



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS
CURSO DE GEOLOGIA**

MAGNO DE MENDONÇA FREIRE

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DOS
MÁRMORES MAGNESÍTICOS DA SERRA DAS ÉGUAS,
BRUMADO-BA**

SALVADOR

2019

Magno de Mendonça Freire

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DOS
MÁRMORES MAGNESÍTICOS DA SERRA DAS ÉGUAS,
BRUMADO-BA**

Monografia apresentada ao curso de Geologia no Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, sendo requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em geologia.

Orientadora:

Profa. Dra. Simone Cerqueira Pereira Cruz

Co-orientador:

Msc. Florivaldo Oliveira Sena

Salvador

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

MAGNO DE MENDONÇA FREIRE

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DOS
MÁRMORES MAGNESÍTICOS DA SERRA DAS ÉGUAS,
BRUMADO-BA.**

Trabalho final de graduação aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em geologia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

1º Examinador – Profa. Dra. Simona Cerqueira Pereira Cruz
Orientadora – IGEO/UFBA

2ª Examinador – MSc. Maísa Bastos Abram
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

3ª Examinador – MSc. Tatiana Silva Ribeiro
IGEO/UFBA

Salvador, 20 de novembro de 2019

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Freire, Magno
Caracterização Petrográfica e Geoquímica dos
Mármoreos Magnesíticos da Serra das Éguas, Brumado-BA /
Magno Freire. -- Salvador, 2019.
158 f.

Orientador: Simone Cruz.
Coorientador: Florivaldo Sena.
TCC (Graduação - Geologia) -- Universidade Federal
da Bahia, Instituto de Geociências, 2019.

1. Magnesita. 2. Depósito. 3. Brumado. I. Cruz,
Simone. II. Sena, Florivaldo. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço esse trabalho a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta monografia, bem como para minha formação como geólogo e constante construção como pessoa. Primeiramente, o maior agradecimento aos meus pais, por serem quem são e fazerem parte da minha vida e serem os maiores responsáveis pelo o que me tornei. À minha família pelos momentos importantes que me foram proporcionados.

Agradeço à minha orientadora, Simone, pelos ensinamentos valiosos e por todas as discussões acerca deste trabalho e sobre a beleza por dentro da Geologia. Ao meu co-orientador, Flori, por sempre se mostrar solícito e interessado, além dos ensinamentos transmitidos. Agradecimentos também a todos que participaram do projeto que resultou nesta monografia, Eider, Mariana, Prof. Marcos e ao Prof. Márcio, bem como a equipe da RHI Magnesita que nos ofereceu apoio e condições para trabalhar. Obrigado também às examinadoras da minha banca, Máisa e Tatiana, pela avaliação e contribuição.

Agradecimentos às professoras Jailma e Angela, que sempre mostraram disponibilidade e energia para responder dúvidas relacionadas à petrologia bem como ao universo geológico, além das boas conversas. Ao professor Reinaldo Brito, por remodelar e reconstruir conceitos da geologia com o olhar metalogenético. A todas as pessoas que conheci durante a graduação, sejam elas colegas, professores e funcionários, bem como pessoas que a geologia me deu a chance de conhecer em vilarejos e locais afastados. Todos tiveram contribuição, de algum modo, na realização deste trabalho final de graduação. Obrigado.

RESUMO

O Complexo Serra das Éguas é uma das unidades do embasamento do setor intracontinental do Orógeno Araçuaí e da Paleoplaca Gavião. Estudos pretéritos contribuíram para a caracterização das rochas dessa sequência, a qual a estratigrafia das unidades é definida por: i) Unidade Vulcanoquímica com Siliciclástica Subordinada, com rochas metamáficas e metaultramáficas xistificadas, quartzitos ferruginosos e formações ferríferas bandadas metamorfisadas; b) Unidade carbonática, com mármore dolomíticos e magnésíticos, com rochas metamáficas e metaultramáficas subordinadas; c) Unidade Siliciclástica, com quartzitos e xistos. Nesse complexo estão hospedados os mármore magnésíticos dispostos em lentes (*stratabounds*) encaixados em mármore dolomíticos, lavrados economicamente desde 1944. O objetivo deste trabalho é contribuir com os estudos geológicos dos mármore magnésíticos deste complexo através da caracterização petrográfica e identificação das paragéneses minerais e seus significados, bem como estudo geoquímico. No total foram 41 lâminas petrográficas estudadas e 27 análises geoquímicas de rocha total realizadas pela empresa ALS Global que ajudaram a avançar nos estudos propostos. Atualmente, as duas principais minas em atividade são as de Pedra Preta e de Pomba. Os mármore magnésíticos encontrados são: (i) vermelho e claro; (ii) branco e cinza. As microestruturas encontradas nessas rochas são: Granoblástica interlobada e poligonal, microestrutura núcleo-manto milonítica, porfoblástica, decussada e de reação. A granulação em geral 3 a 8mm. Duas gerações de hematita foram encontradas nessas rochas: a mais antiga (hematita 1), que ocorre como inclusão com granulometria inferior a 0,01mm em grãos do mármore magnésítico vermelho e claro; a mais nova (hematita 2), que ocorre isolada, idioblástica e lamelar, com granulação entre 0,05 e 1mm no mármore vermelho; formando grãos isolados ou agregados, ambos disseminados, com minerais idioblásticos a subidioblásticos e granulação de 0,05 a 1mm, bem como agregados lobulares, neste caso em todos os mármore magnésíticos, com granulação entre 0,05 e 1mm. Veios de hematita 2 são encontrados no mármore magnésítico cinza. Análises de elementos maiores mostraram concentração mais elevadas de óxidos de ferro e manganês no mármore magnésítico vermelho, bem como maior razão Mg/Ca. As análises para elementos traços e terras raras sugerem que a magnesita primária é de origem sedimentar com contribuição de material continental. As anomalias verdadeiras negativas de Ce indicam ambiente oxidante para os protólitos, enquanto que anomalias verdadeiras positivas de Ce sugerem um ambiente menos oxidante. As razões Y/Ho evidenciam contribuição detrítica. O modelo paleoambiental, para a deposição dos protólitos sedimentares, sugere a existência de um golfo com subbacias, proximais e distais à costa, que acomodaram as rochas carbonáticas. Processos deformacionais e metamórficos regionais levaram à formação dos mármore e das rochas carbonatossilicáticas. Fluidos hidrotermais epigenéticos percolaram fraturas desenvolvidas nas zonas de cisalhamento transpressionais destrais que truncam o mármore magnésítico vermelho. Esses fluidos foram responsáveis pela geração de uma segunda geração de magnesita branca e pela formação de magnesita clara e cinza, que posteriormente são metamorfisados e deformados, misturando-se com os demais mármore de protólitos sedimentares. As tipologias brechada, venular e stringer foram geradas nesse episódio hidrotermal.

Palavras-chave: Magnesita, Depósito, Mármore.

ABSTRACT

The Serra das Éguas Complex is one of the base units of the intracontinental sector of Araçuaí Orogen and Gavião Paleoplate. Detailed studies contributed to the characterization of the subsequent sequences, qualified for stratigraphy of the units defined by: i) Subordinate Silicytic Volcanochemical Unit, with xistified metamorphic and metaultrametric rocks, ferruginous quartzites and metamorphosed banded ferrous formations; b) Carbonatic unit, with more dolomitic and magnetic, with subordinate metamatic and metaultrametric rocks; c) Siliciclastic unit, with quartzites and shales. In this complex are hosted magnesian marbles stratabounds embedded in dolomitic rocks, economically mined since 1944. The objective of this research is contribute to the geological studies of the magnesite marbles of this complex through the petrographic characterization and mineral paragenesis identification and their meanings, as well as geochemical study. In total there were 41 petrographic slides studied and 27 total rock geochemical analyzes performed by the company ALS Global that helped advance the proposed studies. Currently, the two main mines in operation are Pedra Preta and Pomba. The magnesite marbles found are: (i) red and light; (ii) white and gray. The microstructures found in these rocks are: interlobed and polygonal granoblastic, milonitic, porphyroblastic, decussate and core mantle microstructure. The general granulation 3 to 8mm. Two generations of hematite were found in these rocks: the oldest (hematite 1), which occurs as inclusion with particle size of less than 0.01mm in grains of red and light magnesian marble; the youngest (hematite 2), which occurs isolated, idioblastic and lamellar, with granulation between 0.05 and 1mm in red marble; forming isolated grains or aggregates, both disseminated, with idioblastic to subidioblastic minerals and granulation of 0.05 to 1mm, as well as lobular aggregates, in this case in all magnesite marbles, with granulation between 0.05 and 1mm. Hematite 2 shafts are found in gray magnesian marble. Larger element analyzes showed higher concentrations of iron and manganese oxides in red magnesian marble, as well as higher Mg / Ca ratio. Analysis for trace elements and rare earths suggests that primary magnesite is sedimentary origin with input from continental material. True negative anomalies of Ce indicate an oxidizing environment for protoliths, while true positive anomalies of Ce suggest a less oxidizing environment. Y / Ho ratios show detrital contribution. The paleoenvironmental model for the deposition of sedimentary protoliths suggests the existence of a gulf with sub-basins, proximal and distal to the coast, which accommodated the carbonate rocks. Regional deformational and metamorphic processes led to the formation of marbles and carbonatesilicate rocks. Epigenetic hydrothermal fluids percolated fractures developed in the right-handed transpressional shear zones that truncate the red magnesian marble. These fluids were responsible for the generation of a second generation of white magnesite and the formation of light and gray magnesite, which are later metamorphosed and deformed, mixing with the other sedimentary marbles. The brecciated, vuggy and stringer typologies were generated in this hydrothermal episode.

Keywords: Magnesite, Deposit, Marble.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa geológico do Cráton do São Francisco com as principais unidades geológicas e os orógenos marginais. Modificado de Alkmim et al. (1993).....	15
Figura 1.2. Mapas de situação (A) e localização (b) da área de estudo. Fonte: Base de dados retirada do site do IBGE e da CPRM.	17
Figura 1.3. Percurso realizado partindo de Salvador com destino final no Município de Brumado-BA. Fonte: Google Maps.	17
Figura 1.4. Mapa com a localização dos afloramentos e dos testemunhos de sondagem descritos durante o campo. Datum: SAD 69, UTM 23S.	22
Figura 1.5. Mapa com as amostras coletadas nas duas principais minas. A localização dessa figura está na figura 1.4. Datum: SAD 69, UTM 23S.	23
Figura 1.6. Mapa com amostras coletadas na mina de Pedra de Ferro. A localização dessa figura está na figura 1.4. Datum: SAD 69, UTM 23S.	24
Figura 2.1. Ambiente de plataforma carbonática explicando o modelo de formação da magnesita do tipo Veitsch. Adaptado de (Pohl 1990).....	30
Figura 2.2. Modelo de Redlich (1909) que explica a formação do depósito tipo Kraubath associado a interação dos fluidos hidrotermais com a hospedeira ultramáfica.....	31
Figura 2.3. Distribuição dos principais depósitos de magnesita no mundo. Fonte: modificado a partir de Wilson (2015).....	33
Figura 2.4. Modelo interpretativo do ambiente de deposição e formação das magnesitas da Faixa Orós. Fonte: adaptado de Parente (1995).	38
Figura 2.5. Diagrama modificado de Kodi (2002) utilizado para separar a magnesita (campo azul) da ferro-magnesita (campo vermelho).....	42
Figura 2.6. Diagrama da relação Fe versus Mn. Fonte: Modificado de Ghoneim et al. (2003), Bashir et al. (2009) e Hajjar et al. (2015).....	43
Figura 2.7. Diagrama utilizado por Alexander et al. (2008) para indicar a característica da água e sua contribuição na formação da rocha. As temperaturas dos fluidos podem ser superiores a 350°C (Bau and Dulski, 1999).....	45
Figura 2.8. Diagrama utilizado por Alexander et al. (2008) para mostrar a contribuição das fumarolas negras.	46
Fig. 1. Mapa geológico simplificado da região ocidental do setor intracontinental do Orógeno Araçuaí com a localização da área de estudo. Modificado de Vitória (2018).....	51

Fig. 2. Mapa geológico esquemático dos compartimentos do Cráton do São Francisco e do setor norte do Orógeno Araçuaí (AO). Adaptado Cruz et al. (2016).....	54
Fig. 3. Mapa Geológico do complexo Serra das Éguas e da região de entorno. Adaptado de Paim et al. (2018). Fonte: Cruz et al. (2019).	56
Fig. 4. Síntese das propostas de empilhamento estratigráfico para as unidades que afloram na serra das Éguas. BIF – Formação ferrífera bandada, SMRJ – Sequência Metavulcânossedimentar Rio São João.	59
Fig. 5. Aspectos macroscópicos das litologias da Unidade Carbonática do Complexo Serra das Éguas.....	63
Fig. 6. Microestruturas de rochas carbonato-silicática (a, b, c) e tremolita mármore (d, e, f). ...	65
Fig. 7. Distribuição modal nos tipos de mármore magnésitos da Serra das Éguas. Sendo, Hematita 1 (Hem1), Hematita 2 (Hem2), Talco (Tlc), Clorita (Chl). Abreviatura de acordo com Whitney e Evans (2010).....	Erro! Indicador não definido.
Fig. 8. Microestruturas dos mármore magnésitos vermelhos da mina de Pedra Preta. a) inequigranular, porfiroclástica, núcleo manto e milonítica.	69
Fig. 9. Aspectos das hematitas nos mármore magnésitos vermelhos (Mgs _v).	71
Fig. 10. Características microscópicas da magnesita branca (Mgs _b) que preenche veios, vênulas e <i>stringers</i> nos mármore magnésitos vermelhos (Mgs _v).	73
Fig. 11. Aspectos macroscópicos dos mármore magnésitos branco e cinza.	75
Fig. 12. Microestruturas encontradas nos mármore magnésitos brancos e cinzas.	77
Fig. 13. Diagrama ternário classificação de rochas carbonáticas (Hall & Veizer, 1996).	79
Fig. 14. A-F- Diagramas binários de elementos maiores para mármore magnésitos e rochas carbonatossilicáticas do Complexo Serra das Éguas.....	85
Fig. 15. Diagrama spider dos elementos traços dos mármore magnésitos da Serra das Éguas, normalizados para Condrito C1 (McDonough and Sun, 1995).	87
Fig. 16. Diagrama spider dos elementos traços dos mármore magnésitos da Serra das Éguas, normalizados para PAAS (McLennan, 1989).	89
Fig. 17. Diagrama de elementos terras raras dos mármore magnésitos do Complexo Serra das Éguas normalizados para Condrito de McDonough and Sun (1995). Estão adicionados os dados para os depósitos mármore magnésitos de Eastern Alps, Austria (Wolfler et al., 2015) e de Kop Mountain, Turquia (Kadir et al., 2013).....	94

Fig. 18. Diagrama de elementos terras raras dos mármorees magnesíticos da Serra das Éguas, normalizados para PAAS (McLennan, 1989). Dados obtidos neste trabalho. Dados para os depósitos mármorees magnesíticos de Eastern Alps, Austria (Wolfler et al., 2015) e de Kop Mountain, Turquia (Kadir et al., 2013)).....	91
Fig. 19. Anomalias verdadeiras de cério. As anomalias positivas indicam ambientes oxidantes e as anomalias negativas sugerem ambientes redutores (Bau and Duski 1996).....	93
Fig. 20. Diagramas binários com amostras de mármorees magnesíticos do Complexo Serra das Éguas e dos depósitos da Faixa Orós (Parente et al., 1998), Kop Mountain (Kadir et al., 2013) e Eastern Alps (Wolfler et al., 2015).....	96
Fig. 21. Diagramas binários com rochas carbonáticas e metamáficas do Complexo Serra das Éguas. a) Diagrama binário de SiO_2 vs Al_2O_3 ; b) diagrama binário de CaO vs Fe_2O_3	97
Fig. 22. Diagrama binário com a razão Y/Ho discriminando ambientes com contribuições de água continental, detrítica e da água do Mar a partir de Bau and Duski (1996).	98
Fig. 23. Diagramas propostos por Alexander et al. (2008) para caracterização dos fluidos singenéticos responsáveis pela formação de depósitos sedimentares.	100
Fig. 24. Representação gráfica do comportamento e distribuição dos mármorees magnesíticos e das rochas carbonatossilicáticas em relação a razão Mg/Ca	102
Fig. 25. Modelo de formação dos protólitos dos mármorees magnesíticos do Complexo Serra das Éguas, representando um perfil dentro de um golfo paralítico com restrição de entrada água.	104
Fig. 26. Síntese das microestruturas deformacionais relacionadas com a alteração hidrotermal em mármorees magnesíticos da Mina Pedra Preta e formação de magnesita epigenética. Ver texto para discussão. Magnesita (Mgs), Hematita 1 (Hem1), Hematita 2 (Hem2). Abreviatura de acordo com Whitney e Evans (2010).	108
Fig. 27. Modelo de evolução da alteração hidrotermal epigenética dos mármorees magnesíticos vermelhos para formar as magnesitas branca (Mgs_b), clara ($\text{Mgs}_{\text{clara}}$) e cinza (Mgs_c) epigenética. Mármorees magnesíticos vermelhos (Mgs_v), hematita 1 (Hem1), hematita 2 (Hem2). Ver texto para discussão. Abreviações seguindo Whitney e Evans (2010).	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Tipos de sinteres produzidos a partir do minério de magnesita. Fonte: Especificações de matéria prima, Magnesita S.A. (1998).	19
Tabela 2.1. Classificação dos depósitos de magnesita: Adaptado do livro de Pohl (1986)...	28
Tabela 2.2. Dados dos depósitos de magnesita mundiais compilados.....	33
Tabela 2.3. Produção e reservas de magnesita no mundo. Fonte: USGS (2019).	35
Tabela 2.4. Dados compilados mostrando a crescente na produção do minério de carbonato de magnésio no Brasil. Fonte: DNPM (2016).	36
Tabela 1. Resultado das análises químicas das amostras coletadas neste trabalho. Abreviaturas utilizadas para as minas: PP (Pedra Preta), PFE (Pedra de Ferro), PO (Pomba), BA (Barrocas dos Veadeiros), GVT (Gravatá).....	80
Tabela 2. Valores da média e desvio padrão para razão Mg/Ca para os mármores das minas amostradas.	85
Tabela 3. Dados de elementos terras raras (Tabela 1) normalizados pelo condrito C1 de McDonough and Sun (1995).	90
Tabela 4. Dados de elementos terras raras (Tabela 1) normalizados pelo PAAS (McLennan, 1989).	92
Tabela 5. Síntese da composição química dos mármores magnesíticos e das rochas carbonatossilicática estudadas. Abreviaturas utilizadas para as minas e depósitos: PP (Pedra Preta), PFE (Pedra de Ferro), PO (Pomba), BA (Barrocas), GVT (Gravatá).	95
Tabela 6. Síntese das microestruturas, paragêneses e temperatura estimada de metamorfismo para os mármores e rochas carbonatossilicáticas do complexo Serra das Éguas. Magnesita (Mgs), Hematita 1 (Hem ₁), Hematita 2 (Hem ₂), Talco (Tlc), Tremolita (Tr). Abreviatura de acordo com Whitney e Evans (2010).	106

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO GERAL	14
CAPÍTULO 2. MODELOS, DISTRIBUIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE ROCHAS RICAS EM MAGNESITA.....	27
1. MODELOS GENÉTICOS DE DEPÓSITOS DE MAGNESITA.....	27
2. DISTRIBUIÇÃO MUNDIAL DE MAGNESITA.....	32
3. MAGNESITA NO BRASIL E NA BAHIA.	36
4. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE MÁRMORES MAGNESÍTICOS.....	41
4.1. Elementos Maiores.....	41
4.2 Elementos Terras Raras e Traços.....	43
CAPÍTULO 3. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E QUÍMICA DOS MÁRMORES MAGNESÍTICOS DO COMPLEXO SERRA DAS ÉGUAS, BRUMADO-BA.....	47
1. INTRODUÇÃO E CONTEXTO ECONÔMICO.....	49
2. CONTEXTO TECTONICO REGIONAL.....	52
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	55
4. GEOLOGIA DO SERRA DAS ÉGUAS: SÍNTESE.....	58
5. ASPECTOS MACROSCÓPICOS E PETROGRÁFICOS DAS ROCHAS CARBONATOSSILICÁTICAS E DOS MÁRMORES MAGNESÍTICOS DO COMPLEXO SERRA DAS ÉGUAS.	61
5.1. Rochas Carbonatossilicáticas.....	62
5.2. Mármore Magnésico Vermelho e Claro.....	67
5.3. Mármore Magnésico Branco e Cinza.	74
6. GEOQUÍMICA	79
6.1. Elementos Maiores.....	79
6.2. Elementos Traços.	86
6.3. Elementos Terras Raras.	89
7. DISCUSSÃO.....	94
7.1. Características químicas e Ambiente de Formação dos protólitos dos mármore magnésicos.....	94
7.2. Metamorfismo e Efeitos da Deformação.	105
8. CONCLUSÕES.....	110
CAPÍTULO 4. RECOMENDAÇÕES	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
APENDICE A – LOCALIZAÇÃO DE AMOSTRAS.....	119
APENDICE B - LOCALIZAÇÃO DE AMOSTRAS.....	121

APENDICE C – FUROS DE LOCALIZAÇÃO.....	129
APENDICE D – SEÇÃO DE LOCALIZAÇÃO.....	133
APENDICE E – SEÇÃO DE LOCALIZAÇÃO.....	134
APENDICE F – LIMITES DE DETECÇÃO	135
APÊNDICE G – COMPOSIÇÃO MODAL	136
APÊNDICE H – CLASSIFICAÇÃO DE ANFIBÓLIOS.....	140
APÊNDICE J – RESULTADO MEV-EDS	141
APENDICE K – GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAIORES.....	146
ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA ORE GEOLOGY REVIEW	153

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

Segundo Cruz (2004) e Cruz et al. (2012, 2015), o Complexo Serra das Éguas, que aflora na serra homônima, está localizado no setor setentrional e intracontinental do Orógeno Araçuaí (Fig. 1.1). Esse complexo, denominado de Grupo Serra das Éguas por Bodenlos (1954), Moraes et al. (1980) e Oliveira et al. (1997), de *Greenstone Belt* de Brumado por Cunha et al. (1996), Silva e Cunha (1999) e Cunha et al. (2012) e de Complexo Serra das Éguas por Pinho et al. (2013), é uma das unidades da Paleoplaca Gavião, definida por Cruz et al. (2016), que foi deformada no Ediacarano (Cruz & Alkmim 2006).

Diversas foram as propostas de empilhamento estratigráfico das unidades que afloram na serra das Éguas. Bodenlos (1954) e posteriormente Moraes (1980) definiram o Grupo Serra das Éguas como uma sequência metavulcanossedimentar constituída por mármore dolomíticos, calcíticos e magnésíticos, quartzitos, formações ferríferas bandadas e intercalações de anfibolitos e de rochas metavulcânicas. Por sua vez, Oliveira, Fragomeni e Bandeira (1997) propuseram uma nova coluna litoestratigráfica para o Grupo Serra das Éguas com um maior nível de detalhamento, dividida em: (i) unidade inferior com espessura média de 2000 metros e constituída por actinolitos em alternância com grandes bolsões de actinolita-mármore e mármore dolomíticos, além da ocorrência de faixas espessas de silexites ferruginosos. Segundo os autores, há evidências de pelo menos duas contribuições de derrames ultramáficos; (ii) unidade média com espessura média de 500 metros, com talco-clorita xistos, mármore magnésítico, que estão encaixados nos mármore dolomíticos e calcíticos, além de quartzitos e pequenas faixas de actinolitos. Essa unidade hospeda as principais minas e depósitos de magnesita e talco; e (iii) unidade superior com espessura média de 750 metros, composta por quartzitos de cores variegadas, quartzitos ferruginosos, mármore dolomíticos associados a dolomita-quartzitos e pequenas faixas de actinolitos.

Mais recentemente, Silva e Cunha (1999) e Cunha et al. (2004) propuseram que a unidade basal da sequência, do até então Grupo Serra das Éguas, passaria a ser descrita como *Greenstone Belt* Brumado, devido à presença de rochas ultramáficas komatiíticas, por vezes com estruturas reliquias do tipo spinifex, em

afloramentos na Serra das Éguas, e por correlação, feita pelos autores, com as unidades basais dos *Greenstone Belts* de Guajeru, Umburanas e Itibira-Ubiraçaba (Cunha et al., 2012).

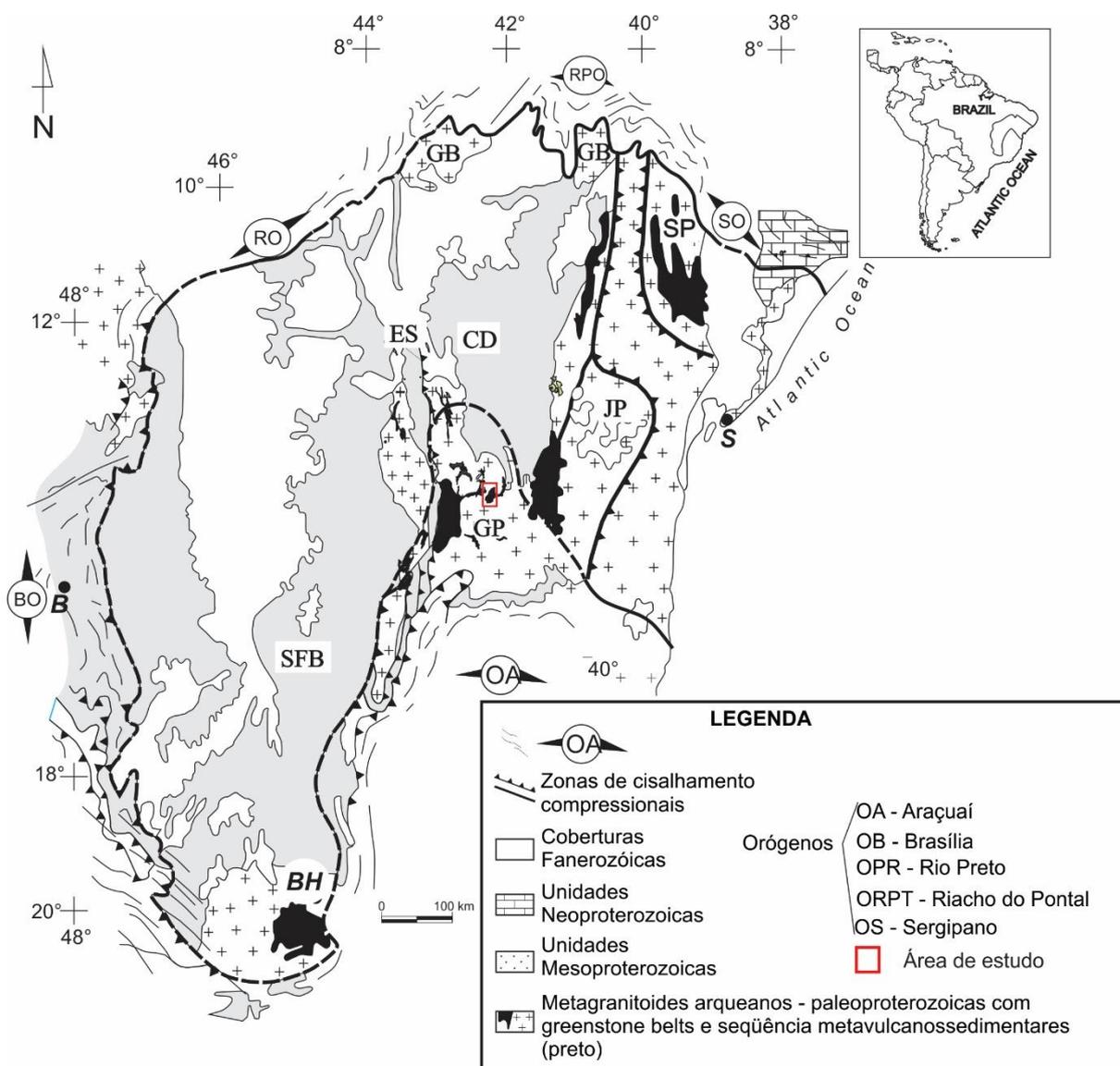


Figura 1.1. Mapa geológico do Cráton do São Francisco com as principais unidades geológicas e os orógenos marginais. Modificado de Alkmim et al. (1993).

Segundo Bodenlos (1954), Moraes et al. (1980), Lima (1986) e Almeida (1989), na Serra das Éguas, a magnesita ocorre como cristais espáticos, que variam de granulometria grossa a média-fina, em cores branca, vermelha e cinza, podendo ser por vezes alaranjadas. As hospedeiras do mineral de minério seriam mármores magnesíticos dispostos em lentes que estão encaixadas nos mármores calcíticos e dolomíticos, que gradam lateralmente para rochas clásticas.

Em conjunto, os modelos propostos por Almeida (1989), Schobbenhaus et al. (2001), segundo Barbosa et al. (2012), em síntese, sugerem a existência de uma bacia sedimentar de águas rasas, em ambientes marinho a marinho restrito com variação da salinidade dependendo da relação Mg/Ca da água, que aumentava gradativamente em direção ao continente, bem como condições termoquímicas adequadas para precipitação direta da magnesita. Ainda segundo os autores, eventos metamórficos posteriores foram responsáveis pela transformação de parte dos mármorees magnesíticos em talco devido a soluções hidrotermais ricas em silício que captaram o magnésio dos mármorees e formaram o silicato magnesiano.

A serra das Éguas é uma marcante feição morfológica situada no Município de Brumado-BA (Fig. 1.2), cuja altitude atinge 1000 metros. A área de estudo dista, aproximadamente, 600 km de Salvador e o percurso é feito da capital baiana partindo pela BR-324 por 100 quilômetros em direção a Feira de Santana (Fig. 1.3). A partir daí, toma-se a BR-116 por 156 km até o truncamento com a BA-026 em Nova Itarana, na qual se percorre 225 km até chegar em Tanhaçu para ter acesso a BR-030. A partir desse ponto, são percorridos os 50 km finais até o Município de Brumado.

O percurso pode ser realizado também por Vitória da Conquista a partir de vôo partindo de Salvador-BA ou Contagem-MG e Belo Horizonte-MG. A partir de Vitória da Conquista deve-se seguir por aproximadamente 100 km pela BR-116 até a chegada na cidade de Brumado. Para a serra das Éguas o acesso é realizado por vias pavimentadas e não pavimentadas dentro das áreas de empréstimo destinadas a R.H.I. Magnesita, e o tráfego nessas vias é feito através de autorização da empresa.

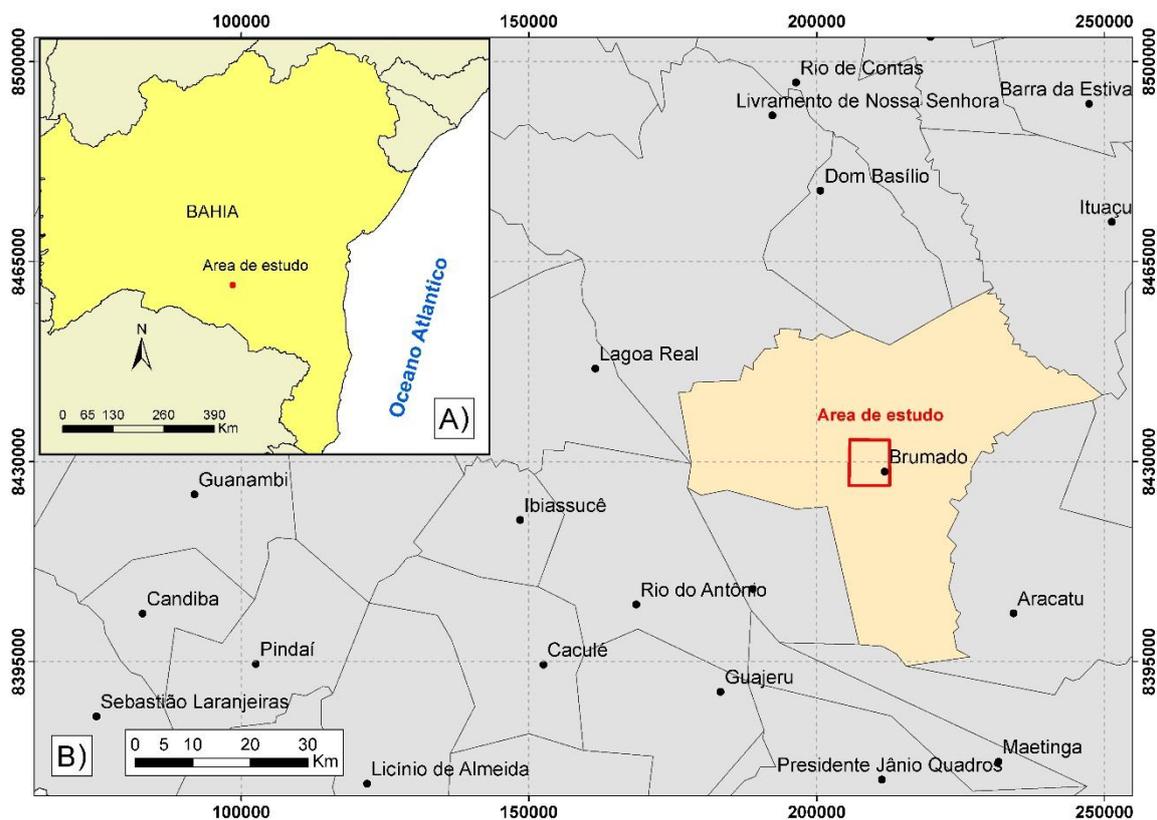


Figura 1.2. Mapas de situação (A) e localização (B) da área de estudo. Fonte: Base de dados retirada do site do IBGE e da CPRM.

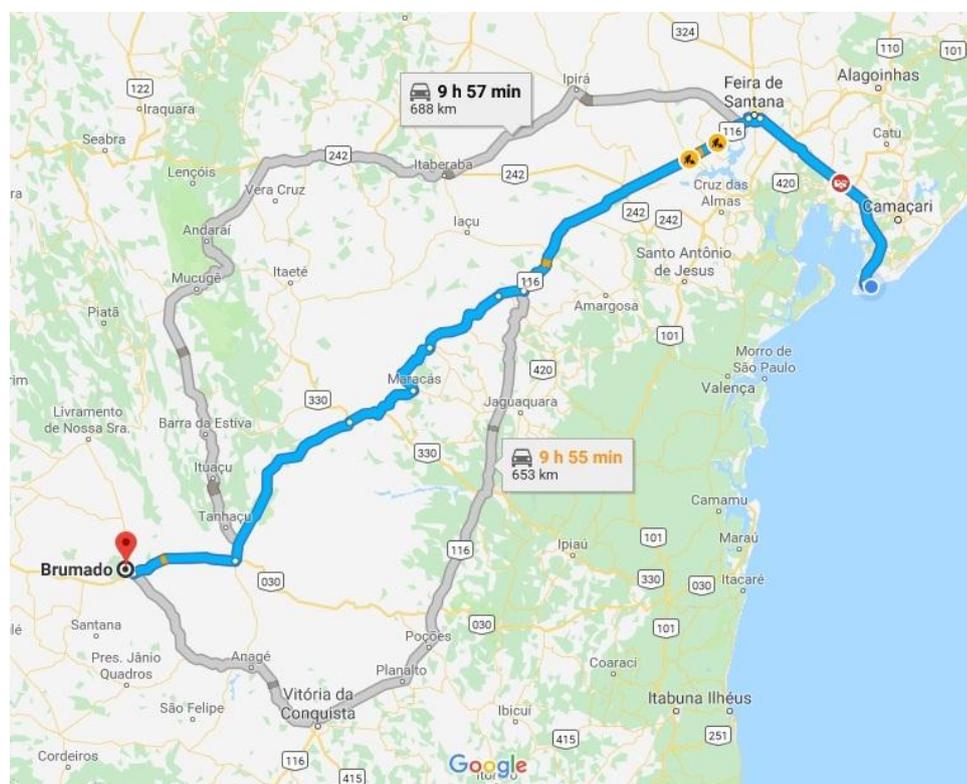


Figura 1.3. Percurso realizado partindo de Salvador com destino final no Município de Brumado-BA. Fonte: Google Maps.

A RHI Magnesita é a empresa que atualmente possui permissão para lavrar os mármore magnésíticos na serra das Éguas, cuja exploração ocorre, principalmente, em duas minas: (i) Mina de Pedra Preta, que apresenta, principalmente, o mármore magnésítico vermelho, podendo ser por vezes de cores mais claras, alaranjadas e cinza de granulometria grossa; e ii) Mina de Pomba, cujo mineral possui granulometria média a fina e coloração branca. Na empresa RHI Magnesita, o processo de separação do minério do estéril é feito manualmente e através de triagem (Garcia, 2004). Segundo esse autor, na mina de Pedra Preta, onde ocorre o mármore magnésítico vermelho, o processo de separação entre o minério e estéril é feito através da retirada, da pilha de minério, de rochas com teores estimados de óxidos de ferro e talco superiores a 3% (Queiroz, 1997). Por sua vez, nas minas onde ocorrem os mármore magnésíticos brancos, por serem rochas mais puras, a eliminação do talco e dos silicatos de alumínio é realizada através de uma usina de concentração pelo método de flotação. O principal produto do beneficiamento do carbonato de magnésio é o sinter magnésiano, obtido através da calcinação e sinterização da magnesita em fornos específicos que atingem temperaturas de 1800°C a 2000°C (Garcia, 2004). Segundo esse autor, o resultado é um sinter considerado de alta pureza que possui mais de 90% de MgO e que se mostra ideal para uso da indústria siderúrgica, onde é utilizado principalmente na produção de materiais refratários para revestimentos de fornos industriais de uso siderúrgico onde são produzidas ligas e componentes de ferro e outros metais (Garcia et al., 2008). Além disso, segundo Garcia et al. (2008) o óxido de magnésio também pode ser aproveitado em compostos químicos para a agricultura e na construção civil.

Zocratto (2018) mostrou em seu estudo que os diferentes tipos de mármore magnésíticos do Complexo Serra das Éguas possuem respostas distintas ao processo de calcinação e sinterização nos fornos. De acordo com Garcia (2004), os diferentes tipos de minerais produzem diferentes tipos de sinter (Tabela 1.1), sendo os denominados de M10 e M30 os tipos produzidos a partir dos diferentes tipos de mármore magnésíticos, que refletem diferentes composições químicas.

Tabela 1.1. Tipos de sínteres produzidos a partir do minério de magnesita. A tabela mostra as especificações do mercado (Esp.) e o valor típico (Tip.) adquirido na produção dos sínteres M10 e M30 do depósito da Serra das Eguas. Fonte: Especificações de matéria prima, Magnesita S.A. (1998).

Características	Tipo de Sínter			
	M-10		M-30	
	Esp.	Tip.	Esp.	Tip.
SiO ₂	<1,80	1,29	<0,30	0,25
Al ₂ O ₃	<0,60	0,35	<0,12	0,05
Fe ₂ O ₃	<2,90	2,11	<0,50	0,41
MnO	<1,00	0,94	<0,16	0,12
CaO	<0,70	0,44	<0,90	0,77
MgO	>94,00	94,88	>98,00	98,4
B ₂ O ₃	-	0,007	-	0,007
Densidade Aparente	>2,98	3,06	>3,30	3,34

Alguns estudos científicos já foram realizados nos mármores magnesíticos do Complexo Serra das Éguas, tais como Bondelos (1954), Lima (1986), Almeida (1989), Fragomeni et al. (1997), Garcia (2004, 2008) e Zocratto (2018). Entretanto, algumas questões ainda permanecem: quais os tipos de mármores magnesíticos do Complexo da Serra das Éguas? Quais as paragêneses minerais e meso/microestruturas dessas rochas e seus significados? Quais as composições químicas dessas rochas? Quais as características do ambiente deposicional dos seus protólitos? Contribuir com a solução dessas questões poderá auxiliar na verificação de tipologias distintas de depósitos e produtos metalúrgicos.

Deste modo, este trabalho tem como objetivo geral contribuir com os estudos geológicos sobre os mármores magnesíticos do Complexo Serra das Éguas, bem como objetivos específicos:

- i) distinguir os tipos de mármores magnesíticos, caracterizar as rochas carbonatossilicáticas, bem como identificar sua mineralogia e macro / microestruturas;
- ii) identificar as paragêneses minerais dessas rochas, bem como seus significados;
- iii) realizar a caracterização geoquímica das rochas estudadas, assim como um estudo comparativo entre elas;
- iv) contribuir com a interpretação do ambiente de deposição dos protólitos dessas rochas e dos processos geológicos envolvidos na formação dessas rochas.

A compreensão em relação as características macroscópicas, petrográficas e químicas dos tipos de mármore magnésitos do Complexo Serra das Éguas que são explorados economicamente irá colaborar com o entendimento do ambiente de deposição dessas rochas e de suas transformações pós-deposicionais. Esse entendimento, e principalmente o entendimento mais aprofundado das suas diferenças, poderá auxiliar à empresa RHI Magnesita nos processos metalúrgicos utilizados para a produção do síter magnésiano e diminuir problemas associados ao beneficiamento do minério. Além disso, irá somar esforços para a caracterização de um dos mais importantes depósitos de mármore magnésitos do mundo e contribuir com o estudo da sua gênese.

Assim, para colimar os objetivos propostos, foram realizadas as seguintes atividades:

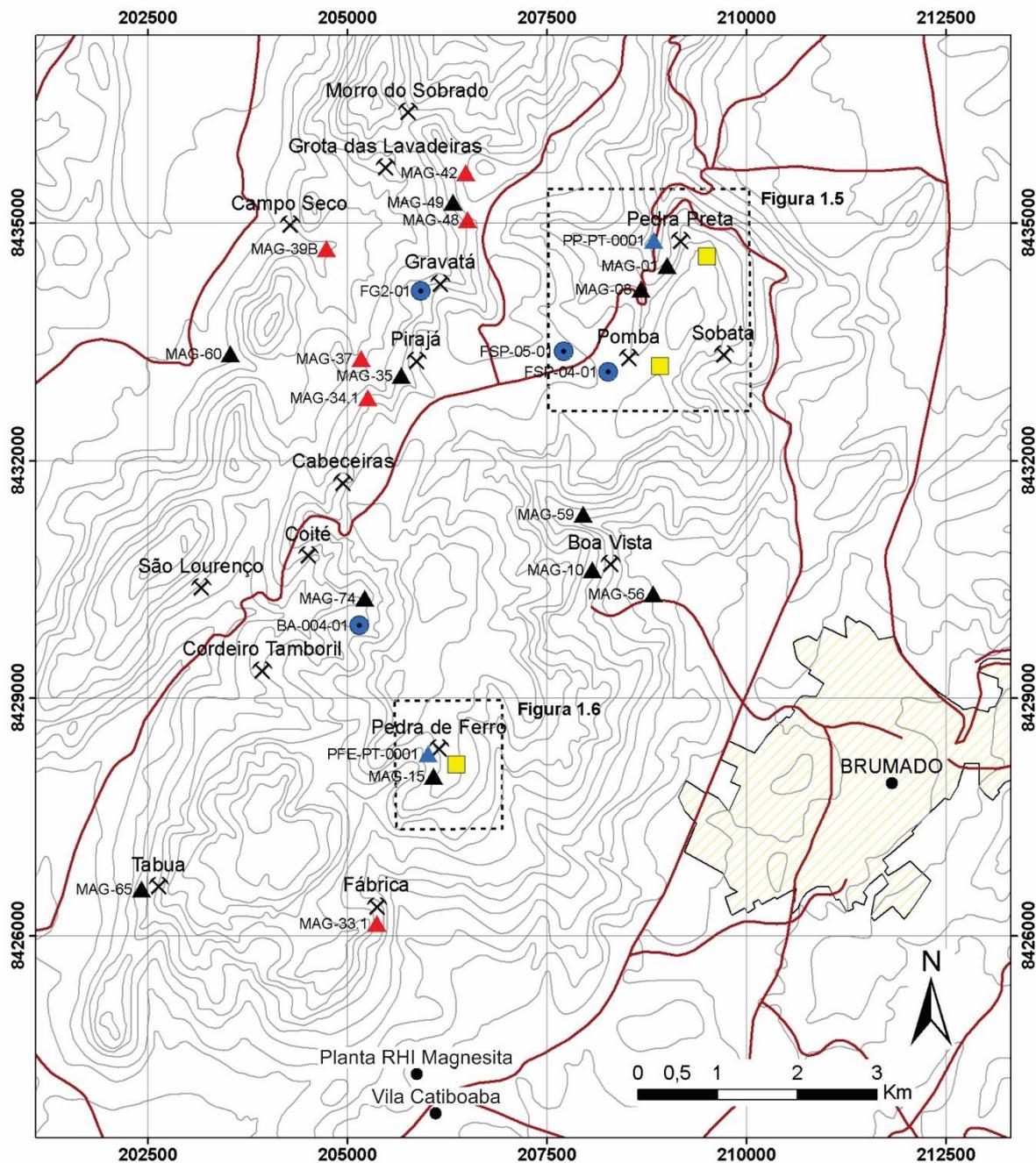
(i) Estudos bibliográficos e levantamentos de dados referentes à Geologia da área de trabalho, com consulta ao acervo fornecido pela empresa RHI Magnesita, bem como de artigos, teses, dissertações e relatórios que tenham a serra das Éguas como foco. Além disso, foram consultados artigos científicos relacionados com o tema magnesita, especialmente sobre a sua caracterização petrográfica e química.

(ii) Trabalhos de campo, que totalizaram cinco dias (5 a 9 de novembro de 2018), onde foram realizados: a) perfis geológicos para visita e identificação dos mármore magnésitos, bem como para o reconhecimento das demais litologias do Complexo Serra das Éguas; b) descrição de 510 metros de testemunhos de furos de sondagem das minas de Pomba, Gravatá e Barrocas. A localização e dados geográficos dos furos de sondagem descritos em campo estão apresentados nas figuras 1.4 e 1.5 e no apêndice A; c) coleta de 52 amostras de mármore diversos em afloramentos e em testemunhos de furo de sondagem (Fig. 4-6; Apêndice A); (d) integração da equipe para atualização do mapa geológico da serra das Éguas na escala de 1:50.000.

Os mapas bases utilizados nesta etapa foram topográficos, em escala 1:50.000, que foram gerados pela equipe do projeto a partir de imagens de radar do satélite ALOS PALSAR com resolução espacial de 15 metros, e imagem de satélite LANDSAT 8. A partir dessas imagens foi possível extrair a malha viária, drenagem e localidades através de software ArcGIS 10.4 com DATUM SAD 69 UTM 24S. Quanto aos equipamentos, utilizou-se GPS da marca Garmin com DATUM SAD 69 UTM 24S,

bússola Brunton-Clar, lupas, canetas de imã, caderneta de campo e aplicativo de navegação AVENZA MAPS, na sua versão gratuita.

(iii) Caracterização petrográfica realizada no laboratório de mineralogia óptica e petrografia do IGEO/UFBA. Foi utilizado o microscópio óptico binocular Olympus, modelo BX41, para realizar a descrição petrográfica, em luz transmitida e refletida. As descrições foram realizadas em de 41 seções delgadas e polidas confeccionadas a partir das amostras coletadas em afloramentos e testemunhos durante a etapa de campo deste projeto (Fig. 1.4-6; Apêndices A, C). Além disso, foram descritas um total de 98 seções delgadas e/ou delgadas e polidas cedidas pela RHI Magnesita (Fig. 1.4; Apêndice B). Por motivo relacionado com a autorização da empresa para uso de dados, algumas amostras não puderam ser plotadas nos apêndices. Esta etapa contribuiu para a identificação das microestruturas, mineralogia e paragêneses dos mármore estudados.



Legenda

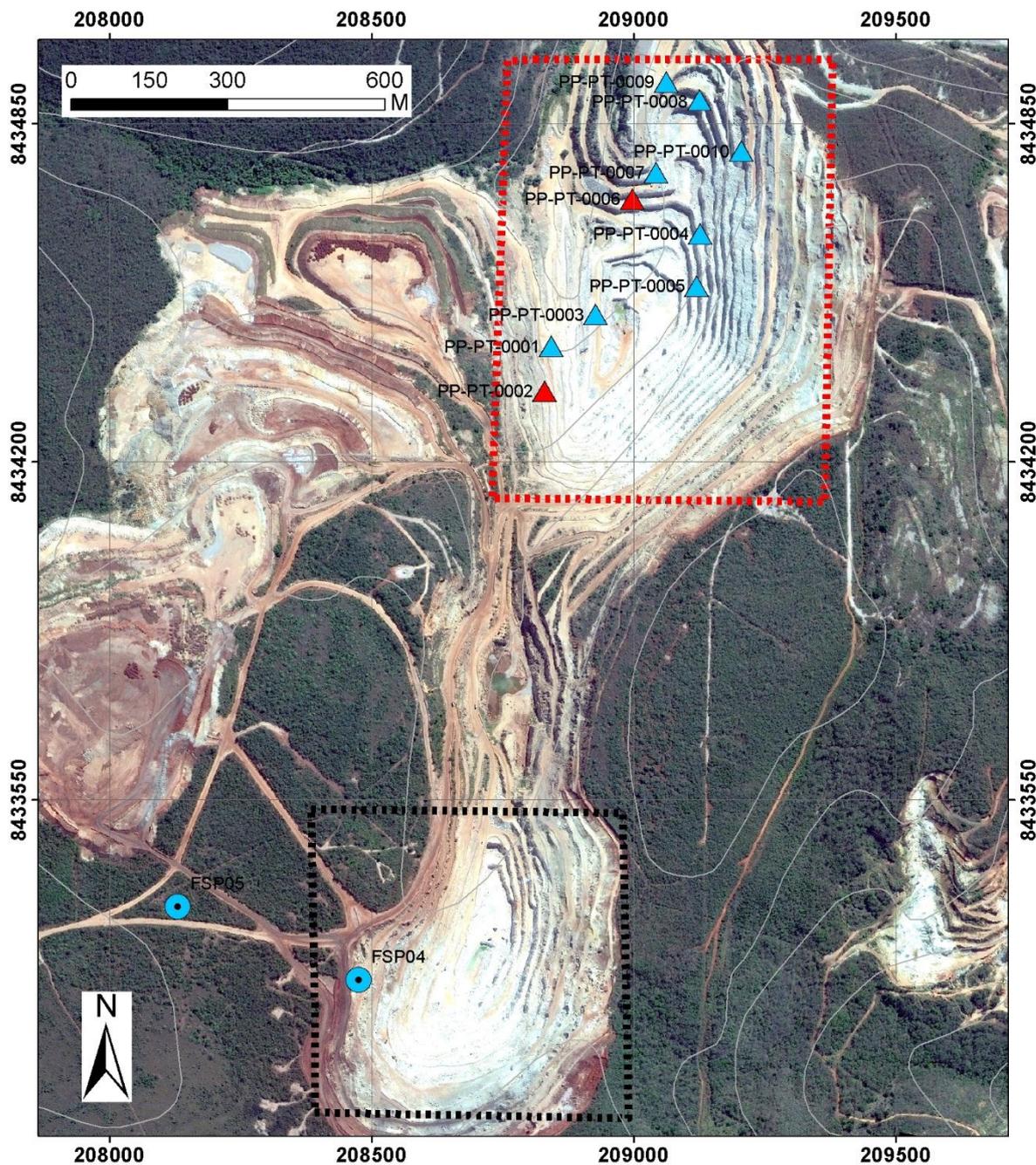
Cartografia

- Localidades
- Estradas
- Curvas de nível
- ⊗ Mina

Tipo de Amostra

- ▲ Afloramento - Sem análise
- ▲ Afloramento - Petrografia
- ▲ Afloramento - Petrografia e geoquímica
- Testemunho - Petrografia e geoquímica
- Amostras cedidas pela empresa - Apendice B

Figura 1.4. Mapa com a localização dos afloramentos e dos testemunhos de sondagem descritos durante o campo. Datum: SAD 69, UTM 23S.



Legenda

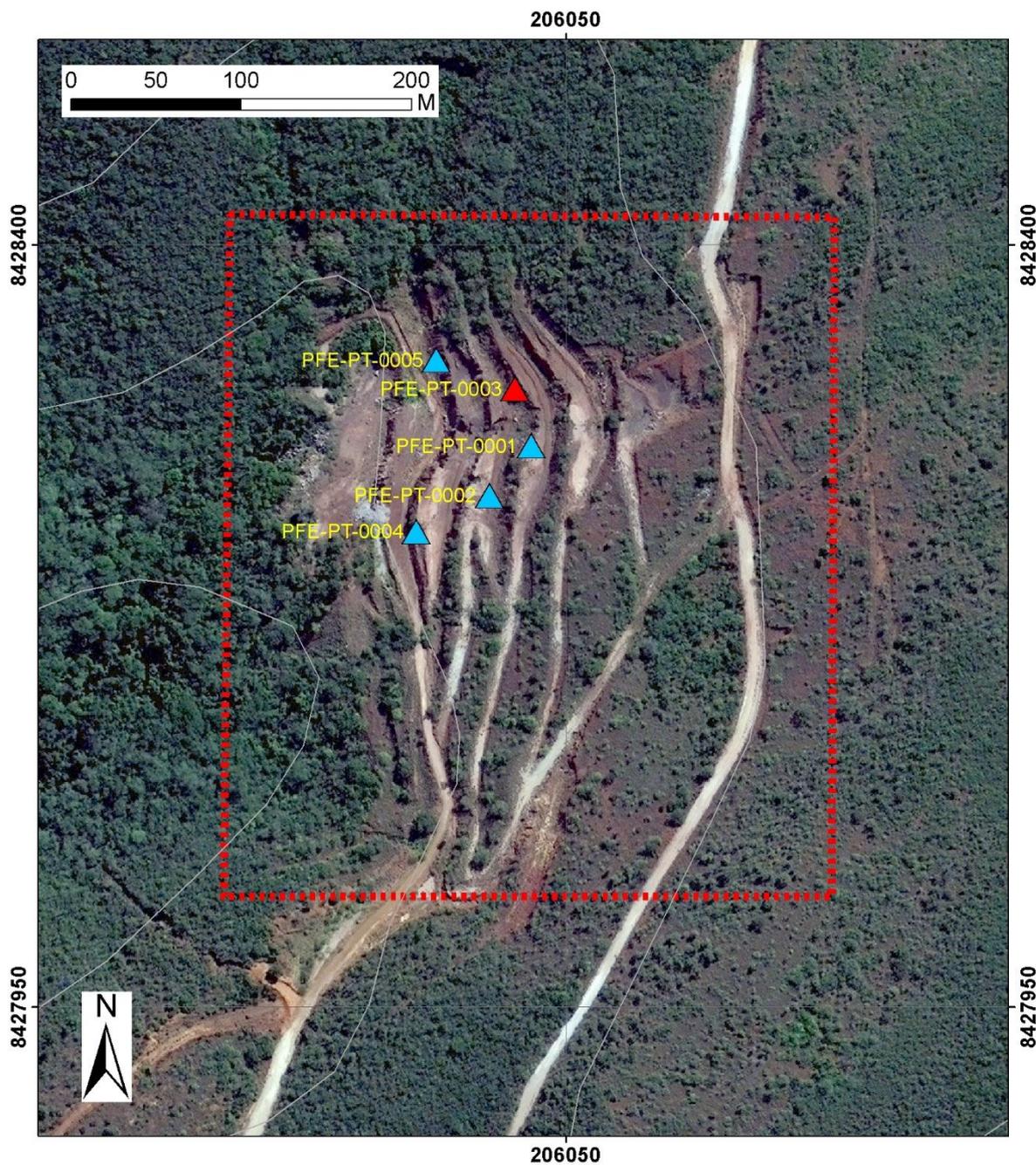
Cartografia

-  Mina de Pomba
-  Mina de Pedra Preta
-  Curvas de nível

Tipo de Amostra

-  Afloramento - Petrografia
-  Afloramento - Petrografia e geoquímica
-  Testemunho - Petrografia e geoquímica

Figura 1.5. Mapa com as amostras coletadas nas duas principais minas. A localização dessa figura está na figura 1.4. Datum: SAD 69, UTM 23S.



Legenda

Cartografia

-  Mina de Pedra de Ferro
-  Curvas de nível

Tipo de Amostra

-  Afloramento - Petrografia
-  Afloramento - Petrografia e geoquímica

Figura 1.6. Mapa com amostras coletadas na mina de Pedra de Ferro. A localização dessa figura está na figura 1.4. Datum: SAD 69, UTM 23S.

