y	21,74	29,29	16,76	21,25	15,23	22,26	11,77	25,16	28,47	30,27	24,87	24,15	32,62	28,02	18,43	9,48	23,18
LREE	21,33	28,70	16,48	20,91	15,01	17,59	9,15	22,45	27,38	29,23	23,60	23,53	31,55	27,25	18,14	9,07	22,91
HREE+Y	0,41	0,60	0,27	0,34	0,23	4,67	2,62	2,71	1,09	1,05	1,27	0,61	1,07	0,76	0,28	0,41	0,28
Fórmula estrutural calculada com base em 12,5 oxigênios																	
P	0,011	0,003	0,127	0,159	0,122	0,055	0,084	0,000	0,010	0,009	0,001	0,008	0,004	0,000	0,002	0,000	0,001
Si	3,030	2,973	2,939	2,916	2,940	2,984	3,035	2,980	2,964	2,927	2,975	3,029	3,264	2,984	3,148	3,114	3,040
Zr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,245	0,079	0,063	0,100	0,043	0,054	0,006	0,056	0,087	0,069	0,134	0,237	0,438	0,346	0,058	0,038	0,200
Al	1,733	1,575	2,065	1,884	2,034	1,949	2,186	1,635	1,087	1,253	1,507	1,568	1,199	0,992	1,358	1,946	1,159
Y	0,005	0,008	0,002	0,002	0,003	0,064	0,031	0,043	0,023	0,019	0,021	0,010	0,020	0,016	0,001	0,004	0,000
Fe	1,093	1,278	0,917	1,009	0,887	0,989	0,735	1,322	1,948	1,770	1,474	1,212	0,704	1,722	1,619	1,080	1,711
Mn	0,031	0,050	0,034	0,060	0,033	0,065	0,026	0,034	0,044	0,033	0,033	0,011	0,008	0,100	0,029	0,022	0,053
Ca	1,239	1,116	1,281	1,016	1,323	1,091	1,508	1,208	1,087	1,061	1,201	1,229	0,772	0,992	1,345	1,695	1,375
F	0,199	0,058	0,074	0,123	0,057	0,030	0,119	0,070	0,122	0,168	0,097	0,058	0,855	0,101	0,091	0,039	0,047
La	0,149	0,209	0,111	0,137	0,092	0,080	0,064	0,136	0,214	0,192	0,145	0,149	0,246	0,402	0,196	0,069	0,272
Ce	0,501	0,648	0,355	0,480	0,318	0,349	0,173	0,482	0,659	0,707	0,536	0,554	0,886	0,703	0,475	0,204	0,552
Pr	0,031	0,041	0,024	0,031	0,025	0,026	0,010	0,035	0,047	0,049	0,039	0,030	0,048	0,021	0,017	0,010	0,013
Nd	0,077	0,144	0,079	0,109	0,085	0,130	0,041	0,135	0,154	0,166	0,149	0,121	0,172	0,033	0,029	0,024	0,022
Sm	0,005	0,018	0,011	0,017	0,011	0,027	0,008	0,028	0,024	0,023	0,020	0,017	0,021	0,000	0,002	0,004	0,001
Eu	0,005	0,008	0,004	0,004	0,007	0,008	0,009	0,008	0,007	0,010	0,004	0,005	0,007	0,003	0,003	0,001	0,002
Gd	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,023	0,006	0,013	0,000	0,000	0,007	0,005	0,011	0,000	0,002	0,000	0,000
Tb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dy	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027	0,010	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ho	0,003	0,004	0,002	0,004	0,002	0,007	0,004	0,006	0,000	0,006	0,001	0,000	0,000	0,000	0,005	0,006	0,000
Er	0,002	0,003	0,002	0,002	0,000	0,007	0,009	0,006	0,004	0,005	0,006	0,000	0,005	0,004	0,001	0,001	0,005
Tm	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Yb	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,005	0,002	0,006	0,002	0,004	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001	0,002
Lu	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002
Total	8,380	8,235	8,111	8,132	8,187	8,026	8,132	8,288	8,499	8,475	8,361	8,259	8,730	8,481	8,394	8,286	8,490