(iv) Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV para classificação de mineralógica de uma amostra de mármore. Os minerais analisados foram os anfibólios e a classificação foi realizada a partir de Howthorne (2012). As análises foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Materiais do Departamento Acadêmico de Tecnologia Mecânica do Instituto Federal da Bahia através do Microscópio de varredura eletrônica da marca Teslan, modelo Vega 3 LMU e o software AZTec. A metalização das lâminas foi feita em ouro com a utilização do equipamento Quarum Q150R EX. Disparos pontuais de EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) foram realizados sobre as amostras para a coleta de dados dos óxidos de elementos maiores presentes nos minerais e posterior elaboração de suas fórmulas estruturais.

(v) Estudos geoquímicos de rocha total, que foram realizados em 27 amostras coletadas em campo, foram analisadas na ALS Global (Apêndice A). Inicialmente, as amostras foram pulverizadas a partir de uma alíquota de, aproximadamente, 250 g obtendo uma granulometria de, no mínimo, 85% de 75 microns. As análises para elementos maiores foram realizadas por fusão com metaborato ou tetraborato de lítio seguido pela dissolução do material fundido e análise por ICP-AES. A determinação dos elementos traços ocorreu por fusão com borato de lítio e determinação por ICP-MS.

Adicionalmente, a RHI Magnesita disponibilizou um total de 315 análises de elementos maiores em rocha total (Apêndice B). As análises disponibilizadas foram realizadas nos laboratórios GEOSOL e RHI Magnesita. A preparação das amostras analisadas pela GEOSOL são pulverizadas entre 250 e 300 g de material até obter-se 95 % na fração de 150 mesh. Na RHI Magnesita, as amostras são britadas até se obter uma granulometria de 100% inferior a 4.75 mm, seguida de homogeneização. Em ambos laboratórios a determinação dos elementos maiores é realizada por fusão com tetraborato de lítio e o disco resultante é analisado por Difractometria de Raio X.

Os limites de detecção para todas as amostras analisadas pelos laboratórios listados acima estão apresentados no Apêndice F.

(vi) Integração de dados e organização da monografia em um artigo científico. Essa monografia está organizada em quatro capítulos, sendo que o primeiro é a introdução geral, o segundo apresenta a revisão sobre o conhecimento existente sobre estudos de mármore magnésitos no mundo, o terceiro apresenta o artigo, intitulado Caracterização Petrográfica e Geoquímica dos Mármore Magnésitos da

Serra das Éguas, Brumado-BA; e o quarto e último apresenta as recomendações gerais do trabalho. Posteriormente, o artigo será submetido a revista *Ore Geology Review*, a qual tem muita influência relacionada a geologia econômica e os depósitos minerais no mundo.

CAPÍTULO 2

MODELOS, DISTRIBUIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE ROCHAS RICAS EM MAGNESITA

1. MODELOS GENÉTICOS GERAIS PARA FORMAÇÃO DE DEPÓSITOS DE MAGNESITA

A magnesita, mineral foco deste trabalho, é representada pela fórmula $MgCO_3$ (Klein e Hurlbut, 1999) tem como composição básica MgO-47,6% e CO_2 -52,4%. O mineral pertence ao sistema cristalino romboédrico, possui hábito maciço, uma direção de clivagem perfeita em $\{1011\}$, dureza equivalente 4 na escala de mohs e densidade aproximada 3 g/m^3 (Klein e Dutrow, 2012). Esse mineral se apresenta, em geral, incolor ou em colorações branca, amarela, laranja, cinza e vermelha, variando de acordo com o teor de impurezas (Shand, 2006). A magnesita não efervesce quando atacada a solução de HCL, porém é diluída pelo ácido clorídrico quando submetidos a altas temperaturas (Nelson, 2014). Pode ocorrer na natureza com duas principais granulometrias, sendo a primeira classificada como espática quando ocorre em grãos maiores e visíveis que alcançam até 15 cm e com diversas cores, bem como criptocristalina, quando forma grãos pequenos não visíveis na ordem de micrômetros e, em geral, esbranquiçados (Pohl and Siegl, 1986).

Diversos são os modelos propostos para explicar a existência de depósitos de magnesita no mundo. Redlich (1909) propôs a distinção de três tipos através de um método descritivo, que posteriormente foi correlacionado por estudos genéticos por Bain (1924), até que finalmente foi complementado por Ilic (1968), agregando um quarto tipo a essa lista. Posteriormente, Pohl e Siegl (1986) compilaram os estudos pretéritos e sintetizaram-na tabela 2.1.

Tabela 2.1. Classificação dos depósitos de magnesita: Adaptado de Pohl and Siegl (1986).

Autor	Redlich (1909)	Bain (1924)	Ilic (1968)	Principais descrições	Exemplos
Tipo de Classificação	Descritivo	Genético	Genético		
Depósitos importantes	Tipo Veitsch (Mina de Veitsch, Styria, Austria)	Substituição em carbonatos	Endogenético-hidrotermal/metassomático	Mineral espático de granulometria fina-média a grossa, lentes monomineralizadas em corpos carbonáticos e clásticos. Relação de envelopamento com dolomitos.	Austria, Brasil, Republica Techa, India, Coreia, Espanha, Tasmania
	Tipo Kraubath (Mina de Kraubath, Styria, Austria)	Alteração em serpentinitos/hipogenico	Veios endogenéticos/hidrotermal	Mineral microcristalino com granulometria muito fina. Veios e stockworks em dunitos e peridotitos com serpentinitos associados. Forte controle estrutural	Áustria, Austrália, EUA (California), Grécia, Turquia
Depósitos potenciais	-	-	Tipo Bela Stena (Mina de Bela Stena, Servia, Iugoslavia)	Mineral fino bandado ou massivo associada a hidromagnesita e huntita. Lagos com águas fresca que apresentam embasamento ultramáfico e vulcanismo.	Sérvia, Grécia, Turquia, Iugoslávia
	Tipo Greiner (Mina de Greiner, Tyrol, Austria)	-	-	Mineral em talco-carbonatos derivados de rochas ultramáficas, geralmente em eventos metamórficos	Austrália, Canadá

i) Tipo Veitsch – De acordo com Pohl e Siegl (1986), esse tipo de depósito é conhecido por formar magnesita macrocristalina, com cores variando entre vermelho, laranja e cinza, e com relativamente mais alta concentração de ferro. Este tipo de depósito é responsável pelas maiores reservas de magnesita do mundo, tendo em média a ordem de dezenas de milhões toneladas, mas em casos específicos pode chegar a ordem de 1 bilhão de toneladas, como no caso de Liaodong na China (Tang, 2013). Segundo esse modelo compilado por Pohl & Siegl (1986), essas rochas são geradas a partir de processos químicos que favorecem a precipitação de sedimentos carbonáticos (calcíticos, dolomíticos e magnésíticos) em plataforma sedimentar rasa, em ambiente marinho a marinho restrito (Fig 2.1), que estão lateralmente associados com sedimentos clásticos. Os corpos de rochas sedimentares carbonáticas com grãos espáticos são encontrados como lentes encaixadas em rochas dolomíticas de granulometria fina. Segundo Pohl & Siegl (1989), esses carbonatos são submetidos a um metamorfismo de fácies xisto verde a anfíbolito, onde os dolomitos podem ser

submetidos a uma atividade hidrotermal levando à substituição do cálcio pelo magnésio.

Para Duncan e McCracken (1994), nesses depósitos a fonte do magnésio para a formação da magnesita a partir de dolomitos pode estar associada com a presença de atividade magmática intrusiva básica durante o metamorfismo. Almeida (1989), por sua vez, sugere que esse tipo de depósito não pode ser formado apenas por processos hidrotermais, uma vez que os volumes das mineralizações são muito grandes, sugerindo que foram formados por precipitação direta da magnesita no ambiente sedimentar. Adicionalmente, teriam ocorrido substituições do cálcio pelo magnésio nos dolomitos e mármores calcíticos magnesianos devido à presença de fluidos basinais ricos em Mg.

Muito tem-se discutido sobre a formação dos depósitos do tipo Veitsch ao redor do mundo e algumas questões ainda são debatidas, como as hipóteses das gêneses da magnesita singenética, onde o mineral é formado a partir da precipitação direta em ambientes sedimentares, ou epigenética, onde o mineral é formado a partir de fluidos ricos em Mg que substituem o cálcio dos dolomitos pré-existentes (Almeida 1989). Dong (2016) sugere que o gigante depósito de Dashiqiao, na China, teve sua formação devido à natureza hipermagnesiana da água do mar que precipitou os carbonatos magnesianos diretamente em um ambiente marinho raso restrito. Posteriormente, eventos diagenéticos teriam sido responsáveis pela substituição do Ca presente em carbonatos cálcicos pelo Mg e formação de mais magnesita. Eventos metamórficos regionais podem ter recristalizado a magnesita primária.

Almeida (1989) também discute sobre as principais características e aspectos relacionados com as hipóteses de gêneses singenética e/ou epigenética associada com o depósito do tipo Veitsch. O autor defende, principalmente, uma origem sedimentar singenética para esse tipo de depósito. Porém, feições que sugerem a substituição da dolomita pela magnesita mostram uma contribuição metassomática epigenética para a formação dessas rochas. Zhang (1988 apud Almeida 1989) mostrou evidências de estruturas sedimentares e fossilíferas preservadas no enorme depósito de magnesita de Liaodong na China, indicando uma origem sedimentar. Por outro lado, através de estudos isotópicos utilizando os isótopos mais leves de oxigênio e carbono, Aharon (1988) sugere que a magnesita de Rum Jungle, na Austrália, possui origem epigenética, associada a fluidos hidrotermais que influenciaram na substituição do cálcio pelo magnésio de rochas carbonáticas pretéritas.

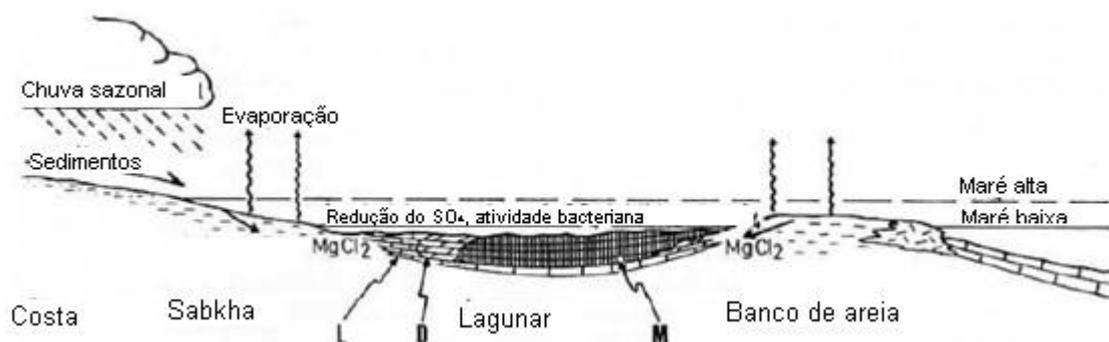
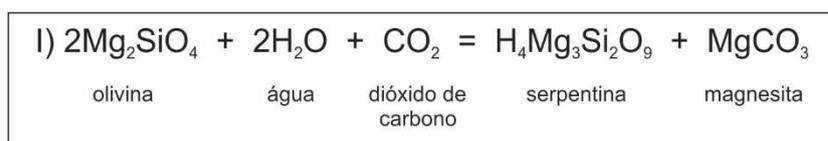


Figura 2.1. Ambiente de plataforma carbonática explicando o modelo de formação da magnesita do tipo Veitsch. Adaptado de (Pohl 1990).

ii) Tipo Kraubath – Redlich (1909) sugere esse tipo de depósito como o responsável pela formação de magnesita criptocristalina devido à baixa concentração de ferro e de impurezas. Nesse tipo de depósito, a magnesita ocorre em veios *stockworks* hospedados em rochas metaultramáficas com mineralogia de alteração hidrotermal constituída por serpentina e talco. Segundo esse autor, esses depósitos são formados a partir da interação de complexos máficos-ultramáficos com fluidos hidrotermais ricos em CO_2 (Equação 1), que precipitam a magnesita em zonas de falhas e em fraturas (Fig. 2.2). Estes fluidos podem ter características hipogenéticas. A alteração das rochas ultramáficas ocorre por hidratação e carbonatação (Almeida 1989). Lima (1986) descreve essa reação através da seguinte equação:



A equação 1 demonstra a reação que ocorre entre olivina, água e o dióxido de carbono quando fluidos hidrotermais percolam por falhas e fraturas de complexos ultramáficos. Esses fluidos reagem com olivina através de processos de hidratação e carbonatação, que são responsáveis pela formação de serpentina e de magnesita (Almeida, 1989).

Segundo Lima (1986), a serpentina ao reagir com líquidos ricos em dióxido de carbono produz talco e magnesita (Equação 2), explicando a paragênese formada pelos três minerais.

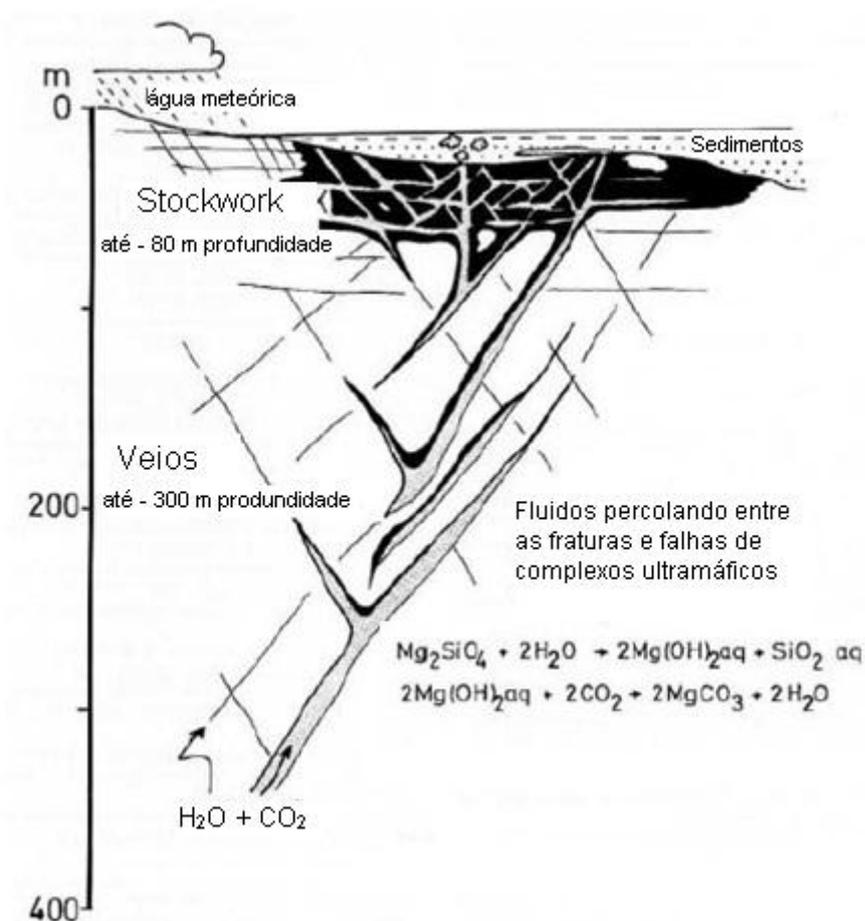
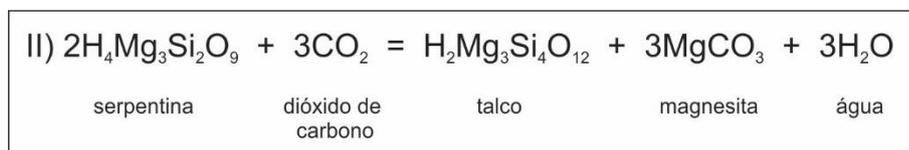


Figura 2.2. Modelo de Redlich (1909) que explica a formação do depósito tipo Kraubath associado a interação dos fluidos hidrotermais com a hospedeira ultramáfica fraturada ou falhada.

iii) Tipo Greiner – Como indica Redlich (1909 apud Pohl and Sielg 1986), este tipo de depósito gera minerais com relativamente alta concentração de ferro e com cerca de 25% de sílica. Neste modelo ocorre a deposição de sedimentos carbonáticos diretamente sobre rochas ultrabásicas. Em condições de metamorfismo de grau baixo a moderado, estes sedimentos são submetidos a processos de decomposição térmica, liberando o CO_2 no sistema, que interage com os minerais silicáticos

magnesianos e gera a alteração hidrotermal das rochas hospedeiras. Nesse processo, ocorre a substituição da sílica nos silicatos magnesianos, pelo íon carbonato, gerando a magnesita

iv) Tipo Bela Stena – Segundo Illic (1968) e Pohl & Siegl (1986) são depósitos de magnesita encaixados em sedimentos marinhos com embasamento adjacente compreendido por rochas ultramáficas que contribuem, após o intemperismo e a lixiviação do magnésio, para a formação da magnesita. Fluidos hidrotermais são gerados e se enriquecem de magnésio, que ao interagir com os carbonatos favorece a formação da magnesita. Um ambiente hidrotermal atuante é necessário nestes depósitos.

Apesar destes quatro tipos de depósitos, Pohl e Siegl (1986) sugerem que apenas os depósitos do tipo Veitsch e Kraubath possuem volumes de magnesita suficientes para tornar a exploração viável economicamente.

2. DISTRIBUIÇÃO MUNDIAL DE MAGNESITA

Desde o final do século 19 depósitos de magnesita vêm sendo identificados e caracterizados ao redor do mundo. A tabela 2.2 e a fig 2.3 mostram os principais depósitos descobertos e descritos de magnesita no mundo, sendo considerados como os mais importantes e viáveis economicamente para a atividade mineira do carbonato de magnésio.

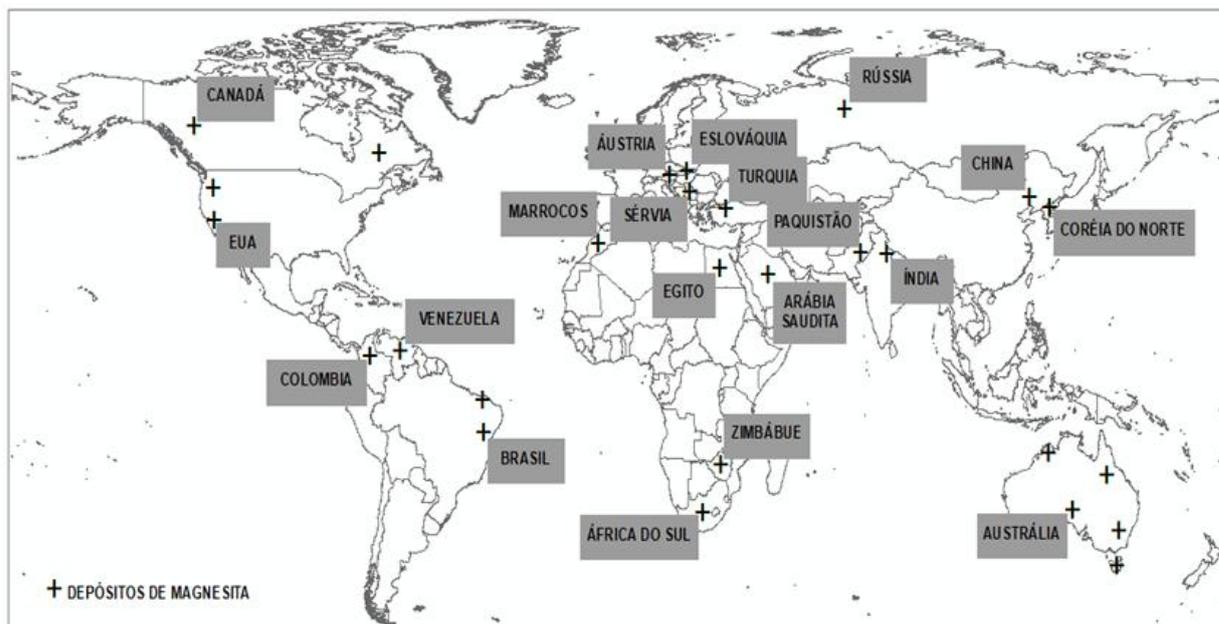


Figura 2.3. Distribuição dos principais depósitos de magnesita no mundo. Fonte: modificado a partir de Wilson (2015).

Tabela 2.2. Dados dos depósitos de magnesita mundiais compilados a partir de Pohl (1989), Simandl and Hancock (1991), Oliveira et al. (1997), Wilcock (1998), Seartson (1998), Lugli et al. (2001), Kodi and Radvanec (2002), Schroll (2002), Gartzo (2004), Parente et al. (2004), Kilias et al. (2006), Petrasova et al. (2007), Bashir et al. (2009), Joshi et al. (2009), Mees and Keppens (2012), Kadir et al. (2013), Kahya and Kuscu (2013), Krupenim et al. (2015), Wilson (2015), Hajjar et al. (2015), Prochaska and Fritz (2015), Dong

País	Reservas Totais (ton)	Localização do Depósito	Origem	Aspecto	Tipo	Idade da Gênese
Rússia	2.300.000.000	Montes Urais	Sedimentar + Metassomática	Espática	Veitsch	Proterozoico
		Lago Onega, Carélia	Sedimentar		//	
Coréia do Norte	1.500.000.000	Plataforma Chinesa-Coreana	n.e.	n.e.	n.e.	Paleoproterozoico
China	1.000.000.000	Cinturão Magnesítico Haisheng-Daishiqiao	Sedimentar + Metassomática	Espática	Veitsch	Paleoproterozoico
Brasil	390.000.000	Serra das Éguas, Bahia	Sedimentar + Metassomática	Espática	Veitsch	Paleoproterozoico
		Sento-Sé, Bahia	Sedimentar + Metassomática	Espática	Veitsch	Neoproterozoico
		Orós, Ceará	Sedimentar	Espática	//	Paleoproterozoico
Austrália	320.000.000	Nova Gales do Sul	Sedimentar + Metassomática	n.e.	Greiner	n.e.
		Queensland	Sedimentar + Metassomática	n.e.	Bella Stena (?)	n.e.
		Austrália do Sul	Sedimentar	n.e.	//	n.e.

		Território do Norte	Sedimentar + Metassomática	Espática	Veitsch	Neoproterozoico
Grécia	280.000.000	North Evia	Metassomática	Criptocristalina	Kraubath	n.e.
		Chalkidiki				n.e.
		Lesvos				n.e.
Turquia	230.000.000	Região Nordeste do país - Kop Mountain	Metassomática	Criptocristalina	Kraubath	n.e.
		Região Noroeste do país				n.e.
		Região Sudoeste do país				n.e.
Eslováquia	120.000.000	Cárpatos Ocidentais	Sedimentar + Metassomática	Espática	Veitsch	n.e.
		Gemerská Poloma				n.e.
Índia	90.000.000	Sul do Cráton de Dharwar	Metassomática	Criptocristalina	Kraubath	n.e.
		Divisão de Kumaun	Sedimentar	Espática	//	n.e.
Áustria	50.000.000	Greywacke Zone - Alpes Orientais	Sedimentar + Metassomática	Espática	Veitsch	n.e.
		Diversas - ofiolitos desmembrados	Metassomática	Criptocristalina	Kraubath	n.e.
Espanha	35.000.000	Galícia	Sedimentar + Metassomática	Espática	Veitsch	n.e.
		Sória				n.e.
EUA	35.000.000	Califórnia	Metassomática	Criptocristalina	Kraubath	n.e.
		Washington	Sedimentar + Metassomática	Espática	Veitsch	n.e.
Canadá	(?)	Colúmbia Britânica	(?)	Espática	(?)	Proterozoico
		Quebec	Sedimentar + Metassomática		Veitsch	Mesoproterozoicos
Itália	(?)	Toscana	Sedimentar	Microcristalina	(?)	Triássico
			Sedimentar + Metassomática	Espática	Veitsch	Triássico
Sérvia	(?)	Montanha Golesh - Atual Kosovo	Metassomática	Criptocristalina	Kraubath	n.e.
Marrocos	(?)	Tafidest	Metassomática	Criptocristalina	Kraubath	n.e.
		Bou Azzer				n.e.
Paquistão	(?)	Baluchistão	Metassomática	Criptocristalina	Kraubath	n.e.
Mali	(?)	Taoudenni	Sedimentar	(?)	//	n.e.

O relatório Sumário de Commodities Minerais da USGS (2019) (Tabela 2.3) mostrou que as reservas de magnesita no mundo chegam a cerca de 8,5 bilhões de toneladas do minério, tendo como os maiores produtores a China, que possui pouco mais de 65% da produção mundial, seguida da Turquia com 11,7%, Brasil com 6,5% e Rússia com 5,2% da produção do minério no mundo (USGS, 2019). Por sua vez, de acordo com os dados desse relatório, as maiores reservas mundiais estão na Rússia, Coreia do Norte e China.

Tabela 2.3. Produção e reservas de magnesita no mundo. Fonte: USGS (2019).

País	Reservas (10 ³ t)	Produção (10 ³ t)	
		2017	2018
Brasil	390.000	1.800	1.900
China	1.000.000	19.000	19.000
Rússia	2.300.000	1.500	1.500
Turquia	230.000	3.300	3.400
Espanha	35.000	300	330
Austria	50.000	600	600
Eslováquia	120.000	450	470
Austrália	320.000	470	500
Grécia	280.000	400	400
Coréia do Norte	2.300.000	380	270
Índia	82.000	188	200
Estados Unidos	35.000	-	-
Outros Países	1.400.000	700	830
Total no mundo	8.500.000	29.100	29.000

Rangel (2019) compilou dados dos três maiores depósitos de magnesita do mundo. A Rússia é detentora da maior reserva medida e, de acordo com Krupenin (2002), Kuznetsov et al. (2007), Prochask et al. (2013), Ovchinnikova et al. (2014) e Krupenin et al. (2018), esse mineral ocorre em dois principais depósitos. O primeiro é denominado de Satka, onde a magnesita ocorre espática e com pureza elevada, enquanto que o segundo depósito, denominado de Ismakaevo-Semibratsky, ocorre em lentes de magnesita de granulação fina a média, ambos encaixados em corpos dolomíticos. Ovchinnikova et al. (2014) classificou estes depósitos, localizado nos Montes Urais Russos, como do tipo Veitsch.

O segundo maior depósito de magnesita do mundo encontra-se na Coreia do Norte. Entretanto, por questões políticas, o acesso as informações e dados científicos

do depósito de Namgye é bastante restrito. Wilson (2013) indicou que as rochas do depósito norte coreano datam do paleoproterozoico, com idade de ~1.9 Ga.

O terceiro maior depósito de magnesita e que detém a maior produção do minério no mundo está localizado na China. Está inserido no Cráton do Norte Chinês, no cinturão de Haicheng-Dashiqiao (Dong et al., 2016). Segundo esses autores, os corpos mineralizados ocorrem em lentes *stratabounds* encaixadas em carbonatos da formação Dashiqiao, datadas do paleoproterozoico ~2.1 Ga. Dong et al. (2016) sugeriram dois modelos genéticos para a formação desse depósito, sendo o primeiro sedimentar por precipitação direta da magnesita, devido a razão Ca/Mg da água do mar e posterior contribuição da diagênese precoce e o segundo através da interação de rochas carbonáticas com fluidos hidrotermais ricos em Mg decorrentes de eventos metamórficos regionais.

3. MAGNESITA NO BRASIL E NA BAHIA

O Brasil ocupa uma posição de destaque em quantidade de reserva e na produção do minério no mundo, com uma reserva total superior a 350.000.000 toneladas de minério (DNPM 2016), além de ocupar o terceiro lugar em produção e o quarto lugar em reservas do minério do mundo. Ainda segundo DNPM (2016), no Brasil houve uma crescente na produção da magnesita beneficiada (Tabela 2.4). Depósitos significativos de magnesita são encontrados nos estados do Ceará, nos municípios de Iguatu, Orós e Jucás, inseridos no contexto geológico da Faixa móvel de Orós, e da Bahia, nos municípios de Brumado e Sento Sé.

Tabela 2.4. Dados compilados mostrando a crescente na produção do minério de carbonato de magnésio no Brasil. Fonte: DNPM (2016).

Ano	Produção de magnesita no Brasil (t)
2012	1.228.426
2013	1.388.866
2014	1.423.210
2015	1.621.425

Segundo Dardenne e Schobbenhaus (2001), os jazimentos que ocorrem no estado do Ceará estão inseridos na porção central da Província da Borborema, formando lentes na Sequência Vulcanossedimentar da Faixa Orós, de idade 1,8 Ga

(Van Schmus et al., 1995). Essa sequência compreende rochas metavulcânicas máficas e metamáficas, quartzitos, metapelitos e mármore calcíticos, dolomíticos e magnesíticos. Ainda segundo os autores, as reservas na região chegam a 160.000.000 de toneladas do minério.

Parente et al. (1998) caracterizaram os depósitos de magnesita que ocorrem na Faixa Orós. O primeiro, depósito de Orós, com minerais espáticos de cores avermelhadas e com grãos com 2-15 cm, possui estruturas reliquiares evaporíticas e estromatolíticas. Por sua vez, nos depósitos de Jucás e Iguatu, são mármore brancos, de granulação média (gran-média), possui grãos com 1-9 mm e são ricos em escapolita, sugerindo um ambiente evaporítico restrito. Os autores classificaram o depósito como do tipo Veitsch, com formação da magnesita sedimentar em bacias marinhas paralíticas e restritas com atividade de evaporação e provável deposição direta do mineral (Fig. 10). Eles sugerem que a ocorrência de magnesita com duas faixas granulométricas, espática ou gran-média, acontece devido à localização paleogeográfica das bacias. De acordo com o modelo apresentado, as bacias mais proximais possuem uma razão Mg/Ca maior na água do mar, são mais restritas e com maior contribuição da água e sedimentos provindos do continente, possibilitando a formação da magnesita espática do depósito de Orós. Por outro lado, os mármore magnesíticos dos depósitos de Jucás e Iguatu tiveram paleobacias mais distais com menor proporção Mg/Ca nas águas do mar, além de forte atividade biológica redutora, resultando na magnesita de granulação média.

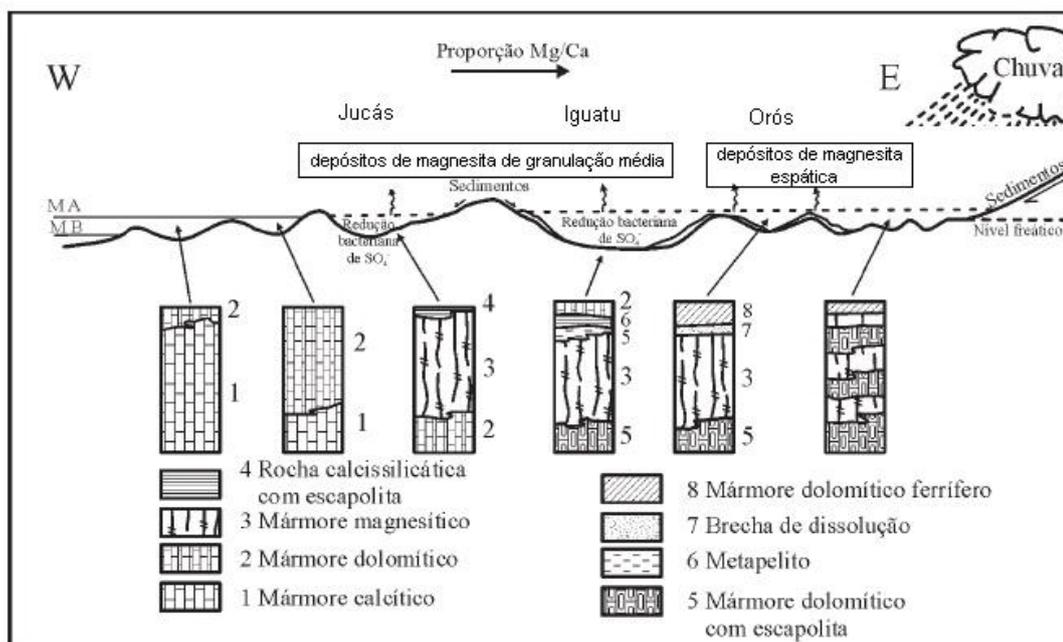


Figura 2.4. Modelo interpretativo do ambiente de deposição e formação das magnesitas da Faixa Orós. Fonte: adaptado de Parente (1995).

Segundo Oliveira (1997), o Município de Sento-Sé abriga depósitos de magnesita com bastante expressividade. O autor identificou que as rochas mineralizadas se encontram encaixadas em dolomitos e calcários dolomíticos da unidade Castela, que compõe o *Greenstone belt* Colomi. Os mármores da unidade Castela, apresentam camadas com espessuras de 300 a 350 metros e comumente encontram-se talcificados, com lentes de talco xisto e/ou veios de talco. Segundo o autor, as reservas foram calculadas em 50.000.000 toneladas de minério.

O depósito de magnesita da Serra das Éguas, localizada em Brumado-BA, de acordo com Dardenne e Schobbenhaus (2001), é o principal jazimento do minério no Brasil, sendo o principal produtor de sínter magnésiano e talco de alta qualidade do país. Dados divulgados pelo IBRAM (2012) mostram que as reservas podem chegar a 240.000.000 toneladas de minério.

Lima (1986) e Almeida (1989) caracterizaram a ocorrência dos magnesititos da Serra das Éguas como lentes do tipo *stratabounds* encaixadas em carbonatos dolomíticos, por vezes em rochas sedimentares clásticas. Segundo esses autores, a magnesita ocorre com cores brancas, avermelhadas, alaranjadas e acinzentadas, de maneira cristalina e espática, bem como granulometria fina a média. Oliveira et al. (1997) indicaram que é na unidade média do então denominado Grupo Serra das Éguas, com espessura de aproximadamente 500 metros, que ocorrem os depósitos

de magnesita. A litologia desta unidade compreende mármore magnésitos e dolomíticos, actinolita-mármore e rochas calcissilicáticas. De acordo com os autores, são também observadas contaminação de óxidos de ferro e zonas talcificadas com talco xistos e talco mármore.

Em relação a gênese do depósito da Serra das Éguas, Almeida (1989) sugere que o depósito de magnesita teve origem em ambiente sedimentar marinho de águas rasas com restrição da entrada do mar. Também considera a possibilidade de fluidos hidrotermais, oriundos de eventos metamórficos, terem contribuído na formação de segunda geração de magnesita pela substituição do cálcio pelo magnésio em rochas dolomíticas hospedeiras. Através da análise de isótopos estáveis de oxigênio e carbono, Almeida (1989) interpretou o depósito como tipo Veitsch, segundo a classificação de Pohl & Siegl (1986). Na elaboração desse modelo, os autores levaram em consideração características macroscópicas dos minerais, tais como cores variegadas e os tamanhos dos grãos, além da forma de ocorrência associada aos mármore diversos e rochas clásticas. A presença de impurezas também pode ser um argumento favorável para essa hipótese, já que depósitos tipo Veitsch, segundo Pohl e Siegl (1986), apresentam níveis consideráveis de óxidos de ferro e silício compatíveis com o que são encontrados na serra das Éguas.

Oliveira et al. (1997) sugerem uma origem químico-sedimentar para o depósito de magnesita da Serra das Éguas, principalmente devido a extensão e potência das camadas do minério e a sua associação com itabiritos, quartzitos e dolomitos. Tais rochas caracterizariam, assim um ambiente marinho de mar interior fechado. Ainda segundo esses autores, eventos metamórficos regionais podem ter provocado recristalização e modificação na textura nos diferentes tipos de magnesita. A presença de talco associado aos pacotes de magnesita, de acordo com os autores, está associada a zonas de cisalhamento com circulação de fluidos hidrotermais ricos em sílica, que pode indicar eventos hidrotermais posteriores.

Dardenne e Schobbenhaus (2001) também ratificaram que o depósito de magnesita da Serra das Éguas apresenta evidências que sugerem tratar de um depósito químico-sedimentar, com os seguintes argumentos: (i) extensão das camadas; (ii) presença de rochas químico-sedimentares, tais como itabiritos, quartzitos e dolomitos. Esses autores sugeriram um ambiente marinho denominado de mar interior fechado com condições termoquímicas adequadas para precipitação da magnesita.

Segundo Barbosa et al. (2012), a formação dos mármore calcíticos, dolomíticos e magnesíticos da Serra das Éguas também ocorreu em um ambiente sedimentar de águas rasas, de ambientes marinho a marinho restrito, com variação da salinidade dependendo da relação Mg/Ca da água que aumentava gradativamente em direção ao continente. Para esses autores, a variação gradativa dessa razão influencia diretamente no tipo de carbonato depositado. Nos ambientes mais distais, com menor razão Mg/Ca, ocorre a precipitação de calcita, nos ambientes intermediários da bacia precipita a dolomita, até que finalmente nos ambientes mais restritos e com maior razão Mg/Ca ocorre a precipitação da magnesita, que seria o caso dos depósitos da serra das Éguas.

Queiroz (1997) mostra que os primeiros indícios de atividade de mineração do carbonato de magnésio, que se tem conhecimento no mundo, indicam a segunda metade do século XIX. Sendo a primeira atividade de lavra do minério reconhecida data de 1881 na região de Styria-Austria.

Na Serra das Éguas, de acordo com Oliveira et al. (1997), a primeira ocorrência de magnesita foi encontrada em 1916 por Ferdinando Laboriau. Posteriormente, no ano de 1938, técnicos do até então Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, reconheceram os mármore magnesíticos como rocha hospedeira das esmeraldas que eram lavradas em pequenos garimpos da serra da Éguas. De acordo com esses autores, com a chegada da segunda guerra mundial e a expansão industrial, a magnesita teve sua importância acentuada levando Pierre Cahen e Georges Louis Minvielle entrarem em contato com o DNPM para especular sobre o carbonato de magnésio estudado na serra das Éguas. Com auxílio dos técnicos do DNPM e de garimpeiros da região, Pierre Cahen e Georges Louis Minvielle mapearam a serra das Éguas e identificaram as ocorrências de magnesita, suficientes para a então criação da Companhia Magnesita Ltda, que mais tarde atraiu mais sócios e teve seu nome mudado para Magnesita S.A.

A efetiva produção das minas ocorreu em 1945, ano que ocorreu o primeiro estudo técnico dos jazimentos, realizado por Alfred J Bodenlos, Geólogo do serviço geológico americano (USGS) (Oliveira et al. 1997).

4. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE MÁRMORES MAGNESÍTICOS

Os estudos e análises químicas de elementos maiores, traços e terras raras são essenciais para caracterização das rochas e minerais e para a interpretação dos ambientes de formação das rochas. Poucos são os estudos de mármore magnésítico que utilizam dados litogeoquímicos, podendo ser citados os trabalhos científicos de Rosler and Lange (1972), Martiny and Rojkovic (1977), Parente et al. (1998), Ghoneim et al. (2003), Tang et al. (2013), Dong (2016) Krupenin et al. (2017).

4.1. Elementos Maiores

Diagramas X versus Y de elementos maiores vêm sendo utilizados como uma ferramenta de caracterização da mineralogia carbonática dos depósitos, bem como para comparação entre eles. Os diagramas normalmente utilizados são os que relacionam Ca e Mg (Parente et al. 1998). Diagrama ternário de classificação de rochas carbonáticas também é utilizado para a classificação química dos carbonatos (Hall & Veizer, 1996), sendo o $\text{CaCO}_3 - \text{FeCO}_3 - \text{MgCO}_3$ (Fig. 2.5) utilizado por Kodi (2002). De acordo com o autor, a partir desse diagrama é possível separar a magnesita (MgCO_3) da ferro-magnesita ($(\text{Mg,Fe})\text{CO}_3$). Haidinger (1825) e posteriormente Dana (1951) mostraram que ambos os minerais são ricos em magnésio, porém a ferro-magnesita possui quantidade significativa de óxido de ferro em sua estrutura. De acordo com Kostov (1968), existem dois tipos de ferro-magnesita, sendo o mineral breunnerita formado com teores de aproximadamente 10% de FeO em sua estrutura cristalina, e o mineral mesitina que é formado com teores de até 30% de óxidos de ferro.

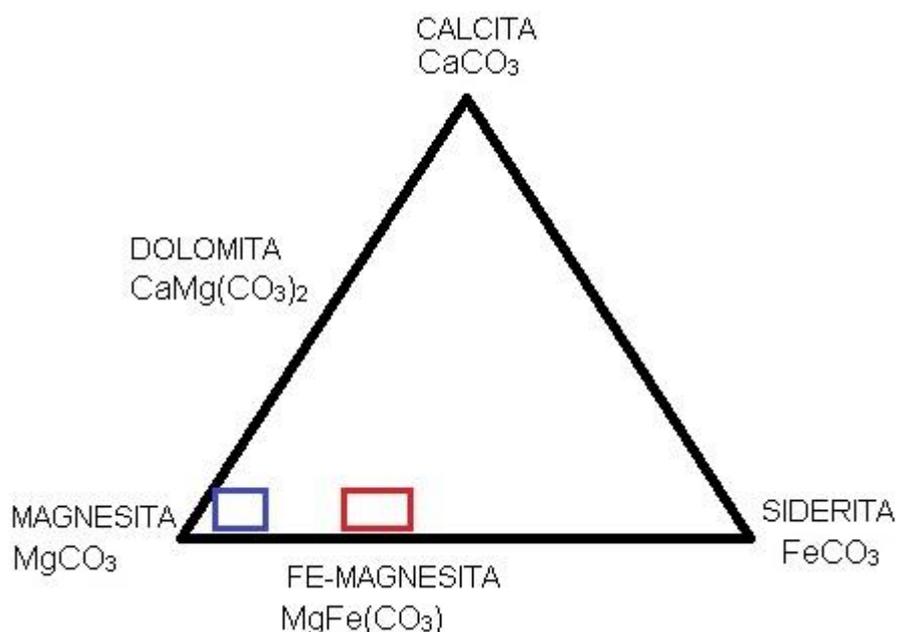


Figura 2.5. Diagrama modificado de Kodi (2002) utilizado para separar a magnesita (campo azul) da ferro-magnesita (campo vermelho). Amostras do depósito de Carpathians, na Eslováquia.

Parente (2004) mostrou que o diagrama da figura 2.5 apresenta resultados satisfatórios na classificação do tipo de mármore estudado, uma vez que mármore impuros podem conter minerais com teores mesclados de Ca, Mg e Fe.

Segundo Ghoneim et al. (2003), os dois principais tipos de depósitos, Veitsch e Kraubath (Pohl & Siegl, 1986), podem ser diferenciados a partir de uma relação entre óxidos de elementos maiores Fe versus Mn (Fig. 2.6). Esta relação foi utilizada por Rosler e Lange (1972) para classificar o comportamento de depósitos de magnesita criptocristalina, que corresponde ao mineral do depósito do tipo Kraubath. Posteriormente, Martiny e Rojkovic (1977) utilizaram a mesma relação para classificar o comportamento dos depósitos de magnesita espática, classificados como do tipo Veitsch (Fig. 2.6). Bashir et al. (2009) utilizaram diagrama Fe versus Mn para verificar o comportamento da magnesita do depósito de Khuzdar, no Paquistão (Fig. 2.6). As amostras plotaram próximo ao campo das magnesitas criptocristalinas de depósitos do tipo kraubath.

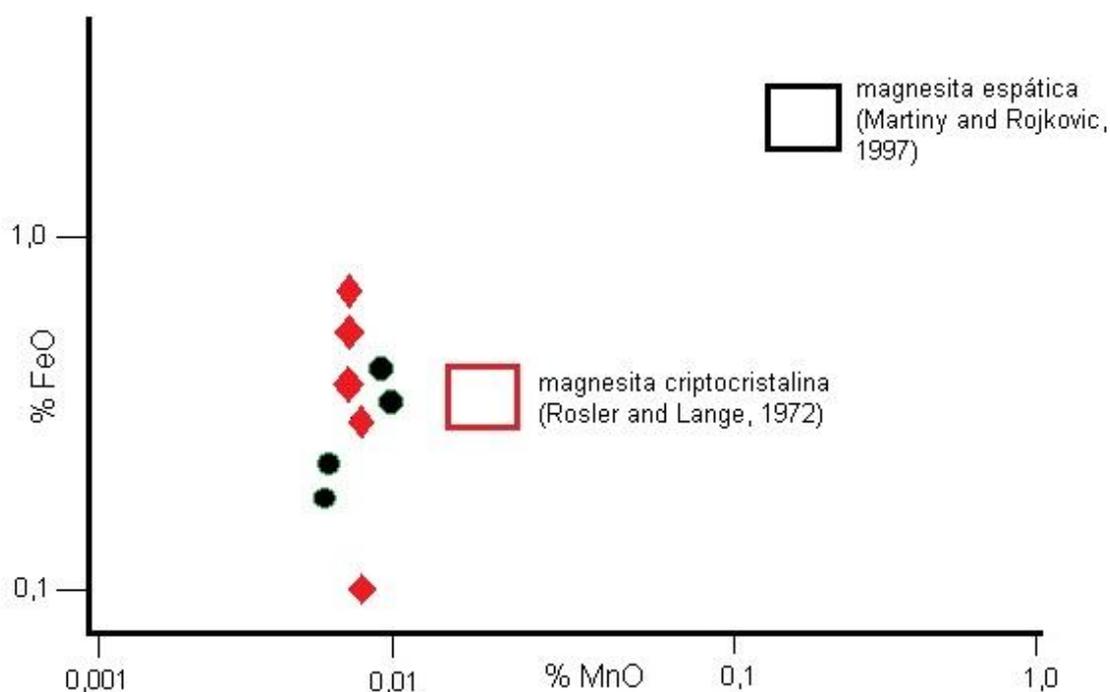


Figura 2.6. Diagrama da relação Fe versus Mn. A área em vermelho é o campo teórico indicado por Rosler and Lange (1972) para magnesitas criptocristalinas do tipo kraubath. A área em preto representa o campo teórico indicado por Martiny and Rojkovic (1977) para as magnesitas espáticas do tipo Veitsch. Os círculos pretos representam os dados do depósito de Khuzdar, no Paquistão estudado por Bashir et al. (2009). Os losangos vermelhos indicam as amostras estudadas por Hajjar et al. (2015). Fonte: Modificado de Ghoneim et al. (2003), Bashir et al. (2009) e Hajjar et al. (2015).

Hajjar et al. (2015) também utilizaram o diagrama Fe versus Mn para classificar o tipo de magnesita dos depósitos de Beni Bousera no Marrocos (Fig. 2.6). As amostras de magnesita coletadas pelos autores e plotadas no diagrama Fe vs Mn mostraram resultados próximos ao campo teórico da magnesita criptocristalina dos depósitos do tipo kraubath. De acordo com os autores, a origem do depósito de magnesita está associada a complexos ultramáficos, caracterizando o depósito como do tipo Kraubath.

4.2 Elementos Terras Raras e Traços

O Elementos Terras Raras são utilizados no auxílio da interpretação do ambiente de formação dos minerais de magnesita. Khelen et al. (2019) utilizaram *Post Archean Australian Shale* (PAAS) (McLennan, 1989) como normalizador para estudar o comportamento dos elementos traços e terras raras em mármore magnesítico. Segundo Klein (2005) e Alexander (2008), os Elementos Terras Raras entram na

composição de partículas sólidas em suspensão a água do mar através da adsorção e precipitam junto com os sedimentos marinhos. De acordo com os autores, o Cério - Ce e o Európio- Eu são indicadores do comportamento geoquímico da água do mar responsável pela sedimentação de rochas.

Morteani et al. (1983) relacionaram as anomalias positivas de Eu com a contribuição de fluidos hidrotermais provenientes de decomposição de feldspatos. Posteriormente, Bau and Dulski (1996) relacionaram as anomalias de Eu em rochas normalizadas por PAAS (McLennan, 1989), com fluidos hidrotermais, onde valores de $Eu/Eu^* > 1$ representam contribuições de fluidos com temperaturas superiores a 250°C, que podem ser associados a fumarolas e fluidos oriundos de cadeias meso-oceânicas. Ao passo que quanto mais afastado das fontes hidrotermais, os valores do Európio aproximam-se de valores semelhantes com a água do mar.

Para as anomalias negativas do Eu em rochas químico-sedimentares, e normalizadas por PAAS (McLennan, 1989) e Condrito (Anders and Grevesse, 1989), Moller (1989) indicou existir relação com ambientes redutores. Na Faixa Oros, no Ceará, Parente (2004), interpretou que o comportamento anômalo negativo do Eu estaria relacionado com um ambiente marinho paralítico com condições redutoras e distantes de fontes hidrotermais.

De acordo com Moller (1989), a anomalia negativa do Ce em magnetitos pode indicar um ambiente marinho raso, ao passo de que a anomalia positiva desse elemento poderia sugerir uma contribuição continental em uma bacia próxima ao continente. Em seu estudo sobre os mármore magnésíticos da Faixa Oros, no Ceará, Parente (2004) interpretou que as anomalias positivas de Ce também podem indicar um ambiente plataformal raso com contribuição de material detrítico. Ribeiro (2016) mostrou em seus estudos que anomalias negativas de Cério em rochas sedimentares indicam um ambiente de deposição com características oxidantes que favorece a precipitação de carbonatos, além de sugerir um ambiente marinho raso.

Alexander et al. (2008) indicou a distribuição de elementos terras raras em formações ferríferas e rochas químico sedimentares, onde o Ítrio possui comportamento anômalo positivo, característico de ambiente de águas marinhas arqueanas e paleoproterozoicas. Bau and Duski (1996) utilizaram a razão Ítrio por Hólmio Y/Ho para indicar as condições paleoambientais de deposição dos sedimentos, devido à presença do ítrio em águas marinhas, sendo $Y/Ho < 30$ ppm considerado como ambientes com contribuição detrítica, ao passo que razões $Y/Ho >$

30 ppm sugerem ambientes químico-sedimentares. Razões que apresentam valores inferiores a 30 ppm sugerem uma contribuição detrítica (Alexander et al., 2008). Posteriormente, Planavsky et al. (2010) mostrou que a razão Y/Ho na água do mar possui valores entre 60 e 90 ppm, enquanto que esta razão para as águas continentais oscila entre 26 e 27 ppm.

Em formações ferríferas, Alexander et al. (2008) utilizaram dois diagramas para caracterização da influência e característica da água no processo de sedimentação da paleobacia: a) diagrama Y/Ho vs Eu/Sm (Fig. 2.7), para identificação de assinaturas marinhas e de fluidos hidrotermais singenéticos de baixa e alta temperaturas. Os campos mostram condições de águas marinhas mais rasas até fluidos com temperaturas acima de 350°C (Bau and Dulski, 1999) e suas contribuições nos processos de formação da rocha; b) diagrama Sm/Yb versus Eu/Sm (Fig. 2.8), para mostrar a contribuição de fumarolas e fluidos hidrotermais.

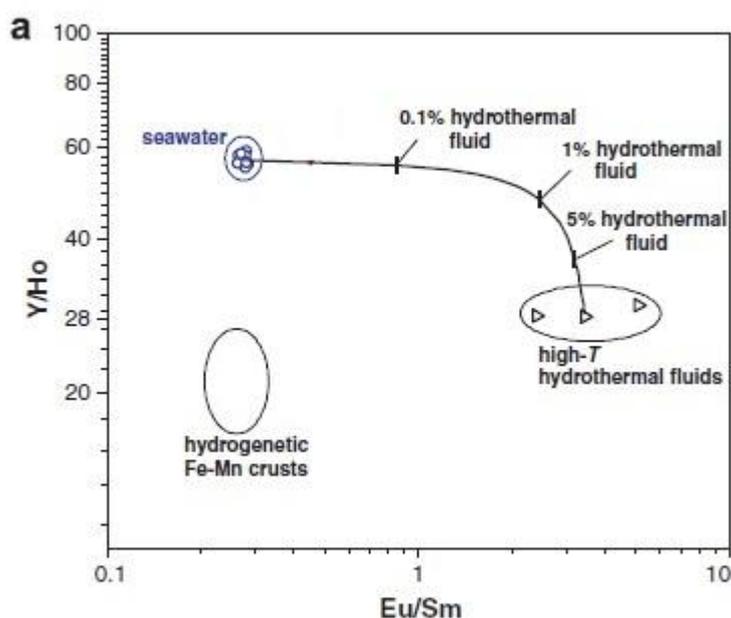


Figura 2.7. Diagrama utilizado por Alexander et al. (2008) para indicar a assinatura química da água do mar e a contribuição de fluidos hidrotermais durante a formação das rochas. As temperaturas dos fluidos podem ser superiores a 350°C (Bau and Dulski, 1999).

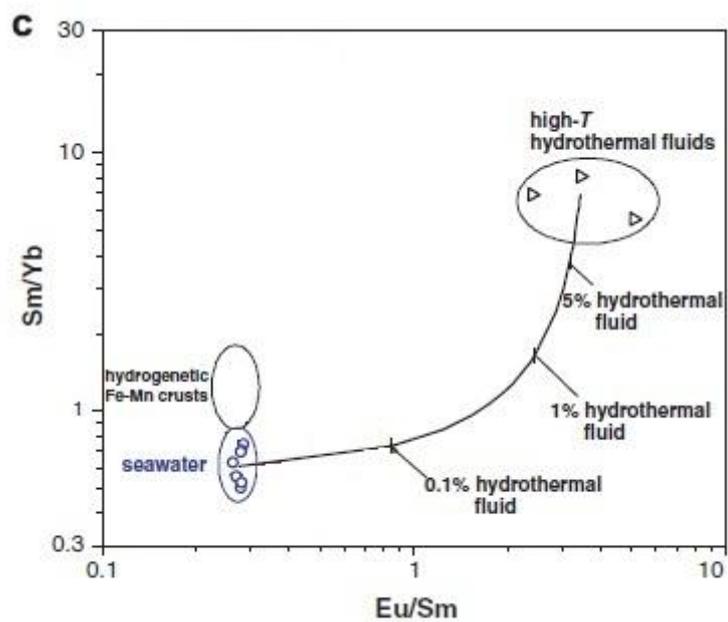


Figura 2.8. Diagrama utilizado por Alexander et al. (2008) para mostrar a contribuição das fumarolas negras na deposição de sedimentos químicos marinhos.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E QUÍMICA DOS MÁRMORES MAGNESÍTICOS DO COMPLEXO SERRA DAS ÉGUAS, BRUMADO-BA

Magno de Mendonça Freire¹, Simone Cerqueira Pereira Cruz², Florivaldo Oliveira Sena³, Eider Gargano Rangel¹, Marcos Alberto Rodrigues Vasconcelos⁴, Mariana Nair Miranda¹

¹UFBA – Universidade Federal da Bahia; ²UFBA – Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Geologia; ³SERVIGEO – Consultoria Geologia e Geofísica, ⁴UFBA – Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Geofísica

RESUMO

O Complexo Serra das Éguas é uma das unidades do embasamento do setor intracontinental do Orógeno Araçuaí e da Paleoplaca Gavião. Estudos pretéritos contribuíram para a caracterização das rochas dessa sequência, a qual a estratigrafia das unidades é definida por: i) Unidade vulcanoquímica, com rochas metamáficas e metaultramáficas xistificadas, quartzitos ferruginosos e formações ferríferas bandadas metamorfisadas; b) Unidade carbonática, com mármore dolomíticos e magnesíticos, com rochas metamáficas e metaultramáficas subordinadas; c) Unidade siliciclástica com rochas siliciclástica. Nesse complexo estão hospedados os mármore magnesíticos dispostos em lentes (*stratabounds*) encaixados em mármore dolomíticos, lavrados economicamente desde 1944. Atualmente, as duas principais minas em atividade são as de Pedra Preta e de Pomba. Os mármore magnesíticos encontrados são: (i) vermelho e claro; (ii) branco e cinza. As microestruturas encontradas nessas rochas são: Granoblástica interlobada e poligonal, microestrutura núcleo-manto milonítica, porfoblástica, decussada e de reação. A granulação em geral 3 a 8mm. Duas gerações de hematita foram encontradas nessas rochas: a mais antiga (hematita 1), que ocorre como inclusão com granulometria inferior a 0,01mm em grãos do mármore magnesítico vermelho e claro; a mais nova (hematita 2), que ocorre isolada, idioblástica e lamelar, com granulação entre 0,05 e 1mm, em fraturas desenvolvidas na magnesita vermelha; formando grãos isolados ou agregados, ambos disseminados, com minerais idioblásticos a subidioblásticos e granulação de 0,05 a 1mm, bem como agregados lobulares, neste caso em todos os mármore magnesíticos, com granulação entre 0,05 e 1mm. Veios de hematita 2 são encontrados no mármore magnesítico cinza. Análises de elementos maiores mostraram concentração mais elevadas de óxidos de ferro e manganês no mármore magnesítico vermelho, bem como razão Mg/Ca mais elevada nestas rochas. As análises para elementos traços e terras raras sugerem que a magnesita primária é de origem sedimentar com contribuição de material continental; Estudos com os elementos cério, ítrio e hólmio foram feitos, sendo que as anomalias verdadeiras positivas de Ce e razão Y/Ho<30 indicam ambiente mais raso e oxidado para os mármore, enquanto que anomalias verdadeiras negativas de Cério e razão Y/Ho>30 podem sugerir um ambiente menos oxidante e mais profundo para estas rochas. O

modelo paleoambiental sugere a existencia de dois tipos de bacias que acomodaram as rochas carbonáticas, uma próxima ao continente e outra distal. Processos deformacionais e metamórficos regionais levaram à formação dos mármore e das rochas carbonatossilicáticas. Fluidos hidrotermais epigenéticos percolaram fraturas desenvolvidas nas zonas de cisalhamento transpressionais destrais. Esses fluidos foram responsáveis pela geração de uma segunda magnesita branca e pela formação dos mármore claros e cinzas. As tipologias brechada, venular e stringer foram geradas nesse episódio hidrotermal.