10.6 QUÍMICA MINERAL PARA SS-TORITAS

	Thorite		SS Thorita-Xenotime							
	14AGord os_h7.2	14AGord os_h7.3	AZME12B 5D_A8 1	AZME12B 5D_A8 2	ME10C- 1torita	ME- 10C_of_c 5_2	ME- 10C_of_c 5_3	ME- 10C_of_c 6_3	ME- 10C_of_c 6_4	ME- 10C_of_f orac3
P ₂ O ₅	1,92	0,83	5,45	5,34	0,44	4,14	4,86	3,81	4,27	4,83
Nb ₂ O ₅	1,47	0,00	0,00	0,00	0,48	0,29	0,58	0,11	0,12	0,39
SiO ₂	13,54	11,38	11,26	11,58	12,29	11,23	10,38	12,19	12,86	11,69
ZrO ₂	6,53	0,00	0,97	1,05	0,00	0,76	1,27	0,14	0,09	0,09
TiO ₂	0,00	0,00	0,27	0,07	0,13	0,00	0,21	0,00	0,05	0,00
Al ₂ O ₃	1,08	0,16	0,22	0,25	0,22	0,58	0,58	0,50	0,52	0,37
Y ₂ O ₃	4,96	2,13	7,23	6,91	11,76	12,65	11,96	8,35	4,72	7,44
FeO	4,62	0,55	1,72	1,87	1,49	1,41	1,76	0,68	1,02	1,18
CaO	0,13	0,50	0,94	1,14	0,84	1,98	2,14	1,83	1,86	2,27
La ₂ O ₃	0,10	0,02	0,09	0,14	0,16	0,06	0,10	0,13	0,64	0,24
Ce ₂ O ₃	1,27	0,11	2,51	2,32	8,16	2,35	2,17	2,32	0,48	3,18
Pr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,25	0,17	0,09	0,07	0,17	0,08	0,19	0,34
Nd ₂ O ₃	0,35	0,06	0,99	0,94	0,56	0,43	0,78	0,70	0,87	1,44
Sm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,49	0,52	0,23	0,35	0,36	0,14	0,25	0,43
Eu ₂ O ₃	0,00	0,04	0,07	0,08	0,09	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
Gd ₂ O ₃	0,39	0,15	0,87	0,80	0,53	0,45	0,81	0,44	0,19	0,63
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,17	0,15	0,00	0,09
Dy ₂ O ₃	0,23	0,33	1,22	1,27	1,80	1,28	1,80	1,07	0,34	1,34
Ho ₂ O ₃	0,28	0,25	0,20	0,18	0,68	0,45	0,64	0,13	0,15	0,15
Er ₂ O ₃	0,63	0,20	0,85	0,77	2,23	1,49	1,95	1,16	0,53	1,21
Tm ₂ O ₃	0,08	0,00	0,06	0,13	0,42	0,30	0,31	0,16	0,09	0,11
Yb ₂ O ₃	0,88	0,24	0,56	0,64	3,74	2,63	3,01	1,56	0,47	1,70
Lu ₂ O ₃	0,15	0,00	0,04	0,25	0,67	0,46	0,67	0,32	0,12	0,30
UO ₂	4,81	8,43	1,16	1,09	0,72	0,65	1,12	0,81	1,81	2,54
ThO ₂	53,54	63,61	47,13	46,08	31,64	27,97	39,92	46,14	54,93	43,30
F	1,14	1,46	0,81	0,79	1,43	1,67	1,73	1,67	1,48	1,68
F=O ₂	0,48	0,62	0,34	0,33	0,60	0,70	0,73	0,70	0,62	0,71
Total	97,65	89,84	85,15	84,29	80,49	73,25	88,96	83,98	87,58	86,26
REE+Y	9,33	3,52	15,42	15,11	31,10	23,03	24,89	16,73	9,06	18,59
LREE	1,72	0,23	4,41	4,17	9,30	3,24	3,59	3,39	2,44	5,63
HREE+Y	7,60	3,29	11,02	10,95	21,81	19,78	21,30	13,34	6,62	12,96
Formula estrutural calculada com base em 16 oxigênios										
P	0,334	0,185	1,050	1,031	0,095	0,863	0,905	0,755	0,818	0,926
Nb	0,137	0,000	0,000	0,000	0,055	0,033	0,057	0,011	0,012	0,040
Si	2,787	2,990	2,564	2,642	3,125	2,765	2,282	2,851	2,911	2,646
Zr	0,655	0,000	0,108	0,117	0,000	0,091	0,136	0,016	0,010	0,010
Ti	0,000	0,000	0,093	0,025	0,049	0,000	0,070	0,000	0,015	0,000
Al	0,261	0,051	0,060	0,067	0,065	0,169	0,151	0,139	0,139	0,099
Y	0,271	0,149	0,438	0,420	0,795	0,829	0,700	0,519	0,284	0,448
Fe	0,796	0,122	0,328	0,356	0,316	0,290	0,324	0,132	0,192	0,224
Ca	0,028	0,142	0,229	0,279	0,228	0,522	0,503	0,460	0,451	0,551
La	0,008	0,002	0,007	0,012	0,015	0,005	0,008	0,011	0,054	0,020
Ce	0,096	0,010	0,210	0,194	0,759	0,211	0,175	0,199	0,040	0,263
Pr	0,000	0,000	0,021	0,014	0,009	0,006	0,014	0,007	0,016	0,028
Nd	0,025	0,006	0,081	0,077	0,051	0,037	0,061	0,058	0,070	0,116
Sm	0,000	0,000	0,038	0,041	0,020	0,029	0,028	0,012	0,020	0,033
Eu	0,000	0,003	0,006	0,006	0,008	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Gd	0,027	0,013	0,066	0,060	0,044	0,036	0,059	0,034	0,014	0,047
Tb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,012	0,012	0,000	0,007
Dy	0,015	0,028	0,089	0,093	0,147	0,102	0,128	0,081	0,025	0,098
Ho	0,018	0,021	0,014	0,013	0,055	0,036	0,045	0,010	0,011	0,011
Er	0,041	0,017	0,061	0,055	0,178	0,115	0,135	0,085	0,038	0,086
Tm	0,005	0,000	0,004	0,009	0,033	0,023	0,021	0,012	0,006	0,008
Yb	0,055	0,019	0,039	0,045	0,290	0,198	0,202	0,111	0,033	0,117
Lu	0,009	0,000	0,002	0,017	0,051	0,034	0,044	0,022	0,008	0,021
U	0,220	0,493	0,059	0,055	0,041	0,036	0,055	0,042	0,091	0,128
Th	2,507	3,803	2,443	2,393	1,830	1,567	1,997	2,456	2,829	2,231
Total	8,301	8,055	8,026	8,039	8,323	8,028	8,134	8,050	8,110	8,163
Thor	65,709	94,434	62,342	60,902	44,968	39,919	50,458	62,074	72,005	57,793
Xen	8,049	4,590	26,162	25,649	2,291	21,506	22,263	18,765	20,168	22,694
Total	73,758	99,024	88,504	86,551	47,259	61,425	72,721	80,839	92,172	80,487

Caracterização Mineralógica, Geoquímica e Potencial Econômico de Ocorrências De Terras Raras do Maciço Granítico Serra do Mendes, Goiás.

CONTINUAÇÃO- SS TORITAS

SS Thorita-Xenotima												
ME-10C_of_f	AZME-8-C_C1.6pe	AZME-8-C_C1.6pe	AZME-4-A_C	AZME-4-A_C	AZME-4-A_C	AZME-09A-C1.3.02	AZME-09A-C5.2	AZME7D-C4 1.1	AZME7D-C4 1.2	AZME4A-C7 1.1	AZME4A-C7 1.2	
orac3_rto	rto	rto	af.pertoC	af.pertoC	af.pertoC							
P ₂ O ₅	4,52	3,25	2,71	8,70	8,13	6,98	5,60	5,03	2,87	2,90	5,53	8,86
Nb ₂ O ₅	0,33	0,00	0,00	0,15	0,14	0,27	0,00	0,09	0,00	0,00	0,61	0,61
SiO ₂	11,01	16,10	13,35	10,44	9,08	10,18	13,44	13,50	14,67	12,99	7,67	9,31
ZrO ₂	0,07	5,59	0,91	8,02	5,41	1,51	0,16	0,00	2,61	0,39	4,02	6,04
TiO ₂	0,00	0,45	0,18	0,23	0,06	0,06	0,00	0,12	0,17	0,08	0,00	0,40
Al ₂ O ₃	0,44	1,93	0,68	3,92	2,71	1,84	0,94	0,96	0,45	0,29	2,02	4,18
Y ₂ O ₃	7,38	6,80	6,57	5,45	5,70	6,50	11,09	9,74	8,03	8,16	7,95	5,74
FeO	0,41	2,46	0,59	1,25	0,54	2,05	2,73	4,39	1,20	0,47	0,92	0,83
CaO	1,96	0,62	1,32	0,46	0,54	0,12	0,00	0,53	0,67	0,69	0,14	0,00
La ₂ O ₃	0,29	0,28	0,33	0,00	0,00	0,00	0,23	0,11	0,15	0,11	0,00	0,09
Ce ₂ O ₃	1,67	5,28	5,45	0,95	0,29	0,42	7,76	2,94	2,37	2,47	0,49	0,77
Pr ₂ O ₃	0,25	0,29	0,27	0,02	0,00	0,08	0,18	0,13	0,09	0,14	0,00	0,00
Nd ₂ O ₃	0,90	1,93	1,69	0,15	0,10	0,12	1,04	0,79	0,86	0,94	0,01	0,09
Sm ₂ O ₃	0,40	0,84	0,77	0,20	0,09	0,07	0,40	0,26	0,40	0,40	0,14	0,08
Eu ₂ O ₃	0,00	0,05	0,11	0,00	0,02	0,04	0,05	0,02	0,06	0,08	0,03	0,00
Gd ₂ O ₃	0,54	1,18	1,28	0,29	0,18	0,29	1,26	0,87	0,87	1,06	0,24	0,23
Tb ₂ O ₃	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy ₂ O ₃	1,05	1,13	1,25	0,94	1,03	1,08	1,50	1,77	1,40	1,65	1,40	0,78
Ho ₂ O ₃	0,48	0,00	0,02	0,00	0,33	0,61	0,27	0,44	0,44	0,35	0,30	0,28
Er ₂ O ₃	1,07	0,52	0,52	0,80	1,07	1,10	1,02	0,84	0,81	0,90	1,18	0,85
Tm ₂ O ₃	0,19	0,00	0,17	0,13	0,11	0,16	0,09	0,16	0,03	0,19	0,13	0,11
Yb ₂ O ₃	1,60	0,30	0,27	1,15	1,38	1,13	0,59	0,68	0,65	0,76	1,50	1,08
Lu ₂ O ₃	0,31	0,09	0,14	0,19	0,31	0,20	0,12	0,11	0,25	0,28	0,30	0,22
UO ₂	1,40	3,62	5,70	2,31	1,80	1,46	0,69	0,61	1,64	2,60	0,98	1,05
ThO ₂	48,42	37,91	38,14	43,36	43,20	48,03	40,54	42,85	47,15	48,84	38,78	36,17
F	1,93	0,96	1,12	1,83	1,63	1,79	1,00	1,21	1,96	2,66	1,52	1,62
F=O ₂	0,81	0,40	0,47	0,77	0,69	0,75	0,42	0,51	0,82	1,12	0,64	0,68
Total	85,98	91,23	83,14	90,28	83,14	85,38	90,29	88,07	88,97	88,42	75,38	79,21
REE+Y	16,25	18,68	18,84	10,28	10,60	11,81	25,59	18,86	16,41	17,48	13,66	10,32
LREE	3,51	8,66	8,62	1,33	0,50	0,72	9,66	4,25	3,93	4,14	0,67	1,02
HREE+Y	12,74	10,01	10,21	8,95	10,09	11,08	15,94	14,61	12,48	13,34	12,99	9,29
Formula estrutural calculada com base em 16 oxigênios												
P	0,898	0,537	0,537	1,409	1,487	1,307	0,972	0,893	0,529	0,569	1,181	1,566
Nb	0,035	0,000	0,000	0,013	0,014	0,027	0,000	0,008	0,000	0,000	0,069	0,058
Si	2,580	3,144	3,126	1,997	1,963	2,251	2,756	2,830	3,190	3,012	1,936	1,942
Zr	0,007	0,532	0,104	0,748	0,570	0,162	0,016	0,000	0,277	0,044	0,494	0,614
Ti	0,000	0,131	0,063	0,065	0,018	0,020	0,000	0,036	0,055	0,027	0,000	0,127
Al	0,122	0,444	0,188	0,883	0,690	0,480	0,227	0,236	0,115	0,078	0,602	1,029
Y	0,460	0,353	0,409	0,277	0,328	0,383	0,605	0,543	0,464	0,503	0,534	0,319
Fe	0,081	0,401	0,116	0,201	0,097	0,379	0,468	0,770	0,218	0,091	0,193	0,146
Ca	0,493	0,130	0,331	0,095	0,124	0,028	0,000	0,120	0,157	0,171	0,039	0,000
La	0,025	0,020	0,029	0,000	0,000	0,000	0,017	0,008	0,012	0,009	0,000	0,007
Ce	0,143	0,378	0,467	0,067	0,023	0,034	0,582	0,226	0,189	0,210	0,045	0,059
Pr	0,021	0,021	0,023	0,001	0,000	0,006	0,014	0,010	0,007	0,012	0,000	0,000
Nd	0,075	0,135	0,141	0,011	0,008	0,009	0,076	0,059	0,067	0,078	0,001	0,006
Sm	0,032	0,056	0,062	0,013	0,007	0,005	0,028	0,019	0,030	0,032	0,012	0,006
Eu	0,000	0,003	0,009	0,000	0,002	0,003	0,003	0,001	0,004	0,006	0,002	0,000
Gd	0,042	0,076	0,099	0,018	0,013	0,021	0,086	0,061	0,063	0,081	0,020	0,016
Tb	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dy	0,079	0,071	0,094	0,058	0,072	0,077	0,099	0,119	0,098	0,123	0,113	0,053
Ho	0,036	0,000	0,001	0,000	0,022	0,043	0,018	0,030	0,030	0,026	0,024	0,019
Er	0,078	0,032	0,038	0,048	0,073	0,076	0,066	0,055	0,055	0,065	0,094	0,056
Tm	0,014	0,000	0,013	0,008	0,007	0,011	0,006	0,010	0,002	0,014	0,010	0,007
Yb	0,114	0,018	0,019	0,067	0,091	0,076	0,037	0,043	0,043	0,054	0,116	0,069
Lu	0,022	0,006	0,010	0,011	0,020	0,013	0,007	0,007	0,016	0,020	0,023	0,014
U	0,073	0,157	0,297	0,098	0,086	0,072	0,031	0,029	0,079	0,134	0,055	0,049
Th	2,582	1,685	2,032	1,887	2,124	2,416	1,891	2,045	2,333	2,578	2,227	1,718
Total	8,030	8,344	8,222	7,989	7,837	7,904	8,008	8,187	8,034	7,968	7,828	7,913
Thor	66,140	44,150	56,643	49,698	56,408	62,959	48,007	50,654	60,050	68,070	58,292	44,662
Xen	22,358	12,881	13,063	35,280	37,946	33,071	24,270	21,812	13,160	14,293	30,179	39,580
Total	88,498	57,031	69,707	84,979	94,353	96,030	72,276	72,466	73,210	82,363	88,471	84,242

Caracterização Mineralógica, Geoquímica e Potencial Econômico de Ocorrências De Terras Raras do Maciço Granítico Serra do Mendes, Goiás.