Palavras-chave: Magnesita, Depósito, Mármore.

ABSTRACT

The Serra das Éguas Complex is one of the basement units of the Araçuaí Orogen's intracontinental sector and Paleoplaca Gavião. Past studies contributed to the characterization of the rocks of this sequence, which the stratigraphy of the units is defined by: i) Volcanochemical unit, with xistified metamorphic and metaultramphic rocks, ferruginous quartzites and metamorphosed banded ferrous formations; (b) carbonate unit, with dolomitic and magnesitic marbles, subordinate metamafic and metaultramafic rocks; c) Silicycle unit with silicycle rocks. In this complex are housed the magnesite marbles arranged in stratabounds embedded in dolomitic marbles, economically plowed since 1944. Currently, the two main mines in operation are Pedra Preta and Pomba. The magnesite marbles found: (i) red and light; (ii) white and gray. The microstructures found in these rocks presents: interlobed and polygonal granoblastic, milonitic, porfibrastic, decussed and reaction core-mantle microstructure. The general granulation 3 to 8mm. Two hematite's generations were found in these rocks: the oldest (hematite 1), which occurs as inclusion with particle size of less than 0.01mm in grains of red and light magnesitic marble; the youngest (hematite 2), which occurs isolated, idioblastic and lamellar, with granulation between 0.05 and 1mm in red marble; forming isolated grains or aggregates, both disseminated, with idioblastic to subidioblastic minerals and granulation of 0.05 to 1mm, as well as lobular aggregates, in this case in all magnesite marbles, with granulation between 0.05 and 1mm. Hematite 2 shafts are found in gray magnesitic marble. Larger element analyzes showed higher concentrations of iron and manganese oxides in red magnesitic marble, as well as higher Mg / Ca ratio. Analyzes for trace elements and rare earths suggest that the primary magnesite is of sedimentary origin with input from continental material; Studies with the cerium, yttrium and holmium elements were made, where the true positive anomalies of Ce and Y / Ho ratio <30 indicate a shallower, more oxidized environment for the marbles, while true negative anomalies of Cerium and Y / Ho ratio > 30 may suggest a less oxidizing and deeper environment for these rocks. The paleoenvironmental model suggests the existence of two types of basins that accommodated the carbonate rocks, one near the continent and one distal. Regional deformational and metamorphic processes led to the formation of marbles and carbonatosilicate rocks. Epigenetic hydrothermal fluids percolated fractures developed in the right-handed transpressional shear zones. These fluids were responsible for the generation of a second white magnesite and the formation of light and gray marbles. The brecciated, venular and stringer typologies were generated in this episode.

Keywords: Magnesite, Deposit, Marble.

1. INTRODUÇÃO E CONTEXTO ECONÔMICO

O Complexo Serra das Éguas (Pinho et al. 2013), que aflora na serra homônima e situa-se no embasamento do setor intracontinental do Orógeno Araçuaí (Borges et al. 2015, Cruz et al. 2015) (Fig. 1), hospeda mármores (Sensu Feetes & Desmons 2007) magnesíticos lenticulares e de composições diversas. Os mármores magnesíticos estão hospedados em mármores dolomíticos e calcíticos que, em direção à base, passam lateralmente para um pacote de rochas com formações ferríferas bandadas e rochas máficas e metaultramáficas (Lima 1986; Almeida, 1989; Oliveira et al. 1997; Cruz et al. 2019; Rangel 2019). Os modelos genéticos propostos por Almeida (1989), Oliveira et al. (1997) e Dardenne e Schobbenhaus et al. (2001) sugerem a existência de uma origem sedimentar em ambiente marinho restrito.

A descoberta de magnesita na serra das Éguas foi feita por Ferdinando Laboriau em 1916 (Oliveira et al. 1997). Segundo esses autores, durante a segunda guerra mundial, Pierre Cahen e Georges Louis Minvielle teriam visitado a serra junto com técnicos do antigo Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM e mapearam as ocorrências de mármores magnesíticos. O volume encontrado e as perspectivas econômicas teriam levado à criação da Companhia Magnesita Ltda, que posteriormente foi denominada de Magnesita S.A. A produção de magnesita teve início efetivo no ano de 1945.

USGS (2019) demonstra um crescimento da produção anual de magnesita, sendo que o Brasil, com suas 390.000.000 t de reservas, ocupa a quarta posição no mundo e é um dos maiores produtores. De acordo com o DNPM (2016), o Brasil demonstrou um aumento de aproximadamente 32% na produção de magnesita entre os anos de 2012 e 2015. Os principais depósitos brasileiros são os da serra das Éguas, em Brumado, e os de Sento Sé, ambos na Bahia, além dos depósitos de Orós, Jucás e Iguatu localizados no Ceará.

Na serra das Éguas a reserva estimada é de 240.000.000 toneladas de minério (IBRAM, 2012) e os mármores mais ricos possuem teores de MgO entre 43 – 47% (Oliveira et al. 1997). A exploração atualmente é realizada pela RHI Magnesita em duas principais minas, denominadas de Pedra Preta e Pomba, que possuem minérios com características físicas e químicas distintas. O beneficiamento do minério magnesíticos leva à formação de sínter magnesiano através de processos de calcinação e sinterização em fornos específicos que atingem temperaturas de 1800°C a 2000°C (Garcia, 2004). De acordo com esse autor, o resultado é um sínter de alta

qualidade utilizado na construção de fornos refratários e outros maquinários na indústria siderúrgica que suportam temperaturas de até 2800°C.

Esse artigo tem como objetivo apresentar os resultados dos estudos petrográficos e químicos em mármore magnésicos do Complexo Serra das Éguas que afloram na serra homônima visando contribuir para o entendimento das tipologias de minério e da evolução geológica desse importante depósito do cenário brasileiro e mundial.

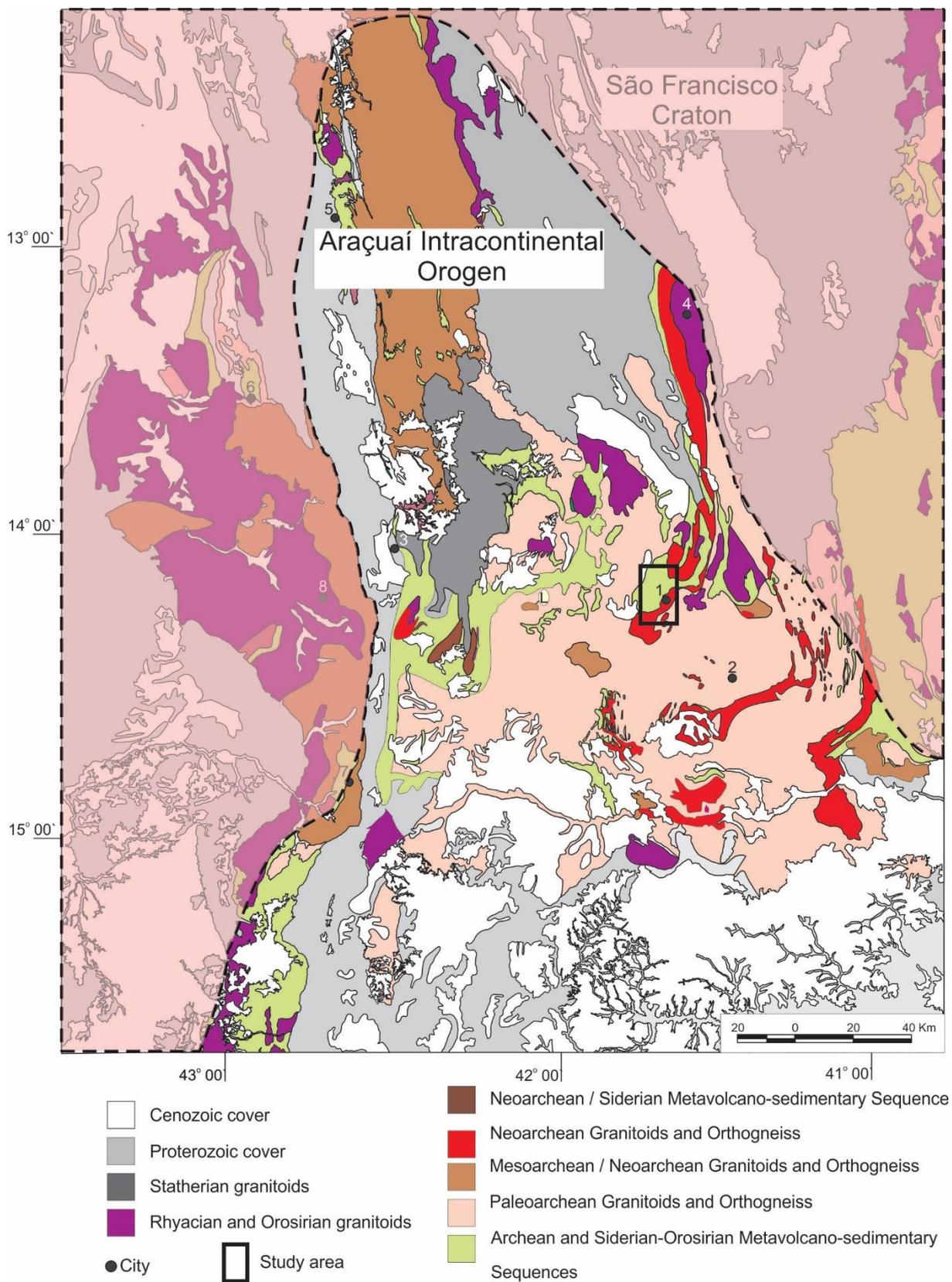


Fig. 1. Mapa geológico simplificado da região ocidental do setor intracontinental do Orógeno Araçuaí com a localização da área de estudo. Modificado de Vitória (2018). Cidades: 1- Brumado, 2- Aracatu, 3- Caetité, 4- Jussipe, 5- Boquira, 6- Riacho de Santana, 7- Urandi.

2. CONTEXTO TECTONICO REGIONAL

No Setor Intracontinental do Orógeno Araçuaí (Fig.1, 2) afloram rochas com idades que variam desde o Paleoarqueano até o Criogeniano (Martin et al., 1991; Nutman and Cordani, 1993; Cunha et al., 1996; Santos-Pinto et al. 1998; Bastos Leal et al., 1998, 2000; Peucat et al., 2002; Danderfer et al. 2009, 2015; Santana 2016; Medeiros et al. 2017; Bittencourt et al. 2018). Os metagranitoides arqueanos marcam quatro eventos magmáticos com idades 3.6-3.3 Ga, 3.2-3.0 Ga, 2.9-2.8 Ga e 2.7-2.6 Ga (Medeiros et al. 2017 e referencias citadas). Essas rochas estão gnaissificadas e migmatizadas em graus variáveis e em fácies desde anfíbolito alto a granulito (Arcanjo et al. 2005, Barbosa et al. 2013, Medeiros et al. 2017). As rochas paleoarqueanas possuem protólitos tonalíticos, trondhjemíticos e granodioríticos (Barbosa et al. 2012b e referencias citadas) com idades entre 3403 ± 5 (U-Pb, SHRIMP, zircão; Nutman & Cordani, 1993) e 3225 ± 10 Ma (Pb-Pb, TIMS, zircão; Santos-Pinto et al., 1998).

Os metagranitoides mesoarqueanos compreendem rochas tonalíticas, granodioríticas e dioríticas com assinatura calcialcalina e idades de cristalização que variam entre 3.136 ± 8 e 3.091 ± 24 Ga (U-Pb, LA-ICPMS, zircão, Medeiros et al., 2017), com idades modelo entre 3,3 e 3,1 Ga e ϵ_{Nd} entre 4,7 e +0,3 (Barbosa et al. 2013). Os metagranitoides neoarqueanos integram suítes magmáticas com rochas de composição alcalina a subalcalina e com idades de cristalização entre 2.696 ± 5 Ga (U-Pb, LA-ICPMS, zircão; Cruz et al., 2012) e 2.524 ± 14 Ga (Pb-Pb, TIMS, Santos-Pinto et al. 1998). Segundo Cruz et al. (2012), são rochas alcalinas de ambiente magmático intraplaca. Por sua vez, Teixeira et al. (2012) interpreta para o corpo de Itanajé de idade 2696 ± 8 Ma (Cruz Filho et al. 2013) uma química calcialcalina a metaluminosa de ambiente de fusão crustal, podendo ou não estar associado a processos de rifteamento.

As sequências metavulcanossedimentares, de idades arqueanas a orosirianas (Cruz et al. 2017), foram genericamente agrupadas por Silva & Cunha (1999) e Cunha et al. (2012) nos *greenstone belts* Boquira, Riacho de Santana, Guajeru, Ibitira-Ubiraçaba, Brumado e Umburanas, bem como nas sequências similares Urandi, Licínio de Almeida e Contendas-Mirante. Por sua vez, sintetizando os dados geocronológicos existentes, Cruz et al. (2017 e referencias citadas) propuseram a seguinte subdivisão: (i) sequência metavulcanossedimentar paleoarqueana, que compreendem os *greenstone belts*, com rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas diversas, algumas com textura spinifex (Cunha & Fóes 1994, Menezes et

al. 2015), que podem estar associadas a níveis de itabiritos e, subordinadamente, quartzitos, metaconglomerados e xistos aluminosos. Recentemente, Menezes et al. (2016) obtiveram uma idade de 3.186 ± 30 Ma (U-Pb, LA-ICPMS, zircão) para metavulcânicas félsicas que se intercalam com rochas metaultramáficas e metamáficas da base do *Greenstone Belt* de Umburanas; (ii) sequências metavulcanossedimentares mesoarqueanas relacionada com as rochas metavulcânicas félsicas com idades U-Pb (SHRIMP, zircão) de 2.744 ± 15.5 Ma (Bastos Leal et al. 2003). Para as neoarqueanas, os dados U-Pb obtidos por Rios (2018) sugerem uma idade de cristalização em 2654 ± 9.9 Ma e de deposição em 2528 ± 69 Ma para os xistos metamáficos e formações ferríferas bandadas metamorfisadas, respectivamente. Por sua vez, Vitoria (2018) obteve uma idade U-Pb (LA-ICPMS, zircão) de 2550 ± 2 Ma para rochas metavulcânicas ácidas, calcioalcalinas e interpretadas como associadas com ambiente de arco magmático continental; e (iii) sequências metavulcanossedimentares sideriana – orosiriana, que compreendem rochas siliciclásticas com idade máxima de deposição em 2280 ± 46 Ma (U-Pb, LA-ICPMS, zircão) (Cruz et al. 2017), além de rochas metavulcânicas máficas-ultramáficas xistificadas, todas com assinatura de arco magmático (Vitória 2014, 2018). Essa sequência Iguatemi-Piripá de Martins et al. (2014).

A granitogênese sideriana-riaciana-orosiriana atualmente é caracterizada por 29 intrusões graníticas divididas em pré-colisionais e pós-colisionais (Cruz et al. 2016). Os pré-colisionais compreendem metagranitoides com deformação heterogênea e composição predominantemente granodiorítica, podendo ocorrer rochas tonalíticas e monzograníticas, sendo cálcico-alcalinas a trondhjemíticas com idades de cristalização entre 2324 ± 6 a $2091 \pm 6,6$ Ma e de ambiente de arco magmático. Os corpos pós-colisionais possuem pouca ou nenhuma deformação, com idades de cristalização entre 2070 ± 72 e 1852 ± 50 Ma. Genericamente, variam entre sienitos, monzonitos, sienogranitos, monzogranitos e granodioritos, com química variando entre alcalina a peralcalina e aluminosos com termos ultrapotássicos.

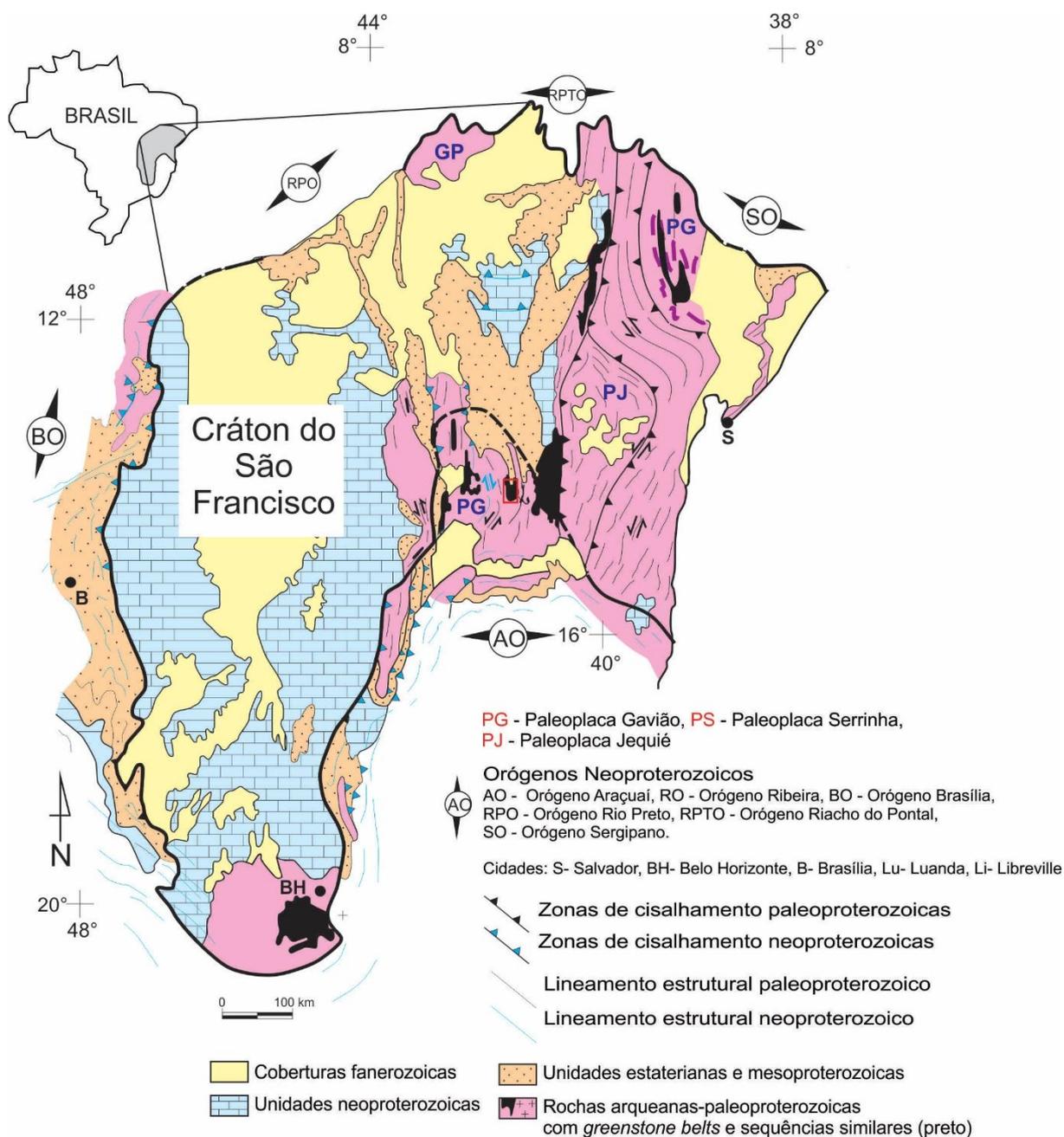


Fig. 2. Mapa geológico esquemático dos compartimentos do Cráton do São Francisco e do setor norte do Orógeno Araçuaí (AO). Adaptado Cruz et al. (2016).

As coberturas proterozoicas (Fig. 2) estão representadas pelos supergrupos Espinhaço e São Francisco. O primeiro, com idade de deposição entre 1.77 a 0.9 Ga (Danderfer et al. 2015, Guadagnin et al. 2015) compreende principalmente, rochas metassedimentares clásticas, depositadas em ambientes continentais (eólico, fluvial, estuarino e deltáico) (Cruz & Alkmim 2017), bem como rochas metavulcânicas ácidas, de composição dacítica, riolitos, riodacitos e andesitos porfíricos com idades: (i) 1752 ± 4 Ma e 1748 ± 4 Ma; (ii) 1731 ± 5 Ma e 1740 ± 10 Ma; (iii) 1582 ± 8 Ma e 1569 ± 14

Ma; e (iv) (Schobbenhaus et al., 1994; Danderfer Filho et al., 2015). No Supergrupo São Francisco afloram rochas siliciclásticas, algumas de ambiente glacial, com idade de deposição máxima em 892 ± 64 Ma (Figueiredo et al. 2009), que são sobrepostas por rochas carbonáticas. Santana (2016) obteve a idade de 669 ± 14 Ma para a cristalização de rochas metavulcânicas ácidas que se intercalam com esses carbonatos.

Diques máficos gabróticos, com química toleítica e associado com ambiente anorogênico intraplaca continental foram datados e integram dois conjuntos distintos: (i) com idades 1514 ± 22 Ma entre 1492 ± 16 Ma (Babinski *et al.* 1999, Guimarães et al., 2008, Loureiro et al. 2010, Silveira et al. 2013); e (ii) com idades entre 934 ± 14 Ma e 854 ± 23 Ma (Loureiro et al. 2010, Danderfer Filho et al., 2009).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa se desenvolveu com base nos trabalhos de campo que totalizaram cinco dias (5 a 9 de novembro de 2018), tendo sido realizado descrição de afloramentos e furos de sondagem, bem como a coleta de amostras (Fig. 3; Apêndices A, C). O datum utilizado foi SAD69 UTM 24S. A caracterização petrográfica ocorreu em 41 seções delgadas e polidas coletadas em furos de sondagem e em afloramentos durante a etapa de campo, além de 98 laminas cedidas pela empresa RHI Magnesita (Fig. 3; Apêndice B). Nesta etapa, foram descritas as microestruturas e identificada a mineralogia visando caracterizar as paragêneses minerais. As rochas foram classificadas de acordo Feetes & Desmons (2007).

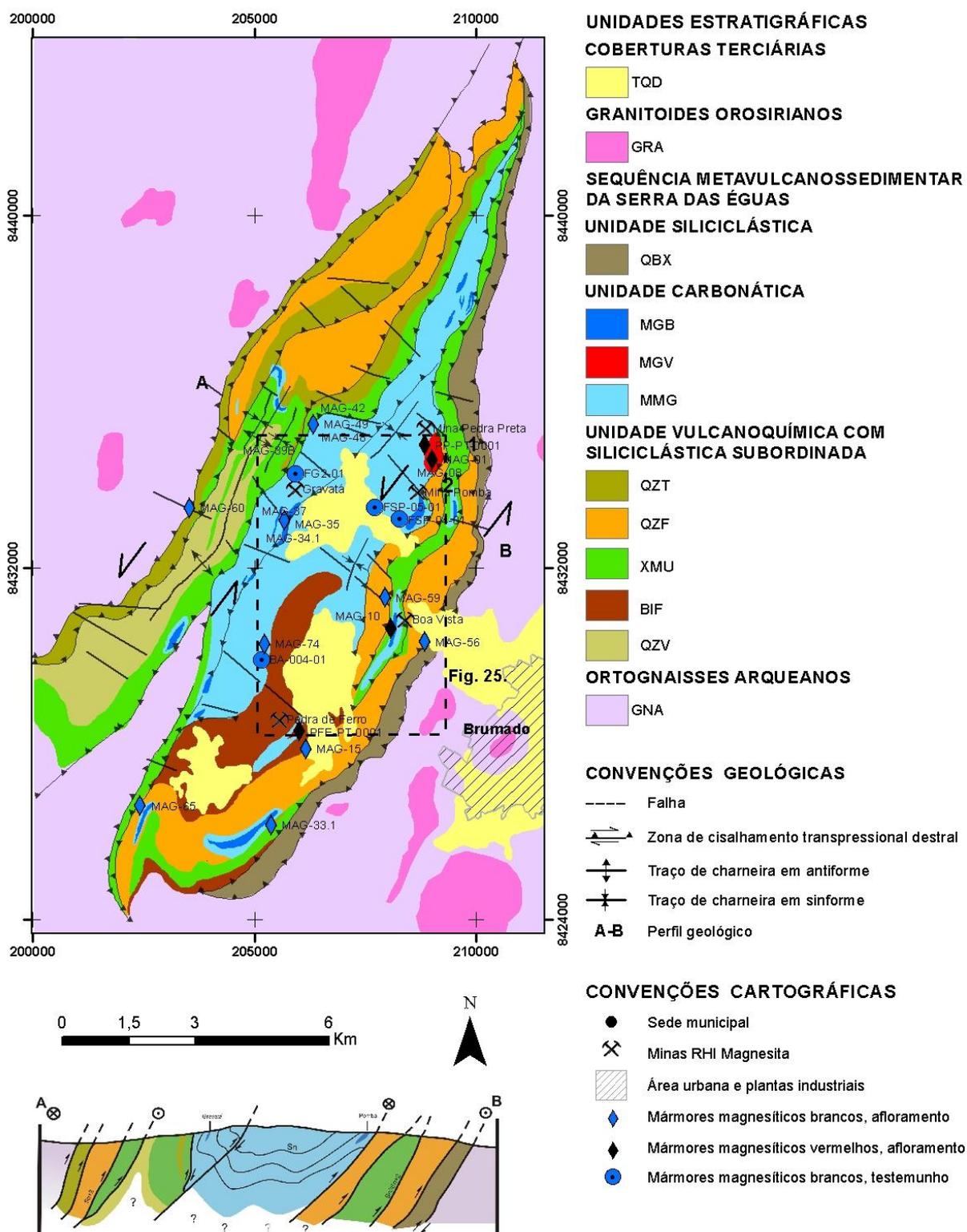


Fig. 3. Mapa Geológico do complexo Serra das Éguas e da região de entorno. Adaptado de Paim et al. (2018). TQD – Cobertura detrito-laterítica; GRA – Suíte Fazenda Corcunda – Granito à biotita cinza e granito rosado, fino, foliado; QBX – Muscovita-biotita-quartzo xistos com cianita; MGB – Mármore magnésítico branco tipo Pomba, Pirajá, Fábrica, Cabeceiras, Cordeiro-Tamboril, Morro do Sobrado, São Lourenço e Coité com níveis subordinados de rochas metaulttramáfica e metamáfica e talco xisto; MGV – Mármore magnésítico vermelho tipos Pedra Preta e Pedra de Ferro com níveis subordinados

de rocha metaultramáfica, metamáfica, anfibólio-clorita mármore e talco xisto; MMG – Mármore dolomíticos indiferenciados com níveis subordinados de mármore magnésítico com proporções variáveis de anfibólio e clorita, rochas metaultramáfica, metamáfica e talco xisto; QZT – Quartzito branco com lentes subordinadas de quartzito com granada; QZF – Quartzito ferruginoso e lentes subordinadas de quartzito branco e de formação ferrífera bandada metamorizada; XMU – Rochas metamáfica e metaultramáfica com níveis subordinados de quartzito ferruginoso, mármore magnésítico e dolomítico brancos com proporções variadas de anfibólio, clorita, talco xisto e filito grafitoso; BIF – Formação ferrífera bandada metamorizada com intercalações subordinadas de rochas metaultramáfica e metamáfica; QZV – Quartzito verde nas variações bandadas e maciças; GNA – Ortognaisses migmatíticos meso a ultramiloníticos Gavião e augen gnaiss meso a ultramiloníticos Caraguataí indiscriminados. Modificado de Paim et al. (2018).

Estudos geoquímicos de rocha total realizados em 27 amostras, coletadas em campo, na ALS Global (Tabela 1). Neste laboratório as amostras foram pulverizadas para obter granulometria de, no mínimo, 85% de 75 microns. As análises para elementos maiores foram realizadas por fusão com tetraborato de lítio seguido pela dissolução do material fundido e análise por ICP-AES. A determinação dos elementos traços ocorreu por fusão com borato de lítio e determinação por ICP-MS. Outras 315 análises (Apêndice K) somente para elementos maiores em rocha total foram realizadas nos laboratórios GEOSOL e RHI Magnesita. Na GEOSOL as amostras são pulverizadas entre 250 e 300 g de material até obter-se 95 % na fração de 150 mesh. Na RHI Magnesita, as amostras são britadas até se obter uma granulometria de, no mínimo, 100 inferior a 4.75 mm, seguida de homogeneização. Em ambos laboratórios a determinação dos elementos maiores é realizada por fusão com tetraborato de lítio e o disco resultante é analisado por Difratometria de Raio X. Os limites de detecção para todas as amostras analisadas pelos laboratórios listados acima estão apresentados no apêndice F.

Análises com Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV visou a caracterização química de anfibólio em mármore impuro e foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Materiais do Departamento Acadêmico de Tecnologia Mecânica do Instituto Federal da Bahia. O equipamento usado é um Teslan, modelo Vega 3 LMU. Os resultados das análises para anfibólio estão apresentados no Apêndice H. A classificação dos grãos analisados foi realizada a partir de Howthorne et al. (2012), sendo que fórmula estrutural foi obtida a partir das planilhas de Hocock (2014) e calculada para 23 oxigênios.

4. GEOLOGIA DO SERRA DAS ÉGUAS: SÍNTESE

Diversos modelos de empilhamento estratigráfico já foram elaborados para as rochas que afloram na serra das Éguas (Fig. 4). Cruz et al. (2019) revisou a estratigrafia proposta por Oliveira et al. (1997) e Pinho et al. (2013), sugerindo, para o Complexo Serra das Éguas, da base para o topo, a existência de uma Unidade Vulcanogênica com Siliciclástica Subordinada que gradativamente passa para a Unidade Carbonática. Essas unidades cavalgam muscovita-biotita-quartzo xistos com cianita com idade máxima de deposição riaciana da Sequência Metavulcanossedimentar Rio São João (Cruz et al. 2017).

				Cruz et al. (2019)						
		SMRJ	Unidade siliciclástica, com muscovita-biotita-quartzos xistos com cianita							
		Moraes et al. (1980)		Lima (1986)						
Complexo de Brumado	Grupo Serra das Éguas	Unidade superior - quartzitos ferruginosos, itabiritos, xistos, quartzitos finos brancos e cinza	Sequência superior clástica - quartzitos		Grupo Serra das Éguas					
		Unidade média - dolomitos, lentes de magnesita, quartzitos, calciossilicáticas, anfíbolitos e talco	Sequência inferior vulcanoquímica - mármores calcíticos e magnésitos, quartzitos, formação ferrífera, xistos grafitosos e chert							
		Unidade inferior - dolomitos, xistos, calciossilicáticas, formação ferrífera bandada, anfíbolitos	Metavulcânicas intermediárias e anfíbolitos							
	Indiferenc.	Gnaisses, quartzitos, filitos, xistos, mármores, itabiritos, metavulcânicas ácidas e intermediárias, anfíbolitos	Metaultabásica, komatiitos basálticos e peridotíticos							
Embassamento arqueano		Metatexitos e diatexitos indiferenciados	Associação migmatítica-plutônica	Metatexitos, diatexitos, augen e biotita hornblenda gnaisses	Embassamento arqueano	Migmatitos, gnaisses e metagranitos	Embassamento paleoarqueano	Gnaisses tonalíticos, migmatitos, enclaves anfíbolíticos	Rochas paleoarqueanas	Metagranitoides TTGs de idades paleo, meso e neoarqueanas com graus variáveis de migmatização, enclaves máficos e ultramáficos, rochas metaultamáficas com spinifex
		Oliveira et al. (1997)		Pinho et al. (2013)						
		Unidade superior - quartzitos variados, quartzitos ferruginosos, dolomita-quartzitos, pequenas faixas de actinolitos		Unidade superior - quartzitos impuros de cores variadas, com tremolita e epidoto como minerais acessórios, formação ferrífera bandada						
		Unidade média - xistos, mármores calcíticos, dolomíticos e magnésitos, actinolitos, pequenos tufos ultramáficos		Unidade média - mármores magnésitos compactado e brechado, de cores variadas, talco xisto, silexito ferruginoso, quartzitos impuros, calciosilicática						
		Unidade inferior - actinolitos, mármores dolomíticos, actinolita-mármore, silexito ferruginoso, tufos ultramáficos		Unidade inferior - mármores dolomíticos, tremolita-actinolita xisto, tremolita-actinolita mármore, quartzitos, formações ferríferas e metabasalto komatiítico						
		Complexo Serra das Éguas		Complexo Serra das Éguas						
		Complexo Brumado		Complexo Brumado						
		Metabasaltos toleítico e komatiítico com textura spinifex, rochas ultramáficas serpentinizadas e talcificadas, BIFs, metapiroxenito e metagabro, quartzito a fuchsita		Metabasaltos toleítico e komatiítico com textura spinifex, rochas ultramáficas serpentinizadas e talcificadas, BIFs, metapiroxenito e metagabro, quartzito a fuchsita						
		Complexo Brumado		Complexo Brumado						
		Rochas paleoarqueanas		Rochas paleoarqueanas						
		Greenstone Belts com rochas metaultamáficas diversas, algumas com spinifex preservados, rochas metavulcânicas félsicas, metaconglomerados, quartzitos e formações ferríferas bandadas metamorfasadas		Greenstone Belts com rochas metaultamáficas diversas, algumas com spinifex preservados, rochas metavulcânicas félsicas, metaconglomerados, quartzitos e formações ferríferas bandadas metamorfasadas						

Fig. 4. Síntese das propostas de empilhamento estratigráfico para as unidades que afloram na serra das Éguas. BIF – Formação ferrífera bandada, SMRJ – Sequência Metavulcânossedimentar Rio São João.

Rangel et al. (2019) demonstra que nas unidades Vulcanogênica com Siliciclástica Subordinada e Carbonáticas do Complexo Serra das Éguas predominam basaltos komatiíticos e metabasaltos toleíticos de alto ferro e magnésio, respectivamente, ambos subalcalinos e, em maioria, xistificados. Rochas metaultramáficas, isotrópicas, com antofilita radial e talco ocorrem subordinadamente.

Os mármorees magnesíticos estão hospedados em mármorees dolomíticos (Lima, 1986; Almeida, 1989; Oliveira et al., 1997; Weba, 2016) que já foram explorados em diversas minas localizadas na serra das Éguas (Fig. 3). Atualmente, são explorados nas minas Pedra Preta e Pomba (Fig. 5) (Weba, 2016).

Na Mina de Pedra Preta os mármorees magnesíticos são predominantemente de coloração vermelha e nuances de cores alaranjadas, róseas, cinzas e, em menor quantidade, esbranquiçadas (Oliveira et al., 1997). De acordo com esses autores, em direção a SW aumenta-se a quantidade de mármorees brancos e há a diminuição da granulometria, refletindo a diminuição da concentração de ferro e aumento da quantidade de talco. Na Mina de Pomba afloram mármorees magnesíticos de coloração branca, sendo estes os quimicamente mais puros (Motta, 2017).

Segundo Weba (2016), os mármorees magnesíticos vermelhos e brancos formam lentes alongadas com espessura de até 50 m na Mina Pedra Preta e 120 m na Mina de Pomba, seguindo o *trend* N-S. Na serra das Éguas, essas rochas podem ocorrer intercaladas com mármorees com proporções variáveis de talco, clorita e anfibólio, além de estarem encaixadas em mármorees dolomíticos (Oliveira et al. 1997). Além disso, podem ocorrer intercalados com metabasaltos komatiíticos e toleíticos, bem como com rochas metaultramáficas (Rangel 2019).

Estudos de inclusões fluídas em grãos de magnesita de mármorees magnesíticos vermelhos e brancos do Complexo Serra das Éguas foram realizados por Garcia (2004). De acordo com esse autor, as inclusões presentes em ambos tipos de mármorees não apresentam diferença composicional, sendo que, pelo menos, 30% das inclusões são compostas por CO₂. Para esse autor, as inclusões primárias foram aprisionadas durante a recristalização da magnesita e em condições de temperatura mínima de 400°C. A pressão estimada pelos autores foi a ordem de 2 Kbar, que equivaleria a uma profundidade de, aproximadamente, 6 Km.

Almeida (1989), Oliveira et al. (1997) e Schobbenhaus et al. (2001) interpretaram uma origem sedimentar, marinha a marinha restrita, para os protólitos dos mármorees magnesíticos Complexo Serra das Éguas, com deposição direta da

magnesita a partir do fluido bacinal. Os autores ainda sugerem uma contribuição de fluidos hidrotermais decorrentes de eventos metamórficos posteriores, que teriam sido responsáveis pela formação de magnesita através da substituição do cálcio pelo magnésio em rochas dolomíticas. Para Schobbenhaus et al. (2001), as seguintes evidências sugerem uma origem sedimentar para essas rochas: (i) extensão das camadas; (ii) presença de rochas químico-sedimentares, tais como itabiritos, quartzitos e dolomitos; e (iii) feições sedimentares preservadas nos mármorees magnesíticos. Os autores sugeriram um ambiente marinho denominado de mar interior fechado.

Almeida (1989) realizou análises de isótopos de carbono e oxigênio em mármorees magnesíticos, tendo obtido composições compatíveis com ambientes marinhos / marinhos restritos. Segundo o autor, os resultados apontam para formação de dolomitos e magnesititos primários, de origem sedimentar e ambiente hipermagnesiano. Ao comparar os resultados teóricos de Pohl e Siegl (1986), o autor excluiu a hipótese de que os protólitos dos mármorees magnesíticos terem sido formados a partir das rochas ultramáficas e indicou a classificação do depósito da Serra das Éguas como do tipo Veitsch (Pohl and Siegl, 1986).

Estudos recentes realizados por Cruz et al. (2019) sugerem que o Complexo Serra das Éguas possui idade máxima neoarqueana.

5. ASPECTOS MACROSCÓPICOS E PETROGRÁFICOS DAS ROCHAS CARBONATOSSILICÁTICAS E DOS MÁRMORES MAGNESÍTICOS DO COMPLEXO SERRA DAS ÉGUAS

Com raras exceções, as rochas estudadas podem ser classificadas como magnesititos granofels (Apêndice G), com mesoestruturas sacaroidal, isotrópica e inequigranular. A distinção entre as rochas foi feita baseando-se no conteúdo em carbonato, diferenciando-se os mármorees das rochas carbonatossilicática. Dentre os mármorees, a distinção foi feita em função da cor da rocha. Uma xistosidade espaçada e anastomótica (Sensu Paschier & Trouw 2005) ocorre nos domínios mais ricos em talco, no caso dos mármorees magnesíticos, ou mais ricos em anfibólio, no caso da carbonatossilicática. Esporadicamente, magnesita branca trunca todos os tipos litológicos identificados, com espessura que varia de 0,1 a 8 cm.

5.1. Rochas Carbonatossicáticas

Estes mármores possuem cor cinza esverdeada, possuindo aglomerados lenticulares de anfibólio (Fig. 5a). Essas rochas estão em contato litológico e deformacional com metabasaltos komatiíticos e toleíticos, xistificados estudados por Rangel (2019) e gradacional com mármores magnesíticos. A composição modal está apresentada no Apêndice G.

As microestruturas são: i) granoblástica interlobada (Fig. 6a), associada com carbonato; ii) porfiroclástica, milonítica e núcleo-manto (Fig. 6a) (*Sensu* Paschier & Truow, 2005); iii) nematoblástica, pela orientação preferencial de anfibólio (Fig. 6b) e talco (Fig. 6c); (iv) decussada, pela distribuição da tremolita sem orientação preferencial (Fig. 6d); (v) Porfiroblastica, pela presença de blastos de tremolita, e clorita (Fig. 6e, f).

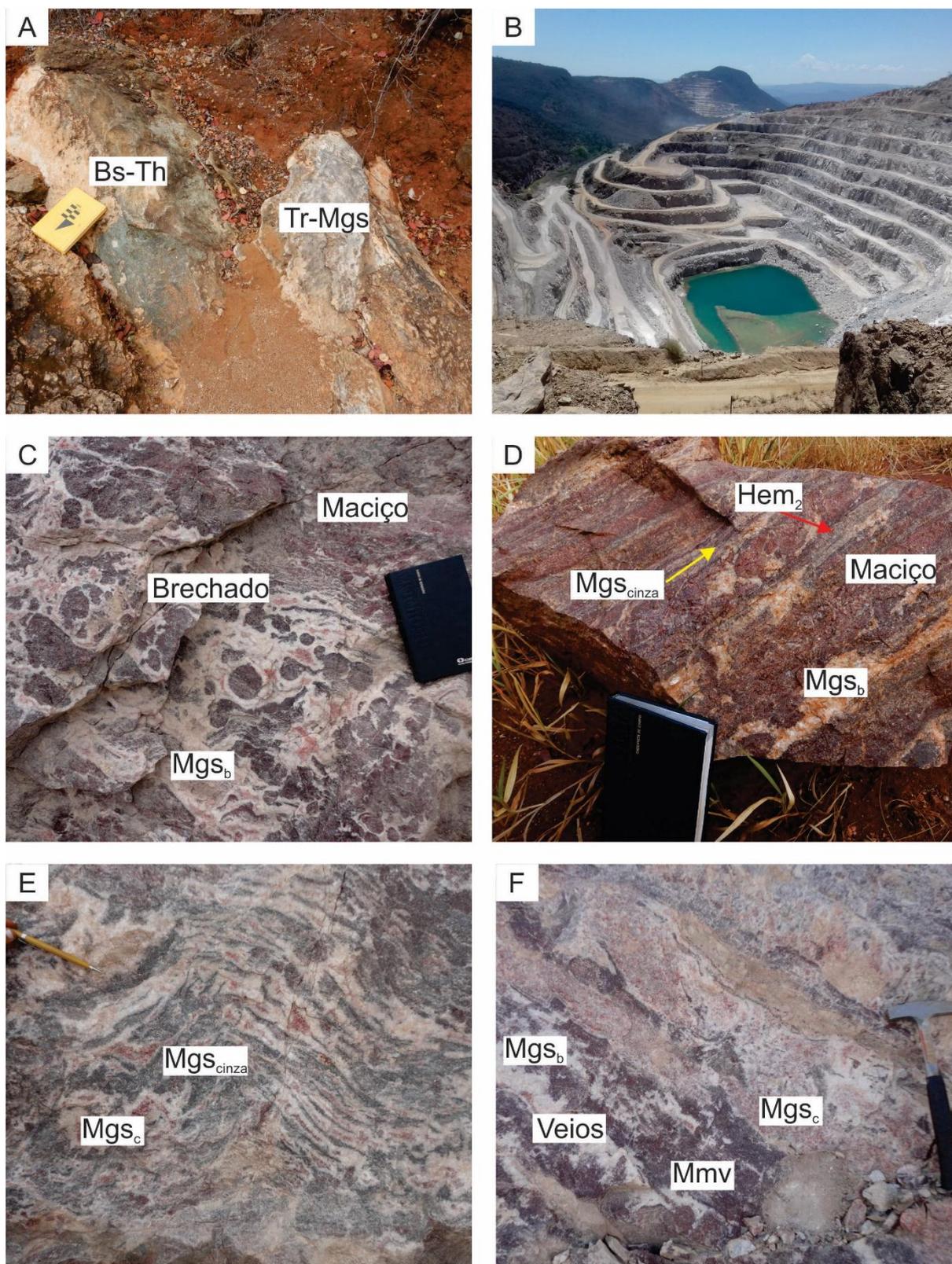


Fig. 5. Aspectos macroscópicos das litologias da Unidade Carbonática do Complexo Serra das Éguas. a) Tremolita mármore (Tr-Mgs) em contato com metabasalto. Afloramento MAG-37 (coordenadas 205136/ 8433195); b) vista geral da mina Pedra Preta com visada para N-NE (coordenadas 208750/8434459); c) mármore magnésítico vermelho (Mmv) maciço e brechado da mina Pedra Preta. Afloramento MAG-01 (coordenadas 209040/ 8434740); d) bandamento composicional pela intercalação

de mármore magnesítico vermelho, veios de magnesita branca (Mgs_b), níveis de magnesita cinza (Mgs_{cinza} , seta amarela) e níveis enriquecidos em hematita (Seta vermelha). Afloramento MAG-15 (coordenadas 205981/8428279); e) bandamento composicional pela intercalação de magnesita clara (Mgs_c) e magnesita cinza (Mgs_{cinza}). Afloramento MAG-01 (coordenadas 209040/ 8434740); f) veios com magnesita branca (Mgs_b) no mármore magnesítico vermelho (Mmv). Afloramento MAG-01 (coordenadas 209040/ 8434740).

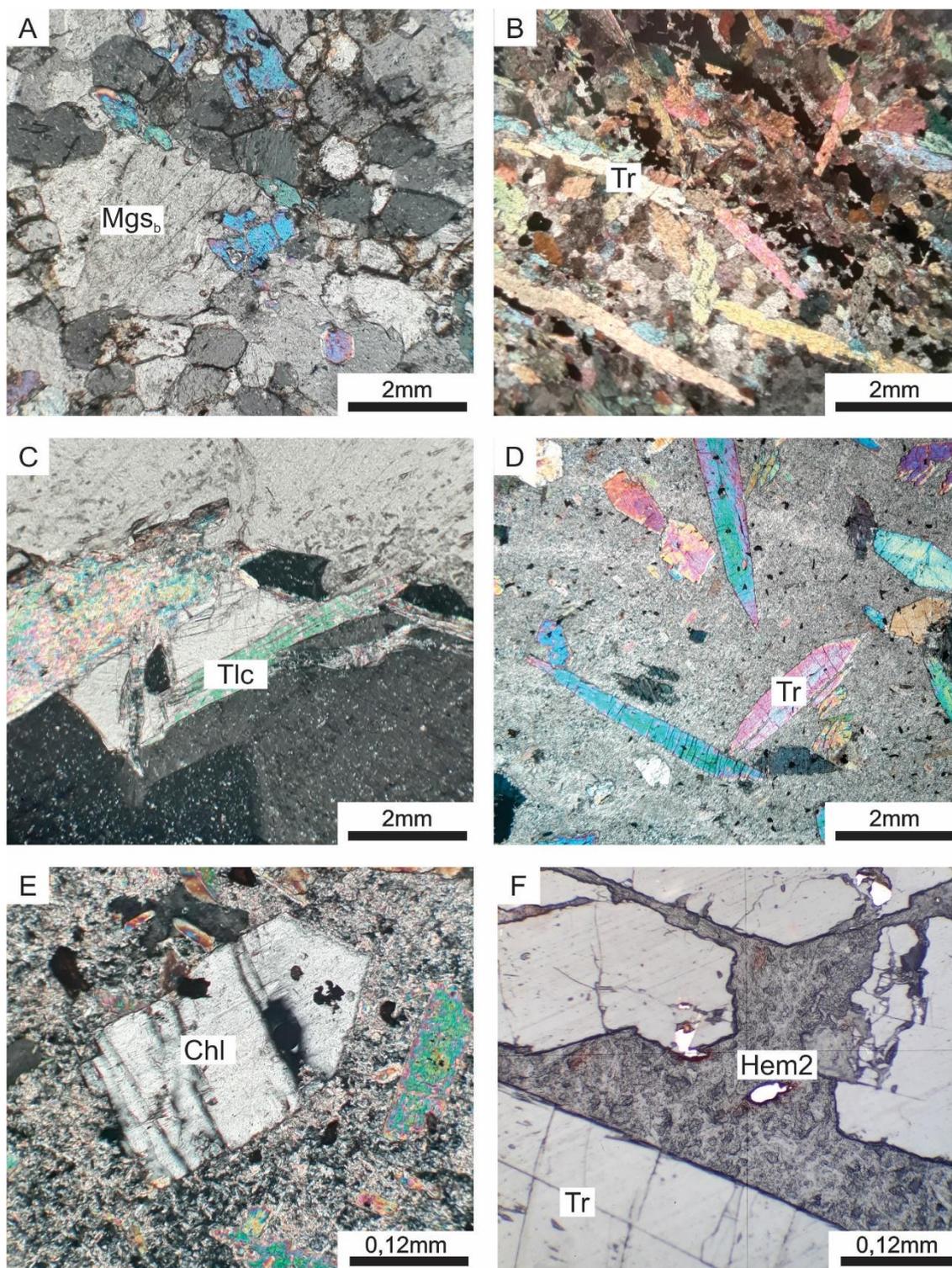


Fig. 6. Microestruturas de rochas carbonatossilicática (a, b, c) e tremolita mármore (d, e, f). a) porfiroclástica, núcleo-manto e milonítica. Amostra FSP-05-05 (Coordenadas 207766/8433302), mina de Pomba; b) lepidoblástica e porfiroblástica, relacionadas com tremolita. Amostra PP-PE-16-0046 (Coordenada 209025/8434769) mina de Pedra Preta; c) lepidoblástica, relacionada com talco. Amostra FSP-05-05 (Coordenadas 207766/8433302), mina de Pomba; d) decussada associada a tremolita. Amostra FSP-05-04 (Coordenadas 207766/8433302), mina de Pomba; e) porfiroblastos de clorita. Amostra FSP-05-04 (Coordenadas 207766/8433302), mina de Pomba; f) hematita nas bordas e fraturas

de tremolita. Amostra FSP-05-05 (Coordenadas 207766/8433302), mina de Pomba. Fotomicrografias em luz transmitida plana polarizada cruzada: a, b, c, d, e; Fotomicrografia em luz refletida plana polarizada: f. Sendo magnesita (Mgs), hematita 2 (Hem2), talco (Tlc), clorita (Chl), tremolita (Tr). Abreviatura de acordo com Whitney e Evans (2010).

Carbonatos são granulares, ocorrendo subordinadamente em agregados poligonizados. São inequigranular bimodais, com tamanhos variando entre 1 e 4 mm ou inferior a 0,05 mm. Os contatos entre os carbonatos são retos a interlobados (Fig. 6a). Com tremolita e talco são retilíneos e, por vezes, curvos.

Tremolita (Fig. 6b, d; Apêndices H, J), que ocorre isolada ou formando aglomerados policristalinos, possui pleocroísmo em tons de incolor a verde pálido, hábito prismático, sendo idioblástica a subidioblástica. Os prismas são inequigranulares, com granulometria variando de 0,05 a 5 mm, podendo formar porfiroblastos. Os contatos entre os grãos de anfibólio são retos a curvos e algumas vezes suturados.

Hematita forma grãos isolados e disseminados, lobulares (Fig. 6f), com granulação entre 0,05 e 0,1 mm. Talco (Fig. 6c) está presente nos interstícios e nas bordas e clivagens dos carbonatos, isolados ou em aglomerados, sendo lamelar, idioblástico a subidioblástico. A granulometria varia de <0,01 a 1 mm e os contatos são retos a fracamente curvos com o carbonato. Em algumas porções da rocha possui orientação preferencial.

Clorita é lamelar, incolor a verde pálida, com granulação entre 0,2 a 0,4 mm (Fig. 6e).

5.2. Mármore Magnésicos Vermelho e Claro

Características das minas Pedra Preta (Fig. 5b) e Pedra de Ferro (Fig. 10f), as estruturas deformacionais nas escalas meso e microscópicas, permitiram individualizar as seguintes tipologias : (i) maciça (Fig. 5c, d); (ii) brechada e selada com magnesita branca (Fig. 5c); (iii) bandada, pela alternância de níveis de 2 a 20 cm de magnesitas branca e clara intercaladas com mármore magnésico vermelho (Fig. 5d-f); (iv) veios e vênulas preenchidos por magnesita branca (Fig. 5f); e (v) *stringer* de magnesita branca.

O tipo maciço compreende os domínios da rocha sem as estruturas deformacionais como brechas e veios (Fig. 5c, d). Ocorre também como fragmentos angulosos das brechas, formando o arcabouço desses tectonitos. Esses fragmentos possuem granulação variada e fazem contatos retos com a magnesita branca. Em alguns locais o contato entre arcabouço e selante é irregular, podendo formar bordas de corrosão, mas não é uma feição predominante.

As vênulas, os veios e os *stringer* de magnesita branca possuem larguras e continuidades variáveis, desde milimétrica a 40 cm. A magnesita clara pode ocorrer inclusa nos veios/vênulas ou nos *stringer* de magnesita branca (Fig. 5e) ou formando bandas que são paralelas ao contato entre o mármore magnésicos vermelho e essas estruturas (Fig. 5f). Quando deformadas e metamorfisadas dão origem ao mármore claro.

A composição modal dos mármore magnésicos vermelho e claro das minas de Pedra Preta e Pedra de Ferro está apresentada no apêndice G e sintetizada na figura 7.

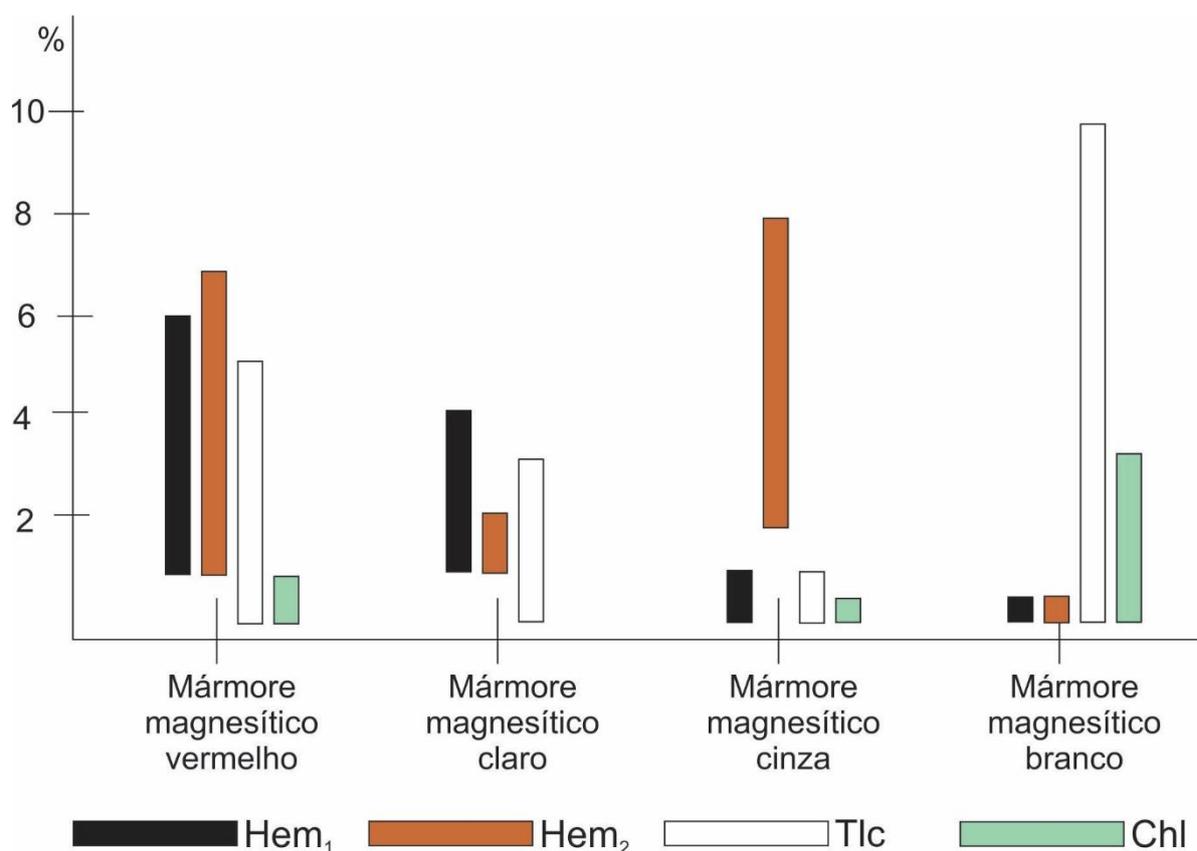


Fig. 7. Distribuição modal nos tipos de mármore magnésíticos da Serra das Éguas. Sendo, hematita 1 (Hem₁), hematita 2 (Hem₂), talco (Tlc), clorita (Chl). Abreviatura de acordo com Whitney e Evans (2010).