CONTINUAÇÃO- SS TORITAS

SS Thorita-zircon										
	ME- 10C_of_c 2_3	AZME-4- A_C5- embaixo.0	AZME-4- A_C5- embaixo.0	AZME-4- A_C5- encima.01	AZME-4- A_C af.pertoC	AZME-4- A_C3fora .02	AZME-4- A_C3fora .03	AZME- 09A- C4.1.02	ME8_C1 2	AZME4A_ C7 2
P ₂ O ₅	0,65	7,45	7,58	6,82	6,97	6,33	7,09	1,95	4,73	6,40
Nb ₂ O ₅	0,57	0,82	1,15	0,63	1,24	0,83	1,04	0,70	0,32	0,62
SiO ₂	14,63	14,47	14,43	14,71	12,26	16,10	13,79	22,00	28,81	13,39
ZrO ₂	2,51	21,92	20,31	20,18	13,13	26,59	22,32	29,54	8,86	22,98
TiO ₂	0,12	0,17	0,23	0,50	0,00	0,23	0,25	0,27	0,03	0,21
Al ₂ O ₃	1,09	4,46	4,64	4,49	3,35	3,62	4,60	3,85	1,00	2,84
Y ₂ O ₃	10,49	6,29	6,79	7,21	9,68	6,21	6,17	6,43	12,38	6,49
FeO	1,76	0,84	0,70	0,53	0,42	0,84	0,55	2,03	0,18	3,18
CaO	0,91	0,43	0,11	0,23	0,00	0,07	0,00	0,51	0,43	0,31
La ₂ O ₃	0,07	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,05	0,08	0,00
Ce ₂ O ₃	3,50	0,37	0,36	0,33	0,38	0,26	0,25	2,14	1,87	0,20
Pr ₂ O ₃	0,10	0,02	0,01	0,00	0,06	0,02	0,01	0,13	0,08	0,00
Nd ₂ O ₃	0,44	0,05	0,08	0,02	0,06	0,01	0,05	0,62	0,14	0,06
Sm ₂ O ₃	0,22	0,09	0,00	0,17	0,02	0,09	0,00	0,32	0,08	0,01
Eu ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
Gd ₂ O ₃	0,47	0,18	0,04	0,14	0,21	0,10	0,08	0,52	0,50	0,07
Tb ₂ O ₃	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy ₂ O ₃	1,34	0,97	0,88	1,07	0,89	0,92	0,72	0,61	1,88	0,38
Ho ₂ O ₃	0,43	0,37	0,38	0,43	0,59	0,26	0,28	0,08	0,47	0,17
Er ₂ O ₃	1,64	1,45	1,09	1,39	1,32	1,10	0,89	0,62	2,29	0,41
Tm ₂ O ₃	0,31	0,27	0,29	0,22	0,19	0,13	0,13	0,10	0,38	0,09
Yb ₂ O ₃	2,80	1,77	1,85	2,35	1,48	1,87	1,42	0,56	3,32	0,86
Lu ₂ O ₃	0,59	0,33	0,27	0,47	0,18	0,24	0,17	0,08	0,53	0,19
UO ₂	0,65	2,04	3,85	2,05	1,76	1,18	1,07	0,53	1,11	0,49
ThO ₂	32,77	17,92	21,70	20,16	25,00	11,99	14,52	9,16	19,07	11,59
F	1,06	1,22	1,00	1,46	1,94	1,64	1,35	0,95	4,22	1,29
F=O ₂	0,45	0,51	0,42	0,62	0,82	0,69	0,57	0,40	1,78	0,54
Total	78,86	83,60	87,38	85,15	80,33	80,18	76,23	83,76	92,31	72,56
REE+Y	22,49	12,16	12,03	13,80	15,05	11,30	10,18	12,25	24,00	8,92
LREE	4,32	0,53	0,45	0,52	0,53	0,47	0,33	3,25	2,24	0,27
HREE	18,17	11,63	11,58	13,28	14,53	10,83	9,85	9,00	21,76	8,65
Formula estrutural calculada com base em 16 oxigênios										
P	0,130	1,081	1,082	0,996	1,149	0,917	1,086	0,265	0,613	1,031
Nb	0,061	0,063	0,088	0,049	0,109	0,064	0,085	0,051	0,022	0,053
Si	3,448	2,481	2,436	2,539	2,385	2,757	2,495	3,522	4,409	2,547
Zr	0,288	1,832	1,672	1,698	1,246	2,221	1,969	2,306	0,661	2,131
Ti	0,044	0,044	0,057	0,129	0,000	0,060	0,068	0,064	0,008	0,059
Al	0,303	0,901	0,924	0,913	0,768	0,730	0,980	0,726	0,180	0,637
Y	0,658	0,287	0,305	0,331	0,501	0,283	0,297	0,274	0,504	0,328
Fe	0,348	0,120	0,099	0,077	0,069	0,121	0,083	0,272	0,022	0,506
Ca	0,230	0,079	0,020	0,042	0,000	0,012	0,000	0,087	0,071	0,063
La	0,006	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,003	0,005	0,000
Ce	0,302	0,023	0,022	0,021	0,027	0,016	0,016	0,125	0,104	0,014
Pr	0,008	0,001	0,000	0,000	0,004	0,001	0,001	0,007	0,004	0,000
Nd	0,037	0,003	0,005	0,001	0,004	0,001	0,003	0,035	0,008	0,004
Sm	0,018	0,005	0,000	0,010	0,001	0,005	0,000	0,017	0,004	0,001
Eu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
Gd	0,036	0,010	0,002	0,008	0,014	0,006	0,005	0,027	0,025	0,004
Tb	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dy	0,101	0,054	0,048	0,059	0,056	0,051	0,042	0,031	0,093	0,023
Ho	0,032	0,020	0,021	0,024	0,037	0,014	0,016	0,004	0,023	0,010
Er	0,121	0,078	0,058	0,076	0,080	0,059	0,050	0,031	0,110	0,024
Tm	0,023	0,014	0,015	0,012	0,012	0,007	0,007	0,005	0,018	0,006
Yb	0,201	0,093	0,095	0,124	0,088	0,098	0,078	0,027	0,155	0,050
Lu	0,042	0,017	0,014	0,024	0,010	0,013	0,009	0,004	0,025	0,011
U	0,034	0,078	0,145	0,079	0,076	0,045	0,043	0,019	0,038	0,021
Th	1,758	0,699	0,833	0,792	1,107	0,467	0,598	0,334	0,664	0,502
Total	8,256	8,002	7,952	8,025	7,746	7,965	7,941	8,263	7,884	8,080
Thor	43,402	19,418	24,597	21,691	30,556	12,855	16,142	8,534	17,803	12,940
Zircon	6,986	45,796	42,039	42,319	32,173	55,759	49,583	55,812	16,779	52,761
Total	53,530	92,232	93,854	88,823	92,383	91,649	93,077	70,751	50,126	91,231

10.7 QUÍMICA MINERAL PARA ZIRCÃO

Zircões com ETR-Fácies PB1c													
	ME- 10C_of_c 6_1	ME- 10C_of_c 6_2	ME- 10C_of_c 10C_of_c	ME- 08nova_z irc	AZME-8- C_C3.2.0 9	AZME-4- A_C2.2.0 6	AZME-4- A_C4- C5.05	AZME-4- A_embaix o.10	AZME-4- A_embaix o2.01	AZME-4- A_embaix o3canto2.	AZME-4- A_C5- embaixo.0	AZME-4- A_C3fora 06	AZME-4- A_C af.pertoC
P ₂ O ₅	0,18	0,47	2,18	0,56	0,09	0,15	1,15	0,15	1,93	1,08	1,13	0,42	4,11
SiO ₂	29,37	28,75	22,26	32,54	27,17	30,13	28,57	28,32	27,13	26,63	24,96	26,30	21,37
ZrO ₂	56,78	54,45	36,48	40,49	45,97	58,92	50,95	57,02	48,72	53,46	49,49	47,74	40,17
Al ₂ O ₃	0,08	0,74	1,72	1,02	2,33	0,14	2,11	0,60	1,35	0,86	2,48	0,59	2,59
Y ₂ O ₃	0,39	2,55	6,31	1,74	4,23	0,00	1,05	0,39	1,55	1,02	0,67	1,65	3,69
FeO	0,44	0,29	0,68	0,16	1,79	0,36	1,73	1,15	0,41	0,50	1,11	2,31	1,00
CaO	1,09	1,05	1,56	3,74	0,26	0,15	0,00	0,61	0,00	0,19	0,63	0,35	0,03
Hf	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,09	0,21	0,87	5,08	0,49	0,10	0,77	1,08	0,19	0,65	1,11	1,08	0,85
La ₂ O ₃	0,06	0,00	0,00	0,04	0,27	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02
Ce ₂ O ₃	0,39	0,62	7,64	7,85	1,47	0,30	0,20	0,19	0,15	0,20	0,66	0,17	0,06
Pr ₂ O ₃	0,00	0,02	0,02	0,05	0,10	0,06	0,00	0,03	0,05	0,05	0,11	0,00	0,07
Nd ₂ O ₃	0,08	0,21	0,31	0,47	0,57	0,29	0,05	0,04	0,03	0,10	0,21	0,05	0,00
Sm ₂ O ₃	0,09	0,09	0,30	0,29	0,26	0,09	0,00	0,00	0,00	0,06	0,09	0,03	0,08
Eu ₂ O ₃	0,00	0,00	0,04	0,00	0,06	0,00	0,01	0,01	0,04	0,01	0,00	0,03	0,00
Gd ₂ O ₃	0,00	0,09	0,25	0,49	0,45	0,22	0,00	0,06	0,06	0,08	0,02	0,11	0,06
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,04	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy ₂ O ₃	0,00	0,15	0,61	0,73	0,78	0,41	0,00	0,39	0,00	0,00	0,07	0,08	0,26
Ho ₂ O ₃	0,01	0,17	0,20	0,05	0,07	0,03	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15
Er ₂ O ₃	0,21	0,51	1,36	0,60	0,52	0,24	0,23	0,54	0,19	0,29	0,13	0,40	0,70
Tm ₂ O ₃	0,03	0,03	0,29	0,11	0,01	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	0,09	0,06
Yb ₂ O ₃	0,54	0,98	2,86	0,81	0,37	0,40	0,38	1,02	0,30	0,54	0,36	0,55	0,98
Lu ₂ O ₃	0,15	0,18	0,57	0,21	0,05	0,07	0,04	0,05	0,03	0,12	0,00	0,09	0,17
UO ₂	0,40	0,42	0,45	0,85	0,25	1,25	0,22	0,83	0,27	0,30	0,40	0,19	0,37
ThO ₂	0,39	0,92	3,95	3,32	0,51	3,15	3,04	3,50	3,24	2,02	1,27	2,44	9,04
PbO	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,22	0,00	0,32	0,00	0,00	0,09	0,01
F=O ₂	0,04	0,09	0,37	2,14	0,20	0,04	0,32	0,45	0,08	0,27	0,47	0,45	0,36
Total	91,51	93,63	91,58	99,97	89,13	97,67	91,51	97,17	86,99	89,58	86,22	85,24	87,15
H ₂ O	8,49	6,37	8,42	0,03	10,87	2,33	8,49	2,83	13,01	10,42	13,78	14,76	12,85
REE+Y	1,94	5,59	20,79	13,52	9,22	2,12	1,97	2,96	2,48	2,45	2,31	3,25	6,29
LREE	0,61	0,94	8,31	8,70	2,74	0,74	0,26	0,28	0,29	0,41	1,07	0,30	0,23
HREE+Y	1,33	4,65	12,48	4,82	6,48	1,38	1,72	2,68	2,18	2,04	1,24	2,96	6,05
Fórmula calculada com base em 4 oxigênios													
P	0,005	0,013	0,070	0,016	0,003	0,004	0,033	0,004	0,058	0,032	0,035	0,013	0,131
Si	0,993	0,965	0,843	1,068	0,965	0,981	0,966	0,944	0,960	0,934	0,904	0,977	0,803
Zr	0,936	0,891	0,674	0,648	0,796	0,935	0,840	0,927	0,841	0,914	0,874	0,865	0,736
Al	0,003	0,029	0,077	0,039	0,097	0,005	0,084	0,023	0,056	0,036	0,106	0,026	0,115
Y	0,003	0,023	0,064	0,015	0,040	0,000	0,009	0,003	0,015	0,009	0,006	0,016	0,037
Fe	0,013	0,008	0,022	0,004	0,053	0,010	0,049	0,032	0,012	0,015	0,034	0,072	0,032
Ca	0,039	0,038	0,063	0,132	0,010	0,005	0,000	0,022	0,000	0,007	0,024	0,014	0,001
Hf	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
F	0,009	0,022	0,105	0,527	0,054	0,010	0,082	0,114	0,021	0,072	0,127	0,126	0,101
La	0,001	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ce	0,005	0,008	0,106	0,094	0,019	0,004	0,002	0,002	0,002	0,003	0,009	0,002	0,001
Pr	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001
Nd	0,001	0,003	0,004	0,006	0,007	0,003	0,001	0,000	0,000	0,001	0,003	0,001	0,000
Sm	0,001	0,001	0,004	0,003	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
Eu	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Gd	0,000	0,001	0,003	0,005	0,005	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001
Tb	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dy	0,000	0,002	0,007	0,008	0,009	0,004	0,000	0,004	0,000	0,000	0,001	0,001	0,003
Ho	0,000	0,002	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
Er	0,002	0,005	0,016	0,006	0,006	0,002	0,002	0,006	0,002	0,003	0,002	0,005	0,008
Tm	0,000	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001
Yb	0,006	0,010	0,033	0,008	0,004	0,004	0,004	0,010	0,003	0,006	0,004	0,006	0,011
Lu	0,002	0,002	0,006	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002
U	0,003	0,003	0,004	0,006	0,002	0,009	0,002	0,006	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003
Th	0,003	0,007	0,034	0,025	0,004	0,023	0,023	0,027	0,026	0,016	0,010	0,021	0,077
Pb	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000
Total	2,048	2,057	2,171	2,638	2,115	2,030	2,126	2,167	2,026	2,097	2,197	2,179	2,112
Si+P	49	48	42	41	46	49	47	44	50	46	43	45	44
Zr+ETR+U+Th	47	45	41	31	41	49	41	46	44	45	41	42	40