As microestruturas metamórficas encontradas nos domínios de magnesita vermelha e clara são: (i) inequigranular (Fig. 8a, b); (ii) granoblástica poligonal (Fig. 8b, c), predominante, e granular interlobada (Fig. 8d) ambas associadas com magnesita; (iii) porfiroclástica, milonítica e núcleo-manto (Fig. 8a, b) evidenciada pela presença de grãos menores em torno de porfiroclastos de magnesita; (iv) reação, devido ao halo de magnesita branca ao redor da hematita, ambas em clivagem e fraturas da magnesita vermelha (Fig. 8e) e de talco nas bordas e nas clivagens da magnesita vermelha (Fig. 8f); (iv) decussada, relacionada com aglomerados de talco sem orientação preferencial; (v) poiquiloblástica, pelas inclusões de hematita 1 na magnesita (Fig. 9a). Bordas de corrosão podem ser encontradas entre os grãos de magnesita e de hematita 2 (Fig. 9b).

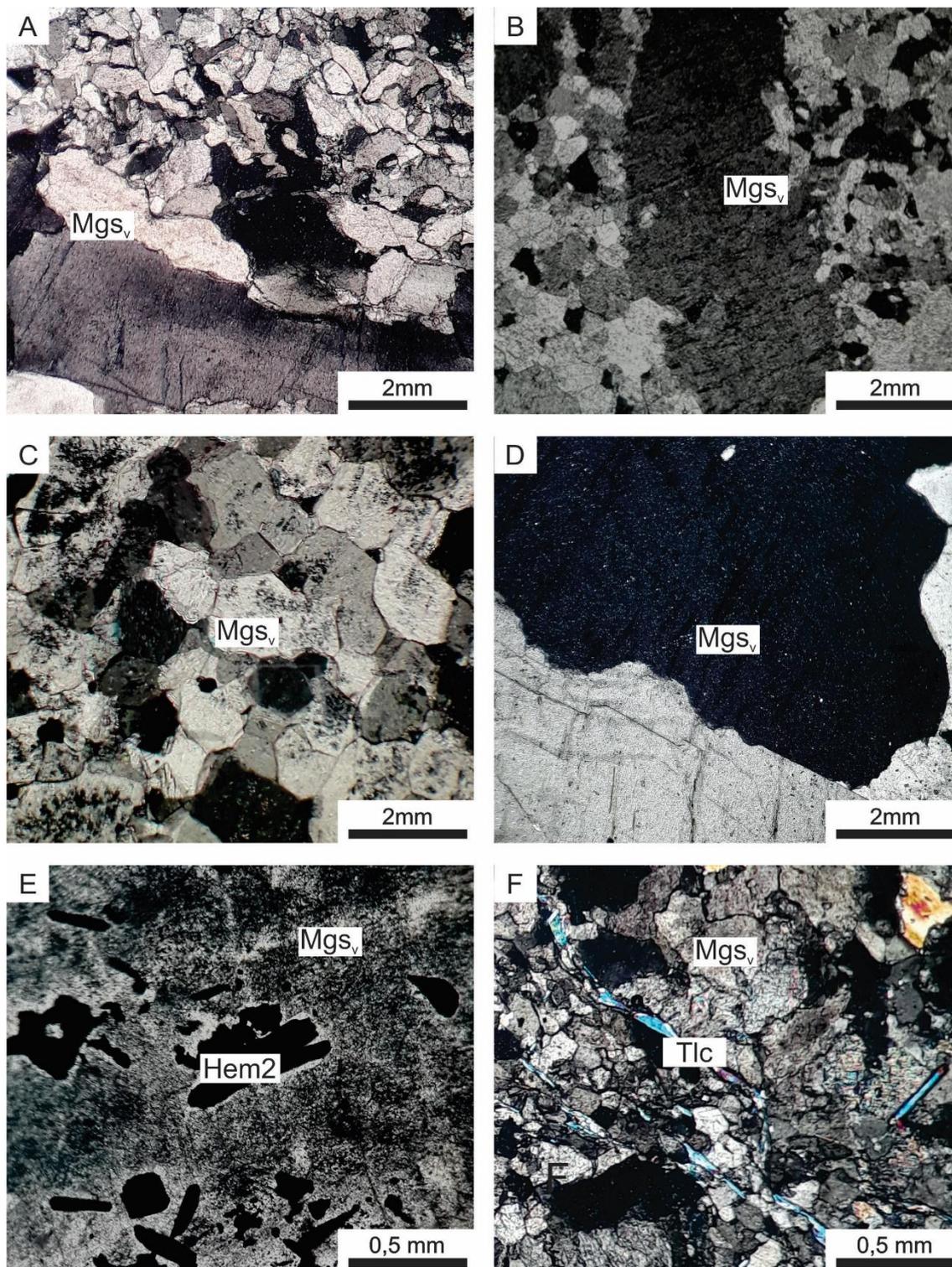


Fig. 8. Microestruturas dos mármore magnésitos vermelhos da mina de Pedra Preta. a) inequigranular, porfiroclástica, núcleo manto e milonítica. Amostra PP-PE-16-0010 (coordenadas 209024/8434648); b) porfiroclástica, núcleo manto e milonítica. Amostra PP-PE-16-0002 (coordenadas 209199/8434564); c) microestrutura granoblástica poligonal. Amostra PP-PE-16-0007 (coordenadas 208930/8434479); d) granular interlobada. Amostra PP-PE-16-0014 (coordenadas 208804/8434495); e) reação, com hematita₂ contornada por magnesita branca na amostra PP-PE-16-0019 (coordenadas 209021/8434513); f) reação, talco no contato entre os magnesita vermelha. Amostra PP-PE-16-0040

(coordenadas 209046/8434404). Fotomicrografias em luz transmitida plana polarizada cruzada: a, b, c, d, e, f. Com magnesita (Mgs), hematita 2 (Hem2), talco (Tlc). Abreviatura de acordo com Whitney e Evans (2010).

Nos mármores, magnesitas vermelha e clara são xenoblásticas a subidioblásticas, com variação granulométrica entre 3 e 8 mm. Em algumas rochas há uma bimodalidade granulométrica, com grãos entre 3 e 8 mm e entre <0,05 a 2 mm. Os grãos maiores formam agregados inequigranulares, enquanto que os menores, em geral, localizam-se nas bordas dos grãos maiores e formam agregados granoblásticos poligonais ou inequigranulares (Sensu Paschier & Trouw 2005). Os contatos magnesita-magnesita variam entre retos, curvos, interlobados e suturados nos grãos maiores, bem como retilíneos nos grãos poligonizados. Em geral, possuem inclusões de hematita (Hematita 1) (Fig. 9a) com granulometria inferior a 0,01 mm, gerando um aspecto turvo nos grãos quando em luz plana polarizada. Hematita 2, granular, lobular e lamelar, ocorre em clivagens e nos contatos da magnesita (Fig. 9b-f). Muito localmente, grãos esqueletiformes de magnesita vermelha ocorrem inclusos em hematita 2 (Fig. 9c).

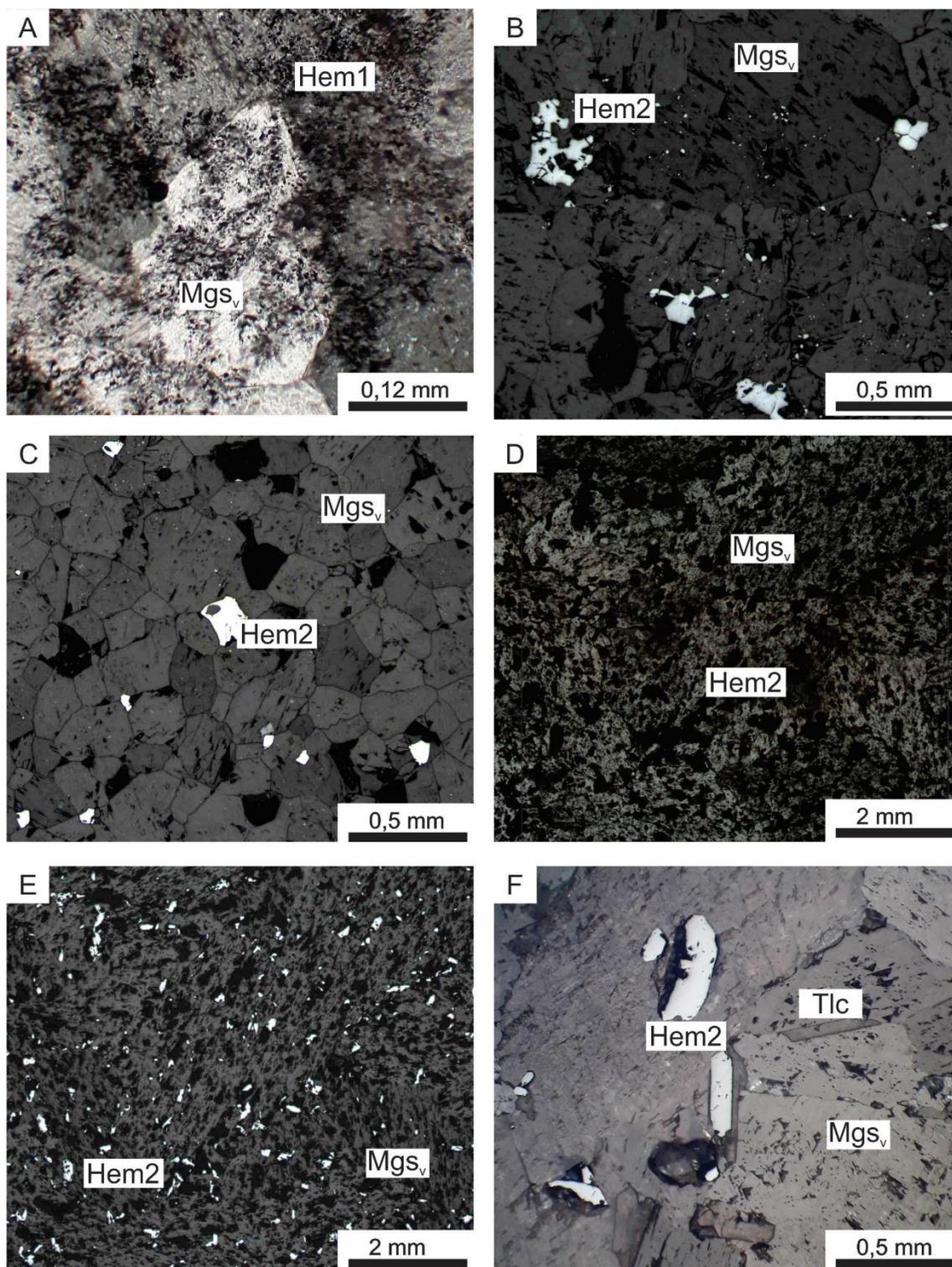


Fig. 9. Aspectos das duas gerações de hematita nos mármore magnésiticos vermelhos. a) inclusões muito fina ($<0,01$ mm) de hematita 1. Amostra MAG-PP-0009 (coordenadas 209062/8434929), mina de Pedra Preta; b) hematita 2 nas clivagens do mármore magnésítico vermelho. Notar grãos lobulares. Amostra MAG-PFE-0002 (coordenadas 205996/8428289), mina de Pedra de Ferro; c) grão esqueletiforme de carbonato imerso da hematita 2. Amostra PFE-PE-16-0007 (coordenadas 205941/8428260), mina de Pedra de Ferro; d) hematita 2, granular e lamelar, disseminada nas clivagens e contatos do mármore magnésítico vermelho. Amostra MAG-PP-0006 (coordenadas

208997/8434704), mina de Pedra Preta; e) hematita 2 do mármore magnesítico vermelho. Amostra MAG-PP-0006 (coordenadas 208997/8434704), mina de Pedra Preta; f) grão lamelar e idioblástico de hematita 2. Amostra MAG-PP-0009 (coordenadas 209062/8434929), mina de Pedra Preta. Fotomicrografias em luz transmitida plana polarizada cruzada: a, d; Fotomicrografias em luz refletida plana polarizada: b, c, e, f. Com magnesita (Mgs), hematita 1 (Hem1), hematita 2 (Hem2), talco (Tlc). Abreviatura de acordo com Whitney e Evans (2010).

Os grãos de magnesita branca que ocorrem como selantes em brechas (Fig. 10a, b), *stringers* (Fig. 10c-e) ou veios/vênulas no mármore magnesítico vermelho possuem granulometria variando de <0,5 a 2 mm. O hábito é granular, é anédrica, e contatos entre os grãos de magnesita em sua maioria são retilíneos, com ocorrência localizada de contatos curvos. Nas vênulas, os grãos podem ocorrer orientados segundo uma lineação de crescimento mineral, com razão axial (eixo maior / eixo menor) variando entre 3 e 4 (Fig. 10f). Em geral, essa magnesita não possui inclusões de hematita. Quando presentes, esse óxido possui granulometria com até 0,5 mm, são e associadas aos contatos entre a magnesita vermelha/clara e a magnesita branca de brechas.

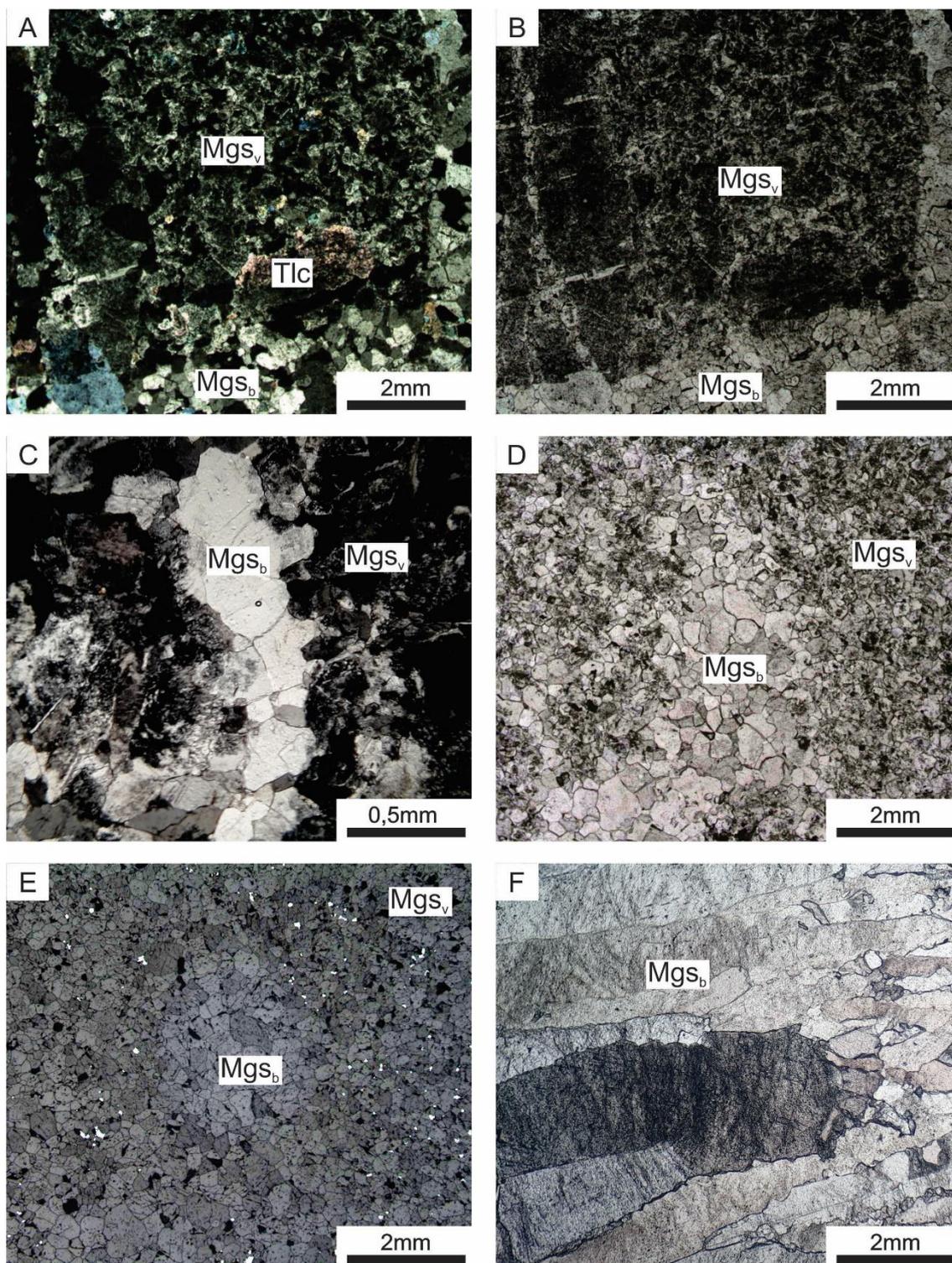


Fig. 10. Características microscópicas da magnesita branca (Mgs_b) que preenche veios, vênulas e *stringers* no mármore magnésitico vermelho. a e b) magnesita branca que ocorre preenchendo brechas. Amostra MAG-PFE-0002 (coordenadas 205996/8428289), mina Pedra de Ferro; c) *stringer* de magnesita branca. Amostra PP-PE-16-0017 (coordenadas 209173/8434412), mina Pedra Preta; d, e) *stringer* de magnesita branca. Amostra PFE-PE-16-0007 (coordenadas 205941/8428260), mina Pedra de Ferro; f) Lineação de crescimento mineral de magnesita branca em veio truncado o mármore magnésiticos vermelho. Amostra PP-PE-16-0030 (coordenadas 208828/8434250), mina Pedra Preta.

Fotomicrografias em luz transmitida plana polarizada cruzada: a, c; fotomicrografia em luz refletida plana polarizada: e; fotomicrografias em luz transmitida plana polarizada: b, d, f. Magnesita branca (Mgs), hematita 2 (Hem2), talco (Tlc). Abreviatura de acordo com Whitney e Evans (2010).

Hematita ocorre: (i) disseminada e inclusa na magnesita vermelha e clara, com granulação menor que $<0,01$ mm (Hematita 1) (Fig. 9a); (ii) disseminada, granular, idioblástica, subidioblástica ou xenoblástica com granulação entre 0,05 e 2 mm (Hematita 2) (Fig. 9c-f) nas clivagens ou nos contatos entre grãos de magnesita. Localmente, alguns grãos são lobulares (Fig. 9b); (iii) como grãos platiformes com um halo de magnesita branca (Hematita 2) (Fig. 9f). Neste caso, ocorre isolada ou em agregados sem orientação preferencial, subidioblástica a idioblástica, e com granulação entre 0,05 e 1 mm. Faz contatos retos e interlobados com a magnesita.

Talco está presente em ambas as rochas. Possui hábito lamelar, sendo subidioblástico (Fig. 8f). Localiza-se nas bordas, interstícios e clivagens da magnesita e possui granulometria entre 0,1 a 1 mm. Os contatos com magnesita são retilíneos a curvos e não possuem orientação preferencial. Clorita é lamelar e xenoblástica e faz contatos curvos ou interlobados com magnesita vermelha e clara. A granulometria varia de 0,05 a 0,4 mm.

5.3. Mármoreos Magnesíticos Branco e Cinza

Esses mármoreos, principalmente o branco (Fig. 11a-e), ocorrem em todas as minas da Serra das Éguas, embora que subordinadamente na mina Pedra Preta (Fig. 11c). O mármoreo magnesítico cinza foi descrito neste trabalho na mina Pedra de Ferro (Fig. 11f) e na mina Pedra Preta. A composição modal dos mármoreos magnesíticos branco e cinza está apresentada no apêndice G e sintetizada na figura 7.

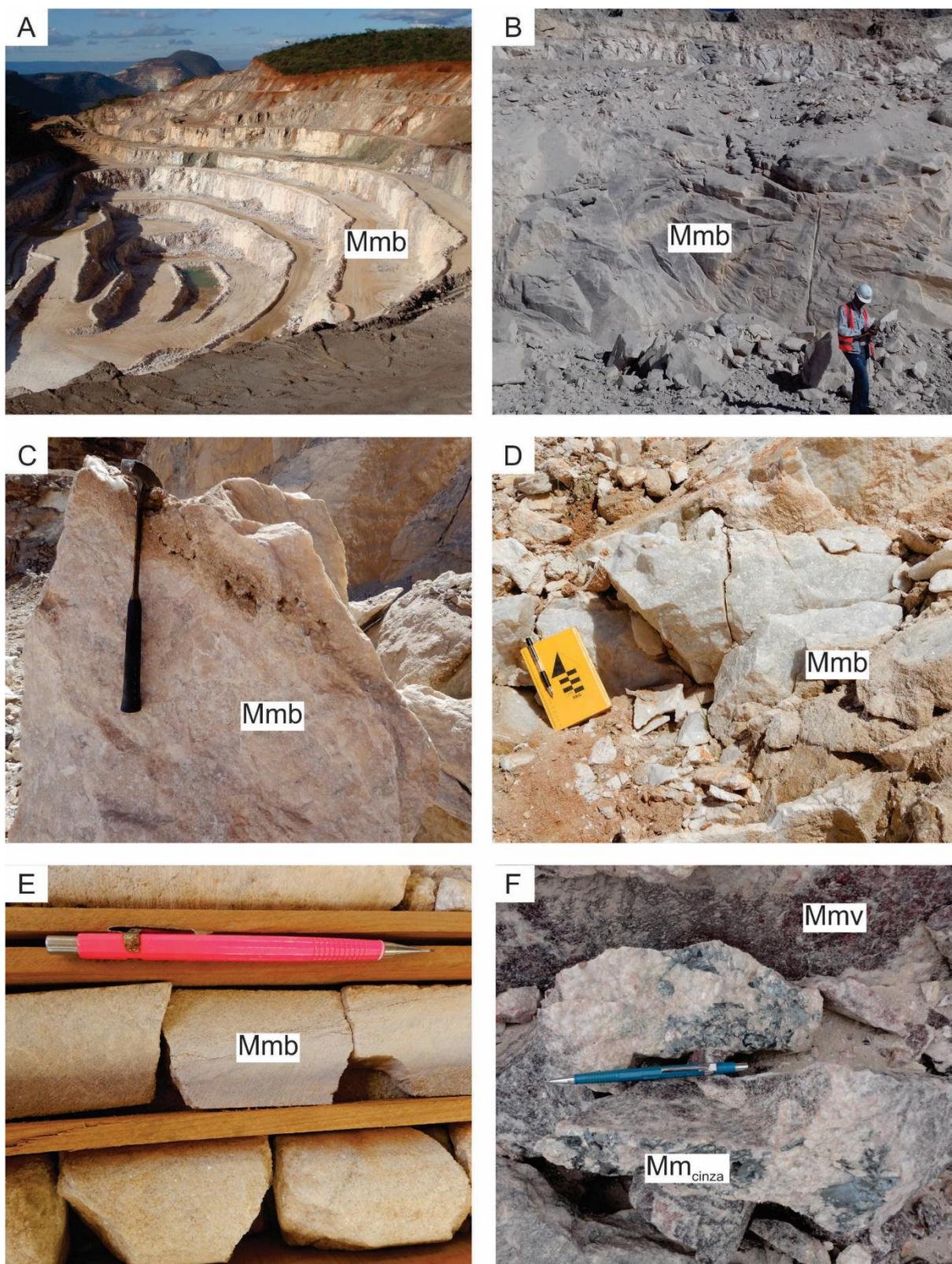


Fig. 11. Aspectos macroscópicos dos mármore magnésiticos branco e cinza: a) vista panorâmica S-SW da mina de Pomba (coordenada 208541/8433138); b) mármore magnésítico branco no afloramento MAG-03 (coordenadas 208651/8433396), mina de Pomba; c) mármore magnésítico esbranquiçado, afloramento MAG-01 (coordenadas 209040/8434740), mina de Pedra Preta; d) mármore magnésítico branco, afloramento MAG-56 (coordenadas 208838/8430312), mina de Gravatá; e) testemunho de

sondagem de mármore, amostra BA-004-01 (coordenadas 205152/8429916), mina de Barrocas do Veadeiro; f) mármore magnésítico cinza, afloramento MAG-15 (coordenadas 205981/8428279), mina de Pedra de Ferro.

As microestruturas e texturas metamórficas encontradas em ambos mármore são: (i) granoblástica, interlobada e poligonal, ou inequigranular (Sensu Paschier & Trouw 2005) predominantes, ambas associadas com magnesita (Fig. 12a); (ii) porfiroclástica, milonítica e núcleo-manto (Sensu Feetes & Desmons 2007), evidenciada por grãos menores de magnesita em torno de grãos maiores de mesma composição (Fig. 12a). Neste caso, os porfiroclastos podem mostrar extinção ondulante e subgrãos; (iii) reação, pela presença de talco nas clivagens, bordas e fraturas da magnesita (Fig. 12b); (iv) decussada, pela desorientação de hematita lamelar (Fig. 12c). Veios e vênulas de hematita são encontrados nos mármore magnésíticos cinzas (Fig. 12d). Essas estruturas ocorrem isoladas ou formando sistemas paralelos aleitados ou laminados (*sheeted veins*) (Fig. 12d), dando um aspecto bandado à rocha. Grãos ameboides ou esqueletiformes de magnesita são observados inclusos nos veios de hematita (Fig. 12e, f). O contato é fortemente reentrante entre esses minerais, seja quando a magnesita está inclusa nos veios, seja no limite dos veios, sugere a presença de microestrutura de corrosão.

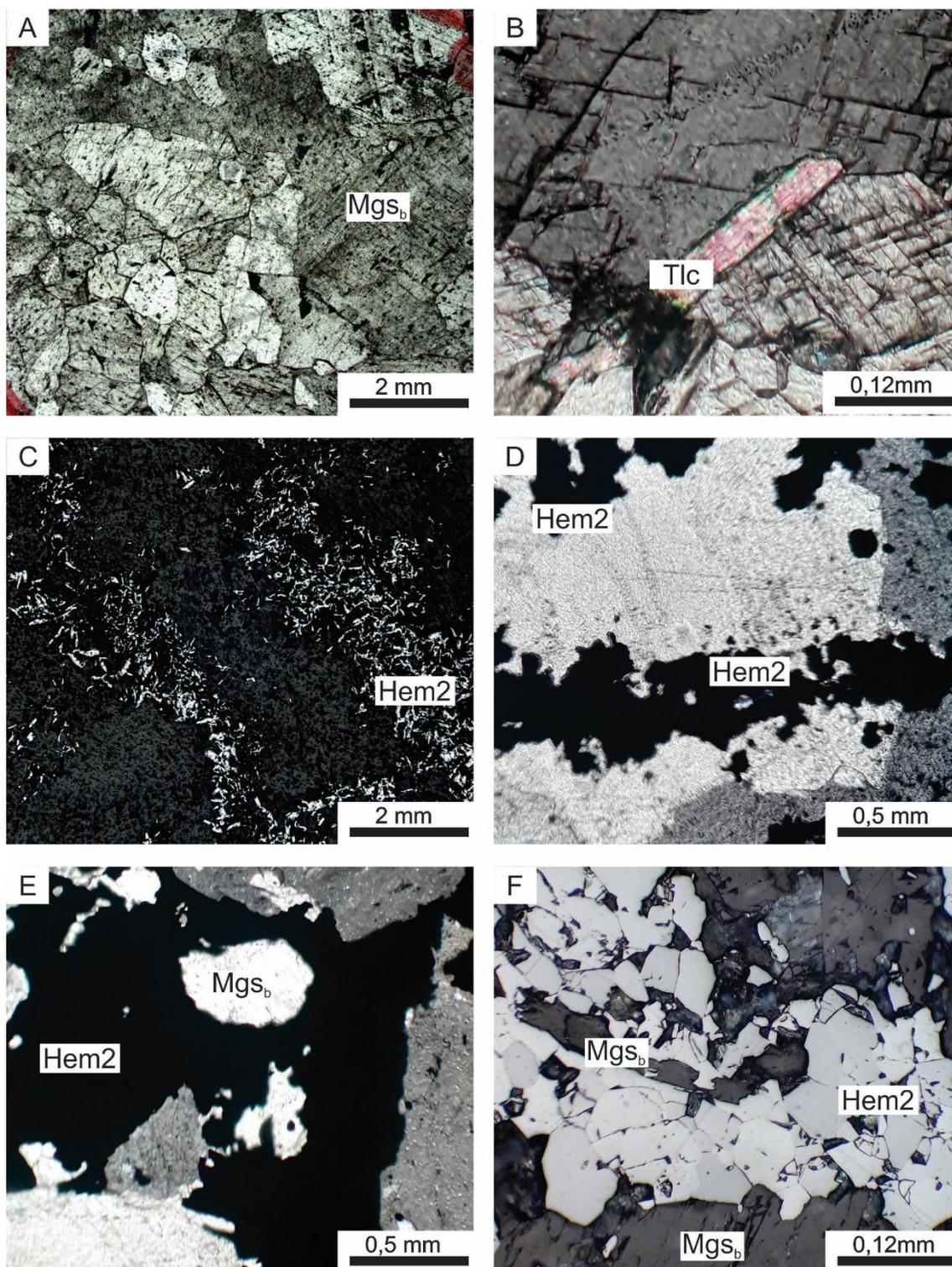


Fig. 12. Microestruturas encontradas nos mármore magnésiticos branco e cinza: a) lineiquigranular, porfiroclástica, milonítica e núcleo-manto. Amostra PP-PE-16-0010 (coordenadas 209024/8434648), mina de Pedra Preta; b) talco idioblástico, amostra BA-004-01 (coordenadas 205152/8429916), mina de Barrocas dos Veadeiros; c) decussada, hematita 2 sem orientação preferencial em veios. Amostra MAG-PP-0006 (coordenadas 208997/8434704), mina de Pedra Preta; d) *sheeted veins*, dando aspecto bandado ao mármore magnésitico cinza. Amostra PP-PE-16-0019 (coordenadas 209021/8434513), mina de Pedra Preta; e) grãos esqueletiformes de magnesita branca nos veio de hematita 2, amostra

PP-PE-16-0021 (208974/8434708), mina de Pedra Preta; f) grãos esqueletiformes de magnesita imersos em veios de hematita 2. Amostra MAG-PFE-04 (coordenadas 205970/8428275), mina de Pedra de Ferro. Fotomicrografias em luz transmitida plana polarizada: d; Fotomicrografias em luz transmitida plana polarizada cruzada: a, b, e; fotomicrografias em luz refletida plana polarizada: c, f. Siglas: magnesita (Mgs), hematita 2 (Hem2), talco (Tlc). Abreviatura de acordo com Whitney e Evans (2010).

O mármore cinza distingue-se do branco por apresentar conteúdo em hematita, atingindo até 8% (Fig. 7; Apêndice G). A magnesita é granular, com bimodalidade de granulação, variando entre de 3 a 8 mm, quando forma agregados inequigranulares, e <0,05 a 2 mm, nos domínios das microestruturas granoblástica poligonal, milonítica e núcleo-manto. O contato entre os grãos de magnesita varia de reto, curvo, predominantes nos domínios de menor granulação com grãos poligonizados, a suturados e interlobados nos grãos maiores. Grãos amebóides e esqueletiformes de magnesita são encontrados como inclusões em hematita 2.

Hematita 1 é encontrada, raramente, no mármore magnesíticos cinza e possui granulação <0,01 mm. Hematita 2 está presente em ambos mármores magnesíticos: (i) disseminada, granular, xenoblástica e idioblástica, com granulação 0,05 a 0,5 mm no mármore magnesítico branco; disseminada e isolada, granular, principalmente, a lamelar em aglomerados lobulares com granulação entre 0,05 e 1 mm no mármore magnesítico cinza (Fig. 12c, f). Os grãos são xenoblásticos a subidioblásticos; (ii) em aglomerados lamelares, principalmente, e granulares em veios que cortam o carbonato, em grãos euédricos a subédricos com tamanhos entre 0,05 a 1 mm (Fig. 12c, d). Este último caso, o contato de hematita com magnesita varia de reto a fortemente interlobado. Quando lamelar não apresenta orientação preferencial.

Talco (Fig. 12b) possui hábito lamelar, sendo idioblástico a subidioblástico. Ocorre nas bordas, interstícios e clivagens da magnesita, além de formar níveis descontínuos nas porções da rocha. Esses níveis são preferencialmente encontrados nos locais de menor granulação da magnesita e onde predomina a microestrutura granoblástica poligonal. Com granulometria variando de <0,01 a 1 mm, possui contatos retilíneos e curvos com magnesita. Não possui orientação preferencial.

6. GEOQUIMICA

6.1. Elementos Maiores

Os resultados das amostras analisadas que foram coletadas em campo (Apêndice A) encontra-se disponível na tabela 1. De forma geral, os mármore foram classificados predominantemente como magnésíticos, com algumas amostras mostrando um teor relativamente mais elevado de ferro (Fig. 13).

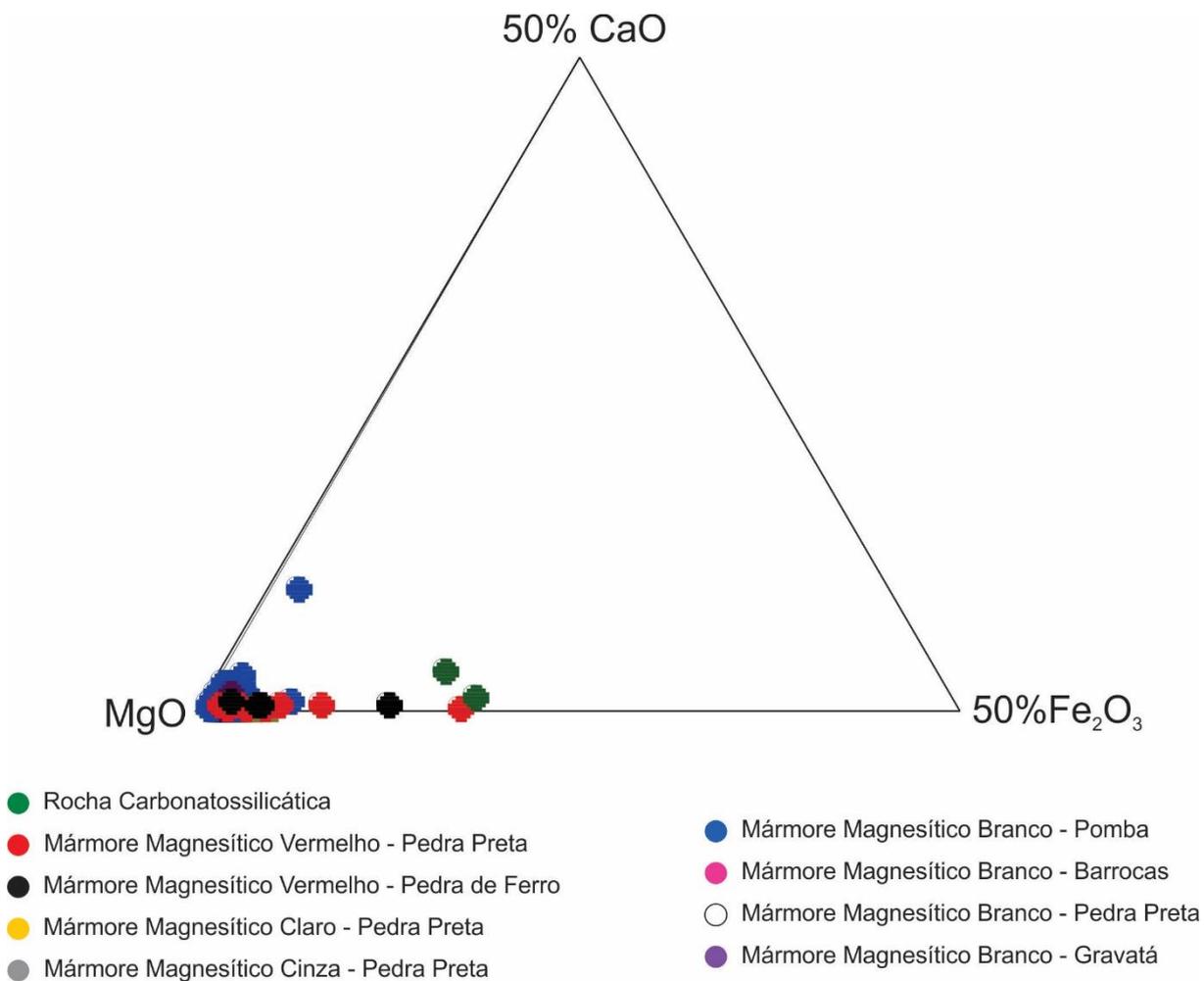


Fig. 13. Diagrama ternário para classificação de rochas carbonáticas (Hall & Veizer, 1996).

Tabela 1. Resultado das análises químicas das amostras coletadas neste trabalho. Abreviaturas utilizadas para as minas: PP (Pedra Preta), PFE (Pedra de Ferro), PO (Pomba), BA (Barrocas dos Veadeiros), GVT (Gravatá).

Elemento	FSP-04-01	FSP-04-03	FSP-04-06	FSP-05-01	FSP-05-02	FSP-05-04	FSP-05-05	BA-004-01	BA-004-02
SiO₂	1,22	0,61	0,71	1,64	0,35	44,8	46,3	2,01	1,13
TiO₂	0,01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	1,17	1,44	0,02	0,01
Al₂O₃	0,22	0,08	0,1	0,1	0,03	6,79	8,14	0,27	0,11
Fe₃O₃T	0,76	0,7	0,96	0,81	0,68	5,03	5,89	0,65	0,67
MnO	0,12	0,12	0,28	0,13	0,11	0,04	0,04	0,04	0,05
MgO	43,5	45,8	45,7	45,1	45,6	28,7	27,6	44,8	46,1
CaO	0,52	0,5	0,21	0,68	0,36	1,08	0,43	0,24	0,29
Na₂O	0,05	<0.01	0,05	0,45	<0.01	0,23	0,48	0,32	0,2
K₂O	0,02	0,02	0,03	0,05	0,01	0,03	0,52	0,04	0,02
P₂O₅	0,01	<0.01	<0.01	<0.01	0,01	0,13	0,02	0,02	<0.01
Cr₂O₃	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0,149	0,176	<0.002	<0.002
SrO	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
BaO	<0.01	<0.01	<0.01	0,03	<0.01	<0.01	0,01	<0.01	<0.01
P.F.	51,2	51,4	51,4	51,6	51,7	8,41	7,42	50,7	51,2
Total	97,63	99,23	99,44	100,59	98,85	96,56	98,47	99,11	99,78
Rb	<0.2	23,2	0,2	3	37,7	0,5	12	0,5	0,2
Sr	1,1	51,1	1,2	8,3	84	31,1	10,5	1,5	0,9
Ba	1	2380	3,6	288	3890	3,5	56,8	12,2	2,3
Ga	0,5	1,4	0,2	0,6	2,6	11,1	15,1	0,4	0,2
Cs	0,02	4,63	0,03	0,57	7,33	0,18	2,15	0,04	0,02
Nb	0,3	0,4	<0.2	0,2	0,6	9	12	0,3	0,3
Y	1,1	1,6	1,3	1,6	1,8	25,6	12,7	1,8	1,5
Zr	8	27	4	7	40	112	143	8	5
Hf	0,3	0,6	0,2	0,2	1	2,8	3,3	0,2	0,2
Ta	0,1	0,7	0,1	0,2	1	0,8	0,8	0,2	0,1
Th	0,28	0,31	0,08	0,17	0,48	2,11	2,26	0,24	0,14
U	0,1	0,19	0,06	0,11	0,19	0,92	0,79	0,09	0,05
Pr	0,19	0,28	0,06	1,95	0,49	2,95	0,55	0,1	0,05
Tm	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,33	0,19	0,03	<0.01
La	0,5	2,7	0,2	5,1	4,4	9,4	1,5	0,4	0,2
Ce	1,1	216	0,2	42,3	350	23,6	4	1,4	0,4
Nd	0,5	1	0,2	8,7	1,7	12,9	2,7	0,2	0,2
Sm	0,17	0,27	0,1	1,76	0,35	3,37	0,94	0,08	<0.03
Eu	0,03	<0.03	<0.03	0,19	<0.03	1,04	0,21	<0.03	<0.03
Gd	0,15	0,11	0,07	1,25	0,28	4,81	1,89	0,06	0,09
Tb	0,05	0,04	0,01	0,07	0,06	0,81	0,33	0,03	0,01
Dy	0,2	0,17	0,23	0,36	0,4	5,41	2,42	0,32	0,21
Ho	0,02	0,04	0,04	0,04	0,03	0,93	0,39	0,04	0,04
Er	0,07	0,16	0,18	0,12	0,23	2,23	1,43	0,11	0,1
Yb	0,09	0,17	0,11	0,12	0,24	1,5	1,02	0,24	0,06
Lu	<0.01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,21	0,14	0,01	<0.01
ΣREE	2,88	220,68	1,36	60,03	357,72	66,21	16,97	2,89	1,31

Tabela 1. Continuação.

Elemento	BA-004-03	FG2-01	FG2-02	FG2-03	FG2-04	FG2-05	PP-PT-0001	PP-PT-0003	PP-PT-0004
SiO₂	1,48	3,1	1,64	4,04	1,57	3,05	0,34	0,54	0,46
TiO₂	0,04	0,01	0,02	0,01	<0.01	<0.01	0,01	<0.01	0,01
Al₂O₃	0,26	0,15	0,25	0,18	0,02	0,02	0,09	0,04	0,06
Fe₃O₃T	0,69	0,47	0,42	0,35	0,41	0,57	2,33	0,77	1,26
MnO	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,48	0,56	0,46
MgO	45,2	44	45,7	44,8	45,7	45,1	46,5	47,5	46,5
CaO	0,23	0,73	0,3	0,28	0,31	0,21	0,31	0,2	0,19
Na₂O	0,25	0,28	0,31	0,35	0,37	0,37	0,06	0,05	0,06
K₂O	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
P₂O₅	0,01	<0.01	0,01	<0.01	0,01	0,01	<0.01	<0.01	<0.01
Cr₂O₃	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
SrO	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
BaO	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
P.F.	50,9	49,5	50,7	48,9	51,6	49,8	50,9	51	51,2
Total	99,12	98,3	99,4	98,97	100,05	99,21	101,05	100,69	100,23
Rb	0,2	0,2	0,2	0,2	<0.2	0,2	0,2	0,2	0,3
Sr	1,2	2,4	0,8	1	0,7	0,5	2,8	1,8	2,2
Ba	5,7	2	2	2,5	4,4	3,8	7,9	4,8	2,8
Ga	0,5	0,1	0,4	<0.1	<0.1	0,8	0,5	0,5	0,4
Cs	0,03	0,04	0,03	0,01	0,05	0,07	0,05	0,03	0,08
Nb	0,4	0,2	0,3	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Y	2,6	1,8	1,7	1,7	1,5	1,2	2,8	3,8	3,7
Zr	10	6	7	6	4	4	5	4	5
Hf	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	<0.2	0,2	<0.2	0,2
Ta	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Th	0,23	0,24	0,15	0,15	<0.05	0,05	0,25	0,06	0,19
U	0,1	0,14	0,11	0,06	0,05	<0.05	0,17	0,09	<0.05
Pr	0,06	0,25	0,05	0,03	0,05	0,03	0,33	0,25	0,27
Tm	0,05	<0.01	0,06	0,02	0,01	0,07	0,02	0,04	0,03
La	0,2	0,6	0,2	0,2	0,1	0,2	0,5	0,4	0,4
Ce	0,3	2	0,3	0,3	0,4	0,2	1	2,2	0,5
Nd	0,1	1,3	0,2	0,2	0,1	0,1	1,5	1,5	1,5
Sm	0,17	0,31	0,06	0,08	0,03	0,07	0,67	0,57	0,71
Eu	<0.03	0,03	<0.03	0,03	0,04	0,06	0,11	0,15	0,25
Gd	0,05	0,25	0,17	<0.05	<0.05	<0.05	0,58	0,56	0,84
Tb	0,03	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	0,07	0,09	0,12
Dy	0,32	0,33	0,24	0,31	0,27	0,27	0,66	0,65	0,7
Ho	0,05	0,06	0,06	0,05	0,04	0,06	0,06	0,12	0,11
Er	0,26	0,2	0,13	0,18	0,19	0,24	0,2	0,1	0,29
Yb	0,32	0,17	0,15	0,17	0,13	0,22	0,18	0,27	0,14
Lu	0,04	<0.01	<0.01	0,01	0,02	0,04	0,01	0,04	0,03
ΣREE	1,84	5,3	1,55	1,56	1,36	1,49	5,54	6,65	5,59

Tabela 1. Continuação.

Elemento	PP-PT-0005	PP-PT-0007	PP-PT-0008	PP-PT-0009	PP-PT-0010	PFE-PT-0001	PFE-PT-0002	PFE-PT-0004	PFE-PT-0005
SiO₂	0,58	3,62	0,3	0,32	0,38	0,22	0,22	0,75	0,3
TiO₂	0,01	<0.01	<0.01	<0.01	0,01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Al₂O₃	0,22	0,03	0,07	0,03	0,12	<0.01	<0.01	<0.01	0,03
Fe₃O₃T	0,49	3,63	0,99	1,22	1,84	1,64	1,57	5,9	0,7
MnO	0,46	0,2	0,48	0,4	0,55	0,06	0,06	0,06	0,08
MgO	46,6	43,4	45,2	45	44,1	45,6	45	43,1	45,5
CaO	0,25	0,27	0,26	0,2	0,2	0,34	0,32	0,39	0,45
Na₂O	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04	0,01
K₂O	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
P₂O₅	<0.01	<0.01	<0.01	0,01	<0.01	0,01	0,01	0,01	<0.01
Cr₂O₃	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
SrO	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
BaO	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
P.F.	51,2	47,6	51,8	51,5	50,8	51,4	51,3	48,8	51,8
Total	99,88	98,81	99,16	98,76	98,08	99,33	98,53	99,06	98,88
Rb	0,2	0,3	0,4	0,6	1,1	<0.2	0,2	0,2	0,2
Sr	2,3	3,3	3	3,6	2,2	1,3	1,3	1,5	1,4
Ba	4,3	3,2	6,2	32,4	10,1	3,2	3,5	5,3	3,8
Ga	0,5	0,6	1,2	1,1	1	0,5	0,4	0,5	0,5
Cs	0,04	0,04	0,08	0,15	0,25	0,04	0,01	0,02	0,01
Nb	<0.2	<0.2	<0.2	0,2	0,3	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Y	2,1	2,4	2,2	1,7	1,8	7,2	6,6	12,1	5,8
Zr	6	3	4	4	5	3	4	3	4
Hf	0,2	<0.2	<0.2	<0.2	0,2	<0.2	0,2	<0.2	<0.2
Ta	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2
Th	0,18	0,05	0,13	0,1	0,17	0,06	<0.05	0,09	<0.05
U	0,06	0,24	0,07	0,13	0,16	0,07	<0.05	0,15	0,06
Pr	0,24	0,24	0,27	0,27	0,1	0,31	0,24	0,38	0,48
Tm	0,03	0,06	0,08	0,11	0,06	0,1	0,17	0,16	0,13
La	0,4	0,6	0,6	0,7	0,3	1	1	0,9	1,5
Ce	0,4	2,8	0,8	3,6	0,4	2,2	2	2,6	4,6
Nd	1,3	1	1,3	1,4	0,6	1,2	1,3	2,6	2,4
Sm	0,28	0,36	0,54	0,46	0,22	0,5	0,38	0,84	0,7
Eu	0,09	0,11	0,08	0,07	<0.03	0,09	0,17	0,36	0,31
Gd	0,28	0,38	0,44	0,4	0,2	0,88	0,6	1,34	0,94
Tb	0,06	0,08	0,05	<0.01	0,03	0,08	0,08	0,16	0,13
Dy	0,4	0,36	0,29	0,17	0,15	0,64	0,57	1,59	0,74
Ho	0,05	0,07	0,06	0,02	0,04	0,19	0,14	0,24	0,12
Er	0,12	0,18	0,2	0,19	0,1	0,53	0,49	0,83	0,42
Yb	0,18	0,19	0,12	0,16	0,15	0,49	0,37	0,63	0,3
Lu	0,01	0,03	0,02	0,03	0,03	0,05	0,04	0,09	0,01
ΣREE	3,57	6,16	4,5	7,2	2,22	7,85	7,14	12,18	12,17

Diagramas bivariantes para elementos maiores (Fig. 14) mostram uma divisão entre estas rochas em dois grupos. O primeiro, constituído por mármore magnésíticos vermelho, claro e cinza das minas de Pedra Preta e de Pedra de Ferro, possui teores mais elevados de Fe_2O_3 e MnO , que variam de 0,37 a 2,95% e 0,26 a 0,71%, respectivamente, e mais baixos em CaO , que variam entre 0,14 a 0,33 %. O segundo grupo é representado por mármore magnésíticos brancos das minas de Pomba, Gravatá e Barrocas e possuem os maiores teores de CaO , que variam de 0,23 a 0,73% e com mais baixas concentrações de Fe_2O_3 , e MnO , com valores entre 0,11 a 0,6% e 0,02 a 0,11%, respectivamente. As rochas mais ricas em SiO_2 são os mármore magnésíticos brancos das minas de Pomba e Barrocas dos Veadeiros e as mais pobres são os mármore magnésíticos claros da mina de Pedra Preta. A variação neste óxido está associada com a presença de talco. Ainda em relação aos mármore brancos, existem dois subgrupos com 2 *trends* de Fe_2O_3 , sendo o primeiro empobrecido no óxido, enquanto o segundo tem maior concentração em relação ao primeiro.

É possível observar uma clara distinção entre os mármore magnésíticos brancos das Mina Pomba, Gravatá e Barrocas dos Veadeiros com as demais rochas analisadas em relação aos teores de Fe_2O_3 , MnO (Fig. 14a, c-f). Verifica-se três amostras de mármore magnésíticos brancos da Mina de Pedra Preta (Amostras PP-PE-0042, PP-PE-0044, PP-PE-0047; Apêndice B) com os menores teores nesses mesmos óxidos. Além disso, essas amostras plotam entre os mármore magnésíticos vermelhos e claros das minas Pedra Preta e Pedra de Ferro e os mármore magnésíticos brancos da mina Pomba.

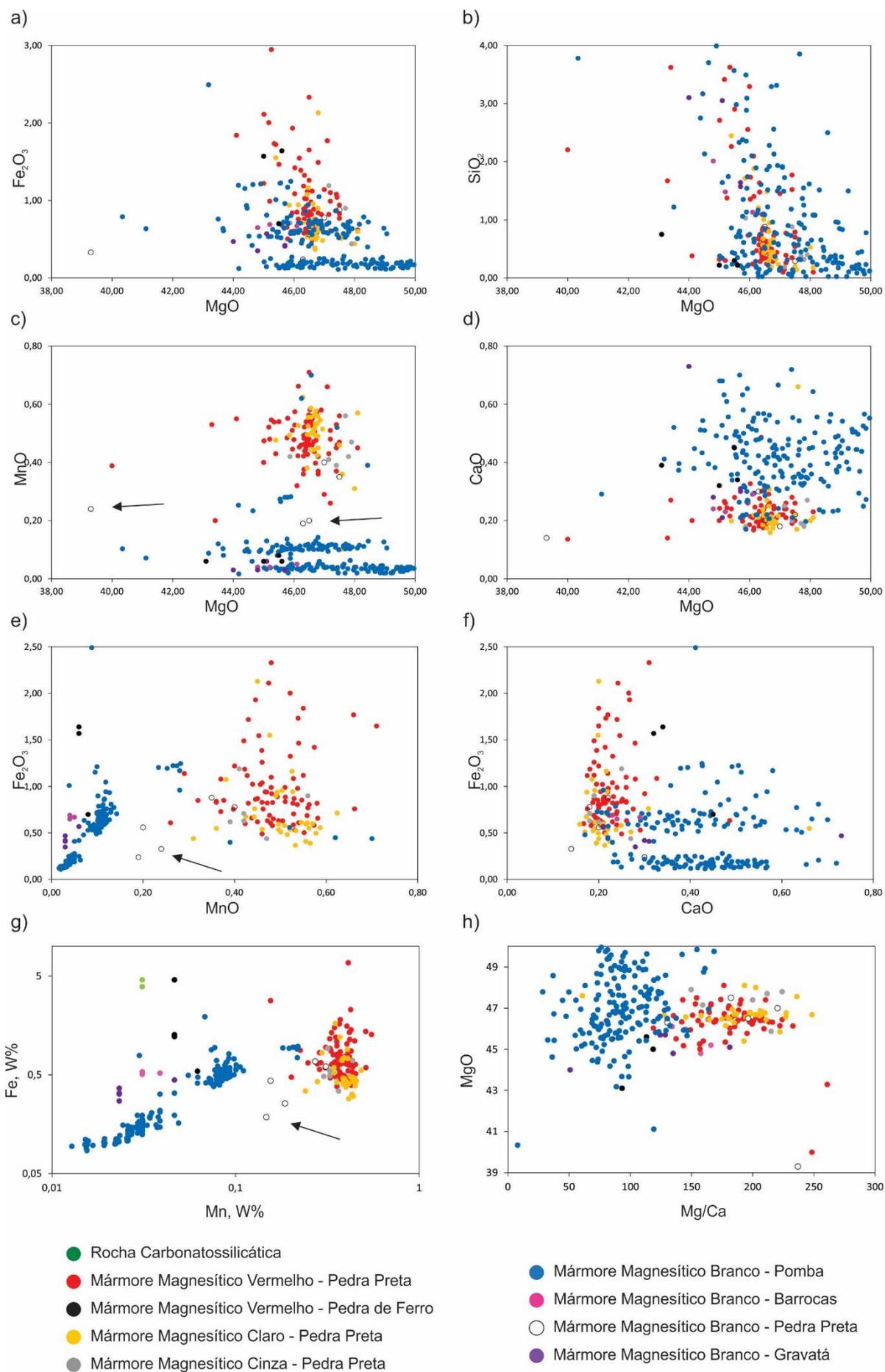


Fig. 14. A-F- Diagramas binários de elementos maiores para mármore magnésiticos e rochas carbonatossilicáticas do Complexo Serra das Éguas. Para o significado das setas, considerar amostras mármore magnésiticos brancos da mina de Pedra Preta. G- Diagrama discriminante dos diferentes tipos de mármore magnésiticos a partir de Bashir et al. (2009). H- Razões de Mg/Ca para análise da concentração dos sais na água do mar na época de deposição dos protólitos das rochas, bem como para análise paleogeográfica a partir de Pohl and Siegl (1986) e Almeida (1989).

Os mármore magnésiticos do Complexo Serra das Éguas mostram diferença na razão de Mg/Ca (Fig. 14h). No mármore magnésítico branco da Mina de Pomba essa razão varia entre 7,9 a 168,9, enquanto que os mármore magnésiticos vermelho, claro, cinza das minas Pedra Preta e Pedra de Ferro apresentaram valores que variam de 120 a 260. Os mármore magnésiticos brancos das minas Barrocas e Gravatá possuem razões entre 50 e 165. Um cálculo das médias dessas razões podem ser encontrada na tabela 2. Essas razões são maiores para os mármore magnésiticos vermelhos da mina de Pedra Preta e menores para as carbonatossilicáticas. Importante notar que a razão dos mármore magnésiticos brancos de Pedra Preta se aproxima das razões dos mármore cinzas, claros e vermelhos da mesma mina.

Tabela 2. Valores da média e desvio padrão para razão Mg/Ca para os mármore das minas amostradas.