CONTINUAÇÃO-ZIRCÃO

Zircões com ETR-Fácies PB1c												
	AZME- 04D- C5.1.03	AZME- 04D- C5.1.05	AZME- 04D- C5.2.07	AZME- 04B-C1- C2.01	AZME- 04B- C4fora.1	AZME- 04B- C4fora.2	AZME- 04B- C4foraizq	AZME- 04B-C5.1	AZME- 04B-C3.1	ME10C_C 3 2	AZME4A_ C6 2	AZME4A_ C2 1
P ₂ O ₅	0,38	0,20	0,35	1,57	0,49	0,78	0,56	0,10	0,27	0,12	0,80	0,61
SiO ₂	29,89	19,64	26,60	24,65	23,62	27,79	24,66	31,26	28,02	26,02	28,44	24,95
ZrO ₂	42,37	36,55	54,01	50,71	47,88	57,78	45,21	61,68	54,89	48,17	57,65	48,85
Al ₂ O ₃	1,17	0,77	1,42	0,82	1,08	0,88	1,04	0,13	0,09	0,90	0,77	1,00
Y ₂ O ₃	1,71	0,77	0,53	0,93	1,19	0,56	1,48	0,22	0,00	6,25	1,10	2,89
FeO	0,22	1,02	1,53	0,36	0,33	0,51	0,47	0,01	0,46	0,58	0,86	0,70
CaO	0,36	0,78	1,12	0,53	1,17	0,24	1,19	0,16	0,82	0,79	0,57	0,24
Hf	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,05	2,24	1,53
F	2,20	1,79	1,71	0,70	0,87	0,28	0,59	0,00	0,17	0,41	0,51	0,91
La ₂ O ₃	0,03	0,02	0,06	0,00	0,04	0,01	0,01	0,02	0,09	0,07	0,00	0,04
Ce ₂ O ₃	0,56	0,43	0,38	5,99	0,07	1,78	0,32	1,95	2,25	1,27	0,23	0,56
Pr ₂ O ₃	0,02	0,05	0,00	0,08	0,00	0,05	0,02	0,02	0,08	0,05	0,04	0,10
Nd ₂ O ₃	0,25	0,32	0,07	0,61	0,09	0,33	0,17	0,16	0,61	0,14	0,10	0,38
Sm ₂ O ₃	0,11	0,09	0,00	0,15	0,02	0,01	0,00	0,09	0,21	0,02	0,15	0,10
Eu ₂ O ₃	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03
Gd ₂ O ₃	0,24	0,17	0,13	0,15	0,09	0,12	0,00	0,04	0,14	0,20	0,13	0,25
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy ₂ O ₃	0,27	0,03	0,25	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,58	0,19	0,22
Ho ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,06	0,19	0,17	0,03
Er ₂ O ₃	0,31	0,21	0,31	0,15	0,34	0,07	0,20	0,10	0,29	1,09	0,32	0,36
Tm ₂ O ₃	0,06	0,00	0,00	0,00	0,07	0,02	0,01	0,00	0,00	0,24	0,03	0,03
Yb ₂ O ₃	0,43	0,28	0,43	0,40	0,66	0,33	0,52	0,14	0,34	2,64	0,49	0,85
Lu ₂ O ₃	0,04	0,09	0,09	0,00	0,16	0,00	0,09	0,00	0,00	0,45	0,14	0,04
UO ₂	1,00	0,61	0,94	0,13	2,11	0,28	0,63	0,12	0,86	0,23	0,26	1,48
ThO ₂	5,10	3,63	3,60	4,11	1,06	3,23	2,95	0,91	2,93	0,43	3,48	3,60
PbO	0,50	0,99	0,55	0,56	3,23	1,25	1,20	0,22	1,44	0,00	0,03	0,00
F=O ₂	0,93	0,75	0,72	0,29	0,37	0,12	0,25	0,00	0,07	0,17	0,21	0,38
Total	87,04	91,72	94,52	93,58	85,64	97,61	82,66	98,05	94,96	94,06	100,02	90,43
H ₂ O	12,96	8,28	5,48	6,42	14,36	2,39	17,34	1,95	5,04	5,94	0,00	9,57
REE+Y	4,07	2,45	2,26	8,44	2,79	3,27	2,81	2,76	4,07	13,21	3,10	5,88
LREE	1,03	0,90	0,52	6,82	0,21	2,18	0,52	2,25	3,24	1,56	0,53	1,20
HREE+Y	3,04	1,55	1,74	1,62	2,58	1,09	2,30	0,51	0,83	11,65	2,56	4,67
Fórmula calculada com base em 4 oxigênios												
P	0,012	0,006	0,010	0,047	0,016	0,022	0,018	0,003	0,008	0,004	0,022	0,019
Si	1,082	0,670	0,917	0,875	0,913	0,919	0,953	0,992	0,961	0,917	0,919	0,913
Zr	0,748	0,608	0,907	0,878	0,902	0,931	0,852	0,954	0,918	0,828	0,908	0,872
Al	0,050	0,031	0,058	0,034	0,049	0,034	0,047	0,005	0,004	0,037	0,029	0,043
Y	0,016	0,007	0,005	0,009	0,012	0,005	0,015	0,002	0,000	0,059	0,009	0,028
Fe	0,007	0,029	0,044	0,011	0,011	0,014	0,015	0,000	0,013	0,017	0,023	0,022
Ca	0,014	0,029	0,041	0,020	0,048	0,008	0,049	0,005	0,030	0,030	0,020	0,009
Hf	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	0,021	0,016
F	0,252	0,193	0,186	0,078	0,106	0,029	0,072	0,000	0,019	0,045	0,052	0,105
La	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
Ce	0,007	0,005	0,005	0,078	0,001	0,021	0,005	0,023	0,028	0,016	0,003	0,008
Pr	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
Nd	0,003	0,004	0,001	0,008	0,001	0,004	0,002	0,002	0,007	0,002	0,001	0,005
Sm	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,002	0,001
Eu	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Gd	0,003	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	0,002	0,001	0,003
Tb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dy	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,002	0,003
Ho	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,002	0,000
Er	0,003	0,002	0,003	0,002	0,004	0,001	0,002	0,001	0,003	0,012	0,003	0,004
Tm	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000
Yb	0,005	0,003	0,005	0,004	0,008	0,003	0,006	0,001	0,004	0,028	0,005	0,010
Lu	0,000	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,005	0,001	0,000
U	0,008	0,005	0,007	0,001	0,018	0,002	0,005	0,001	0,007	0,002	0,002	0,012
Th	0,042	0,028	0,028	0,033	0,009	0,024	0,026	0,007	0,023	0,003	0,026	0,030
Pb	0,005	0,009	0,005	0,005	0,034	0,011	0,013	0,002	0,013	0,000	0,000	0,000
Total	2,275	2,800	2,260	2,124	2,179	2,067	2,121	2,011	2,066	2,076	2,097	2,132
Si+P	48	24	41	43	43	45	46	49	47	44	45	44
Zr+ETR+U+Th	37	24	43	48	45	48	43	49	49	44	46	45

CONTINUAÇÃO-ZIRCÃO

Zircão puro-Fácies PB1a														
AZME-8- C_C1.2	AZME-8- C_C1.2.1	AZME-8- C_C3.1.0 4	AZME-4- A_C2.2.0 4	AZME-4- A_embraix o.03	AZME-4- A_embraix o2.02	AZME- 14C- C8.1.03	AZME- 14C- C1.1.04	AZME- 14C- C4.2.02	AZME- 09A- C2.1.01	AZME- 09A- C2.3fora.	AZME- 09A- C5.3.07	AZME- 04D- C5.1.08	AZME- 04D- C3foraizq	
P ₂ O ₅	0,06	0,15	0,07	0,15	0,20	0,14	0,34	0,55	0,24	0,13	0,50	0,13	0,13	0,26
SiO ₂	33,22	33,25	33,60	28,39	32,54	32,73	31,45	31,30	31,84	32,31	29,37	32,31	30,88	28,33
ZrO ₂	65,41	64,61	63,93	55,53	61,23	62,41	64,16	62,02	63,31	64,77	56,83	60,95	61,44	57,12
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,02	0,36	0,03	0,00	0,00	0,03	0,02	0,04	0,42	0,00	0,01	0,21
Y ₂ O ₃	0,08	0,00	0,09	0,26	0,01	0,08	0,59	0,57	0,07	0,00	1,47	0,35	0,97	0,29
FeO	0,34	0,30	0,18	1,28	0,10	0,09	0,20	0,47	0,11	0,03	0,35	0,17	0,20	0,37
CaO	0,14	0,00	0,26	0,67	0,00	0,05	0,32	0,00	0,00	0,00	0,01	0,32	0,36	2,69
Hf	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,38	2,36
La ₂ O ₃	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00
Ce ₂ O ₃	0,03	0,11	0,01	0,07	0,07	0,03	0,03	0,04	0,04	0,00	0,13	0,03	0,04	0,23
Pr ₂ O ₃	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
Nd ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,14
Sm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,09	0,11	0,00	0,06
Eu ₂ O ₃	0,00	0,00	0,06	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00
Gd ₂ O ₃	0,09	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,06	0,00	0,01	0,01
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy ₂ O ₃	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ho ₂ O ₃	0,12	0,07	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,04	0,00
Er ₂ O ₃	0,00	0,03	0,06	0,07	0,07	0,03	0,09	0,06	0,08	0,00	0,09	0,02	0,13	0,09
Tm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00
Yb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,03	0,21	0,00	0,05	0,08	0,00	0,08	0,01	0,15	0,05	0,18	0,13
Lu ₂ O ₃	0,00	0,00	0,01	0,07	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
UO ₂	0,00	0,00	0,00	0,46	0,16	0,13	0,00	0,01	0,00	0,00	0,15	0,00	0,43	0,48
ThO ₂	0,01	0,00	0,00	0,21	0,07	0,01	0,06	0,04	0,00	0,02	0,13	0,01	0,24	0,38
PbO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F=O ₂	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,16	0,99
Total	100,19	99,08	99,02	91,06	95,31	96,50	97,95	95,90	96,57	97,94	90,49	95,29	95,81	93,34
H ₂ O	0,00	0,92	0,98	8,94	4,69	3,50	2,06	4,10	3,43	2,06	9,51	4,71	4,19	6,66
REE+Y	0,31	0,25	0,38	0,80	0,33	0,24	0,85	0,75	0,30	0,11	2,02	0,72	1,43	1,11
LREE	0,03	0,14	0,14	0,20	0,12	0,08	0,05	0,13	0,06	0,02	0,24	0,24	0,09	0,50
HREE+Y	0,28	0,11	0,24	0,60	0,21	0,17	0,80	0,62	0,24	0,09	1,78	0,49	1,34	0,61