Mármore	Mina	Média	Dev
Carbonatossilicática	Pomba	38,29399	15,86944
Mármore Magnésítico Branco	Pomba	93,05691	26,59956
Mármore Magnésítico Branco	Gravatá	124,0103	41,87181
Mármore Magnésítico Branco	Barrocas	152,499	13,41621
Mármore Magnésítico Branco	Pedra Preta	193,1688	36,7132
Mármore Magnésítico Cinza	Pedra Preta	193,3049	28,50814
Mármore Magnésítico Claro	Pedra Preta	190,2703	33,38028
Mármore Magnésítico Vermelho	Pedra Preta	183,5449	27,22791
Mármore Magnésítico Vermelho	Pedra de Ferro	102,6052	13,74571

6.2. Elementos Traços

Com relação aos elementos traços (Fig. 15) verifica-se que as amostras mais enriquecidas são as carbonatossilicáticas. Para os demais mármore, em geral, o comportamento dos elementos analisados é semelhante, com valores em torno de 1, excetuando-se três amostras de mármore magnesítico branco da mina de Pomba que destoam do padrão geral. Neste caso, as amostras são mais ricas em bário e tântalo que as demais. Em geral, quando normalizados para Condrito C1 McDonough and Sun, 1995), todos os mármore magnesítico estudados apresentam proeminente anomalia negativa de titânio (Fig. 15), com exceção dos mármore de Pedra de Ferro. Ressalta-se que as quatro amostras dessa mina tiveram resultados para esse elemento traço abaixo do limite de detecção. Em relação ao tântalo e ao tório, elementos litófilos, todos os mármore apresentaram anomalia positiva, enquanto que em relação ao nióbio e o estrôncio todos os mármore magnesítico apresentaram anomalia negativas.

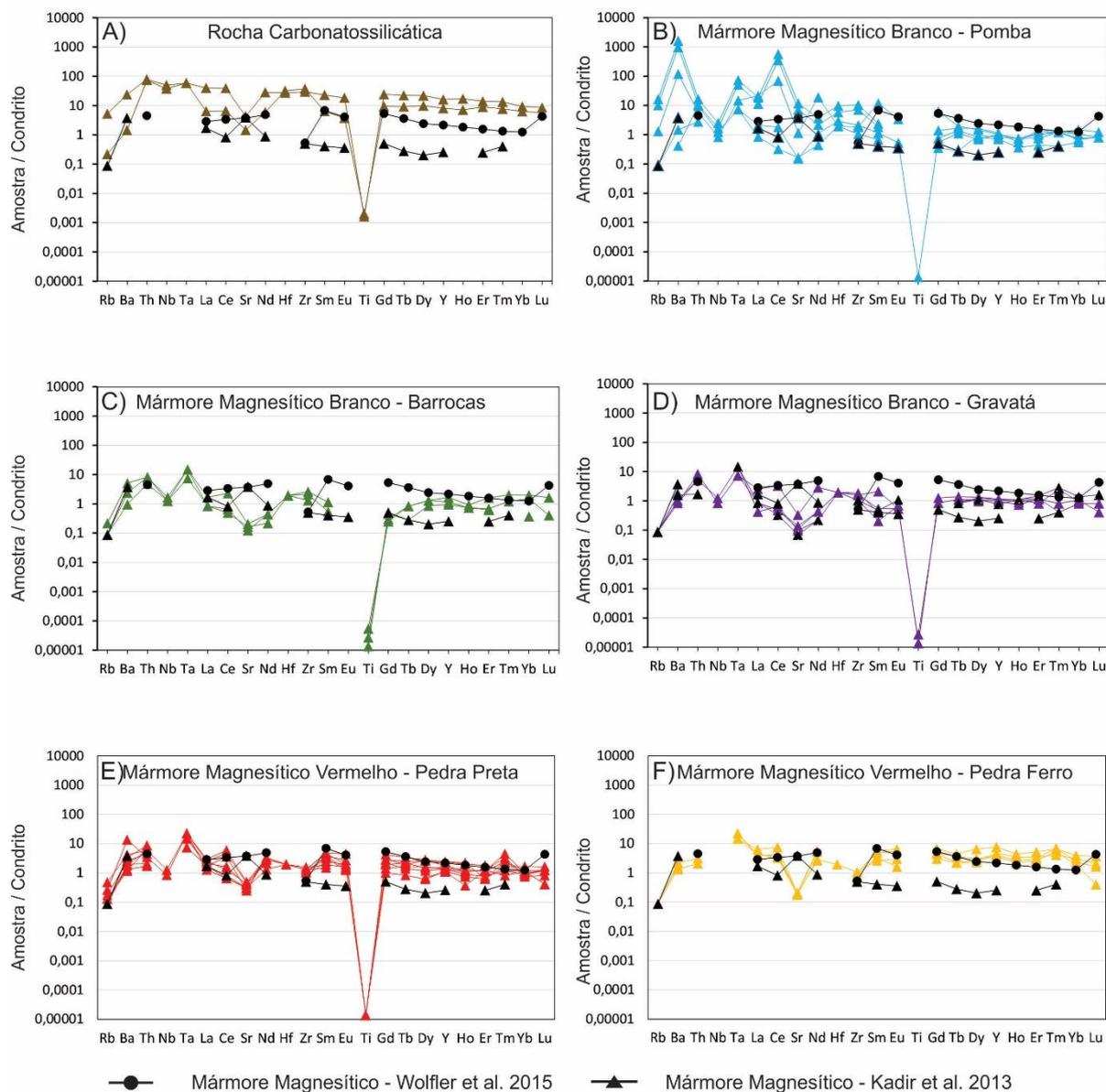


Fig. 15. Diagrama spider dos elementos traços dos mármore magnesíticos da Serra das Éguas, normalizados para Condrito C1 (McDonough and Sun, 1995). Dados obtidos neste trabalho.

Nos diagramas Spider normalizados para PAAS (McLennan, 1989), também nota-se que as rochas carbonatossilicáticas são mais enriquecidas e que há também uma distribuição semelhante para os mármore magnesíticos, com valores inferiores a 1 (Fig. 16). Também para esse normalizador, excetuando-se três amostras de mármore branco da mina de Pomba, que são mais enriquecidas em bário e tântalo que as demais. O titânio tem comportamento distinto nas rochas. Nos mármore magnesíticos vermelhos da mina de Pedra Preta e nos mármore magnesíticos da mina de Pomba e de Gravatá ocorrem anomalias negativas do elemento, enquanto

que as amostras das rochas carbonatossilicáticas apresentam comportamento anômalo positivo.

Em relação ao tântalo, todos os mármorees magnesíticos estudados mostraram anomalias positivas, bem como anomalias negativas para o lantânio. Os diagramas também mostraram comportamentos semelhantes de todos os mármorees estudados em relação a anomalia negativa do estrôncio, bem como anomalia negativa do zircônio nos mármorees magnesíticos vermelhos das minas de Pedra Preta e Pedra de Ferro. Importante notar que apenas os mármorees vermelhos de Pedra Preta apresentam uma anomalia positiva proeminente de bário. Com relação ao rubídio e ao bário, para o mármore magnesíticos de Pomba nota-se dois conjuntos distintos, sendo um mais enriquecido nesses elementos (Amostras FSP-04-03 e FSP-05-02) e outro mais empobrecido.

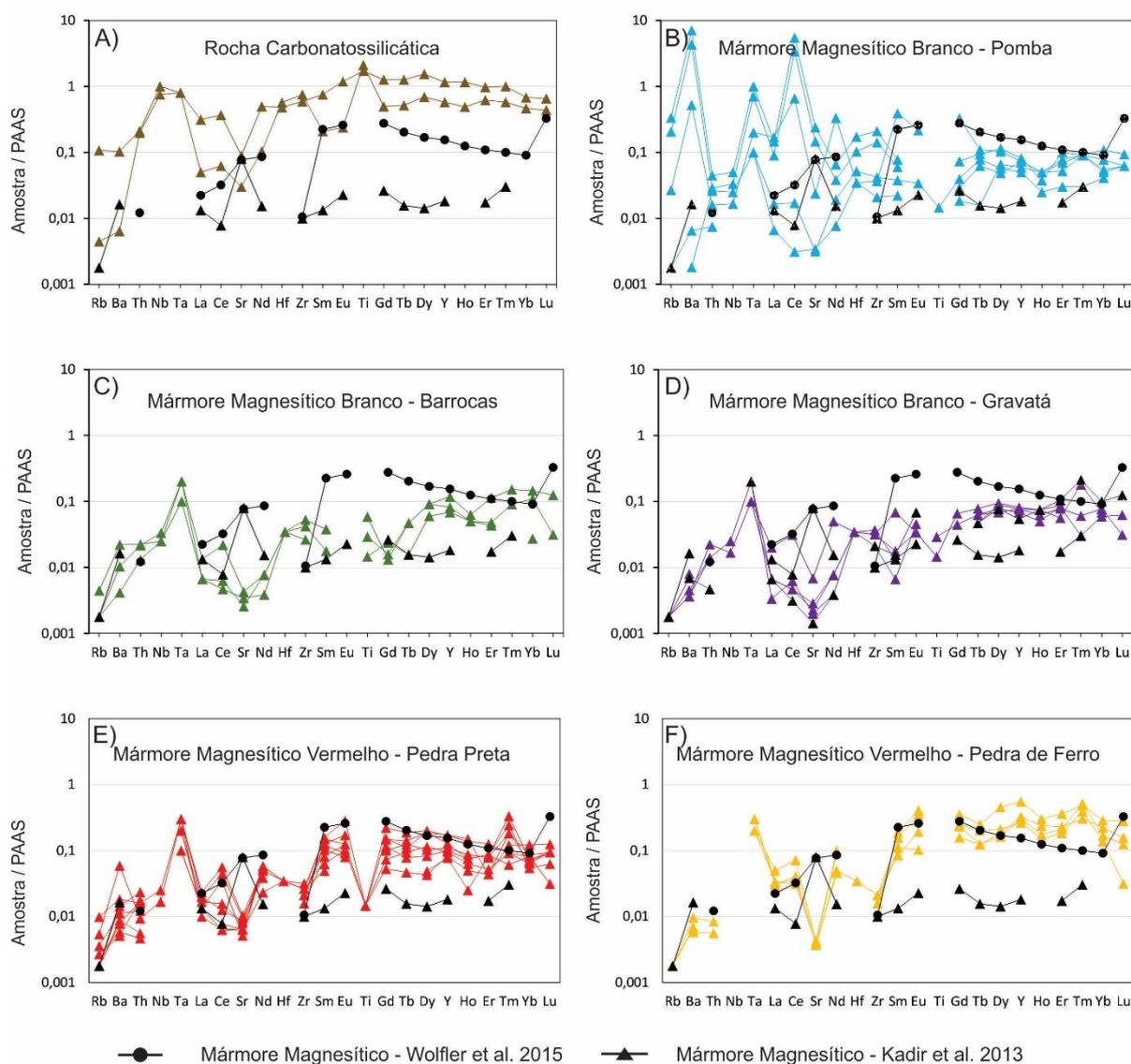


Fig. 16. Diagrama spider dos elementos traços dos mármore magnesíticos da Serra das Éguas, normalizados para PAAS (McLennan, 1989). Dados obtidos neste trabalho.

6.3. Elementos Terras Raras

Os mármore magnesíticos possuem somatórios de ETR inferiores a 31,91 ppm (Tabela 3), com exceção de duas amostras de mármore magnesítico branco da Mina Pomba (FSP-04-03 e FSP-05-02) com 220,68 e 357,72 ppm, respectivamente.

Quando normalizadas pelo Condrito C1 (McDonough and Sun, 1995), os dados da figura 17 possuem valores próximos 1 ou são mais enriquecidos que o condrito. Em geral, os padrões são planos, com anomalia positiva de Y (Fig. 17), característico de rochas químico-sedimentares de ambientes marinhos (Alexander et al., 2008). Essa anomalia é mais proeminente no mármore magnesítico vermelho das minas

Pedra Preta e Pedra de Ferro e mais discreta no mármore magnésítico branco das minas de Pomba e Barrocas.

O Eu apresenta anomalias negativas em amostra de todos os mármore magnésíticos estudados e positivas em amostras de mármore magnésítico vermelho das minas de Pedra Preta e de Pedra de Ferro, além do mármore magnésítico branco da mina de Gravatá (Fig. 17; Tabela 3). Algumas amostras possuem anomalias positivas mais acentuadas para Ce nos mármore das minas de Pomba e Pedra Preta e menos proeminente nas minas de Barrocas, Gravatá e Pedra de Ferro. Anomalias negativas para esse elemento foram encontrados em amostras de todos os mármore estudados, com exceção das carbonatossilicáticas. Segundo Bau and Dusk (1996), a presença do lantânio em ambiente marinho pode causar interferência nos valores anômalo de cério presente na água do mar. Por este motivo, os autores indicaram o diagrama binário de Ce/Ce* versus Pr/Pr* para identificar a anomalia verdadeira do cério em sedimentos marinhos depositados em oceanos antigos, tendo sido confirmadas (Fig. 19), exceto para as rochas carbonatossilicáticas da mina de Pomba.

Tabela 3. Dados de elementos terras raras (Tabela 1) normalizados pelo condrito C1 de McDonough and Sun (1995).

	Σ REE	La/YbN		Eu/Eu*		Ce/Ce*	
	ppm	ppm	média Desvio	ppm	média Desvio	ppm	média Desvio
Rocha Carbonatossilicática							
	16,970 - 16,910	0,999 - 5,619	3,625 1,938	0,512 - 0,815	0,715 0,143	0,988 - 1,070	1,041 0,038
Mármore Magnésítico Branco							
Pomba	1,360 - 357,720	1,235 - 28,871	11,425 9,677	0,392 - 0,434	0,413 0,021	0,436 - 48,817	20,228 22,948
Barrocas	1,310 - 2,890	0,424 - 2,264	1,274 0,758	-	- -	0,654 - 1,646	1,080 0,417
Gravatá	1,360 - 5,300	0,522 - 2,397	1,049 0,688	0,286 - 1,802	1,086 0,575	0,557 - 1,351	0,939 0,308
Mármore Magnésítico Vermelho							
Pedra Preta	2,220 - 6,650	1,006 - 3,396	2,027 0,755	0,489 - 1,030	0,757 0,190	0,303 - 1,994	0,958 0,665
Pedra de Ferro	7,140 - 12,180	0,970 - 3,396	1,897 0,918	0,533 - 1,263	1,061 0,305	0,945 - 1,299	1,068 0,143

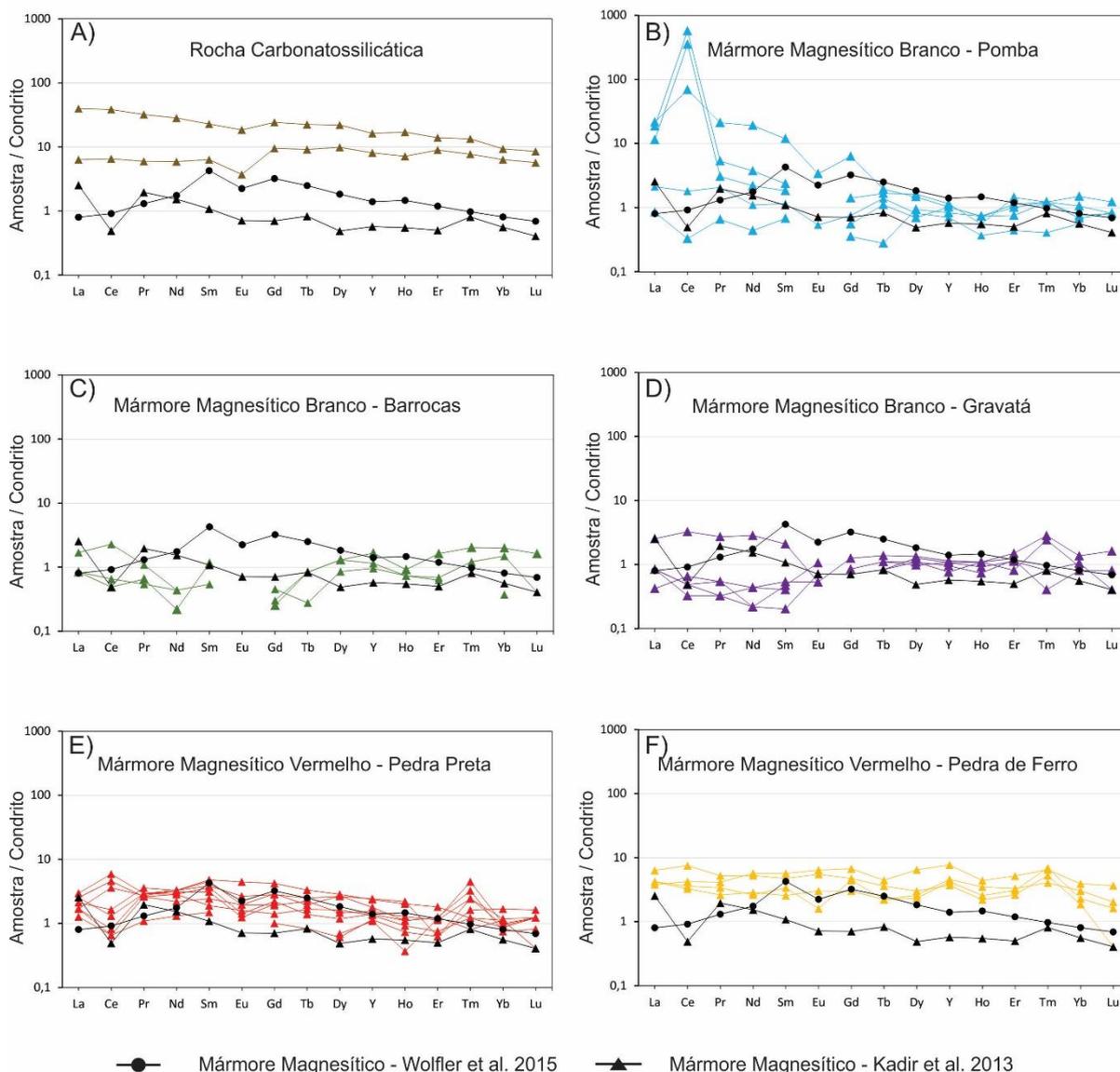


Fig. 17. Diagrama de elementos terras raras dos mármore magnesíticos do Complexo Serra das Águas normalizados para Condrito C1 de McDonough and Sun (1995). Estão adicionados os dados para os depósitos mármore magnesíticos de Eastern Alps, Austria (Wolfler et al., 2015) e de Kop Mountain, Turquia (Kadir et al., 2013).

Quando normalizados pelo *Post-Archean Australian Shale – PAAS* (McLennan, 1989), nota-se que a distribuição dos dados para os mármore magnesíticos é predominantemente inferior a 1 (Fig. 18). Além disso, a razão $La/Yb_N < 1$ (Tabela 4) indica um crescimento dos ETRs pesados em relação aos leves para a maioria das amostras. Entretanto, para as amostras FSP-04-03, FSP-05-01 e FSP-05-02 da mina de Pomba nota-se um padrão mais plano (Fig. 18) e menores razões La/Yb_N (Tabela 4).

As anomalias positivas de Y, características de ambientes marinhos antigos, são observadas em todos os mármore. Porém, essas anomalias são mais proeminente nos mármore magnésíticos vermelhos da mina de Pedra Preta e de Pedra de Ferro (Fig. 18). Nas amostras dessas minas também são encontradas anomalias positivas e negativas de európio, bem como a mina de Gravatá.

As anomalias negativas de Ce aparecem para todos os mármore magnésíticos, sendo os brancos das minas de Gravatá, Barrocas e Pomba, bem como os vermelhos das minas de Pedra Preta e Pedra de Ferro. As anomalias positivas deste elemento ocorrem em todos os mármore estudados, com exceção das rochas carbonatossilicáticas.

Tabela 4. Dados de elementos terras raras (Tabela 1) normalizados pelo PAAS (McLennan, 1989).

	Σ REE	La/YbN		Eu/Eu*		Ce/Ce*	
	ppm	ppm	média Desvio	ppm	média Desvio	ppm	média Desvio
Tremolita Mármore Magnésítico							
	16,970 - 16,910	0,108 - 0,610	0,394 0,211	0,726 - 1,339	1,126 0,258	0,982 - 1,022	0,998 0,017
Mármore Magnésíticos Brancos							
Pomba	1,360 - 357,720	0,134 - 3,137	1,242 1,052	0,662 - 0,725	0,694 0,032	0,798 - 51,524	21,749 24,936
Barrocas	1,310 - 2,890	0,046 - 0,246	0,138 0,082	-	- -	0,626 - 1,613	1,054 0,414
Gravatá	1,360 - 5,300	0,057 - 0,260	0,114 0,075	0,471 - 2,607	1,524 0,780	0,582 - 1,213	0,900 0,246
Mármore Magnésíticos Vermelhos							
Pedra Preta	2,220 - 6,650	0,109 - 0,369	0,220 0,082	0,855 - 1,687	1,244 0,284	0,306 - 1,849	0,868 0,611
Pedra de Ferro	7,140 - 12,180	0,105 - 0,369	0,206 0,100	0,880 - 2,047	1,713 0,482	0,901 - 1,234	1,015 0,130

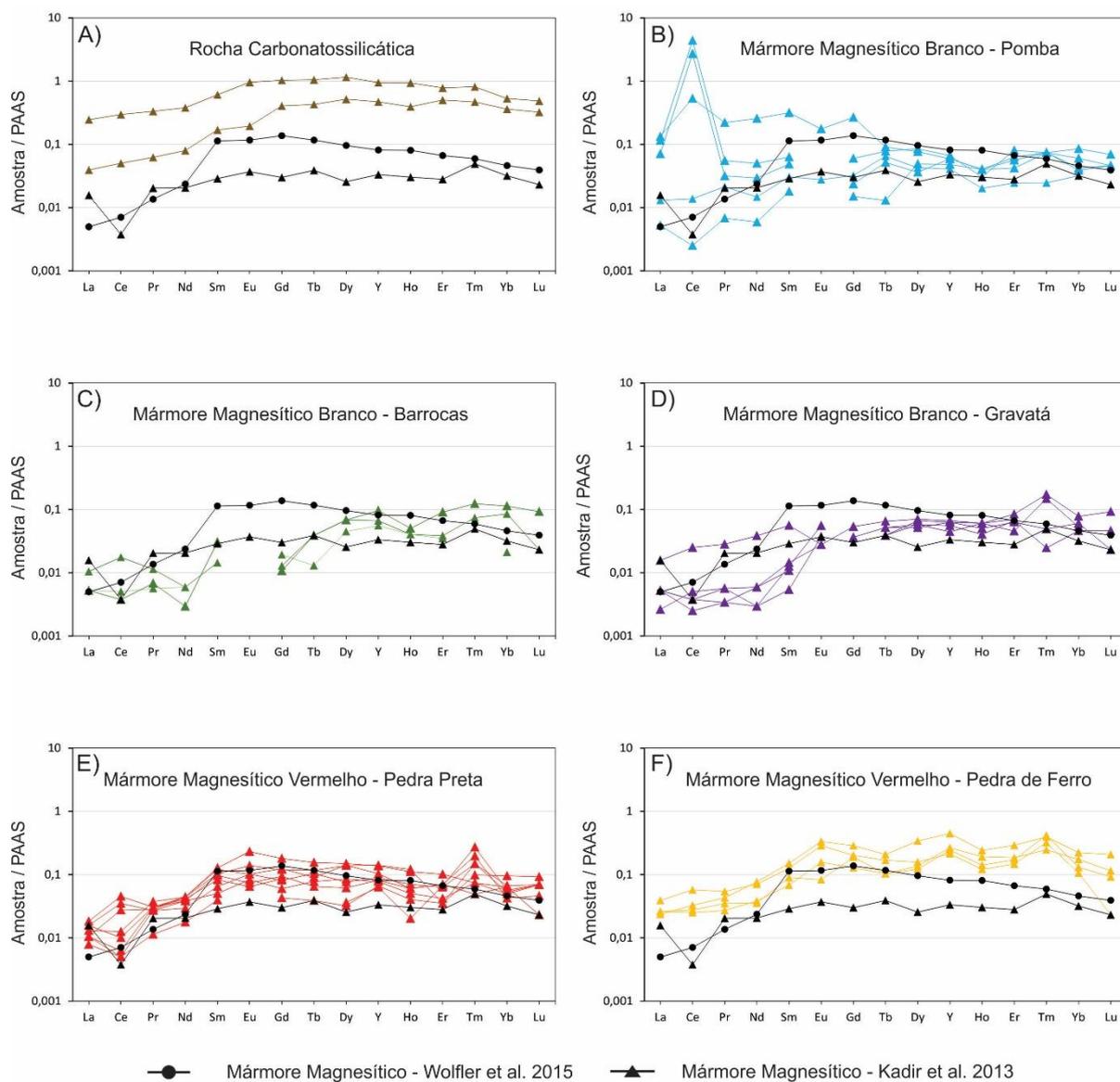
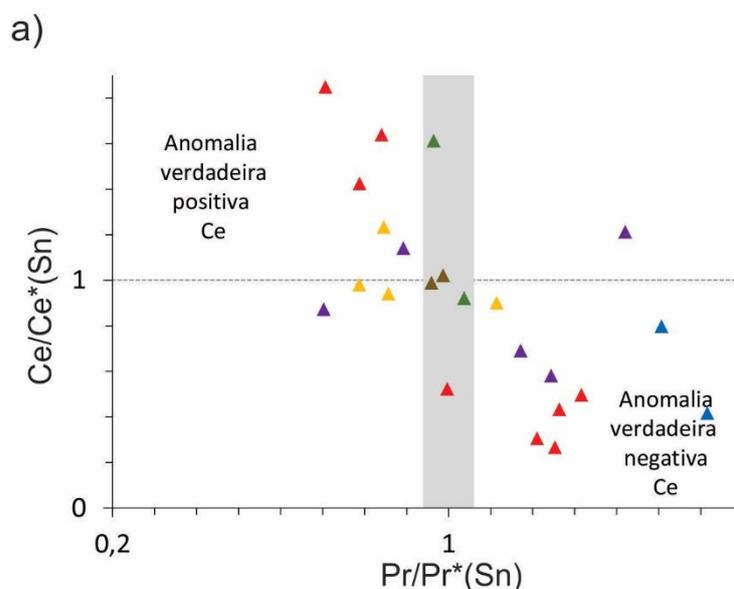


Fig. 18. Diagrama de elementos terras raras dos mármore magnesíticos da Serra das Éguas, normalizados para PAAS (McLennan, 1989). Dados obtidos neste trabalho. Dados para os depósitos mármore magnesíticos de Eastern Alps, Austria (Wolfler et al., 2015) e de Kop Mountain, Turquia (Kadir et al., 2013).



- | | |
|---|---------------------------------------|
| ▲ Rocha Carbonatossilicática | ▲ Mármore Magnesítico Branco Pomba |
| ▲ Mármore Magnesítico Vermelho Pedra de Ferro | ▲ Mármore Magnesítico Branco Gravatá |
| ▲ Mármore Magnesítico Vermelho Pedra Preta | ▲ Mármore Magnesítico Branco Barrocas |

Fig. 19. Anomalias verdadeiras de cério. As anomalias positivas indicam ambientes oxidantes e as anomalias negativas sugerem ambientes redutores (Bau and Duski 1996). Dados normalizados pelo PAAS (McLennan, 1989).

7. DISCUSSAO

7.1. Características químicas e Ambiente de Formação dos protólitos dos mármore magnesíticos

De uma maneira geral, os mármore magnesíticos analisados mostram valores de MgO entre 43,1 e 47,5 % (Tabela 5). A principal diferença entre os mármore brancos e vermelhos é a quantidade de Fe₂O₃, sendo que as amostras das minas de Pedra Preta e de Pedra de Ferro possuem teores nesse óxido entre 0,49-3,63% e 0,7-5,9%, respectivamente. Por sua vez, os mármore brancos das minas de Pomba, de Barrocas e de Gravatá possuem concentrações de Fe₂O₃ variando entre 0,68-0,96%, 0,65-0,69% e 0,35-0,57% respectivamente. Dentre as analisadas, as rochas carbonatossilicáticas são as que possuem os maiores valores de SiO₂, com concentração entre 44,6-46,3% (Tabela 5) associados aos anfibólios.

Tabela 5. Síntese da composição química dos mármore magnésíticos e das rochas carbonatossilicática estudadas. Abreviaturas utilizadas para as minas e depósitos: PP (Pedra Preta), PFE (Pedra de Ferro), PO (Pomba), BA (Barrocas dos Veadeiros), GVT (Gravatá).

Óxido	Mármore magnésíticos					Rocha carbonatossilicática magnésítica
	Vermelho PP (%)	Vermelho PFE (%)	Branco PO (%)	Branco BA (%)	Branco GVT (%)	PO (%)
MgO	43,4 - 47,5	43,1 - 45,6	43,5 - 45,8	44,8 - 46,1	44,0 - 45,7	27,6 - 28,7
SiO ₂	0,3 - 3,62	0,22 - 0,75	0,35 - 1,64	1,13 - 2,01	1,57 - 4,04	44,8 - 46,3
Fe ₂ O ₃	0,49 - 3,63	0,7 - 5,9	0,68 - 0,96	0,65 - 0,69	0,35 - 0,57	5,03 - 5,89
MnO	0,2 - 0,56	0,06 - 0,08	0,11 - 0,28	0,04 - 0,05	0,03 - 0,06	0,04
CaO	0,19 - 0,31	0,32 - 0,45	0,21 - 0,68	0,23 - 0,29	0,21 - 0,73	0,43 - 1,08

Os mármore magnésíticos do Complexo Serra das Éguas das minas de Pomba, Gravatá e Barrocas possuem composição química para elementos maiores semelhantes aos mármore dos depósitos de Orós no Ceará (Parente et al., 1998), bem como aos de Eastern Alps, na Áustria, (wolfler et al., 2015) e Kop Mountain, na Turquia, (Kadir et al., 2013) (Fig. 20). Por outro lado, os mármore das minas de Pedra Preta e Pedra de Ferro mostram diferenças químicas em relação aos mármore estudados pelos autores mencionados.

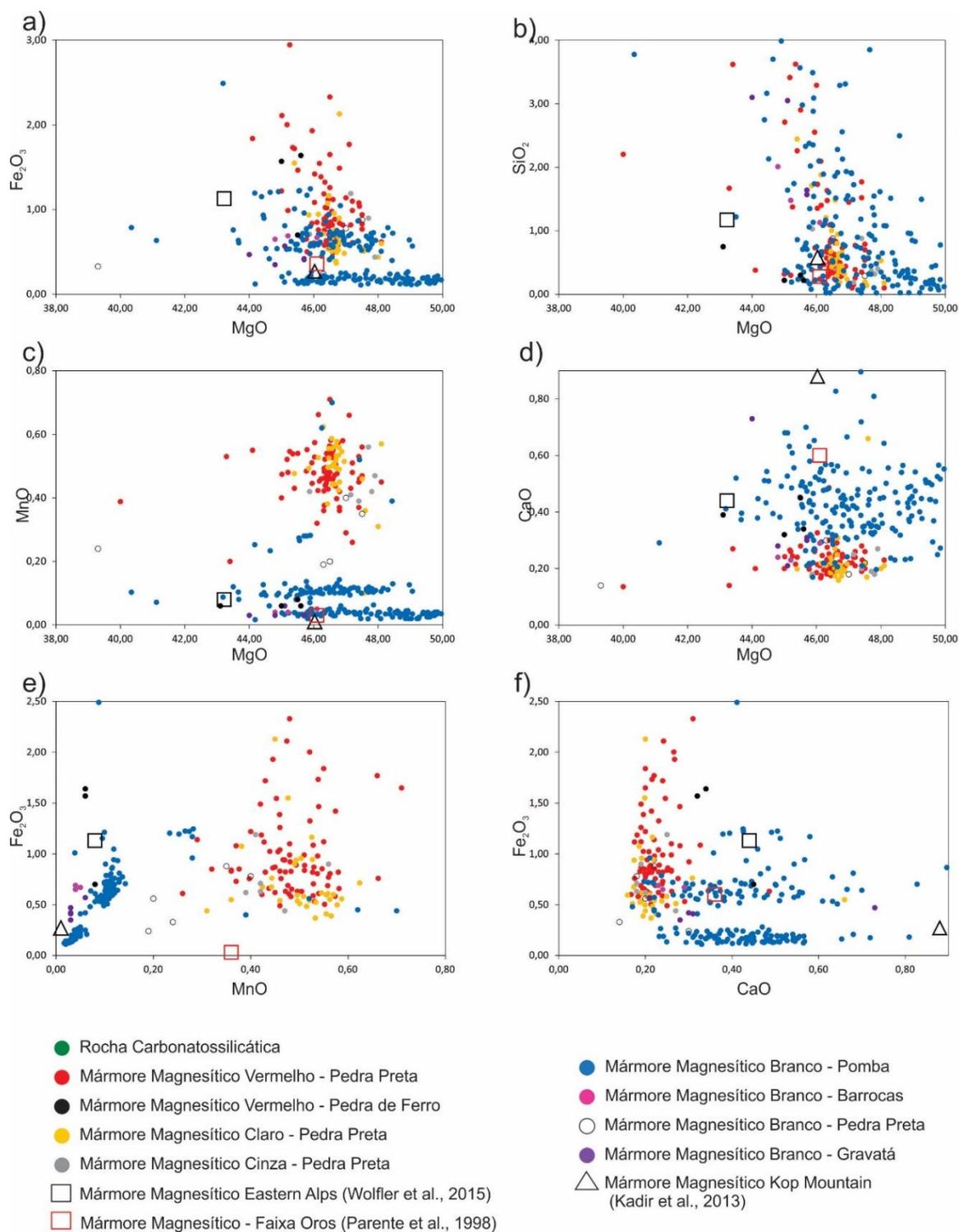


Fig. 20. Diagramas binários com amostras de mármore magnesítico do Complexo Serra das Éguas e dos depósitos da Faixa Orós (Parente et al., 1998), Kop Mountain (Kadir et al., 2013) e Eastern Alps (Wolfler et al., 2015).

As rochas carbonáticas do Complexo Serra das Éguas ocorrem intercaladas com metabasaltos komatiíticos e toleíticos estudados por Rangel (2019). A figura 21 mostra diagramas binários em que estão plotados as composições dos mármore

magnésitos e das rochas carbonatossilicáticas estudados, bem como os metabasaltos estudados pelo autor. Nota-se que as rochas carbonatossilicáticas plotam próximas ao campo dos metabasaltos. A presença de um magmatismo máfico coetâneo estudado por Rangel (2019) pode ter contribuído para uma contaminação nesses elementos nas rochas carbonatossilicáticas, favorecendo à formação de tremolita nessas rochas (Fig. 6). Entretanto, menores contribuições podem ser interpretadas para Fe_2O_3 e CaO .

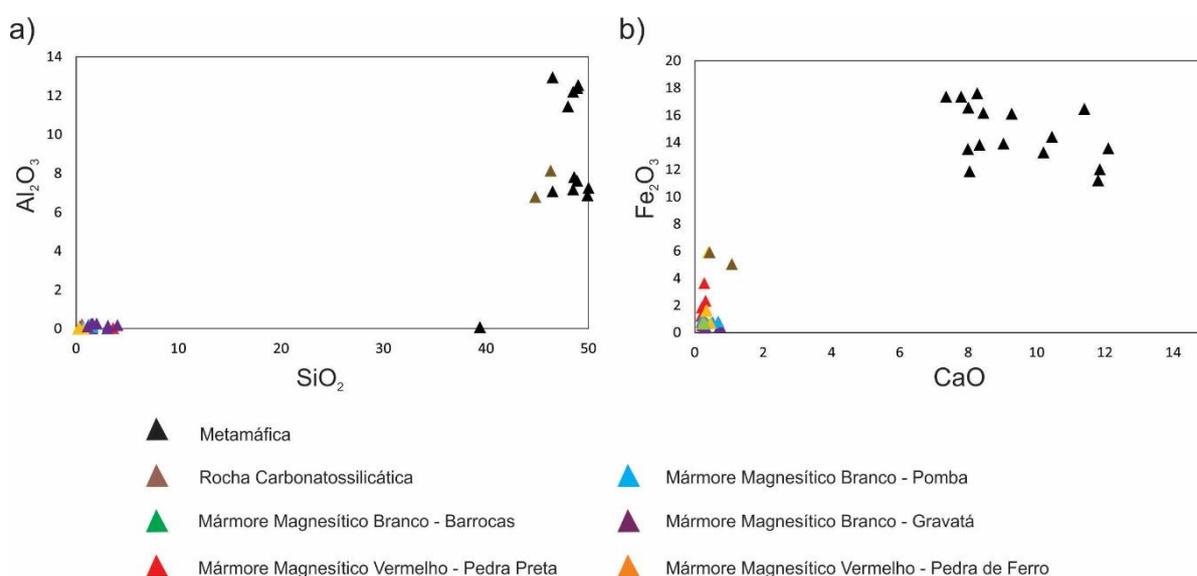


Fig. 21. Diagramas binários com rochas metacarbonáticas e metamáficas do Complexo Serra das Éguas. a) Diagrama binário de SiO_2 versus Al_2O_3 ; b) diagrama binário de CaO versus Fe_2O_3 .

Bau and Duski (1996), e posteriormente Alexander et al. (2008), sugerem que a razão Y/Ho pode ajudar a interpretar as condições paleoambientais da deposição de sedimentos químicos, devido à presença destes elementos nas águas marinhas arqueanas e paleoproterozoicas. De acordo com esses autores, essa assinatura das águas marinhas contribui para a presença de anomalias positivas destes elementos nas rochas, como encontrado nas rochas do Complexo Serra das Éguas. De acordo com Planavsky et al. (2010), a razão Y/Ho para a água do mar varia entre 60 e 90, enquanto que para as águas continentais estão entre 26 e 27, que são próximos dos valores crustais. As rochas carbonatossilicáticas e os mármores magnésitos do Complexo Serra das Éguas possuem razões que em sua maioria variam de 27 a 60, demonstrando a contribuição detrítica para a formação dessas rochas em uma bacia marinha (Fig. 22). Uma única amostra do mármore magnésítico da mina de Gravatá (Amostra FG2-05) possui razão igual a 20, sugerindo deposição de material dentro do

continente. Por outro lado, uma amostra de mármore magnesítico vermelho da mina Pedra Preta tem razão igual a 85 (Amostra PP-PT-0009), o que sugere uma deposição em ambiente apenas com água do mar.

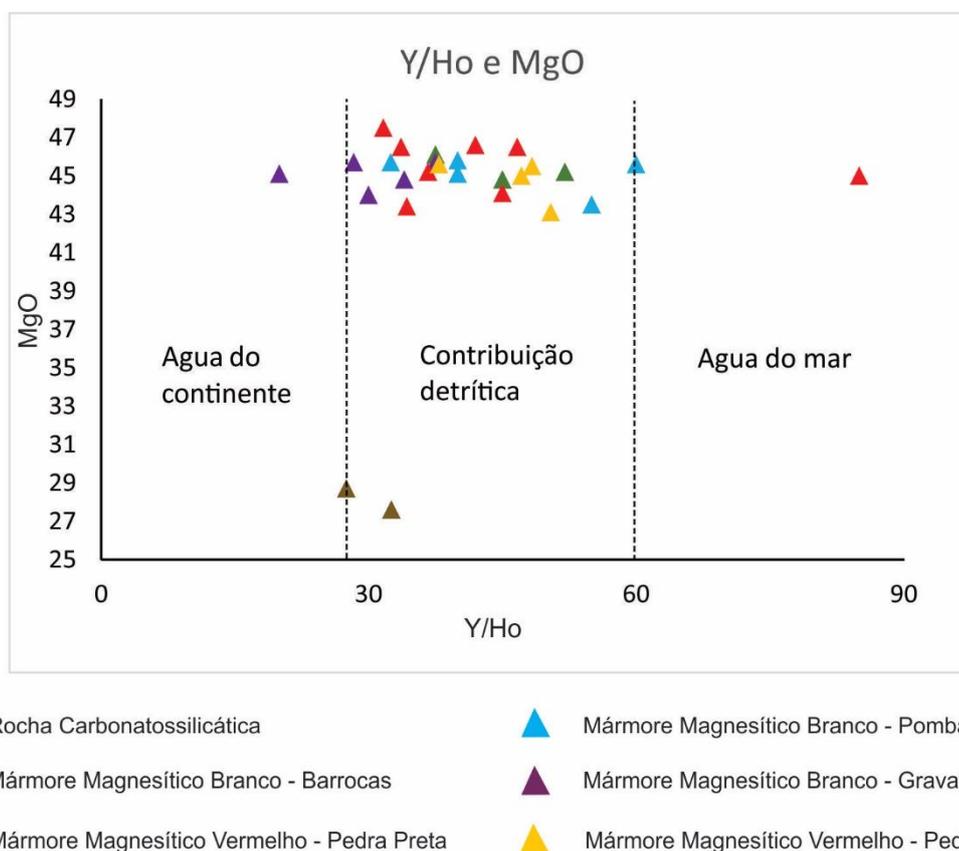


Fig. 22. Diagrama binário com a razão Y/Ho discriminando ambientes com contribuições de água continental, detrítica e da água do Mar a partir de Bau and Duski (1996).

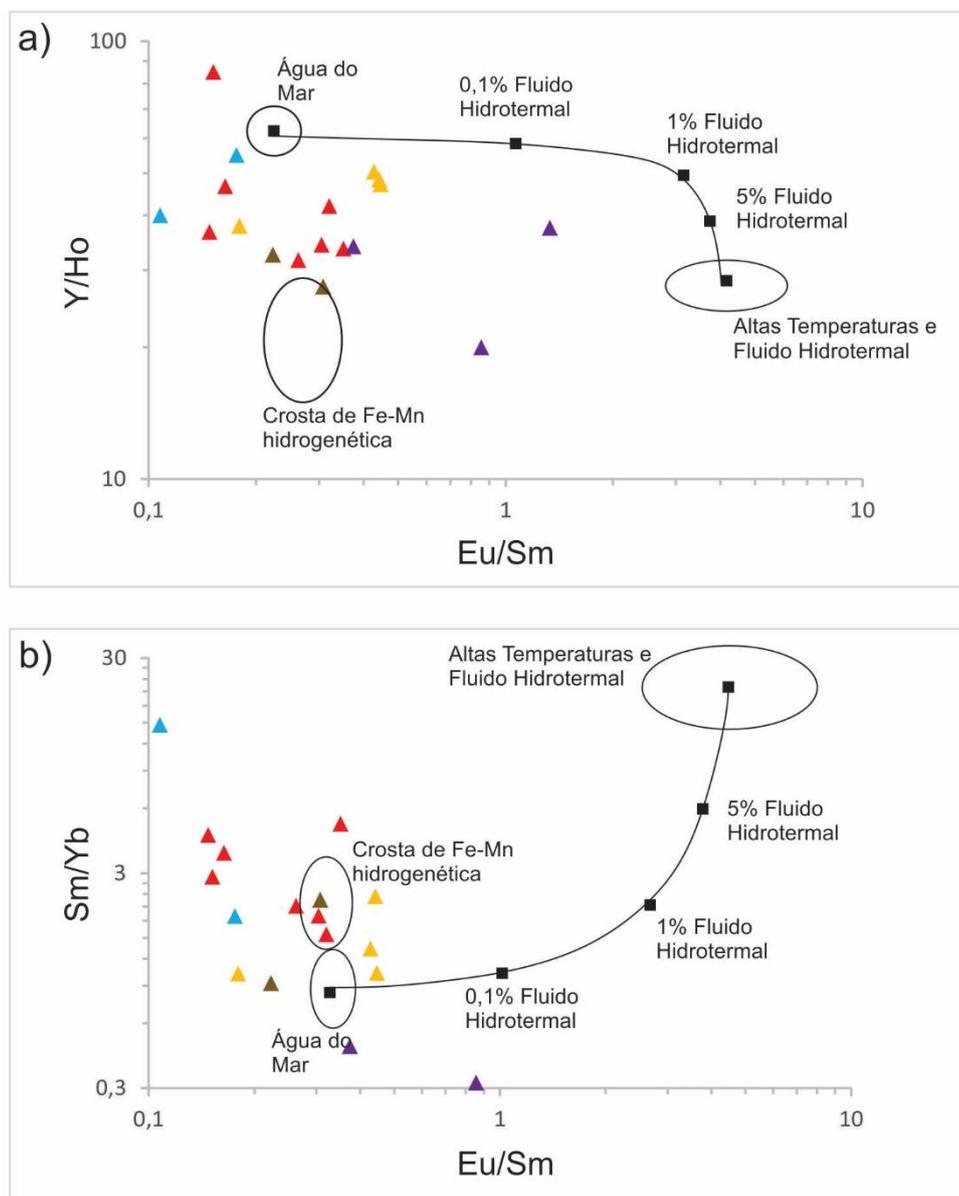
Em geral, existe uma semelhança geoquímica entre a distribuição dos Elementos Terras Raras das rochas carbonáticas do Complexo Serra das Éguas e com as dos depósitos de Eastern Alps, na Áustria (Wolfler et al., 2015), e Kop Mountain, na Turquia (Kadir et al., 2013) (Figs. 17, 18). Ambos apresentam anomalias negativas de európio quando normalizados para o condrito C1 (McDonough and Sun, 1995), além do depósito da Turquia ter uma anomalia negativa de cério proeminente que se assemelha aos mármore magnesíticos vermelhos do depósito de Pedra Preta. Quando normalizados para PASS (McLennan, 1989), como nos depósitos da Áustria e da Turquia, os mármore magnesíticos das minas de Pomba e Barrocas mostram apenas anomalias negativas de európio, enquanto que as amostras dos mármore magnesíticos vermelhos das minas de Pedra Preta e Pedra de ferro, bem

como o mármore magnesítico branco da mina de Gravatá possuem anomalias variando entre positivas e negativas.

As anomalias negativas ($Eu/Eu^* < 1$) dos mármore magnesíticos de todas as minas podem sugerir um ambiente de formação do protólito em bacias afastadas de zonas de atividade hidrotermal e fumarolas (Bau and Duski, 1996). As anomalias negativas de Eu nos mármore magnesíticos da Faixa Orós foi interpretado por Parente (2004) como relacionadas com um ambiente marinho paralítico em condições redutoras e distantes de fontes hidrotermais. Por outro lado, as anomalias positivas de Eu ($Eu/Eu^* > 1$) encontradas nos mármore magnesíticos vermelhos das minas de Pedra Preta e Pedra de Ferro podem sugerir uma contribuição detrítica continental sugestiva de material máfico e ultramáfico. Uma outra alternativa seria a contribuição de fluidos hidrotermais quentes com temperaturas acima de 350°C (Bau and Dulski, 1999) na formação dessas rochas, entretanto, os diagramas sugeridos por Alexander et al. (2008) (Fig. 23), mostram que a influência desses fluidos nos protólitos das rochas carbonáticas do Complexo Serra das Éguas é muito baixa, sendo inferior a 0,1%. Deste modo, indica-se que a principal contribuição na formação dos protólitos das rochas estudadas do Complexo Serra das Éguas está associada à água do mar (Fig. 23) e a contribuição detrítica. Maiores contribuições de fluidos quentes (entre 0.1-0.3%) foram obtidas para mármore magnesítico branco da mina de Gravatá. As anomalias positivas de Eu ($Eu/Eu^* > 1$) que ocorrem em mármore magnesíticos vermelhos da mina de Pedra Preta, de Pedra de Ferro e no mármore magnesítico branco da mina de Gravatá podem estar relacionados com a contribuição detrítica de metabasaltos toleíticos e komatiíticos que afloram Unidade Vulcanoquímica com Siliciclástica subordinada do Complexo Serra das Éguas e estudadas por Rangel (2019), bem como de komatiitos descritos por Cunha e Froes (1994), Texeira et al. (2012) e Menezes-Leal et al. (2015).

Em relação as anomalias verdadeiras de cério (Fig. 19), verificadas para o PAAS (McLennan, 1989), algumas amostras do mármore magnesítico vermelho das minas de Pedra Preta e Pedra de ferro e do mármore magnesítico branco das minas de Barrocas e Gravatá plotam no campo das anomalias positivas verdadeiras ($Ce/Ce^* > 1$), que indicaria ambiente de deposição menos oxidante para os protólitos dessas amostras. Por outro lado, exceto para as amostras da mina de barrocas, algumas amostras dos mármore dessas minas, bem como para o mármore da mina de Pomba, mostram anomalias verdadeiras negativas ($Ce/Ce^* < 1$), sugerindo

ambiente de deposição mais oxidante. Deste modo, os dados indicam que durante a deposição dessas rochas, ocorreu uma variação do grau de oxigenação da bacia. Essa variação no grau de oxidação pode estar relacionada com a atividade de bactérias e/ou com a distância em relação ao continente a porte detrítico.



- | | |
|--|---|
| ▲ Rocha Carbonatossilicática | ▲ Mármore Magnesítico Branco - Pomba |
| ▲ Mármore Magnesítico Branco - Barrocas | ▲ Mármore Magnesítico Branco - Gravatá |
| ▲ Mármore Magnesítico Vermelho - Pedra Preta | ▲ Mármore Magnesítico Vermelho - Pedra de Ferro |

Fig. 23. Diagramas propostos por Alexander et al. (2008) para caracterização dos fluidos singenéticos responsáveis pela formação de depósitos sedimentares.

Em relação aos demais elementos traços, quando normalizados para Condrito C1 (McDonough and Sun, 1995) (Fig. 15) e pelo PAAS (McLennan, 1989) (Fig. 16), as amostras mostram uma anomalia negativa de titânio muito proeminente. As anomalias positivas de tório e de bário podem indicar contribuição de uma fonte crustal félsica para essas rochas, tais como os metagranitoides arqueanos do Complexo Gavião e estudados por diversos autores, tais como Arcanjo et al. (2005), Santos Pinto (2012), Cruz et al. (2012), Barbosa et al. (2013), Silva et al. (2016), Medeiros et al. (2017), dentre outros.

Segundo Guillou (1980), Pohl and Siegl (1986) e Almeida (1989), a razão Mg/Ca em rochas carbonáticas podem indicar a proximidade da paleobacia com relação ao continente. As maiores razões Mg/Ca estariam associadas com bacias mais próximas ao continente e mais propícias para a formação de magnesita, ao passo que as menores razões estariam relacionadas com bacias mais distais e favoráveis a precipitação de carbonatos mais cálcicos. Ao analisar a distribuição dessas razões nas rochas estudadas do Complexo Serra das Éguas (Fig. 24), nota-se que os mármore magnésíticos vermelhos das minas de Pedra Preta e Pedra de Ferro mostram os valores da razão Mg/Ca, em geral, mais elevados (maiores que 150), sugerindo que seus protólitos foram depositados em paleobacia mais proximal ao continente. Por sua vez, as amostras de mármore magnésíticos brancos das minas de Barrocas, de Gravatá e de Pomba possuem razões Mg/Ca mais baixas (menores que 150), sugerindo que seus protólitos foram depositados em paleobacias mais distais ao continente em relação à anterior. Em ambos os casos, as razões seriam suficientes para precipitar magnesita. Interpretação como essa foi feita por Parente et al. (2004) nos mármore magnésíticos cinzas e vermelhos da Faixa Óros, com razões Mg/Ca mais elevadas e relacionados com deposição em bacias proximais com uma possível contribuição continental. Por sua vez, como no Complexo Serra das Éguas, os mármore brancos estudados por esse autor foram relacionados com paleobacias mais distais e que não tiveram o aporte detrítico.

A amostra MAG-37 de Cruz et al. (2019) plotada no mapa (Fig. 24) corresponde a um mármore dolomítico com razão Mg/Ca < 1. Se aplicados os estudos de Guillou (1980) e Pohl and Siegl (1986), interpreta-se que o protólito desse mármore teria sido depositado em uma paleobacia mais afastada da costa em relação aos protólitos dos mármore magnésíticos, com razões Mg/Ca relativamente baixas e que favoreceriam à formação da dolomita.

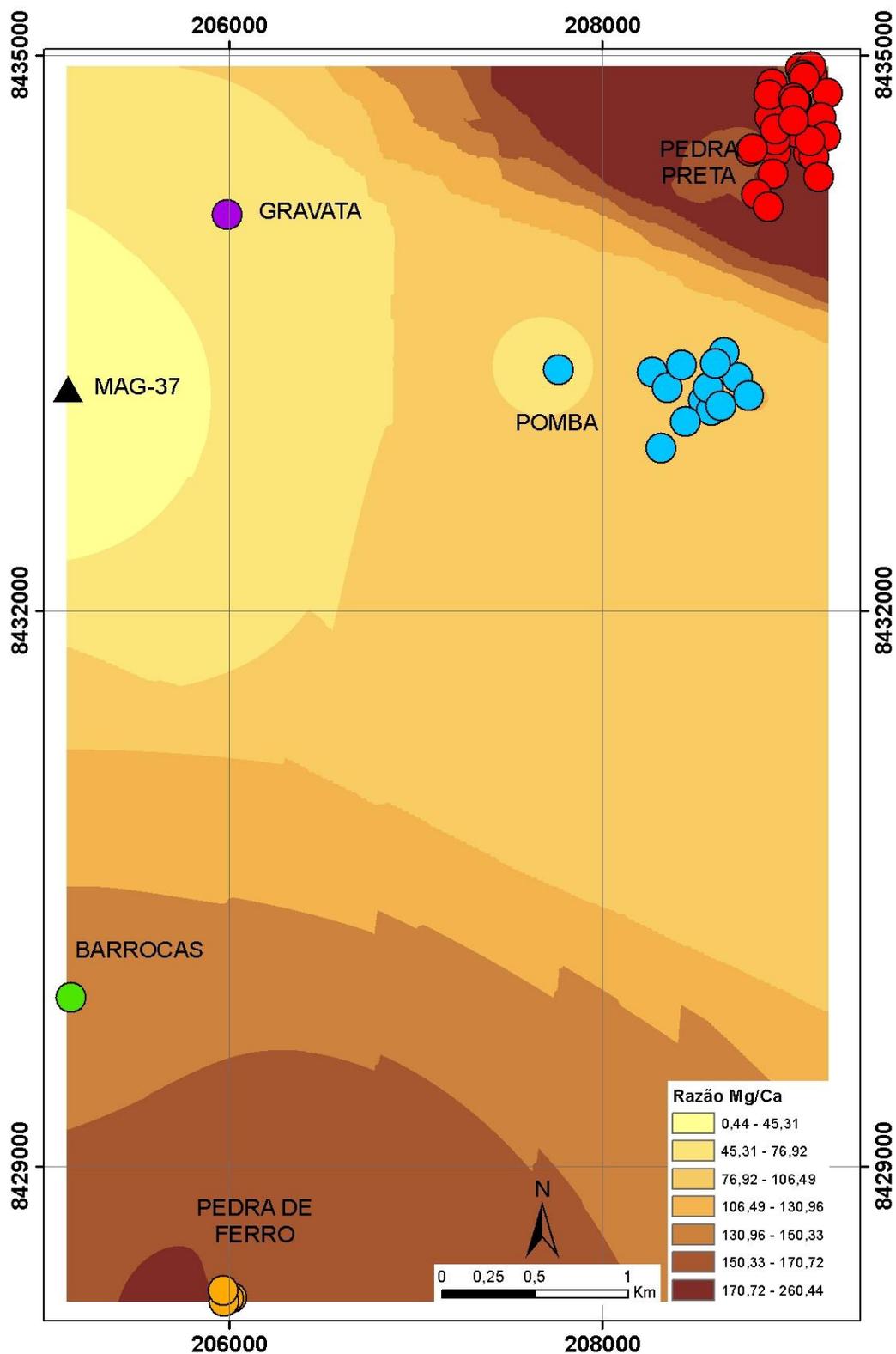


Fig. 24. Representação gráfica do comportamento e distribuição dos mármore magnésiticos e das rochas carbonatossilicáticas em relação a razão Mg/Ca. Bola vermelha para os mármore magnésiticos vermelhos da mina Pedra Preta, laranja para os mármore magnésiticos vermelhos da mina de Pedra de Ferro, verde para os mármore magnésiticos brancos da mina de Barrocas, roxo para os mármore

magnésitos brancos da mina de Gravatá, azul para os mármore magnésitos brancos da mina de Pomba. Triângulo preto para amostras de Cruz et al. (2019). A localização do mapa está na figura 3.

Considerando os modelos de Pohl and Siegl (1986), Almeida (1989) e Parente (1998) e os resultados obtidos por este estudo, sugere-se que os protólitos carbonáticos do Complexo Serra das Éguas foram depositados em um ambiente do tipo golfo (Fig. 25a) com a existência de 2 tipos de subbacias com posições distintas com relação ao continente. As mais proximais (Tipo A, Fig. 25b) abrigaram a sedimentação dos protólitos do mármore magnésítico vermelho, com maiores razões de Mg/Ca, das minas de Pedra Preta e de Pedra de Ferro, bem como possivelmente o mármore magnésítico branco da mina de Pedra Preta. Segundo Almeida (1989), essas rochas podem ter sido formadas a partir do processo de maturação do precipitado, onde as bacias com soluções magnesianas receberam fluxo de água continental e material detrítico. Em contrapartida, as bacias do tipo B (Fig. 25b), que abrigaram a sedimentação dos protólitos de mármore magnésítico branco das minas de Gravatá e de Barrocas, bem como a maioria do mármore magnésítico branco da mina de Pomba tiveram a deposição através do processo de co-precipitação em um ambiente evaporítico, restrito e supersaturado em magnésio e com menor influência de material continental.

As intercalações entre mármore magnésíticos, metabasaltos e formações ferríferas bandadas metamorfisadas no topo da Unidade Vulcanoquímica com Siliciclástica Subordinada, bem como a presença de metabasaltos intercalados com os mármore magnésíticos da Unidade Carbonática do Complexo Serra das Éguas sugerem que em alguns momentos da evolução da bacia houve a deposição de rochas carbonáticas controladas pela razão Mg/Ca da água do mar, bem como a cristalização dessas rochas ígneas.

No Complexo Serra das Éguas não foram encontradas evidências da formação de magnesita a partir da carbonatação de rochas metaultramáficas, fortalecendo a hipótese de uma formação da magnesita sedimentar marinha do tipo Veitsch (Pohl and Siegl, 1986). Segundo Parente (1998), para a formação de magnesita hidrotermal é necessário que corpos ultramáficos sejam afetados por estruturas tectônicas profundas tipo zonas de cisalhamento e submetidas a circulação de fluidos ricos em CO₂ (Pohl and Siegl, 1986). Entretanto, no Complexo Serra das Éguas, a distribuição da magnesita ocorre tanto nos domínios dobrados, quanto nos domínios em que

predominam as zonas de cisalhamento transpressionais destrais, profundas, cartografadas por Cruz et al. (2019) (Figura 3) demonstrando que essas estruturas de alto ângulo foram nucleadas após a formação dos protólitos dos mármore magnésíticos. A contribuição de rochas metaultramáficas e metamáficas estaria relacionada com a disponibilização de magnésio para os oceanos neoarqueanos a partir do intemperismo e erosão destas rochas do continente, além do aporte de sedimentos detríticos, refletindo nas maiores razões de Mg/Ca nas regiões mais próximas de continente, bem como com as anomalias positivas de Eu.

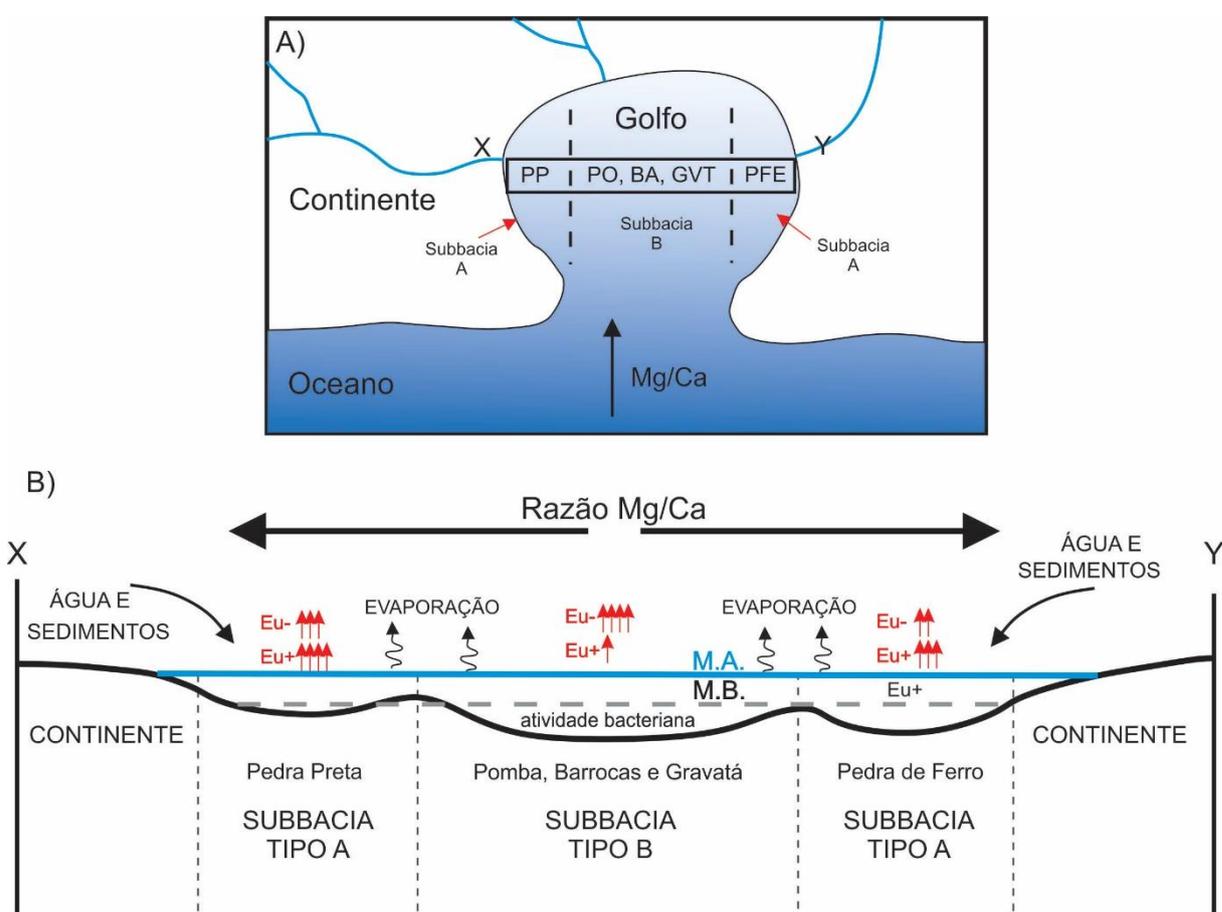


Fig. 25. Modelo de formação dos protólitos dos mármore magnésíticos do Complexo Serra das Éguas, representando um perfil dentro de um golfo paralítico com restrição de entrada água. Adaptado de: Pohl and Siegl (1986) e Parente (1998). Abreviauras: PP (Pedra Preta), PFE (Pedra de Ferro), PO (Pomba), BA (Barrocas), GVT (Gravatá); M.A. (Maré alta), M.B. (Máre baixa). As setas indicam relativamente a quantidade de amostras com anomalia positiva e negativa de Eu para gráficos normalizados pelo PASS (McLennan, 1989; Fig. 18).

Deste modo, pode-se concluir que existem dois principais tipos de protólitos sedimentares e marinhos dos mármore magnésíticos na Serra das Éguas, que

refletem condições bacinais distintas. As variações químicas entre as rochas indicam que as rochas das bacias do tipo A foram formadas em ambientes paralíticos, próximos ao continente, com fluxo de água e material continental. Por sua vez, as rochas da bacia do tipo B foram formados em ambientes paralíticos, porém confinados e sem contato com material e água continental, favorecendo a um ambiente supersaturado. Dong et al. (2016) sugerem que nestes ambientes a magnesita pode ser formada a partir de precipitação direta da água do mar ou através da diagênese de salmouras carbonáticas enriquecidas em magnésio.

A grande quantidade de lentes de mármore magnésico encaixados em rochas dolomíticas no Complexo Serra das Éguas indica a existência de paleobacias com características evaporíticas e condições favoráveis para a formação da magnesita, encaixadas em sedimentos carbonáticos, como prevê o modelo de para depósito do tipo Veitsch proposto por Pohl and Siegl (1986). No Complexo Serra das Éguas, os trabalhos desenvolvidos por Almeida (1989) e por Oliveira et al. (1997) também sugeriram a existência de golfos marinhos, paralíticos e com restrição de entrada da água do mar. Entretanto, os resultados obtidos neste trabalho, baseado em dados de geoquímica de elementos traços e estudo petrográfico de maior detalhe ajudaram a refinar os modelos anteriormente propostos.

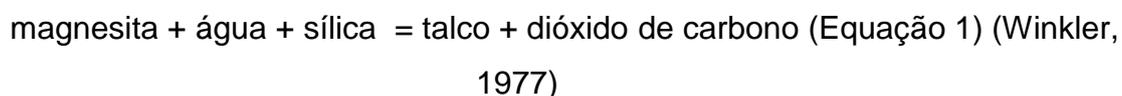
7.2. Metamorfismo e Efeitos da Deformação

Após a formação dos protólitos carbonáticos sedimentares, eventos metamórficos e deformacionais atuaram culminando com a formação dos mármore. As microestruturas metamórficas, assim como as paragêneses estão sintetizadas na tabela 6. Ressalta-se que as microestruturas granoblástica, microestrutura milonítica e núcleo-manto são encontradas associadas principalmente com rochas que são truncadas pelas zonas de cisalhamento transpressionais destrais que truncam dobras desenvolvidas no Complexo Serra das Éguas (Fig. 3). Considerando os dados apresentados, estima-se uma temperatura de metamorfismo progressivo entre 450 e 550° C e para o metamorfismo regressivo entre 400 e 450° C.

Tabela 6. Síntese das microestruturas, paragêneses e temperatura estimada de metamorfismo para os mármore e rochas carbonatossilicáticas do complexo Serra das Éguas. Magnesita (Mgs), Hematita 1 (Hem₁), Hematita 2 (Hem₂), Talco (Tlc), Tremolita (Tr). Abreviatura de acordo com Whitney e Evans (2010).

Rocha	Microestruturas	Paragênese metamórfica regressiva	Temperatura estimada (Autor)	Paragênese metamórfica regressiva	Temperatura estimada (Autor)
Rocha carbonatossilicática	Granoblastica interlobada e poligonal (Mgs), núcleo-manto e milonítica (Mgs), porfiroclástica (Mgs), decussada (Tr e Tlc), reação (tlc)	Tremolita, magnesita	450-550°C (Bucher and Grapes, 2011)	Talco	400-450°C e pressão 2 a 6 kbar (Petrasová et al. 2007)
Mármore magnésítico vermelho e claro	Granoblastica interlobada e poligonal (Mgs), núcleo-manto e milonítica (Mgs), porfiroclástica (Mgs), decussada (Tr e Tlc), reação (tlc)	Magnesita 1, hematita 1	>300°C (Passchier & Trouw, 2005)	Talco, hematita 2, magnesita epigenética	
Mármore magnésítico brancos e cinzas	Granoblastica interlobada e poligonal (Mgs), núcleo-manto e milonítica (Mgs), porfiroclástica (Mgs), decussada (Tr e Tlc), reação (tlc e Hem ₂)	Magnesita		Talco, hematita 2, magnesita epigenética	

A presença de talco nas fraturas e nos contatos entre grãos de magnesita, bem como a existência de níveis de talco xisto sugerem que fluidos ricos em SiO₂ percolaram essas rochas em zonas de cisalhamento. A transformação de magnesita em talco pode ser explicada pela equação (1) e a temperatura estimada para a reação encontra-se na tabela 6.



Meso e microestruturas deformacionais rúpteis observadas nos mármore magnésíticos das minas de Pedra Preta e Pedra de Ferro (Fig. 26) demonstram a atuação de processos hidrotermais na formação de uma geração epigenética de magnesita branca que trunca a magnesita vermelha. Brechas (Fig. 26a-i), vênulas e *stringer* (Fig. 26g) de magnesita branca, de segunda geração, são encontradas em mármore magnésíticos vermelhos localizados em domínios de menor deformação

com relação às zonas de cisalhamento transpressionais destrais (Fig. 3). Nesse contexto é comum a presença de hematita 2, que ocorre: (i) disseminada, em contato entre os grãos de magnesita vermelha e em suas clivagens (Fig. 9b-e). Algumas são lobulares; (ii) em fraturas e veios cortando magnesita vermelha (Figs. 8e; 26l); e (iii) formando veios na magnesita 2, gerando o mármore cinza (Figs. 26h; 26j-n). Nesse caso, os grãos de hematita 2 são principalmente lamelares e sem orientação preferencial (Fig. 9f).

O modelo proposto (Fig. 27) de formação da magnesita epigenética contempla as seguintes fases evolutivas, que são sincrônicas com o desenvolvimento do sistema transpressional dextral cartografado por Cruz et al. (2019): (i) fraturamento da magnesita vermelha, com formação de brechas, veios e *stringer* preenchidos por magnesita epigenética (Figs. 26a,e; 27a); (ii) interação do fluido com as rochas hospedeiras, representadas pela magnesita vermelha. Nesse processo pode ocorrer a lixiviação de hematita 1 (Fig. 27a,b); (iii) nos canais principais de distribuição de fluidos hidrotermais, o aumento da alteração leva à formação de níveis cada vez maiores de magnesita branca epigenética e maior lixiviação de hematita 1 (Fig. 27b). A formação de hematita 2 ocorre na zona de difusão de fluidos, podendo ocorrer nos contatos entre a magnesita vermelha e a branca (Fig. 26l) ou nas suas clivagens; (iv) aumento da alteração hidrotermal no canal principal com formação de veios de hematita 2, em sistemas isolados ou paralelos (Fig. 26e). A magnesita cinza ocorre nesses domínios mais ricos em hematita 2 e pobres em hematita 1 (Fig. 27c) e com a deformação tornam-se mármores magnesíticos cinzas (Fig. 26n,p). Em geral nestas rochas, os contatos entre os veios e a magnesita são fortemente reentrantes e esse carbonato pode ocorrer esqueletiforme e incluso na hematita 2 (Fig. 12c-e). Tais feições sugerem uma forte interação do fluido com hematita 2 e a magnesita epigenética. Nesse contexto, a magnesita clara ocorre na transição entre a magnesita vermelha (Figs. 5e; 27c), hospedeira, e a magnesita branca das brechas, tendendo a desaparecer nos domínios de maior alteração hidrotermal, onde a branca predomina (Figs. 26p; 27d).

A alteração hidrotermal leva a variação mineralógica nos mármores estudados, especialmente com relação à presença de hematitas 1 e 2. A hematita 1 ocorre principalmente no mármore magnesítico vermelho presente na zona de difusão do fluido. A hematita 2 também ocorre nessas rochas, especialmente nos domínios brechados, com vênulas ou com *stringer*. Com o aumento da alteração hidrotermal há

uma diminuição progressiva da hematita 1. A hematita 2, por sua vez, se concentra principalmente na magnesita cinza, mas nos domínios de maior alteração hidrotermal essa geração de hematita praticamente inexistente (Figs. 26d; Fig. 7).

As zonas de cisalhamento transpressionais destrais, bem como o metamorfismo levam à recristalização da magnesita epigenética, bem como as suas hospedeiras, transformando-os em mármore magnesítico. Neste contexto, a distinção dentre rochas com magnesita branca e com protólitos sedimentares e domínios hidrotermalizados brancos é bastante dificultada.

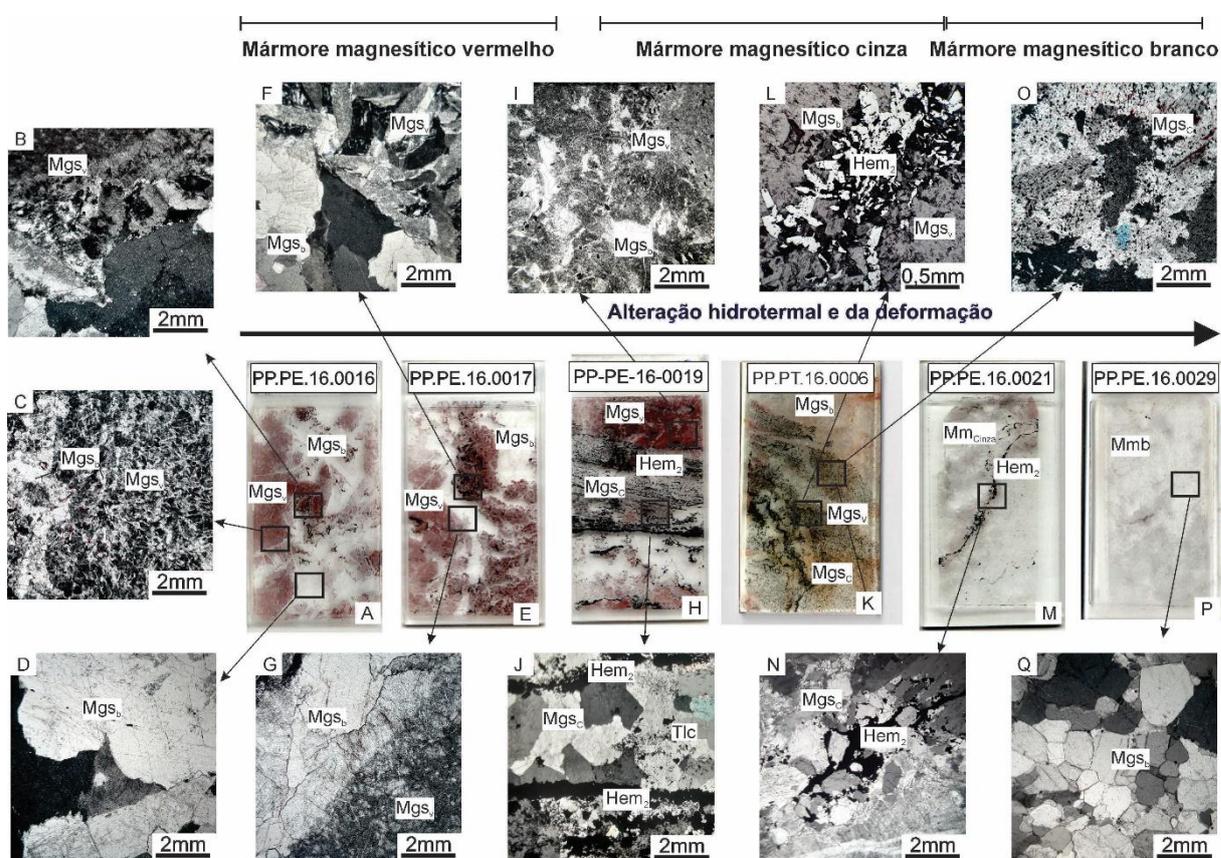


Fig. 26. Síntese das microestruturas deformacionais relacionadas com a alteração hidrotermal em mármore magnesítico da Mina Pedra Preta e formação de magnesita epigenética. Ver texto para discussão. Magnesita (Mgs), hematita 1 (Hem1), hematita 2 (Hem2). Abreviatura de acordo com Whitney e Evans (2010). A) brecha de magnesita vermelha preenchida por magnesita epigenética (Mgs_b); B) detalhe da magnesita vermelha; C) brecha de magnesita vermelha preenchida por magnesita branca epigenética (Mgs_b). Notar veios de magnesita epigenética (Mgs_b); D) domínio de brecha preenchido por magnesita branca epigenética (Mgs_b); E, F, G) Stringer de magnesita branca epigenética (Mgs_b); H) Aspecto geral do contato entre magnesita vermelha (Mgs_v) e magnesita cinza (Mgs_c) bandada; I) brecha de magnesita vermelha preenchida por magnesita branca epigenética (Mgs_b); J) nível de magnesita cinza (Mgs_c) bandado com veios paralelos de hematita 2 (Hem 2); K) contato entre a magnesita cinza e a magnesita branca com restos de magnesita vermelha; L) veios de

magnesita branca com hematita 2 (Hem 2) nas bordas; M) aspecto geral da magnesita cinza com veio de hematita 2 (Hem 2); N) Veios de hematita 2 na magnesita cinza (Mgs_c); O) aspecto da magnesita cinza; P, Q) aspecto geral da magnesita epigenética. Abreviações seguindo Whitney e Evans (2010).

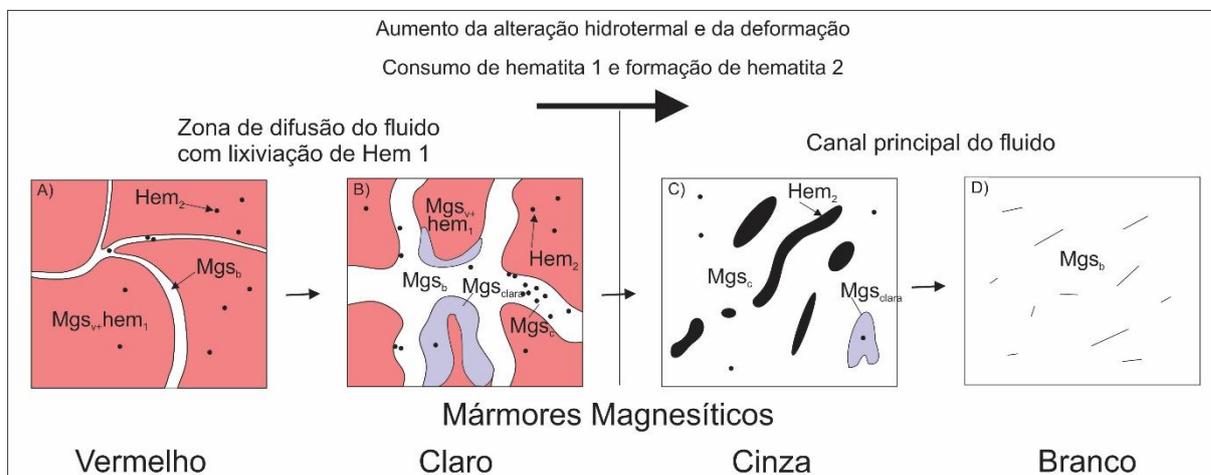


Fig. 27. Modelo de evolução da alteração hidrotermal epigenética dos mármore magnesíticos vermelhos para formar as magnesitas branca (Mgs_b), clara (Mgs_{clara}) e cinza (Mgs_c) epigenética. Mármore magnesítico vermelho (Mgs_v), hematita 1 (Hem₁), hematita 2 (Hem₂). Ver texto para discussão. Abreviações seguindo Whitney e Evans (2010).

Diante do exposto, sugere-se dois momentos de formação de magnesita branca no Complexo Serra das Èguas: (i) primário e relacionado com fluidos bacinais marinhos, e que se constitui como o principal tipo genético do depósito; e (ii) epigenético, com percolação de fluidos que lixiviam o ferro da magnesita vermelha e formaram as magnesitas clara, branca e cinza, que são posteriormente deformadas e recristalizadas. Nos diagrama MnO *versus* Fe₂O₃ da figura 14, três amostras de magnesita branca da Mina Pedra de Ferro plotam em situação intermediária entre as amostras de mármore magnesítico branco da mina de Pomba e do mármore magnesítico vermelho da mina de Pedra Preta. Esse aspecto sugere que o protólito do mármore magnesítico branco da mina de Pedra Preta pode ter sido originado a partir da interação de fluido hidrotermais com a magnesita vermelha. Não se descarta a possibilidade dos mármore magnesíticos brancos das outras minas também terem sido submetidos a estes processos, mas a sua distinção não foi possível com as ferramentas usadas até o momento. Um aspecto relevante e que merece destaque é a existencia de um conjunto de amostras de mármore magnesítico branco das minas de Pomba que possuem padrões mais ricos em ETR leves e que distoam do conjunto geral (Fig. 16). Essas amostras podem representar domínios de alteração hidrotermal

com formação de magnesita epigenética que foram misturados tectonicamente com rochas de protólitos sedimentares durante a deformação.

8. CONCLUSÕES

A partir do que foi apresentado e discutido sobre os mármorees magnesíticos do Complexo Serra das Éguas, conclui-se que:

(a) Na Unidade Carbonática do Complexo Serra da Éguas predominam mármorees magnesíticos que formam espessos pacotes e intercalam-se com mármorees dolomíticos e com metabasaltos. Em geral, os mármorees magnesíticos vermelho, claro, cinza e branco possuem características petrográficas semelhantes, diferenciando-se pela cor e pelo conteúdo em hematita, disseminada ou em veios, que é maior no mármore magnesítico cinza. As microestruturas granoblásticas interlobada e poligonal, porfiroclástica, núcleo-manto e milonítica demonstram a atuação de processos deformacionais e de recristalização sintectônica relacionadas com a evolução epigenética do depósito. As rochas carbonatossilicáticas também possuem essas microestruturas e diferenciam-se principalmente pela presença de tremolita. A paragênese progressiva é constituída predominantemente por magnesita (+/- hematita 1) nos mármorees magnesíticos e por magnesita+tremolita nas rochas calcissilicáticas, com temperatura entre 450-550° C. A regressiva é constituída por talco (+/- hematita 2), com temperatura estimada entre 400°C e 450°C.

b) Os mármorees magnesíticos vermelhos e brancos, bem como as rochas carbonatossilicáticas, possuem características químicas bastante distintas em termos de elementos maiores. Dois conjuntos podem ser distinguidos: (i) o primeiro, mais rico em Fe_2O_3 , MnO , representado pelos mármorees magnesíticos vermelhos, claros e cinzas das minas de Pedra Preta e Pedra de Ferro; (ii) o segundo, mais pobre nesses óxidos, representado pelos mármorees magnesíticos brancos das minas de Pomba, Barrocas e Gravatá. O mármore magnesítico branco da mina de Pedra Preta possui valores intermediários em Fe_2O_3 , MnO e CaO com relação aos mármorees brancos das outras minas. As rochas carbonatossilicáticas diferenciam dos mármorees magnesíticos pelos maiores teores em Al_2O_3 , SiO_2 e Fe_2O_3 . Valores próximos neste óxidos são encontrados nos metabasaltos, sugerindo alguma contribuição dessas rochas ígneas na formação das rochas carbonatossilicáticas.

c) A paleogeografia, interpretada pelas razões de Mg/Ca , sugere a existência de um golfo com paleobacias proximais ao continente, com contribuição continental

de detritos e de fluidos continentais e que abrigaram a deposição do protólito do mármore magnesítico vermelho das minas de Pedra Preta e Pedra de Ferro, bem como uma bacia restrita, mais distal e relativamente com menor aporte continental e com água supersaturada em magnésio, que abrigou a deposição dos protólitos dos mármore magnesíticos brancos das minas de Pomba, Barrocas e Gravatá. Em ambos os casos, as condições de oxidação são variantes. A análise dos Elementos Terras Raras, das razões Y/Ho e dos diagramas propostos por Alexander et al. (2008) evidenciaram contribuição detrítica em todos os mármore e uma origem sedimentar marinha para o depósito, marcada por baixa concentração de ETR e Y, anomalia positiva de Y e Gd, bem como anomalia negativa de Ce relacionada com ambiente oxigenado e negativa de Ce com ambientes anóxicos. As anomalias positivas de európio estão possivelmente relacionadas com contribuição detrítica advindos de rochas metaultramáficas e metamáficas da base do complexo e dos *greenstone belts*. Assinatura de elementos traços sugere contribuição menor de elementos litófilos a partir das áreas fontes de sedimento. As rochas carbonatossilicáticas representam as litologias com contaminação pelo magmatismo contemporâneo à deposição dos carbonatos.

d) Em conjunto, os dados sugerem que, em sua maioria, as rochas carbonáticas do Complexo Serra das Águas possuem protólitos sedimentares. Brechas, veios e *stringer* preenchidos com magnesita branca epigenética são encontrados principalmente, mas não sabemos se exclusivamente, no mármore magnesítico vermelho, que são truncados por zonas de cisalhamento transpressionais destrais. Nesse contexto, uma segunda geração de magnesita branca e hematita é gerada, bem como as magnesitas clara e cinza, através de processos hidrotermais epigenéticos. Com a deformação e com o metamorfismo esses domínios hidrotermalizados transforma-se em mármore, que se misturam tectonicamente com as rochas de protólitos sedimentares.

CAPÍTULO 4

RECOMENDAÇÕES

Estudos de isótopos de carbono, oxigênio são utilizados por pesquisadores de diversas partes do mundo para a determinação da origem genética da magnesita e podem ser utilizados para correlação entre bacias e para a interpretação da sua paleogeografia. Por sua vez, estudos de isótopos de magnésio realizados por Dong et al. (2016) sugerem que essa assinatura não é modificada com os eventos metamórficos, fornecendo dados para a interpretação da origem genética da magnesita sedimentar com maior precisão.

Adicionalmente, o estudo detalhado e comparativo, através de microquímica de elementos traços em minerais, da magnesita branca presente em veios, brechas e stringer das minas de Pedra Preta e de Pomba pode ajudar a verificar a hipótese que parte dos mármore brancos dessas minas tenham sido gerados por processos hidrotermais epigenéticos. Não se descarta a possibilidade de parte dos protólitos dos mármore magnésíticos da mina de Pomba possam ter sido gerados pelo mesmo processo descrito nas rochas de Pedra Preta que levou à formação de uma segunda geração de magnesita branca, bem como os mármore claro e cinza. A química mineral de elementos traços terá um papel fundamental na caracterização das rochas e determinação dos modelos finais sugeridos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, T. I. R. Magnesita do depósito de Campo de Dentro, Serra das Éguas, Bahia: Geoquímica e Gênese. 1989, 153p. Tese doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- Alexander, B. G.; Bau, M.; Andersson, P.; Duski, P., 2008. Continentally-derived solutes in shallow Archean seawater: rare earth elements and Nd isotope evidence in iron formation from the 2.9Ga Pongola Supergroup, South Africa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72, p.378-394.
- Arcanjo, J.B.; Martins, A.A.M.; Loureiro, H.S.C.; Varela, P.H.L., 2005. Projeto Vale do Paramirim, Bahia: geologia e recursos minerais, Salvador, CBPM, Serie arquivos abertos, 22, 82p.
- Babinski, M.; Pedreira, A.; Brito-Neves, B.B.; Van-Schmus, W.R., 1999. Contribuição aa geocronologia da Chapada Diamantina. In: SBG, Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 7, Anais, p.118-121.
- Bain, G.W., 1924. Types of magnesium deposits and their origin. *Economic Geology*, 19, p. 412-423.
- Barbosa, J.S.F.; Santos-Pinto, M.; Cruz, S.C.P.; Souza J.S., 2012. Granitoides. In: Barbosa J.S.F. (Coord.). *Geologia da Bahia, pesquisa e atualização*, CBPM, 13, p.327-394.
- Barbosa, N.S.; Teixeira W.; Bastos-Leal, L.R.; Menezes-Leal A.B., 2013. Evolução crustal do setor ocidental do bloco Arqueano Gavião, Cráton do São Francisco, com base em evidências U-Pb, Sm-Nd e Rb-Sr. *Geologia USP, Série científica*, 4, p.63-88.
- Bashir, E.; Naseem, S.; Akhtar, T.; Shireen, K., 2009. Characteristics of ultramafic rocks and associated magnesite deposits, Nal Area, Khuzdar, Balochistan, Pakistan. *Journal of Geology and Mining Research*, 1, p.34-41.
- Bashir, E.; Naseem, S.; Sheikh, S.A.; Kaleem, M., 2009. Mineralogy of the Kraubath-type magnesite deposits of the Khuzdar area, Balochistan, Pakistan. *Journal of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe Universe*, 30, p. 169-180.
- Bau, M.; Duski, P., 1996. Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman iron-formation, Transvaal Supergroup, South Africa. *Precambrian Research*, 79, p.37-55.
- Bau, M.; Duski, P., 1999. Comparing yttrium and rare earths in hydrothermal fluids from the Mid-Atlantic Ridge: implications for Y and REE behaviour during near-vent mixing and for the Y/Ho ratio of Proterozoic seawater. *Chem. Geol.*, 155, p.77-90.
- Bastos Leal, L.R.; Teixeira, W.; Cunha, J.C.; Macambira, M.J.B., 1998. Archean tonalitic-trondhjemitic and granitic plutonism in the Gavião Block, São Francisco Craton, Bahia, Brazil: geochemical and geochronology characteristics. *Revista Brasileira de Geociências*, 2, p.209-220.
- Bastos Leal, L.R.; Teixeira, W.; Cunha, J.C.; Leal, A.B.M.; Macambira, M.J.B.; Rosa, M.L.S., 2000. Isotopic signatures of paleoproterozoic granitoids of the Gavião Block and implications for the evolution of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30, 66-69.
- Bastos Leal, L.R.B.; Cunha, J.C.; Cordani, U.G.; Teixeira, W.; Nutman, A.P.; Leal, A.B.M.; Macambira, M.J.B., 2003. SHRIMP U–Pb, ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb zircon dating, and Nd isotopic signature of the Umburanas greenstone belt, northern São Francisco craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 15, p.775-785.

Bitencourt, C.N., 2018. Os riftes Estaterianos e Tonianos do setor sul do aulacógeno do Paramirim, paleoplaca São Francisco-Congo: novos dados, correlações regionais e inversão tectônica. Trabalho final de graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 2018, 128p.

Bodenlos, A.J., 1954. Magnesite deposits in the Serra das Eguas, Brumado, Bahia, Brazil. Geological Survey Bulletin, 975-C, 63p.

Borges, J.O.; Cruz, S.C.P.; Barbosa, J.S.F.; Santos, E.S., 2015. Structural framework of rocks of the Lagoa D'anta mine area, iron-manganese Urandi-Caeté-Licínio de Almeida District, Bahia, Brasil. Brazilian Journal of Geology, 45, p.173-192.

Bucher, K.; Grapes, R., 2010. Petrogenesis of Metamorphic Rocks, 8, New York, Springer-Verlag, 440p.

Cordani, U.G.; Sato, K.; Marinho, M.M., 1985. The geologic evolution of the ancient granite-greenstone terrane of central-southern, Bahia, Brazil. Precambrian research, 27, p.187-213.

Cruz, S.C.P., 2004. A interação tectônica entre o Aulacógeno do Paramirim e o Orógeno Araçuaí-Oeste Congo, 2004, 505p. Tese de doutorado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.

Cruz, S.C.P.; Alkmim, F.F., 2006. The tectonic interaction between the Paramirim Aulacogen and the Araçuaí Belt, São Francisco Craton region, Easter Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 1, p.151-173.

Cruz, S.C.P.; Peucat, J.J.; Teixeira, L.; Carneiro, M. A.; Martins, A.A.M.; Santana, J.S.; Souza, J.S.; Barbosa, J.S.F.; Menezes-Leal, A. B.; Dantas, E.; Pimentel, M., 2012. The Caraguataí syenitic suite, a ca. 2.7 Ga-old alkaline magmatism (petrology, geochemistry and UePb zircon ages), Southern Gavião block, Brazil. Journal of South American Earth Sciences, 37, p.1-18.

Cruz, S.C.P.; Alkmim, F.F.; Barbosa, J.S.F.; Dussin, I.; Correa-Gomes, L.C., 2015. Tectonic inversion of compressional structures in the Southern portion of the Paramirim Corridor, Bahia, Brazil. Brazilian Journal of Geology, 45, p.541-567.

Cruz, S.C.P.; Barbosa, J.S.F.; Santos Pinto, M.; Peucat, J.J.; Paquette, J.L.; Souza, J.S.; Martins, V.S.; Chemale Júnior, F.; Carneiro, M.A., 2016. The Siderian-Orosirian magmatism in the Archean Gavião paleoplate, Brazil: U-Pb geochronology, geochemistry and tectonic implications. Journal of South American Earth Sciences, 69, p.43-79.

Cruz, S.C.P.; Paim, M.M.; Vasconcelos, M.A.R.; Sena, F.O.; Rabelo, A.E.; Rios, D.C.; Rangel, E.G.; Freire, M.M.; Miranda, M.N.R., 2019. Relatório interno ainda não publicado.

Cruz Filho, B.E.; Martins, A.A.M., 2013. Mapa geológico Folha Condeúba. Escala 1:100.000, Serviço Geológico do Brasil.

Cunha, J. C.; Fróes, R. J. B., 1994. Komatiitos com textura spinifex do Greenstone Belt de Umburanas, Bahia. CBPM, Salvador, 29p.

Cunha, J.C.; Bastos Leal, L.R.; Fróes, R.J.B.; Teixeira, W.; Macambira, M.J.B., 1996. Idades dos Greenstone Belts e dos terrenos TTG's associados da região de Brumado, centro oeste do Cráton do São Francisco, Bahia, Brasil. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Anais, p.67-70.

Cunha, J.C.; Barbosa, J.S.F.; Mascarenhas, J.F., 2012. Os greenstone belts. In: Barbosa, J.S.F; Mascarenhas, J.F.; Correa-Gomes, L.C.; Domingues J.M.L. Geologia da Bahia, 2, pesquisa e atualização de dados, CBPM, p.203-326.

Danderfer Filho, A.; De Waele, B.; Pedrosa, A.; Nalini, H.A., 2009. New geochronological constraints on the geological evolution of Espinhaço basin within the São Francisco Craton, Brazil. Precambrian Research, 170, p.116-128.

Danderfer Filho, A.; Lana, C.C.; Nalini Júnior, H.A.; Costa, A.F.O., 2015. Constraints on the Statherian evolution of the intraplate rifting in a Paleoproterozoic paleocontinent: new stratigraphic and geochronology record from the eastern São Francisco Craton. *Gondwana Research*, 28, p.668-688.

DNPM, 2016. Sumário Mineral Brasileiro, 2016. Departamento Nacional de Produção Mineral, 141p.

Dong, A.; Zhu, X.K.; Li, S.Z.; Kendall, B.; Wang, Y.; Gao, Z., 2016. Genesis of a giant Paleoproterozoic strata-bound magnesite deposit: Constraints from Mg isotopes. *Precambrian Research*, 281, p.673-683.

Duncan, L.R.; McCracken, W.H., 1994. Magnesite and Magnesite. *Industrial Minerals and Rocks*, 6, p. 643-654.

Figueiredo, B.S., 2009. Mapeamento geológico e análise estrutural da Sequência Metavulcanossedimentar Urandi, Bahia. Trabalho final de graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009, 135p.

Garcia, L.R.A., 2004. Caracterização mineralógica dos minérios de magnetita do conjunto mineiro Pedra Preta-Jatobá-Pomba, Serra das Eguas, Brumado, Ba. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004, 171p.

Garcia, L.R.A.; Brandão, P.R.G.; Lima, R.M.F., 2008. Magnetita. *Rochas e Minerais Industriais*, CETEM, 2, p.605-631.

Guadagnin, F.; Chemale Jr, F.; Magalhães, A.J.C.; Santana, A.; Dussin, I.; Takehara, L., 2015. Age constraints on crystal-tuff from the Espinhaço Supergroup – insight into the Paleoproterozoic to mesoproterozoic intracratonic basin cycles of the Congo – São Francisco Craton. *Gondwana Research*, 7, p.363-376.

Guillou, J.J., 1980. Contribution à la métallogénie des magnésitites, exemple du cambrien Espagnol. Thèse de Doctorat d'Etat de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris, 155p.

Guimarães, J.T.; Alkmim, F.F.; Cruz, S.C.P., 2012. Supergroup Espinhaço e São Francisco. In: Barbosa, J.S.F.; Mascarenhas, J.F.; Correa-Gomes, L.C.; Domingues J.M.L. (Eds). *Geologia da Bahia, pesquisa e atualização de dados*, CBPM, 2, p.33-86.

Hajjar, Z.; Wafik, A.; Constantin, M., 2015. Magnesite Veins from Ultramafic Massif of Beni Bousera, Internal Rif, Marrocos. *Journal of Tethys*, 3, p.152-162.

Hawthorne, F.C.; Oberti, R.; Harlow, E.G.; Maresch, W.V.; Martin, R.F.; Schumacher, J.C.; Welch, M.D., 2012. Nomenclature of the amphibole supergroup. *American Mineralogist*, 97, p.2031-2048.

Ilic, M., 1968. Problems of the genesis and genetic classification of magnesite deposits. *Geol. Carpathica*, 19, p.284-292.

Kadir, S.; Kolayli, H.; Eren, M., 2013. Genesis of sedimentary and vein-type magnesite deposits at Kop Mountain, NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22, p. 98-114.

Khelen, A.C.; Manikyamba, C.; Subramanyam, K.S.V.; Santosh, M.; Ganguly, S.; Kalpana, M.S.; Subba Rao, D.V., 2019. Archean seawater composition and depositional environment – Geochemical and isotopic signatures from the stromatolitic carbonates of Dharwar Craton, India. *Precambrian Research*, 330, p.35-57.

Kodéra, P.; Radvanec, M., 2002. Comparative mineralogical and fluid inclusion study of the Hnúst'a-Mútnik talc-magnesite and Miková-Jedl'ovec magnesite deposit, Western Carpathians, Slovakia. *Boletim Paranaense de Geociências*, UFPR, 50, p.131-150.

Krupenin, M.T.; Kol'stov, A.B., 2017. Geology, Composition, and Physicochemical Model of Sparry Magnesite Deposits of the Southern Urals. *Geology of Ore Deposits*, 59, p. 14-35.

Kuznetsov, A.B.; Krupenin, M.T.; Gorokhov, I.M.; Maslov, A.V.; Konstantinova, G.V.; Kutyavin, E.P., 2007. Strontium Isotopic Composition of Lower Riphean Carbonate Rocks in the Magnesite-Bearing Satka Formation, Southern Urals. *Doklady Earth Sciences*, 414, p.599-604.

Lima, R.C.C., 1986. Aspectos geológicos e mineralizações na área de Brumado: Magnesita na Serra das Eguas. Tese de mestrado em ciencias e geologia, Instituto de Geociencias, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1986, 67p.

Loureiro, H.S.C.; Lima, E.S.; Macedo, E.P.; Silveira, F.V.; Bahiense, I.C.; Arcanjo, J.B.A.; Moraes-Filho, J.C.; Neves, J.P.; Guimaraes, J.T.; Rodrigues, L.T.; Abram, M.B.; Santos, R. A.; Melo, R.C., 2010. Geologia e Recursos Minerais da Parte norte do Corredor de Deformação do Paramirim: Projeto Barra-Oliveira dos Brejinhos. Salvador: CBPM, Série Arquivos Abertos, 33, 118p.

Martin, H.; Peucat, J.J.; Satabé, P.; Cunha, J.C., 1991. Um segment de croûte continentale d'Age archeean ancien (3.5 milliards d'années): le massif de Sete Voltas, Bahia, Brasil. *Les Comptes Rendus l'Académie Sci, Paris*, 313, p.531-538.

Martins, A.A.M., 2014. Projeto Brumado – Condeúba. Programa Geologia do Brasil – PGB, Salvador.

Martiny, E.; Rojkovic, I., 1977. Trace Elements in magnesites of Slovakia, Central West Carpathians. *Geol. Zbor. Geologica Carpathica*, 28, p.311-322.

Medeiros, E.L.M.; Cruz, S.C.P.; Barbosa, J.S.F.; Paquette, J.L.; Peucat, J.J.; de Jesus, S.S.G.P.; Barbosa, R.G.; Brito, R.S.C.; Carneiro, M.A., 2017. The Santa Izabel Complex, Gavião Block, Brazil: Components, geochronology, regional correlations and tectonic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 80, .66-94.

Menezes Leal, A.B.; Santos, A.L.D.; Bastos Leal, L.R.; Cunha, J.C., 2015. Geochemistry of contaminated komatiites from the Umburanas greenstone belt, Bahia State, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 61, p.1-13

McLennan, S.M., 1989. Rare Earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentar processes. *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements. Rev Mineral*, 21, p.169-200.

Melezhik, V.A.; Fallick, A.E.; Medvedev, P.V.; Makarikhin, V.V., 2001. Paleoproterozoic magnesite: lithological and isotopic evidence for playa/sabkha environments. *International Association of Sedimentologists, Sedimentology*, 48, p. 379-397.

Moller, P., 1989. Minor and trace elements in magnesite. *Monograph Series Mineral Deposits*, 28, p.173-195.

Moraes, L.C.; Martins, A.B.M.; Sampaio, A.R.; Gil, C.A.A.; Andrade Filho, E.L., 1980. Projeto Brumado-Caetité. Relatório final, DNPM/CPRM, Salvador, 1980, 462p.

Morteani, G.; Schely, F.; Moller, P., 1983. On the formation of magnesite. In: *Mineral Deposits of the Alps and of the alpine Epoch in Europe* (Ed. H.J. Schneider). Springer, p.105-116.

Morteani, G., 1989. Fluid inclusions in magnesite. In: Moller, P. *Magnesite: Geology, mineralogy, geochemistry, formation of Mg-Carbonates. Monograph Series on Mineral Deposits*, 28, p. 237-239.

Nelson, S.A., 2014. *Tectosilicates & Other Minerals*. Tulane University, 211p.

Nutman, A.P.; Cordani, U.G., 1993. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of Archean granitoids from the Contendas Mirante area of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil. *Journal of South American Earth Sciencie*, 7, p.107-114.

Oliveira, V.P.; Fragomeni, L.F.P.; Bandeira, C.A., 1997. Depósitos de magnesita de Serra das Eguas, Brumado, Bahia. In: Schobbenhaus, C.; Queiroz, E.T.; Coelho,

C.E.S., Principais depósitos minerais do Brasil, Brasília. Departamento Nacional de Produção Mineral, IV-C, p. 219-234.

Oliveira, V.P., 1997. Depósitos de magnesita de Sento Sé, Bahia. In: Schobbenhaus, C.; Queiroz, E.T.; Coelho, C.E.S., Principais depósitos minerais do Brasil, Brasília. Departamento Nacional de Produção Mineral, IV-C, p. 235-242.

Oliveira, V.P.; Fragomeni, L.F.P.; Bandeira, C.A., 2001. In: Dardenne, M.A.; Schobbenhaus, C. Depósitos de magnesita da Serra das Éguas. Metalogênese do Brasil, editora UNB, p.125-128.

Parente, C.V.; Guillou, J.J.; Arthaud, M.H., 1998. Geologia e geoquímica dos elementos maiores dos depósitos de magnesita pré-cambriana (~1.8Ga) da faixa móvel Orós, Ceará. Revista Brasileira de Geociências, 28, p.439-448.

Parente, C.V.; Guillou, J.J.; Carvalho, L.E., 1998. Comportamento geoquímico dos elementos terras raras da sequência metacarbonática magnesiana Pré-Cambriana (~1.8Ga) da faixa móvel Orós, Ceará. Revista Brasileira de Geociências, 28, p.431-438.

Parente, C.V.; Guillou, J.J.; Arthaud, M.H., 2001. In: Dardenne, M.A.; Schobbenhaus, C. Depósito de magnesita da faixa móvel Orós. Metalogênese do Brasil, editora UNB, p.247-248.

Parente, C.V.; Ronchi, L.H.; Sial, A.N.; Guillou, J.J.; Arthaud, M.H.; Fuziwaka, K.; Veríssimo, C.U.V., 2004. Geology and geochemistry of paleoproterozoic magnesite deposits (~1.8Ga), state of Ceará, Northeastern, Brazil. Carbonates and Evaporites, 19, p.28-50.

Petrasová, K.; Faryad, S.W.; Jerábek, P.; Zácková, E., 2007. Origin and metamorphic evolution of magnesite-talc and adjacent rocks near Gemerská Poloma, Slovak Republic. Journal of Geosciences, 52, p. 125-132.

Peucat, J.J.; Mascarenhas, J.F.; Barbosa, J.S.F.; de Souza, S.L.; Marinho, M.M.; Fanning, C.M.; Leite, C.M.M., 2002. 3.3 Ga SHRIMP U-Pb zircon age of felsic metavolcanic rock from the Mundo Novo Greenstone Belt in the São Francisco Cráton, Bahia, NE Brazil. South American Journal of Earth Sciences, 15, p.363-373.

Pinho, I.C.A.; Martins, A.A.; Filho, B.E.C.; Macêdo, E.P.; Wosniak, R.; Oliveira, R.C.L.M.; Neves, J.P.; Macedo, L.L.; 2013. Mapa Geológico da Folha Brumado, escala 1:100.000. CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

Planavsky, N.; Bekker, A.; Rouxel, O.J.; Kamber, B.; Hofmann, A.; Knudsen, A.; Lyons, T.W., 2010. Rare Earth elements and yttrium compositions of Archean and Paleoproterozoic Fe formations revisited: new perspectives on the significance and mechanisms of deposition. Geochimica et Cosmochimica Acta, 74, p.6387-6405.

Pohl, W.; Siegl, W., 1986. Sediment-hosted magnesite deposits. In: Wolf, K.H., Handbook of stratabound and stratiform ore deposits. Elsevier Science Publishers, 14, p. 223-310.

Pohl, W., 1990. Genesis of magnesite deposits – models and trends. Geol. Rundsch, 79, p. 291-299.

Queiroz, E.T., 1997. Geologia da magnesita. In: Schobbenhaus, C.; Queiroz, E.T.; Coelho, C.E.S., Principais depósitos minerais do Brasil, Brasília. Departamento Nacional de Produção Mineral, IV-C, p. 205-218.

Rangel, E.G.; 2019. Caracterização Petrográfica e Química de Elementos Maiores das Rochas Metamáficas da Serra das Eguas, Brumado, BA. Trabalho de conclusão de curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 2019, 95p.

Redlich, K.A., 1909. Die Typen der Magnesitlagerstätten. Z, prakt. Geol., Berlin, 21, 406-419.

Ribeiro, T. S., 2016. Caracterização Geológica das Rochas Calcissilicáticas e Metacarbonáticas do Complexo Tanque Novo – Ipirá na Folha Pintadas, BA: Potencial Metalogenético Para Fosfato. Tese de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 2016, 181p.

Rosler, H.J.; Lange, H., 1972. Geochemische Tabellen, Stuttgart, 674p.

Santos-Pinto, M.A.S., Peucat, J.J., Martin, H.; Sabaté, P., 1998. Recycling of the Archean continental crust: the case study of the Gavião block, Bahia, Brazil. *Journal of South American Earth Science*, 11, p.487-498.

Schobbenhaus, C.; Hoppe, A.; Baumann, A.; Lork, A., 1994. Idade U/Pb do vulcanismo Rio dos Remédios, Chapada Diamantina, Bahia. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Anais, p.397-399.

Shand, M.A., 2006. The Chemistry and Technology of Magnesia. In: John Wiley & Sons, Inc. 2006.

Silva, M.G.S.; Cunha, J.C.; 1999. Greenstone belts and equivalente volcano-sedimentary sequences of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil. *Geology and Mineral Potential*. In: Silva, M.G.S.; Misi, A. (Eds.). *Base Metal Deposits of Brazil*, MME/CPRM/DNPM, 1999, 108p.

Tang, H.; Chen, Y.; Santosh, M.; Zhong, H.; Wu, G.; Lai, Y., 2013. C-O isotopes geochemistry of the Dashqiao magnesite belt, North China Craton: Implications for the Great Oxidation Event and ore genesis. *Geological Journal*, 48, p.467-483.

Teixeira, L., 2014. Projeto Brumado-Condeúba. Relatório temático de litogeoquímica. Convenio CPRM/CBPM, 2014, 84p.

USGS, 2019. Mineral Commodity Summaries, 2019. U.S. Geological Survey, January, 200p.

Vitoria, R.S., 2014. Estudos petrográfico e geoquímico das rochas máficas do Greenstone Belt Ibitira-Ubiraçaba, Folha Caetité, BA. Trabalho final de graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014, 110p.

Weba, R., 2016. Mapa Geológico das Minas de Pedra Preta e Pomba. Relatório Interno RHI Magnesita, Brumado. 2016.

Wolfler, A.; Prochaska, W.; Fritz, H., 2015. Shear zone related talc mineralizations in the Veitsch nappe of the eastern Greywacke Zone, Eastern Alps, Austria. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 108, p. 50-72.

Zhang, Q.S.; Yang, Z.S.; Wang, Y.J., 1988. Early Crust and Mineral Deposits of Liaodong Peninsula. Geological Publishing House, Beijing.

Zocratto, B.W., 2018. Caracterização tecnológica e tratamento térmico de litologias de minério de magnesita da mina de Pedra Preta, Serra das Éguas, Brumado, Bahia. Tese de mestrado, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 2018, 244p.

APENDICE A – LOCALIZAÇÃO DE AMOSTRAS

Tabela com dados das amostras coletadas em afloramentos e testemunhos de sondagem na área do projeto durante os trabalhos de campo. Afl = Afloramento, MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura. Datum: SAD 69 UTM 24S. * Análises químicas de elementos maiores (EM) e de elementos traços (ET) realizadas na empresa ALS Global.

	Amostra	Tipo	Mina	Coordenadas		Profundidade		Rocha	Lamina	Química EM e ET*
				X	Y	De	Até			
1	BA-004-01	Furo	Barrocas	205152	8429916	34,04	34,31	Mármore Magnesítico branco	X	X
2	BA-004-02	Furo	Barrocas	205152	8429916	41,87	42,13	Mármore Magnesítico branco	X	X
3	BA-004-03	Furo	Barrocas	205152	8429916	80,12	80,36	Mármore Magnesítico branco	X	X
4	FG2-01	Furo	Gravatá	205989	8434141	13,1	13,3	Mármore Magnesítico branco	X	X
5	FG2-02	Furo	Gravatá	205989	8434141	15,8	16	Mármore Magnesítico branco	X	X
6	FG2-03	Furo	Gravatá	205989	8434141	25,82	26,02	Mármore Magnesítico branco	X	X
7	FG2-04	Furo	Gravatá	205989	8434141	40,74	40,94	Mármore Magnesítico branco	X	X
8	FG2-05	Furo	Gravatá	205989	8434141	48,8	49	Mármore Magnesítico branco	X	X
9	FSP-04-01	Furo	Pomba	208266	8433290	35,8	36,42	Mármore Magnesítico branco	X	X
10	FSP-04-02	Furo	Pomba	208266	8433290	55,23	55,36	Mármore Magnesítico branco	X	
11	FSP-04-03	Furo	Pomba	208266	8433290	Caixa 11		Mármore Magnesítico branco	X	X
12	FSP-04-04	Furo	Pomba	208266	8433290	Caixa 17		Mármore Magnesítico branco	X	
13	FSP-04-05	Furo	Pomba	208266	8433290	141,3	141,4	Mármore Magnesítico branco	X	
14	FSP-04-06	Furo	Pomba	208266	8433290	Caixa 34		Mármore Magnesítico branco	X	X
15	FSP-04-07	Furo	Pomba	208266	8433290	Caixa 40		Mármore Magnesítico branco	X	
16	FSP-05-01	Furo	Pomba	207766	8433302	100,2	100,55	Mármore Magnesítico branco	X	X
17	FSP-05-02	Furo	Pomba	207766	8433302	104,97	105,57	Mármore Magnesítico branco	X	X
18	FSP-05-03	Furo	Pomba	207766	8433302	133,86	134,23	Mármore Magnesítico branco	X	
19	FSP-05-04	Furo	Pomba	207766	8433302	144,86	145,22	Tremolita Mármore	X	X
20	FSP-05-05	Furo	Pomba	207766	8433302	148,7	149	Tremolita Mármore	X	X
21	MAG-01	Afl	Pedra Preta	209040	8434740	Superfície		Mármore Magnesítico vermelho		
22	MAG-08	Afl	Pedra Preta	208683	8434160	Superfície		Mármore impuro		
23	MAG-10	Afl	Boa Vista	208164	8430648	Superfície		Mármore Magnesítico vermelho		
24	MAG-15	Afl	Pedra de Ferro	205981	8428279	Superfície		Mármore Magnesítico branco		
25	MAG-33.1	Afl	Fábrica	205561	8426335	Superfície		Mármore Magnesítico branco	X	
26	MAG-34.1	Afl	-	205238	8432861	Superfície		Mármore impuro	X	
27	MAG-35	Afl	Pirajá	205684	8433076	Superfície		Mármore Magnesítico branco		
28	MAG-37	Afl	Pirajá	205136	8433195	Superfície		Mármore impuro	X	X
29	MAG-39B	Afl	Campo Seco	204740	8434672	Superfície		Mármore impuro	X	
30	MAG-42	Afl	G Lavadeira	206412	8435666	Superfície		Mármore impuro	X	
31	MAG-48	Afl	-	206515	8435042	Superfície		Mármore impuro	X	
32	MAG-49	Afl	-	206342	8435171	Superfície		Mármore Magnesítico branco		
33	MAG-56	Afl	Boa Vista	208838	8430312	Superfície		Mármore Magnesítico branco		
34	MAG-59	Afl	-	207957	8431319	Superfície		Mármore Magnesítico branco		

35	MAG-60	Afl	-	203541	8433351	Superfície	Mármore Magnesítico branco		
36	MAG-65	Afl	Tabua	202426	8426588	Superfície	Mármore Magnesítico branco		
37	MAG-74	Afl	-	205167	8429918	Superfície	Mármore Magnesítico branco		
38	PFE-PT-0001	Afl	Pedra de Ferro	206014	8428295	Superfície	Mármore Magnesítico vermelho	X	X
39	PFE-PT-0002	Afl	Pedra de Ferro	205996	8428289	Superfície	Mármore Magnesítico vermelho	X	X
40	PFE-PT-0003	Afl	Pedra de Ferro	205990	8428317	Superfície	Mármore Magnesítico vermelho	X	
41	PFE-PT-0004	Afl	Pedra de Ferro	205970	8428275	Superfície	Mármore Magnesítico vermelho	X	X
42	PFE-PT-0005	Afl	Pedra de Ferro	205967	8428333	Superfície	Mármore Magnesítico vermelho	X	X
43	PP-PT-0001	Afl	Pedra Preta	208791	8434483	Superfície	Mármore Magnesítico vermelho	X	X
44	PP-PT-0002	Afl	Pedra Preta	208830	8434335	Superfície	Mármore Magnesítico vermelho	X	
45	PP-PT-0003	Afl	Pedra Preta	208927	8434482	Superfície	Mármore Magnesítico vermelho	X	X
46	PP-PT-0004	Afl	Pedra Preta	209127	8434637	Superfície	Mármore Magnesítico vermelho	X	X
47	PP-PT-0005	Afl	Pedra Preta	209120	8434537	Superfície	Mármore Magnesítico vermelho	X	X
48	PP-PT-0006	Afl	Pedra Preta	208997	8434704	Superfície	Mármore Magnesítico vermelho	X	
49	PP-PT-0007	Afl	Pedra Preta	209043	8434755	Superfície	Mármore Magnesítico vermelho	X	X
50	PP-PT-0008	Afl	Pedra Preta	209125	8434895	Superfície	Mármore Magnesítico vermelho	X	X
51	PP-PT-0009	Afl	Pedra Preta	209062	8434929	Superfície	Mármore Magnesítico vermelho	X	X
52	PP-PT-0010	Afl	Pedra Preta	209205	8434796	Superfície	Mármore Magnesítico vermelho	X	X

APENDICE B - LOCALIZAÇÃO DE AMOSTRAS

Tabela com dados das amostras fornecidas pela RHI Magnesita e fornecidas para a realização deste projeto. *Análises químicas de elementos maiores (EM) realizadas na empresa RHI Magnesita; **Análises químicas de elementos maiores (EM) realizadas na empresa GEOSOL.