Fórmula calculada com base em 4 oxigênios

P	0,002	0,004	0,002	0,004	0,005	0,004	0,009	0,015	0,006	0,003	0,014	0,003	0,004	0,007
Si	1,010	1,017	1,027	0,972	1,031	1,026	0,984	0,994	1,004	1,004	0,991	1,026	0,994	0,957
Zr	0,970	0,964	0,953	0,927	0,946	0,954	0,979	0,960	0,973	0,981	0,935	0,943	0,965	0,941
Al	0,000	0,000	0,001	0,015	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,017	0,000	0,001	0,008
Y	0,001	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001	0,005	0,005	0,001	0,000	0,013	0,003	0,008	0,003
Fe	0,009	0,008	0,005	0,037	0,003	0,002	0,005	0,012	0,003	0,001	0,010	0,004	0,005	0,011
Ca	0,004	0,000	0,008	0,025	0,000	0,002	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,012	0,097
Hf	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
F	0,000	0,000	0,000	0,104	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,038	0,252
La	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Ce	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,003
Pr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Nd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
Sm	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
Eu	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Gd	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Tb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dy	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ho	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Er	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001
Tm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Yb	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,002	0,001
Lu	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
U	0,000	0,000	0,000	0,004	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,004
Th	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,003
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	2,010	2,004	2,008	2,164	2,003	2,002	2,009	2,003	2,003	2,004	2,007	2,005	2,045	2,313
Si	50	51	51	45	51	51	49	50	50	50	49	51	49	41
Zr	48	48	47	43	47	48	49	48	49	49	47	47	47	41

10.8 QUÍMICA MINERAL PARA APATITA

Apatitas-Fácies PB1c							
	ME12_C 2=C3	ME12_C 2=C3	05-I- 164_C2	ME12_C 2 ap 1	ME12_C 2 ap 2	ME12_C 2 ap 3	ME12_C 2 ap 4
P ₂ O ₅	41,19	39,91	40,05	41,04	41,26	40,56	40,33
SiO ₂	0,53	0,24	1,28	0,28	0,28	0,33	0,26
ZrO ₂	1,22	1,25	1,17	1,10	1,13	1,00	1,14
Y ₂ O ₃	0,57	0,73	0,82	0,92	0,64	0,75	0,65
FeO	0,43	0,07	0,15	0,51	0,40	0,35	0,32
MnO	0,18	0,38	0,00	0,38	0,14	0,14	0,18
CaO	49,71	48,37	50,75	50,52	52,82	50,84	48,01
F	4,24	4,24	4,57	3,44	3,79	4,11	3,67
F=O ₂	1,78	1,79	1,92	1,45	1,59	1,73	1,54
La ₂ O ₃	0,15	0,08	0,13	0,08	0,06	0,04	0,06
Ce ₂ O ₃	0,87	0,63	0,34	0,26	0,32	0,40	0,32
Pr ₂ O ₃	0,06	0,07	0,07	0,09	0,04	0,09	0,06
Nd ₂ O ₃	0,37	0,25	0,13	0,21	0,24	0,21	0,18
Sm ₂ O ₃	0,08	0,08	0,06	0,11	0,13	0,08	0,09
Eu ₂ O ₃	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00
Gd ₂ O ₃	0,09	0,08	0,08	0,14	0,12	0,12	0,04
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy ₂ O ₃	0,07	0,05	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06
Ho ₂ O ₃	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03
Er ₂ O ₃	0,00	0,05	0,05	0,13	0,05	0,07	0,07
Tm ₂ O ₃	0,04	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Yb ₂ O ₃	0,04	0,06	0,03	0,07	0,07	0,09	0,07
Lu ₂ O ₃	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Total	100,61	96,97	99,94	99,89	102,20	99,75	96,06
REE+Y	2,40	2,16	1,80	2,08	1,78	1,97	1,67
LREE	1,56	1,13	0,75	0,75	0,80	0,83	0,72
HREE+Y	0,84	1,03	1,05	1,33	0,98	1,14	0,95
Fórmula calculada com base em 25 cargas							
P	5,998	6,030	5,876	5,983	5,910	5,964	6,081
Si	0,091	0,043	0,222	0,047	0,048	0,056	0,046
Zr	0,102	0,109	0,099	0,092	0,093	0,084	0,099
Y	0,026	0,035	0,038	0,042	0,029	0,035	0,031
Fe	0,062	0,011	0,021	0,074	0,056	0,051	0,047
Mn	0,026	0,057	0,000	0,055	0,020	0,020	0,027
Ca	9,160	9,249	9,423	9,321	9,576	9,460	9,161
F	2,306	2,395	2,504	1,872	2,027	2,257	2,064
La	0,009	0,006	0,009	0,005	0,004	0,003	0,004
Ce	0,055	0,041	0,022	0,016	0,020	0,025	0,021
Pr	0,004	0,004	0,004	0,005	0,002	0,006	0,004
Nd	0,023	0,016	0,008	0,013	0,014	0,013	0,012
Sm	0,005	0,005	0,003	0,007	0,008	0,005	0,006
Eu	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
Gd	0,005	0,004	0,005	0,008	0,007	0,007	0,002
Tb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dy	0,004	0,003	0,002	0,002	0,003	0,004	0,003
Ho	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002
Er	0,000	0,003	0,003	0,007	0,003	0,004	0,004
Tm	0,002	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001
Yb	0,002	0,003	0,002	0,004	0,003	0,005	0,004
Lu	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Total	18,040	18,132	18,266	17,667	17,956	18,100	17,717
Sítio P	6,089	6,073	6,097	6,030	5,957	6,020	6,127
Sítio Ca	9,299	9,374	9,521	9,432	9,672	9,569	9,255