ID	Amostra	Furo	Mina/Depósito	Coordenadas		Profundidade		Rocha	Lamina	Química EM*	Química EM**
				X	Y	De	Até				
1	SPO-168-0003	SPO-168	Pomba	208541	8433138	66,6	68	Mármore branco			X
2	SPO-168-0004	SPO-168	Pomba	208541	8433138	68	70	Mármore branco			X
3	SPO-168-0005	SPO-168	Pomba	208541	8433138	70	72,1	Mármore branco			X
4	SPO-168-0007	SPO-168	Pomba	208541	8433138	73,25	75	Mármore branco			X
5	SPO-168-0008	SPO-168	Pomba	208541	8433138	75	77	Mármore branco			X
6	SPO-168-0009	SPO-168	Pomba	208541	8433138	77	79	Mármore branco			X
7	SPO-168-0010	SPO-168	Pomba	208541	8433138	79	81	Mármore branco			X
8	SPO-168-0011	SPO-168	Pomba	208541	8433138	81	83	Mármore branco			X
9	SPO-168-0012	SPO-168	Pomba	208541	8433138	83	85	Mármore branco			X
10	SPO-168-0013	SPO-168	Pomba	208541	8433138	85	87	Mármore branco			X
11	SPO-168-0014	SPO-168	Pomba	208541	8433138	87	89	Mármore branco			X
12	SPO-168-0015	SPO-168	Pomba	208541	8433138	89	91	Mármore branco			X
13	SPO-168-0016	SPO-168	Pomba	208541	8433138	91	93	Mármore branco			X
14	SPO-168-0017	SPO-168	Pomba	208541	8433138	93	95	Mármore branco			X
15	SPO-168-0018	SPO-168	Pomba	208541	8433138	95	97	Mármore branco			X
16	SPO-168-0019	SPO-168	Pomba	208541	8433138	97	99	Mármore branco			X
17	SPO-168-0020	SPO-168	Pomba	208541	8433138	99	101	Mármore branco			X
18	SPO-168-0022	SPO-168	Pomba	208541	8433138	103	105	Mármore branco			X
19	SPO-168-0023	SPO-168	Pomba	208541	8433138	105	107	Mármore branco			X
20	SPO-168-0024	SPO-168	Pomba	208541	8433138	107	109	Mármore branco			X
21	SPO-168-0025	SPO-168	Pomba	208541	8433138	109	111	Mármore branco			X
22	SPO-168-0026	SPO-168	Pomba	208541	8433138	111	113	Mármore branco			X
23	SPO-168-0027	SPO-168	Pomba	208541	8433138	113	115	Mármore branco			X
24	SPO-168-0028	SPO-168	Pomba	208541	8433138	115	117	Mármore branco			X
25	SPO-168-0029	SPO-168	Pomba	208541	8433138	117	119	Mármore branco			X
26	SPO-168-0030	SPO-168	Pomba	208541	8433138	119	121	Mármore branco			X
27	SPO-168-0031	SPO-168	Pomba	208541	8433138	121	123	Mármore branco			X
28	SPO-168-0032	SPO-168	Pomba	208541	8433138	123	125	Mármore branco			X
29	SPO-168-0033	SPO-168	Pomba	208541	8433138	125	127	Mármore branco			X
30	SPO-168-0034	SPO-168	Pomba	208541	8433138	127	129	Mármore branco			X
31	SPO-168-0035	SPO-168	Pomba	208541	8433138	129	131	Mármore branco			X
32	SPO-168-0036	SPO-168	Pomba	208541	8433138	131	133	Mármore branco			X
33	SPO-168-0037	SPO-168	Pomba	208541	8433138	133	135	Mármore branco			X
34	SPO-168-0038	SPO-168	Pomba	208541	8433138	135	137	Mármore branco			X

35	SPO-168-0039	SPO-168	Pomba	208541	8433138	137	139	Mármore branco			X
36	SPO-168-0040	SPO-168	Pomba	208541	8433138	139	141	Mármore branco			X
37	SPO-168-0041	SPO-168	Pomba	208541	8433138	141	143	Mármore branco			X
38	SPO-168-0042	SPO-168	Pomba	208541	8433138	143	145	Mármore branco			X
39	SPO-168-0043	SPO-168	Pomba	208541	8433138	145	147	Mármore branco			X
40	SPO-168-0044	SPO-168	Pomba	208541	8433138	147	149	Mármore branco			X
41	SPO-168-0045	SPO-168	Pomba	208541	8433138	149	151	Mármore branco			X
42	SPO-168-0046	SPO-168	Pomba	208541	8433138	151	153	Mármore branco			X
43	SPO-168-0047	SPO-168	Pomba	208541	8433138	153	155	Mármore branco			X
44	SPO-168-0048	SPO-168	Pomba	208541	8433138	155	157	Mármore branco			X
45	SPO-168-0049	SPO-168	Pomba	208541	8433138	157	159	Mármore branco			X
46	SPO-168-0050	SPO-168	Pomba	208541	8433138	159	161	Mármore branco			X
47	SPO-168-0051	SPO-168	Pomba	208541	8433138	161	163	Mármore branco			X
48	SPO-168-0052	SPO-168	Pomba	208541	8433138	163	165	Mármore branco			X
49	SPO-168-0053	SPO-168	Pomba	208541	8433138	165	167,85	Mármore branco			X
50	SPO-168-0057	SPO-168	Pomba	208541	8433138	169,25	171	Mármore branco			X
51	SPO-168-0058	SPO-168	Pomba	208541	8433138	171	173	Mármore branco			X
52	SPO-168-0059	SPO-168	Pomba	208541	8433138	173	175	Mármore branco			X
53	SPO-168-0060	SPO-168	Pomba	208541	8433138	175	177	Mármore branco			X
54	SPO-168-0061	SPO-168	Pomba	208541	8433138	177	179	Mármore branco			X
55	SPO-168-0062	SPO-168	Pomba	208541	8433138	179	181	Mármore branco			X
56	SPO-168-0063	SPO-168	Pomba	208541	8433138	181	183	Mármore branco			X
57	SPO-168-0064	SPO-168	Pomba	208541	8433138	183	185	Mármore branco			X
58	SPO-168-0065	SPO-168	Pomba	208541	8433138	185	187	Mármore branco			X
59	SPO-168-0066	SPO-168	Pomba	208541	8433138	187	189	Mármore branco			X
60	SPO-168-0067	SPO-168	Pomba	208541	8433138	189	191	Mármore branco			X
61	SPO-168-0068	SPO-168	Pomba	208541	8433138	191	193	Mármore branco			X
62	SPO-168-0069	SPO-168	Pomba	208541	8433138	193	195	Mármore branco			X
63	SPO-168-0070	SPO-168	Pomba	208541	8433138	195	197	Mármore branco			X
64	SPO-168-0071	SPO-168	Pomba	208541	8433138	197	199	Mármore branco			X
65	SPO-168-0072	SPO-168	Pomba	208541	8433138	199	201	Mármore branco			X
66	SPO-168-0073	SPO-168	Pomba	208541	8433138	201	203	Mármore branco			X
67	SPO-168-0074	SPO-168	Pomba	208541	8433138	203	205	Mármore branco			X
68	SPO-168-0075	SPO-168	Pomba	208541	8433138	205	207	Mármore branco			X
69	SPO-168-0076	SPO-168	Pomba	208541	8433138	207	209	Mármore branco			X
70	SPO-168-0077	SPO-168	Pomba	208541	8433138	209	211	Mármore branco			X
71	SPO-168-0078	SPO-168	Pomba	208541	8433138	211	213	Mármore branco			X
72	SPO-168-0079	SPO-168	Pomba	208541	8433138	213	215	Mármore branco			X
73	SPO-168-0080	SPO-168	Pomba	208541	8433138	215	217	Mármore branco			X
74	SPO-168-0081	SPO-168	Pomba	208541	8433138	217	219	Mármore branco			X
75	SPO-168-0082	SPO-168	Pomba	208541	8433138	219	221	Mármore branco			X
76	SPO-168-0083	SPO-168	Pomba	208541	8433138	221	223	Mármore branco			X
77	SPO-168-0084	SPO-168	Pomba	208541	8433138	223	225	Mármore branco			X
78	SPO-168-0085	SPO-168	Pomba	208541	8433138	225	227	Mármore branco			X
79	SPO-168-0086	SPO-168	Pomba	208541	8433138	227	229	Mármore branco			X

80	SPO-168-0087	SPO-168	Pomba	208541	8433138	229	231	Mármore branco			X
81	SPO-168-0088	SPO-168	Pomba	208541	8433138	231	233	Mármore branco			X
82	SPO-168-0089	SPO-168	Pomba	208541	8433138	233	235,65	Mármore branco			X
83	SPO-169-0033	SPO-169	Pomba	208346	8433206	94	96,6	Mármore branco			X
84	SPO-169-0041	SPO-169	Pomba	208346	8433206	110	112	Mármore branco			X
85	SPO-169-0046	SPO-169	Pomba	208346	8433206	116	118,15	Mármore branco			X
86	SPO-169-0047	SPO-169	Pomba	208346	8433206	118,15	121	Mármore branco			X
87	SPO-169-0048	SPO-169	Pomba	208346	8433206	121	123	Mármore branco			X
88	SPO-169-0049	SPO-169	Pomba	208346	8433206	123	125	Mármore branco			X
89	SPO-169-0050	SPO-169	Pomba	208346	8433206	125	127	Mármore branco			X
90	SPO-169-0070	SPO-169	Pomba	208346	8433206	167	169	Mármore branco			X
91	SPO-169-0095	SPO-169	Pomba	208346	8433206	213	215	Mármore branco			X
92	SPO-169-0096	SPO-169	Pomba	208346	8433206	215	217	Mármore branco			X
93	SPO-169-0097	SPO-169	Pomba	208346	8433206	217	219,4	Mármore branco			X
94	PO-PE-16-0001	SPO-022	Pomba	208723	8433258	95,53	95,73	Mármore branco	X	X	
95	PO-PE-16-000b	SPO-022	Pomba	208723	8433258	95,53	95,73	Mármore branco	X	X	
96	PO-PE-16-0002	SPO-067	Pomba	208583	8433084	100,8	101	Mármore branco	X	X	
97	PO-PE-16-0005	SPO-137	Pomba	208566	8433203	194	194,22	Mármore branco	X	X	
98	PO-PE-16-0007	SPO-145	Pomba	208651	8433396	72,23	72,43	Mármore branco	X	X	
99	PO-PE-16-0008	SPO-151	Pomba	208446	8433023	108,17	108,38	Mármore branco	X	X	
100	PO-PE-16-0009	SPO-159	Pomba	208784	8433164	96,57	96,78	Mármore branco	X	X	
101	PO-PE-16-0010	SPO-160	Pomba	208635	8433108	94,18	94,38	Mármore branco	X	X	
102	PO-PE-16-0011	SPO-163	Pomba	208606	8433338	142,3	142,5	Mármore branco	X	X	
103	PO-PE-16-0017	SPO-187	Pomba	208316	8432881	80,32	80,49	Mármore branco	X	X	
104	PO-PE-16-0020	PO-DD-003	Pomba	208424	8433326	88,3	88,5	Mármore branco	X	X	
105	PP-PE-16-0029	SPP-117	Pedra Preta	208972	8434380	50,4	50,6	Mármore branco	X	X	
106	PP-PE-16-0042	SPP-030	Pedra Preta	208954	8434131	120,07	120,25	Mármore branco	X	X	
107	PP-PE-16-0044	SPP-177	Pedra Preta	208888	8434182	96,15	96,35	Mármore branco	X	X	
108	PP-PE-16-0047	SPP-195	Pedra Preta	208896	8434665	119,36	119,55	Mármore branco	X	X	
109	PP-PE-16-0038	SPP-198	Pedra Preta	208887	8434303	103,5	103,7	Mármore branco	X	X	
110	SPO-168-0006	SPO-168	Pomba	208541	8433138	72,1	73,25	Mármore Magnesítico			X
111	SPO-168-0021	SPO-168	Pomba	208541	8433138	101	103	Mármore Magnesítico			X
112	SPO-168-0056	SPO-168	Pomba	208541	8433138	167,85	169,25	Mármore Magnesítico			X
113	SPO-169-0007	SPO-169	Pomba	208346	8433206	44,15	47	Mármore Magnesítico			X
114	SPO-169-0008	SPO-169	Pomba	208346	8433206	47	49	Mármore Magnesítico			X
115	SPO-169-0009	SPO-169	Pomba	208346	8433206	49	51	Mármore Magnesítico			X
116	SPO-169-0010	SPO-169	Pomba	208346	8433206	51	53	Mármore Magnesítico			X
117	SPO-169-0011	SPO-169	Pomba	208346	8433206	53	55	Mármore Magnesítico			X
118	SPO-169-0012	SPO-169	Pomba	208346	8433206	55	57	Mármore Magnesítico			X
119	SPO-169-0015	SPO-169	Pomba	208346	8433206	60,3	63	Mármore Magnesítico			X
120	SPO-169-0016	SPO-169	Pomba	208346	8433206	63	65	Mármore Magnesítico			X
121	SPO-169-0017	SPO-169	Pomba	208346	8433206	65	67	Mármore Magnesítico			X

122	SPO-169-0018	SPO-169	Pomba	208346	8433206	67	68,3	Mármore Magnesítico			X
123	SPO-169-0019	SPO-169	Pomba	208346	8433206	68,3	70	Mármore Magnesítico			X
124	SPO-169-0020	SPO-169	Pomba	208346	8433206	70	72	Mármore Magnesítico			X
125	SPO-169-0021	SPO-169	Pomba	208346	8433206	72	74,8	Mármore Magnesítico			X
126	SPO-169-0025	SPO-169	Pomba	208346	8433206	78,3	80	Mármore Magnesítico			X
127	SPO-169-0026	SPO-169	Pomba	208346	8433206	80	82	Mármore Magnesítico			X
128	SPO-169-0027	SPO-169	Pomba	208346	8433206	82	84	Mármore Magnesítico			X
129	SPO-169-0028	SPO-169	Pomba	208346	8433206	84	86	Mármore Magnesítico			X
130	SPO-169-0029	SPO-169	Pomba	208346	8433206	86	88	Mármore Magnesítico			X
131	SPO-169-0030	SPO-169	Pomba	208346	8433206	88	90	Mármore Magnesítico			X
132	SPO-169-0031	SPO-169	Pomba	208346	8433206	90	92	Mármore Magnesítico			X
133	SPO-169-0032	SPO-169	Pomba	208346	8433206	92	94	Mármore Magnesítico			X
134	SPO-169-0035	SPO-169	Pomba	208346	8433206	99	100	Mármore Magnesítico			X
135	SPO-169-0036	SPO-169	Pomba	208346	8433206	100	102	Mármore Magnesítico			X
136	SPO-169-0037	SPO-169	Pomba	208346	8433206	102	104	Mármore Magnesítico			X
137	SPO-169-0038	SPO-169	Pomba	208346	8433206	104	106	Mármore Magnesítico			X
138	SPO-169-0039	SPO-169	Pomba	208346	8433206	106	108	Mármore Magnesítico			X
139	SPO-169-0040	SPO-169	Pomba	208346	8433206	108	110	Mármore Magnesítico			X
140	SPO-169-0042	SPO-169	Pomba	208346	8433206	112	114,35	Mármore Magnesítico			X
141	SPO-169-0045	SPO-169	Pomba	208346	8433206	114,35	116	Mármore Magnesítico			X
142	SPO-169-0051	SPO-169	Pomba	208346	8433206	127	129	Mármore Magnesítico			X
143	SPO-169-0052	SPO-169	Pomba	208346	8433206	129	131,55	Mármore Magnesítico			X
144	SPO-169-0054	SPO-169	Pomba	208346	8433206	134	136	Mármore Magnesítico			X
145	SPO-169-0055	SPO-169	Pomba	208346	8433206	136	138,1	Mármore Magnesítico			X
146	SPO-169-0057	SPO-169	Pomba	208346	8433206	141	143	Mármore Magnesítico			X
147	SPO-169-0058	SPO-169	Pomba	208346	8433206	143	145	Mármore Magnesítico			X
148	SPO-169-0059	SPO-169	Pomba	208346	8433206	145	147	Mármore Magnesítico			X
149	SPO-169-0060	SPO-169	Pomba	208346	8433206	147	149	Mármore Magnesítico			X
150	SPO-169-0063	SPO-169	Pomba	208346	8433206	153	155	Mármore Magnesítico			X
151	SPO-169-0065	SPO-169	Pomba	208346	8433206	157	159	Mármore Magnesítico			X
152	SPO-169-0067	SPO-169	Pomba	208346	8433206	161	163	Mármore Magnesítico			X
153	SPO-169-0069	SPO-169	Pomba	208346	8433206	165	167	Mármore Magnesítico			X
154	SPO-169-0071	SPO-169	Pomba	208346	8433206	169	170,4	Mármore Magnesítico			X
155	SPO-169-0073	SPO-169	Pomba	208346	8433206	170,4	172	Mármore Magnesítico			X
156	SPO-169-0074	SPO-169	Pomba	208346	8433206	172	174	Mármore Magnesítico			X
157	SPO-169-0075	SPO-169	Pomba	208346	8433206	174	176	Mármore Magnesítico			X
158	SPO-169-0076	SPO-169	Pomba	208346	8433206	176	178	Mármore Magnesítico			X

159	SPO-169-0077	SPO-169	Pomba	208346	8433206	178	180	Mármore Magnesítico			X
160	SPO-169-0078	SPO-169	Pomba	208346	8433206	180	182	Mármore Magnesítico			X
161	SPO-169-0079	SPO-169	Pomba	208346	8433206	182	184	Mármore Magnesítico			X
162	SPO-169-0080	SPO-169	Pomba	208346	8433206	184	186	Mármore Magnesítico			X
163	SPO-169-0081	SPO-169	Pomba	208346	8433206	186	188	Mármore Magnesítico			X
164	SPO-169-0082	SPO-169	Pomba	208346	8433206	188	190	Mármore Magnesítico			X
165	SPO-169-0083	SPO-169	Pomba	208346	8433206	190	192	Mármore Magnesítico			X
166	SPO-169-0088	SPO-169	Pomba	208346	8433206	198,55	201	Mármore Magnesítico			X
167	SPO-169-0089	SPO-169	Pomba	208346	8433206	201	203	Mármore Magnesítico			X
168	SPO-169-0090	SPO-169	Pomba	208346	8433206	203	205	Mármore Magnesítico			X
169	SPO-169-0091	SPO-169	Pomba	208346	8433206	205	207	Mármore Magnesítico			X
170	SPO-169-0092	SPO-169	Pomba	208346	8433206	207	209	Mármore Magnesítico			X
171	SPO-169-0093	SPO-169	Pomba	208346	8433206	209	211	Mármore Magnesítico			X
172	SPO-169-0094	SPO-169	Pomba	208346	8433206	211	213	Mármore Magnesítico			X
173	SPO-169-0100	SPO-169	Pomba	208346	8433206	223	225	Mármore Magnesítico			X
174	SPO-169-0101	SPO-169	Pomba	208346	8433206	225	227	Mármore Magnesítico			X
175	SPO-169-0103	SPO-169	Pomba	208346	8433206	229	231	Mármore Magnesítico			X
176	SPO-169-0105	SPO-169	Pomba	208346	8433206	233	235	Mármore Magnesítico			X
177	SPO-169-0106	SPO-169	Pomba	208346	8433206	235	237	Mármore Magnesítico			X
178	SPO-169-0107	SPO-169	Pomba	208346	8433206	237	239	Mármore Magnesítico			X
179	SPO-169-0108	SPO-169	Pomba	208346	8433206	239	241	Mármore Magnesítico			X
180	SPO-169-0109	SPO-169	Pomba	208346	8433206	241	243	Mármore Magnesítico			X
181	SPO-169-0110	SPO-169	Pomba	208346	8433206	243	245,67	Mármore Magnesítico			X
182	PO-PE-16-0003	SPO-191	Pomba	208294	8432926	82,08	82,28	Mármore Magnesítico	X	X	
183	PO-PE-16-0004	SPO-130	Pomba	208770	8433205	123,54	123,73	Mármore Magnesítico	X	X	
184	PO-PE-16-0006	SPO-140	Pomba	208702	8432970	91,01	91,21	Mármore Magnesítico	X	X	
185	PO-PE-16-0012	SPO-169	Pomba	208346	8433206	120,48	120,67	Mármore Magnesítico	X	X	
186	PO-PE-16-0013	SPO-172	Pomba	208619	8433518	32,4	32,61	Mármore Magnesítico	X	X	
187	PO-PE-16-0014	SPO-176	Pomba	208445	8432912	204,44	204,62	Mármore Magnesítico	X	X	
188	PO-PE-16-0015	SPO-180	Pomba	208358	8432977	132,4	132,57	Mármore Magnesítico	X	X	
189	PO-PE-16-0016	SPO-183	Pomba	208551	8432835	71,14	71,29	Mármore Magnesítico	X	X	
190	PO-PE-16-0018	SPO-197	Pomba	208402	8432814	117,31	117,51	Mármore Magnesítico	X	X	
191	PO-PE-16-0019	SPO-200	Pomba	208489	8432746	41,61	41,81	Mármore Magnesítico	X	X	
192	PO-PE-16-0022	SPO-077	Pomba	208425	8433069	61,36	61,53	Mármore Magnesítico	X	X	
193	PO-PE-16-0025	SPO-146	Pomba	208327	8433139	83,29	83,49	Mármore Magnesítico	X	X	
194	PO-PE-16-0027	SPO-165	Pomba	208499	8433264	81,56	81,75	Mármore Magnesítico	X	X	
195	PO-PE-16-0028	SPO-166	Pomba	208407	8433267	155,77	155,97	Mármore Magnesítico	X	X	

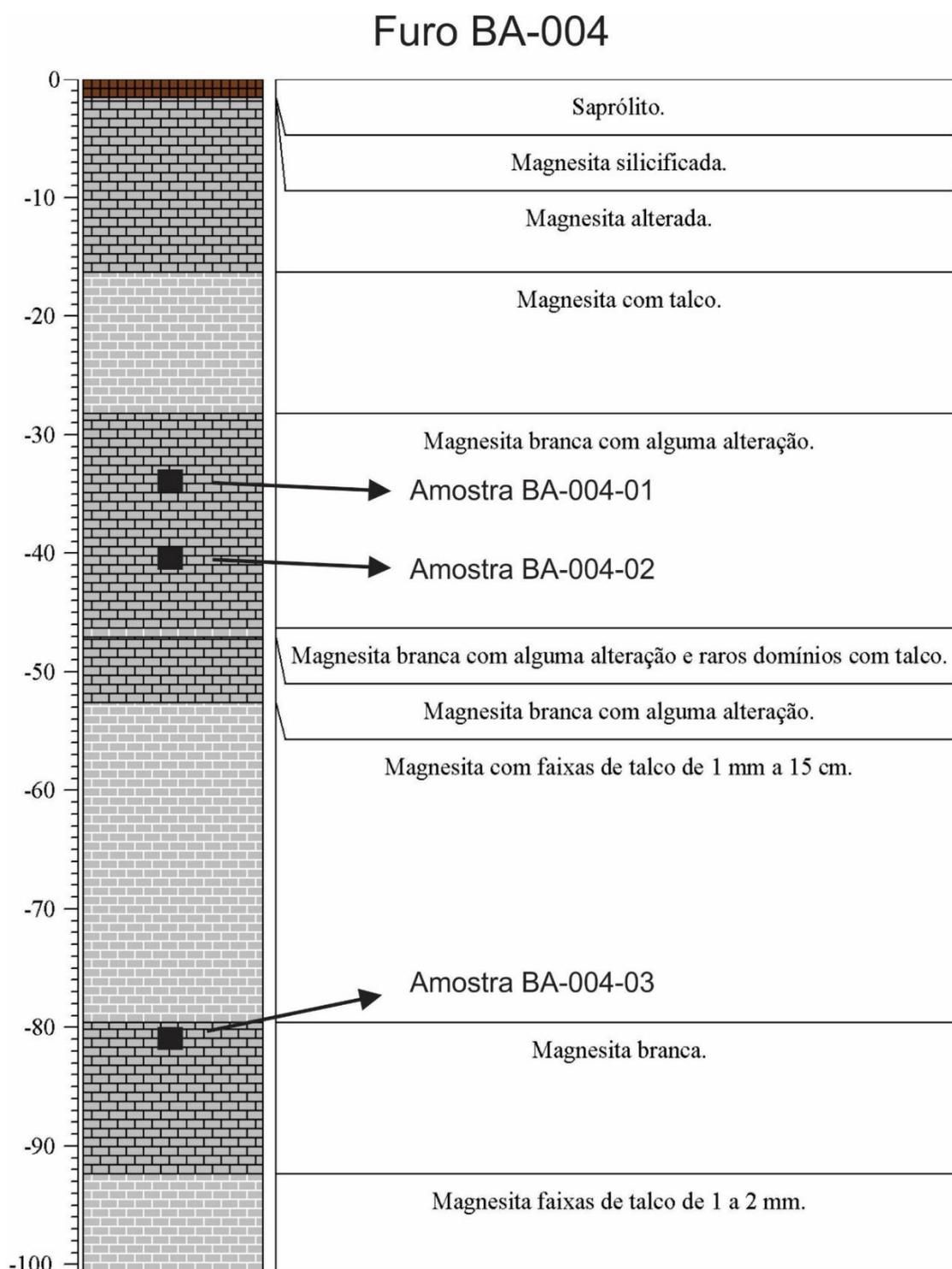
196	PO-PE-16-0023	SPO-119	Pomba	208710	8433338	205,66	205,87	Mármore Magnesítico	X	X	
197	SPP047-0001	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	0	2	Mármore Claro			X
198	SPP047-0002	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	2	4	Mármore Claro			X
199	SPP047-0003	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	4	5,5	Mármore Claro			X
200	SPP047-0012	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	18,8	21	Mármore Claro			X
201	SPP047-0013	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	21	22,85	Mármore Claro			X
202	SPP047-0032	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	51,6	54	Mármore Claro			X
203	SPP047-0033	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	54	55,9	Mármore Claro			X
204	SPP047-0051	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	86	88	Mármore Claro			X
205	SPP176-0001	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	6	8,3	Mármore Claro			X
206	SPP176-0002	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	8,3	10,6	Mármore Claro			X
207	SPP176-0004	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	20,75	22,7	Mármore Claro			X
208	SPP176-0005	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	22,7	25,6	Mármore Claro			X
209	SPP176-0007	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	30	32	Mármore Claro			X
210	SPP176-0008	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	32	33	Mármore Claro			X
211	SPP176-0009	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	33	34	Mármore Claro			X
212	SPP176-0011	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	34	36	Mármore Claro			X
213	SPP176-0012	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	36	38	Mármore Claro			X
214	SPP176-0013	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	38	40	Mármore Claro			X
215	SPP176-0014	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	40	42	Mármore Claro			X
216	SPP176-0015	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	42	44	Mármore Claro			X
217	SPP176-0016	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	44	46	Mármore Claro			X
218	SPP176-0017	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	46	47,5	Mármore Claro			X
219	SPP176-0019	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	47,5	49,2	Mármore Claro			X
220	SPP176-0037	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	77,8	80	Mármore Claro			X
221	SPP176-0038	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	80	82	Mármore Claro			X
222	SPP176-0039	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	82	84	Mármore Claro			X
223	SPP176-0040	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	84	85,2	Mármore Claro			X
224	PP-PE-16-0024	SPP-053	Pedra Preta	209103	8434227	99,15	99,36	Mármore Claro	X	X	
225	PP-PE-16-0025	SPP-060	Pedra Preta	208884	8434602	31,23	31,4	Mármore Claro	X	X	
226	PP-PE-16-0031	SPP-149	Pedra Preta	208828	8434250	179,48	179,67	Mármore Claro	X	X	
227	PP-PE-16-0026	SPP-085	Pedra Preta	209030	8434922	21,64	21,83	Mármore Claro	X	X	
228	PP-PE-16-0039	SPP-201	Pedra Preta	209037	8434586	103,15	103,33	Mármore Claro	X	X	
229	PP-PE-16-0040	SPP-204	Pedra Preta	209046	8434404	21,05	21,25	Mármore Claro	X	X	
230	PP-PE-16-0048	SPP-200	Pedra Preta	209035	8434344	62,59	62,79	Mármore Claro	X	X	
231	PP-PE-16-0021	SPP-035	Pedra Preta	208974	8434708	95,15	95,34	Mármore Cinza	X	X	
232	PP-PE-16-0023	SPP-044	Pedra Preta	209120	8434938	67,03	67,23	Mármore Cinza	X	X	
233	PP-PE-16-0027	SPP-114	Pedra Preta	209115	8434537	54,56	54,74	Mármore Cinza	X	X	
234	PP-PE-16-0028	SPP-115	Pedra Preta	209105	8434474	48,1	48,3	Mármore Cinza	X	X	
235	PP-PE-16-0035	SPP-190	Pedra Preta	208910	8434845	73,7	73,9	Mármore Cinza	X	X	
236	PP-PE-16-0037	SPP-197	Pedra Preta	208913	8434360	117,34	117,53	Mármore Cinza	X	X	
237	SPP047-0004	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	5,5	6,95	Mármore Vermelho			X
238	SPP047-0005	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	6,95	9	Mármore Vermelho			X
239	SPP047-0006	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	9	11	Mármore Vermelho			X

240	SPP047-0007	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	11	12,4	Mármore Vermelho			X
241	SPP047-0008	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	12,4	14	Mármore Vermelho			X
242	SPP047-0009	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	14	16	Mármore Vermelho			X
243	SPP047-0010	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	16	18,8	Mármore Vermelho			X
244	SPP047-0014	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	22,85	25	Mármore Vermelho			X
245	SPP047-0015	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	25	26,4	Mármore Vermelho			X
246	SPP047-0017	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	26,4	28	Mármore Vermelho			X
247	SPP047-0018	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	28	30	Mármore Vermelho			X
248	SPP047-0019	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	30	32	Mármore Vermelho			X
249	SPP047-0020	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	32	34	Mármore Vermelho			X
250	SPP047-0021	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	34	36	Mármore Vermelho			X
251	SPP047-0023	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	36	38	Mármore Vermelho			X
252	SPP047-0024	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	38	40	Mármore Vermelho			X
253	SPP047-0025	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	40	42	Mármore Vermelho			X
254	SPP176-0021	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	49,2	51	Mármore Vermelho			X
255	SPP176-0022	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	51	53	Mármore Vermelho			X
256	SPP176-0023	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	53	55	Mármore Vermelho			X
257	SPP176-0024	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	55	57	Mármore Vermelho			X
258	SPP176-0033	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	70,8	72,5	Mármore Vermelho			X
259	SPP176-0034	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	72,5	74	Mármore Vermelho			X
260	SPP176-0035	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	74	76	Mármore Vermelho			X
261	SPP176-0059	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	116	117,5	Mármore Vermelho			X
262	SPP047-0027	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	43,8	46	Mármore Vermelho			X
263	SPP047-0045	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	76	78	Mármore Vermelho			X
264	SPP047-0046	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	78	80	Mármore Vermelho			X
265	SPP047-0049	SPP-047	Pedra Preta	209173	8434664	82	84	Mármore Vermelho			X
266	SPP176-0026	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	57	59	Mármore Vermelho			X
267	SPP176-0027	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	59	61	Mármore Vermelho			X
268	SPP176-0028	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	61	63	Mármore Vermelho			X
269	SPP176-0029	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	63	65	Mármore Vermelho			X
270	SPP176-0030	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	65	67,5	Mármore Vermelho			X
271	SPP176-0031	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	67,5	70,8	Mármore Vermelho			X
272	SPP176-0036	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	76	77,8	Mármore Vermelho			X
273	SPP176-0042	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	85,2	87	Mármore Vermelho			X
274	SPP176-0043	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	87	89	Mármore Vermelho			X
275	SPP176-0044	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	89	91	Mármore Vermelho			X
276	SPP176-0047	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	95	97	Mármore Vermelho			X
277	SPP176-0048	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	97	99	Mármore Vermelho			X
278	SPP176-0050	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	99	101	Mármore Vermelho			X
279	SPP176-0051	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	101	103	Mármore Vermelho			X
280	SPP176-0052	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	103	105	Mármore Vermelho			X
281	SPP176-0053	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	105	107	Mármore Vermelho			X
282	SPP176-0054	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	107	109	Mármore Vermelho			X
283	SPP176-0055	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	109	112	Mármore Vermelho			X
284	SPP176-0060	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	117,5	119,15	Mármore Vermelho			X

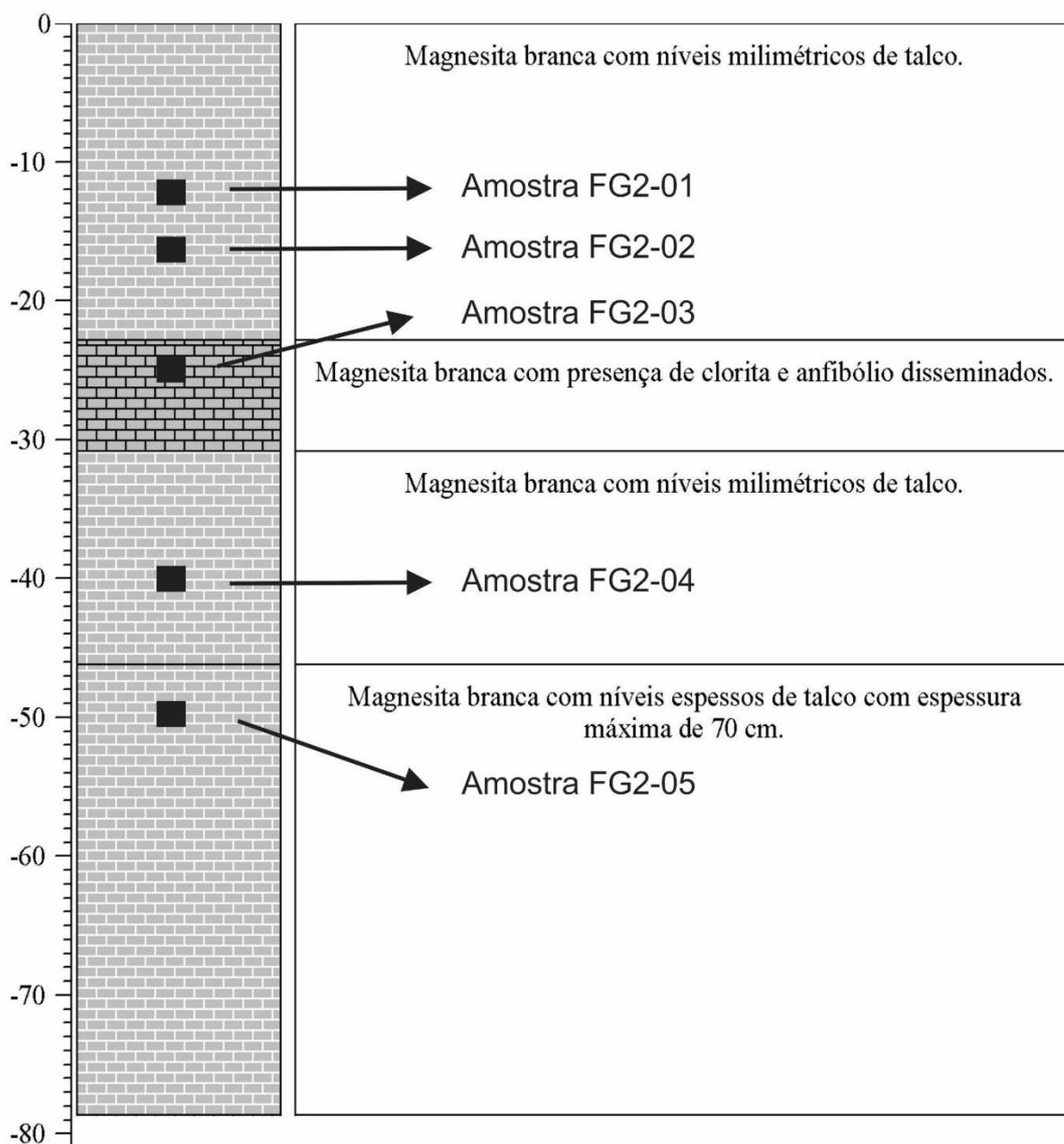
285	PP-PE-16-0002	SPP-048	Pedra Preta	209199	8434564	58,48	58,68	Mármore Vermelho	X	X	
286	PP-PE-16-0003	SPP-111	Pedra Preta	209076	8434893	49,59	49,77	Mármore Vermelho	X	X	
287	PP-PE-16-0004	SPP-111	Pedra Preta	209076	8434893	49,59	49,77	Mármore Vermelho	X	X	
288	PP-PE-16-0005	SPP-149	Pedra Preta	208828	8434250	119,38	119,57	Mármore Vermelho	X	X	
289	PP-PE-16-0006	SPP-162	Pedra Preta	209133	8434453	35,1	35,26	Mármore Vermelho	X	X	
290	PP-PE-16-0007	SPP-187	Pedra Preta	208930	8434479	42,82	43,03	Mármore Vermelho	X	X	
291	PP-PE-16-0008	SPP-190	Pedra Preta	208910	8434845	71,47	71,66	Mármore Vermelho	X	X	
292	PP-PE-16-0009	SPP-195	Pedra Preta	208896	8434665	32,2	32,4	Mármore Vermelho	X	X	
293	PP-PE-16-0010	SPP-196	Pedra Preta	209024	8434648	77,42	77,61	Mármore Vermelho	X	X	
294	PP-PE-16-0011	SPP-197	Pedra Preta	208913	8434360	57,72	57,91	Mármore Vermelho	X	X	
295	PP-PE-16-0012	SPP-201	Pedra Preta	209037	8434586	64,92	65,1	Mármore Vermelho	X	X	
296	PP-PE-16-0013	SPP-202	Pedra Preta	208929	8434540	257	257,2	Mármore Vermelho	X	X	
297	PP-PE-16-0014	SPP-203	Pedra Preta	208804	8434495	75,28	75,46	Mármore Vermelho	X	X	
298	PP-PE-16-0022	SPP-043	Pedra Preta	209084	8434878	90,12	90,33	Mármore Vermelho	X	X	
299	PP-PE-16-0030	SPP-149	Pedra Preta	208828	8434250	107,81	108	Mármore Vermelho	X	X	
300	PP-PE-16-0032	SPP-176	Pedra Preta	208893	8434786	37,54	37,75	Mármore Vermelho	X	X	
301	PP-PE-16-0033	SPP-177	Pedra Preta	208888	8434182	128,7	128,92	Mármore Vermelho	X	X	
302	PP-PE-16-0034	SPP-186	Pedra Preta	208927	8434600	45,44	45,65	Mármore Vermelho	X	X	
303	PP-PE-16-0041	SPP-023	Pedra Preta	209159	8434342	109,59	109,8	Mármore Vermelho	X	X	
304	PP-PE-16-0043	SPP-043	Pedra Preta	209084	8434878	119,2	119,39	Mármore Vermelho	X	X	
305	PP-PE-16-0045	SPP-192	Pedra Preta	209025	8434769	133,3	133,47	Mármore Vermelho	X	X	
306	PP-PE-16-0049	SPP-114	Pedra Preta	209115	8434537	33,5	33,7	Mármore Vermelho	X	X	
307	PP-PE-16-0050	SPP-108	Pedra Preta	209033	8434755	204,68	204,87	Mármore Vermelho	X	X	
308	PP-PE-16-0036	SPP-196	Pedra Preta	209024	8434648	65,24	65,44	Mármore Vermelho	X	X	
309	PFE-PE-16-0001	Afloramento	Pedra de Ferro	205974	8428277			Mármore Vermelho	X	X	
310	PFE-PE-16-0002	Afloramento	Pedra de Ferro	205975	8428280			Mármore Vermelho	X	X	
311	PFE-PE-16-0003	Afloramento	Pedra de Ferro	205978	8428290			Mármore Vermelho	X	X	
312	PFE-PE-16-0004	Afloramento	Pedra de Ferro	205972	8428315			Mármore Vermelho	X	X	
313	PFE-PE-16-0005	Afloramento	Pedra de Ferro	205968	8428332			Mármore Vermelho	X	X	
314	PFE-PE-16-0006	Afloramento	Pedra de Ferro	205942	8428266			Mármore Vermelho	X	X	
315	PFE-PE-16-0007	Afloramento	Pedra de Ferro	205941	8428260			Mármore Vermelho	X	X	
316	PP-PE-16-0046	SPP-192	Pedra Preta	209025	8434769	225,3	225,5	Tremolita mármore	X		

APENDICE C – FUROS DE LOCALIZAÇÃO

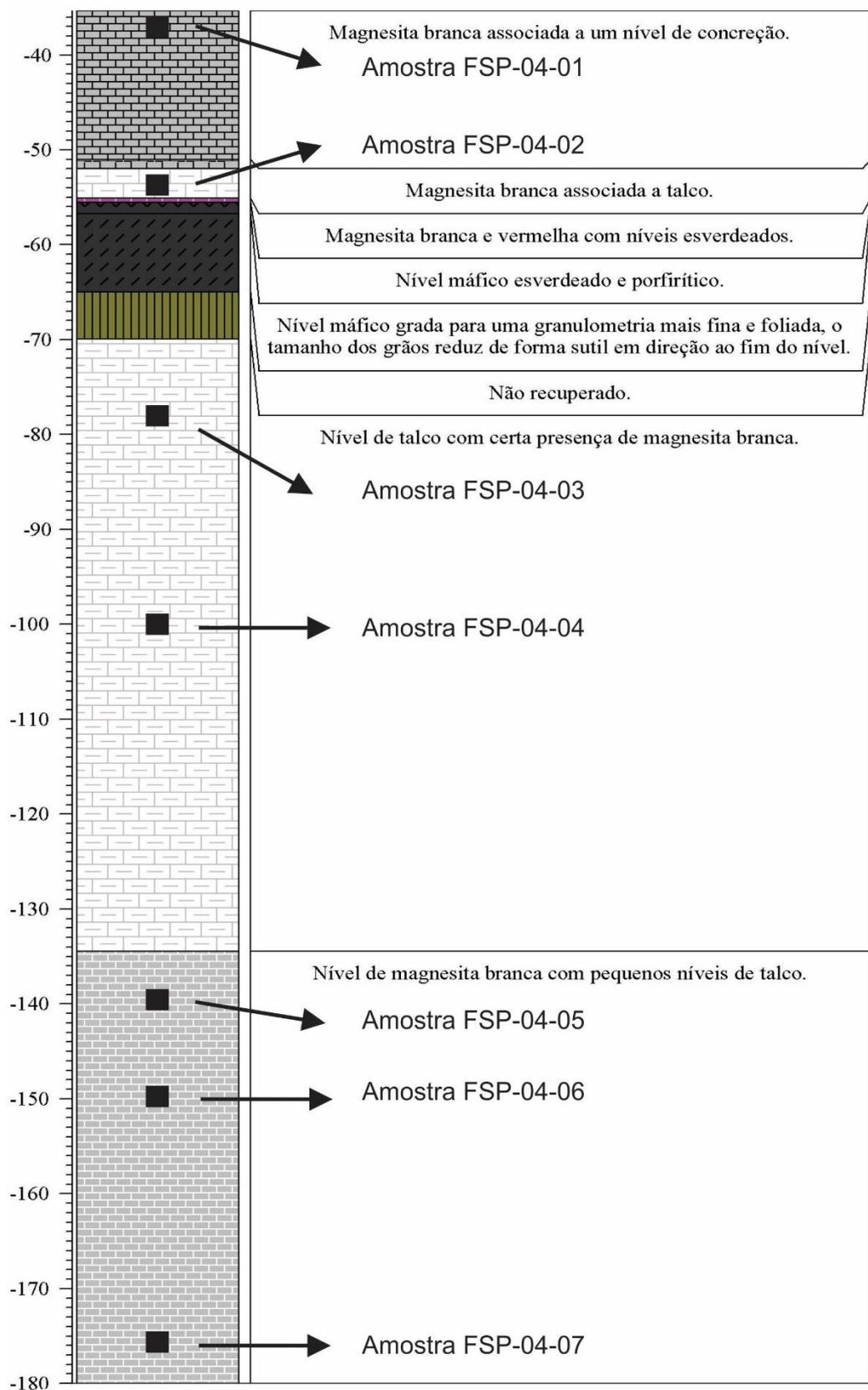
Localização de amostras coletadas durante os trabalhos de campo em furos de sondagem.



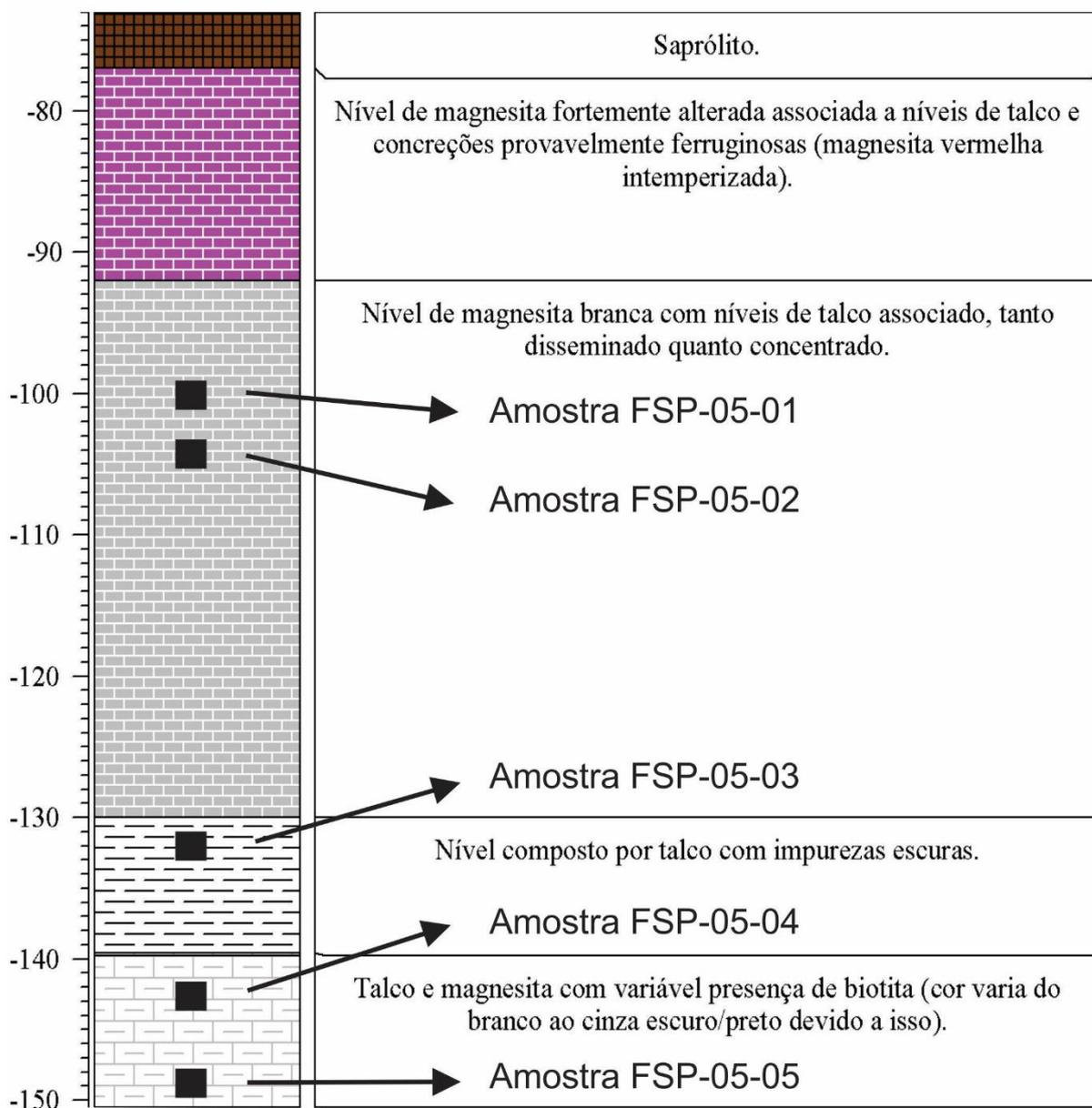
Furo FG2



Furo FSP-04

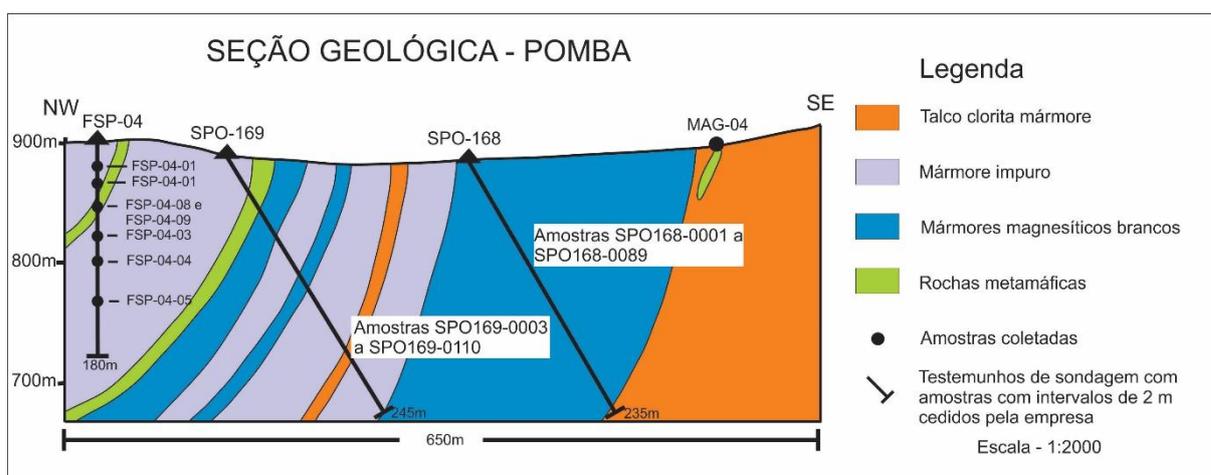


Furo FSP-05



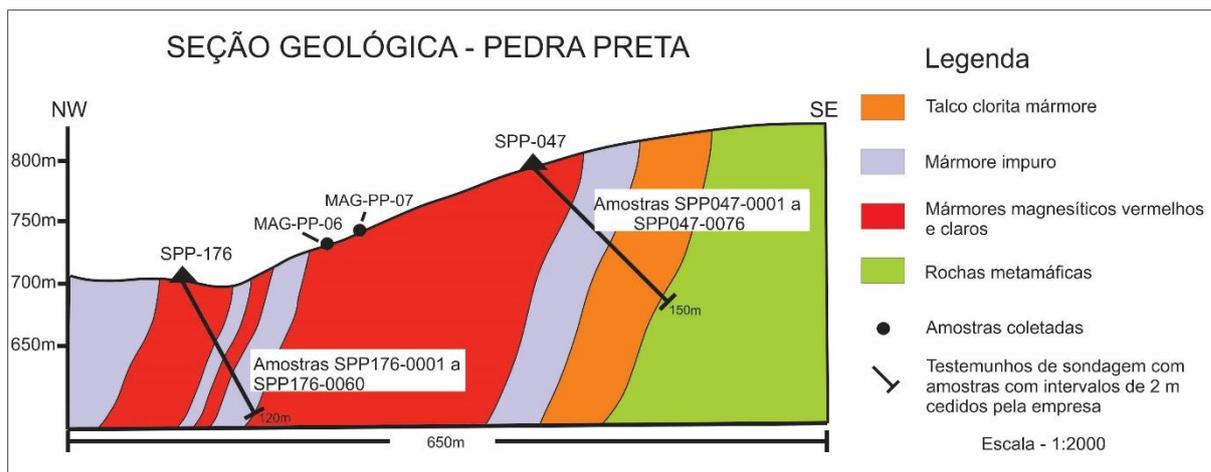
APENDICE D – SEÇÃO DE LOCALIZAÇÃO

Localização de algumas amostras cedidas pela empresa e listadas no Apêndice B e de amostras coletadas em campo durante este projeto apresentadas no Apêndice A. Seção geológica da mina de Pomba elaborada a partir dos furos SPO-168, SPO-169 cedidos pela empresa e o furo FSP-04 e afloramento MAG-04 descritos pelos autores. Indicação dos níveis onde foram coletadas amostras no furo FSP-04.



APENDICE E – SEÇÃO DE LOCALIZAÇÃO

Localização de algumas amostras cedidas pela empresa e listadas no Apêndice B e de amostras coletadas em campo durante este projeto apresentadas no Apêndice A. Seção geológica da mina de Pomba elaborada a partir dos furos SPP-047, SPP-176 cedidos pela empresa e os afloramentos MAG-PP-06 e MAG-PP-07 descritos pelos autores.



APENDICE F – LIMITES DE DETECÇÃO

Análises e limites de detecção para elementos maiores (dos laboratórios ALS Global, RHI Magnesita e GEOSOL) e os elementos traços (Laboratório ALS Global). As amostras que foram contempladas para cada um desses laboratórios e análises estão listadas nos apêndices A e B. O método de preparação e análise de cada laboratório está descrito no texto.

ALS Global		RHI Magnesita		GEOSOL	
Oxido	Limite	Oxido	Limite	Oxido	Limite
Al ₂ O ₃	0.01-100	Al ₂ O ₃	0,1-100	Al ₂ O ₃	0,1-100
CaO	0.01-100	CaO	0.01-100	CaO	0,01-70
Fe ₂ O ₃	0.01-100	Fe ₂ O ₃	0.01-100	Fe ₂ O ₃	0,01-103
K ₂ O	0.01-100	K ₂ O	0,01-20	K ₂ O	0,01-18
MgO	0.01-100	MgO	0.01-100	MgO	0,1-100
MnO	0.01-100	MnO	0.01-100	MnO	0,01-75
Na ₂ O	0.01-100	Na ₂ O	0.01-20	Na ₂ O	0,1-12
P ₂ O ₅	0.01-100	P ₂ O ₅	0,001-100	P ₂ O ₅	0,01-45
SiO ₂	0.01-100	SiO ₂	0.01-100	SiO ₂	0,1-99
TiO ₂	0.01-100	TiO ₂	0.01-100	TiO ₂	0,01-100
Lol	0.01-100	Lol	0,0-100	Lol	0,0-100
Cr ₂ O ₃	0.002-100	Cr ₂ O ₃	0.01-100	Cr ₂ O ₃	-
BaO	0.01-100	BaO	-	BaO	-
SrO	0.01-100	SrO	-	SrO	-

		ALS Global			
Elemento	Limite	Elemento	Limite	Elemento	Limite
Ba	0.5-10,000	Ho	0.01-1,000	Ta	0.1-2,500
Ce	0.1-10,000	La	0.1-10,000	Tb	0.01-1,000
Cr	10-10,000	Lu	0.01-1,000	Th	0.05-1,000
Cs	0.01-10,000	Nb	0.2-2,500	Tm	0.01-1,000
Dy	0.05-1,000	Nd	0.1-10,000	U	0.05-1,000
Er	0.03-1,000	Pr	0.03-1,000	V	5-10,000
Eu	0.03-1,000	Rb	0.2-10,000	W	1-10,000
Ga	0.1-1,000	Sm	0.03-1,000	Y	0.1-10,000
Gd	0.05-1,000	Sn	1-10,000	Yb	0.03-1,000
Hf	0.2-10,000	Sr	0.1-10,000	Zr	2-10,000

APÊNDICE G – COMPOSIÇÃO MODAL

Composição modal das rochas carbonato-silicáticas magnesíferas e dos mármore magnésíticos estudados, sendo Magnesita (Mgs), Carbonato não discriminado (Cb*), Hematita 1 (Hem₁), Hematita 2 (Hem₂), Hematita em uma única geração, coetânea com a Hem₂ (Hem*), Talco (Tlc), Clorita (Chl), Tremolita (Tr). Abreviatura de acordo com Whitney e Evans (2010). Abreviaturas utilizadas para as minas e depósitos: PP (Pedra Preta), PFE (Pedra de Ferro), PO (Pomba), BA (Barrocas dos Veadeiros), GVT (Gravatá).

Amostras	Mina	Mgs	Cb*	Hem ₁	Hem ₂	Hem*	Tlc	Chl	Tr	Nome da Rocha
Rocha Carbonatossilicática magnésítica										
PP-PE-16-0046	PP	35%				7%	2%	1%	55%	Hematita carbonatossilicática
FSP-05-04	PO	48%				2%	6%		44%	Tremolita mármore magnésítico
FSP-05-05	PO	45%				5%	8%		42%	Tremolita mármore magnésítico
Mármore magnésítico vermelho										
Amostras	Mina	Mgs	Cb*	Hem ₁	Hem ₂	Hem*	Tlc	Chl	Anf	Nome da Rocha
PFE-PE-16-0001	PFE	86%		5%	7%		1%	1%		Hematita Mármore magnésítico vermelho
PFE-PE-16-0002	PFE	87%		3%	7%		2%	1%		Hematita Mármore magnésítico vermelho
PFE-PE-16-0003	PFE	84%		5%	7%		3%	1%		Hematita Mármore magnésítico vermelho
PFE-PE-16-0004	PFE	92%		1%	1%		5%	1%		Mármore magnésítico vermelho com talco
PFE-PE-16-0005	PFE	96%		2%	<1%		1%	<1%		Mármore magnésítico vermelho
PFE-PE-16-0006	PFE	91%		2%	4%		2%	1%		Mármore magnésítico vermelho
PFE-PE-16-0007	PFE	91%		4%	1%		4%			Mármore magnésítico vermelho com hematita
PP-PE-16-0002	PP	96%		2%	<1%		1%	<1%		Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0003	PP	92%		6%	1%		1%			Mármore magnésítico vermelho com hematita
PP-PE-16-0004	PP	93%		2%	4%		1%			Mármore magnésítico vermelho com hematita
PP-PE-16-0005	PP	92%		3%	2%		3%	<1%		Mármore magnésítico vermelho com hematita
PP-PE-16-0006	PP	95%		2%	2%		1%			Mármore magnésítico vermelho com hematita
PP-PE-16-0007	PP	93%		2%	<1%		4%	<1%		Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0008	PP	95%		3%	1%		1%			Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0009	PP	92%		6%	1%		1%			Mármore magnésítico vermelho com hematita
PP-PE-16-0010	PP	96%		2%	<1%		1%	<1%		Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0011	PP	92%		1%	2%		5%	<1%		Mármore magnésítico vermelho com talco
PP-PE-16-0012	PP	96%		2%	1%		1%			Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0013	PP	95%		2%	2%		1%			Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0014	PP	95%		1%	<1%		3%	<1%		Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0015	PP	96%		2%	1%		1%			Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0016	PP	94%		5%	<1%		1%			Mármore magnésítico vermelho com hematita
PP-PE-16-0017	PP	94%		5%	<1%		<1%			Mármore magnésítico vermelho com hematita

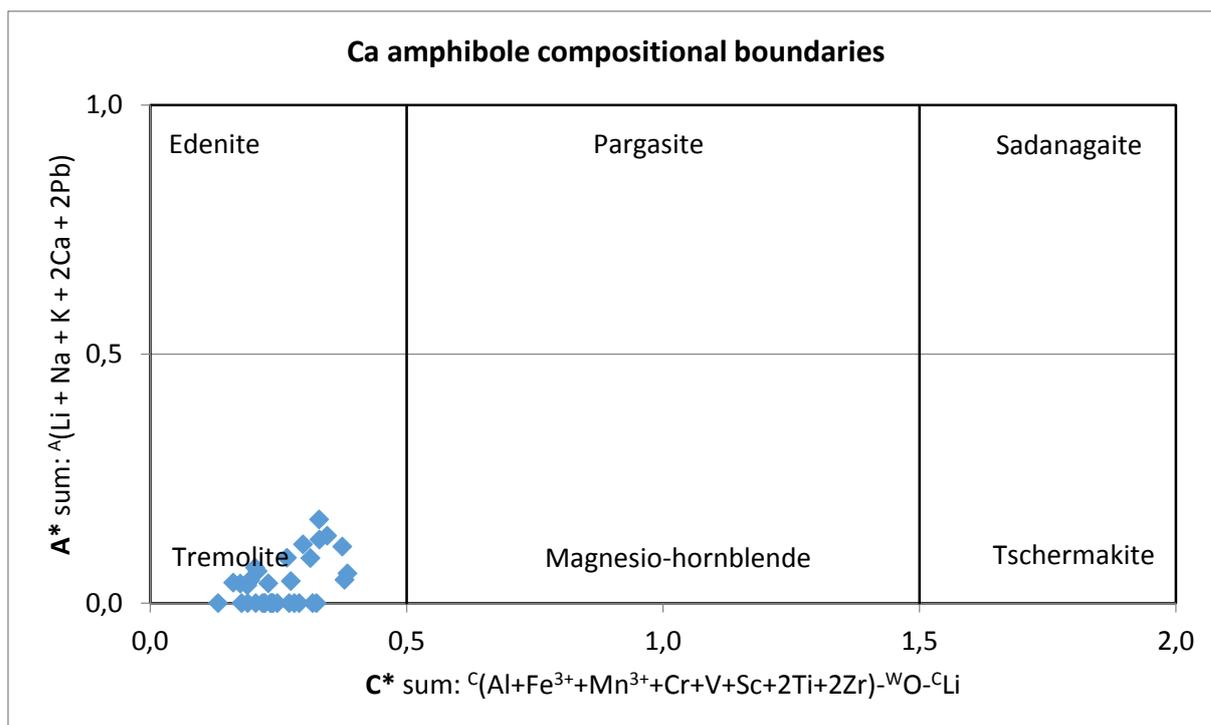
PP-PE-16-0018	PP	93%		3%	2%		2%			Mármore magnésítico vermelho com hematita
PP-PE-16-0019	PP	82%		5%	7%		1%			Hematita Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0020	PP	85%		5%	7%		2%	<1%		Hematita Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0022	PP	93%		4%	<1%		2%	<1%		Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0030	PP	94%		1%	2%		3%	<1%		Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0032	PP	95%		2%	1%		2%			Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0033	PP	98%		1%			1%			Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0034	PP	88%		1%	6%		4%	<1%		Mármore magnésítico vermelho com hematita
PP-PE-16-0036	PP	98%		2%			<1%			Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0041	PP	95%		1%	3%		1%			Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0043	PP	97%		1%	1%		1%			Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0045	PP	97%		1%	1%		1%			Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0049	PP	96%		1%	<1%		2%			Mármore magnésítico vermelho
PP-PE-16-0050	PP	97%		1%	1%		1%			Mármore magnésítico vermelho
MAG-PFE-01	PFE	93%		5%	<1%		2%			Mármore magnésítico vermelho com hematita
MAG-PFE-02	PFE	96%		1%	1%		2%	<1%		Mármore magnésítico vermelho
MAG-PFE-03	PFE	96%		1%	<1%		2%	<1%		Mármore magnésítico vermelho
MAG-PFE-04	PFE	91%		2%	5%		2%			Mármore magnésítico vermelho com hematita
MAG-PFE-05	PFE	95%		1%	1%		3%			Mármore magnésítico vermelho
MAG-PP-01	PP	95%		2%	3%		<1%			Mármore magnésítico vermelho
MAG-PP-02	PP	96%		1%	1%		2%			Mármore magnésítico vermelho
MAG-PP-03	PP	92%		1%	1%		5%	1%		Mármore magnésítico vermelho com talco
MAG-PP-04	PP	93%		6%	1%					Mármore magnésítico vermelho com hematita
MAG-PP-05	PP	95%		2%	1%		2%			Mármore magnésítico vermelho
MAG-PP-07	PP	90%		3%	3%		4%			Mármore magnésítico vermelho com hematita
MAG-PP-08	PP	92%		3%	1%		4%			Mármore magnésítico vermelho
MAG-PP-09	PP	92%		4%	1%		3%	<1%		Mármore magnésítico vermelho com hematita
MAG-PP-10	PP	93%		2%	4%		1%			Mármore magnésítico vermelho com hematita
Mármore magnésítico claro										
Amostras	Mina	Mgs	Cb*	Hem₁	Hem₂	Hem*	Tlc	Chl	Anf	Nome da Rocha
PP-PE-16-0024	PP	97%		4%	1%		1%			Mármore magnésítico claro
PP-PE-16-0025	PP	99%		<1%			<1%			Mármore magnésítico claro
PP-PE-16-0026	PP	96%		1%	2%		<1%			Mármore magnésítico claro
PP-PE-16-0031	PP	97%		2%	1%		<1%			Mármore magnésítico claro
PP-PE-16-0039	PP	96%		3%	1%		<1%			Mármore magnésítico claro
PP-PE-16-0040	PP	96%		1%			3%			Mármore magnésítico claro
PP-PE-16-0048	PP	97%		2%	1%		<1%			Mármore magnésítico claro
Mármore magnésítico cinza										
Amostras	Mina	Mgs	Cb*	Hem₁	Hem₂	Hem*	Tlc	Chl	Anf	Nome da Rocha
PP-PE-16-0021	PP	90%		1%	8%		1%	<1%		Hematita Mármore magnésítico cinza
PP-PE-16-0023	PP	96%		1%	3%		<1%			Mármore magnésítico cinza

PP-PE-16-0027	PP	96%		1%	2%		<1%	<1%		Mármore magnésítico cinza
PP-PE-16-0028	PP	95%		1%	3%		1%			Mármore magnésítico cinza
PP-PE-16-0035	PP	95%		<1%	4%		1%			Mármore magnésítico cinza
PP-PE-16-0037	PP	95%		<1%	4%		<1%			Mármore magnésítico cinza
Mármore magnésítico branco										
Amostras	Mina	Mgs	Cb*	Hem ₁	Hem ₂	Hem*	Tlc	Chl	Anf	Nome da Rocha
PP-PE-16-0029	PP	98%		<1%			1%			Mármore magnésítico branco
PP-PE-16-0038	PP	99%					1%			Mármore magnésítico branco
PP-PE-16-0042	PP	99%					<1%			Mármore magnésítico branco
PP-PE-16-0044	PP	89%					10%	1%		Talco Mármore magnésítico branco
PP-PE-16-0047	PP	96%					4%			Mármore magnésítico branco com talco
PO-PE-16-0001	PO	93%					6%	1%		Talco Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0002	PO	99%					<1%	<1%		Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0003	PO	99%					<1%			Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0004	PO	99%					<1%			Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0005	PO	98%					1%	<1%		Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0006	PO	99%					<1%			Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0007	PO	97%			<1%		2%	1%		Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0008	PO	97%					1%	2%		Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0009	PO	98%			<1%		1%	1%		Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0010	PO	94%			<1%		5%	1%		Mármore magnésítico branco com talco
PO-PE-16-0011	PO	98%					2%			Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0012	PO	93%			<1%		6%	1%		Talco Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0013	PO	95%					4%	<1%		Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0014	PO	92%					8%			Talco Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0015	PO	90%					9%	1%		Talco Mármore magnésítico branco com talco
PO-PE-16-0016	PO	98%			<1%		2%	<1%		Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0017	PO	99%					1%			Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0018	PO	96%			<1%		3%	<1%		Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0019	PO	99%			<1%		<1%			Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0020	PO	98%					2%	<1%		Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0022	PO	92%			<1%		4%	3%		Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0023	PO	96%					4%			Mármore magnésítico branco com talco
PO-PE-16-0025	PO	86%			<1%		13%	1%		Talco Mármore magnésítico branco
PO-PE-16-0027	PO	96%			<1%		4%	<1%		Mármore magnésítico branco com talco
PO-PE-16-0028	PO	95%					3%	2%		Mármore magnésítico branco
FSP-04-01	PO	95%					5%	<1%		Mármore magnésítico branco com talco
FSP-04-02	PO	92%		<1%	<1%		6%	1%		Talco Mármore magnésítico branco
FSP-04-03	PO	97%					3%			Mármore magnésítico branco
FSP-04-04	PO	94%					5%	1%		Mármore magnésítico branco com talco
FSP-04-06	PO	93%					6%	1%		Talco Mármore magnésítico branco com talco

FSP-05-01	PO	95%					5%			Mármore magnésítico branco com talco
FSP-05-02	PO	95%		<1%			4%	1%		Mármore magnésítico branco
FG2-01	GVT	92%					8%	<1%		Talco Mármore magnésítico branco
FG2-02	GVT	95%					5%			Mármore magnésítico branco com talco
FG2-03	GVT	92%					7%	1%		Talco Mármore magnésítico branco
FG2-04	GVT	96%					4%	<1%		Mármore magnésítico branco
FG2-05	GVT	93%					6%	<1%		Mármore magnésítico branco com talco
BA004-01	BA	95%					5%			Mármore magnésítico branco com talco
BA004-02	BA	90%					10%			Talco Mármore magnésítico branco
BA004-02	BA	94%					6%			Mármore magnésítico branco com talco

APÊNDICE H – CLASSIFICAÇÃO DE ANFIBÓLIOS

Classificação dos anfibólios das rochas Tremolita Carbonato-Silicática a partir de Howthorne et al. (2012), com fórmula estrutural obtida a partir das planilhas de Hockock (2014) e calculada para 23 oxigênios



Amostra/espectro	PP46e205	PP46e206	PP46e207	PP46e208	PP46e210
SiO ₂	58,32	58,74	58,66	58,31	58,36
Al ₂ O ₃	3,22	2,46		2,25	2,63
FeO	4,46	3,77	1,79	4,96	3,88
MgO	23,43	23,88	21,59	22,68	24,86
CaO	10,57	10,76	11,65	11,79	10,07
Na ₂ O			4,56		
K ₂ O		0,23	0,87		0,21
Total	99,12	99,84	99,12	99,99	99,7
Fe ³⁺ /ΣFe used	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn ³⁺ /ΣMn used	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MnO	0	0	0	0	0
Mn ₂ O ₃	0	0	0	0	0
FeO	4,46	3,77	1,79	4,96	3,88
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0
H ₂ O+	2,2	2,2	2,17	2,18	2,2
Total	102,2	102,04	101,29	102,17	102,21
T (ideally 8 apfu)					
Si	7,784	7,843	8,009	7,834	7,777
Al	0,216	0,157		0,166	0,223
T subtotal	8	8	8,009	8	8
C (ideally 5 apfu)					
Al	0,291	0,23		0,19	0,19
Fe ³⁺					
Fe ²⁺	0,047	0,017	0,204	0,267	
Mg	4,662	4,753	4,394	4,543	4,81
C subtotal	5	5	4,598	5	5
B (ideally 2 apfu)					
Fe ²⁺	0,451	0,404		0,29	0,432
Mg					0,129
Ca	1,512	1,539	1,704	1,697	1,438
Na			0,296		
B subtotal	1,963	1,943	2	1,987	1,999
A (from 0 to 1 apfu)					
Na			0,911		
K		0,039	0,152		0,036
A subtotal	0	0,039	1,063	0	0,036
O (non-W)	22	22	22	22	22
W (ideally 2 apfu)					
OH	2	2	2	2	2
W subtotal	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Sum T,C,B,A	14,963	14,982	15,670	14,987	15,035
Classificação	Tremolita	Tremolita	Tremolita	Tremolita	Tremolita

Amostra/espectro	PP46e213	PP46e214	PP46e215	PP46e216
SiO ₂	56,99	58,55	59,56	56,85
Al ₂ O ₃	2,79	2,5	1,47	2,88
FeO	5,82	5,06	3,05	3,97
MgO	22,19	23,09	25,27	23,74
CaO	11,59	10,79	10,64	11,27
Na ₂ O				0,62
K ₂ O	0,37			0,37
Total	99,75	99,99	99,99	99,7
Fe ³⁺ /ΣFe used	0,057	0,000	0,000	0,665
Mn ³⁺ /ΣMn used	0,000	0,000	0,000	0,000
MnO	0	0	0	0
Mn ₂ O ₃	0	0	0	0
FeO	5,488	5,06	3,05	1,33
Fe ₂ O ₃	0,369	0	0	2,934
H ₂ O+	2,17	2,19	2,21	2,19
Total	101,957	102,18	102,2	102,184
T (ideally 8 apfu)				
Si	7,726	7,841	7,903	7,623
Al	0,274	0,159	0,097	0,377
T subtotal	8	8	8	8
C (ideally 5 apfu)				
Al	0,172	0,236	0,133	0,079
Fe ³⁺	0,038			0,296
Fe ²⁺	0,305	0,154		
Mg	4,485	4,61	4,867	4,626
C subtotal	5	5	5	5,001
B (ideally 2 apfu)				
Fe ²⁺	0,316	0,413	0,338	0,149
Mg			0,131	0,12
Ca	1,684	1,548	1,513	1,619
Na				0,111
B subtotal	2	1,961	1,982	1,999
A (from 0 to 1 apfu)				
Na				0,05
K	0,064			0,063
A subtotal	0,064	0	0	0,113
O (non-W)	22	22	22	22
W (ideally 2 apfu)				
OH	2	2	2	2
W subtotal	2,000	2,000	2,000	2,000
Sum T,C,B,A	15,064	14,961	14,982	15,113
Classificação	Tremolita	Tremolita	Tremolita	Tremolita

Amostra/espectro	PP46e219	PP46e220	PP46e221	PP46e224
SiO ₂	57,59	56,26	58,26	58,69
Al ₂ O ₃	2,21	3,1	3,35	2,68
FeO	3,21	5,97	4,91	3,36
MgO	23,25	22,03	22,96	22,29
CaO	11,49	11,46	10,36	10,19
Na ₂ O	1,17	0,58		1,46
K ₂ O	0,58	0,34		0,73
Total	99,5	99,74	99,84	99,4
Fe ³⁺ /ΣFe used	0,665	0,307	0,000	0,078
Mn ³⁺ /ΣMn used	0,000	0,000	0,000	0,000
MnO	0	0	0	0
Mn ₂ O ₃	0	0	0	0
FeO	1,075	4,137	4,91	3,098
Fe ₂ O ₃	2,372	2,037	0	0,291
H ₂ O+	2,19	2,17	2,19	2,19
Total	101,927	102,114	102,03	101,619
T (ideally 8 apfu)				
Si	7,74	7,627	7,796	7,891
Al	0,26	0,373	0,204	0,109
T subtotal	8	8	8	8
C (ideally 5 apfu)				
Al	0,09	0,122	0,325	0,316
Fe ³⁺	0,24	0,208		0,03
Fe ²⁺	0,012	0,218	0,095	0,187
Mg	4,658	4,452	4,58	4,468
C subtotal	5	5	5	5,001
B (ideally 2 apfu)				
Fe ²⁺	0,109	0,251	0,454	0,161
Mg				
Ca	1,655	1,665	1,485	1,468
Na	0,237	0,084		0,371
B subtotal	2,001	2	1,939	2
A (from 0 to 1 apfu)				
Na	0,068	0,068		0,01
K	0,099	0,059		0,125
A subtotal	0,167	0,127	0	0,135
O (non-W)	22	22	22	22
W (ideally 2 apfu)				
OH	2	2	2	2
W subtotal	2,000	2,000	2,000	2,000
Sum T,C,B,A	15,168	15,127	14,939	15,136
Classificação	Tremolita	Tremolita	Tremolita	Tremolita

Amostra/espectro	PP46e226	PP46e228	PP46e230	PP46e231	PP46e232
SiO ₂	58,01	58,87	58,38	58,98	59,21
Al ₂ O ₃	2,49	1,98	3,05	2,61	2,16
FeO	3,96	3,41	4,42	4,64	4,2
MgO	23,92	24,59	23,63	23,18	24,28
CaO	10,28	10,05	10,51	10,58	10,14
Na ₂ O	0,83	0,55			
K ₂ O	0,22	0,34			
Total	99,71	99,79	99,99	99,99	99,99
Fe ³⁺ /ΣFe used	0,363	0,107	0,000	0,000	0,000
Mn ³⁺ /ΣMn used	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MnO	0	0	0	0	0
Mn ₂ O ₃	0	0	0	0	0
FeO	2,523	3,045	4,42	4,64	4,2
Fe ₂ O ₃	1,598	0,405	0	0	0
H ₂ O+	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Total	102,071	102,03	102,19	102,19	102,19
T (ideally 8 apfu)					
Si	7,759	7,853	7,791	7,871	7,88
Al	0,241	0,147	0,209	0,129	0,12
T subtotal	8	8	8	8	8
C (ideally 5 apfu)					
Al	0,152	0,164	0,271	0,282	0,219
Fe ³⁺	0,161	0,041			
Fe ²⁺			0,027	0,107	
Mg	4,687	4,795	4,701	4,612	4,781
C subtotal	5	5	4,999	5,001	5
B (ideally 2 apfu)					
Fe ²⁺	0,282	0,34	0,466	0,411	0,467
Mg	0,082	0,095			0,037
Ca	1,473	1,436	1,503	1,513	1,446
Na	0,162	0,129			
B subtotal	1,999	2	1,969	1,924	1,95
A (from 0 to 1 apfu)					
Na	0,053	0,013			
K	0,038	0,058			
A subtotal	0,091	0,071	0	0	0
O (non-W)	22	22	22	22	22
W (ideally 2 apfu)					
OH	2	2	2	2	2
W subtotal	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Sum T,C,B,A	15,090	15,071	14,968	14,925	14,950
Classificação	Tremolita	Tremolita	Tremolita	Tremolita	Tremolita

APENDICE K – GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAIORES

Análises de elementos maiores disponibilizadas pela empresa R.H.I. Magnesita

Amostra	MgO	CaO	LOI	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO
SPP047-0004	46,33	0,18	50,24	1,48	0,62	0,58	0,48
SPP047-0005	46,41	0,19	50,64	1,09	0,29	0,83	0,48
SPP047-0006	46,33	0,20	50,39	1,63	0,15	0,85	0,38
SPP047-0007	46,13	0,17	49,82	2,10	0,63	0,60	0,42
SPP047-0008	46,67	0,19	51,42	0,36	0,10	0,66	0,44
SPP047-0009	46,45	0,17	51,13	0,43	0,12	1,12	0,43
SPP047-0010	46,32	0,18	50,90	0,66	0,18	1,19	0,42
SPP047-0014	46,68	0,20	51,21	0,45	0,13	0,63	0,50
SPP047-0015	46,53	0,19	51,33	0,49	0,05	0,66	0,58
SPP047-0017	46,14	0,18	50,21	1,40	0,46	0,76	0,66
SPP047-0018	46,56	0,19	51,07	0,63	0,16	0,69	0,56
SPP047-0019	46,36	0,20	50,93	0,69	0,20	1,02	0,44
SPP047-0020	46,49	0,20	51,12	0,56	0,12	0,81	0,56
SPP047-0021	46,44	0,20	50,98	0,86	0,05	0,81	0,54
SPP047-0023	46,41	0,21	51,23	0,39	0,12	1,02	0,46
SPP047-0024	46,47	0,20	51,36	0,34	0,05	0,94	0,47
SPP047-0025	46,23	0,20	50,96	0,47	0,14	1,39	0,46
SPP176-0021	46,40	0,30	51,17	0,50	0,05	0,92	0,48
SPP176-0022	46,47	0,24	51,18	0,65	0,05	0,71	0,53
SPP176-0023	46,45	0,24	51,25	0,64	0,12	0,59	0,53
SPP176-0024	46,63	0,29	51,26	0,53	0,05	0,53	0,53
SPP176-0033	46,39	0,25	51,26	0,43	0,18	0,86	0,45
SPP176-0034	46,33	0,28	51,01	0,74	0,25	0,76	0,46
SPP176-0035	46,32	0,23	50,86	0,71	0,30	0,89	0,49
SPP176-0059	46,71	0,22	51,18	0,62	0,05	0,76	0,40
PP-PE-16-0002	47,4	0,19	50,36	1,52	0,55	0,87	0,53
PP-PE-16-0003	47,1	0,22	51,11	0,1	0,1	1,77	0,66
PP-PE-16-0004	47,5	0,22	51,47	0,7	0,27	0,94	0,47
PP-PE-16-0005	47,4	0,28	51,26	0,35	0,1	1,08	0,37
PP-PE-16-0006	46,31	0,21	51,1	0,57	0,24	0,83	0,36
PP-PE-16-0007	45,4	0,24	48,27	2,26	1,22	1,72	0,43
PP-PE-16-0008	46,6	0,19	50,52	0,83	0,29	1,12	0,55
PP-PE-16-0009	48,1	0,23	51,77	0,1	0,1	0,62	0,45
PP-PE-16-0010	46,9	0,21	51,42	0,44	0,12	0,82	0,58
PP-PE-16-0011	47,5	0,26	50,77	0,79	0,26	0,83	0,46
PP-PE-16-0012	46,5	0,2	50,21	0,85	0,31	1,65	0,71
PP-PE-16-0013	47,4	0,21	49,97	1,77	0,36	0,87	0,45
PP-PE-16-0014	47,2	0,26	50,77	0,77	0,13	1,1	0,48
PP-PE-16-0022	47,15	0,24	51,6	0,15	0,02	0,82	0,43

PP-PE-16-0030	46,8	0,25	51,23	0,61	0,1	0,84	0,36
PP-PE-16-0032	46,4	0,19	51,21	0,32	0,1	0,61	0,54
PP-PE-16-0033	47,2	0,21	51,47	0,39	0,1	0,61	0,26
PP-PE-16-0034	47	0,22	49,79	1,45	0,7	1,14	0,29
PP-PE-16-0041	43,29	0,14	45,9	1,67	0,58	8,77	0,53
PP-PE-16-0043	46,8	0,19	50,77	0,73	0,1	1,49	0,42
PP-PE-16-0045	47,2	0,24	51,39	0,26	0,1	0,99	0,51
PP-PE-16-0049	46,8	0,24	51,4	0,3	0,1	0,73	0,37
PP-PE-16-0050	47,42	0,23	51,5	0,14	0,01	1,04	0,46
PP-PE-16-0036	46,1	0,21	51,61	0,24	0,1	0,85	0,32
SPP047-0001	46,68	0,19	51,34	0,58	0,17	0,39	0,57
SPP047-0002	46,47	0,22	51,10	1,00	0,17	0,41	0,56
SPP047-0003	46,70	0,21	51,62	0,45	0,05	0,37	0,53
SPP047-0012	46,43	0,19	51,05	0,57	0,17	1,08	0,38
SPP047-0013	46,68	0,16	51,07	0,63	0,17	0,59	0,50
SPP047-0032	45,40	0,20	49,24	2,44	0,50	1,55	0,48
SPP047-0033	45,85	0,17	49,93	1,71	0,66	0,94	0,49
SPP047-0051	46,14	0,22	50,06	1,88	0,15	0,94	0,53
SPP176-0001	46,63	0,19	51,17	0,29	0,05	0,96	0,50
SPP176-0002	46,47	0,22	50,97	0,43	0,05	1,16	0,53
SPP176-0004	46,69	0,19	51,48	0,36	0,05	0,54	0,52
SPP176-0005	46,57	0,20	51,28	0,54	0,05	0,60	0,56
SPP176-0007	46,72	0,20	51,59	0,19	0,05	0,50	0,58
SPP176-0008	46,72	0,21	51,33	0,38	0,05	0,55	0,56
SPP176-0009	46,29	0,21	50,51	1,21	0,23	0,71	0,62
SPP176-0011	46,77	0,19	51,42	0,36	0,05	0,52	0,53
SPP176-0012	46,87	0,19	51,21	0,32	0,05	0,62	0,55
SPP176-0013	46,79	0,20	50,95	0,66	0,05	0,61	0,56
SPP176-0014	46,56	0,22	51,29	0,48	0,15	0,56	0,59
SPP176-0015	46,95	0,22	51,38	0,24	0,05	0,48	0,51
SPP176-0016	46,44	0,24	51,35	0,67	0,05	0,54	0,50
SPP176-0017	46,57	0,27	51,41	0,51	0,05	0,51	0,50
SPP176-0019	46,64	0,25	50,99	0,80	0,05	0,58	0,51
SPP176-0038	46,66	0,31	50,65	0,94	0,17	0,76	0,44
SPP176-0039	46,77	0,17	51,13	0,66	0,11	0,68	0,42
SPP176-0040	46,58	0,17	50,54	1,48	0,05	0,67	0,44
PP-PE-16-0024	48	0,2	51,46	0,53	0,1	0,44	0,31
PP-PE-16-0025	47,56	0,17	51,8	0,14	0,07	0,51	0,1
PP-PE-16-0031	47,6	0,66	51,64	0,59	0,1	0,55	0,36
PP-PE-16-0026	46,79	0,19	51,3	0,44	0,07	0,9	0,49
PP-PE-16-0039	47,5	0,22	51,69	0,2	0,1	0,54	0,46
PP-PE-16-0040	48,1	0,21	51,56	0,18	0,1	0,6	0,57
PP-PE-16-0048	46,8	0,2	51,1	0,35	0,1	2,13	0,45
PP-PE-16-0021	45,87	0,18	50,8	1,03	0,19	0,71	0,42
PP-PE-16-0023	47,15	0,25	51,5	0,19	0,01	1,19	0,41
PP-PE-16-0027	47,9	0,27	51,51	0,4	0,1	0,44	0,47

PP-PE-16-0028	47,8	0,18	51,59	0,32	0,1	0,63	0,42
PP-PE-16-0035	47,7	0,19	51,11	0,37	0,13	0,9	0,56
PP-PE-16-0037	47,4	0,2	51,49	0,88	0,11	0,62	0,39
PP-PE-16-0029	47,5	0,22	51,42	0,29	0,1	0,88	0,35
PP-PE-16-0042	46,5	0,2	51,26	0,88	0,15	0,56	0,2
PP-PE-16-0044	39,3	0,14	31,44	25,3	1,81	0,33	0,24
PP-PE-16-0047	46,3	0,3	47,1	6,44	0,1	0,24	0,19
PP-PE-16-0038	47	0,18	51,97	0,15	0,1	0,78	0,4
SPO-168-0003	48,96	0,39	51,01	0,26	0,02	0,14	0,02
SPO-168-0004	48,08	0,45	50,89	0,27	0,02	0,14	0,02
SPO-168-0005	47,69	0,33	50,95	0,32	0,02	0,13	0,02
SPO-168-0007	49,26	0,45	50,18	1,50	0,03	0,14	0,02
SPO-168-0008	50,03	0,35	49,55	2,27	0,46	0,20	0,03
SPO-168-0009	49,84	0,27	51,08	0,78	0,03	0,22	0,04
SPO-168-0010	48,58	1,11	49,12	2,50	0,64	0,19	0,04
SPO-168-0011	48,84	0,49	50,83	0,33	0,07	0,14	0,03
SPO-168-0012	49,64	0,37	51,21	0,16	0,02	0,16	0,03
SPO-168-0013	49,76	0,25	51,19	0,13	0,02	0,13	0,03
SPO-168-0014	49,61	0,29	51,15	0,23	0,02	0,13	0,02
SPO-168-0015	49,52	0,44	51,09	0,21	0,02	0,14	0,02
SPO-168-0016	49,27	0,38	51,11	0,10	0,02	0,13	0,02
SPO-168-0017	49,03	0,43	51,04	0,36	0,02	0,11	0,02
SPO-168-0018	49,20	0,40	51,18	0,02	0,02	0,12	0,02
SPO-168-0019	48,85	0,42	50,55	0,96	0,09	0,13	0,02
SPO-168-0020	48,45	0,47	50,72	0,36	0,11	0,13	0,02
SPO-168-0022	48,68	0,57	50,95	0,37	0,02	0,12	0,02
SPO-168-0023	49,58	0,50	50,92	0,43	0,03	0,13	0,03
SPO-168-0024	49,70	0,44	50,85	0,45	0,06	0,16	0,03
SPO-168-0025	47,97	0,45	49,99	1,62	0,23	0,16	0,03
SPO-168-0027	48,75	0,23	51,18	0,26	0,09	0,19	0,03
SPO-168-0029	48,92	0,24	50,92	0,96	0,03	0,27	0,05
SPO-168-0030	48,57	0,40	50,94	0,29	0,02	0,22	0,04
SPO-168-0031	49,54	0,44	51,10	0,08	0,02	0,20	0,04
SPO-168-0032	49,40	0,50	51,05	0,16	0,02	0,19	0,04
SPO-168-0033	48,93	0,49	51,08	0,17	0,02	0,19	0,04
SPO-168-0034	48,64	0,54	50,98	0,33	0,05	0,21	0,04
SPO-168-0035	48,23	0,56	50,98	0,23	0,02	0,19	0,03
SPO-168-0036	48,52	0,43	51,01	0,15	0,02	0,18	0,04
SPO-168-0037	48,35	0,34	50,60	0,65	0,07	0,17	0,03
SPO-168-0038	47,28	0,48	50,85	0,07	0,02	0,16	0,03
SPO-168-0039	47,78	0,81	50,86	0,10	0,02	0,18	0,03
SPO-168-0040	47,42	0,55	51,02	0,14	0,02	0,18	0,03
SPO-168-0041	48,83	0,43	50,84	0,39	0,02	0,17	0,03
SPO-168-0042	48,90	0,45	51,01	0,26	0,02	0,18	0,03
SPO-168-0043	49,79	0,57	51,18	0,07	0,03	0,19	0,04
SPO-168-0044	47,39	0,72	51,00	0,02	0,02	0,17	0,03

SPO-168-0045	49,49	0,50	51,09	0,16	0,02	0,19	0,03
SPO-168-0046	49,38	0,51	51,12	0,19	0,02	0,19	0,03
SPO-168-0047	49,06	0,54	51,14	0,24	0,02	0,18	0,03
SPO-168-0048	49,84	0,52	51,15	0,23	0,03	0,17	0,04
SPO-168-0049	49,96	0,55	51,18	0,12	0,03	0,17	0,04
SPO-168-0050	49,75	0,53	51,25	0,12	0,03	0,20	0,04
SPO-168-0051	45,23	0,49	51,07	0,19	0,02	0,25	0,04
SPO-168-0052	46,56	0,40	51,13	0,10	0,02	0,21	0,04
SPO-168-0053	45,01	0,68	50,96	0,38	0,02	0,21	0,04
SPO-168-0057	46,21	0,48	51,24	0,20	0,02	0,20	0,03
SPO-168-0058	46,20	0,36	51,15	0,29	0,02	0,18	0,03
SPO-168-0059	45,85	0,31	51,06	0,39	0,07	0,20	0,04
SPO-168-0060	46,61	0,42	50,98	0,22	0,05	0,14	0,03
SPO-168-0061	46,67	0,48	50,93	0,14	0,02	0,13	0,03
SPO-168-0062	46,22	0,51	51,13	0,18	0,02	0,13	0,03
SPO-168-0063	45,96	0,52	51,26	0,22	0,07	0,17	0,04
SPO-168-0064	46,28	0,57	51,16	0,09	0,02	0,14	0,03
SPO-168-0065	46,11	0,54	50,97	0,43	0,02	0,15	0,03
SPO-168-0066	46,53	0,55	51,14	0,09	0,02	0,14	0,03
SPO-168-0067	45,51	0,49	50,91	0,42	0,12	0,13	0,03
SPO-168-0068	45,70	0,47	51,13	0,21	0,06	0,13	0,03
SPO-168-0069	45,09	0,53	51,10	0,34	0,02	0,15	0,03
SPO-168-0070	45,77	0,43	50,90	0,45	0,13	0,13	0,03
SPO-168-0071	45,93	0,65	51,07	0,21	0,07	0,16	0,03
SPO-168-0072	45,55	0,51	51,10	0,25	0,02	0,14	0,03
SPO-168-0073	45,64	0,49	50,85	0,76	0,08	0,16	0,03
SPO-168-0074	47,09	0,45	50,34	1,90	0,09	0,21	0,04
SPO-168-0075	46,29	0,42	51,38	0,02	0,02	0,17	0,04
SPO-168-0076	47,44	0,35	51,54	0,11	0,06	0,19	0,04
SPO-168-0077	47,02	0,37	51,52	0,17	0,02	0,22	0,04
SPO-168-0078	47,61	0,43	51,29	0,57	0,02	0,24	0,04
SPO-168-0079	48,36	0,34	51,55	0,13	0,02	0,24	0,05
SPO-168-0080	48,60	0,32	51,62	0,02	0,02	0,24	0,04
SPO-168-0081	48,87	0,37	51,63	0,02	0,02	0,25	0,04
SPO-168-0083	46,34	0,33	50,86	0,75	0,15	0,18	0,04
SPO-168-0084	46,95	0,24	51,21	0,57	0,02	0,19	0,05
SPO-168-0085	46,42	0,35	51,48	0,02	0,02	0,20	0,05
SPO-168-0086	47,86	0,35	51,55	0,02	0,02	0,21	0,06
SPO-168-0087	45,83	0,40	51,41	0,08	0,02	0,20	0,04
SPO-168-0088	45,42	0,34	51,18	0,24	0,08	0,16	0,04
SPO-168-0089	45,79	0,44	51,23	0,17	0,02	0,18	0,04
SPO-169-0033	49,06	0,47	51,09	0,83	0,15	0,57	0,11
SPO-169-0041	46,97	0,30	50,51	1,55	0,20	0,59	0,11
SPO-169-0046	47,74	0,32	50,50	1,37	0,36	0,55	0,11
SPO-169-0047	47,69	0,35	51,32	0,45	0,12	0,53	0,10
SPO-169-0048	46,28	0,37	50,46	1,17	0,28	0,49	0,10

SPO-169-0049	48,09	0,64	50,76	1,08	0,24	0,51	0,11
SPO-169-0050	47,81	0,48	51,12	0,86	0,10	0,60	0,11
SPO-169-0070	47,64	0,54	50,87	0,95	0,31	0,57	0,11
SPO-169-0095	46,00	0,38	51,15	0,75	0,21	0,58	0,10
SPO-169-0096	45,57	0,42	51,19	0,71	0,20	0,52	0,10
SPO-169-0097	47,13	0,42	50,65	1,49	0,12	0,58	0,09
PO-PE-16-0001	46,31	0,48	51,33	0,15	0,02	0,22	0,04
PO-PE-16-0001b	46,76	0,45	50,82	0,96	0,02	0,18	0,04
PO-PE-16-0002	47,24	0,31	51,37	0,31	0,05	0,18	0,04
PO-PE-16-0005	47,62	0,36	51,42	0,32	0,02	0,19	0,04
PO-PE-16-0007	48	0,39	51,05	0,35	0,02	0,16	0,04
PO-PE-16-0008	47,46	0,33	50,9	0,58	0,02	0,11	0,02
PO-PE-16-0009	46,99	0,41	51,38	0,13	0,02	0,25	0,04
PO-PE-16-0010	47,27	0,46	51,06	0,9	0,09	0,23	0,04
PO-PE-16-0011	46,84	0,39	50,91	0,37	0,05	0,25	0,06
PO-PE-16-0017	46,8	0,35	51,56	0,61	0,02	0,19	0,05
PO-PE-16-0020	48,04	0,36	50,9	0,65	0,02	0,17	0,04
SPO-168-0006	44,18	0,45	44,06	10,00	0,03	0,12	0,02
SPO-168-0021	48,88	0,37	47,67	4,58	0,71	0,12	0,02
SPO-168-0056	45,40	0,36	50,53	0,86	0,02	1,01	0,04
SPO-169-0007	45,66	0,26	49,94	2,33	0,34	0,72	0,10
SPO-169-0008	46,65	0,21	49,86	2,28	0,38	0,72	0,10
SPO-169-0009	47,85	0,20	51,44	0,48	0,07	0,73	0,10
SPO-169-0010	46,21	0,22	49,99	1,89	0,46	0,71	0,10
SPO-169-0011	45,77	0,22	50,96	1,06	0,14	0,72	0,10
SPO-169-0012	48,30	0,24	50,90	1,51	0,08	0,79	0,11
SPO-169-0015	46,50	0,41	50,87	1,08	0,11	0,74	0,11
SPO-169-0016	46,15	0,29	51,29	0,62	0,06	0,71	0,11
SPO-169-0017	46,88	0,45	51,27	0,76	0,06	0,73	0,11
SPO-169-0018	46,89	0,31	48,39	3,31	1,23	0,70	0,10
SPO-169-0019	46,49	0,30	51,18	0,84	0,02	0,66	0,10
SPO-169-0020	45,67	0,70	51,13	0,81	0,02	0,64	0,11
SPO-169-0021	48,16	0,50	50,94	1,08	0,11	0,69	0,12
SPO-169-0025	47,15	0,42	50,37	1,73	0,21	0,71	0,12
SPO-169-0026	47,78	0,37	50,67	1,55	0,11	0,72	0,11
SPO-169-0027	47,63	0,44	51,37	0,66	0,05	0,69	0,11
SPO-169-0028	47,08	0,35	50,43	1,91	0,16	0,69	0,11
SPO-169-0029	47,79	1,42	50,74	1,25	0,10	0,67	0,11
SPO-169-0030	47,92	0,35	51,38	0,59	0,06	0,64	0,11
SPO-169-0031	47,37	0,39	51,23	0,73	0,08	0,63	0,11
SPO-169-0032	47,80	0,33	50,99	1,08	0,10	0,61	0,10
SPO-169-0035	47,07	0,36	50,01	1,91	0,48	0,59	0,11
SPO-169-0036	45,91	0,26	50,53	1,54	0,21	0,60	0,10
SPO-169-0037	47,71	0,35	51,01	0,92	0,22	0,66	0,12
SPO-169-0038	48,97	0,46	51,02	0,85	0,27	0,64	0,13
SPO-169-0039	47,25	0,41	51,06	0,75	0,20	0,61	0,12

SPO-169-0040	48,45	0,33	51,31	0,47	0,17	0,72	0,13
SPO-169-0042	46,51	0,29	51,29	0,51	0,16	0,59	0,11
SPO-169-0045	46,60	0,32	50,48	1,22	0,44	0,56	0,11
SPO-169-0051	46,94	0,67	51,32	0,59	0,07	0,65	0,11
SPO-169-0052	46,20	0,36	50,87	1,08	0,24	0,62	0,11
SPO-169-0054	46,46	0,57	50,87	1,10	0,26	0,94	0,12
SPO-169-0055	40,34	4,31	47,42	3,78	1,46	0,79	0,10
SPO-169-0057	44,65	0,39	47,68	3,70	1,23	1,20	0,23
SPO-169-0058	44,43	0,43	46,72	4,77	1,47	0,93	0,13
SPO-169-0059	46,14	0,55	51,17	0,67	0,17	0,59	0,10
SPO-169-0060	45,49	0,45	48,29	3,57	1,05	0,59	0,09
SPO-169-0063	46,65	0,56	50,24	1,92	0,48	0,62	0,12
SPO-169-0065	45,16	0,63	47,46	4,45	1,18	0,53	0,09
SPO-169-0067	45,25	0,61	46,95	4,86	1,44	0,54	0,10
SPO-169-0069	45,43	1,01	51,24	0,44	0,11	0,59	0,12
SPO-169-0071	44,51	0,51	49,66	2,13	0,51	0,54	0,09
SPO-169-0073	43,67	0,40	42,29	9,47	2,86	0,61	0,08
SPO-169-0074	41,12	0,29	38,73	12,66	3,42	0,64	0,07
SPO-169-0076	45,30	0,56	50,02	1,74	0,48	0,63	0,11
SPO-169-0077	46,92	0,42	50,01	1,93	0,46	0,63	0,10
SPO-169-0078	46,08	0,51	49,84	2,10	0,42	0,60	0,10
SPO-169-0079	46,92	0,54	50,52	1,50	0,26	0,67	0,11
SPO-169-0080	46,38	0,48	50,16	1,61	0,38	0,86	0,11
SPO-169-0081	47,38	0,90	50,52	1,18	0,29	0,87	0,12
SPO-169-0082	46,83	0,46	50,84	0,78	0,23	1,05	0,12
SPO-169-0083	45,90	0,47	50,55	1,13	0,36	0,80	0,11
SPO-169-0088	46,60	0,83	50,13	1,51	0,49	0,70	0,11
SPO-169-0089	44,46	0,54	48,23	3,17	1,05	0,90	0,10
SPO-169-0090	44,90	0,49	47,37	3,99	1,29	1,21	0,10
SPO-169-0091	43,18	0,41	44,40	6,64	1,55	2,49	0,09
SPO-169-0092	46,80	0,43	49,72	2,13	0,52	0,70	0,10
SPO-169-0093	44,38	0,51	48,76	2,75	0,63	1,15	0,10
SPO-169-0094	45,89	0,22	49,39	2,35	0,71	0,57	0,09
SPO-169-0100	44,86	0,38	47,08	4,59	1,39	0,54	0,09
SPO-169-0103	43,66	0,37	46,85	5,13	1,11	0,64	0,10
SPO-169-0105	46,80	0,42	49,61	2,56	0,41	0,71	0,14
SPO-169-0106	45,77	0,63	49,28	2,38	0,72	0,77	0,14
SPO-169-0107	45,56	0,51	49,08	2,98	0,45	1,22	0,27
SPO-169-0108	45,54	0,43	47,66	4,13	1,10	1,22	0,27
SPO-169-0109	44,17	0,38	46,83	5,37	0,89	1,20	0,25
SPO-169-0110	45,90	0,43	48,97	2,88	0,59	1,25	0,28
PO-PE-16-0003	45,91	0,3	49,39	3,09	0,03	0,22	0,05
PO-PE-16-0004	46,49	0,32	51,48	0,53	0,02	0,41	0,05
PO-PE-16-0006	48,43	0,23	51,48	0,53	0,06	0,4	0,39
PO-PE-16-0012	47,48	0,35	51,32	0,45	0,12	0,52	0,1
PO-PE-16-0013	47,65	0,47	49,45	3,85	0,08	0,28	0,05

PO-PE-16-0014	45,93	0,27	50,48	1,74	0,02	0,27	0,05
PO-PE-16-0015	45,81	0,32	50,14	2,02	0,02	0,13	0,02
PO-PE-16-0016	46,57	0,22	50,39	1,86	0,06	0,44	0,7
PO-PE-16-0018	46,25	0,22	51,14	1,11	0,02	0,45	0,62
PO-PE-16-0019	47,42	0,21	51,73	0,09	0,02	0,56	0,52
PO-PE-16-0022	45,79	0,58	50,53	1,35	0,1	1,17	0,28
PO-PE-16-0025	45,45	1,18	46,19	5,98	1,69	0,53	0,08
PO-PE-16-0027	45,88	0,17	48,5	3,49	0,82	0,48	0,07
PO-PE-16-0028	46,72	1,05	49,04	3,29	0,34	0,75	0,13
PO-PE-16-0023	44,62	1,04	42,1	12,33	0,03	0,42	0,06
SPP047-0027	40,00	0,14	42,85	2,20	0,97	13,30	0,39
SPP047-0045	45,79	0,21	48,71	4,02	0,05	0,50	0,55
SPP047-0046	46,00	0,19	49,24	3,29	0,05	0,61	0,48
SPP047-0049	45,77	0,20	48,53	4,22	0,05	0,65	0,48
SPP176-0026	46,35	0,23	51,06	0,28	0,05	1,32	0,52
SPP176-0027	46,42	0,23	51,00	0,82	0,05	0,82	0,47
SPP176-0028	46,65	0,26	51,40	0,36	0,05	0,63	0,47
SPP176-0029	46,73	0,22	51,14	0,50	0,05	0,69	0,48
SPP176-0030	46,18	0,25	50,39	0,67	0,32	1,55	0,45
SPP176-0031	45,95	0,27	50,22	0,73	0,28	1,93	0,45
SPP176-0036	45,01	0,24	49,07	2,71	0,18	2,11	0,47
SPP176-0037	45,94	0,26	49,29	2,55	0,52	0,84	0,51
SPP176-0042	46,02	0,33	50,20	1,35	0,41	1,09	0,53
SPP176-0043	46,03	0,21	49,79	1,73	0,18	1,42	0,57
SPP176-0044	45,51	0,28	48,37	2,90	0,83	1,47	0,54
SPP176-0047	45,17	0,27	47,19	3,41	1,37	2,00	0,52
SPP176-0048	45,25	0,24	49,26	1,38	0,31	2,95	0,55
SPP176-0050	46,58	0,21	50,84	0,81	0,15	0,82	0,53
SPP176-0051	46,39	0,49	51,09	0,74	0,11	0,63	0,50
SPP176-0052	46,65	0,21	51,23	0,35	0,10	0,89	0,51
SPP176-0053	46,56	0,22	51,35	0,24	0,05	0,98	0,54
SPP176-0054	46,52	0,22	51,16	0,43	0,20	0,85	0,55
SPP176-0055	46,76	0,20	51,49	0,28	0,05	0,58	0,57
SPP176-0060	45,35	0,22	47,83	3,62	0,65	1,73	0,54

ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA ORE

GEOLOGY REVIEW

Referees

Please submit the names and institutional e-mail addresses of several potential referees. For more details, visit our [Support site](#). Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.

PREPARATION

NEW SUBMISSIONS

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts your files to a single PDF file, which is used in the peer-review process.

As part of the Your Paper Your Way service, you may choose to submit your manuscript as a single file to be used in the refereeing process. This can be a PDF file or a Word document, in any format or layout that can be used by referees to evaluate your manuscript. It should contain high enough quality figures for refereeing. If you prefer to do so, you may still provide all or some of the source files at the initial submission. Please note that individual figure files larger than 10 MB must be uploaded separately.

References

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the article number or pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct.

Formatting requirements

There are no strict formatting requirements but all manuscripts must contain the essential elements needed to convey your manuscript, for example Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, Artwork and Tables with Captions.

If your article includes any Videos and/or other Supplementary material, this should be included in your initial submission for peer review purposes.

Divide the article into clearly defined sections.

Text must be in at least 1.5 spacing or double spacing Lines must be numbered consecutively and not page by page Figures and tables must not be embedded in the text Figure and table captions must not be embedded in the text

Peer review

This journal operates a single blind review process. All contributions will be initially assessed by the editor for suitability for the journal. Papers deemed suitable are then typically sent to a minimum of two independent expert reviewers to assess the scientific quality of the paper. The Editor is responsible for the final decision regarding acceptance or rejection of articles. The Editor's decision is final. [More information on types of peer review](#).

REVISED SUBMISSIONS

Use of word processing software

Regardless of the file format of the original submission, at revision you must provide us with an editable file of the entire article. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the [Guide to Publishing with Elsevier](#)). See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

LaTeX

You are recommended to use the Elsevier article class [elsarticle.cls](#) to prepare your manuscript and [BibTeX](#) to generate your bibliography.

Our [LaTeX site](#) has detailed submission instructions, templates and other information.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient details to allow the work to be reproduced by an independent researcher. Methods that are already published should be summarized, and indicated by a reference. If quoting directly from a previously published method, use quotation marks and also cite the source. Any modifications to existing methods should also be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Data Availability

Authors are encouraged to include a 'Data Availability' section in their manuscript which is visible in ALL reading formats and may refer to data hosted in ANY repository. It should be placed before the references to provide readers with information about where they can obtain the research data required to reproduce the work reported in the manuscript, and typically consists of a simple sentence giving the URL(s) of and citation(s) to the dataset(s). Full information can be found [here](#).

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. You can add your name between parentheses in your own script behind the English transliteration. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. This responsibility includes answering any future queries about Methodology and Materials. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**
- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal as they help increase the discoverability of your article via search engines. They consist of a short collection of bullet points that capture the novel results of your research as well as new methods that were used during the study (if any). Please have a look at the examples here: [example Highlights](#).

Highlights should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point).

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

A graphical abstract is mandatory for this journal. It should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership online. Authors must provide images that clearly represent the work described in the article. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. You can view [Example Graphical Abstracts](#) on our information site.

Authors can make use of Elsevier's [Illustration Services](#) to ensure the best presentation of their images also in accordance with all technical requirements.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Formatting of funding sources

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements:

Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa].

It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding.

If no funding has been provided for the research, please include the following sentence:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Units

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other units are mentioned, please give their equivalent in SI.

Math formulae

Please submit math equations as editable text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article.

Artwork**Electronic artwork***General points*

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Preferred fonts: Arial (or Helvetica), Times New Roman (or Times), Symbol, Courier.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Indicate per figure if it is a single, 1.5 or 2-column fitting image.
- For Word submissions only, you may still provide figures and their captions, and tables within a single file at the revision stage.
- Please note that individual figure files larger than 10 MB must be provided in separate source files.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website:

<https://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please 'save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as 'graphics'.

TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low.
- Supply files that are too low in resolution.
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Geological Maps

Lithologies should be indicated within the figure only by shading or use of colour and named in the figure caption. No separate legend should be used to denote lithologies.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or online only. [Further information on the preparation of electronic artwork.](#)

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules and shading in table cells.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Reference links

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is highly encouraged.

A DOI is guaranteed never to change, so you can use it as a permanent link to any electronic article. An example of a citation using DOI for an article not yet in an issue is: VanDecar J.C., Russo R.M., James D.E., Ambeh W.B., Franke M. (2003). Aseismic continuation of the Lesser Antilles slab beneath northeastern Venezuela. *Journal of Geophysical Research*, <https://doi.org/10.1029/2001JB000884>. Please note the format of such citations should be in the same style as all other references in the paper.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

Data references

This journal encourages you to cite underlying or relevant datasets in your manuscript by citing them in your text and including a data reference in your Reference List. Data references should include the following elements: author name(s), dataset title, data repository, version (where available), year, and global persistent identifier. Add [dataset] immediately before the reference so we can properly identify it as a data reference. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support [Citation Style Language styles](#), such as [Mendeley](#). Using citation plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide. If you use reference management software, please ensure that you remove all field codes before submitting the electronic manuscript. [More information on how to remove field codes from different reference management software.](#)

Users of Mendeley Desktop can easily install the reference style for this journal by clicking the following link:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/ore-geology-reviews>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plug-ins for Microsoft Word or LibreOffice.

Reference formatting

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the article number or pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. *Single author:* the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. *Two authors:* both authors' names and the year of publication;
3. *Three or more authors:* first author's name followed by 'et al.' and the year of publication.

Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references can be listed either first alphabetically, then chronologically, or vice versa.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999).... Or, as demonstrated (Jones, 1999; Allan, 2000)... Kramer et al. (2010) have recently shown ...'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.Sc.2010.00372>.

Reference to a journal publication with an article number:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2018. The art of writing a scientific article. *Heliyon*. 19, e00205. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00205>.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Reference to a website:

Cancer Research UK, 1975. Cancer statistics reports for the UK. <http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/> (accessed 13 March 2003).

Reference to a dataset:

[dataset] Oguro, M., Imahiro, S., Saito, S., Nakashizuka, T., 2015. Mortality data for Japanese oak wilt disease and surrounding forest compositions. *Mendeley Data*, v1. <https://doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to the [List of Title Word Abbreviations](#).

Video

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. . In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the file in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB per file, 1 GB in total. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including [ScienceDirect](#). Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our [video instruction pages](#). Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.