10.9 QUÍMICA MINERAL PARA MINERAL NÃO IDENTIFICADO

	Mineral não identificado-Fácies PB1c									
	ME-10A- c6_4.1	ME-10A- c6_4.2	ME-10A- c6_4.3	ME-10A- c6_2	ME-10A- c6_3	ME-10A- c7A_1_1	ME-10A- c7A_1_2	ME-10A- c7A_2	ME10A_ C2 2	ME10A_ C2 4
P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00
Nb ₂ O ₅	23,45	25,07	20,02	11,49	19,02	20,29	22,09	20,35	14,22	17,06
Ta ₂ O ₅	1,89	1,25	1,58	0,58	1,49	1,41	1,62	1,22	1,55	3,29
SiO ₂	12,77	10,67	11,12	16,34	14,89	11,16	13,23	12,59	19,10	16,85
ZrO ₂	0,40	0,34	0,22	0,56	1,14	1,12	1,07	0,89	1,59	1,64
TiO ₂	1,63	3,06	2,39	2,70	3,10	0,47	0,92	0,72	5,10	6,17
Al ₂ O ₃	1,43	1,29	1,34	2,15	2,44	1,59	1,58	1,63	2,51	1,41
Y ₂ O ₃	8,67	8,69	8,09	5,54	8,67	6,04	6,97	6,54	5,40	7,10
FeO	7,86	7,39	13,88	17,98	5,25	4,23	4,31	4,20	13,51	2,66
MnO	0,04	0,08	0,20	0,23	0,23	0,31	0,19	0,15	0,09	0,03
CaO	0,31	0,49	0,57	0,52	0,62	0,79	0,39	0,33	1,35	1,71
BaO	0,06	0,06	0,06	0,00	0,02	0,04	0,05	0,04	0,02	0,06
SrO	0,10	0,04	0,07	0,00	0,02	0,03	0,03	0,00	0,00	0,09
Na ₂ O	1,18	1,24	1,19	0,90	0,68	0,28	0,32	0,22	0,46	0,17
K ₂ O	0,27	0,34	0,18	0,65	0,44	0,47	0,20	0,20	0,64	0,20
Hf	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26
F	0,36	0,44	0,41	0,34	0,68	0,66	0,58	0,83	0,29	0,46
La ₂ O ₃	1,78	1,47	1,70	0,85	1,37	1,54	1,67	1,63	1,40	2,16
Ce ₂ O ₃	5,81	5,76	5,10	4,31	6,06	15,34	13,42	17,03	4,17	6,94
Pr ₂ O ₃	0,43	0,37	0,34	0,23	0,22	0,33	0,43	0,38	0,39	0,51
Nd ₂ O ₃	1,48	1,72	1,59	1,24	1,24	1,26	1,17	1,25	1,09	1,62
Sm ₂ O ₃	0,55	0,60	0,71	0,40	0,46	0,38	0,34	0,38	0,40	0,48
Eu ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,09
Gd ₂ O ₃	0,79	1,01	0,85	0,80	0,59	0,67	0,51	0,64	0,42	0,64
Tb ₂ O ₃	0,19	0,18	0,17	0,21	0,20	0,12	0,12	0,22	0,00	0,00
Dy ₂ O ₃	1,99	2,43	2,21	2,01	1,54	1,70	1,35	1,36	1,03	1,86
Ho ₂ O ₃	0,74	0,46	0,74	0,39	0,51	0,17	0,47	0,48	0,61	0,40
Er ₂ O ₃	2,24	2,16	2,03	1,92	1,88	1,71	1,65	1,74	1,34	1,84
Tm ₂ O ₃	0,38	0,47	0,48	0,40	0,24	0,25	0,38	0,36	0,27	0,45
Yb ₂ O ₃	3,10	3,14	3,00	2,15	2,56	2,54	2,39	2,61	2,10	2,93
Lu ₂ O ₃	0,65	0,59	0,52	0,44	0,61	0,51	0,31	0,54	0,37	0,53
UO ₂	4,88	4,55	4,98	2,79	3,83	4,04	3,39	4,07	2,43	3,83
ThO ₂	0,90	0,89	0,89	2,13	1,57	2,15	1,78	1,72	0,97	0,47
PbO	2,10	1,17	1,83	0,56	1,08	3,04	2,56	3,16	1,44	1,47
F=O ₂	0,15	0,18	0,17	0,14	0,29	0,28	0,24	0,35	0,12	0,19
Total	88,28	87,18	88,27	80,70	82,39	84,35	85,22	87,11	84,28	85,20
REE+Y	28,81	29,02	27,53	20,87	26,17	32,55	31,17	35,16	19,07	27,56
LREE	10,06	9,91	9,44	7,02	9,36	18,84	17,03	20,66	7,53	11,80
HREE+Y	18,75	19,11	18,09	13,85	16,81	13,72	14,14	14,49	11,54	15,76

CONTINUAÇÃO-MINERAL NÃO IDENTIFICADO

Mineral não identificado-Fácies PB1c										
	ME10A_ C4 1	ME10A_ C4 2	ME10A_ C4 3	ME10A_ C5 1	ME10A_ C5 3	ME10A_ C6 1	ME10A_ C6 2	ME10A_ C6 3	ME10A_ C7 3	ME10A_ C7 4
P₂O₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nb₂O₅	20,39	14,45	11,68	25,10	20,63	25,14	17,75	12,39	20,78	15,85
Ta₂O₅	1,65	0,46	0,60	0,47	0,65	1,41	2,19	0,57	1,24	0,81
SiO₂	15,13	11,51	9,74	10,45	15,32	10,73	14,98	14,87	12,53	11,67
ZrO₂	1,94	2,01	1,91	0,26	0,76	0,47	1,29	0,50	1,15	0,94
TiO₂	2,83	6,17	4,42	4,71	4,06	2,50	3,54	3,06	0,60	0,16
Al₂O₃	2,20	1,27	1,22	1,45	2,53	1,28	2,15	2,08	1,40	1,88
Y₂O₃	7,48	5,70	6,96	13,54	7,27	8,97	7,74	6,31	6,73	6,21
FeO	4,52	12,89	9,92	2,77	5,17	7,10	5,28	15,47	4,40	11,46
MnO	0,11	0,02	0,03	0,17	0,11	0,00	0,12	0,16	0,29	0,17
CaO	1,06	0,62	0,21	1,16	1,26	0,59	0,23	0,66	0,27	0,40
BaO	0,08	0,00	0,03	0,00	0,00	0,07	0,05	0,00	0,00	0,02
SrO	0,03	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00	0,07	0,00	0,05	0,01
Na₂O	0,53	0,23	0,26	0,04	0,73	1,48	0,36	2,28	0,94	0,42
K₂O	0,23	0,61	0,22	0,17	2,18	0,40	0,54	1,27	0,48	0,71
Hf	0,03	0,00	0,05	0,00	0,19	0,00	0,04	0,00	0,19	0,14
F	0,55	0,38	0,25	0,71	0,49	0,46	0,58	0,76	0,89	0,87
La₂O₃	2,10	1,25	1,14	0,87	1,30	1,56	1,55	0,78	1,66	0,81
Ce₂O₃	4,65	3,32	2,34	4,05	3,94	6,09	8,67	4,31	17,07	13,17
Pr₂O₃	0,44	0,32	0,25	0,39	0,31	0,43	0,38	0,22	0,28	0,26
Nd₂O₃	1,43	1,44	1,31	1,67	0,97	1,41	1,42	1,01	1,22	0,96
Sm₂O₃	0,37	0,52	0,56	0,83	0,44	0,53	0,50	0,42	0,35	0,30
Eu₂O₃	0,00	0,10	0,00	0,05	0,00	0,08	0,09	0,00	0,09	0,10
Gd₂O₃	0,82	0,83	0,71	1,42	0,54	0,91	0,92	0,66	0,80	0,74
Tb₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy₂O₃	2,14	2,27	2,03	3,98	1,45	2,11	2,25	2,05	1,74	1,62
Ho₂O₃	0,46	0,43	0,38	0,69	0,31	0,49	0,40	0,42	0,47	0,49
Er₂O₃	2,22	2,32	1,81	3,99	1,45	2,09	2,14	1,65	1,66	1,75
Tm₂O₃	0,62	0,45	0,38	0,82	0,29	0,42	0,38	0,33	0,32	0,30
Yb₂O₃	3,35	3,02	2,21	5,68	2,25	2,99	3,28	2,02	2,73	2,10
Lu₂O₃	0,65	0,57	0,53	0,95	0,44	0,61	0,68	0,55	0,48	0,42
UO₂	2,05	3,06	2,69	0,97	1,28	3,99	4,14	2,62	4,04	2,07
ThO₂	2,92	3,05	2,52	0,10	0,03	0,82	1,94	2,06	2,26	2,50
PbO	1,89	0,16	0,08	0,00	0,31	1,83	1,57	0,43	3,19	0,68
F=O₂	0,23	0,16	0,11	0,30	0,21	0,19	0,24	0,32	0,37	0,37
Total	84,62	79,25	66,36	87,14	76,46	86,76	86,97	79,57	89,91	79,64
REE+Y	26,73	22,53	20,58	38,91	20,97	28,69	30,40	20,72	35,58	29,24
LREE	8,99	6,95	5,59	7,84	6,97	10,10	12,60	6,74	20,67	15,61
HREE+Y	17,74	15,58	14,99	31,06	14,00	18,59	17,79	13,98	14,91	13,63